

РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

## **АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ**

*Сборник тезисов докладов  
V Всероссийской научной молодежной конференции  
с международным участием  
(г.Уфа, 28 – 31 мая 2018 г.)*

**Уфа  
РИЦ БашГУ  
2018**

УДК 621.38  
ББК 32.85  
А43

*Сборник издан при финансовой поддержке  
Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ)  
(проект №18-32-10013),  
группы компаний «NT-MDT Spectrum Instruments»  
и за счет внебюджетных средств БашГУ*

***Редакционная коллегия:***

д-р физ.-мат. наук, **проф. Бахтизин Р.З.** (отв. редактор)  
канд. физ.-мат. наук, **доц. Шарипов Т.И.** (отв. секретарь)  
канд. физ.-мат. наук, **доц. Габдрахманова Л.А.**

**Актуальные проблемы микро- и нанoeлектроники:** сборник тезисов докладов V Всероссийской научной молодежной конференции с международным участием (г. Уфа, 28 – 31 мая 2018 г.) / отв. ред. Бахтизин Р.З. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2018. – 258 с.  
ISBN 978-5-7477-4218-5

В сборнике представлены тезисы докладов участников V Всероссийской научной молодежной конференции с международным участием «Актуальные проблемы микро- и нанoeлектроники».

Тезисы докладов воспроизводятся с представленных авторами оригиналов.

УДК 621.38  
ББК 32.85

ISBN 978-5-7477-4218-5

© БашГУ, 2018

## ПЛЕНАРНЫЕ ЛЕКЦИИ

1. *Professor **Hidemi Shigekawa**, Institute of Applied Physics, University of Tsukuba, Japan*

### **“Mechanically activated switching of Si-based single-molecule junction as imaged with three-dimensional dynamic probe”**

Understanding and extracting the full functions of single-molecule characteristics are key factors in the development of future device technologies, as well as in basic research on molecular electronics. Here we report a new methodology for realizing a three-dimensional (3D) dynamic probe of single-molecule conductance, which enables the elaborate 3D analysis of the conformational effect on molecular electronics, by the formation of a Si/single molecule/Si structure using scanning tunnelling microscopy (STM). The formation of robust covalent bonds between a molecule and Si electrodes, together with STM-related techniques, enables the stable and repeated control of the conformational modulation of the molecule. By 3D imaging of the conformational effect on a 1,4-diethynylbenzene molecule, a binary change in conductance with hysteresis is observed for the first time, which is considered to originate from a mechanically activated conformational change.

2. *Professor Ajay Kumar Mishra, University of South Africa, Johannesburg, RSA*

**“DNA binding studies and Synthesis  
of Ni (II), Co (II), Cu (II) and Zn (II) metal complexes”**

The thiocarbohydrazone Schiff-base ligand with a nitrogen and sulphur donor was synthesized through condensation of pyridine-2-carbaldehyde and thiocarbohydrazide. Schiff-base ligands have the ability to conjugate with metal salts. A series of metal complexes with a general formula  $[MCl_2(H_2L)] \cdot nH_2O$  ( $M = Ni, Co, Cu$  and  $Zn$ ) were synthesized by forming complexes of the  $N^1, N^5$ -bis[pyridine-2-methylene]-thiocarbohydrazone ( $H_2L$ ) Schiff-base ligand. These metal complexes and ligand were characterized by using ultraviolet-visible (UV-Vis), Fourier Transform Infrared (FT-IR),  $^1H$  and  $^{13}C$  NMR spectroscopy and mass spectroscopy, physicochemical characterization, CHNS and conductivity. The biological activity of the synthesized ligand was investigated by using *Escherichia coli* DNA as target. The DNA interaction of the synthesized ligand and complexes on *E. coli* plasmid DNA was investigated in the aqueous medium by UV-Vis spectroscopy and the binding constant ( $K_b$ ) was calculated. The DNA binding studies showed that the metal complexes had an improved interaction due to trans-geometrical isomers of the complexes than ligand isomers in cis-positions.

3. *Академик РАН К.М. Салихов, Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского, КНЦ РАН, г. Казань, РФ*

**«Перспективы использования парамагнитных центров:  
потенциал электронных спинов в квантовых вычислениях и  
квантовой информатике»**

Поиск элементной базы квантовых компьютеров и квантовой информатики является актуальной проблемой современной науки и технологии. Одним из вариантов решения этой проблемы является использование электронных спинов парамагнитных частиц. Наши знания о свойствах парамагнитных частиц и современные методы управления состоянием и эволюцией спинового состояния электронных спинов дают основание с оптимизмом оценивать перспективы использования парамагнитных частиц для реализации квантовых логических операций. Я планирую особое внимание уделить роли методологии спектроскопии электронного парамагнитного резонанса в решении отмеченных проблем.

4. Профессор **Р.А. Бражне**, Ульяновский государственный  
технический университет, г. Ульяновск, РФ

**“Электропроводность кеплеровских графенов  
и нанотрубок на их основе”**

В лекции излагаются вопросы, касающиеся теоретических аспектов исследования электропроводности графеноподобных 2D кристаллов и свернутых из них нанотрубок, атомная структура которых соответствует хорошо известным в математике сеткам Кеплера, в сравнении с классическим графеном  $C_6$ . Дается теория баллистического переноса свободных носителей заряда при низких температурах и теория электропроводности таких наноструктур в условиях рассеяния носителей на акустических фононах. Показывается квантовый характер электропроводности графенов и нанотрубок в баллистическом режиме и ее обратно пропорциональная зависимость от температуры в диффузионном режиме.

Рассматривается выполнение закона Видемана – Франца для исследуемых графенов и нанотрубок при низких и высоких температурах.

Обсуждаются вопросы конструирования токопроводящих элементов и наносоленоидов на основе полученных результатов и возможности их практического применения в нанoeлектронике.

5. Профессор **К.А. Кутербеков**, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, Республика Казахстан

## “Развитие технологий водородной энергетики в Казахстане”

Перспективные наукоемкие технологии Водородной энергетики (НТВЭ) активно развиваются во многих развитых высокотехнологичных странах мира (США, Япония, Евросоюз, Германия и другие). Однако, в Казахстане – поддержка таких исследований начата, только с 2014 года. Это сыграло бы важную познавательную и воспитательную роль в обществе, а для молодежи – в особенности. Для убедительности приведу идеи, высказанные недавно Президентом Казахстана Н.А.Назарбаевым.

**Президент** нашей страны призывает молодых ученых «посмотреть за горизонт» и увлечься перспективой развития новых, открываемых видов возобновляемой энергии. Об этом он заявил, выступая в Астане в ходе форума, посвященного 20-летию международной президентской стипендии "Болашак». Нурсултан Назарбаев отметил, что **у Казахстана есть своя ниша энергетического обеспечения** в глобальной экономике. «...Надо посмотреть за горизонт, кому это делать, если не вам?» – обратился он к участникам форума. «Это управляемый термоядерный синтез, **водородная энергетика**, искусственный фотосинтез, концентрированная солнечная энергия. Молодые ученые должны увлечься такой перспективой, и я хочу вам это напомнить», - заявил Н.Назарбаев.

Индустриально *развитые экономики мира инвестируют большие финансовые средства – на НТВЭ*. В апреле 2017г. Премьер-Министр Японии Синдзо Абэ заявил: «Наша цель – **первыми в мире построить общество**, основанное на использовании водорода. К 2020 году на дорогах Японии будет около 40 тысяч автомобилей и автобусов на топливных батареях, использующих водород, а к 2030-му – до 800 тысяч».

Основным преобразователем водорода в энергию являются низко- и высокотемпературные топливные элементы. К настоящему моменту *достигнутый КПД промышленных низкотемпературных водородных элементов превышает (40–50)%, что заметно выше, чем у традиционных двигателей внутреннего сгорания. Высокотемпературные окисные водородные элементы могут иметь КПД более 90%.*

В рамках первой НТП по водородной энергетике (2015–2017)- нами *впервые созданы* экспериментальные установки для синтеза и исследования характеристик твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ). Нами разработаны, созданы два испытательных стенда ТОТЭ и топливных элементов, работающие при низких, средних и высоких температурах.

*Впервые синтезирован* новый многослойный электролит из материалов на основе  $ZrO_2$  и  $CeO_2$  с характеристиками на уровне лучших мировых достижений. *Проводится работа по подготовке кадров* по альтернативной и водородной энергетике, результаты НТП внедрены учебный процесс ЕНУ им.Л.Н. Гумилева.

*Идея Программы заключается* в том, чтобы успешно реализовать комплексную целостную Программу, охватывающую современные НТВЭ и новые энерго-эффективные функциональные материалы, используя для этого передовые достижения нано- и аддитивных технологий. Для их достижения последовательно реализуются следующие мероприятия: экспериментально-прикладные исследования новых способов нано-структурирования и синтеза ТОТЭ, создание и усовершенствование современных экспериментальных установок, применение прецизионных аналитических методик.

### “Design of Novel Nanostructures from *Ab initio* Calculations”

I will present our recent results on some novel structures at the nanoscale using *ab initio* calculations. This will include: 1) One dimensional *inorganic* double helices of the type  $A_2B_2XY$  ( $A = \text{Si-Pb}$ ,  $B = \text{Cl-I}$ , and  $XY = \text{PN}$  and  $\text{SiS}$ ) as shown in the figure. In these structures a helix of the halide of a group-IV element wraps around the PN or SiS helix and the two are interconnected [1]. All these double helices are semiconducting and in many cases the band gap is direct. 2) Thin layers (one to six unit cell thick) of inorganic halide perovskites with stoichiometry  $A_{n+1}M_nX_{3n+1}$  ( $n = 1 - 6$ ,  $A = \text{Cs}$ ,  $M = \text{Pb}$  and  $\text{Sn}$ , and  $X = \text{Cl}$ ,  $\text{Br}$ , and  $\text{I}$ ) which are attracting great interest. All these layers have a direct band gap [2] and this is promising for solar energy as well as optoelectronic applications.



Our studies show that layers with  $n > 3$  can give stability comparable to bulk counterpart and that the thickness as well as the choice of the elements allows one to tailor the properties of these systems. If time will permit, I shall present some results on nanostructures of boron including quasiplanar [3], cages, tubular [4], and borophene [5].

**Acknowledgements:** I gratefully acknowledge my collaborators T.K. Bijoy, A. Bala, A.K. Deb, A.B. Rahane, P. Saha, N. Sukumar, J. Karthikeyan, Y.S. Ranawat, and P. Murugan, who contributed to these studies. The calculations were performed using Magus at SNU and CECRI machines as well as resources at VKF. Financial support from ITC-PAC and DST is thankfully acknowledged.

#### References

- [1] T.K. Bijoy, P. Murugan, and V. Kumar, Phys. Chem. Chem. Phys. **20**, 10060 (2018).
- [2] A. Bala, A.K. Deb, and V. Kumar, J. Phys. Chem. **C122**, 7464 (2018).
- [3.] A. B. Rahane and V. Kumar, Nanoscale, **7**, 4055(2015) and to be published.
- [4] P. Saha, A.B. Rahane, V. Kumar, and N. Sukumar, J. Phys. Chem. **C121**, 10728 (2017).
- [5] J. Karthikeyan, Y.S. Ranawat, P. Murugan, and V. Kumar, to be published.

7. Профессор *Ю.М. Юмагузин*, *Башкирский государственный университет, г. Уфа, РФ*

### **“Полевая электронная спектроскопия”**

Одно из ведущих мест среди методов исследования твердых тел и их поверхности принадлежит методам электронной спектроскопии. Изучение электронных свойств микро- и наноструктур (сверхтонкие полупроводящие и диэлектрические пленки, нанотрубки, наноразмерные в объеме частицы) является чрезвычайно сложной задачей физической электроники, которая продиктована потребностями современных отраслей науки и техники таких, как микро- и наноэлектроника, квантовая электроника, кристаллография и многих других. Важнейшими среди всего многообразия электронных свойств материалов являются следующие: дисперсия электронов по энергиям, процессы локализации-делокализации электронов на поверхностных состояниях, транспортные явления. Все они находятся в тесной связи с химическим и фазовым составом, а также геометрической структурой твердых тел.

Среди множества экспериментальных методов, используемых для исследования электронных свойств твердых тел, особое место занимает полевая электронная спектроскопия – метод, отличающийся высокой информативностью и чувствительностью. Эти качества обусловлены самим явлением полевой эмиссии электронов – сохранением невозмущенного состояния электронов после туннелирования из твердого тела через барьер в вакуум. При этом сам метод позволяет в рамках одного эксперимента одновременно производить измерение энергетического распределения электронов и наблюдать изображения эмитирующей поверхности образца с высоким пространственным разрешением. Кроме этого, при снятии энергетического распределения электронов оказывается возможным зондирование эмитирующей поверхности в нанометровом масштабе.

Метод полевой электронной спектроскопии реализуется в сильных электрических полях. Вместе с тем вид кривой энергетического распределения электронов зависит от величины приложенного электрического поля, температуры образца, проводимости, плотности эмиссионного тока, внешнего излучения, состояния эмитирующей поверхности. Поэтому проведение электронной спектроскопии в сильном электрическом поле при изменении параметров образца и различных внешних воздействиях дает возможность получить информацию фундаментального характера об электронных свойствах образца и процессах, протекающих на его поверхности.

Особо актуальным для современной науки и техники является изучение закономерностей процесса эмиссии электронов из новых

материалов, например, наноструктурированных металлов и углеродных материалов. Наиболее известными примерами таких материалов являются металлы подвергнутые интенсивной пластической деформации, алмазоподобные пленки, фуллерены, углеродные нанотрубки, полимерные пленки и углеродные волокна. Например, для алмазоподобных пленок до сих пор точно не установлен механизм переноса электронов через слабо проводящие алмазоподобные слои и их последующей эмиссии в вакуум. То же можно сказать и полимерных пленках. Уникальные физико-химические характеристики этих материалов делают их перспективными для создания точечных источников электронов для рентгеновских и электронно-зондовых устройств, сверхминиатюрных вакуумных ламп, плоских дисплеев и т.д. Вместе с тем, экспериментальных работ по изучению электронных свойств указанных материалов методом полевой электронной спектроскопии чрезвычайно мало, а по некоторым и вовсе нет, потому проведение подобных исследований представляется актуальным. В докладе представлены как сама методика полевой электронной спектроскопии на основе оригинальной установки полевого электронного спектрометра, так и результаты исследований энергетического распределения эмитированных электронов из различных материалов – чистые металлы, металлы покрытые тонкими пленками (полупроводники, диэлектрики, органические пленки).

8. Профессор **Н.Г. Пугач**, Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, Национальный Исследовательский Университет Высшая Школа Экономики, г. Москва, РФ

### **“Сверхпроводящая спинтроника, как часть наноэлектроники квантовых систем”**

Сверхпроводниковая спинтроника является новой областью в наноэлектронике квантовых систем, которая появилась в 21 веке и активно развивается последние годы. Её основной идеей, как и в обычной спинтронике, является использование переноса спина электронов для хранения и обработки информации, но реализованная в сверхпроводящих контурах при низкой температуре.

Тенденция к миниатюризации элементов электронных цепей, наблюдающаяся последние десятилетия, до недавнего времени хорошо описывалась эмпирическим правилом Мура: каждые 18 месяцев количество элементов интегральной схемы удваивается. Однако сейчас становится очевидным, что дальнейшее увеличение степени интеграции коммерческих наноэлектронных изделий перестало быть возможным. Первая причина, чисто технологическая - невозможность эффективного отвода тепла, выделяемого в единице объема (площади) интегральной схемы. Вторая проблема - фундаментальная: при достижении определенных размеров (очень грубая оценка - порядка 10 нм) процесс протекания электрического тока в таких сверхминиатюрных элементах уже не подчиняется законам классической физики, и в роль вступают качественно новые квантовые явления, нарушающие штатный режим работы устройства. Решением этих проблем мог бы быть отказ от использования десятилетиями отработанных методов КМОП (комплементарная структура металл-оксид-полупроводник), и переходом на сверхпроводящие материалы.

Будет дан обзор существующих направлений развития сверхпроводниковой наноэлектроники, включая магнитную память, Джозефсоновскую логику, кубиты, и квантовые компьютеры. Эта новая область призвана решать следующие задачи: энергосбережение, миниатюризация элементов, их быстроедействие, и наконец, обеспечение работы принципиально нового типа устройств – квантовой логики. В заключение расскажу о нашей последней разработке – сверхпроводниковых спиновых вентилях нового типа.

Доклад делается при поддержке совместными Российско-Греческими проектами RFMEFI61717X0001 и T4DPQ-00031 "Экспериментальное и теоретическое исследование физических свойств низкоразмерных квантовых наноэлектронных систем".

## СЕКЦИЯ «ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТОК И СОЗДАНИЯ НАНО- И МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ»

УДК 531.781.2

### РАЗРАБОТКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ДАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА

Басов М.В.

Федерального государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова», г. Москва, Россия

Тенденции развития современных систем контроля и управления свидетельствуют о возрастающей актуальности использования преобразователей физических величин. Первичным звеном систем контроля и управления, поставляющим данные о давлении газа и жидкости, являются датчики давления (ДД). С 60х годов прошлого века и по настоящий день наиболее распространенным принципом функционирования чувствительного элемента (ЧЭ) ДД является механизм тензорезистивного эффекта в полупроводниковых структурах (кремниевый кристалл). ЧЭ ДД сформирован по технологии микроэлектромеханической системы (МЭМС). Электрическая схема для снятия сигнала от давления в ЧЭ представлена в виде тензочувствительного моста Уитстона (ТМ) из четырёх тензорезисторов (ТР) [1]. В представленной разработке ЧЭ ДД сформирован из тензоэлементов, которые включают в себя не только пассивные составляющие в виде резисторов р-типа, но и активные в виде биполярных вертикальных п-р-п транзисторов. ЧЭ с электрической схемой тензочувствительного дифференциального каскада (ТДК) (рис. 1 б) способен значительно повысить выходную тензочувствительность относительно ЧЭ с электрической схемой ТМ (рис. 1 а). Преимущество достигается за счет дополнительной составляющей выходного сигнала, полученной благодаря тензоэффекту на биполярном тензотранзисторе (БТТ) [2].

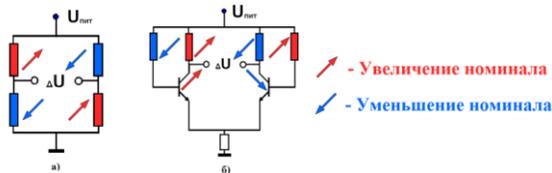


Рис. 1. Электрические схемы ЧЭ ДД: а) мост Уитстона (ТМ), б) дифференциальный каскад (ТДК)

#### Литература

1. Belov N.S., Li L., Klitzke M., Park J-S. High performance piezoresistive low pressure sensors // Article for IEEE Sensors 2016 conference. 2016. Pp. 1406-1408.
2. Vaganov V.I. Advanced materials and technologies for micro/nano-devices, sensors and actuators. History of early research on MEMS in Russia (U.S.S.R) / Springer. 2009. Pp. 3-30.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Беленкова Э.И.

Южно-Уральский государственный медицинский университет, Челябинск, Россия

Углеродные нанотрубки (УНТ) возможно использовать в качестве элементов электронных устройств, так как в зависимости от диаметра и хиральности их проводящие свойства могут изменяться от полупроводниковых до металлических [1,2]. Соединения полупроводниковых и металлических УНТ обладают свойствами наноразмерных диодов [1]. Проектирование более сложных нанoeлектронных устройств возможно при помощи хорошо апробированных

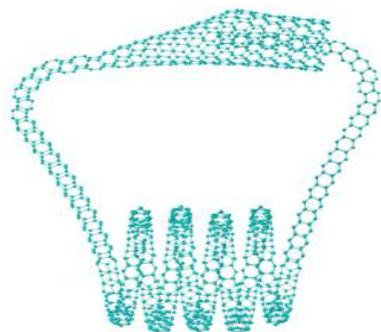


Рис. 1 Колебательный контур

на углеродных соединениях методов молекулярной механики [3-5]. В данной работе методом ММ+ был выполнен расчет геометрически оптимизированной структуры колебательного контура, состоящего только из УНТ (рис.1). Катушка колебательного контура представляет собой спираль, полученную в результате соединения фрагментов УНТ (3,0) и (2,2) при помощи комбинированных топологических дефектов 5-7.

Конденсатор состоит из вложенных друг в друга зигзагообразных УНТ (3,0) и (12,0). Переход конденсатора к катушке осуществляется соединениями УНТ (3,0) и (2,2) при помощи топологического дефекта 5-7. Круговая частота собственных колебаний в контуре  $\sim 3,9 \times 10^{13}$  Гц.

### Литература

1. Belenkov E.A., Zinatulina Y.A. Structure of connections of single-walled carbon nanotubes with the use of the combined 5-7 and 4-8 topological defects // *Physics of the Solid State*. 2010. V. 52. № 4. pp. 868-875.
2. Беленков, Е.А. Закономерности структурного упорядочения многослойных углеродных нанотрубок // *Известия Челябинского научного центра УрО РАН*, 2001, № 1. С. 51-60.
3. Belenkov E.A., Belenkova T.E., Chernov V.M., Mavrinskii V.V. Structural modifications of graphyne layers consisting of carbon atoms in the  $sp$ - and  $sp^2$ -hybridized states // *Journal of Experimental and Theoretical Physics*. 2015. V. 120. № 5. pp. 820-830.
4. Belenkov E.A., Greshnyakov V.A. Diamond-like phases obtained from nanotubes and three-dimensional graphites // *Physics of the Solid State*. 2015. V. 57. № 6. С. 1253-1263.
5. Беленков, Е.А. Моделирование процесса формирования кристаллической структуры углеродного волокна // *Кристаллография*. 1999. Т. 44. № 5. С. 808.

© Беленкова Э.И., 2017 г.

## ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА СТРУКТУРУ МИКРОМАГНИТНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ НА КОЛУМНАРНОМ ДЕФЕКТЕ В МАГНИТООДНООСНОЙ ПЛЁНКЕ

Р.Ф. Галинурова<sup>1</sup>, Р.В. Солонецкий<sup>1</sup>, А.А. Ахметова<sup>1</sup>, Р.М. Вахитов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Башкирский государственный университет, г. Уфа

В настоящее время возможности применяемых устройств накопителей информации практически достигли своих пределов и по плотности записи, и по скорости считывания, и по тепловыделению (термостабильности) и т.д. Поэтому весьма острым становится вопрос о создании устройств записи и считывания информации, основанных на других физических принципах их работы.

Одной из таких перспективных технологий, развиваемых в этом направлении, является использование в качестве элементов памяти магнитных вихрей, которые были обнаружены в наноразмерных пермалловых дисках [1], и сейчас активно исследуются. Последнее связано, во-первых, с необычной их структурой и наличием нетривиальных статических и динамических свойств. Во-вторых, магнитные вихри достаточно часто возникают в наноразмерных геометрически ограниченных ферромагнитных структурах (лентах, полосках, дисках и т.д.) с малой магнитокристаллической анизотропией [2]. Однако, магнитные вихри могут зародиться и в других случаях, например, на определенном виде дефектах, присутствующих в магнитоодноосных плёнках микронных размеров.

Дефекты, содержащиеся в магнетиках, могут отличаться по многим параметрам, в том числе и по характеру взаимодействия с магнитной подсистемой (дефекты типа «потенциальная яма» или «потенциальный барьер»). Расчеты показывают [3], что на одномерных дефектах типа «потенциальная яма» в магнитоодноосных кристаллах при определенных условиях могут образоваться магнитные неоднородности, которые бывают двух типов и соответствуют 0–градусным доменным границам. Они различаются энергией, размерами  $\Delta$  и амплитудой  $\theta_m$  (максимальным углом отклонения вектора намагниченности  $\mathbf{M}$  от оси симметрии  $Oz$ ). Они проявляют ряд интересных свойств, однако наблюдаемые дефекты в реальных магнетиках имеют, по крайней мере, двумерную структуру, и, следовательно, возникает необходимость теоретического изучения магнитных образований на подобных дефектах.

В данной работе была рассмотрена одноосная ферромагнитная плёнка, в которой присутствует двумерный дефект сквозного вида. Предполагается, что он имеет форму цилиндра радиуса  $R_0$  (колумнарный дефект), в области которого параметры меняются скачком, в частности, считается, что в области колумнарного дефекта ( $r < R_0$ ,  $r$  – радиальная переменная) имеет место

легкоплоскостная магнитная анизотропия ( $K_{u1} < 0$ ), а основной объём образца ( $r > R_0$ ), имеет одноосную анизотропию ( $K_{u2} > 0$ ).

Анализ уравнения Эйлера-Лагранжа, описывающего распределение намагниченности  $\mathbf{M}$  в таком магнетике, показывает, что в области колумнарного дефекта образуется вихреподобное магнитное состояние, характеризующееся тремя различными участками вращения магнитных моментов (Рис. 1): центральным ядром (кором), в котором поворот вектора  $\mathbf{M}$  (от состояния  $M_z = -M_s$  до  $M_z \approx 0$ ) происходит в небольшой области размеров  $R_c$  (размер кора), пологим участком, где вращение вектора  $\mathbf{M}$  замедляется из-за наличия легкоплоскостной анизотропии, и участком, расположенным на границе дефекта, в котором вектор  $\mathbf{M}$  в достаточно узкой области поворачивается до состояния с  $M_z = M_s$ , где  $M_s$  – намагниченность насыщения.

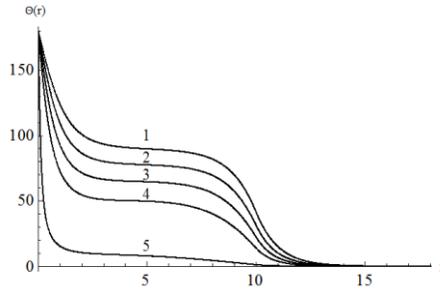


Рис.1. Графики распределения вектора  $\mathbf{M}$ , характеризуемого углом  $\theta$  его отклонения от оси  $z$  в зависимости от поля  $h$  при следующих значениях материальных параметров:  $R_0=10$ ,  $K_{u2} = -K_{u1}$ ,  $A_2=A_1$ ,  $M_{s2}=M_{s1}$ ,  $Q=\infty$ . Линия 1 соответствует  $h = 0$ , линия 2 –  $h = 0,2$ , линия 3 –  $h = 0,4$ , линия 4 –  $h = 0,6$ , линия 5 –  $h = 0,9$ . Здесь  $A$  – обменный параметр,  $Q = K_{u1}/M_{s1}^2$ ,  $h = H/2\pi M_{s1}$ .

Включение магнитного поля  $\mathbf{H} \parallel \mathbf{O}_z$ , приводит к тому, что размер вихреподобного состояния вначале практически не меняется, в то время как размер кора существенно уменьшается вместе с исчезновением границы между средним и третьим участками вращения вектора  $\mathbf{M}$ .

При некотором характерном значении поля  $h_c$  энергия вихреподобного состояния ставится положительной. В этом случае данная неоднородность является уже метастабильной т.к. однородное состояние магнетика является энергетически более выгодным, чем вихреподобное образование. Последнее при достижении  $h = h_c$  ( $h_c$  – критическое поле) коллапсирует, т.е. исчезает.

1. Shinjo T., Okuno T., Hassdorf R, Shigeto K., Ono T., Science, **289**, 930 (2000).
2. K.Yu. Guslienko. Journal of Nanoscience and Nanotechnology, **8**, 2745 (2008).
3. Р.М. Вахитов, Т.Б. Шапаева, Р.В. Солонецкий, А.Р. Юмагузин. ФММ, **118**, 6 (2017).

© Р.Ф. Галинурова, Р.В. Солонецкий, А.А. Ахметова, Р.М. Вахитов 2018 г.

**МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА В СВЕРХРЕШЕТКАХ  
ОБРАЗОВАННЫМИ ФЕРРОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ И МАГНИТНЫМИ  
ПЛЕНКАМИ**

Ахметшин И.И

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Магнитоэлектрический эффект и фазовые переходы в магнитных наноматериалах и ферроэлектриках в сегнетомагнетиках – в современной терминологии - мультиферроиках, представляют огромный интерес и являются направлением интенсивных научных исследований в последние два десятилетия, активно обсуждаются в литературе в настоящее время [1-2].

Нанопленки и сверхрешетки мультиферроиков, благодаря проявляемым свойствам и набору характеристик, являются кандидатами на роль новых материалов для функциональных элементов различных устройств спинтроники и наноэлектроники нового поколения. Математическое моделирование сверхрешеток и нанопленок мультиферроиков позволяет предсказывать их свойства в различных условиях до проведения экспериментов, что в дальнейшем даёт возможность воплотить в реальность наиболее перспективные материалы.

Основной целью моей работы является исследование свойств сверхрешёточных (композиционных) мультиферроиков, составленных из чередующихся слоёв магнетика и ферроэлектрика, в критической области с помощью методов Монте-Карло, а также моделирование влияния внешнего магнитного и электрического поля на формирование поверхностных и магнитоэлектрических свойств. Выбор этих методов обусловлен простой реализацией и высокой вычислительной эффективностью.

В работе получены температурные и полевые зависимости различных физических параметров (параметров порядка, теплоемкости, магнитной и ферроэлектрической восприимчивостей, внутренней энергии, кумулянтов) в широком интервале температур и полей. Построены фазовые диаграммы критических областей магнитной и ферроэлектрической подсистем.

**Литература**

1. Пятаков А.П., Звездин К.А., “Магнитоэлектрические материалы и мультиферроики”, УФН, 2012, т. 182 №6, сс. 593–620
2. Diep H.T., Theoretical Methods for Understanding Advanced Magnetic Materials: The Case of Frustrated Thin Films // J. Science: Advanced Materials and Devices (Elsevier) 2016, №1, pp. 31-44

© Ахметшин И.И., 2018 г.

# ПРОЯВЛЕНИЕ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА НА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ МАГНИТНЫХ ДОМЕНАХ В ПЛЕНКАХ ФЕРРИТОВ ГРАНАТОВ

Гареев Т.Т., Куликова Д.П., Николаева Е.П., Пятаков А.П.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва

Физика магнитоэлектриков относится к приоритетным направлениям современного магнетизма. Возможность управления магнитными свойствами вещества под действием электрического поля и наоборот электрическими свойствами под действием магнитного поля (перекрестные эффекты) открывает новые перспективы создания функциональных устройств, актуальных для развития спинтроники и информационных технологий.

Одним из интересных проявлений магнитоэлектричества является неоднородный магнитоэлектрический эффект, а именно возникновение электрической поляризации в окрестности магнитных неоднородностей вида магнитных доменных границ, в области цилиндрических магнитных доменов (ЦМД), интерфейсов, магнитных вихрей и др. [1 - 3]. Особенностью данного эффекта является, то что он связан неоднородным распределением намагниченности, что позволяет достичь локализации взаимодействия на масштабах десятков-сотен нанометров. Появление электрической поляризации в окрестности магнитной неоднородности позволяет управлять микромагнитными структурами за счет электрических воздействий, в частности при приложении неоднородного электрического поля.

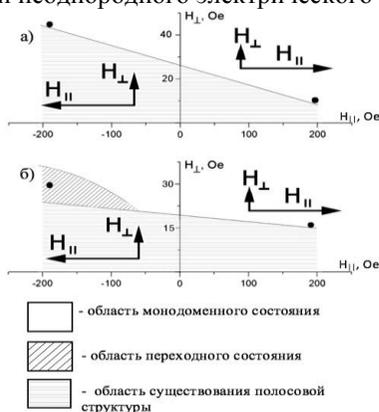


Рис.1 Области существования ЦМД в образцах  $(\text{BiLu})_{1-x}(\text{FeGa})_x\text{O}_{12}$  на GGG подложке. Кристаллографическая ориентация образца в случае: а) (210), в случае б) (110).

В данной работе исследованы ЦМД в эпитаксиальных пленках ферритов гранатов (состава), зарождающиеся под действием неоднородного электрического поля. Впервые процессы смещения магнитных доменных границ в пленках ферритов гранатов наблюдались в работе [4]. Особенности экспериментального электроиндуцированного зарождения ЦМД в пленках

ферритов гранатов были продемонстрированы в работе [5]. В данной работе рассматриваются особенности зарождения цилиндрических магнитных доменов (ЦМД) в пленках ферритов гранатов (FeGe) под действием электрического поля в образцах с кристаллографической ориентацией (210) и (110).

В результате проведенного исследования установлено, что ЦМД зарождаются в образцах с анизотропией в плоскости пленки. Впервые наблюдалось зарождение ЦМД при обоих полярностях электрического поля. На рис. 1 представлены диаграммы областей возможного зарождения ЦМД в координатах проекций магнитного поля в плоскости образца/перпендикулярно плоскости для образцов с кристаллографическими ориентациями (210) (рис. 1а) и (110) (рис. 1б). Черными точками отмечены места зарождения ЦМД при напряжении 1,6 кВ на точечном электроде. В образцах (210) ЦМД всегда зарождались в областях монодоменного состояния образца, близких к областям существования полосовой доменной структуры; в (110) помимо этих областей, ЦМД зарождаются еще и в переходной области, с доменной структурой, индуцированной полем в плоскости.

Таким образом, нами экспериментально продемонстрирована возможность локального зарождения цилиндрических магнитных доменов (ЦМД) из монодоменного состояния в произвольной области пленки феррита граната (пленки кристаллографической ориентации (210)) с помощью электрически заряженного зонда. Размер ЦМД, зарождавшихся вблизи точки контакта зонда и образца, зависит от величины постоянного напряжения, поданного на зонд. При снятии напряжения ЦМД удаляются от зонда, уменьшаясь в размерах до равновесного радиуса.

Цилиндрические магнитные домены, доменные стенки, а также магнитные скирмионы могут стать основным строительным элементом нового поколения устройств спинтроники. Подобные структуры требуют меньших энергозатрат на зарождение одной элементарной ячейки и меньшей энергии для ее перемещения, что делает устройства на основе ЦМД, магнитных доменных границ или скирминов несомненным конкурентом среди уже существующих ПЗУ, в этой связи исследование возможностей магнитоэлектрического контроля ЦМД в пленках ферритов гранатов имеет важную практическую значимость.

Работа поддержана грантами РФФИ №№16-02-00494, 16-02-00336.

1. А.К. Звездин, А.П. Пятаков, УФН 52 (2009), 845.
2. Y. Tokura, S. Seki, *Advanced materials* 22.14 (2010)1554.
3. А.П. Пятаков, А.С. Сергеев, Е.П. Николаева и др. УФН, **185** (2015), 1077.
4. А.С. Логгинов и др. ЖЭТФ 86 (2007), 115.
5. Д. П. Куликова др. Письма в ЖЭТФ, **104** (2016), 196.

## **МАГНИТНЫЕ СКЕРМИОНЫ – ПЕРСПЕКТИВЫ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Гареева З.В.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Башкирский государственный университет, <sup>2</sup>ИФМК УНЦ РАН, г. Уфа

Магнитные скирмионы - наноразмерные объекты, в последнее время привлекают активное внимание исследователей. В первую очередь это связано с перспективами развития спинтроники и устройств, предназначенных для сверхплотного хранения информации, магнитной памяти нового поколения, в которых в качестве активных функциональных элементов могут выступать скирмионы. Скирмионы – это разновидность 2D солитонов [1], они являются микромагнитными объектами с нетривиальной топологией, что представляет несомненный интерес для фундаментальных исследований.

Магнитные скирмионы, несмотря на наноразмеры (диаметр скирмиона составляет 30 – 700 нм), являются сложными микромагнитными системами, состоящими из  $\sim 10^6$  спинов, за формирование и устойчивость этих состояний отвечают различные физические механизмы. Скирмионы выступают в качестве одних из самых перспективных элементов технологий, связанных с развитием устройств магнитной памяти, записи и считыванием информации. Это связано с набором управляемых параметров (поляриность, киральность, топологический заряд), с наноразмерами, с уникальной реакцией скирмионов на внешние воздействия.

Скирмионные состояния в магнетиках были предсказаны теоретиками задолго до появления первых экспериментальных работ. Решения, описывающие структуру магнитного вихря известны с 70-х годов 20 века. [1]. Первые эксперименты по наблюдению скирмионных состояний датируются 2009 годом - статья Мюлбауэра в журнале Science, в которой сообщалось о наблюдении решетки магнитных вихрей в кристаллах MnSi при низких температурах в сильном магнитном поле [2]. Развитие современных технологий по созданию тонких пленок, слоистых структур, а также экспериментальных методов (магнитной нейтрографии, Лоренцевской микроскопии, атомной силовой микроскопии) позволили обнаружить скирмионные образования в традиционных магнитных материалах и новых магнетиках. Современные технологии позволяют конструировать новые материалы, в которых наблюдаются магнитные вихревые образования: скирмионные кристаллы, а также среды с локализованными вихревыми состояниями при высоких (комнатных) температурах.

### **Литература**

1. Косевич, Иванов, Ковалев Нелинейные волны намагниченности
2. S. Muhlbauer, et al. Science 323, 915 (2009). © Гареева З.В.2018г.

**СПИНОВЫЕ СПИРАЛИ В МУЛЬТИФЕРРОИКЕ ФЕРРИТЕ  
ВИСМУТА**Гареева З.В.<sup>1,2</sup><sup>1</sup>Башкирский государственный университет, <sup>2</sup>ИФМК УНЦ РАН, г. Уфа

Феррит висмута – мультиферроик, магнитоэлектрические свойства которого реализуются при комнатных температурах - является перспективным материалом наномagnetизма и спинтроники. С точки зрения магнитных свойств он характеризуется антиферромагнитным упорядочением, но как показывают рентгенографические исследования, спины ориентируются в базисной плоскости так, что они образуют циклоидальную структуру, несоизмеримую с периодом кристаллической решетки. Исследования спиновых циклоид в феррите висмута  $\text{BiFeO}_3$  (BFO) начались в 60 – х годах прошлого века, они активно ведутся и в настоящее время [1].

Спиновые спиральные структуры могут быть использованы в качестве спинового транспорта при разработке спинтронных устройств, в средствах квантовых коммуникаций, в качестве спиновых проводов для передачи магнитной информации. В мультиферроиках вектор киральности определен а  $\text{r}i\theta i\theta i$ , его направление перпендикулярно направлению вектора электрической поляризации, что дает преимущество данных материалов в использовании в данных технологиях.

Наличие магнитной спирали является характерной особенностью магнитного упорядочения  $\text{BiFeO}_3$  – магнитные моменты ионов Fe, сохраняя локальную антипараллельную ориентацию, поворачиваются вдоль выделенного кристаллографического направления, формируя спиральную структуру. Период спирали в монокристаллических образцах составляет 620 Å, что намного превышает параметр кристаллической решетки. Спины в циклоиде разворачиваются в плоскости, содержащей вектор поляризации и вектор распространения модулированной волны, перпендикулярный к направлению поляризации в кристалле. Т.к. в монокристаллах существует 8 возможных направлений вектора поляризации, в объемных образцах могут быть реализованы несколько видов спиральных структур с различными направлениями векторов распространения.

В докладе представлен обзор по спиральным спиновым структурам в мультиферроике феррита висмута, рассмотрены их характерные свойства, физические механизмы, отвечающие за формирование несоразмерной спиральной структуры.

**Литература**

1. А.В. Залесский, А.К. Звездин, А.А. Фролов, А.А. Буш. /Письма в ЖЭТФ.- 2000. - Т. – 71. – С. 682.

© Гареева З.В.2018 г.

## ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ И ЭЛЕКТРОННОЙ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛ-ОРГАНИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕЙСА

Зайцев Н.Л.

Институт физики молекул и кристаллов УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

Тонкие пленки органических молекул осажденные на металлическую поверхность представляют большой интерес из-за их возможного применения в микро- и оптоэлектронных промышленности. Производительность возможных электронных устройств обусловлена эффективностью переноса заряда через металл-органический интерфейс, который в свою очередь зависит от положения молекулярных электронных уровней относительно уровня Ферми металлической подложки и перекрывания их волновых функций. Наличие интерфейсного состояния (ИС) [1] является дополнительным фактором влияющим на общий перенос заряда, хотя его роль в этом процессе и механизм формирования не выяснены до конца.

Целью данной работы является изучение влияния температуры на энергию интерфейсного состояния монослоя молекул NTCDA адсорбированного на поверхности Ag(111) в рамках метода теории функционала электронной плотности.

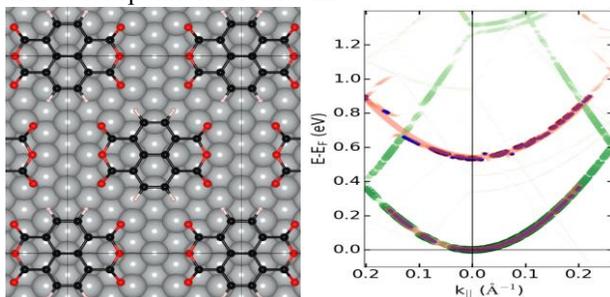


Рис 1. (а) Элементарная ячейка монослоя NTCDA на Ag(111). (б) Интерфейсное (красный) и поверхностное состояние (зеленый) NTCDA/Ag(111).

Результаты расчета показывают, что для адекватного описания расстояния адсорбции молекулярного монослоя (Рис. 1а) необходимо учитывать дисперсионные силы ван дер Ваальса. Интерфейсное состояние имеет квадратичную дисперсию (Рис. 1б), а его энергия линейно зависит от расстояния адсорбции, что проявляется и для других интерфейсов [2]. Температурная зависимость энергии ИС определяется температурной зависимостью среднего расстояния адсорбции.

### Литература

1. Зайцев Н.Л., Нечаев И.А., Чулков Е.В. Изменение поверхностных состояний в тонких пленках Ag(111) при адсорбировании монослоя органических молекул PTCDA // ЖЭТФ, 2010, 137(1), с.129-35.

**СТРУКТУРА И ДИНАМИКА СОЛИТОНОВ  
МОДИФИЦИРОВАННОГО УРАВНЕНИЯ СИНУС-ГОРДОНА С  
УЧЁТОМ ПРИМЕСЕЙ, ВНЕШНЕЙ СИЛЫ И ЗАТУХАНИЯ**

Кудрявцев Р.В., Капитонов И.В., Гумеров А.М.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Одним из самых известных представителей интегрируемых нелинейных дифференциальных уравнений является уравнение синус-Гордона (УСГ). На сегодняшний день модели, основанные на использовании данного уравнения и его различных модификаций, часто используются для исследования различных задач радиофизики и спинтроники, связанных с использованием магнитных материалов. Однако построение различных моделей, наиболее адекватно описывающих физические системы, приводит к необходимости модифицировать УСГ, вводя, например, переменные коэффициенты, внешнюю силу и затухание. Часто исследуется случай наличия пространственной модуляции периодического потенциала (или примеси) (см. например, [1-3]).

В работе для случая (1+1) - мерного УСГ показана возможность аналитического и численного решения задачи для случая произвольного числа примесей (или случая мультислойного ферромагнитного материала). Для случая наличия двух примесей определено наличие критического значения расстояния между примесями, которое приводит к двум качественно различным сценариям динамического поведения кинка УСГ. Рассмотрены структура и свойства трех- и четырехкинковых решений уравнения синус-Гордона, возбуждаемых в области примесей. Рассмотрено влияние внешней силы и неоднородного затухания на динамику кинков и солитонов модифицированного УСГ.

Работа поддержана грантом РФФИ, проект **18-31-00122**.

**Литература**

1. Gumerov A.M., Ekomasov E.G., Zakir'yanov F.K., Kudryavtsev R.V., Structure and Properties of Four-Kink Multisolitons of the Sine-Gordon Equation // *Comput. Math. Math. Phys.*, 2014, v. 54(3), pp. 491–504.

2. Ekomasov E.G., Gumerov A.M., Kudryavtsev R.V., On the Possibility of the Observation of the Resonance Interaction between Kinks of the Sine-Gordon Equation and Localized Waves in Real Physical Systems // *JETP Letters*, 2015, v. 101(12), pp. 835–839.

3. Ekomasov E.G., Gumerov A.M., Kudryavtsev R.V., Resonance dynamics of kinks in the sine-Gordon model with impurity, external force and damping // *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 2017, v. 312, pp. 198–208.

© Кудрявцев Р.В., Капитонов И.В., Гумеров А.М., 2018 г.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСТРИЙНОЙ ЭМИССИОННОЙ СИСТЕМЫ С МОДУЛЯТОРОМ МЕТОДОМ ПЕРЕКРЫТИЯ ОБЛАСТЕЙ

Маслова Т.А.

Санкт-Петербургский государственный университет,  
г. Санкт-Петербург, Россия

Работа посвящена математическому моделированию эмиссионного триода эллиптической формы с модулятором на основе острейного полевого катода (Рис. 1). Системы такого типа находят широкое применение в изготовлении микро- и нанoeлектронных приборов и поэтому требуют точные методы расчёта параметров [1, 2].

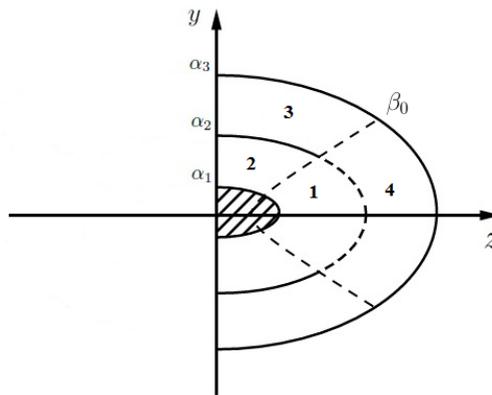


Рис.1. Схематическое изображение эллиптической триодной системы.

Параметры задачи:

- $\alpha = \alpha_1, \beta \in [0, \pi/2]$  – поверхность катода;
- $\alpha = \alpha_2, \beta \in [\beta_0, \pi/2]$  – поверхность модулятора;
- $\alpha = \alpha_3, \beta \in [0, \pi/2]$  – поверхность анода;
- $\alpha \in [\alpha_1, \alpha_3], \beta = \pi/2$  – поверхность плоской подложки;

- $U(\alpha_1, \beta) = f_K = 0$  – потенциал на катоде ;
- $U(\alpha_2, \beta) = f_M$  – потенциал на модуляторе ;
- $U(\alpha_3, \beta) = f_A$  – потенциал на аноде ;
- $U(\alpha, \pi/2) = 0$  – потенциал на плоской подложке;

Для нахождения электростатического потенциала вся область между катодом и анодом разбивалась на 3 подобласти:

- I – подобласти 1 и 2;  
 II – подобласти 3 и 4;  
 III – подобласти 1 и 4.

Для каждой из подобластей решалось уравнение Лапласа в координатах вытянутого эллипсоида вращения  $\Delta U(\alpha, \beta) = 0$  с соответствующими граничными условиями [3, 4]:

$$\begin{cases} U_I(\alpha_1, \beta) = f_K, & \beta \in [0, \pi/2]; \\ U_I(\alpha, \pi/2) = 0, & \alpha \in [\alpha_1, \alpha_2]; \\ U_I(\alpha_2, \beta) = U_{III}(\alpha_2, \beta), & \beta \in [0, \beta_0]; \\ U_I(\alpha_2, \beta) = f_M, & \beta \in [\beta_0, \pi/2]; \end{cases}$$

$$\begin{cases} U_{II}(\alpha_2, \beta) = U_{III}(\alpha_2, \beta), & \beta \in [0, \beta_0]; \\ U_{II}(\alpha_2, \beta) = f_M, & \beta \in [\beta_0, \pi/2]; \\ U_{II}(\alpha_2, \beta) = f_A, & \beta \in [0, \pi/2]; \end{cases}$$

$$\begin{cases} U_{III}(\alpha_1, \beta) = f_K, & \beta \in [0, \beta_0]; \\ U_{III}(\alpha_2, \beta) = f_A, & \beta \in [0, \beta_0]; \\ U_{III}(\alpha, \beta_0) = U_I(\alpha, \beta_0), & \alpha \in [\alpha_1, \alpha_2]; \\ U_{III}(\alpha, \beta_0) = U_{II}(\alpha, \beta_0), & \alpha \in [\alpha_2, \alpha_2]. \end{cases}$$

Для решения поставленной граничной задачи был использован метод перекрытия областей [5].

### Литература

1. W. Zhu, et al., "Nanotube field electron emission: principles, development and applications", Vacuum Microelectronics, John Wiley and Sons, Inc., 2001.
2. Елинсон М.И., Васильев Г.Ф. Автоэлектронная эмиссия. М.: Физматлит, 1958. 272 с.
3. Маслова Т. А. Моделирование эмиссионной системы с модулятором на основе острейного полевого катода // Актуальные проблемы микро- и нанoeлектроники. Уфа: РИЦ БашГУ, 2016. С. 19–20.
4. Т.А. Maslova and Е.М. Vinogradova, "Diode System on the Basis of Field Emitter with Semi-Ellipsoid Shape Mathematical Modeling", in Young Researchers in Vacuum Micro/Nano Electronics (VMNE-YR), Saint Petersburg, Oct. 2016.
5. Виноградова Е.М. Математическое моделирование электронно-оптических систем: Учебно-метод. пособие. – СПб., 2005. – 112 с.

© Маслова Т.А., 2018 г.

## МИКРОМАГНИТНЫЕ СТРУКТУРЫ, ОБРАЗУЮЩИЕСЯ В НЕОДНОРОДНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ В МАГНИТООДНООСНЫХ ПЛЕНКАХ

Р.М. Вахитов<sup>1</sup>, Э.В. Гареева<sup>1,2</sup>, Р.В. Солонецкий<sup>3</sup>, Ф.А. Мажитова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> БашГУ, г. Уфа, <sup>2</sup> ИФМК УФИЦ РАН, г. Уфа, <sup>3</sup> УГАТУ, г. Уфа

В последние годы наблюдается возрастающий интерес к различным магнитоэлектрическим механизмам. Возможность управления магнитными доменами границами (ДГ) за счет действия неоднородного электрического поля является одним из значимых проявлений магнитоэлектрического эффекта [1].

В данной работе рассмотрено влияние неоднородного электрического поля вида  $\mathcal{E} = \mathcal{E}_0 / \text{ch}(y/L)$ , на микромагнитную структуру одноосного ферромагнетика с неоднородным магнитоэлектрическим взаимодействием (НМЭВ). Здесь  $L$  – определяет размер этой области вдоль оси  $Oy$  (направление неоднородности магнетика),  $\mathcal{E}_0$  – величина напряженности поля ( $\mathcal{E} \parallel Oz$ ) в центре его области действия ( $y=0$ ). Энергия магнетика, приведенная к площади сечения пластины плоскостью  $xOz$ , записывается в виде:

$$E = \int_{-\infty}^{\infty} \{ A [(d\varphi/dy)^2 + \cos^2\theta \varphi (d\theta/dy)^2] + K_u (\sin^2\theta \cos^2\varphi + \sin^2\varphi) + 2\pi M_s^2 \sin^2\varphi + \mathcal{E} M_s^2 [(b_1 \cos^2\theta \cos\varphi + b_2 \sin^2\theta \sin\varphi) \cos\theta \frac{d\varphi}{dy} + b_2 \sin\theta \sin\varphi \cos\theta \frac{d\theta}{dy}] \} dy$$

где  $\theta, \varphi$  – углы, определяющие вектор намагниченности  $\mathbf{m} = \mathbf{M}/M_s$ ,  $A$  – обменный параметр,  $K_u$  – константа одноосной анизотропии,  $M_s$  – намагниченность насыщения,  $b_1, b_2$  – константы НМЭВ.

Полученные численные расчеты показывают, что при включении электрического поля  $180^\circ$  ДГ блоховского типа преобразуется в подобную структуру с выходом намагниченности из плоскости ДГ, характеризуемого углом  $\varphi$ . Угол  $\varphi$  достигает своего максимального значения в центре стенки ( $y=0$ ) и возрастает при дальнейшем увеличении электрического поля  $\mathcal{E}_0$ . Постепенно  $180^\circ$  ДГ становится полностью неелевской.

Флексомагнитоэлектрический механизм ДГ способствуют появлению электрической поляризации  $P$ . Существенно неоднородное электрическое поле может привести при определенных условиях к зарождению цилиндрического домена и её трансформации в заряженный полосовой домен, что согласуется с ранее проведенными исследованиями в [2].

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-02-00336-А

### Литература

1. Pyatakov A.P., Sechin D.A., et al. // Europhys. Lett., **93** (2011).
2. Д.П.Куликова и др. // Письма в ЖЭТФ, **104:3** (2016).

## ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СВЕРХРЕШЁТОК С ПЕРЕМЕННОЙ СПИНОВОЙ КОНЦЕНТРАЦИЕЙ

Нугуманов А.Г.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

В последние годы наблюдается рост интереса к исследованию фазовых переходов (ФП), поверхностных, магнитных и термодинамических свойств и структуры основного состояния в кристаллах с различной спиновой концентрацией [1-2]. Моделирование таких систем применяется для описания свойств димеров и жидких кристаллов.

Современные технологии позволяют создавать сверхрешётки, состоящие из чередующихся атомарных слоёв с различной магнитной структурой. В данной работе мы моделируем сверхрешётку с различным магнитным упорядочением для исследования термодинамических свойств поверхностных слоёв и зависимость ФП от концентрации спинов в поверхностных и интерфейсных слоях методами Монте – Карло.

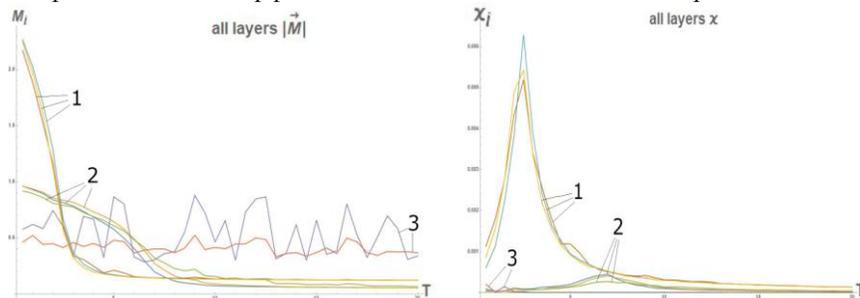


Рис. 1 Намагниченность и магнитная восприимчивость ферромагнитной сверхрешётки с разной концентрацией и конкурирующим взаимодействием.

На рис. 1 представлены результаты моделирования ферромагнитной сверхрешётки с разной концентрацией и конкурирующим взаимодействием с размерами  $30 \times 30 \times 8$ . 1,2 - слои с амплитудами спинов  $\vec{S}_1 = 2.5$  и  $\vec{S}_2 = 1$ , 3 - слои с подвижными спинами в концентрации 90%. Обменные параметры:  $J_1 = 1$  между  $\vec{S}_1$  и  $\vec{S}_1$ ,  $J_2 = 5$  между  $\vec{S}_2$  и  $\vec{S}_2$ ,  $J_3 = -5$  между  $\vec{S}_1$  и  $\vec{S}_2$ . Написана и апробирована программа, позволяющая вычислять различные термодинамические характеристики в широком температурном диапазоне при различных концентрациях.

### Литература

1. A. Bailly-Reyre, H.T. Diep, M. Kaufman, Phase transition and surface sublimation of a mobile Potts model, Phys. Rev. E **92**(4), 042160 (2015)

© Нугуманов А.Г., 2018 г.

**МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В ПЛЕНКАХ ФЕРРИТ – ГРАНАТОВ С НЕОДНОРОДНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ НАМАГНИЧЕННОСТИ**А.И. Попов<sup>1</sup>, Ф.А. Мажитова<sup>3</sup>, З.В. Гареева<sup>2,3</sup>, Р.А. Дорошенко<sup>2</sup><sup>1</sup>НИУ «Московский Институт электронной техники», г. Зеленоград<sup>2</sup>ИФМК УФИЦ РАН, г. Уфа, <sup>3</sup>БашГУ, г. Уфа

Создание электрических устройств, управляемые магнитным полем, которые позволяют избежать дополнительных энергетических потерь, в отличие от магнитных устройств, которые переключаются током, является одним из перспективных направлений в науке. Такая технологическая необходимость возродила интерес к магнитоэлектрическим материалам [1-2], в частности к пленкам феррит-гранатов. Феррит-гранаты (ФГ) обладают сложной магнитной структурой. Наличие в них нескольких магнитных подрешеток ( $a$  – октаэдрической,  $d$  - тетраэдрической,  $c$  – додекаэдрической) с редкоземельными ионами ( $R, f$  – ионами) в  $c$  - позициях и ионами железа ( $Fe, d$  - ионами) в  $a, d$  - позициях; конкуренция между  $f$  - и  $d$  - подсистемами может привести к проявлению магнитоэлектрических свойств. В результате действия на магнитные ионы в  $c, d$  - позициях как внешнего, так и внутреннего эффективного магнитного поля обменного R-Fe взаимодействия, возникающего при наличии доменной границы, приводит к возникновению электрических дипольных моментов редкоземельных ионов [3] и ионов железа.

В данной работе исследован магнитоэлектрический эффект в пленках феррит – гранатов с неоднородным распределением намагниченности. В процессе теоретических исследований установлено, что магнитоэлектрический эффект в феррит - гранатах связан с поляризуемостью редкоземельных ионов в  $c$ - позициях и ионов железа  $Fe^{3+}$  в  $d$ -позициях. В (111) - ориентированной пленки ФГ, образуется неоднородное распределение намагниченности вида  $90^0$  доменной границы, в результате различия объемной и поверхностной магнитных анизотропий. Расчеты показывают, что вклады электродипольных моментов  $f$  – и  $d$  - ионов в результирующую электрическую поляризацию различны.

Работа поддержана грантом РФФИ № 16-02-00336-А

1. А.С. Логгинов, Г.А. Мешков, А.В. Николаев, А.П. Пятаков. Письма в ЖЭТФ **86**, 2 (2007).
2. А. I. Popov, D. I. Plokhov, A. K. Zvezdin Phys. Rev. B **90**, 214427 (2014).
3. А. I. Popov, K. A. Zvezdin, Z. V. Gareeva, F. A. Mazhitova, R. M. Vakhitov, A. R. Yumaguzin and A. K. Zvezdin J. Phys.: Condens. Matter **28**, 456004 (2016).

© А.И. Попов, Ф.А. Мажитова, З.В. Гареева, Р.А. Дорошенко 2018 г.

## ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ НА ГРАНИЦЕ МАГНИТНОГО ДИЭЛЕКТРИКА

Толкачев В.А., Харитонов О.Г., Плаксин П.С., Кузьмин Д.А, Бычков И.В.  
Челябинский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Поверхностные электромагнитные волны (ПЭВ) впервые были описаны А. Зоммерфельдом в 1899г. для случая распространения волны вдоль цилиндрического проводника. В 1907г. И. Ценнек, объясняя дальнюю радиосвязь, математически описал распространение электромагнитных волн вдоль поверхности проводника (Земли). Однако представления о ПЭВ долгое время были достоянием узкого круга специалистов и практически нигде не использовались. В настоящее время исследования и применения ПЭВ развиваются достаточно динамично [1-4]. Это обусловлено уникальными свойствами таких волн: возможностью значительного усиления напряженности поля в ПЭВ и высокой пространственной локализацией. Практический интерес к ПЭВ обусловлен новыми возможностями, открываемыми их использованием в нелинейной оптике, микроскопии сверхвысокого разрешения, оптической спектроскопии.

В работе исследуется распространение поверхностных электромагнитных волн на поверхности магнитного диэлектрика в сильных магнитных полях. В работе приводятся условия существования ПЭВ на границе вакуум – магнитный диэлектрик. Моделируются зависимость показателя преломления и коэффициентов затухания от величины внешнего магнитного поля и частоты.



Рис.1. Геометрия задачи

Распространение поверхностной электромагнитной волны исследуется в плоскости XZ в структуре вакуум – магнитный диэлектрик, показанной на рис.1. Исследовались три различные геометрии:  $(\vec{\gamma} \perp \vec{\beta} \parallel \vec{H})$ ,  $(\vec{\gamma} \perp \vec{\beta} \perp \vec{H})$  и  $(\vec{\gamma} \parallel \vec{H} \perp \vec{\beta})$ . В данной постановке  $\gamma$  – коэффициент затухания,  $\beta$  –

постоянная распространения, тензор магнитной проницаемости имеет следующий вид:

$$\hat{\mu} = \begin{pmatrix} \mu & i\mu_a & 0 \\ -i\mu_a & \mu & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

где  $\mu = 1 + \omega_g \omega_M / (\omega_g^2 - \omega^2)$ ,  $\mu_a = \omega \omega_M / (\omega_g^2 - \omega^2)$ ,  $\omega_M = 4\pi gM$ ,  $\omega_g = g(H + aM)$ .

Здесь  $\omega$  – частота,  $\omega_M$  – магнитостатическая частота,  $\omega_g$  – частота спиновых волн,  $g$  – гиромагнитное отношение,  $M$  – намагниченность,  $a$  – постоянная анизотропии.

В работе проведено исследование распространения поверхностных электромагнитных волн (ПЭВ) на границе вакуум- магнитный диэлектрик, исследован спектр этих волн в зависимости от величины внешнего магнитного поля и частоты. В качестве примера моделирования распространения ПЭВ был выбран материал с  $\varepsilon = 10$ . Так же в работе получены дисперсионные уравнения для ПЭВ в случае различных геометрий. Рассчитаны: спектр ПЭВ, значения постоянных распространения и коэффициентов затухания.

#### Литература

1. F.Villa, J.A.Gaspar-Armenta: Electromagnetic surface waves: photonic crystal-photonic crystal interface // Optics Communications, 2003, V. 223, pp. 109-115.
2. J.A.Gaspar-Armenta, F.Villa: Photonic surface-wave excitation: photonic crystal-metal interface // Journal of the Optical Society of America B, 2003, V. 20, pp. 2349-2354.
3. David F., P.Pile: Gap modes of one-dimensional photonic crystal surface waves // Applied Optics 44, 2005, pp. 4398-4401.
4. Konopsky V.N., Alieva E.V.: Optical biosensors based on photonic crystal surface waves // Methods Mol. Biol., 2009, V. 503, pp. 49-64.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИОДНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ТОНКОГО ПОЛЕВОГО ЭМИТТЕРА

Калатурская Э.В.

Санкт-Петербургский государственный университет,  
г. Санкт-Петербург, Россия

В настоящее время микро- и наноэлектроника имеет широкий спектр применения благодаря уникальным свойствам полевых катодов. На основе явления полевой эмиссии было создано множество разнообразных устройств, используемых в научных и прикладных целях. Так, развивающиеся технологии наноэлектроники позволяют использовать углеродные нанотрубки в качестве основы для создания полевых эмиссионных катодов [1] - [4].

Данная работа посвящена моделированию осесимметричной диодной системы с бесконечно тонким полевым катодом. Распределение электростатического потенциала рассчитывается в цилиндрической системе координат  $(r, z)$  в (см. Рис. 1).

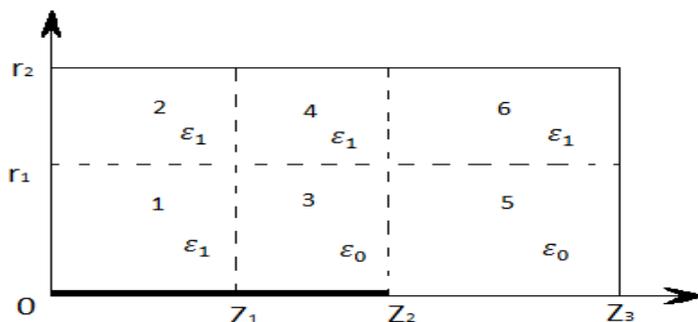


Рис.1. Схематическое изображение цилиндрической диодной системы.

Параметры задачи:

$r = 0, (0 \leq z \leq z_2)$  – поверхность полевого катода;

$r = r_2, (0 \leq z \leq z_3)$  – граница диодной системы по переменной  $r$ ;

$r = r_1, (0 \leq z \leq z_2)$  – граница раздела диэлектриков;

$z = 0, (0 \leq r \leq r_2)$  – поверхность подложки катода;

$z = z_3, (0 \leq r \leq r_2)$  – поверхность анода.

Распределение потенциала  $U(r, z)$  удовлетворяет уравнению Лапласа с граничными условиями:

$$\begin{aligned} \Delta U(r, z) &= 0; \\ U(0, r) &= 0, & (0 \leq r \leq r_2); \\ U(z_3, r) &= U_0, & (0 \leq r \leq r_2); \\ U(z, 0) &= 0, & (0 \leq z \leq z_2); \\ U(z, r_2) &= 0, & (0 \leq z \leq z_3). \end{aligned}$$

Для решения граничной задачи, в соответствии с методом разделения переменных, вся область исследуемой системы разбивается на 6 подобластей, как показано на Рис.1. В каждой из этих подобластей распределение потенциала представляется в виде рядов Фурье-Бесселя. Коэффициенты рядов находятся из заданных граничных условий и из дополнительных условий на границах раздела подобластей - непрерывности нормальной составляющей напряженности поля или вектора электрического смещения и из условий непрерывности потенциала [5], [6].

### Литература

1. Виноградова Е.М., Егоров Н. В. Математическое моделирование диодной системы на основе полевого эмиттера. Журнал технической физики. 2011. Т. 81. Вып. 9. С. 1–5.
2. Виноградова Е.М., Егоров Н. В. Математическое моделирование диодной системы на основе полевого эмиттера // Журнал технической физики. 2011. Т. 81. Вып. 9. С. 1–5.
3. Е.М. Vinogradova, E.N. Egorov, D.S. Televnyy, “Mathematical modeling of field emitter array” // Vacuum. 2016. 127. 45 - 50.
4. Виноградова Е.М. Математическое моделирование электронно-оптических систем: Учебно-метод. пособие. – СПб., 2005. – 112 с.
5. E.V. Kalaturuskaya and E.M. Vinogradova, “The field emission system with the thin emitter mathematical modeling,” in 2016 Young Researchers in Vacuum Micro/Nano Electronics, VMNE-YR 2016 - Proc. 16 March 2017, Saint-Petersburg, Russian Federation, October 2016, Article number 7880405.
6. E.M. Vinogradova, N.V. Egorov, E.V. Kalaturuskaja. The infinitely thin field emitter mathematical modeling Proceedings of RuPAC2016 \_ St. Petersburg, Russia. 2016. C.342 -344.

Калатурская Э. В. 2018 г. ©

УДК 621.314.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ В НАНОПЛЕНКАХ МУЛЬТИФЕРРОИКОВ В РАМКАХ BEG-МОДЕЛИ

Жармухаметов А.Р., Юлдашева А.Р.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

В последние 20 лет фазовые переходы и критические явления в пленках мультиферроиков стали направлением интенсивных научных исследований[1, 2] в связи с тем, что они обладают огромным потенциалом для практического применения в устройствах памяти и электроники. В мультиферроиках обнаружена сильная взаимосвязь между дальним магнитным порядком и электрической поляризацией, одним из проявлений этой связи является формирование магнитного дальнего порядка при воздействии внешним электрическим полем[3].

В нашей работе мы исследуем нанопленку мультиферроика с простой кубической решеткой, при наличии магнитоэлектрического взаимодействия квадратичного по магнитному параметру порядка и линейного по феррроэлектрическому. Считаем, что спины на каждом узле элементарной ячейки могут принимать только два возможных значения  $\pm 1$ , а вектор поляризации может принимать три значения:  $-1, 0, +1$ . Обе подсистемы описаны с помощью модели Блюма-Эмери Гриффитса. Нами создан программный комплекс, позволяющий провести анализ фазовых переходов, происходящих в рассматриваемой системе в большом температурном и полевом диапазоне. Получены зависимости магнитной и сегнетоэлектрической подсистем от температуры и внешнего магнитного поля. Результаты моделирования получены для пленки размером  $L \times L \times N_z$ , где  $N_z = 4$  – число слоев,  $L$  – ширина образца ( $L = 16..40$ ) Все макроскопические параметры были усреднены за  $10^5$  итераций Монте-Карло. Кроме того, получены зависимости параметров порядка от температуры и магнитного поля, которые демонстрируют сильную нелинейную зависимость от параметра магнитоэлектрического взаимодействия. Построена фазовая диаграмма зависимости критической температуры от параметра магнитоэлектрического взаимодействия.

### Литература

1. M.K. Kharrasov, I.R. Kyzylgulov, I.F. Sharafullin, *et. al. Bull. Russ. Acad. Sci. Phys.*, **80** (2016) 695
2. H.T. Diep, V. Bocchetti, D.T. Hoang, V.T. Ngo, *Phys.:Conf. Series*, **537** (2014) 012001
3. А.Р. Pyatakov, А.К. Zvezdin, *Phys.-Usp.*, **55** (2012) 557.

© Жармухаметов А.Р., Юлдашева А.Р., 2018 г.

**КРИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА 3D АНТИФЕРРОМАГНИТНОЙ  
МОДЕЛИ ИЗИНГА НА ОРТОРОМБИЧЕСКОЙ РЕШЕТКЕ С УЧЕТОМ  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ БЛИЖАЙШИХ СОСЕДЕЙ**

Уральский В.С.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Исследование фазовых переходов (ФП), магнитных, термодинамических и критических свойств, а также структуры основного состояния в магнетиках с различного рода обменными взаимодействиями, конкурирующими между собой, является одной из самых актуальных задач в современной теоретической и математической физике. Конкуренция обменного взаимодействия приводит к фрустрациям. Известно, что наличие фрустраций в системе приводит к существенному изменению ряда свойств фундаментального характера, связанных с характером ФП, формированием классов универсальности спинового критического поведения, структуры основного состояния и др.

В данной работе нами предпринята попытка на основе метода Монте-Карло провести исследование ФП и структуры основного состояния антиферромагнитной модели Изинга на орторомбической решетке с учетом взаимодействий ближайших и следующих за ближайшими соседями. Исследование этой модели проведено теоретическими и численными методами и результаты теоретических исследований свидетельствуют, что для модели Изинга на простой кубической и в объемноцентрированной кубической решетках имеет место ФП второго рода. Переход из ферромагнитной фазы в парамагнитную является ФП второго рода, а переход из антиферромагнитной фазы в парамагнитную является ФП первого рода. Из этих данных следует, что учет взаимодействий следующих ближайших соседей в системе может привести к смене ФП. Построена фазовая диаграмма зависимости критической температуры от величины взаимодействия следующих ближайших соседей. На диаграмме обнаружена точка пересечения трех различных фаз. Показано, что данная модель имеет некоторые особенности критического поведения вблизи этой точки.

**Литература**

1. M.K.Ramasanov, A.K.Murtashev, and M.A.Magomedov, *Soild State Comm.* 233, 35(2016)

2. М. К. Рамазанов, А. К. Мурташев, Письма в ЖЭТФ 103, 522 (2016).

© Уральский В.С., 2018 г.

**СЕКЦИЯ «ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ И  
АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ  
В НАНО- И МИКРОЭЛЕКТРОНИКЕ»**

УДК 538.7

**ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОКАНАЛЬНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ  
ЛИНИИ СВЯЗИ С 4-Х ВОЛНЫМ СМЕШЕНИЕМ**

Бикметова Р.Р., Лопатюк А.В.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

LinkSim - система автоматизированного проектирования для моделирования и анализа основных параметров волоконно-оптических и оптоэлектронных сетей .

Ряд нелинейных эффектов (четырёхволновое смешение, генерация гармоник) возникает в результате параметрического усиления, когда ОВ (световод) играет пассивную роль среды распространения, в которой нескольких оптических волн взаимодействуют благодаря нелинейному отклику возбуждаемых ими электронов внешних оболочек. Заметный вклад в это вносит так называемое четырехволновое смешение ЧВС (FWM). Суть его (с позиций квантовой механики) в том, что если происходит взаимодействие четырех линейно поляризованных вдоль оси  $x$  оптических волн с частотами  $\omega_1, \omega_2, \omega_3$  и  $\omega_4$  то может наблюдаться уничтожение фотонов одной частоты и рождение фотонов других частот при сохранении энергии и импульса.

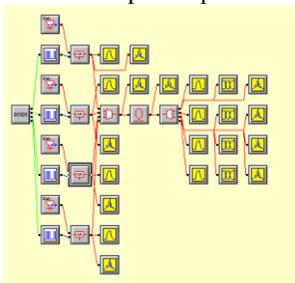


Рис. 1. Модель одноканальной оптической линии связи с внешней модуляцией сигнала

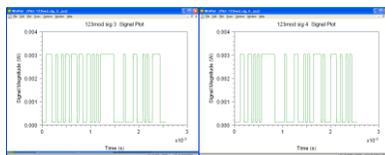


Рис. 2. Сигналы с 4-х каналов после модулятора

Определим смещение бит: длительность передачи бит:  $t = 0,7 * 10^{-8}$  с.  
 Скорость линии:  $V=25*10^8$ бит/с, тогда количество смещенных бит:  $0,7*10^{-8} * 25*10^8=17,5$ .

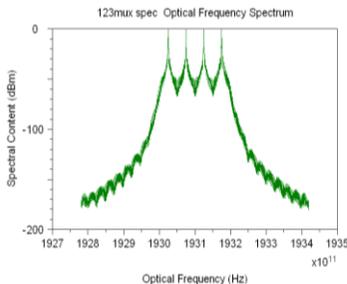


Рис.3. Спектр после мультиплексора

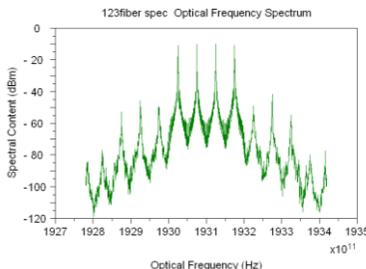


Рис.4. Спектр сигнала после оптического волокна

На спектре сигнала после прохождения по ОВ мы видим, что первые гармоники ослабли, а отстающие подтянулись. Это наблюдается в результате взаимодействия нескольких оптических волн. Строго говоря, явление ЧВС наблюдается при соблюдении фазового синхронизма волновых векторов ( $\Delta k=0$ ,  $k_i= \pi \omega_i / c$ ). В реальной среде ОВ оно выполняется с большей или меньшей точностью, что позволяет говорить о степени эффективности ЧВС. Волна накачки с частотой  $\omega_1$  генерирует две симметричные гармоники с частотами  $\omega_3$  (стоксовая, или низкочастотная, гармоника) и  $\omega_4$  (антисквоковая, или высокочастотная, гармоника). Практически, если в световод вводится только излучение накачки и выполняются условия фазового синхронизма, то генерация составляющих ( $\omega_3$  и  $\omega_4$  может инициироваться тепловыми шумами (тепловыми фотонами), как при ВКР и ВРМБ.

### Литература

1. Лопатюк А. В. Оптические направляющие среды и пассивные компоненты ВОЛС. Уфа, РИЦ БашГУ 2011.
2. Лопатюк А. В. Лабораторные работы по спецпрактикуму волоконно-оптические линии связи. Уфа, РИЦ БашГУ 2001.

**ИМПУЛЬСНО-пЕРИОДИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ  
НАКАЧКИ ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА**

Р. В. Борисова, А. М. Вальшин

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Газоразрядные источники света с внутренними электродами являются одним из самых эффективных и широко применяемых источников света. В данной работе в качестве газоразрядных источников света были использованы трубчатые прямые ЛЛ, работающие на переменном токе частотой от 50 Гц до 50 кГц и на мощностях от 13 до 80 Вт, имеют хорошие цветовые характеристики и высокие световые отдачи до 100 лм/Вт.

В работе [1] экспериментально обосновано, что безэлектродная индукционная накачка плазмы стандартных цилиндрических люминесцентных ламп обеспечивает оптимизацию режима высокочастотного индуктивно-емкостного разряда. Выявлен диапазон частот повышения эффективности резонансного ввода энергии в плазму разряда, и КПД светоотдачи (до 25%) в области значений мощности накачки кратно меньшей номинальной для лампы в стандартном режиме работы. При высокочастотной индукционной накачке на одной частоте происходит резонансное «зажигание» плазмы разряда в люминесцентной лампе, при которой возникает продольное слабое свечение. Далее посредством вторичной подстройки частоты генератора в некотором диапазоне достигается максимальной мощности излучения. Заметим, частота зажигания всегда больше, чем максимальная частота свечения, так как после зажигания плазмы колебательный контур дополняется емкостью между плазмой и индуктором, а также определенным значением импеданса плазмы.

Импульсно-периодический режим осуществляется в 2 этапа: на 1 этапе мы поджигаем лампу первым генератором, на втором этапе, подавая высокочастотные колебания со второго генератора, вкачивается энергия в люминесцентную лампу.

Экспериментальная установка состоит из двух высокочастотных независимо перестраиваемых генераторов, синхронизированных между собой. Первый генератор служит для зажигания, а второй генератор для накачки энергии. Оба генератора имеют возможность регулирования как длительности, так и скважности и амплитуды генерирующих импульсов.

Таким образом, показана эффективность работы импульсно-периодического режима высокочастотной накачки в стандартных люминесцентных лампах.

**Литература**

1. А. М. Вальшин, С. М. Першин, Г. М. Михеев. Инженерная физика. 2017. № 2. С. 37-41

## **ИНТЕРФЕРОМЕТРЫ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ НА БЕГУЩИХ И СТОЯЧИХ УПРУГИХ ВОЛНАХ**

Важдаев К.В.<sup>1,2</sup>, Биктимеров А.А.<sup>2</sup>

Башкирский государственный университет, г. Уфа

Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа

К сожалению, в известных работах не уделено должного внимания виду упругих ультразвуковых волн (бегущая или стоячая): в некоторых работах говорится о “движущейся периодической структуре” [1] и лишь в работах [1-4] указано, что действие прибора основано на стоячих упругих волнах.

При большом разнообразии разработок в интерферометров перемещений, основанных на акустооптическом эффекте, заключающемся в дифракции света на ультразвуке, и использующих акустооптическую модуляцию, нам представляется актуальным при рассмотрении и создании таких приборов учитывать характер ультразвуковых волн (стоячие или бегущие), т.к. от этого во многом зависит и структура создаваемого или исследуемого прибора и его технико-экономические показатели.

В связи с вышеизложенным нам представляется актуальной целью настоящей работы, посвященной обзору современных разработок в области интерферометров перемещений, функционирование которых основано на бегущих и стоячих упругих волнах. Создание таких приборов и систем с использованием современной элементной база в области лазерных систем, фотоники, акустооптики и электроники позволит получить современное оборудование, приборы и измерительные системы для микропроцессорных систем управления.

### **Литература**

1. Важдаев К.В. Акустооптические датчики [Текст] / Ураксеев М.А. // Датчики и системы.– 1999.– № 5.– С. 45-48.
2. Важдаев К.В. Акустооптические датчики физических величин (монография) [Текст] / Уфа: Уфимск. гос. акад. эконом.и сервиса, 2008.– 111 с.
3. Важдаев К.В. Волоконно-оптические датчики на акустооптическом эффекте [Текст] / Губайдуллин А.Г. // Приборы и системы управления, контроль, диагностика. – 2011. - № 2. – С. 36-40.
4. Важдаев К.В. Волоконно-оптические датчики на акустооптическом эффекте [Текст] / Губайдуллин А.Г. // Приборы и системы управления, контроль, диагностика. – 2011. - № 2. – С. 36-40.

## **ИНТЕРФЕРОМЕТРЫ ПЕРЕМЕЩНИЙ НА ОСНОВЕ АКУСТООПТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА**

Важдаев К.В.<sup>1, 2</sup>, Биктимеров А.А.<sup>2</sup>

Башкирский государственный университет, г. Уфа

Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа

Работа она посвящена разработке современных интерферометров на основе акустооптического эффекта, в которой использованы новейшие цифровые технологии и лазерная техника, обладающие высокой точностью, быстройдействием и обеспечивающие автоматизацию измерений и управления технологическими процессами и производством [1-3].

Интерферометры на основе акустооптического эффекта являются достаточно эффективными устройствами, обладающими высокими метрологическими характеристиками. При их правильной компоновке и юстировке возможно достичь быстрогодействия в примерно 20 нс, т.е.  $20 \cdot 10^{-9}$  сек. Разработка быстродействующих измерительных систем, основанных на акустооптическом эффекте, вызывает практический интерес на всемирных конференциях. Система должны быть выполнена на современной оптико-электронной базе, лазерных и цифровых технологиях, микроконтроллерных и микропроцессорных устройствах, включающих в себя когерентные источники света в виде полупроводниковых лазеров, приемники оптического излучения в виде PIN-фотодиодов и лавинных фотодиодов, акустооптические преобразователи, жидкокристаллический индикатор и микроконтроллер, содержащий в своей структуре коммутатор, усилитель, аналого-цифровой преобразователь и микропроцессор.

### **Литература**

1. Важдаев К.В. Акустооптические датчики [Текст] / Ураксеев М.А. // Датчики и системы.– 1999.– № 5.– С. 45-48.
2. Важдаев К.В. Акустооптические датчики физических величин (монография) [Текст] / Уфа: Уфимск. гос. акад. эконом.и сервиса, 2008.– 111 с.
3. Важдаев К.В. Волоконно-оптические датчики на акустооптическом эффекте [Текст] / Губайдуллин А.Г. // Приборы и системы управления, контроль, диагностика. – 2011. - № 2. – С. 36-40.

## ОЦЕНКА ЗАВИСИМОСТИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОЛОЧНЫХ НАГРУЗОК ОТ ЧАСТОТЫ

Захаров Ю.А., Гоц С.С., Бахтизин Р.З.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

В измерительной технике широко используются проволочные нагрузки, к числу которых можно отнести проволочные резисторы, катушки индуктивности, дроссели, трансформаторы, электронагреватели.

Представляет особый интерес анализ работы мощных проволочных нагрузок в цепях переменного тока, в частности, в высокочастотных цепях. Детальный анализ показывает, что на высоких частотах можно ожидать изменения 2 параметров проволочных нагрузок: индуктивного сопротивления, приводящего к изменению реактивного сопротивления нагрузки, и скин-эффекта, приводящего к изменению активного сопротивления нагрузки. В данной работе проведены аналитические и численные расчёты сопротивления мощных проволочных нагрузок на высоких частотах с учётом их нагрева электрическим током и скин-эффекта.

Используя уравнения Максвелла в системе ГС для однородной проводящей среды, можно получить уравнения для электрического и магнитного поля

$$\Delta \vec{E} = \frac{4\pi\mu\sigma}{c^2} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}, \quad \Delta \vec{H} = \frac{4\pi\mu\sigma}{c^2} \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}. \quad (1)$$

Рассмотрим электрическое поле, меняющееся по гармоническому закону, направленное по оси  $Z$  вдоль проволоки. Введём величину  $\delta$ , характеризующую затухание поля в плоском проводнике [1].

$$\delta = \frac{c}{\sqrt{2\pi\omega\mu\sigma}}. \quad (2)$$

В цилиндрических координатах уравнение (1) для  $E_z$  с учётом симметрии и обозначения (2) может быть переписано следующим образом

$$\frac{\partial^2 E_{z0}}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial E_{z0}}{\partial r} - \frac{2i}{\delta^2} E_{z0} = 0 \quad (3)$$

Решение уравнения (3) записывается в виде

$$E_{z0} = A \cdot J_0(\tilde{k}r) + B \cdot Y_0(\tilde{k}r), \quad (4)$$

где  $J_0(x)$  – функция Бесселя нулевого порядка,  $Y_0(x)$  – функция Неймана нулевого порядка, а коэффициент  $\tilde{k} = (1-i)/\delta$ . Из условия конечности электрического поля на оси симметрии следует, что в (4) коэффициент  $B=0$ .

Ток через проволоку длины  $l$  можно найти интегрированием по площади поперечного сечения. Тогда отношение высокочастотного сопротивления  $Z$  к сопротивлению  $R_{\text{пост}}$  на постоянном токе с учётом свойств функций Бесселя

$$\frac{Z}{R_{\text{пост}}} = \left( \frac{E_{z0}(r_{\text{нит}}) e^{i\omega l}}{I} \right) \left/ \left( \frac{l}{\pi r_{\text{нит}}^2 \sigma} \right) \right. = \frac{r_{\text{нит}}^2 J_0(\tilde{k}r_{\text{нит}})}{2 \int_0^{r_{\text{нит}}} J_0(\tilde{k}r) r dr} = \frac{\tilde{k}r_{\text{нит}} J_0(\tilde{k}r_{\text{нит}})}{2J_1(\tilde{k}r_{\text{нит}})}. \quad (5)$$

С ростом частоты  $|Z|$  увеличивается, а  $\arg(Z)$  растёт от 0 до  $\pi/4$  [2].

Учтем, что при прохождении электрического тока через проволочную нагрузку происходит ее сильный нагрев [3-4], что приводит к изменению удельной проводимости  $\sigma$ . С учётом этого толщина скин-слоя будет зависеть не только от частоты, но и от температуры  $T$  нагрева проводника:

$$\delta = \frac{c\sqrt{1+\alpha(T-T_0)}}{\sqrt{2\pi\omega\mu\sigma}}. \quad (6)$$

На рисунке 1 приведена расчётная зависимость  $Z/R_{\text{пост}}$  от частоты переменного тока для вольфрамовой нити с радиусом  $r_{\text{нит}}=0,02$  мм для трёх различных значений температур при высоких частотах, когда  $r_{\text{нит}} \gg \delta$ .

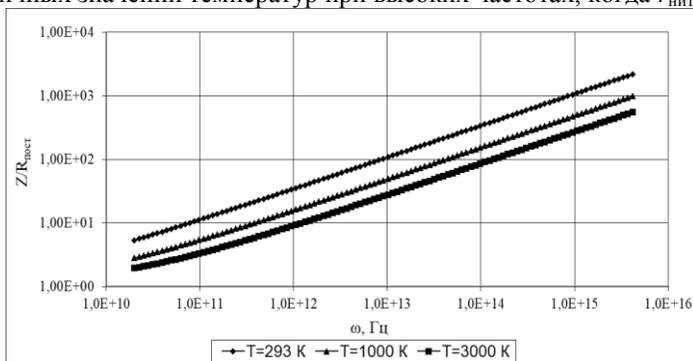


Рис. 1. Зависимость сопротивления от частоты с учётом скин-эффекта

### Литература

1. Левич В.Г. Курс теоретической физики. Том I. М.:Наука. 1969. 912 с.
2. Семенов Н.А. Техническая электродинамика. М.:Связь. 1973. 480 с.
3. Захаров Ю.А. Экспериментальное исследование температурной зависимости дифференциальной и интегральной проводимостей вольфрама // ВНКФСФ-23: материалы конф., тез. докл. – Екатеринбург, 2017. С. 185-186.
4. Захаров Ю.А., Гоц С.С., Бахтизин Р.З. Исследование дифференциальной электропроводности вольфрама в переходной области вблизи температуры Дебая // «XXXIII Сибирский теплофизический семинар»: тезисы докладов. – Новосибирск: ИТ СО РАН. 2017. С. 151.

© Захаров Ю.А., Гоц С.С., Бахтизин Р.З., 2018 г.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЯ EDFA ДЛЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ

Лопатюк А.В.<sup>1</sup>, Грачева А.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Башкирский Государственный Университет, <sup>2</sup>УГАТУ, г. Уфа, Россия

Одним из основных узлов современных волоконно-оптических систем связи со спектральным уплотнением каналов (WDM- и DWDM-систем) является оптический усилитель. Самыми распространенными в настоящее время являются эрбиевые волоконные усилители. В данной работе для моделирования применяется программный пакет Bitline EDFA Calculator.

Типичное значение выходной мощности для усилителей с одним лазером накачки доходит до 16 дБм, с двумя лазерами накачки до 26 дБм. Обычно усилитель мощности работает в режиме насыщения, при котором уровень сигнала на входе усилителя достаточно большой. В данном случае общая мощность входного сигнала для бустера при следующих параметрах:  $P_{пер} = 0$  дБм,  $\alpha_{мод} = 5$  дБ и  $\alpha_{мух} = 5$  дБ, где  $P_{пер}$  – выходная мощность оптического передатчика,  $\alpha_{мод}$  и  $\alpha_{мух}$  – вносимые потери модулятора и оптического мультиплексора, равен  $P_{вх} = -4$  дБм или 0,4 мВт. Входной сигнал для усилителя мощности на длине волны  $\lambda = 1550$  нм равен -4 дБм. Усилитель мощности, как первый каскад усиления в линии связи, должен вносить минимальный шум. Это обеспечивается при использовании длины волны накачки 980 нм.

Уровень вносимых шумов оптическим услителем также зависит от длины легированного волокна. На рис.1а представлено распределение мощности шума ASE по длине волокна при различных уровнях накачки для усилителя мощности. Зависимость была вычислена в Bitline EDFA Calculator при следующих параметрах оптического усилителя:  $D = 100$  ppm,  $L = 60$  м,  $P_{н} = 5 \div 120$  мВт,  $\lambda_{н} = 980$  нм,  $\lambda_{с} = 1550$  нм и  $P_{вх} = -4$  дБм.

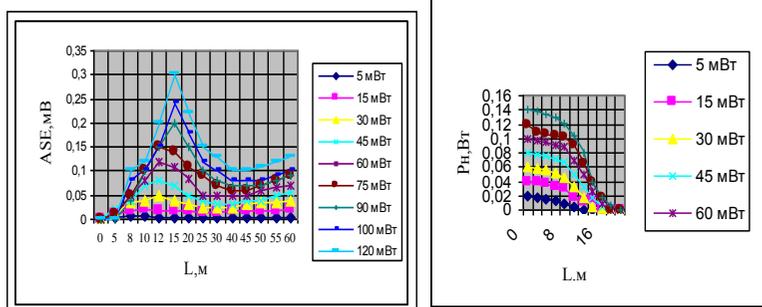
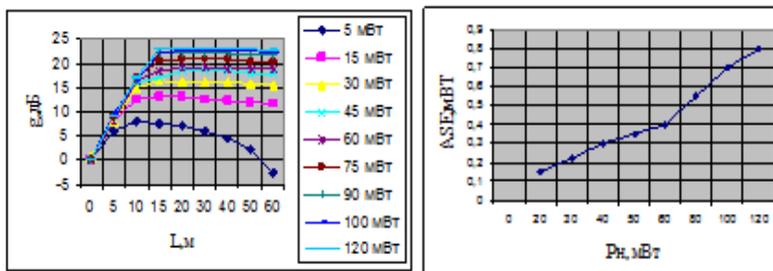


Рис.1. а) Распределение мощности шума ASE по длине волокна при различных уровнях накачки для модели усилителя мощности б) Распределение мощности накачки по длине волокна при его различных уровнях для модели усилителя мощности.

В начале шум постепенно растет до некоторого максимального значения, а затем начинает падать и устанавливается на одном уровне. Рост мощности шума говорит о том, что в волокне помимо полезного сигнала также усиливается спонтанное излучение, т.е. ASE. Максимальное значение мощности шума  $ASE_{\Delta v}$  соответствует расстоянию  $L_{max} \approx 15$  м, до которого почти полностью поглощается мощность лазера накачки. Характер поглощения сигнала накачки изображен на рис. 1б, где видно, что на расстоянии около 18 м почти вся мощность накачки поглощается.



**Рис.2.** а) Распределение усиления в легированном волокне при различных уровнях накачки для модели усилителя мощности б) Зависимость мощности шума ASE от мощности накачки.

На рисунке 2а показано распределение усиления по длине волокна при разных мощностях накачки для модели усилителя мощности. Видно, что при увеличении уровня накачки уменьшение усиления после расстояния  $L_{max}$  становится меньше. Следовательно, если выбрать длину волокна равной  $L_{min}$ , то предпочтительно использование лазера накачки с большой мощностью, так как уменьшение усиления при большой мощности накачки практически не происходит. Однако усиление может уменьшиться из-за изменения внешних факторов (температуры окружающей среды).

Значение мощности накачки определяет энергетические характеристики усилителя. Чем больше уровень накачки, тем выше мощность насыщения и усиление.

Мощность шума на выходе усилителя тоже увеличивается при повышении уровня накачки (рис.2б). Но шум-фактор наоборот незначительно уменьшается, так как значение ASE изменилось настолько, насколько изменился и коэффициент усиления.

#### Литература

1. Лопатюк А.В., Маркушева А.М. Моделирование высокоскоростной солитонной волоконно-оптической линии связи. Сборник трудов IX Международной школы-конференции для студентов, аспирантов и молодых ученых «Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании», Том 2, Физика Химия Научные статьи, Стр.106-111, г.Уфа, 2016г.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОСЬМИКАНАЛЬНОГО ОПТИЧЕСКОГО ОТВЕТВИТЕЛЯ

Иждавлетова Р. Ф., Лопатюк А. В.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

В современном мире к оптическим сетям предъявляют такие требования как гибкость и масштабируемость. При выполнении данной задачи в сети не обойтись без оптического ответвителя. Ответвители предназначены для деления оптической мощности между двумя каналами или объединения оптической мощности из двух каналов в один. Основное свое применение оптические делители находят в сетях PON (пассивные оптические сети), BPON, GPON.

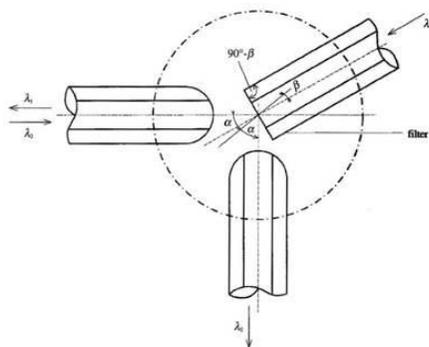


Рис. 1. Ответвитель длины волны

Оптический ответвитель, который позволяет разделять световое излучения различной длины волны, показан на рисунке 1. Данный тип ответвителей работает как интерференционный фильтр. Он отделяет одну длину волны. Принцип действия ответвителя длины волны ясен из рисунка. Потери. Возникающие в ответвителях такого типа, менее 1 дБ. Эти ответвители могут быть использованы для реализации дуплексного режима между двумя станциями. Иногда их называют спектральными уплотнителями каналов (WDM).

В данной работе был смоделирован массив направленных ответвителей, в котором мощность излучения можно контролировать, меняя модовый состав, длину волны, длины изогнутых участков и диаметр волокна. Для выполнения работы пользовались программным обеспечением BeamProp от компании RSoft. Оно позволяет моделировать направляющие структуры, WDM устройства, ответвители, сплиттеры.

На рисунке 2 изображен массив направленных ответвителей, работающий как фильтр. Для достижения такого эффекта в одномодовом режиме, мы установили диаметр волокна равный 2 мкм. Выяснили, что длина волны 850 нм выделяется в 4-х каналах, а длина волны 1050 в одном.

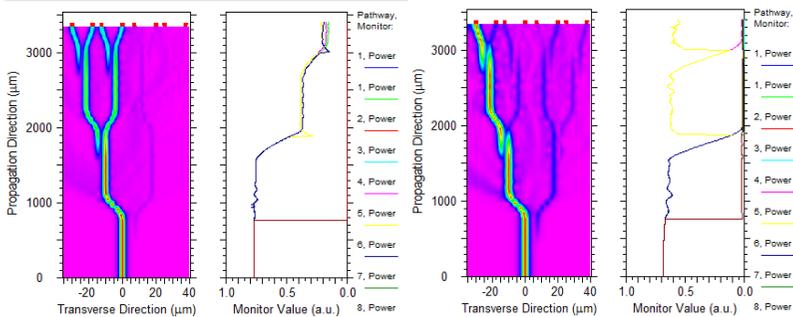


Рис. 2. Массив ответвителей, как интерференционный фильтр.

На рисунке 3 изображен массив направленных ответвителей, работающий как делитель мощности. Для этого в многомодовом режиме на длине волны 1310 нм увеличили длину изогнутых участков до 1000 мкм, диаметр волокна установили равным 4,5 мкм, Мощность распространяется равномерно по всему массиву.

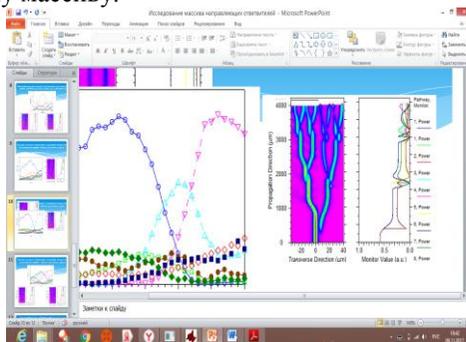


Рис. 3. Массив ответвителей, как делитель мощности.

### Литература

1. Дональд Дж. Стерлинг. Техническое руководство. Волоконная оптика. Пер. с англ. - М.:Лори, 1998.-288с
2. <http://optokon.ua/arts/opticheskii-splitter-kak-osnovnoi-element-setei-pon/>

© Иждаветова Р. Ф., Лопатюк А. В., 2018 г.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ 10 ГИГАБИТНОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ СО СПЕКТРАЛЬНЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ

Каразбаева А. Ф., Лопатюк А. В.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

В данной работе с помощью программы LinkSim смоделирована 4 – канальная оптическая линия связи со скоростью передачи информации 10 Гбит/с содержащая DWDM.

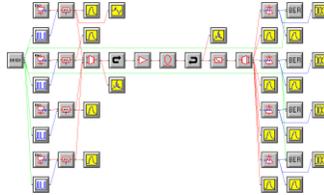


Рис. 1. 4-канальная 10 гигабитная оптическая линия связи

На рис. 1 представлена модель 4-х канальной 10 гигабитной линии связи содержащая DWDM.

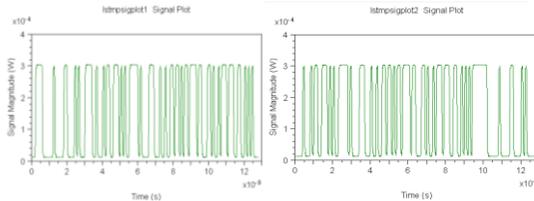


Рис. 1. Сигналы 2 –х каналов из 4-х после оптического излучателя.

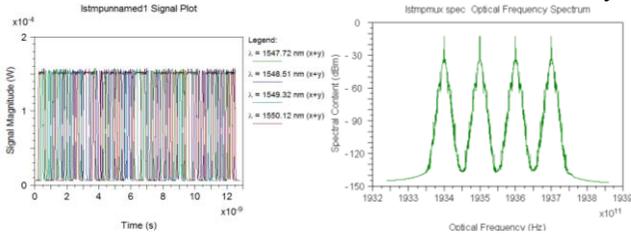


Рис. 3. Сигнал и спектр после мультиплексора. Мультиплексор объединил 4 отдельных оптических канала в единый оптический канал. Мощность сигналов уменьшилась ровно в два раза, то есть потери в мультиплексоре равны 3 дБ.

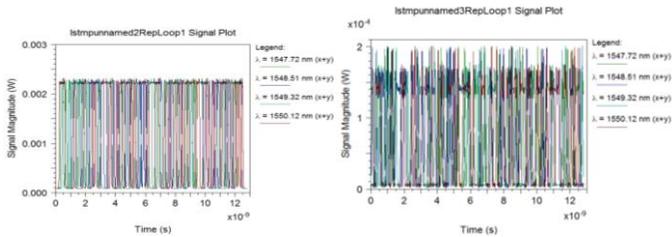


Рис. 4. Сигнал после EDFA усилителя и оптического волокна. Мультиплексный сигнал после усилителя значительно увеличился. Мощность была равной 0,142 мВт, а стала-2,15 мВт. Усиление составило:  $10 \log \frac{P_{out}}{P_{in}} = 10 \log \frac{2,15 \text{ мВт}}{0,142 \text{ мВт}} = \approx 12 \text{ дБ}$ . Мощность сигнала после волокна

стала равной той, мощности, что была до усилителя. Т. е. затухание вносимое волокном равно 12 дБ.

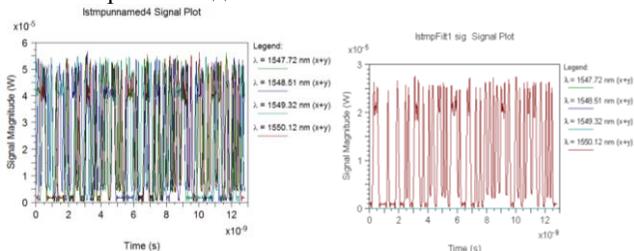


Рис. 5. Сигнал после аттенуатора и демультиплексора (1 канал). Он вносит небольшие потери – 5 дБ. Следующий компонент линии демультиплексор разделяет сложный мультиплексный сигнал на несколько простых. Данное устройство тоже вносит потери. Мощность сигнала в данном случае уменьшается в два раза, т.е. затухание 3 дБ.

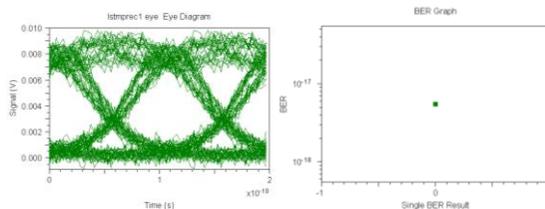


Рис. 6. Глаз – диаграмма и показания BER-тестера для 1-го канала. Глаз-диаграмма не идеальна, но не имеет существенных искажений и шумов. А судя по показаниям тестера, можно сказать, что линия работает в номинальном режиме. Линия работает в номинальном режиме. Глаз-диаграмма практически не зашумлена и не подвержена искажениям по времени.

### Литература

1. А. В. Лопатюк, Р. Г. Сагитов, Р. Т. Ермаков. Лабораторные работы по спецпрактикуму оптические системы передачи. Уфа, 2002.

## МОДУЛЯЦИОННАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ВОЛНОВЫХ ПАКЕТОВ, РАСПРОСТРАНЯЮЩИХСЯ В КАСКАДАХ НЕОДНОРОДНЫХ ПО ДЛИНЕ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ

И.О. Золотовский, В.А. Лапин, Д.И. Семенцов

Ульяновский государственный университет, г. Ульяновск, Россия

Модуляционная неустойчивость (МН) – рост малых гармонических возмущений непрерывной волны – эффект, характерный для многих нелинейных систем, поддерживающих распространение локализованных волн, природа которого связана с совместным действием нелинейных и дисперсионных эффектов. В нелинейной волоконной оптике МН проявляет себя как распад квазинепрерывной волны на последовательность ультракоротких импульсов [1].

Динамика временной огибающей волнового пакета с учетом дисперсионных эффектов и нелинейности среды керровского типа в бегущей системе координат описывается следующим уравнением [1]:

$$i \frac{\partial A}{\partial z} - \frac{d_2(z)}{2} \frac{\partial^2 A}{\partial \tau^2} + iR|A|^2 A = 0 \quad (1)$$

где  $\tau = t - z/v_g$  – время в бегущей системе координат,  $d_2(z)$  – параметр дисперсии групповых скоростей,  $R$  – параметр нелинейности.

Исследование эффекта модуляционной неустойчивости в световодах с экспоненциальной зависимостью дисперсии от длины представляет интерес в связи с возможностью генерации в таких световодах последовательностей ультракоротких импульсов с высокими степенями сжатия [2,3].

В данной работе рассматривался двухсекционный одномодовый световод, обеспечивающий непрерывное распределение ДГС в виде:

$$d_2(z) = d_{20} \cdot \begin{cases} 1, & z < z_0 \\ \exp[-b(z - z_0)], & z \geq z_0 \end{cases}, \quad (2)$$

где  $z_0$  – длина однородного сегмента.

На **рис. 1** представлены результаты численного моделирования, полученные с помощью решения основного уравнения (1) методом пошаговых преобразований Фурье (split step Fourier method), определяющего динамику распространения в нелинейной среде модулированной волны:

$$A(0, \tau) = \sqrt{P_0} [1 + m \cos(\Omega_{\text{mod}} \tau)] \quad (3)$$

при следующих значениях параметров: начальной мощности  $P_0 = 1$  Вт, дисперсии групповых скоростей  $d_{20} = -10^{-26}$  с<sup>2</sup>/м, параметре нелинейности  $R = 10^{-2}$  (Вт·м)<sup>-1</sup>, неоднородности световода  $b = 5 \cdot 10^{-3}$  м<sup>-1</sup> и глубине модуляции  $m = 10^{-2}; 10^{-4}$  – **рис. (a);(b)**, частоте модуляции

$\Omega_{\text{mod}} = \sqrt{2RP_0 / |d_{20}|}; \sqrt{2RP_0 (\exp(bL) - 1) / |d_{20}| \text{sh}(bL)}$  – кривые (1,3;2), длине однородного сегмента  $z_0 = 1000; 0; 300$  м – кривые (1,2;3) на **рис. а**,  $z_0 = 1200; 0; 900$  м – кривые (1,2;3) на **рис. б** и параметре неоднородности дисперсии  $z_0 = (0;5) \cdot 10^{-3} \text{ м}^{-1}$  – кривые (1; 2 и 3). Приведенные на **рис. 1** зависимости, показывают что при правильном подборе длины однородной части двухсегментного световода возможно получить генерацию последовательностей ультракоротких импульсов со значительно большей (более 1.5 раз при данных параметрах) степенью сжатия, по сравнению с одиночным неоднородным световодом. Представленная генерация УКИ в случае малой ( $m = 10^{-4}$ ) модуляции начальной волны, позволяет говорить о перспективах создания волоконных генераторов УКИ использующих явление спонтанной модуляционной неустойчивости.

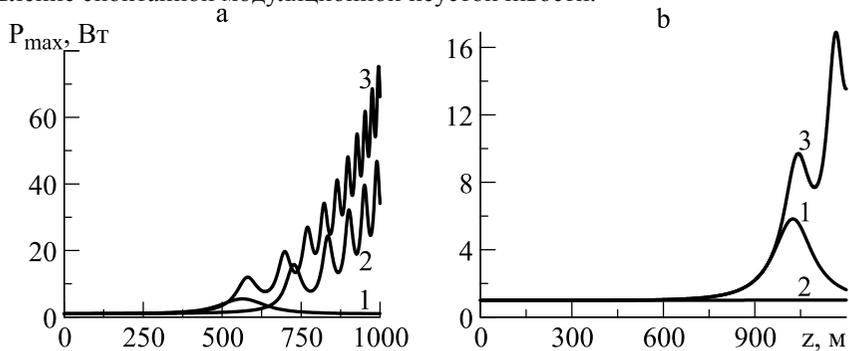


Рис. 1. Зависимости максимальной мощности модулированной волны от длины световода  $z$ .

*Работа выполнена при поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-32-00957.*

### Литература

1. Agrawal G. Nonlinear fiber optics (Springer, 2007).
2. Ахметшин У. Г., Богатырев В. А., Сенаторов А. К., Сысолятин А. А., Шальгин М. Г. // Квантовая электроника, 2003, Т. 33, № 3, с. 265–267.
3. Золотовский И. О., Лапин В. А., Семенцов Д. И., Столяров Д. А. // Оптика и спектроскопия, 2017, 122, №3, с. 135-142.

## ЛАЗЕР НА ГРАНАТЕ С ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ НАКАЧКОЙ

А.М. Вальшин, В.А.Кудашев

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Эффективность, стабильность энергетических и пространственных характеристик твердотельных лазеров во многом определяется системой накачки.

На сегодня существуют два направления развития источников питания импульсных ламп для твердотельных лазеров, это традиционный разряд импульсного или постоянного напряжения однополярным током и диодная накачка.

Традиционный вид накачки, который мы называем условно С- накачкой, обладает минимальным КПД, хотя является самым простым, нами предлагается накачка высокочастотными импульсами тока.

Полупроводниковая накачка диодными лазерами на сегодня является наиболее распространенной, так как обладает максимальным КПД, минимальными массогабаритными параметрами, а так же сравнительно узкой шириной спектра излучения (2-5 нм). Однако требуется стабилизация температурного режима диодных лазеров накачки для совпадений полос излучения с полосой поглощения активного элемента. В частности, например, для оптической накачки поликристалла  $Nd^{+3}:Y_2O_3$  с диодной линиейкой “Латус” требуется стабилизация при температуре  $-25^{\circ}C$ .

Ранее нами было показано увеличение эффективности светоотдачи и изменение эффективного канала разряда в газоразрядных лампах низкого давления при переходе от импульсной накачки к высокочастотной накачке [1]. В связи с этим нами была рассмотрена накачка высокочастотными импульсами тока твердотельного лазера на гранате.

Нами предложен и реализован высокочастотный источник питания для накачки твердотельных лазеров. В данном источнике реализованы функции поджига, дежурной дуги и формирования регулируемой амплитуды и длительности импульсов тока. В основе источника питания лежит высокочастотный транзисторный преобразователь с рабочей частотой в области 1 МГц.

В качестве примера испытана импульсная лампа ДНП-6/90 А-1.

Приведены характерные осциллограммы тока и напряжения на лампе. Проанализированы сравнительные характеристики данной лампы при ВЧ накачке и питании постоянным током.

### Литература

1.А.М.Вальшин, Р.Ф. Тавлыкаев, Г.М Михеев, С.М. Першин Управление параметрами газоразрядной плазмы низкого давления при высокочастотной накачке, инженерная физика №3, 2015, стр.42-49.

Кудашев В.А., 2018г.

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЯ ПОДВИЖНОСТИ  
НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА**

Рахматова Л.И.

Башкирский государственный педагогический университет им.М.Акумуллы,  
г. Уфа, Россия

Необходимость автоматизации процессов измерения и обработки получаемой информации в процессе физического эксперимента — важная и актуальная задача, решение которой позволяет ускорить процесс осмысления получаемой информации. Развитие методов оценки подвижности носителей заряда, в которых применяются распространенные приборы для измерения, ускоряет процесс исследования материалов. Так, например, метод CELIV (экстракция носителей заряда линейно увеличивающимся напряжением) [1] получил широкое распространение благодаря простой технологии измерения. Однако, сложность последующей обработки требует активного применения информационных технологий. В данной работе было разработано программное обеспечение в среде LabVIEW, осуществляющее сбор и предварительную обработку получаемых данных.

Измерительный стенд состоит из генератора сигналов специальной формы ГСС-93/1 и осциллографа Tektronix TDS-2012C. В концепции измерения и обработки получаемых результатов заложено полуавтоматическое управление процессами, включающее в себя: однократный запуск с пульта управления генератора с последующей выгрузкой данных из осциллографа и их предварительная обработка. Программа разработана с применением методов графического программирования в среде LabVIEW и позволяет проводить настройку оборудования и расчет подвижности носителей заряда по известным геометрическим параметрам образца (толщина пленки, площадь электрода) и оцениваемого из получаемых данных времени, соответствующее максимальному току экстракции.

В докладе подробно рассматривается структура программы, и приводится пример измерения подвижности носителей заряда.

**Литература**

1. Jucka G, Arlauskas K, Vilinas M. Extraction Current Transients: New Method of Study of Charge Transport in Microcrystalline Silicon/Physical Review Letters, 84, 4946 (2000)

© Рахматова Л.И., 2018

**ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ ИНДУКЦИОННАЯ НАКАЧКА ИНЕРТНЫХ  
ГАЗОВ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ**

А.М. Вальшин, А.З. Файзуллина, Ю.А.Пашкова

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Актуальной проблемой современной светотехники, возникающей при использовании источников света высокой интенсивности, являются низкий ресурс работы мощных ламп, а также создание экологически чистых, безртутных источников света. Эффективным способом решения проблемы становится переход к принципиально новой, безэлектродной технологии генерации газового разряда.

Физическая суть безэлектродного высокочастотного разряда происходящих явлений состоит в следующем. "Зажигание" безэлектродного разряда всегда происходит за счет электрического  $E$ -поля индуктора, это поле создает первоначальную ионизацию газа, которая по мере увеличения амплитуды высокочастотных колебаний растет, повышая проводимость разряда. Известно, что тела с малой проводимостью "прозрачны" для магнитного поля индуктора. До тех пор пока проводимость газа мала, разряд "прозрачен" для переменного магнитного  $H$ -поля и переменное магнитное поле индуктора не в состоянии передавать разряду свою энергию. Однако, как только проводимость под влиянием увеличения  $E$ -поля достигает некоторой критической величины, "магнитная энергия" индуктора начинает выделяться, в разряде появляется кольцевой ток и наступает  $H$ -форма безэлектродного разряда. При этом напряжение на индукторе резко падает и  $E$ -разряд гаснет.

В работе [1] показаны результаты исследований режима безэлектродной высокочастотной индукционной накачки стандартных цилиндрических люминесцентных ламп путем намотки на лампу определенного количества витков. Выявлен эффективный ввод энергии в плазму разряда и повышение КПД светоотдачи. Обсуждается физика обнаруженного явления и область применения энергосберегающей технологии безэлектродной накачки люминесцентных ламп с повышенным ресурсом работы.

В данной работе описаны экспериментальные исследования индукционного высокочастотного разряда в газоразрядной плазме низкого давления на инертном газе  $Ne$ . В процессе эксперимента использовали генератор перестраиваемой ВЧ частоты собственной разработки. Частота перестройки составляла от 1МГц до 7,7 МГц, стабильность частоты около 0,3 %. Выходное сопротивление составляло менее 5 Ом. Ввиду малости выходного сопротивления нет необходимости в использовании согласующего устройства, поэтому выход непосредственно соединен в последовательный колебательный контур. В качестве индуктивности

используется индуктор, который представляет собой соленоид, намотанный на трубку, наполненную инертным газом Ne, а в качестве емкости используются высокочастотные высоковольтные керамические конденсаторы.

В процессе предварительных экспериментов мы наблюдали "зажигание" безэлектродного разряда за счет электрического поля индуктора, а также индукционного разряда, когда возникает яркий кольцевой разряд.

Таким образом, нам удалось осуществить высокочастотную индуктивную накачку в газоразрядном источнике света на инертном газе Ne. Проводятся оптимизация параметров накачки и характеристик излучения с точки зрения получения максимального КПД.

### **Литература**

1. А.М.Вальшин, С. М. Першин, Г. М. Михеев. Эффективный ввод энергии в плазму разряда люминесцентной лампы с повышением светоотдачи при резонансной индуктивной накачке. Инженерная физика. 2017. № 2. С. 37-41.

Файзуллина А.З., 2018г.

УДК 621.37

## УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ МИКРОПЕРЕМЕЩЕНИЕМ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОДА В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ LABVIEW

Факиев И.А.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Важным инструментом для исследования наноматериалов в области туннельных токов а также для разработки устройств с использованием холодного катода являются системы компьютерного управления микроперемещением.

Программная среда LabVIEW является удобным средством цифрового управления и отображения информации поскольку позволяет интегрировать различные датчики и исполнительные механизмы с помощью большого количества доступных драйверов.

В данной работе мы рассматриваем управление линейным микроперемещением. Разрабатываемое устройство (Рис.1) состоит

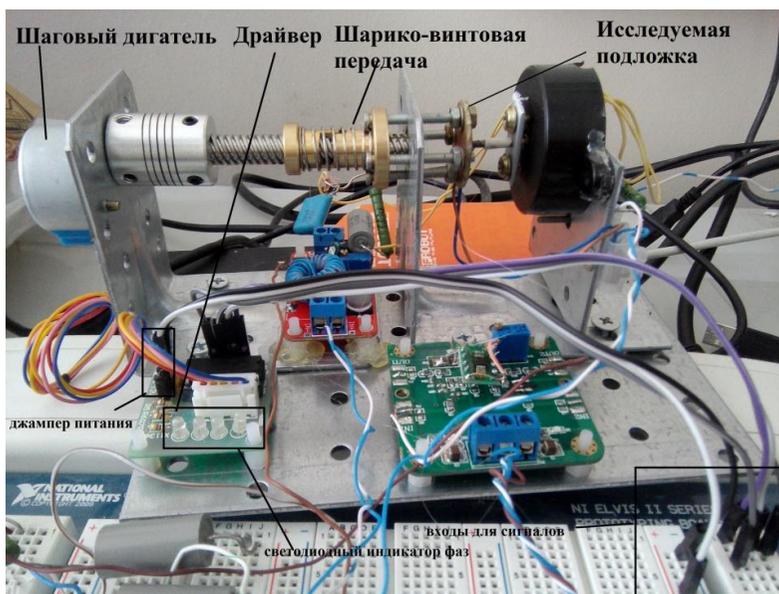


Рис. 1. Внешний вид устройств.

На рис.1 представлена внешний вид устройства и показаны основные детали конструкции: шаговый двигатель 28BYJ-48, драйвер ZC-A0591(джампер питания, светодиодный индикатор фаз, входы для сигналов), шарико-винтовая передача и исследуемая подложка, платформа NI ELVIS II .

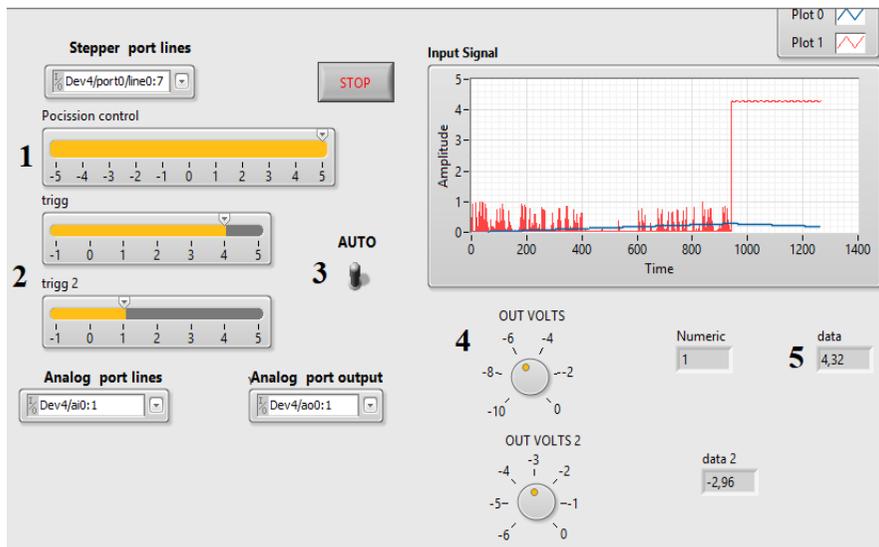


Рис.2. Виртуальный инструмент LabVIEW для управления шаговым двигателем и сохранения результатов.

На рисунке 2 показана рабочая панель устройства: 1. Управление скоростью перемещения. 2. Ограничение входного/выходного сигнала. 3. Переключения режима на ручной и автоматический. 4. Величина напряжения которая подается на электрод. 5. Величина напряжения.

### Литература

1. Батоврин В.К., Бессонов А.С., Мошкин В.В, Папуловский В.Ф. LabVIEW. Практикум по основам измерительных технологий/ под ред. В.К. Батоврин. 2-е изд, переработ и доп. – М.: ДМК. – 84-142.
2. NI ELVIS. Руководство пользователя// National Instruments Corporation 2006, 56-63.

## **ПОЛУЧЕНИЕ ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КОЛЕБАНИЙ ТЕГАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА НА ОСНОВЕ МАССИВА НАНОПРОВОЛОК**

А.С. Шаталов<sup>1,2</sup>, С.Г. Чигарев<sup>3</sup>, Д.Л. Загорский<sup>2</sup>, И.М. Долуденко<sup>1,2</sup>.

<sup>1</sup>Национальный исследовательский университет «ВШЭ», Москва, Россия

<sup>2</sup>ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН

<sup>3</sup>Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова РАН (Фрязинский филиал)

В настоящее время сложно представить современную жизнь без радиоэлектроники, перед разработчиками ставятся цели получения новых дешёвых источников электромагнитных колебаний, одной из таких задач получение дешёвого источника ТГц излучения. В данной работе описан процесс получения такого источника на основе массива нанопроволок(НП).

На данный момент существует множество принципиально разных источников излучения ТГц диапазона они имеют множество факторов технологического процесса увеличивающих общую стоимость источника. Однако ведутся разработки источников ТГц диапазона на принципе квантового генератора с токовой накачкой. Принцип работы такого источника описан в работе [1].

В настоящей работе массивы НП были получены путём электроосаждения металлов в поры трековых матриц (ТМ) (диаметр пор от 50 до 5000 нм). Материал матрицы – полиэтилентерефталат (ПЭТФ). На поверхность ТМ предварительно наносится контактный слой золота толщиной 10-20 нм, который затем укреплялся слоем меди до нескольких мкм методом электролитического осаждения. Дальнейшее осаждение в поры НП из металлов группы железа (Fe, Co, Ni) проводилось также электролитически, двухванновым методом. Метод заключается в последовательном выращивании двух слоёв (частей) НП в двух разных электролитах, при различных условиях. После процесса получения НП 2й слой получали также электрохимически наращиванием поверхностного слоя меди для создания 2го контакта.

При изучении проблематики излучения в диапазоне ТГц были выделены некоторые проблемы. Одна из проблем, высокая плотность тока которая достигалась уменьшением диаметра пор и соответственно диаметр самих НП, а также с помощью уменьшения количества пор на см<sup>2</sup>. Вторая проблема связана с сложностью вывода излучения из метал полимерного композита, и подводом второго проводящего слоя в связи с повышенным поглощением электромагнитного излучения ТГц диапазона проводниками любого рода. Решением данной проблемы заключается в получение тонкого полупрозрачного для ТГц слоя из золота. Такой слой был получен стравливанием укрепляющего слоя из меди путём подачи обратного потенциала.

После создания источников были проведены исследования, которые доказывают наличие возможности генерации излучения в описываемом диапазоне (Рис. 1). На образец подавался синусоидальный ток с фиксированным напряжением 1, 2 и 3 В на осциллограмме синим показан изменение тока а красным мощность в относительных единицах.

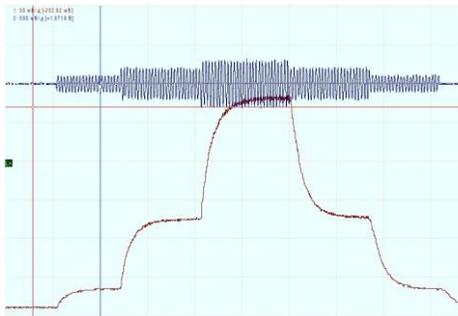


Рис.1.

Зависимость мощности от напряжения

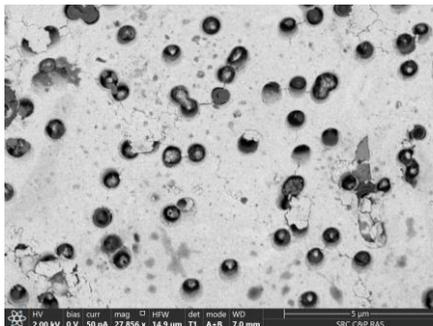


Рис. 2

Отгорание НП от золотого контактного слоя

Доказательством того что измеряемые нами излучение действительно является ТГц излучением является мгновенный прирост мощности, а небольшое отклонение вертикали объясняется инерционной способностью прибора (ячейка Голея). Однако при подаче напряжения выше 3х В происходит отгорание НП от золотого контактного слоя (Рис. 2). Таким образом, представленные в докладе результаты подтверждают возможность построения спин-инжекционных генераторов на базе рассмотренных наноструктур.

Синтез магнитных нанопроволок и дополнительные СЭМ измерения проводилось в рамках государственного задания ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН - при поддержке Федерального агентства научных организаций (соглашение № 007-ГЗ/ЧЗ363/26). Авторы благодарны проф. П.Ю. Апелю (ОИЯИ,г. Дубна) за предоставление образцов мембран

### Список литературы

1. Е.А. Вилков, Г. М. Михайлов, С.Г. Чигарев, Ю.В. Гуляев, В. Н. Коренивский, С.А.Никитов, А.Н.Славин. Перестройка частоты спин-инжекционного излучения в магнитном контактном переходе // РЭ, 2016, том 61, №9, с.844-851.М.
2. N. Lupu (editor). Electrodeposited NWs and Their Applications, InTech, Rijeka, Croatia, 2010.
3. Елисева, А., Синицкий А. Философия наносинтеза//Наноазбука. - М.,2008.

© Шаталов А.С.

## **ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА**

Зайнитдинова А.А., Салихов Р.Б.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

В целях повышения энергосбережения (в жилых помещениях) или в технологических целях (например, в теплицах) часто необходимо поддерживать требуемый температурный или климатический режим в помещении. Обычно в таких устройствах имеется индикация параметров (температуры, влажности) и интерфейс пользователя в виде небольшого графического либо алфавитно-цифрового дисплея и функциональной клавиатуры, ручки регулятора температуры или влажности. Также бывает необходимо дистанционно отслеживать параметры или управлять устройством дистанционно, например, менять температурный режим, программу функционирования по дням недели.

Представленные в статье идеи по разработке автоматизированной системы для мониторинга состояния и управления температурным режимом, климатом и теплоснабжением в помещениях являются примером реализации Интернета Вещей (Internet of Things) в Умном городе (Smart City).

Для решения проблем энерго- и ресурсосбережения является актуальным повсеместное использование современных автоматизированных систем мониторинга и управления (АСМУ) теплоснабжением жилых зданий, производственных площадок, складов, сельскохозяйственных теплиц и др. и регулирования микроклимата в этих помещениях. Для простых и бюджетных решений удаленного мониторинга и управления хорошо подходит глобальная сеть Internet, ввиду ее широкой распространенности в России (подведена практически к каждому жилому дому, жилому помещению на предприятиях и учебных заведениях) и относительной простоты реализации.

Проект «Информационно-измерительная система дистанционного контроля параметров микроклимата» - это новая концепция на многосложную систему управления и контроля за действующим макетом домашней теплицы. Пользователь системы будет получать информацию с единого центра, находящегося у него дома или в офисе, при помощи сотового телефона, телевизора, голосового управления, а также удаленно при помощи сайта системы.

На российском рынке нет прямых конкурентов, так как предлагаемые аналоги либо дорогостоящие, либо имеют ограниченный функционал.

Целью исследования является создание действующего макета домашней теплицы для выращивания растений и цветов в автономном режиме с возможностью удаленного наблюдения и удаленного управления процессом

ухода за растениями с применением энергосберегающих технологий и современных интеллектуальных систем.

В работе проведена разработка системы контроля и регулирования относительной влажностью воздуха и температуры в небольших теплицах с использованием электронных датчиков измерения температуры и влажности на основе тонких пленок полианилина. Аппаратная реализация системы основана на известных технических решениях [1-3].

После рассмотрения основных используемых в современных системах автоматизации аппаратных и программных средств подключения к сети Интернет, были выбраны оптимальные методы решения поставленной задачи - использование отладочной платы PIC WEB-EK для контроллера PIC18F97J60 от компании Microchip Technology Inc., специализированного, со встроенным 10Base-T Ethernet контроллером и интегрированным MAC и PHY.

Так как нам требуется замерять температуру и влажность, то нам требуется достаточно дешевый и надежный датчик. Таким датчиком является DHT11. Его преимущества такие как: низкая цена, готовые библиотеки перекрывают недостаток в виде низкой точности.

Разработанная система реализуется на самой современной элементной базе, используемой для построения устройств с Ethernet-интерфейсом, многофункциональна, легко перестраивается под конкретные применения и оптимальна с точки зрения затрат на реализацию.

Работа устройства проверена в среде моделирования Proteus. Схема собрана на платформе Arduino и проверена в “железе”. Устройство получилось оптимальным по цене и функциональным возможностям и может быть широко использовано для автоматизации малых тепличных хозяйствами и частными лицами.

### **Литература:**

1. Salikhov R.B., Abdrakhmanov V.Kh., Vazhdaev K., System of monitoring and remote control of temperature conditions, climate and heat consumption // Труды XIII международной научно-технической конференции актуальные проблемы электронного приборостроения. 2016. Vol.12. С. 171-174.

2. Salikhov R.B., Yusupov A.R., Lachinov A.N., Rakhmееv R.G., Gadiev R.M., Salazkin S.N., Chemical sensors based on nano-polymer films // Measurement Techniques. 2009. Т. 52. № 4. С. 427-431.

3. Salikhov R.B., Lachinov A.N., Polymer thin film chemical sensors // Advances in chemical sensors Edited by Wen Wang. Rijeka, 2012. С. 215-234.

© Зайнитдинова А.А., Салихов Р. Б., 2018 г

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОДОНЕФТЯНОЙ ЭМУЛЬСИИ ОТ ЧАСТОТЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Юлдашев Р.З.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Экспериментальные методы исследования электрофизических свойств веществ широко используются в науке и в промышленности. Основная цель научного исследования состоит в том, чтобы показать статическую значимость эффекта воздействия определённого фактора на изучаемую зависимую переменную.

В ходе исследования проводились эксперименты по определению зависимости электрофизических свойств водонефтяной эмульсии от частоты переменного тока. Эксперимент проводили при комнатной температуре  $23^{\circ}\text{C}$ . Исследуемый образец помещался в диэлектрический контейнер, снабженный электродами. Измерения проводились при помощи виртуального двухканального генератора сигналов и виртуального двухканального анализатора сигналов на базе ПК.

На рисунке 1 представлена фазово-частотная характеристика водонефтяной эмульсии в интервале от 4 до 20000 Гц. В интервале от 4 до 11 Гц и от 3210 до 20000 Гц наблюдается линейный спад фазового сдвига, в интервале от 11 до 3210 Гц наблюдается линейный рост сдвига фазы.



Рисунок 1- Фазово-частотная характеристика водонефтяной эмульсии

На рисунке 2 представлена зависимость показаний сопротивления водонефтяной эмульсии от частоты. При увеличении частоты наблюдается экспоненциальный спад сопротивления, как у фильтра нижних частот..

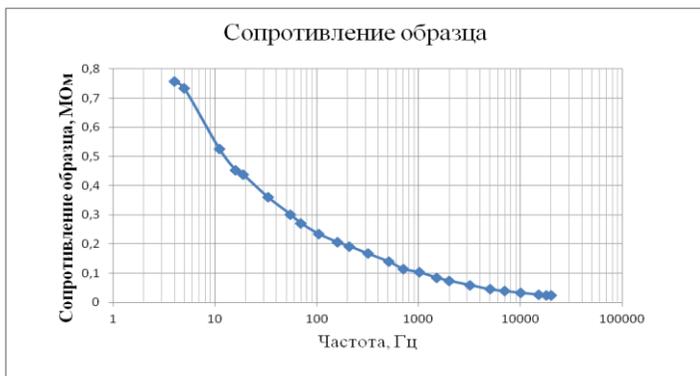


Рисунок 2 - Зависимость сопротивления от частоты водонефтяной эмульсии.

### Литература

1. Калашников С.Г. Электричество. – учебное пособие. -М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. -624 с.
2. Слэтер Дж. Диэлектрики, полупроводники, металлы. М: Мир, 1969, -647 с. Стойнов З.Б., Графов Б.М., Саввова-Стойнова Б.С., Елкин В.В. Электрохимический импеданс. М.: Наука, 1991. 336 с.
3. Поклонский Н.А. Основы импедансной спектроскопии композитов: курс лекций. – Мн:БГУ, 2005.-130с.
4. М.Ш. Шайхутдинова, К.Ш. Ямалетдинова, С.С. Гоц. Экспериментальное исследование электрофизических свойств нефти. Актуальные проблемы науки и техники – 2016: сб. статей, докл. И выступлений IX Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых (Уфа, 16-18 ноября 2016 г.). — Уфа: Издательство «Нефтегазовое дело», 2016. Т.1. — 139-140 с.
5. Гоц С.С. Применение виртуальных измерительных приборов в лабораторном практикуме. - В сборнике материалов III Всероссийской научно-методической конференции «Проблемы современного физического образования», Уфа, 2015, с. 22 – 27
6. Гоц С.С. Низкочастотный анализатор сигналов в микросистемных блоках аппаратуры связи. – Лекции и научные статьи Всероссийской конференции с элементами научной школы Всероссийской конференции с элементами научной школы «Приборное и научно-методическое обеспечение исследований и разработок в области микро- и нанoeлектроники. Уфа, 2011, с.79-85.

Юлдашев Р.З., 2018 г.

## СЕКЦИЯ «НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ»

### РЕНТГЕНОВСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СУПЕРИОННЫХ ПРОВОДНИКОВ $\text{CuS-(1-x)CrS-xMnS}$

Альмухаметова А.Р., Габдрахманова Л.А., Альмухаметов Р.Ф.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

В данной работе изучали быстрые ионные проводники в системе  $\text{CuS-CrS-MnS}$  со структурой  $\text{CuCrS}_2$ . Синтез образцов проводили ампульным методом из сульфидов меди, хрома и марганца. Результаты рентгеноструктурного анализа показали, что в изучаемой системе в равновесии находятся следующие фазы: основная фаза - твердые растворы  $\text{CuCr}_{1-x}\text{Mn}_x\text{S}_2$ , изоморфные  $\text{CuCrS}_2$ , и примесные фазы - сульфиды меди  $\text{CuS}$ , хрома  $\text{CrS}$  и марганца  $\text{MnS}$ . Содержание примесных фаз до составов с  $x=0.2-0.25$  составляет около 5%. Для составов с  $x>0.25$  содержание примесных фаз возрастает. Также установлено, что твердые растворы  $\text{CuCr}_{1-x}\text{Mn}_x\text{S}_2$  имеют гексагональную структуру и являются стабильными в исследуемом интервале температур от комнатной до 600 °С. Температурные зависимости параметров элементарной ячейки  $a$  и  $c$  носят, в основном, линейный характер. На этих зависимостях при  $T\sim 400$  °С наблюдаются аномалии, связанные с переходом соединений в фазу с высокой ионной проводимостью.

Для изучения механизмов ионного переноса, а также для определения областей изоморфного замещения нами были определены параметры решетки соединений  $\text{CuCr}_{1-x}\text{Mn}_x\text{S}_2$  в зависимости от содержания марганца. Нами установлено, что с увеличением концентрации  $\text{MnS}$  до 0.2-0.25 параметры элементарной ячейки монотонно падают. На основании этого можно утверждать, что в системе  $\text{CuS-CrS-MnS}$  образуются твердые растворы замещения хрома марганцем  $\text{CuCr}_{1-x}\text{Mn}_x\text{S}_2$  до  $x=0.2-0.25$ .

Уменьшение размеров элементарной ячейки твердых растворов  $\text{CuCr}_{1-x}\text{Mn}_x\text{S}_2$  при замещении хрома марганцем можно объяснить тем, что ионы марганца имеют меньшие размеры. Поскольку марганец более электроотрицателен, чем хром, в исследуемых фазах степень окисления марганца не должна превышать степень окисления хрома. Кроме этого ионные радиусы  $R_{\text{Cr}^{2+}}$  и  $R_{\text{Mn}^{3+}}$  отличаются значительно и при не изовалентном замещении в кристаллической решетке могут возникнуть большие напряжения. Поэтому, наиболее вероятными являются следующие схемы замещений: ионов  $\text{Cr}^{2+}$  ионами  $\text{Mn}^{2+}$  или ионов  $\text{Cr}^{3+}$  ионами  $\text{Mn}^{3+}$ . Тогда уменьшение размеров элементарной ячейки может быть объяснено на основании ионных радиусов по Полингу.

© Альмухаметова А.Р., Габдрахманова Л.А., Альмухаметов Р.Ф., 2018 г.

**ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ  
СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК ИЗ АРОМАТИЧЕСКОГО  
ПОЛИСУЛЬФОНА**

Абдрахманов Н. И., Салихов Р.Б., Тавлыкаев Р.Ф.

Башкирский государственный университет, Уфа, Россия

Одним из условий пригодности полимерных материалов в производстве диэлектрических, резистивных и проводящих паст [1] является стабильность электрофизических свойств в процессе получения и эксплуатации. Поэтому для выбора материала необходимо изучать изменение его параметров в процессе изготовления изделий из полимеров. [2].

Изучалась влияние растворителей, времени сушки и температурная зависимость диэлектрических параметров пленок. Использовались низкотемпературный растворитель метиленхлорид и высокотемпературный - диметилформамид.

На приготовленных плёночных образцах (толщина 30 мкм) измерялись диэлектрическая проницаемость ( $\epsilon'$ ), тангенс угла диэлектрических потерь ( $tg \delta$ ) в зависимости от использованного растворителя и влияния температуры.

Использование в качестве растворителя ДМФА увеличивает потери в пленках в 2÷4 раза по сравнению с использованием в качестве растворителя метиленхлорида. Весьма заметно влияние ДМФА и на величину диэлектрической проницаемости –  $\epsilon'$  увеличивается в 1,4 раза.

Увеличение времени сушки ведет к уходу из пленки полярного растворителя, что в свою очередь уменьшает потери и диэлектрическую проницаемость. Было проведено также исследование влияния изменения температуры сушки пленок, приготовленных на хлористом метиле. После просушивания образцов при температурах 50, 100, 150 и 170°C производились измерения  $\epsilon'$  и  $tg \delta$  на разных частотах. На частотах  $10^5$  Гц и выше влияние типа растворителя (хлористого метилена и хлороформа) при ступенчатой тепловой обработке практически не сказывается.

Для пленок из ПЭС на хлористом метиле  $tg \delta$  на всех частотах уменьшается с каждой последующей температурой, причем изменение  $tg \delta$  на разных частотах неоднозначно.

Литература

1. В.М. Ягодкин, Н.И. Абдрахманов, А.В. Васильев / Всесоюзная конференция «Фундаментальные проблемы современной науки о полимерах»: Тезисы докладов, - Ленинград, - 1990. – С.25.

2. Синтез термостойких полимеров и их модификация с целью получения полимер-ных композиций: Отчёт по х/д №17141/4от 1.07.1983 / БГУ. – Уфа, 1984. –15 с.

**ВЛИЯНИЕ ПОВЫШЕННОЙ ВЛАЖНОСТИ НА СВОЙСТВА ПЛЕНОК  
ИЗ ПОЛИСУЛЬФОНА [ПС]**

Абдрахманов Н. И., Салихов Р.Б., Тавлыкаев Р.Ф.

Башкирский государственный университет, Уфа, Россия

Одним из основных факторов, влияющих на стабильность электрофизических свойств полимеров, является повышенная влажность окружающей среды [1]. В связи с этим возникает необходимость к изучению изменения электрофизических параметров ПС при воздействии среды с повышенной влажностью и температурой.

На плёночных образцах измерялись диэлектрическая проницаемость ( $\epsilon'$ ) и тангенс угла диэлектрических потерь ( $tg \square$ ) до и после воздействия на них среды с относительной влажностью 98,8%÷100% и температурой +40°C. Изучение влагопоглощения в плёнках ПС показало, что процесс сорбции влаги при постоянной относительной влажности и температуре характеризуется насыщением. Максимальная величина  $W$  достигается уже в первые 24 ч выдержки во влажной среде, после чего наступает сорбционное равновесие. С увеличением толщины плёнки ПС возрастает  $W$ , вероятно, в процессе сушки вследствие неравномерности ухода избыточного растворителя в толстых плёнках формируется более пористая структура. Термообработка плёнок ПС снижает величину  $W$ . Характер зависимости  $W$  от температуры термообработки одинаков для всех толщин плёнок ПС, с минимизацией значения на уровне 0,35-0,4% для плёнок, термообработанных при 320-350°C.

Выдержка плёнок ПС во влажной среде в течение 21 суток вызывает рост  $tg \delta$  и  $\epsilon$  до значений  $(70...80) \cdot 10^{-4}$  и 3,5 соответственно, причем основное ухудшение параметров происходит в пределах 24–30 часов выдержки во влажной среде с последующей стабилизацией значений. Изменение  $tg \delta$ ,  $\epsilon$ ,  $\rho_v$  полностью обратимо; На частотной зависимости  $tg \delta$  для пленок ПС, насыщенных водой, наблюдается увеличение максимума потерь на частотах около 1 МГц, что объясняется присутствием неассоциированной воды в матрице полимера. Появление дополнительных пиков на частотной зависимости не обнаруживается. Это согласуется тем, что при насыщении ПС водяным паром при комнатной температуре кластерообразования не наблюдается [2].

## Литература

1. Филатов И.С. Климатическая устойчивость полимерных материалов. М.: Наука, 1983. 146 с.
2. Вода в полимерах/ Под. ред. С.Роуланда. – М.: Мир, 1984. – С.429-442.

**ЗАВИСИМОСТЬ ОПТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ ПОЛИМЕРА В РАСТВОРЕ**

Фархутдинов Р.Д., Корнилов В.М.

Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы,  
Уфа, Россия

Методом спектроскопии поглощения-пропускания были исследованы растворы и пленки полидифениленфталида [1] (ПДФ) различных концентраций. На рис.1. представлены спектры поглощения растворов ПДФ в циклогексаноне концентрацией 1,5% и 5% и чистого циклогексанона. В спектре полимера концентрацией 5% наблюдается пик поглощения в области энергий порядка 3 эВ. Как известно, отдельные не взаимодействующие друг с другом макромолекулы полимера могут присутствовать только в сильноразбавленных растворах. при увеличении концентрации происходит явление ассоциации молекул.

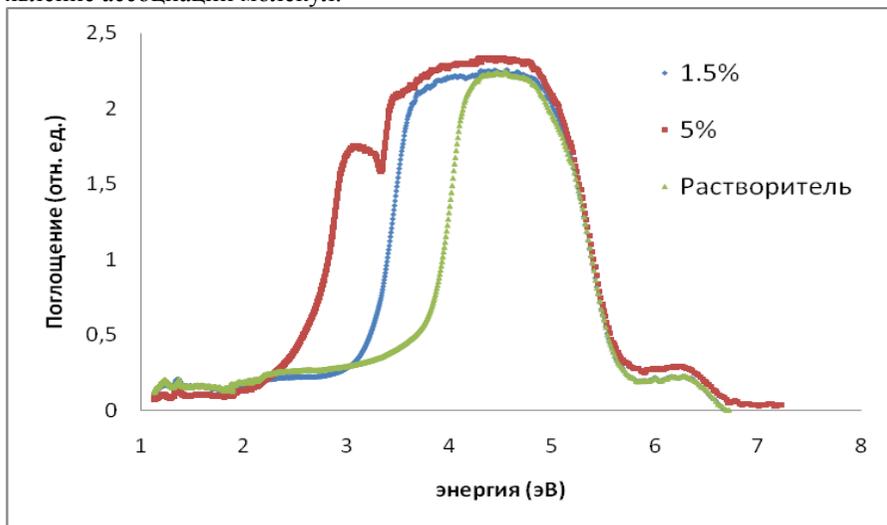


Рис.1. Зависимость поглощения от энергии излучения для разных концентраций раствора полимера.

Изменение свойств раствора при переходе от сильно разбавленных растворов к полуразбавленным через точку кроссовера должно отражаться и на свойствах пленок, получаемых из раствора. В частности, можно ожидать, что толщина пленок зависит от вязкости (концентрации) раствора ПДФ. Для проверки этого предположения была исследована серия полимерных пленок, изготовленных из растворов различной концентрации в диапазоне концентраций 0,1 – 10 % на подложках из полированного кремния с шагом по концентрации в 0,1 % в диапазоне концентраций 0,1 – 2 % [2]. При этом

концентрационная зависимость может быть аппроксимирована двумя линейными участками. При концентрациях раствора 1,5-1,6 % происходит переход от первого линейного участка ко второму. Установлено, что при гладкой и ровной внешней поверхности полимерная пленка внутренне структурирована, причем структурный элемент представляет собой эллипсоид (сфероид), большая ось которого имеет размер 100-110 nm, а малая ось имеет размер 28 nm. Процесс формирования полимерной пленки представляется следующим образом. При центрифугировании ассоциаты макромолекул, существующие первоначально в растворе, не разрушаются за время формирования пленочного образца и потому наблюдаются при изучении внутренней структуры полимерной пленки. Можно предположить, что разрыв пленки при ее деформировании происходит в основном по границам агрегатов в результате нарушения межмолекулярных, а не внутримолекулярных связей.

Таким образом, в результате работы показано, что внутреннее строение пленок ПДФ обусловлено ассоциацией макромолекул в растворе. Продемонстрирована возможность использования методик оптической спектроскопии и атомно-силовой микроскопии для исследования надмолекулярной структуры полимерных слоев субмикронной толщины, причем эти методы хорошо дополняют друг друга. Открывается возможность целенаправленно влиять на ассоциацию макромолекул в растворе для получения полимерных пленок с заданными параметрами.

#### Литература

1. Салазкин С.Н., Шапошников В.В. Синтез фталидосодержащих полимеров, перспективных для создания функциональных материалов различного назначения// Нанотехнологии: наука и производство. 2009.№3. С. 4.
2. Карамов, Д.Д. Исследование структуры перспективных полимерных материалов методами малоуглового рассеяния нейтронов и атомно-силовой микроскопии / Д.Д. Карамов, В.М. Корнилов, Ю.В. Кульвелис, И.Р. Набиуллин, В.А. Крайкин, И.А. Ионова // Известия Уфимского научного центра РАН. – 2016. – № 1. – С.13-23.
3. Корнилов, В.М. Надмолекулярная структура тонких пленок электроактивного полимера/ В.М. Корнилов, А.Н. Лачинов, Д.Д. Карамов, И.Р. Набиуллин, Ю.В. Кульвелис // ФТТ. – 2016. – Т.58. – В.5. – С. 1030-1035.

© Фархутдинов Р.Д., 2018 г.

**ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СВОЙСТВА ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА ПОЛИМЕР-ПОЛИМЕР**

Гильманова Р.Д.

Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы,  
г.Уфа, Россия

Целью настоящего исследования явилось изучение свойств границы раздела двух полимерных пленок под действие УФ излучения. В качестве исследуемого материала был использован подидифениленфталид (ПДФ) на границе раздела пленок которого была обнаружена высокопроводящая область [1]. Исследования проводили путем анализа вольтамперных характеристик (ВАХ), измеренных до облучения ультрафиолетом, во время облучения ультрафиолетом и после облучения ультрафиолетом. Полученные результаты представлены на рис.1. Из рисунка видно, что при облучении ультрафиолетовым светом электропроводность образца увеличивается. Установлено, что после отключения УФ-источника электропроводность образца возвращается к исходным значениям в течении 5-10 минут.

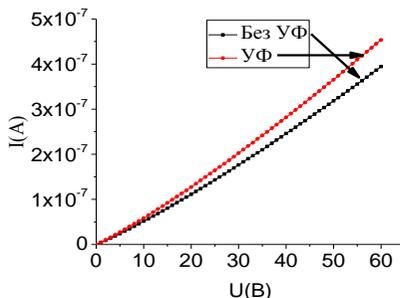


Рис 1. Вольтамперная характеристика исследуемого образца при освещении УФ и в отсутствии освещения УФ.

В литературе о влиянии УФ отмечается, что облучение УФ способствует увеличению плотности локализованных состояний в исследуемых материалах, что приводит к росту электропроводности и уменьшению полевой зависимости [2]. В докладе обсуждаются полученные результаты.

**Литература**

1. Гадиев Р.М. «Аномально высокая проводимость вдоль интерфейса двух полимерных диэлектриков». Письма в ЖЭТФ – 2009. – Т. 90. – №. 11. – С. 821-825
2. Issendorff, B. Cheshnovsky, O. Annu. Rev. Phys. Chem., 2005. - №56 - P.59-78.

© Гильманова Р.Д., 2018 г.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ ГРАФИТА  $L_{4-8}$  В ПОЛИМОРФНЫЕ РАЗНОВИДНОСТИ АЛМАЗА**

Грешняков В.А.

Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия

Кубический алмаз и его полиморфные разновидности привлекают большой интерес из-за своих уникальных физико-химических свойств. Синтезировать эти соединения можно только в экстремальных условиях – при очень высоких давлениях и температурах, в процессе химического осаждения углерода из плазмы и т.д. Следовательно, для получения полиморфов алмаза при менее экстремальных условиях необходим теоретический анализ новых предшественников и способов синтеза из них.

В данной работе при использовании метода теории функционала плотности в приближениях LDA и GGA выполнено моделирование процесса формирования алмазоподобных фаз из нового двумерного углеродного предшественника – графена  $L_{4-8}$  [1]. Расчеты показали, что ромбический полиморф алмаза LA6 может быть сформирован из графита  $L_{4-8}$  с упаковкой слоев AA при давлении 44 ГПа [2,3]. Другой ромбический полиморф, LA7, может быть получен из графита  $L_{4-8}$  AB в интервале давлений от 43 до 46 ГПа [2]. Структура тетрагональной фазы LA10 может быть получена только из графита  $L_{4-8}$  с упаковкой слоев ABCD в диапазоне давлений от 32 до 40 ГПа [2]. Также установлено, что прямые структурные переходы « $L_{4-8}$  AA → LA6», « $L_{4-8}$  AB → LA7» и « $L_{4-8}$  ABCD → LA10» представляют собой экзотермические фазовые переходы первого рода, сопровождающиеся выделением энергии от 0.3 до 0.5 эВ/атом. Потенциальные барьеры, которые необходимо преодолеть для наблюдения обратных структурных преобразований «LA6 →  $L_{4-8}$  AA», «LA7 →  $L_{4-8}$  AB» и «LA10 →  $L_{4-8}$  ABCD», составляют 0.38, 0.34 и 0.18 эВ/атом (при использовании метода LDA) или 0.31, 0.28 и 0.13 эВ/атом (GGA), соответственно. В результате моделирования установлено, что наиболее вероятный способ синтеза фаз LA6, LA7 и LA10 – сильное статическое сжатие тетрагонального графита при низких температурах вдоль оси, перпендикулярной плоскостям слоев.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-33-00030 мол\_а) и Фонда перспективных научных исследований ЧелГУ.

**Литература**

1. Беленков Е.А., Грешняков В.А. // ФТТ, 2016, Т. 58, С. 2069-2078.
2. Грешняков В.А., Беленков Е.А. // Письма о материалах, 2017, Т. 7, С. 318.
3. Грешняков В.А., Беленков Е.А. // Химическая физика и мезоскопия, 2017, Т. 19, С. 182-188.

© Грешняков В.А. 2018 г.

**ВОЗДЕЙСТВИЕ ОБЛУЧЕНИЯ НА СВОЙСТВА И СТРУКТУРУ  
АМОРФНОГО ИОННОГО ПРОВОДНИКА ИЗ СИСТЕМЫ Ag-Ge-As-S**Зарубин В.Ю.<sup>1</sup>, Курочка К.В.<sup>1,2</sup>, Мельникова Н.В.<sup>1</sup>, Куренных Т.Е.<sup>2</sup> Аликин Д.О.<sup>1</sup><sup>1</sup>Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия<sup>2</sup>ИФМ УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Стеклообразные материалы из систем Ag-Ge-Se, Ag-Ge-S, Ag-As-S, Ag-Ge-As-S - перспективные объекты исследования, т.к. они одновременно проявляют ионную проводимость, высокую радиационную устойчивость, интересные термоэлектрические и оптические свойства [1-4]. В работах [2-4] проанализировано влияние состава стеклообразных ионных проводников  $\text{AgGe}_{1-x}\text{As}_{1-x}\text{S}_3$  и композитов на их основе, содержащих углеродные нанотрубки (CNT)  $\text{AgGe}_{1-x}\text{As}_{1-x}(\text{S}+\text{CNT})_3$ , на атомную структуру, оптические свойства и ионную проводимость. Показано, что материалы перспективны для практических применений [5].

В данной работе приводятся результаты исследований транспортных свойств и микроструктуры стеклообразного  $\text{AgGe}_{1-x}\text{As}_{1-x}(\text{S}+\text{CNT})_3$ ,  $x=0.6$ , подвергнутого воздействию пучков протонов и дейтронов с различной энергией частиц. Транспортные свойства исследовали с применением импедансометра Solartron 1260 A и системы ModuLab MTS. Для исследования микроструктуры использовали сканирующий электронный микроскоп JEOL-JSM6390LA с анализатором JED-2300 и систему конфокальной рамановской и атомно-силовой микроскопии ALPHA300AR. Установлено, что после такого воздействия ионная проводимость материала сохраняется, доля ионной проводимости не уменьшается. Результаты исследований поверхности материала свидетельствуют об изменении морфологии поверхности материала, а также его атомного состава в области облученной поверхности, если время воздействия и энергия частиц превышают некоторые характеристические значения.

Исследования выполнены при поддержке РФФИ (пр. № 16-02-00857 и 1316-02-01137) и ФАНО (тема “Электрон” № 01201463326).

**Литература**

1. Tanaka K., Shimakawa K. // *Amorph. Chalc. Semicond. And Related Mat.* NY: Springer. 2011.
2. Мельникова Н. В., Курочка К. В., Хейфец О. Л. и др. // *Известия РАН. Серия физическая.* 2015. Т. 79. № 6. С. 790.
3. Kurochka K.V., Melnikova N.V. // *Solid State Ionics.* 2017. V. 300. P. 53.
4. Мельникова Н.В., Чуфаров А.Ю., Бабушкин А.Н. и др. // *ОМА-19, Труды симпозиума, 2016 – Вып. 19, т.1. – с. 194-195*
5. Мельникова Н.В. и др. Пат. 2614942 РФ, опубли. 31.03.2017, Бюл. №10

УДК

## **ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МНОГОСЛОЙНЫХ ПЛЁНОК ПОЛИДИФЕНИЛЕНФТАЛИДА**

Халилова Г.У., Шакирьянов Р.Р., Лачинов А.Н.

Башкирский Государственный Педагогический Университет им.  
М.Акумоллы, г.Уфа, Россия

В последнее время активно проводятся исследования в области органической электроники. Особый интерес представляют полимерные материалы. Недавно были реализованы двумерные квантоворазмерные структуры в пленках полидифениленфталида (ПДФ) [1]. Представляют большой интерес электронные свойства таких объектов при транспорте носителей заряда в направлении размерного квантования. В связи с этим целью в настоящей работы стало изучение электропроводности полимерных пленок содержащих структуру типа квантовая яма при транспорте носителей заряда в направлении размерного квантования.

В докладе приведены результаты исследования электрофизических свойств многослойных плёнок ПДФ методом вольт – амперных характеристик (ВАХ) при комнатной температуре в направлении перпендикулярном границам раздела пленок. Установлено, что вольт – амперные характеристики не линейны, зависят от количества слоев и их толщины. При изменении толщин слоев возникает эффект электронного переключения, который характеризуется S-образной ВАХ с участком отрицательного дифференциального сопротивления. Интерпретация полученных результатов проводится в рамках теории инжекционных токов, ограниченных пространственным зарядом. В докладе представлено обсуждение практического применения полученных результатов.

### **Литература**

1. Р.М. Гадиев, А.Н. Лачинов, Д.Д. Карамов, Д.А. Киселев, В.М. Корнилов, ЖЭТФ 2016. – Т.149. – В.6.- С.1237-1241.

© Халилова Г.У., 2018 г.

## К ВОПРОСУ О РАСПРЕДЕЛЕНИИ МОЛЕКУЛ В СЛОЯХ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ

Хазыров Е.С.

Башкирский институт кооперации (филиал) РУК, г. Уфа, Россия

В работе проводится анализ поведения сегнетоэлектрической многослойной жидкокристаллической ячейки во внешнем электрическом поле. С этой целью рассматривается динамическая двумерная модель, описывающая поведение поля директора вблизи точек бифуркации. Проблема бифуркации рассматриваемой анизотропной системы сводится к краевой задаче и предлагается численный метод для решения системы уравнений.

Интерес представляет исследование влияния различных значений спонтанной поляризации  $P_0$  на распределение поля директора в сегнетоэлектрическом ЖК. В одноконстантном приближении распределение поля директора описывается динамическим двумерным уравнением [1]:

$$2\lambda \frac{\partial \phi}{\partial t} = B \left( \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} \right) - P_0 E \cos \alpha \cos \phi - \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_a E^2}{4} \sin 2\alpha \sin 2\theta \sin \phi - \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_a E^2}{2} \times \Pi \times \cos^2 \alpha \sin^2 \theta \sin 2\phi .$$

проведен расчет распределения поля директора для значений  $P_0$  от  $8 \cdot 10^{-5}$  Кл/м<sup>2</sup> до  $8 \cdot 10^{-3}$  Кл/м<sup>2</sup> методом прямых [2] при  $\varepsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12}$  Ф/м,  $B = 5 \cdot 10^{-12}$  Н,  $\varepsilon_a = -2$ ,  $d = 10^{-5}$  м,  $\theta = 22.5^\circ$ ,  $\alpha = 15^\circ$ . При этом на поверхностях, ограничивающих образец сегнетоэлектрического жидкого кристалла, предполагались специального вида граничные условия. Для сегнетоэлектрических ЖК ряд результатов для периодических граничных условий предложен в [1].

В рассматриваемом случае на образец сегнетоэлектрического ЖК воздействует внешнее электрическое поле, приложенное под углом  $\alpha$  к смектическим слоям. Однако, в расчетах  $E = 5 \cdot 10^2$  В/м и спонтанная поляризация оказывает существенное влияние на распределение поля директора в сегнетоэлектрическом ЖК.

### Литература

1. Мигранова Д. Н., Кондратьев Д. В., Мигранов Н. Г. Исследование устойчивости равновесных состояний наноматериалов на основе сегнетоэлектрических жидких кристаллов во внешнем электрическом поле // Жидк. крист. и их практич. использ. 2015. Т. 15, № 3. С. 133–142.

2. Мигранова Д. Н., Кондратьев Д. В., Мигранов Н. Г. Метод прямых в решении краевой задачи Пуассона для смектика SmC\* во внешнем электрическом поле // Жидк. крист. и их практич. использ. 2016. Т. 16, № 3. С. 58–68.

© Хазыров Е.С., 2018 г.

**ИСКУССТВЕННЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В УСТАНОВЛЕНИИ  
СТРУКТУРЫ ПРОИЗВОДНЫХ ФУЛЛЕРЕНА C<sub>60</sub> –  
ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ**

Кирьянов И.И.<sup>1)</sup>, Мукминов Ф.Х.<sup>2)</sup>, Халилов Л.М.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Институт нефтехимии и катализа УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

<sup>2)</sup>Институт математики с вычислительным центром УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

Производные фуллерена C<sub>60</sub> представляют собой перспективные материалы для опто- и наноэлектроники в качестве молекулярных переключателей [1]. Однако, на сегодняшний день установление структуры вновь синтезированных производных фуллерена C<sub>60</sub> ограничено только узкоспециализированным INADEQUATE ЯМР <sup>13</sup>C анализом. Кроме того, проведение экспериментов с обогащенными <sup>13</sup>C изотопом образцами представляет собой высоко затратную и трудоемкую задачу в силу стоимости исходного вещества (4000 долларов США за 1 г) и низкой растворимости самих аддуктов. На данный момент нами обнаружено 11 соединений, для которых был выполнен INADEQUATE и полное отнесение всех сигналов ЯМР <sup>13</sup>C [2–5]. В силу этого, на сегодняшний день получили широкое распространение применения методов машинного обучения, в частности искусственных нейронных сетей (ИНС). С 1992 года активно применяются две методики машинного обучения в предсказании химических сдвигов (ХС) ЯМР <sup>13</sup>C и <sup>1</sup>H для установления структур органических веществ: линейное регрессионное моделирование и ИНС. Однако, известные в литературе модели ограничены применением только в узких классах соединений, таких как: кетостероиды, лигнины и др. Кроме того, авторами показано, что применение регрессионного моделирования не приводит к удовлетворительным результатам предсказания ХС.

В настоящей работе нами использовалась ИНС, как новый подход для установления структуры производных фуллерена C<sub>60</sub> из спектров ЯМР <sup>13</sup>C. В обучающую выборку вошли 47 монопроизводных фуллерена C<sub>60</sub>. Исходные данные содержали 2820 экспериментально известных ХС ЯМР <sup>13</sup>C атомов, входящих в фуллереновый каркас. Обучающая выборка содержала 2220 ХС ЯМР <sup>13</sup>C, тестовая – 600. Валидационный набор содержал 444 случайно отобранных примера из обучающей выборки.

На основании литературных данных и эмпирического подхода нами предложена следующая архитектура ИНС: один входной, два скрытых и один выходной слой с одним нейроном (закодированный ХС ЯМР <sup>13</sup>C). Архитектура ИНС схематически представлена на рис. 1. В качестве активационных функций скрытых слоев использовался параметрический линейный выпрямитель (PReLU, Parametric Rectified Linear Unit), в нейроне выходного слоя – гиперболический тангенс. PReLU имеет следующую форму:

$$f(x) = \begin{cases} x, & x > 0 \\ \alpha x, & \alpha \in \mathfrak{R}, \alpha > 0 \end{cases}, \quad (4)$$

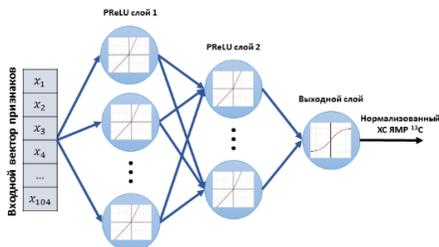


Рис. 1. Архитектура искусственной нейронной сети

С целью определения оптимального размера скрытых слоев ИНС нами обучено 400 сетей с переменным количеством нейронов в каждом скрытом слое. Их количество изменялось от 10 до 200 нейронов с шагом 10. В качестве методов регуляризации использовался метод раннего останова.

После проверки предиктивной способности каждой обученной модели на тестовой выборке установлено, что наиболее оптимальным размером скрытых слоев является 200 и 40 нейронов соответственно. Средняя абсолютная ошибка предсказания составила 1,76 м.д., что полностью сопоставимо с существующими моделями в мировой литературе. Таким образом, применение предлагаемой методики машинного обучения позволяет решать задачу установления структуры и описания физико-химических свойств новых производных фуллерена C<sub>60</sub>, перспективных в качестве элементной базы молекулярной наноэлектроники.

### Литература

1. Tuktarov A.R., Khuzin A.A., Dzhemilev U.M. Light-controlled molecular switches based on carbon clusters. Synthesis, properties and application prospects // Russ. Chem. Rev. 2017. Vol. 86, № 6. P. 474–509.
2. Smith A.B. et al. Synthesis of Prototypical Fullerene Cyclopropanes and Annulenes. Isomer Differentiation via NMR and UV Spectroscopy // J. Am. Chem. Soc. 1995. Vol. 117, № 20. P. 5492–5502.
3. Burley G.A. et al. Synthesis and Characterization of Mono- and Bis-methano[60]fullerenyl Amino Acid Derivatives and Their Reductive Ring-Opening Retro-Bingel Reactions // J. Org. Chem. 2002. Vol. 67, № 24. P. 8316–8330.
4. Meier M.S. et al. A <sup>13</sup>C INADEQUATE and HF-GIAO Study of C<sub>60</sub>H<sub>2</sub> and C<sub>60</sub>H<sub>6</sub> Identification of Ring Currents in a 1,2-Dihydrofullerene // J. Am. Chem. Soc. 2002. Vol. 124, № 27. P. 8090–8094.
5. Ball G.E. et al. Structural Reassignment of the Mono- and Bis-Addition Products from the Addition Reactions of N-(Diphenylmethylene)glycinate Esters to [60]Fullerene under Bingel Conditions // J. Org. Chem. 2005. Vol. 70, № 21. P. 8572–8574.

© Кирьянов И.И., Мукминов Ф.Х., Халилов Л.М., 2018 г.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОТЖИГА ПЛЕНОК ОКСИДА ЖЕЛЕЗА ЛАЗЕРОМ НА ПОДЛОЖКАХ САПФИРА

Клунникова Ю.В.

Южный федеральный университет, Институт нанотехнологий, электроники и приборостроения, г. Таганрог, Россия

В микро- и нанoeлектронике важную роль играют геометрия и свойства тонких пленок для управления параметрами приборов, выполненных на их основе. В настоящее время для светодиодной техники, интегральных схем, газовых датчиков востребованными являются подложки на основе сапфира, которые находят применение благодаря ряду свойств.

Лазерный отжиг пленок оксида железа ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) на поверхности подложки сапфира проводился с использованием инфракрасного Nd:YAG лазера с длиной волны 1064 нм, мощностью лазерного излучения 80 – 100 Вт.

Методом трансмиссионной мессбауэровской спектроскопии определено, что полученные пленки  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  находятся в суперпарамагнитном состоянии.

Воздействие лазерным излучением на структуру «пленка-подложка» может сопровождаться появлением термоупругих напряжений, что может привести к растрескиванию и расслаиванию пленок. Процессы, происходящие в пленке в процессе ее образования, зависят от выбранных параметров процесса отжига лазером.

При исследовании воздействия лазерного излучения на структуру пленка – сапфир наиболее существенным является расчет температуры и режимов термообработки пленки. Определено, что при средней мощности излучения лазера 70 – 90 Вт со скоростью луча лазера 5 – 10 мм/с температура на поверхности пленки  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  составит 500 – 600 °С. Проводятся исследования по оценке термоупругих напряжений в пленке, их влиянии на формирование микроструктур.

Применение излучения лазера для получения тонких пленок  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  на поверхности подложки сапфира способствует повышению производительности при изготовлении газочувствительного элемента, повышению качества окисла, воспроизводимости параметров пленки и их стабильности. Управление технологическими параметрами лазерного отжига пленок и уровнем термоупругих напряжений в процессе их формирования позволит усовершенствовать конструкции устройств на их основе.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (проект № 14.587.21.0025, уникальный идентификатор проекта RFMEFI58716X0025).

## СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ ДИОКСИДА ВАНАДИЯ ПРИ ПОМОЩИ КАНАЛЬНЫХ КЛАТРАТОВ

Кочеткова Е.М.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
г.Москва, Россия.

Диоксид ванадия обладает низкой температурой фазового перехода изолятор-проводник при 68°C [1] и применяется для изготовления терморезисторов, визуализаторов инфракрасного излучения и так далее [2]. Потенциальное использование в устройствах для вычисления и хранения информации [3].

В работе были получены наночастицы VO<sub>2</sub> при помощи соединений включения ванадил-иона в спиралевидные каналы диаметром около 0,5 нм таких полимеров, как амилоза, поливинилпирролидон (ПВП) и поливиниловый спирт (ПВС).

Синтез наночастиц проводился в две стадии:

1. Синтезирование соединения включения
2. Разрушение полимеров-матриц при 350°C.

Начальная стадия получения соединения включения-получение полимеров-матриц. Для приготовления раствора амилозы использовали стандартную методику основанную на значительно более высокой растворимости амилозы в горячей воде по сравнению с амилопектином: навеску крахмала 1 г в 50 мл воды нагревали на водяной бане при 60°C в течение 1 часа, а часть крахмала, что не подверглась растворению (преимущественно амилопектин) отделяли фильтрованием после охлаждения раствора, далее в ходе медленного выпаривания фильтрата при комнатной температуре получали амилозу.

Для приготовления соединения включения сначала навеску (4г) сульфата ванадила растворяли в 250 мл воды для приготовления раствора концентрации 0,1 моль.л<sup>-1</sup> (раствор голубого цвета со слабокислой реакцией pH = 4,7), к которому добавляли твердую амилозу. Далее твердую амилозу добавляли к раствору сульфата ванадила VOSO<sub>4</sub> (0,1 М). Для получения соединений включения с ПВС и ПВП к их растворам (каждый по 0,1М) добавляли по 0,1М сульфата ванадила. Для получения твердых соединений включения воду удаляли выпариванием при 40°C в течение нескольких часов либо более продолжительным по времени высушиванием при комнатной температуре. Далее полученные твердые образцы исследовались методами рентгенофазового анализа (РФА), методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), методом инфракрасной спектроскопии (ИК), методом малоуглового рентгеновского рассеяния.

РФА-измерения выполняли на рентгенодифрактометре “Дрон-3М”, излучение Co,Kα. В ходе измерений было выявлено, что все образцы оказались аморфными.

ЭПР-спектр снимали на спектрометре E-3 "Varian" с вычислительной системой для обработки спектров, при 77К. ИК-измерения проводили на ИК-спектрометре Spectrum Frontier (Perkin Elmer). Для получения спектра ИК-поглощения образец растирали с избытком бромистого калия, полученную мелкодисперсную смесь спрессовывали в таблетку.

Результаты исследований образцов до термической обработки:

По результатам ЭПР установлено, что при вхождении ионов ванадила в матрицы (амилоза, ПВС, ПВП) образуются парамагнитные центры (ПЦ) с простейшей формулой, близкой к  $\text{VO}_2$ , при этом механизм вхождения однопипен. Захваченные ионы располагаются в каналах хозяев на расстоянии друг от друга около 1 нм. ИК-спектр продукта взаимодействия ванадил-иона с амилозой показывает, что в образце содержатся связи  $\text{V}=\text{O}$  (дублет около  $1000 \text{ см}^{-1}$ ), небольшое количество воды (поглощение в области  $3600 \text{ см}^{-1}$ ) и не наблюдается сульфат-ион (отсутствует пик в области  $1150 \text{ см}^{-1}$ ).

Для разрушения полимеров-хозяев и кристаллизации образцы нагревались при  $350^\circ\text{C}$  в течение 2 часов, предварительно они промывались водой для очистки от сульфат-иона, далее исследовались методом РФА и методом малоуглового рентгеновского рассеяния.

Рентгенограмма соединения включения  $\text{VOSO}_4$  в амилозу после нагревания при  $350^\circ\text{C}$  близка к рентгенограммам пленок  $\text{VO}_2$ , получаемых традиционными методами, также содержит рефлексы, характерные для нитей  $\text{VO}_2$ , а образцы соединений включения  $\text{VOSO}_4$  в ПВС и ПВП оказались аморфными.

С помощью метода малоуглового рентгеновского рассеяния [4] удалось провести расчеты распределений по размерам наночастиц, полученных после термической обработки: большинство частиц имеют размер 3,7 нм, но присутствует малое количество частиц, размер которых составляет около 40 нм. Исследования проводились на малоугловом рентгеновском дифрактометре "АМУР-К".

### Литература

1. Дроздов А.А., Зломанов В.П., Мазо Г.Н., Спиридонов Ф.М. Неорганическая химия В 3 т. Кн. 1 М.: «Академия». 2007, с. 104.
2. Виноградова О.П., Обыкновенная И.Е., Сидоров А.И., Климов В.А., Шадрин Е.Б., Ханин С.Д., Хрущева Т.А. Синтез и свойства нанокристаллов диоксида ванадия в силикатных пористых стеклах, журнал «Физика твердого тела», том 50, вып 4, 2008, с. 734.
3. Zhou, You; Ramanathan, S. (2015-08-01). "Mott Memory and Neuromorphic Devices". Proceedings of the IEEE. 103 (8): 1289–1310.
4. Свиргун Д.И., Фейгин Л.А. Рентгеновское и нейтронное малоугловое рассеяние. М.: Наука, 1986. –280с.

## СПОСОБ ИЗМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СВОЙСТВ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК ZNS

Колесникова А.С., Глуховской Е.Г.

ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», г. Саратов, Россия

Квантовые точки (КТ) представляют собой неорганические полупроводниковые нанокристаллы с замечательными оптоэлектронными свойствами, обусловленные квантовым ограничением электронного движения, в противном случае недоступными ни в дискретных атомах, ни в объемных материалах. КТ обладают несколькими преимуществами по сравнению с традиционными органическими флуорофорами из-за их превосходной стойкости к фотообесцвечиванию и оптическим свойствам, настраиваемым по размеру и составу материала. Наиболее важно то, что широкое поглощение с узкими спектрами излучения КТ делает их потенциальными кандидатами на мультиплексные приложения в биовизуализации.

Полупроводниковые наноматериалы, такие как квантовые точки ZnS и ZnO, привлекают большое внимания благодаря их огромному потенциалу в ультрафиолетовых оптических и оптоэлектронных устройствах.

На протяжении многих десятилетий, слои из ZnS активно изучаются с использованием разных легирующих добавок, чтобы изменить цвет излучения [1,2], для исследования эмиссионных характеристик материала (потенциала ионизации) [3,4].

Целью данной работы является теоретическое исследование изменения дипольного момента в зависимости от размера квантовых точек.

Для исследования влияния размерного эффекта на проводящие свойства квантовых точек ZnS построены пять моделей квантовых точек гексагональной симметрии с разным количеством атомов в структуре ZnS: 12 атомами, 24 атомами, 40 атомами, 66 атомами, 86 атомами. Увеличение размеров молекулы осуществляется в плоскости XZ. Ось Y располагается перпендикулярно плоскости расположения молекулы. Количество атомов Zn и S в структуре совпадает. Длины химических связей в элементарной ячейке после процесса нахождения ее равновесного состояния имеют следующие значения: связи S – Zn – 2,32 Å, связи Zn – Zn – 2,37 Å. В Таблице 1 представлено изменение дипольного момента квантовых точек при увеличении количества атомов.

**Таблица 1.**

Изменение дипольного момента квантовых точек  
при увеличении количества атомов

| Количество атомов в квантовой точке | Дипольный момент вдоль оси X, Debye | Дипольный момент вдоль оси Y, Debye | Дипольный момент вдоль оси Z, Debye | Дипольный момент, Debye |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| 12                                  | -0.0016                             | -0.0006                             | -0.0004                             | 0.0018                  |
| 24                                  | 0                                   | 0.0006                              | 0                                   | 0.0006                  |
| 40                                  | -0.0004                             | -0.0001                             | -0.0001                             | 0.0004                  |
| 66                                  | 0.0319                              | 0.0175                              | 1.9732                              | 1.9735                  |
| 86                                  | 0.0065                              | 1.4874                              | 1.8486                              | 2.3727                  |

На основе результатов, представленных в Таблице 1 видно, что с увеличением количества атомов в структуре дипольный момент увеличивается не зависимо от размера структуры в плоскости, в которой она располагается.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Президентской стипендией 2016-2018 (проект № СП-2502.2016.1)*

### Литература

1. Bulanyi M. F., Kovalenko A. V., Polezhaev B. A. Electroluminescence Behavior of ZnS:Mn<sup>2+</sup> Crystals//Inorganic Materials, 2003, V. 39, I. 3, pp 222–225
2. Auttasit T., Wu K. L., Tung H.Y., Lee M.W., Wang G. J. Ag<sub>2</sub>S quantum dot-sensitized solar cells // Electrochemistry Communications., 2010, V.12, pp. 1158-1160
3. Колесникова А. С., Глуховской Е. Г. Способ управления проводящими свойствами квантовой точки **ZnS** // Всероссийская конференция молодых ученых с международным участием «Практическая биомеханика», 2016, С. 81
4. Колесникова А.С., Глуховской Е.Г. Изменение эмиссионных свойств ZnS при контакте с однородными и разнородными атомами// Актуальные проблемы микро- и наноэлектроники Сборник тезисов докладов IV Всероссийской научной молодежной конференции с международным участием. ответственный редактор Бахтизин Р.З., 2016, С. 54-55.

УДК.538.7

## ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ НА ПОДВИЖНОСТЬ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В ПЛЕНКАХ ПОЛИДИФЕНИЛЕНФТАЛИДА (ПДФ)

Лихачева А.Р., Рахматова Л.И.

Башкирский государственный педагогический университет им.М.Акумуллы, г. Уфа, Россия

Основным ограничением применения органических материалов в электронных устройствах является их чувствительность к внешней среде. Чувствительность к различным газам и возможная деструкция создает определенные сложности в их исследовании. Устойчивость к внешней среде пленок ПДФ позволяет проводить исследования свойств данного материала при комнатных условиях, однако какое влияние оказывают отдельные газы на электропроводность и подвижность сказать сложно. В этой связи, в данной работе, были проведены измерения подвижности носителей заряда в пленках ПДФ методом CELIV (экстракция носителей заряда линейно увеличивающимся напряжением) [1].

Измерения проводились на структурах Si/ПДФ/Sb и Si/Sb. На рис.1. представлена зависимость максимального тока экстракции от влажности. Из рисунка видно, что при увеличении относительной влажности воздуха от 20 до 65 % происходит заметный рост  $j_{\max}$  в структуре. Аналогичные измерения на структуре Si/Sb показали, что максимальный ток экстракции не изменяется, что говорит о влиянии влажности на проводимость пленок ПДФ.

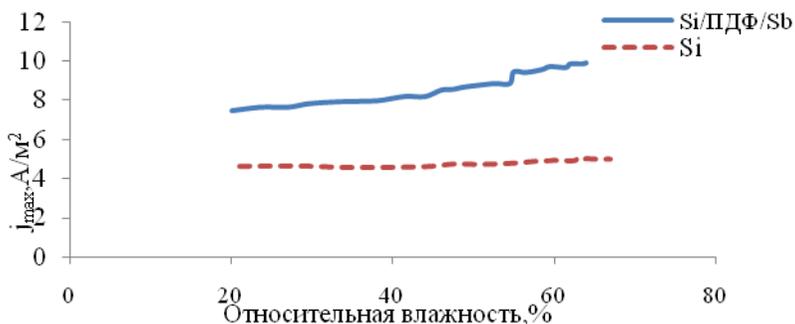


Рис.1. Зависимость максимального тока экстракции  $j_{\max}$  от влажности

Стоит отметить, что изменение подвижности носителей заряда в отличии от тока экстракции несущественно.

### Литература

1. Jucka G, Arlauskas K, Vilinas M. Extraction Current Transients: New Method of Study of Charge Transport in Microcrystalline Silicon/Physical Review Letters, 84, 4946 (2000)

©Лихачева А.Р., Рахматова Л.И., 2018

## ГИДРОФИЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ЗАМЕЩЕННЫХ КАЛЬЦИЙ ФОСФАТОВ

Лясникова А.В., Дударева О.А., Маркелова О.А., Гришина И.П., Лясников В.Н.

Саратовский государственный технический университет  
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия

Одними из важных параметров материалов и покрытий, применяемых в микро- и наноэлектронике, а также медицинской технике являются их гидрофильные характеристики [1].

Целью работы является исследование влияния составов порошков гидроксипатитов (ГА) и трикальцийфосфатов (ТКФ) (магний-, цинк-, медь-, сереброзамещенных), используемых для плазменного напыления покрытий [2] на степень гидрофильности покрытий, а как следствие на характер взаимодействия покрытия с окружающей средой, в частности жидкой.

Синтез металлосодержащих порошков производился в лаборатории кафедры ФМБИ СГТУ имени Гагарина Ю.А. Покрытие формировалось на образцах из титана марки ВТ1-0 размером  $10 \times 10 \times 3 \text{ мм}^2$ .

Плазменное напыление производили на полуавтоматической установке УПН-28 при токе дуги – 350 А, скорости расхода транспортирующего газа – 5 л/мин, дисперсности порошка до 90 мкм, дистанции напыления до 5 мм, времени напыления – 7 с.

Для определения степени гидрофильности покрытия измеряли угол смачивания между касательной, проведенной к поверхности смачиваемой водой и глицерином и смачиваемой поверхностью (рис. 1).

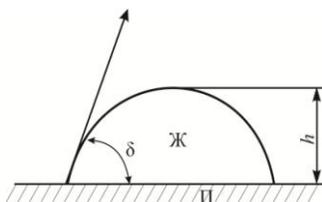


Рис. 1. Схема определения степени гидрофильности покрытия:  
Ж – жидкость (глицерин); П – покрытие;  $h$  – высота капли;  $\delta$  – угол смачивания

Результаты экспериментальных исследований степени гидрофильности покрытий приведены в таблице 1.

Таблица 1

Значения краевого угла смачивания покрытий на основе замещенных кальцийфосфатов

| Тип покрытия | Краевой угол, град |          |
|--------------|--------------------|----------|
|              | Вода               | Глицерин |
|              |                    |          |

|                       |    |    |
|-----------------------|----|----|
| Магнийзамещенный ГА   | 31 | 63 |
| Цинкзамещенный ГА     | 46 | 86 |
| Медьзамещенный ГА     | 33 | 72 |
| Сереброзамещенный ГА  | 25 | 47 |
| Магнийзамещенный ТКФ  | 30 | 67 |
| Цинкзамещенный ТКФ    | 32 | 55 |
| Медьзамещенный ТКФ    | 20 | 43 |
| Сереброзамещенный ТКФ | 22 | 62 |

Исследования показали, что все покрытия на основе замещенных гидроксиапатитов и трикальцийфосфатов, полученные методом плазменного напыления, проявляют гидрофильные свойства (угол смачивания глицерином менее 90 °) [3, 4]. При этом наибольшие гидрофильные характеристики отмечаются у покрытий на основе порошков сереброзамещенного ГА, медьзамещенного ТКФ, цинкзамещенного ТКФ.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента для государственной поддержки молодых российских ученых РФ – докторов наук МД-1403.2017.8 и стипендии Президента РФ для молодых ученых и аспирантов СП-5048.2018.4, а также Гранта РФФИ в рамках научного проекта № 16-08-01250 а.*

#### **Литература**

1. Лясников В.Н. Плазменное напыление: монография / В.Н. Лясников, А.В. Лясникова, О.А. Дударева. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2016. 643 с.
2. Модифицированные гидроксиапатиты и нанокompозитные покрытия на их основе: монография /А.В. Лясникова, О.А. Дударева, О.А. Маркелова, И.П. Гришина, В.Н. Лясников. Саратов: Изд-во СГТУ, 2016. – 123 с.
3. Влияние типов замещения гидроксиапатитовых покрытий на степень их гидрофильности / О.А. Маркелова, А.В. Лясникова, О.А. Дударева, А.В. Сабирова, М.В. Загибашев // Актуальные вопросы биомедицинской инженерии. сборник материалов V Всероссийской научной конференции для молодых ученых, студентов и школьников. Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А. 2015. – С. 22-26.
4. Исследование степени гидрофильности плазмонапыленных металлосодержащих гидроксиапатитовых покрытий / А.В. Лясникова, О.А. Маркелова, В.Н. Лясников, О.А. Дударева, С.Я. Пичхидзе // Технические науки в мире: от теории к практике. Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. 2015. – С. 42-45.

© Лясникова А.В., Дударева О.А., Маркелова О.А., Гришина И.П., Лясников В.Н. 2018 г.

**ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА УГЛЕРОДНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ**

Мазепа М.М., Колесникова А.С.

Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, г.  
Саратов, Россия

Автоэмиссионные катоды из углеродных материалов представляют большой интерес для их использования в современных вакуумных приборах электронной техники, в том числе и в приборах СВЧ диапазона [1,2].

В настоящее время в области развития автоэмиссионной электроники, в качестве матричных катодов, особый интерес вызывает однослойный колонный графен. Предполагается, что за счет упорядоченного расположения углеродных нанотрубок на графеновом листе, данные композиты превзойдут по проводящим свойствам используемые в настоящее время углеродные нанотрубки (УНТ).

В связи с этим, целью данной работы является исследование проводящих свойств колонного графена с armchair-УНТ. В данной работе представлены результаты исследования зависимости ширины запрещенной зоны колонного графена от длин УНТ, входящей в состав разных композитов. Ширина запрещенной зоны определялась как область энергии между валентной зоной и зоной проводимости. Границы этих зон определялись численно, в программном продукте Gaussian'09 методом DFT/B3LYP с базисом STO-3G.

В качестве объекта исследования выступили углеродные композиты (рисунок 1), в состав каждый из которых входит одна armchair-УНТ. Отличительной особенностью этих композитов является то, что УНТ, входящие в их состав у каждого композита имеет свою длину, а диаметр - одинаковый 5.47 Å. Длины УНТ варьировались в диапазоне от 4.18 Å до 16.72 Å. Геометрические размеры графенового листа составили 15,97 Å вдоль торца zigzag и 16,31 Å вдоль торца armchair. Известно, что подобные углеродные композиты различных конфигураций обладают прочностью, превосходящей прочность стали [3-4].

Для протяженных углеродных нанотрубок известно, что ширина запрещенной зоны осциллирует в области сверхмалых диаметров [5].

По результатам исследований, конечно-размерный колонный графен на базе armchair-УНТ можно отнести к узкозонным проводникам. При сравнении результатов работы данной статьи со статьей [5] видно, что колонный графен по проводящим свойствам превосходит УНТ в большинстве случаев. Как видно из результатов, пики осцилляции ширины запрещенной зоны уменьшаются с ростом длин УНТ. Следовательно, можно сделать вывод, что перспективным материалом для автоэмиссионной электроники являются углеродные композиты, с большими длинами УНТ.

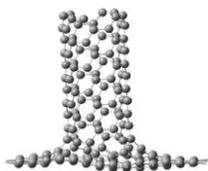


Рис. 1- Исследованная модель колонного графена

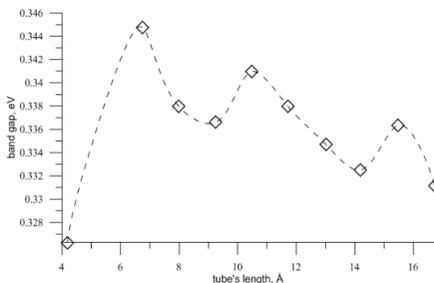


Рис. 2 – График зависимости ширины запрещенной зоны от длин УНТ

*Работа выполнена при финансовой поддержке Президентской стипендией 2016-2018 (проект № СП-2502.2016.1).*

### Литература

1. Бушуев Н.А., Глухова О.Е., Григорьев Ю.А., Иванов Д.В., Колесникова А.С., Николаев А.А., Шалаев П.Д., Шестеркин В.И. Исследование эмиссионных характеристик многолучевой электронной пушки с автоэмиссионным катодом из стеклоуглерода// Журнал технической физики. 2016. Т. 86. № 2. С. 134-139.
2. Шестеркин В.И., Глухова О.Е., Иванов Д.В., Колесникова А.С. Расчетно-экспериментальная оценка спектра энергий автоэлектронов для многоострийной катодной матрицы из стеклоуглерода// Радиотехника и электроника. 2014. Т. 59. № 8. С. 782.
3. Колесникова А. С., Сафонов Р.А., Мазепа М.М. Прогнозирование модуля упругости и коэффициента Пуассона углеродного нанокompозита // Нано- и биомедицинские технологии. Управление качеством. Проблемы и перспективы. Сборник научных статей. Саратов, 2016. С. 41-47.
4. Kolesnikova A. S., Mazepa M. M., "Management the strength properties of carbon composites" // Proc. SPIE 10079, Reporters, Markers, Dyes, Nanoparticles, and Molecular Probes for Biomedical Applications IX.
5. Бормونتв Е.Н., Ганин А.А., Битюцкая Л.А. Осцилляции ширины запрещенной зоны одностенных углеродных нанотрубок в области сверхмалых диаметров //Известия высших учебных заведений. Электроника. Изд. НИУ «МИЭТ», г. Москва. 2012. Н. 2 (94). С. 10-14.

## **ЭМИССИОННЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРА С УГЛЕРОДНЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ**

Минченкин А.С., Корнилов В.М.

Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы,  
г. Уфа, Россия

Применение полевых эмиттеров используется при создании вакуумных электронных устройств. У этих эмиттеров имеются такие преимущества, как не нуждаются в накале и почти безынерционны. Они гарантируют большие плотности токов, что нужно при построении миниатюрных приборов.

Для получения больших значений тока, нужно поле с напряженностью порядка  $10^7$  В/см. Как правило, применяют эффекты усиления электрического поля на микроостриях. Поэтому традиционным направлением в разработке автоэмиссионных катодов является использование особых геометрии эмиттера – в виде острия, лезвия и т.п. с очень малым радиусом кривизны.

Однако и у автоэлектронной эмиссии есть свои недостатки, вызванные не идеальностью вакуума, материала и разрушением геометрии катода. Из-за постоянной ионной бомбардировки катода, адсорбции и десорбции молекул остаточных газов, находящихся под давлением  $10^5$  Па, происходит нарушение его геометрия и меняется работа выхода электронов, что, несомненно, влияет на стабильности тока эмиссии и, в конечном счете, приводит к его деградации. Чтобы этого не произошло, нужно применять другие материалы, которые имеют высокую устойчивость к внешним воздействиям.

Список всех материалов, используемый в производстве острых автокатодов, достаточно большой. К ним относятся металлы, полупроводники, углеродные материалы (алмаз, нанотрубки, графит, фуллерены). В то же время есть работы, где описывается электронная эмиссия из катодов с полимерными покрытиями. При этом наблюдаются стабильные и большие токи эмиссии, устойчивость к внешним воздействиям, уменьшение порогового значения полей для появления тока [1, 2].

В данной работе рассмотрена возможность использования достаточно простой методики создания катодов, работающие в высоком вакууме. В качестве материала для изготовления катода используем композит на основе раствора полимера полидифениленфталата с добавлением порошка из нанодисперсного графита. Этот полимер может быть переведен из исходного диэлектрического состояния в высокопроводящее при использовании различных внешних воздействий [3]. Наночастицы графита являются остриями катода.

Иницирование эмиссии проводилось по методике, описанной в [3]. В результате возникало свечение люминесцентного экрана (рис.1), и регистрировался ток в измерительной цепи. После установления стабильной эмиссии (3-5 мин.) фиксировались вольтамперные характеристики (ВАХ).

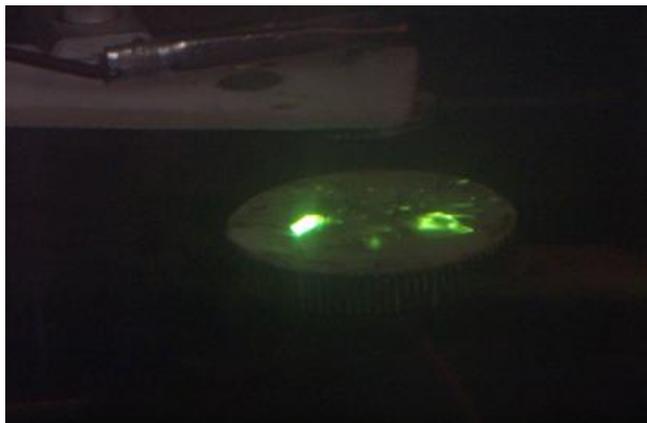


Рис 1. Эмиссионная картина, наблюдаемая на люминесцентном экране

В конце хочется отметить, что наблюдается самоподдерживающаяся эмиссия и сохраняет автоэмиссионные характеристики в течение длительного рабочего времени.

### Литература

1. Юмагузин, Ю.М., Корнилов, В.М., Лачинов, А.Н. Энергетические распределения электронов в системе металл-полимер-вакуум // ЖЭТФ. – 2006. – Т. 130. № 2. С. 303-308.
2. Юмагузин, Ю.М. Салихов, Т.Р., Шаяхметов, Р.У., Салихов, Р.Б. Транспорт заряда через границу металл-полимерная пленка // ФТТ. – 2015. – Т.58. Вып. 8. С. 1635-1638.
3. Корнилов, В.М., Лачинов, А.Н., Логинов, Б.А., Беспалов, В.А. Эмиссионные свойства планарной структуры кремний-полимер-вакуум // ЖТФ. – 2009. – Т. 79. Вып. 5. С. 116-119.

© Минченкин А.С., Корнилов В.М., 2018 г.

## **ФОТОТРАНЗИСТОРЫ НА ОСНОВЕ РАСТВОРИМЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРОВ**

Муллагалиев И. Н., Сафаргалин И.Н., Салихов Р.Б.  
Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Полимерная электроника – современное междисциплинарное направление науки и технологии, связанное с созданием новых электронных устройств, базовыми элементами которых являются органические тонкопленочные транзисторы и фотовольтаические ячейки [1,2]. В последние годы активно разрабатываются фототранзисторы на основе органических полимеров [3].

Была предложено создание фототранзистора на основе растворимых органических полимеров: полианилина, спиропирана, пленки С60 и фуллеренпроизводных, которые активно используются в качестве транспортного слоя в органических полевых транзисторах.

В данной работе изучены вольтамперные характеристики фототранзисторов, созданных на основе тонких пленок модифицированных фуллеренов и его производных. Для изготовления транзисторов были использованы стеклянные пластины с омическим контактом в виде ИТО. На слой ИТО методом термического распыления в вакуумной камере на установке ВУП 5 нанесены пленка полианилина, которая использовалась в качестве подзатворного диэлектрика, так же методом термического распыления наносился слой фотохромного органического соединения спиропирана. Поверх него наносилась пленка С60 или фуллеренпроизводных методом центрифугирования из раствора. Сверху были нанесены алюминиевые электроды методом термического распыления в вакуумной камере на установке ВУП 5 с зазором между электродами в 50 мкм.

### **Литература**

1. Salikhov T.R., Yumaguzin Y.M., Salikhov R.B., Electronics applications based on thin polyaniline films // 2015 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON. IEEE Proceedings 2015, p. 7147207.
2. Salikhov R.B., Biglova Y.N., Yumaguzin Y.M., Salikhov T.R., Miftakhov M.S., Mustafin A.G. Solar-energy photoconverters based on thin films of organic materials // Technical Physics Letters, 2013, v. 39, № 10, p. 854-857.
3. Алешин А.Н., Щербаков И.П., Федичкин Ф.С. Фоточувствительный полевой транзистор на основе композитной пленки поливинилкарбазола с наночастицами никеля // Физика твердого тела, 2012, т. 54, вып. 8, с. 1586-1590.

© Муллагалиев И. Н., Сафаргалин И.Н., Салихов Р.Б., 2018г.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВОДЫ НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПОЛИДИФЕНИЛЕНФТАЛИДА**

Никитина Д.В.

БГПУ им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия

Широкозонные полимеры в частности весь класс полиариленфталидов (ПАФ) привлекает в последнее время большое внимание исследователей это связано с тем, что тонкие пленки полимеров класса ПАФ при определенных условиях способны проявлять высокую электропроводность [2]. Исходя из высокой химической стабильности этого полимера, большая часть проведенных исследований, в том числе и процесс изготовления экспериментальных структур, производились на открытом воздухе без контроля состава атмосферы.

Известно что, под действием кислорода образуются продукты окисления, которые играют роль ловушек и понижают подвижность носителей заряда[1]. В одной из представленных ранее работ полученные результаты измерений ВАХ для исследуемой структуры М-П-ПМ (Al-ПДФ-Sr) показали, что инертный газ (Ar) не оказывает влияния на электропроводность ПДФ. В тоже время, повышение концентрации кислорода, оказывает сильное воздействие на свойства пленок ПДФ. Установлено, что за ~ 60 минут нахождения образца в вакууме, удается понизить концентрацию кислорода в полимерной пленке. Это проявляется в увеличении тока протекающего через образец. Эксперименты в рамках данной работы, были проведены с учетом теоретических квантово-химических расчетов, в рамках которых было показано, что основной вклад в электропроводность тонких полимерных пленок ПДФ вносит кислород.

Таким образом, актуальным является исследование влияния воды на электрофизические параметры пленок ПДФ. Таким образом, были проведены квантово-химические расчеты методом теории функционала плотности энергии средства к электрону и спиновой плотности для комплексов мономер ПДФ/ H<sub>2</sub>O. Предварительные полученные результаты показывают отсутствие в изменении спиновой плотности и незначительное изменение средства к электрону комплекса ПДФ/H<sub>2</sub>O.

**Литература**

1. Nicolai, H. T. Kuik, M. G. Wetzelaer, A. H. de Boer B., Campbell C., Risko, C. Brédas J. L. and Blom, P.W. M. // Unification of trap-limited electron transport in semiconducting polymers. 2012 г.
2. Лачинов А. Н., Воробьева Н. В. // Электроника тонких слоев широкозонных полимеров. Том 176, №12, УФН. 2006 г.

© Никитина Д, В., 2018 г

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОВЕДЕНИЯ СМЕКТИЧЕСКОГО  
ЖИДКОГО КРИСТАЛЛА В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ**

Петров Е.Г.

Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы,  
г. Уфа, Россия

Физические исследования на основе сложных математических моделей производятся путем компьютерного математического моделирования. Один из примеров такого исследования предложен в данной работе.

Смектические жидкие кристаллы перспективны для создания дисплеев нового поколения, поскольку их быстродействие на 2 – 3 порядка выше по сравнению с нематическими жидкими кристаллами. Исследование поведения смектика часто сводится к решению дифференциальных уравнений в частных производных параболического типа.

Метод линий [1], использованный для решения поставленной задачи, представляет собой особый метод конечных разностей, обладающий эффективным свойством по отношению к точности, и требует порой существенно меньше времени счета по сравнению со стандартными методами конечных разностей. Суть метода состоит в том, что заданное дифференциальное уравнение в частных производных необходимо задать в дискретной постановке и одно из направлений остается аналитическим.

Проведено исследование математической модели (см. [2]) поведения смектического жидкого кристалла в электрическом поле. Получено распределение поля директора в образце смектика для двумерной задачи для следующих физических параметров системы  $\varepsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12}$  Ф/м,  $B = 5 \cdot 10^{-12}$  Н,  $\varepsilon_a = -2$ ,  $P_0 = 8 \cdot 10^{-5}$  Кл/м<sup>2</sup>,  $d = 10^{-5}$  м,  $\theta = 22.5^\circ$ ,  $\alpha = 15^\circ$ ,  $E = 500$  В/м.

На ограничивающих исследуемый образец жидкого кристалла поверхностях предполагаются периодические граничные условия. Исследования показали, что периодические структуры на границе приводят к образованию периодических макроструктур в объеме образца. При этом стоит заметить, что в работе рассматривались слабые внешние электрические поля.

**Литература**

1. Мигранова Д. Н., Кондратьев Д. В., Мигранов Н. Г. Метод прямых в решении краевой задачи Пуассона для смектика SmC\* во внешнем электрическом поле // Жидк. крист. и их практич. использ. 2016. Т. 16, № 3. С. 58–68.
2. Мигранова Д. Н., Кондратьев Д. В., Мигранов Н. Г. Исследование устойчивости равновесных состояний наноматериалов на основе сегнетоэлектрических жидких кристаллов во внешнем электрическом поле // Жидк. крист. и их практич. использ. 2015. Т. 15, № 3. С. 133–142.

## **СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ НА ОСНОВЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Сафаргалин И.Н., Салихов Т.Р.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Преобразование солнечной энергии в электрическую – одна из глобальных проблем современности. Для этих целей используются солнечные батареи, в частности, органические фотопреобразователи солнечной энергии (ФСЭ) [1-3].

В данной работе использованы электронодонорные модифицированные полианилины, их сополимеры и высокомолекулярные фуллеренсодержащие соединения акцепторного типа. Сначала была отработана методика получения тонких пленок растворимых форм полианилинов и фуллеренсодержащих полимеров методом центрифугирования. Следующий этап заключался в формировании пробных образцов органических ФСЭ на стеклянной подложке со слоем ИТО на основе донорно-акцепторных полимерных систем, описанных выше. На слой ИТО дополнительно наносилась полимерная пленка PEDOT-PSS. В качестве верхнего электрода использовались пленки Al, полученные термическим напылением в вакууме. На завершающей стадии работы измерены вольтамперные характеристики всех приготовленных образцов ФСЭ и рассчитаны такие параметры, как напряжение холостого хода, ток короткого замыкания, коэффициент заполнения и КПД.

Исследование, проведенное в данной работе, показало целесообразность применения новых органических материалов для разработки солнечных элементов. Солнечные батареи, исследованные в этой работе, в отличие от традиционных кремниевых элементов могут быть изготовлены на гибкой пластиковой подложке.

### **Литература**

1. Salikhov R.B., Biglova Y.N., Yumaguzin Y.M., Salikhov T.R., Miftakhov M.S., Mustafin A.G. Solar-energy photoconverters based on thin films of organic materials // Technical Physics Letters, 2013, V. 39, № 10, pp. 854-857.
2. Salikhov R.B., Biglova Yu.N., Salikhov T.R., Yumaguzin Yu.M. New polymers for organic solar cells // Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics, 2015, V. 9, № 6, pp. 792-794.
3. Salikhov T.R., Yumaguzin Y. M. , Salikhov R.B. Electronics applications based on thin polyaniline films //2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). IEEE Proceedings, 2015, P. 7147207.

© Сафаргалин И.Н., Салихов Т.Р., 2018

**ТРАНСПОРТ ЗАРЯДА В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ ПОЛИАНИЛИНОВ**

Салихов Т.Р.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Среди материалов исключительно перспективных для органических наноэлектронных устройств: полевых транзисторов, органических солнечных элементов и химических сенсоров [1-2] следует выделить модифицированные производные полианилинов (ПАНИ). В данном исследовании проведены измерения электропроводности тонких пленок ПАНИ, полученных как вакуумным способом, так и методом центрифугирования. Для применения в электронных устройствах тонкие пленки ПАНИ должны обладать хорошими транспортными свойствами. Изучение механизмов транспорта носителей заряда в органических пленках с повышенной проводимостью является необходимым условием для развития органической электроники.

Измерены зависимости проводимости пленок различных форм ПАНИ от температуры. Сначала были исследованы пленки ПАНИ, допированного соляной кислотой, полученные вакуумным напылением. Затем были проведены аналогичные измерения для растворимых форм модифицированного гомополимера ПАНИ – поли-2-[(2E)-1-метил-2-бутен-1-ил]анилина и его сополимеров с о-толуидином в разных мольных соотношениях 1:3, 1:1, 3:1. Температурные измерения проводимости пленок  $G$  в интервале 300 – 450 К показали экспоненциальный характер зависимости:  $G = G_0 \exp(-\Delta E / 2kT)$ . В координатах  $\ln G - 1000/T$  экспериментальные точки в пределах погрешности укладываются на прямые.

Значение энергии  $\Delta E$  можно определить по тангенсу угла наклона линейных участков на графиках. Величину  $\Delta E$  (табл. 1) можно интерпретировать как интервал между ВЗМО (НОМО) и НСМО (LUMO) (аналог запрещенной зоны в полупроводниковых полимерных пленках). Видно, что величина  $\Delta E$  для ПАНИ и сополимера (гомополимер ПАНИ + о-толуидин (1:1)) практически совпадают.

Таблица 1

|                                     | $\Delta E$ , эВ | $\phi_B$ , эВ |
|-------------------------------------|-----------------|---------------|
| ПАНИ                                | 1,66            | 0,76          |
| гомополимер ПАНИ                    | 1,55            | 0,71          |
| гомополимер ПАНИ + о-толуидин (1:3) | 1,53            | 0,70          |
| гомополимер ПАНИ + о-толуидин (1:1) | 1,68            | 0,77          |
| гомополимер ПАНИ + о-толуидин (3:1) | 1,52            | 0,69          |

Из данных таблицы следует, что ширина запрещенной зоны меняется от образца к образцу и находится в интервале 1,52 – 1,68 эВ. Зависимость ширины запрещенной зоны от мольного соотношения сополимеров, используемых для получения тонких пленок, является исключительно

важным свойством для их практического применения в различных электронных устройствах.

Чтобы понять каким образом осуществляется транспорт заряда через границу металл – полимер были перестроены температурные зависимости проводимости в координатах Шоттки в соответствие с формулой:

$$J = AT^2 \exp[-e(\varphi_B - \sqrt{eF/4\pi\epsilon\epsilon_0})/kT], \quad (1)$$

где  $J$  – плотность тока,  $A$  – постоянная Ричардсона,  $e$  – заряд электрона,  $\varphi_B$  – высота барьера,  $F$  – напряженность электрического поля,  $\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость образца,  $\epsilon_0$  – электрическая постоянная,  $k$  – постоянная Больцмана,  $T$  – температура. Все графические зависимости в пределах погрешности измерений хорошо аппроксимируются прямыми, причем, тангенсы углов наклона прямых участков пропорциональны высоте барьера Шоттки  $\varphi_B$ . Полученные в результате расчетов значения приведены в табл. 1.

Анализируя полученные зависимости, можно предположить, что основным механизмом переноса является термоэлектронная эмиссия Шоттки, которая определяет транспорт носителей заряда через границу металлической подложки и полимерной пленки в диапазоне температур 300 - 450 К. Это подтверждает сделанный ранее вывод о том, что переход носителя заряда через границу металл-полимер осуществляется в результате надбарьерного переноса [3].

Причем, высота барьера определяется разницей работы выхода металла и электронным сродством ПАНИ. Например, для образцов из ПАНИ расчет из угла наклона дает величину 0,76 эВ (табл. 1). Учитывая работу выхода Al – 4,26 эВ и электронное сродство ПАНИ – 3,5-3,6 эВ, получаем 0,76-0,66 эВ, то есть имеем сопоставимую величину со значением, рассчитанным из модели Шоттки. Приведенные выше расчеты являются еще одним свидетельством в пользу модели надбарьерного переноса на границе.

Изучение температурных зависимостей проводимости пленок ПАНИ и их производных показывает, что основным механизмом транспорта заряда через контакт металлического электрода с полимерной пленкой является термоэлектронная эмиссия Шоттки, а высота барьера определяется разницей работы выхода электрона из металла и электронным сродством полимера.

#### Литература:

1. Salikhov R.B., Yusupov A.R., Lachinov A.N., Rakhmееv R.G., Gadiev R.M., Salazkin S.N., Chemical sensors based on nano-polymer films // Measurement Techniques. 2009. V. 52. № 4. P. 427-431.
2. Salikhov R.B., Biglova Y.N., Yumaguzin Y.M., Salikhov T.R., Miftakhov M.S., Mustafin A.G. Solar-energy photoconverters based on thin films of organic materials // Technical Physics Letters. 2013. V. 39. № 10. P. 854-857.
3. Yumaguzin Y.M., Salikhov T.R., Shayakhmetov R.U., Salikhov R.B. Charge transport across the metal–polymer film boundary // Physics of the Solid State. 2016. V. 58. № 8. P. 1694-1697.

© Салихов Т.П., 2018 г

## СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ НИКЕЛЯ

Шинкаренко О.А., Цветкова О.Ю., Аткин В. С., Захаревич А.М.,  
Глуховской Е.Г.

Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского,  
г. Саратов, Россия

В последние годы интерес к синтезу и получению наночастиц возрос. Это связано с уникальными свойствами данных объектов, таких как высокая реакционная способность, интересные электрические и оптические свойства. А также с их применением в различных областях науки, в частности, для получения эффективных катализаторов, для создания элементов микроэлектронных и оптических устройств, биосенсоров и др. [1, 2]. Одним из примеров применения является получение активных слоев на основе наночастиц различных металлов или оксидов металлов.

Таким образом, актуальной задачей является получение металлических наночастиц. Среди методов получения преобладают методы, основанные на восстановлении ионов металлов в растворах, в присутствии поверхностно-активных веществ (ПАВ) в качестве стабилизаторов. Такие методы и будут рассмотрены в работе. В качестве материала для наночастиц нами выбран никель, который является отличным катализатором в реакциях конденсации, также он обладает хорошими электрическими свойствами.

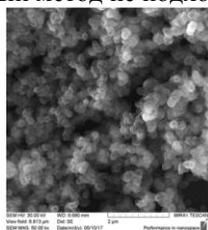
Синтез наночастиц никеля проводили двумя методами. Оба метода заключаются в химическом восстановлении никеля энергичным восстановителем гидразин–гидратом из его солей в щелочной среде, где в качестве стабилизатора, использовали катиногенное ПАВ цетилтриметиламмония бромид (ЦТАБ). Отличие второго метода заключается в том, что здесь восстановитель и водный раствор никеля сернокислого семиводного вводились капельным методом.

Результаты синтеза, а именно изображение морфологии поверхности образцов, полученное на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) и спектр поглощения в диапазоне длин волн 200-500 нм, представлены на рисунке 1 для метода 1 и на рисунке 2 для метода 2.

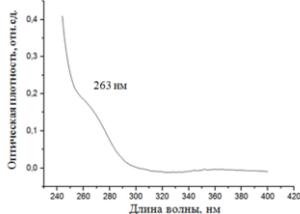
Таким образом, по первому методу получения наночастиц можно сделать следующие выводы: в ходе синтеза образуется достаточное количество выбранного вещества, что является огромным преимуществом. Размеры наночастиц имеют до 300 нм судя по анализу изображений, полученных на СЭМ, но оценить адекватно данные размеры невозможно, так как при воздействии высоких температур произошла агрегация наночастиц, что можно видеть на изображении.

Анализируя второй метод получения (капиллярный), видим следующее: в процессе синтеза происходит образование наночастиц никеля, но из-за большого количества солей их не видно, также элементный состав показал

огромное количество дополнительных веществ. Можно сделать вывод о том, что данный метод не подходит для получения наночастиц никеля.

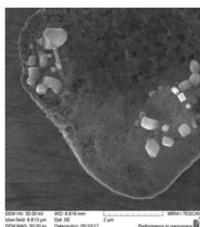


а)

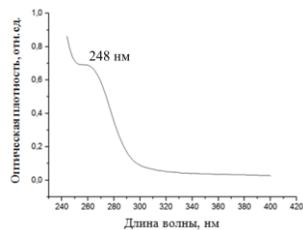


б)

Рис. 1. СЭМ изображение (а) и спектр поглощения (б) наночастиц никеля, полученных по методу 1



а)



б)

Рис. 2. СЭМ изображение (а) и спектр поглощения (б) наночастиц никеля, полученных по методу 2

В результате проведенной работы был проведен синтез наночастиц никеля, в ходе которой выяснено, что синтез по методу 1 более является предпочтительным для получения наночастиц никеля.

*Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ № 16-07-00093 и № 16-07-00185.*

### Литература

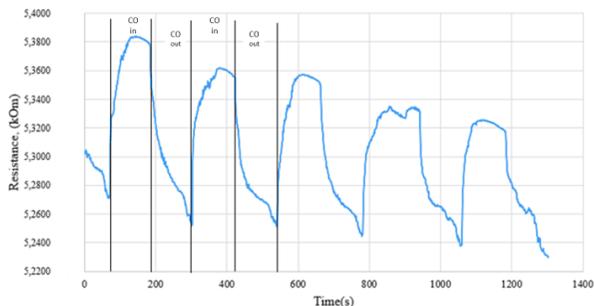
1. Henglein A. Formation and absorption spectrum of copper nanoparticles from the radiolytic reduction of  $\text{Cu}(\text{CN})_2$  // J. Phys. Chem., 1993, V. 97, N. 21, pp. 5457-5471.
2. Ершов Б.Г. Водные растворы коллоидного никеля: радиационно-химическое получение, спектры поглощения и свойства // Изв. АН. Сер. хим., 2000, № 10, С. 1733-1739.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ МАССИВА НАНОСТЕРЖНЕЙ ОКСИДА ЦИНКА К ОКСИДУ УГЛЕРОДА (II)

Старникова А.П., Петров В.В., Каменцев А.С.

Южный федеральный университет, г. Таганрог, Россия

Массивы наностержней оксида цинка (ZnO) используются для создания приборов электронной техники, включая сенсоры газов, в которых они применяются в качестве газочувствительного элемента. В данной работе массивы наностержней ZnO были синтезированы на кремниевых подложках [1], а поверх них производилось напыление хром-никелевой контактной металлизации. Исследование газочувствительных свойств по отношению к оксиду углерода (II) проводили при температурах от 100 до 300°C при разных концентрациях газа по схеме: 120 с напуск газа - 120 с продувка воздухом. Динамика отклика сенсора на основе наностержней ZnO на концентрацию 1000 ppm при 100°C представлена на рис. 1.



*Рис. 3 Динамика отклика сенсора на воздействие угарного газа*

Анализ результатов показывает, что сопротивление сенсора после введения в камеру СО увеличивалось в течении 60 с на 2%. В течение последующей продувки воздухом сопротивление сенсорного элемента возвращалось к исходным значениям. Таким образом, материал на основе наностержней оксида цинка может служить газочувствительным элементом в сенсорах газов.

Работа выполнялась при использовании оборудования ЦКП «Микросистемная техника и интегральная сенсорика».

### Литература

1. Абдуллин Х.А., Бакранов Н.Б., Исмаилов Д.В. и др. Композитные материалы на основе наноструктурированного оксида цинка// ФТП. – 2014. – Т. 48, вып. 4. – С. 487–491.

© Старникова А.П., Петров В.В., Каменцев А.С., 2018 г.

**ПОВЕРХНОСТНАЯ ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА  
МАТЕРИАЛОВ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ**

Телегин С.В., Гришина И.П.,

Маркелова О.А., Дударева О.А., Лясникова А.В.

Саратовского государственного технического университета имени

Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия

Поверхностное упрочнение металлических деталей является актуальным и перспективным способом, открывающий целый ряд новых возможностей для повышения физико-механических и эксплуатационных характеристик изделий машино-, приборостроения и медицины [1].

Использование лазерного излучения, как эффективного способа поверхностного упрочнения, характеризуется рядом преимуществ: локальность упрочняющего воздействия (по глубине и ширине), сохранением исходных структуры и свойств материала в объеме материала, не подвергнутого обработке, механические характеристики при этом выше на 15-20 % по сравнению с аналогичными свойствами после объемной термообработки существующими способами.

Также локальность обработки предполагает возможность обработки труднодоступных полостей и углублений, посредством дополнительных оптических устройств; созданием развитой морфологии «пятнистого» поверхностного слоя значительных площадей. При этом не образуется зон охрупчивания поверхности, склонной к растрескиванию, деформированию и отслаиванию. Бесконтактность лазерного нагрева обеспечивает простоту автоматизации процесса термообработки по контуру, в том числе деталей сложной формы и др. [1, 2].

Лазерные способы упрочнения целесообразно применять при обработке поверхностей изделий сложного профиля, деформирование которых должно быть сведено к минимуму; при трудности подвода теплоты к обрабатываемой зоне детали обычными способами; при малых размерах поверхности обрабатываемых зон в сравнении с размерами деталей.

Обширное внедрение способов лазерной обработки материалов в различные отрасли промышленности обусловливается рядом благоприятных факторов:

- наличием серийного высокопроизводительного лазерного оборудования как импульсного, так и непрерывного действия;
- сравнительной простотой лазерного упрочнения, обуславливающей несложный подбор технологических режимов обработки деталей;
- значительной номенклатурой обрабатываемых деталей, требующих локального упрочнения;
- большой технико-экономической эффективностью, определяемой достоинствами лазерной термообработки и др.

Способы лазерной обработки образуют группы, основанные, соответственно, на нагреве, плавлении и ударном световом нагружении материала в зависимости от параметров технологического процесса: напряжения лампы накачки; для импульсных лазеров - длительность и частота следования импульсов, коэффициент перекрытия зон воздействия, скорость перемещения луча по поверхности, а также результирующих энергетических параметров: плотности мощности и плотности энергии падающего лазерного излучения [3].

Варьирование перечисленных параметров процесса позволяет регулировать тепловое воздействие, оказывающее влияние на формирование субмикро- и нанометровых показателей морфологии поверхности за счет возможности обработки поверхностного слоя с оплавлением и без него. В зависимости от вида контролируемой среды существует возможность формировать металлокерамические пленки и покрытия на поверхности различных металлов. Например, на поверхности титана и его сплавов при использовании кислородной среды происходит образование металлокерамических слоев, состоящих из оксида титана, при использовании азотосодержащей среды – нитриды титана, а при обработке на атмосфере – одновременное формирование оксидных и нитридных фаз [4].

*Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ №18-38-00677 мол\_а.*

### Литература

1. Папшев В.А. Перспективные направления совершенствования внутрикостных имплантатов с применением лазерных технологий / В.А. Папшев, В.Н. Лясников, Е.Л. Сурменко // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2010. – № 1 (53). – Вып. 2, С. 40–56.
2. Вейко В.П. Опорный конспект лекций по курсу «Лазерные технологии». Раздел: Введение в лазерные технологии / В.П. Вейко, А.А. Петров // СПб: СПбГУ ИТМО, 2009.- 143 с.
3. Телегин С. В. Морфология поверхности титана, модифицированной импульсной лазерной обработкой / С. В. Телегин, В. Н. Лясников, И. Ю. Гоц // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2015. – № 3 (80). – С. 104–109.
4. Технологии формирования металлокерамических покрытий на внутрикостных имплантатах [Текст]: учеб. пособие для студ. техн. направлений / С. В. Телегин ; Саратовский гос. техн. ун-т им. Гагарина Ю. А. - Саратов : СГТУ, 2017 (ООО ИД Вариа). - 90 с.

## СЕКЦИЯ «БИОФИЗИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И МЕХАНИЗМЫ ПРОЦЕССОВ В МОЛЕКУЛЯРНОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ»

УДК 577, 530.182

### ОБ ОДНОЙ МОДЕЛИ ПЕРЕНОСА ЗАРЯДА В МОЛЕКУЛЕ ДНК

Закирьянов Ф.К., Фахретдинов М.И., Мельников В.Ю.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

В настоящее время известно много различных экспериментов по переносу заряда в ДНК, интерпретации которых посвящено большое число теоретических работ. В частности в работе [1] показано, что конформационные возмущения в виде бризеров, возбуждаемые в так называемой РВ-модели ДНК, *взаимодействуют* с зарядами. При этом характерная длина смещения связанного состояния "бризер-заряд" составила в этой модели  $\sim 20$  сайтов.

Мы предлагаем рассмотреть динамику переноса заряда в Y-модели молекулы ДНК, отличающейся от РВ-модели тем, что изменение конформации происходит не за счет поперечного смещения нуклеотидов, а за счет их вращения вокруг сахара-фосфатного остова. Начальное конформационное возмущение задаётся в виде солитонной пары "кинк-антикинк", центр которой приходится примерно на 50-й сайт молекулы ДНК (см. рис. 1). Основная плотность заряда находилась в пределах этого возмущения. После превращения пары "кинк-антикинк" в движущийся бризер информация о плотности заряда теряет смысл. Как видно из рис. 1, расстояние, которое проходит солитон, несущий в себе заряд, до его превращения в бризер, растёт с уменьшением коэффициента взаимодействия между конформационным возмущением и плотностью заряда  $\chi$ , и может достигать  $\sim 80$  сайтов.

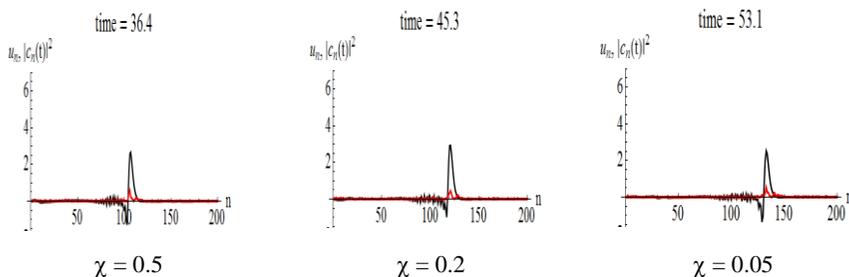


Рис. 1 Зависимость прохождения заряда от параметра  $\chi$ .

#### Литература

1. Лахно В.Д., Четвериков А.П. Возбуждение бабблов и бризеров в ДНК и их взаимодействие с носителями заряда // Математическая биология и биоинформатика. 2014. Т. 9. № 1. С. 4–19.

© Закирьянов Ф.К., Фахретдинов М.И., Мельников В.Ю., 2018 г.

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТ  
И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА**

Аралбаев З.Ф.

Башкирский государственный университет, г.Уфа, Россия

Эффектом действия микроволн на организм человека является нагрев тканей в СВЧ-поле. Различают тепловое действие микроволн - при плотности потока энергии (ППЭ), превышающей  $10 \text{ мВт/см}^2$ , и нетепловое - при ППЭ ниже  $10 \text{ мВт/см}^2$ . Температурное распределение, которое устанавливается в живом организме под действием микроволн, зависит не только от длины волны, интенсивности излучаемой энергии и продолжительности воздействия, но и от ряда других факторов, главными из которых являются теплообмен на поверхности нагреваемого объекта, тканевая структура объекта (однородность или слоистое строение), интенсивность кровоснабжения в нагреваемой области и др.

В настоящее время существует три теории нетермического действия микроволн на организм. Эффекты слабых полей объясняют кооперативными процессами, основанными на резонансных взаимодействиях биологических макромолекул. Считается, что ими являются белковые молекулы, входящие в состав мембраны. Последствия электромагнитного облучения проявляются: угнетением и истощением процессов нервной и эндокринной регуляции; сдвигами в обмене веществ, угнетением синтетических процессов; снижением неспецифической резистентности, ослаблением иммунных процессов; снижением адаптации к факторам окружающей среды. И как следствие всего сказанного: повышение заболеваемости; функциональные расстройства в сердечно-сосудистой, кроветворной, генеративной и других системах организма; невротические расстройства; нарушение гормонального баланса, преждевременное старение организма; возможны онкогенные процессы и отдаленные последствия среди потомства. В ряде случаев влияние электромагнитного излучения не проявляется какой-либо клинической картиной, но изменяет резистентность организма к иным факторам среды. Наиболее выраженные нарушения обнаруживаются при действии сверхвысоких частот; с понижением частоты при эквивалентной энергии излучения глубина ответных реакций уменьшается, но направленность их остается такой же.

Пониженная адаптация облученного организма к обычным факторам окружающей среды и производства также будет способствовать болезненным реакциям организма на раздражители любой природы. Кроме того, электромагнитного излучения существенно изменяют характер и силу ответной реакции организма.

© Аралбаев З.Ф. 2018 г.

## **МЕХАНИЗМЫ ФИЗИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ИСТОЧНИКОВ НЕИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ**

Васильева Е.П.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Неионизирующие излучения - это электромагнитные волны, длина которых составляет больше 1000 нм, а количество выделенной энергии меньше 10 кэВ. Оно действует в виде микроволн, в результате выделяя свет и тепло.

Источниками неионизирующих излучений могут быть излучения, как природного, так и искусственного происхождения. Одним из главных природных источников является Солнце. Оно посылает все виды излучения. Полному их проникновению на нашу планету препятствует земная атмосфера. Благодаря озоновому слою, влажности, углекислому газу действие вредоносных лучей сильно смягчается. Для радиоволн естественным источником может служить молния, а также космические объекты. Тепловые инфракрасные лучи может испускать любое нагретое до нужной температуры тело, хотя основное излучение исходит от искусственных объектов. Так, основными его источниками являются обогреватели, обыкновенные лампочки накаливания, которые присутствуют в каждом доме, бытовые приборы и мобильные телефоны. А что же говорить об аппаратуре используемой в медицинских учреждениях [1]. Долго считалось, что такое излучение не оказывает опасного действия. Но уже в 70-е годы было показано, что оно оказывает вредное действие вплоть до канцерогенного (канцерогенный - вызывающий злокачественные новообразования). Неионизирующее излучение оказывает вредное действие на нервную систему, нарушает механизмы роста и развития. Проникая вглубь организма, такое излучение действует на клеточные мембраны, вплоть до их разрыва. Страдает также система термической адаптации. Доказано, что это излучение отрицательно воздействует на иммунные системы организмов. Излучение с частотами до 3 ГГц проникает вглубь организма, вызывая повреждения внутренних органов. Допустимые уровни мощности излучения, принятые в нашей стране, учитывают резонансные частоты человека (30-300 МГц) и составляют 0,01 мВ/см<sup>2</sup> для рабочей зоны и 0,001 мВ/см<sup>2</sup> для населения .

Актуальность безопасности при использовании медицинской аппаратуры для медицинского персонала, пациентов и специалистов медицинских физиков остается острой и требует дальнейшего изучения.

### **Литература**

1. Медицинская аппаратура. Полный справочник. -М.:Эксмо, 2007.-608с.

**АТОМНО-СИЛОВАЯ МИКРОСКОПИЯ В ИССЛЕДОВАНИИ  
БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ: ОТ БИМОЛЕКУЛ ДО ЖИВЫХ  
ОРГАНИЗМОВ**

Гарафутдинов Р.Р.<sup>1</sup>, Сахаутдинов И.М.<sup>2</sup>, Ясаков Т.Р.<sup>3</sup>, Шарипов Т.И.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>ИБГ УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия, <sup>2</sup>УИХ УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

<sup>3</sup>УИБ УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия, <sup>4</sup>БашГУ, г. Уфа, Россия

В последнее время наблюдается значительный прогресс в развитии инструментальной базы для исследования живых систем, которая позволяет изучать в том числе структуру, свойства и поведение биологических объектов с высоким пространственным и временным разрешением. Одним из методов, пополнившим арсенал исследователей, работающих в области наук о жизни, стала зондовая микроскопия. С ее помощью получают уникальные изображения биологических объектов, изучается взаимодействие между собой биомакромолекул, структурирование нуклеиновых кислот и т.п.

Одним из направлений использования атомно-силовой микроскопии (АСМ) является изучение самоорганизации органических биомолекул. Нами на основе глутаминовой кислоты был получен ряд производных с полярной и гидрофобной частями, и изучена их самоорганизация на поверхности пирографита. Так, для N-стеароилглутаминовой кислоты наблюдались образования сферической формы, которые в ходе многократного сканирования одного и того же участка поверхности раскручивались в нити по направлению вектора сканирования. В то же время метиловый эфир N-стеароилглутаминовой кислоты образовывал иглообразные объекты, подвергавшиеся при многократном сканировании переориентации.

Значительный интерес представляет изучение с помощью методов АСМ нуклеиновых кислот. Нами была изучена иммобилизация синтетических олигонуклеотидов (простых и модифицированных) на поверхности стекла, слюды, золота (позолоченного пирографита и наночастиц золота). Впервые получены изображения ДНК-ампликонов, ряда плазмид и генетического материала некоторых вирусов.

С помощью АСМ нами был визуализирован широкий спектр патогенных и хозяйственно-полезных микроорганизмов родов *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Serratia*, *Klebsiella*, *Acinetobacter*, *Rhizobium* и др. Получены их морфологические характеристики, для некоторых показана способность к аккумуляции или экскреции метаболитов.

Таким образом, атомно-силовая микроскопия надежно входит в перечень современных методов экспериментальной биологии и открывает новые горизонты в исследовании живых систем.

## АТОМНО-СИЛОВАЯ МИКРОСКОПИЯ МОЛЕКУЛ СМОЛО-АСФАЛЬТЕНОВЫХ ВЕЩЕСТВ

Р.З. Бахтизин, Т.И. Шарипов

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

На протяжении нескольких десятилетий исследователи из различных стран активно исследуют физико-химические свойства нефти и ее компонентов. Огромный интерес вызывали и основные носители ее свойств - смоло-асфальтеновые вещества (САВ). Эти уникальные по своим свойствам и составу вещества во многом играют определяющую роль в поведении нефтяного раствора, при добыче и переработке нефти. В последнее время, особенно заметен огромный интерес ученых из разных стран к этим веществам.

Первооткрывателем в этом направлении науки считается французский исследователь Босингольт, который в 1837 году впервые выделил смоло-асфальтеновые вещества и классифицировал их. Асфальтенами он назвал вещества, сконцентрированные после перегонки асфальтового битума. А классификацию произвел по растворимости смоло-асфальтеновых веществ в различных растворителях:

- 1) карбоиды — вещества, нерастворимые в сероуглероде;
- 2) карбены — вещества, растворимые в сероуглероде, но не растворимые в четыреххлористом углероде;
- 3) асфальтены — вещества, растворимые в двух вышеназванных растворителях, но не растворяющиеся в низкокипящих алканах;
- 4) мальтены—вещества, растворимые в низкокипящих алканах.

После исследований Босингольта, интерес к асфальтенам значительно возрос, но из-за отсутствия приборов способных исследовать структуру и строение молекул САВ, работа в этом направлении приостановилась. Только в 1946 году исследования смоло-асфальтеновых веществ вновь возобновились. Американский исследователь Маркуссон с группой ученых, зная молекулярную массу молекулы, выдвинул модель молекулы САВ. Исследования Маркуссона позволили узнать состав молекул асфальтенов. Также Маркуссон предложил несколько методов по извлечению асфальтенов из нефти [1].

В 1961 г. исследователь Чикагского университета Т. Йен выдвинул так называемую пачечную модель строения асфальтенов типа «plate to plate». В основу модели была положена не необходимость ее соответствия вычисленным структурным параметрам о составе асфальтенов, а принципиальная возможность плоскопараллельной ориентации полиароматических фрагментов разных молекул. Их объединение в результате межмолекулярных взаимодействий происходит с образованием слоистых стэкинг-структур [2].

В 2000 году Норвежской группой ученых исследовались асфальтены с помощью методов атомно-силовой микроскопии [3]. Молекулы САВ наносились на поверхность свежего скола слюды посредством метода Ленгмюра-Блоджетта. Разрешающая способность атомно-силового микроскопа, на котором проводились исследования, была небольшая, и возможности АСМ не позволили рассмотреть структуру молекулы асфальтенов, оценить средние размеры.

По нашему мнению, наилучших результатов по исследованию молекулярной структуры асфальтенов с помощью атомно-силовой микроскопии добилась научная группа из Швейцарии [4].

Для проведения экспериментов на атомно-силовом микроскопе нам необходимо было получить тонкую пленку смоло-асфальтеновых веществ на поверхности свежего скола слюды. В качестве исследуемых образцов была использована нефть Ромашкинского месторождения. В качестве растворителя был выбран бензол, так как, во-первых, данное вещество растворяет САВ до мельчайших фракций, во-вторых, при непосредственном приготовлении образцов методом Ленгмюра - Блоджетта бензол на поверхности воды образует достаточно тонкую и прочную пленку. Эксперимент представлял из себя АСМ-исследование молекул САВ нефти Ромашкинского месторождения, адсорбированных на поверхности свежего скола слюды. В первую очередь, необходимо было найти наилучшую концентрацию САВ в растворителе, для того чтобы получить тонкую мономолекулярную пленку, которая позволяла бы визуализировать в некоторой области отдельную молекулу САВ.

В результате наших исследований, была изучена адсорбция молекул САВ на поверхность свежего скола слюды. С помощью полученных АСМ-изображений была проанализирована структура молекул САВ, оценены средние размеры молекул.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 17-42-020616.

### Литература

1. Marcusson J. // *Angew. Chem.* 1916. Bd. 33. #4. S. 173.
2. Yen T.E. Structure of Petroleum Asphaltene and its Significance. *Energy Sources*. 1974. V. 1. P. 447-463.
3. Ese M.H., Sjoblom J., Djuve J., Pugh R. An atomic force microscopy study of asphaltenes on mica surfaces. // *Colloid Polym Sci* 278:532-538 (2000)
4. Schuler B., Meyer G., Pena D., Gross L. Unraveling the Molecular Structures of Asphaltenes by Atomic Force Microscopy. // *Journal of the American Chemical Society*, July 31, 2015, vol. 31, no. 137, pp. 1-7.

© Шарипов Т.И., Бахтизин Р.З., 2018 г.

## ВИЗУАЛИЗАЦИЯ БИОПОЛЯ ЧЕЛОВЕКА

Ишниязов Р.А.

Башкирский государственный университет, г.Уфа, Россия

Современная наука доказала наличие у живых организмов не только физического тела, но и биополя, в котором хранится информация обо всём организме [1]. Любая его деформация скажется на организме незамедлительно.

Биополе живых организмов является индикатором состояния биологических систем, и может быть использовано для экспресс-диагностики патологических состояний. На рис.1 представлен снимок биополя по методу Кирлиана [2] для человека.



Рис.1. Снимок биополя

В данной работе представлена разработка электронного устройства визуализации биополя, в основе которой лежит эффект Кирлиана. Устройство позволяет исследовать зависимость состояния биополя от эмоционального и физиологического состояния пациента.

### Литература

1. А. Б. Рубин, Биофизика. Т. 1. Теоретическая биофизика (Институт компьютерных исследований, М. – Ижевск, 2013).
2. Кирлиан В. Х., Кирлиан С. Д. В мире чудесных разрядов. М., 1964

**МЕТОДЫ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ЭХОЛОКОКАЦИИ**

Исмагилов А.Р.

Башкирский государственный университет, г.Уфа, Россия

В настоящее время в одномерном ультразвуковом исследовании различают два его варианта: А-метод и М-метод. При А-методе датчик находится в фиксированном положении для регистрации эхосигнала в направлении излучения. Эхосигналы представляются в одномерном виде, как амплитудные отметки на оси времени. Отраженный сигнал образует на экране индикатора фигуру в виде пика на прямой линии. Начальный пик на кривой соответствует моменту генерации ультразвукового импульса. Повторные пики соответствуют эхосигналам от внутренних анатомических структур. Амплитуда отображенного на экране сигнала характеризует величину отражения, а время задержки относительно начала развертки — глубину залегания неоднородности, т. е. расстояние от поверхности тела до отразивших сигнал тканей. Следовательно, одномерный метод дает информацию о расстояниях между слоями тканей на пути ультразвукового импульса. А-метод завоевал прочные позиции в диагностике болезней головного мозга, органа зрения, сердца. В нейрохирургии его используют под названием эхоэнцефалографии для определения размеров желудочков мозга и положения срединных диэнцефальных структур. Смещение или исчезновение пика, соответствующего срединным структурам, свидетельствует о наличии патологического очага внутри черепа (опухоль, гематома, абсцесс и др.). Тот же метод под названием «эхоофтальмография» применяют в клинике глазных болезней для изучения структуры глазного яблока, помутнения стекловидного тела, отслойки сетчатки или сосудистой оболочки, для локализации в орбите инородного тела или опухоли. В кардиологической клинике с помощью эхокардиографии оценивают структуру сердца. Амплитуда эхосигнала при регистрации движущегося объекта при М –методе (сердца, сосуда) меняется. Если смешать эхограмму при каждом последующем зондирующем импульсе на малую величину, то получается изображение в виде кривой, называемое М-эхограммой. Частота посылки ультразвуковых импульсов большая — около 1000 в 1 с, а продолжительность импульса — очень короткая, всего 1 мкс. Таким образом, датчик лишь 0,1% времени работает как излучатель, а 99,9% — как воспринимающее устройство. Принцип М-метода состоит в том, что возникающие в датчике импульсы электрического тока передаются в электронный блок для усиления и обработки, а затем выдаются на электронно-лучевую трубку видеомонитора (эхокардиоскопия) или на регистрирующую систему — самописец (эхокардиография).

© Исмагилов А.Р. 2018 г.

## СКАНИРУЮЩАЯ ТУННЕЛЬНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ МОЛЕКУЛ ДНК НА АЛЮМИНИЕВОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Юлгийдин А.А., Шарипов Т.И.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Кроме многих других объектов, с помощью СЗМ можно изучать различные виды дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК), результатом чего является получение полезной информации, например, о структуре молекул, их проводимости и многих других свойств.

Наше исследование начинается с получения проводящей поверхности на вакуумной установке ВУП-4, в которой, путем термического испарения, осаждаются частицы алюминия на поверхность слюды.

На поверхность алюминия нанесли короткие молекулы ДНК, полученные путём химического синтеза – олигонуклеотиды. Поверхность алюминия, с нанесенными на нее исследуемыми молекулами, располагаем на предметном столике СЗМ и в режиме атомно-силового микроскопа (АСМ) измеряем топографию образца с высоким разрешением, что дает возможность наблюдать молекулы.

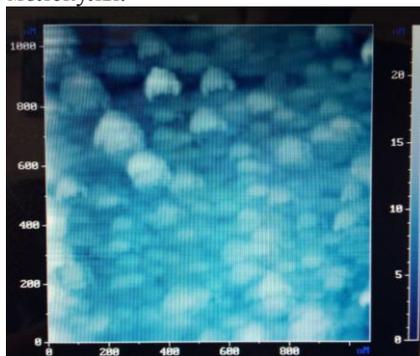


Рис. 1. АСМ-изображение поверхности алюминия с нанесенными на нее молекулами олигонуклеотидов.

Далее, применяя режим сканирующей туннельной микроскопии (СТМ), которая позволяет узнать особенности локальной электронной структуры поверхности с атомным разрешением, измеряем ВАХ – то есть осуществляем сканирующую туннельную спектроскопию (СТС).

Известно, что на СТМ изображении молекулы ДНК представляются темными пятнами, поскольку они имеют меньшую электрическую проводимость по сравнению с алюминием.

Благодаря подобным исследованиям появилась возможность визуализации расположения молекул на поверхности подложки, а также оценки проводимости как отдельных молекул, так и групп (кластеров).

© Юлгийдин А.А., Шарипов Т.И., 2018 г.

**СЕКЦИЯ «ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ НАНОСТРУКТУРЫ:  
ЭЛЕКТРОННЫЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА,  
МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ»**

УДК 535.343.32

**ЭФФЕКТЫ СВЯЗИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЛОЖНЫХ  
ВЕЩЕСТВ С ИНТЕГРАЛЬНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ  
ОПТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ**

Доломатова М.М.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

В настоящее время в науке и промышленности актуальной задачей является экспресс-определение совокупности физико-химических свойств (ФХС) сложных веществ

Цель данной работы – обобщение методик определения физико-химических свойств многокомпонентных молекулярных систем по интегральным сигнальным характеристикам оптических спектров поглощения в диапазоне от 280 до 1000 нм.

Методы определения ФХС многокомпонентных веществ основаны на линейной взаимосвязи между свойствами и интегральными параметрами углеводородных систем в видимой и УФ области [1-4] (1).

$$Z=A_0+A_1\cdot F \quad (1)$$

где  $Z$  — физико-химическое свойство;  $F$  – интегральный параметр спектра;  $A_0$ ,  $A_1$ — коэффициенты, значения которых определяются свойствами и областью поглощения излучения.

В качестве основной характеристики спектров веществ используется интегральная сила осциллятора (ИСО) (2), интегральный параметр автокорреляционной функции (ИАКФ) (3), цветовые координаты и другие интегральные характеристики:

$$\theta_k = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} k(\lambda) d\lambda, \quad (2)$$

где  $\theta_k$  - интегральная сила осциллятора, г $\cdot$ нм/(л $\cdot$ см);  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ – верхняя и нижняя граница спектрального диапазона, нм.

$$I_A = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x)f(x + \Delta x)dx \quad (3)$$

где  $f(x)$ – любая функция описывающая спектр,  $x$ – параметр спектра (частота, длина волны или энергия)

### Литература

1. Dolomatov M.Yu. Application of Electronic Phenomenological Spectroscopy in the Identification and Investigation of Complex organic Systems // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. 1995. Т. 31. № 1. С. 42-47.
2. Dolomatov M.Yu., Shulyakovskaya D.O., Mukaeva G.R., Yarmukhametova G.U., Latypov K.F. Simple Characteristics Estimation Methods of Material and Molecule Electronic Structure // Journal of Materials Science and Engineering. 2012. Т. 2. № 4. С. 261-268.
3. Доломатов М.Ю. Некоторые физико-химические аспекты прогнозирования свойств многокомпонентных систем в условиях экстремальных воздействий // Журнал всесоюзного химического общества им. Д.И. Менделеева. 1991. Т. XXXVI. № 5. С. 632-639.
4. Dolomatov M.Yu., Yarmukhametova G.U. Determining the Mean Molecular Mass for Crude Oil and Oil Residues from Color Characteristics // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. 2009. Т. 45. № 4. С. 288-293.

© Доломатова М.М., 2018

**ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ  
ВЫСОКОКИПАЮЩИХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ**<sup>1</sup>Бадретдинов Б.Р., <sup>1</sup>Петров А.М., <sup>2</sup>Гильманшина К.А.<sup>1</sup>Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия<sup>2</sup>Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа,  
Россия

По общепринятым представлениям, высокомолекулярные соединения нефти – асфальто-смолистые вещества (АСВ), – считаются диэлектриками. Однако анализ удельной электропроводности их коллоидных систем – мазутов, – которые представляют собой дисперсную систему из наночастиц АСВ в углеводородах, показывает различные результаты в зависимости от температуры [1]. С точки зрения физики конденсированного состояния эти системы представляют собой многокомпонентную смесь полупроводников и диэлектриков с хаотичным распределением состава по физическим свойствам. Поэтому электрофизика таких систем имеет свои особенности. Отсюда следует, что исследование электропроводности таких систем является актуальным.

Целью работы является исследование электрофизических свойств концентрата АСВ в углеводородной среде. В качестве объекта исследования выбран прямогонный мазут установки АВТ с условной вязкостью 100 °ВУ при 50 °С, температурой кипения выше 350 °С, концентрацией АСВ 45%. Физико-химические свойства исследовались по методикам [2-4].

Методика электрических измерений осуществлялась следующим образом. Образец помещался в цилиндрическую термостатированную ячейку, выполненную из фторопласта, с двумя плоскими металлическими электродами в дне и крышке ячейки. Измерения осуществлялись с помощью специально разработанного программно-аппаратного комплекса для определения удельной электропроводности высокоомных материалов на базе платформы NI ELVIS II. Регистрацию температурных зависимостей электропроводности проводили в интервале температур 25–170 °С с шагом 5 °С.

Получена зависимость натурального логарифма удельной электропроводности исследуемого образца от обратной температуры (рис. 1). Сделано предположение об активационном перескоковом механизме переноса заряда. По Аррениусовской зависимости рассчитана энергия активации электропроводности. По соответствующей температурной зависимости была оценена электропроводность.

$$\sigma = \sigma_0 \cdot e^{-\frac{E}{2RT}},$$

где  $\sigma_0$  – предэкспонента электропроводности;  $E$  – энергия активации электропроводности, кДж/моль;  $T$  – температура, К;  $R$  – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К).

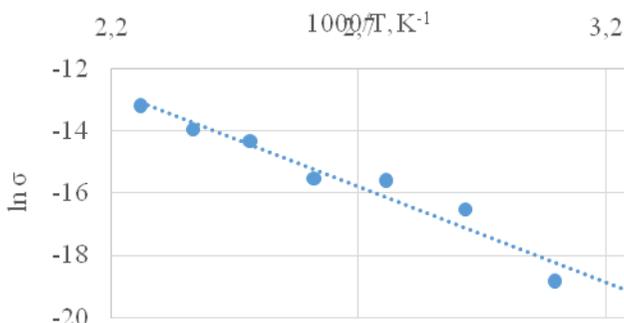


Рис. 1. Зависимость натурального логарифма удельной электропроводности исследуемого образца от обратной температуры

В результате обработки данных значение энергии активации электропроводности исследуемого образца составило 1,06 эВ. Как известно, для полупроводников значение удельной электропроводности выше  $10^{-6}$  Ом·м, а ширина запрещенной зоны меньше 3 эВ, поэтому можно предположить существование фазового перехода исследуемого образца из диэлектрика в полупроводник при температурах свыше 150 °С.

### Литература

1. Dolomatov, M.Yu. Asphaltenes as New Objects for Nanoelectronics / M.Yu. Dolomatov, A.M. Petrov, R.Z. Bakhtizin, M.M. Dolomatova // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2017. – Vol. 195.
2. Доломатов, М.Ю. Адгезия и фазовые переходы в сложных высокомолекулярных системах / М.Ю. Доломатов, Н.Г. Будрина, М.Ю. Тимофеева. – Уфа: УТИС, 2001. – 41 с.
3. Дезорцев, С.В. Фазовые переходы, реологические и прочностные характеристики нефтеполимерных систем / С.В. Дезорцев, М.Ю. Доломатов, С.Л. Ларионов, Э.Д. Курбанова // Башкирский химический журнал. – 2010. – Т. 17, № 3. – С. 202-205.
4. Доломатов, М.Ю. Некоторые физико-химические аспекты прогнозирования свойств многокомпонентных систем в условиях экстремальных воздействий / М.Ю. Доломатов // Журнал всесоюзного химического общества им. Д.И. Менделеева. – 1991. – № 5. – С. 632-639.

© Бадретдинов Б.Р., Петров А.М., Гильманшина К.А., 2018 г.

## ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ВАНАДИЯ В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СРЕДАХ ПО ИНТЕГРАЛЬНЫМ ПАРАМЕТРАМ СПЕКТРОВ ОПТИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ

Еремина С.А.<sup>1</sup>, Ярмухаметова Г.У.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа,  
Россия

Определение количества ванадия в нефти имеет важное значение для нефтепереработки и нефтехимии разведки и эксплуатации нефтяных месторождений. Содержание ванадия в поверхностных и товарных образцах нефти является важным показателем её качества. В 70-е гг. в США в Американском институте нефти были предложены способы определения порфиринов методом ЭПР. В 70-90 е гг. были предложены методы определения ванадилпорфиринов по полосам Соре в оптических спектрах и методики, основанные на определении интенсивности поглощения в видимой области спектра М.Ю. Доломатовым. Ярмухаметовой Г.У., Шуляковской Д.О. были установлены закономерности связывающие концентрацию ванадилпорфиринов с цветовыми характеристиками растворов нефтяных остатках [1,2,3,4].

Целью работы является исследование взаимосвязи интегральных характеристик оптических спектров и количества ванадия в образцах поверхностных нефтей.

В качестве объектов были исследованы нефти месторождений Южный Сургут и Южный Балык. Было изучено более 30 толуольных растворов нефтей. Образцы были исследованы методом ЭПР и оптической спектроскопией.

По результатам исследования установлена связь между интегральными характеристиками спектров поглощения и концентрацией парамагнитных центров (ПМЦ). Данная зависимость имеет следующий вид (1):

$$C_V = a_1 k_{380} + a_2 k_{390} + a_3 k_{400}, \quad (1)$$

где  $C_V$  – число ванадиловых парамагнитных центров нефтей в 1 моле нефти равно числу атомов ванадия в 1 моле нефти, частиц ванадия / моль нефти;

$k_{380}, k_{390}, k_{400}$  – коэффициенты поглощения электромагнитного излучения растворов нефтей при трех длинах волн 380, 390 и 400 нм, л/г·см;

$a_1, a_2$  и  $a_3$  – числовые коэффициенты, рассчитанные методом наименьших квадратов, постоянные для нефтей, ((г·см)/л) · частиц / моль.

На основе этой зависимости предложено определение количества ванадия. Количество ванадия оценивалась по формуле (2):

$$\mu_V = \frac{C_V \cdot M_V \cdot 10^6}{M \cdot N_A} \quad (2)$$

где  $\mu_V$  – количество ванадия в граммах, содержащегося в одной тонне нефти, г/т;

$N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$  частиц /моль;

$M_V$  – молярная масса ванадия, г/моль;

$M$  – среднечисловая молекулярная масса исследуемого образца, г/моль.

Полученные результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты определения количества ванадия в нефтях месторождений  
Южный Сургут и Южный Балык

| № п/п | Нефтяное месторождение | Количество ванадия<br>$\Sigma V$ , г/т |                             | Относительная<br>ошибка, % | Абсолютная<br>ошибка |
|-------|------------------------|--|-----------------------------|----------------------------|----------------------|
|       |                        | Метод<br>ом<br>ЭПР                     | По<br>завис<br>мости<br>(2) |                            |                      |
| 1     | Южный Сургут           | 82                                     | 80                          | 2,06                       | 0,05                 |
| 2     |                        | 79                                     | 75                          | 6,07                       | 0,14                 |
| 3     |                        | 89                                     | 85                          | 5,18                       | 0,13                 |
| 4     |                        | 74                                     | 72                          | 1,66                       | 0,04                 |
| 5     |                        | 84                                     | 83                          | 0,92                       | 0,02                 |
| 6     | Южный Балык            | 48                                     | 49                          | 2,15                       | 0,03                 |
| 7     |                        | 63                                     | 64                          | 1,19                       | 0,02                 |
| 8     |                        | 53                                     | 55                          | 3,01                       | 0,05                 |
| 9     |                        | 102                                    | 96                          | 6,29                       | 0,17                 |
| 10    |                        | 44                                     | 46                          | 5,71                       | 0,08                 |

Таким образом, установлена зависимость между коэффициентами поглощения света в ультрафиолетовой области спектра при длинах волн 380, 390 и 400 нм и количеством ванадия в нефтях.

#### Литература

1. Доломатов М.Ю. Применение электронной феноменологической спектроскопии для идентификации и исследования сложных органических систем // Журнал «Химия и технология топлив и масел». 1995. №1. С. 29-32.
2. Dolomatov M.Yu., Shulyakovskaya D.O., Mukaeva G.R., Yarmukhametova G.U., Latypov K.F. Simple characteristics estimation methods of material and molecule electronic structure. // Journal of Materials Science and Engineering B. 2012. Т. 2. № 4. С. 261-268.
3. Доломатов М.Ю., Ярмухаметова Г.У. Взаимосвязь цветовых характеристик с коксуемостью и молекулярной массой сложных углеводородных сред / Журнал «Прикладная спектроскопия». 2008. Т.75. №3. С. 406-410.
4. Ахметов А.Ф., Красильникова Ю.В., Органюк О.В., Ляпина Н.К., Парфенова М.А. К вопросу изучения металлопорфиринов в нефтях//электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2012. №5. С. 336-342.

УДК 539.2

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ И ХИМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ НАНОКЛАСТЕРОВ НЕФТЯНЫХ АСФАЛЬТЕНОВ

<sup>1</sup>Ишниязов З. З., <sup>2</sup>Шуткова С. А., <sup>1</sup>Доломатова М. М., <sup>1</sup>Латыпов К. Ф.,  
<sup>1</sup>Доломатов М. Ю.

<sup>1</sup>Башкирский Государственный Университет, г. Уфа

<sup>2</sup>Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа  
Россия

В работе проведено исследование электронной и химической структуры нанокластеров, состоящих из молекулярных фрагментов нефтяных асфальтенов «континентального» типа. Объектами исследования являются асфальтены остатка термокрекинга и гудрона Западно-Сибирской нефти и асфальтены Западно-Сибирской нефти. Получены и обработаны электронные абсорбционные спектры растворов асфальтенов Западно-Сибирской нефти в видимой и УФ-области (280-780 нм). Методом феноменологической электронной спектроскопии [1] рассчитаны эффективные потенциалы ионизации – в диапазоне от 5,56 эВ до 5,86 эВ и энергии сродства к электрону – в диапазоне от 1,68 эВ до 1,98 эВ. По корреляциям спектр-свойство определены физико-химические свойства нефтяных асфальтенов: значения среднечисловой молекулярной массы (от 2437 до 3884 а.е.м.), энергии активации вязкого течения (от 162,4 до 272,4 кДж/моль), концентрации углеродных парамагнитных центров (от 145,6 до 273,4 · 10<sup>18</sup> спин/см<sup>3</sup>). Методом DFT/B3LYP с базисным набором 6-31+G\* установлена электронная структура молекулярных фрагментов наночастиц нефтяных асфальтенов, химическая структура которых получена обобщением аналитических данных [2]. Адиабатические первые потенциалы ионизации фрагментов нефтяных асфальтенов находятся в пределах от 6,07 до 7,39 эВ, сродство к электрону - от 0,88 до 1,22 эВ

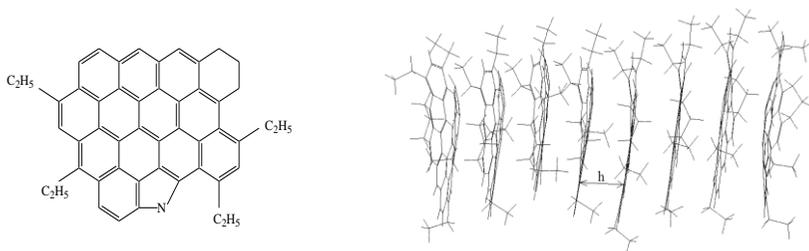


Рис. 1. Структура молекулярного фрагмента 1 (слева) и структура нанокластера (справа), состоящая из восьми молекулярных фрагментов 1 нефтяных асфальтенов

Результаты расчета подтверждают гипотезу о повышенной донорно-акцепторной способности асфальтосмолистых веществ. Проведено

исследование структурных характеристик нанокластеров нефтяных асфальтенов с использованием метода молекулярной механики. Установлена возможность образования нанокластеров нефтяных асфальтенов, состоящих из нафтоароматических пластин и подтверждена непланарность структуры. Определены структурно-химические характеристики и рассчитана энергия образования наночастиц нефтяных асфальтенов, которая находится в пределах от 7 до 226 кДж/моль. Этот факт свидетельствует о возможности стабилизации структур из 2 – 10 молекулярных фрагментов за счет сил донорно-акцепторного взаимодействия. Аналогичные данные получены термодинамическими методами. Термодинамические методы расчета и оценка энергии межмолекулярного взаимодействия наночастиц нефтяных асфальтенов свидетельствуют о значительной энергии межмолекулярного взаимодействия порядка 30-100 кДж/моль, что означает о существовании слабых химических связей между молекулярными фрагментами [4]. Результаты реологических исследований свидетельствуют о высоких значениях энергии активации вязкого течения (от 145,6 до 273,4 кДж/моль), что подтверждают данные расчетов [5]. Таким образом, с учетом полученных данных о непланарной структуре асфальтенов [2,3] существующие представления о надмолекулярной структуре асфальтенов нуждаются в дальнейшем изучении.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 17-42-020616)

### Литература

1. Долوماتов М.Ю., Мукаева Г.Р. Способ определения потенциала ионизации и средства к электрону атомов и молекул методом электронной спектроскопии. Журн. Прикладной спектроскопии, 1992, Т. 56, №4., С. 570.245.
2. Долوماتов М.Ю., Шуткова С.А, Дезорцев С.В. Надмолекулярная структура нефтяных асфальтенов «континентального» типа. Журн. Структур. химии. 2017. Т. 58, №7. С. 1311-1316.
3. Долوماتов М.Ю., Шуткова С.А., Дезорцев С.В. Структурно-химические характеристики модельных молекулярных фрагментов нефтяных асфальтенов. Нефтехимия. 2012. Т. 52, № 4. С. 299-303.
4. Долوماتов М.Ю., Марушкин А.Б., Гимаев Р.Н., Селивестров М.М. Термодинамика формирования надмолекулярной структуры асфальтенов. Химия твердого топлива. 1989. №6. С. 83-864.
5. Валявин Г.Г., Долوماتов М.Ю., Ильясов А.И., Юрченко Н.Ф. Физико-химические особенности термолита сложных углеводородных систем. Эксперимент. Теория. Технология. Спб.: Недра. 2017. 352 с

© Ишниязов З.З., 2018 г.

УДК 539.2

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ СТРУКТУРЫ АСФАЛЬТЕНОВ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИМИ И ОПТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

<sup>1</sup>Ишниязов З. З., <sup>2</sup>Шуткова С. А., <sup>1</sup>Доломатова М. М., <sup>1</sup>Латыпов К. Ф.,  
<sup>1</sup>Петров А.М.

<sup>1</sup>Башкирский Государственный Университет, г. Уфа

<sup>2</sup>Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа  
Россия

В работе проведено исследование электронной и надмолекулярной структуры нанокластеров, состоящих из молекулярных фрагментов нефтяных асфальтенов «континентального» типа. Объектами исследования являются асфальтены Западно-Сибирской нефти. Физико-химические свойства асфальтенов были установлены по оптическим методикам [1-3]. Электронные спектры поглощения растворов асфальтенов в толуоле регистрировались спектрофотометром СФ-2000 в диапазоне 280-780 нм. Методом электронной феноменологической спектроскопии (ЭФС) [1-3] рассчитаны значения эффективных потенциала ионизации (ПИ), равное 5,59 эВ и сродства к электрону – 1,85 эВ. Структурно-групповой анализ проб асфальтенов выполнен методом ИК-спектроскопии на оборудовании Shimadzu IRAffinity-1S. В соответствии с данными ИК-спектроскопии и элементного анализа, построен молекулярный фрагмент асфальтенов. Молекулярная масса модельной молекулы равна 569 а.е.м. Отношение С/Н определялось по данным элементного анализа рентгенофлуоресцентным методом. На основе этой молекулы построена надмолекулярная структура – нанокластер, состоящий от 2 до 10 молекулярных фрагментов.

Электрические измерения образцов асфальтенов проводились в термостатированной ячейке. Регистрацию температурных зависимостей электропроводности проводили в интервале температур 25-165°C с шагом 5°C с помощью специально разработанного программно-аппаратного комплекса на базе платформы NI ELVIS II. По полученной зависимости натурального логарифма удельной электропроводности образцов от обратной температуры, рассчитана энергия активации электропроводности, равная 1,35 эВ. Расчет нанокластеров выполнен методом молекулярной механики с полной оптимизацией геометрии. Известно, что в аморфных органических материалах, происходит локализация носителей заряда, обусловленная затуханием волновых функций между молекулами. При этом предполагается, что энергия активации проводимости нанокластера зависит от энергетической щели молекулы в газовой фазе  $E_g^0$  и энергии поляризации  $P$ . Значения  $E_g^0$  определяются как разность IP потенциала ионизации и EA сродства к электрону молекулы:  $E_g^0 = IP - EA$  (1)

В нашем случае для фрагментов асфальтенов характерно сильное межмолекулярное взаимодействие за счет образования водородных связей и переноса заряда. Поэтому вносится поправка  $\Delta E_M$ , которая учитывает межмолекулярное взаимодействие за счет образования водородных связей и дальнедействующих сил Ван-дер-Ваальса. Эти поправки учитываются эмпирическими парными потенциалами в методе молекулярной механики.

Энергия активации определяется по формуле:  $E_A = E_g^0 - 2P - \Delta E_M$  (2)

Результаты расчета энергии активации (2) соответствуют данным эксперимента по определению энергии активации электропроводности асфальтенов. Построенные зависимости значений энергии активации проводимости нанокластеров от количества молекулярных фрагментов нефтяных асфальтенов показывают, что начиная с определенного значения количества молекулярных фрагментов в нанокластере (около 6), значения энергии активации принимают определенное значение ( $\approx 1,86$  эВ). Следовательно, при определенном количестве молекулярных фрагментов наступает стабилизация образованных нанокластеров. Тем самым подтверждается теория, согласно которой наиболее устойчивыми являются наноагрегаты, состоящие из 6-10 нафтено-ароматических пластин.

Квантово-химические расчеты подтверждают гипотезу о повышенной донорно-акцепторной способности асфальтосмолистых веществ. Установлена возможность образования нанокластеров нефтяных асфальтенов, состоящих из нафтеноароматических пластин и подтверждена непланарность структуры. Результаты расчета показали, что значения энергии межмолекулярного взаимодействия фрагментов находятся в пределах от 78 до 172 кДж/моль, что согласуется с данными эксперимента по определению энергии когезии асфальтенов (259,2 кДж/моль).

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант №17-42-020616)

### Литература

1. Доломатов М.Ю., Ярмухаметова Г.У. Взаимосвязь цветовых характеристик с коксуемостью и молекулярной массой сложных углеводородных сред. Журн. Прикладной спектроскопии, 2008. Т. 75. № 3. С. 406-410.
2. SIMPLE CHARACTERISTIC ESTIMATION METHODS OF MATERIAL AND MOLECULE ELECTRONIC STRUCTURE Dolomatov M.Yu., Shulyakovskaya D.O., Mukaeva G.R., Yarmukhametova G.U., Latypov K.F. Journal of Materials Science and Engineering B. 2012. T.2. № 4. С. 261-268.
3. Доломатов М.Ю. Некоторые физико-химические аспекты прогнозирования свойств многокомпонентных систем в условиях экстремальных воздействий. Журн. Всесоюзного химического общества им. Д.И. Менделеева. 1991. №5. С. 632-639.

© Ишниязов З.З., 2018 г.

## ФЛУКТУАЦИИ ИНТЕНСИВНОСТИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В GaAs ЛАЗЕРАХ НА КВАНТОВЫХ ЯМАХ

А.В. Ключев, А.В. Якимов

Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского

В данной работе приводятся результаты исследований когерентных свойств электрических шумов и флуктуаций интенсивности оптического излучения лазеров на квантовых ямах (КЯ), изготовленных в Нижегородском физико-техническом институте.

Для удобства анализа вводят так называемую функцию когерентности (см. Рис.1). Функция когерентности представляет собой модуль коэффициента корреляции электрической  $v(t)$  и оптической  $p(t)$  спектральных шумовых компонент [1].

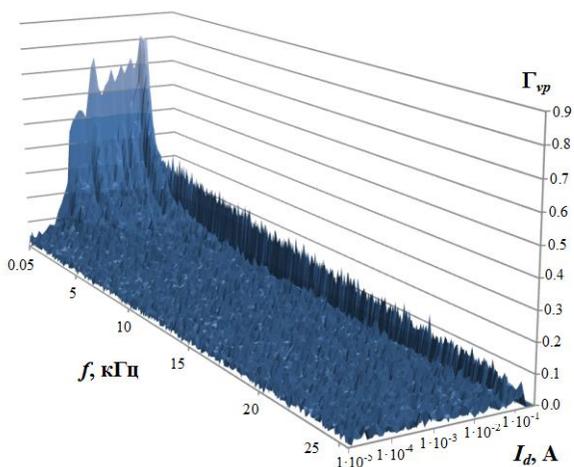


Рис. 1. Функция взаимной когерентности электрических шумов и флуктуаций интенсивности оптического излучения лазера на КЯ в зависимости от частоты и от тока

Подтверждено, что между шумами напряжения и флуктуациями интенсивности излучения лазеров существует корреляция. Данный факт проявляется в наличии близкой к единице функции взаимной когерентности шумов оптического и электрического каналов.

### Литература

1. Belyakov A.V., Klyuev A.V. and Yakimov A.V.  $1/f$  Noise in Optical Output and Non-Gaussianity in Voltage Noise of GaAs Nanoscale Light-Emitting Structures // Fluctuation and Noise Letters - 2017, v. 16, № 3, p. 1750030-1 – 1750030-14. DOI: 10.1142/S0219477517500304.

## ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА УГЛЕРОДНЫХ ПОРИСТЫХ НАНОСТРУКТУР

Колесникова А.С.

ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», г. Саратов, Россия

Автоэмиссионные катоды из стеклоуглерода представляют большой интерес для их использования в современных вакуумных приборах электронной техники, в том числе и в приборах СВЧ диапазона [1-3].

В настоящее время структура стеклоуглерода активно исследуется на атомарном уровне. Известно, что эта структура состоит из фрагментов изогнутых углеродных листов, связанных с фуллерено-подобными наночастицами. Осуществляется исследование механических свойств атомарного стеклоуглерода, эмиссионные свойства, теплопроводящие. Однако, не найдено работ по исследованию эмиссионных свойств пористых углеродных структур при увеличении размера нанопор.

Целью данной работы является исследование изменения эмиссионных свойств стеклоуглерода в зависимости от изменения размера нанопор. Исследование осуществлялось с использованием метода функционала плотности с учетом периодических граничных условий.

Для теоретического исследования эмиссионных свойств в зависимости от размера нанопор были построены три атомистические модели пористых углеродных наноструктур: для первой модели размер нанопор составлял 0.4–0.8 нм; для второй — 0.2–1.12 нм; для третьей — 0.7–1.3 нм.

Установлено, что уровень Ферми стеклоуглерода при разном размере нанопор имеет следующие значения: для нанопор 0.4–0.8 нм – -5.0717 эВ, для нанопор 0.2–1.12 нм ~ - 4,97 эВ, а для нанопор 0.7–1.3 нм – -4.8222эВ. При увеличении размера нанопор уровень Ферми увеличивается.

В связи с тем, что стеклоуглерод является пористой углеродной структурой, управлять его эмиссионными свойствами можно за счет изменения размеров нанопор.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Президентской стипендией 2016-2018 (проект № СП-2502.2016.1)*

### Литература

1. Бушуев Н.А., Глухова О.Е., Григорьев Ю.А., Иванов Д.В., Колесникова А.С., Николаев А.А., Шалаев П.Д., Шестеркин В.И. Исследование эмиссионных характеристик многолучевой электронной пушки с автоэмиссионным катодом из стеклоуглерода//Журнал технической физики, 2016, Т. 86, № 2, С. 134-139.
2. Шестеркин В.И., Глухова О.Е., Иванов Д.В., Колесникова А.С. Расчетно-экспериментальная оценка спектра энергий автоэлектронов для многоострийной катодной матрицы из стеклоуглерода//Радиотехника и электроника, 2014, Т. 59, № 8, С. 782.
3. Глухова О.Е., Колесникова А.С., Слепченков М.М., Фадеев А.А. Новая модификация стеклоуглерода с позиции применения в эмиссионной электронике//В сборнике: Нанoeлектроника, нанoфотоника и нелинейная физика Доклады X Всероссийской конференции молодых ученых, 2015, С. 63-64.

УДК 536:5

## ВЛИЯНИЕ ТОПОЛОГИИ НА ТЕРМИЧЕСКУЮ СТАБИЛЬНОСТЬ МОЛЕКУЛ ЖИДКИХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

Кутуева А.В.<sup>1,2</sup>, Журавлева Н.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Уфимский государственный авиационный технический университет,

<sup>2</sup>Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа,  
Россия

Термостабильность диэлектриков имеет важное значение в процессах их эксплуатации в элементах силовой электроники.

Целью работы является исследование взаимосвязи кинетических параметров термостабильности диэлектриков от энергии ионизации и структуры молекул. В качестве меры термостабильности использованы эффективные кинетические константы скорости термолиза углеводородных компонентов, определенные в лабораторных условиях для температур порядка 400-500 °С по потере массы образцов.

Эффективная константа скорости термолиза в аррениусовской форме имеет следующий вид:

$$k = A \cdot \exp \frac{-E_a}{R T} \quad (1)$$

где А – эффективная предэкспонента, с<sup>-1</sup>; E – эффективная («кажущаяся») энергия активации, Дж/моль; T- абсолютная температура, К; R- универсальная газовая постоянная, Дж/(моль К).

Топологические характеристики молекул диэлектриков определялись через параметры молекулярного графа индекса Винера. За характеристику электронной структуры принималась сумма квадратов собственных значений топологической матрицы, которая отражает энергетический спектр молекул приближения Хюккеля. Соответствующие результаты приведены в таблице 1.

Физико-химические свойства диэлектриков были исследованы оптическими методами [1,2,3]

Таблица 1

| № п/п | Название углеводорода | Энергия активации E, кДж | Индекс Винера W | Сумма квадратов собственных значений L |
|-------|-----------------------|--------------------------|-----------------|--|
| 1     | пропен                | 159                      | 3               | 4                                      |
| 2     | бутен-2               | 159                      | 8               | 6                                      |
| 3     | изобутен              | 180                      | 7,5             | 6                                      |
| 4     | гексен -2             | 159                      | 31              | 10                                     |

|    |                     |     |      |    |
|----|---------------------|-----|------|----|
| 5  | октен-2             | 169 | 78   | 14 |
| 6  | нафталин            | 389 | 82,5 | 22 |
| 7  | дифенил             | 377 | 153  | 26 |
| 8  | бензол              | 301 | 19,5 | 12 |
| 9  | толуол              | 293 | 32   | 14 |
| 10 | альфа-метилнафталин | 293 | 108  | 24 |

В результате исследования была обнаружена связь энергии активации с характеристиками топологии и энергетическими спектрами молекул. Методом многофакторного регрессионного анализа с применением теоремы Гаусса-Маркова, получена зависимость, которая имеет вид:

$$E = 0,34 - 0,01 \cdot W + 0,13 \cdot L,$$

где E – эффективная энергия активации, кДж;

$a_i$  - постоянные для рассматриваемых классов углеводородов коэффициенты, характеризующие соответственные вклады.

Таким образом, установлена связь термостабильности молекул жидких диэлектриков с характеристиками топологии и Хюккелевских энергетических спектров молекул.

#### Литература

5. Доломатов М.Ю. Применение электронной феноменологической спектроскопии для идентификации и исследования сложных органических систем. // Химия и технология топлив и масел. 1995. № 1. С. 29-32.

6. Dolomatov M.Yu., Shulyakovskaya D.O., Mukaeva G.R., Yarmukhametova G.U., Latypov K.F. Simple characteristics estimation methods of material and molecule electronic structure. // Journal of Materials Science and Engineering B. 2012. Т. 2. № 4. С. 261-268.

7. Доломатов М.Ю. Некоторые физико-химические аспекты прогнозирования свойств многокомпонентных систем в условиях экстремальных воздействий // Журнал всесоюзного химического общества им. Д.И. Менделеева. 1991. № 5. С. 632-639.

## СТРУКТУРА АЛМАЗОПОДОБНЫХ СОЕДИНЕНИЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ ИЗ ГРАФЕНА $L_{5-7}$

Куржумбаев Д.Ж.

Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия

Теоретический анализ, выполненный в работе [1], показал возможность существования более 30 полупроводниковых алмазоподобных соединений, сформированных на основе обычного графена. Однако наименее изучены особенности формирования алмазоподобных фаз из другого двумерного нанопредшественника – графена  $L_{5-7}$ . Поэтому в данной работе проведено модельное изучение структуры новых алмазоподобных соединений, получающихся при шивке графеновых слоев  $L_{5-7}$  по методике [2, 3].

В результате расчетов полуэмпирическим методом РМЗ установлены структуры алмазоподобных нанокристаллов трех новых типов (рис. 1) и некоторые свойства (таблица). Наиболее устойчивой является моноклинная фаза  $LA1_{5-7}$ , так как ее средняя энергия связи ( $\langle E_{C-C} \rangle$ ) только на 2.7 % больше соответствующей энергии для алмаза. Наименее устойчивая ромбическая фаза  $LA3_{5-7}$  имеет  $\langle E_{C-C} \rangle$  на 4.5 % больше  $\langle E_{C-C} \rangle$  алмаза.

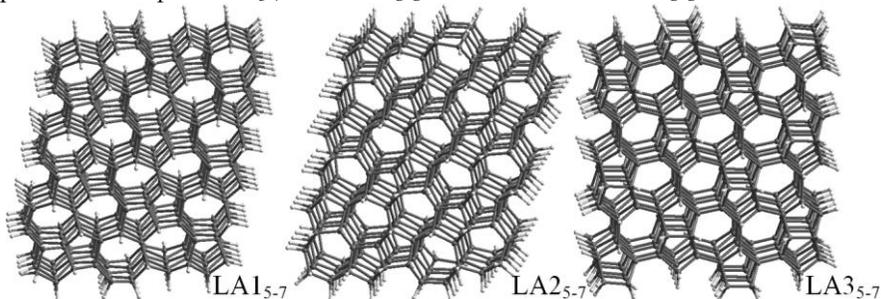


Рис. 1. Структура нанокристаллов алмазоподобных фаз

Таблица. Структурные характеристики и свойства алмазоподобных фаз

| Соединение  | Сингония | a, Å  | b, Å  | c, Å  | $\gamma$ , ° | Z, ат. | $\rho$ , г/см <sup>3</sup> | $\langle E_{C-C} \rangle$ , ккал/моль |
|-------------|----------|-------|-------|-------|--------------|--------|----------------------------|---------------------------------------|
| $LA1_{5-7}$ | М        | 4.658 | 4.246 | 5.934 | 52.5         | 16     | 3.427                      | -81.31                                |
| $LA2_{5-7}$ | М        | 4.841 | 5.965 | 4.243 | 52.2         | 16     | 3.009                      | -81.01                                |
| $LA3_{5-7}$ | Р        | 7.599 | 5.947 | 4.332 | 90.0         | 32     | 3.262                      | -79.86                                |

### Литература

1. Беленков Е.А., Грешняков В.А. // ФТТ, 2016, Т. 58, № 10, С. 2069-2078.
2. Беленков Е.А., Грешняков В.А. // ЖЭТФ, 2014, Т. 146, № 1, С. 116-122.
3. Беленков Е.А., Грешняков В.А. // ЖСХ, 2016, Т. 57, № 5, С. 932-939.

© Куржумбаев Д.Ж., 2017 г.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ИОНИЗАЦИИ И СРОДСТВА К ЭЛЕКТРОНУ КИСЛОРОД- И АЗОТСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ ПО ИНТЕГРАЛЬНЫМ ПАРАМЕТРАМ ОПТИЧЕСКОГО СПЕКТРА

Латыпов К.Ф.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Потенциалы ионизации (IP) и сродство к электрону (EA) являются важнейшими показателями реакционной способности в реакциях с образованием молекулярных комплексов с переносом заряда, а также характеристиками процессов переноса заряда в молекулах органических полупроводников. В настоящее время эти показатели определяются сложными аппаратными методами. Известны способы определения IP и EA через интегральную силу осциллятора [1-3]. Однако указанные методы мало эффективны при оценке этих физических свойств для гетеросодержащих соединений.

Целью данного исследования является разработка методики оценки IP и EA по интегральным автокорреляционным характеристикам оптических спектров.

Интегральный параметр от автокорреляционной функции спектра ( $I_A$ ), представляет собой определенный интеграл в виде произведения основной и запаздывающей логарифмических функций молярного коэффициента поглощения  $\varepsilon$  в энергетической шкале:  $\lg \varepsilon(E)$  и  $\lg \varepsilon(E+\Delta E)$ , вычисленный в границах оптического спектра  $E_1..E_n$ .

$I_A$  рассматривается как мера взаимодействия электронных состояний при определенных частотах перехода электронов из одного энергетического состояния в другое.

$$I_A = \int_{E_1}^{E_n} \lg \varepsilon(E) \cdot \lg \varepsilon(E + \Delta E) dE \quad (1)$$

В качестве объектов исследования были выбраны азотсодержащих соединения рядов акридинов и пиридинов, кислородсодержащие соединения различных гомологических рядов.

Электронные спектры соединений регистрировались в УФ и видимой области спектра. Для калибровки зависимости IP и EA от  $I_A$  был выбран метод RHF-6-31G\*\*.

Методом наименьших квадратов, установлены следующие зависимости:

$$IP = \zeta_1 + \zeta_2 I_A \quad (2) \quad EA = \chi_1 + \chi_2 I_A \quad (3)$$

Физический смысл эмпирических коэффициентов зависимостей (2)-(3), по-видимому, заключается в следующем:  $\zeta_1$  и  $\chi_1$  характеризуют значения IP и EA при отсутствии автокорреляции состояний ( $I_A=0$ ).  $\zeta_2$  и  $\chi_2$  характеризуют изменение IP и EA с ростом корреляционной энергии отталкивания электронов, т.е. с ростом  $I_A$ .

Статистические данные расчётов исследования представлены в таблицах 1,2.

Таблица 1. Эмпирические коэффициенты зависимости IP от I<sub>A</sub> для молекулярных систем

| № | молекулярная система    | ζ <sub>1</sub> , эВ | ζ <sub>2</sub> ·10 <sup>-2</sup> , безр. | коэфф. детерминации, R <sup>2</sup> | оценка погрешностей |                |                      |
|---|-------------------------|---------------------|--|-------------------------------------|---------------------|----------------|----------------------|
|   |                         |                     |  |                                     | ср. абс., Δ, эВ     | ср. отн., δ, % | ср. квадр. откл., эВ |
| 1 | спирты и оксисоединения | 8,64                | 2,90                                     | 0,89                                | 0,10                | 1,21           | 0,34                 |
| 2 | кетоны и альдегиды      | 9,88                | 4,41                                     | 0,87                                | 0,16                | 1,76           | 0,49                 |
| 3 | полиеновые кислоты      | 10,02               | 4,39                                     | 0,99                                | 0,05                | 0,65           | 0,63                 |
| 4 | пиридины и акридины     | 12,04               | 8,81                                     | 0,88                                | 0,20                | 2,00           | 0,72                 |

Таблица 2. Эмпирические коэффициенты зависимости EA от I<sub>A</sub> для молекулярных систем

| № | молекулярная система    | χ <sub>1</sub> , эВ | χ <sub>2</sub> ·10 <sup>-2</sup> , безр. | коэфф. детерминации, R <sup>2</sup> | оценка погрешностей |                |                      |
|---|-------------------------|---------------------|--|-------------------------------------|---------------------|----------------|----------------------|
|   |                         |                     |  |                                     | ср. абс., Δ, эВ     | ср. отн., δ, % | ср. квадр. откл., эВ |
| 1 | спирты и оксисоединения | 0,52                | 1,69                                     | 0,90                                | 0,06                | 6,25           | 0,20                 |
| 2 | кетоны и альдегиды      | -0,21               | 2,58                                     | 0,87                                | 0,09                | 27,05          | 0,29                 |
| 3 | полиеновые кислоты      | -0,29               | 2,57                                     | 0,99                                | 0,03                | 5,16           | 0,37                 |
| 4 | пиридины и акридины     | -0,48               | 5,27                                     | 0,91                                | 0,11                | 21,34          | 0,43                 |

Вывод: Таким образом, интегральные автокорреляционные характеристики спектра дают возможность адекватной оценки потенциалов ионизации и сродства к электрону для кислород- и азотсодержащих соединений. Разработанные методики могут быть использованы в физической органической химии для прогнозирования реакционной способности соединений, а также в исследовании электронной структуры органических полупроводников и наночастиц на основе гетероциклических молекул.

Литература:

1. Доломатов, М.Ю. Некоторые физико-химические аспекты прогнозирования свойств многокомпонентных систем в условиях экстремальных воздействий. // ЖРХО им. Д.И. Менделеева. – 1990. – т. 35. – № 5 – С. 632-638.
2. Доломатов, М.Ю. Взаимосвязь цветовых характеристик с коксуемостью и молекулярной массой сложных углеводородных сред /Доломатов М.Ю., Мукаева Г.Р. //Журнал прикладной спектроскопии. –2008. –т. 75. – №3. – С.406-410
3. Dolomatov, M.Y. Simple Characteristics Estimation Methods of Material and Molecule Electronic Structure /Dolomatov M.Y., Shulyakovskaya D.O., Mukaeva G.R., Jarmuhametova G.U., Latypov K.F. // Journal of Materials Science and Engineering. – 2012. – В 2(4). – P.261-268.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ПОТЕНЦИАЛОВ ИОНИЗАЦИИ И  
ИНТЕГРАЛЬНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ С  
УЧЕТОМ ГРУПП СИММЕТРИИ**

Паймурзина<sup>1,2</sup> Н.Х., Ковалева<sup>2</sup> Э.А., Доломатов<sup>1,2</sup> М.Ю.

<sup>1</sup> Башкирский государственный университет, г.Уфа, Россия

<sup>2</sup> Уфимский государственный нефтяной технический университет, г.Уфа, Россия

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) представляют значительный интерес для электроники, как материалы для наномолекулярных структур и сырья для синтеза графеноподобных структур. Разработанные методы определения свойств молекул по оптическим характеристикам спектра [1, 2, 3] не учитывают симметрию молекул, поэтому целью работы является исследование взаимосвязи потенциалов ионизации (ПИ) и интегральных оптических характеристик полициклических молекулярных полупроводников с учетом групп симметрии.

В качестве интегральных оптических характеристик использованы цветовые характеристики ПАУ в оптической системе XYZ, а также интегральные автокорреляционные параметры спектров.

В работе [4] предложено ИАКФ в оптических спектрах определять через логарифмическую функцию

$$A(\Delta\omega) = \int_{\omega_0}^{\omega_2} \lg \varepsilon(\omega) \lg \varepsilon(\omega + \Delta\omega) d\omega, \quad (2)$$

где  $\omega = 2\pi\nu$ ,  $\text{с}^{-1}$  – круговая частота (частота переходов).

Так как молекулы ПАУ поглощают излучение в УФ и видимой областях, для характеристики электронных состояний использован относительный эмпирический автокорреляционный параметр  $\mu$ , который характеризует отношение энергии спектра в УФ-области к энергии всего электронного спектра

$$\mu = \frac{\int_{\omega_0}^{\omega_1} \lg \varepsilon(\omega) \cdot \lg \varepsilon(\omega + \Delta\omega) d\omega}{\int_{\omega_0}^{\omega_2} \lg \varepsilon(\omega) \cdot \lg \varepsilon(\omega + \Delta\omega) d\omega}, \quad (3)$$

где числитель – интегральная автокорреляционная функция (ИАКФ) в УФ – области; знаменатель – ИАКФ в УФ- и видимой областях спектра;  $\omega_0$ ,  $\omega_1$ ,  $\omega_2$  – границы спектра,  $10^{14}$  Гц;  $\Delta\omega$  – приращение аргумента (шаг),  $1,5 \cdot 10^{16}$  Гц;  $\lg \varepsilon(\omega)$ ,  $\lg \varepsilon(\omega + \Delta\omega)$  – молярные показатели поглощения при определенных частотах.

Было рассмотрено 34 разных молекул ПАУ, которые были объединены в группы симметрии в соответствии с классификацией Шёнфлиса:  $C_1, C_s$ [5]. Обработкой данных методом наименьших квадратов установлены зависимости ПИ от координаты цвета и  $\mu$ - параметра. Полученные закономерности имеют следующий вид.

$$IP = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot \mu + \alpha_2 \cdot q \quad (4)$$

где IP – потенциал ионизации, эВ;  $\mu$ –относительный эмпирический автокорреляционный параметр; q– координата цвета;  $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$  –эмпирические коэффициенты соответственно эВ, эВ·моль·м<sup>-3</sup>

Статистическую обработку спектров поглощения проводили методом многофакторного регрессионного анализа с оценкой множественного коэффициента корреляции R, коэффициента детерминации R<sup>2</sup>, стандартной ошибки S. Данные приводятся в таблице 1.

Таблица.1 Статистические характеристики двухпараметрической модели ПИ

| Потенциал ионизации |                       |                       |                       |      |                |      |
|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------|----------------|------|
| Группы симметрии    | $\alpha_0, \text{эВ}$ | $\alpha_1, \text{эВ}$ | $\alpha_2, \text{эВ}$ | R    | R <sup>2</sup> | S    |
| C <sub>s</sub>      | 5,71                  | 1,22                  | 0,002                 | 0,78 | 0,8            | 0,07 |
| C <sub>1</sub>      | 5,70                  | 1,45                  | 0,007                 | 0,92 | 0,93           | 0,08 |

Таким образом, на основе экспериментальных спектроскопических данных установлены корреляционные зависимости ПИ от  $\mu$ -параметра и координаты цвета q. Достоверность полученных данных подтверждена расчетной оценкой погрешности, которая составляет для группы симметрии C<sub>s</sub> -0,79%, а для C<sub>1</sub> - 2,7%. Таким образом можно говорить о возможности применения методики оценки ПИ ПАУ по цветовым и оптическим характеристикам спектра.

#### Литература

1. Dolomatov M. Yu., Yarmukhametova G.U. Correlation of color characteristics with conradson carbon residue and molecular weight of complex hydrocarbon media // *Jornal of Applied Spectroscopy*. 2008.V.75. No. 3. Pp. 433-438.
2. Ковалева Э.А., Паймурзина Н.Х., Доломатов М.Ю. О независимости цветовых характеристик органических полупроводников от молекулярной топологии./ В книге: Актуальные проблемы нано- и микроэлектроники сборник тезисов докладов III Всероссийской научной молодежной конференции. 2015. С. 109.
3. Доломатов М.Ю. Некоторые физико-химические аспекты прогнозирования свойств многокомпонентных систем в условиях экстремальных воздействий. // *Журнал всесоюзного химического общества им. Д.И. Менделеева*.1991.№5. С. 632-639.
4. Доломатов М.Ю., Ковалева Э.А., Паймурзина Н.Х., Валиуллин А.Р. Оценка электронодонорных свойств по автокорреляционным характеристикам функции распределения спектральной плотности электронных спектров поглощения // *Башкирский химический журнал*. 2016. Т. 23. № 3. С. 35-40.5. Доломатов М. Ю., Паймурзина Н. Х., Ковалева Э. А. Оценка донорно-акцепторных свойств молекул полициклических углеводов по интегральным автокорреляционным характеристикам оптических спектров.// *Бутлеровские сообщения*. 2018. Т.53. №2. С.28-37. ROI: jbc-01/18-53-2-28.

© Паймурзина Н.Х., 2018 г.

УДК 538.9

**ВЛИЯНИЕ ОСВЕЩЕНИЯ НА ВРЕМЯ ОТКЛИКА СЕНСОРА ГАЗА НА  
ОСНОВЕ ТОНКОЙ ПЛЕНКИ ДИОКСИДА ОЛОВА К ПАРАМ  
ЭТАНОЛА ПРИ КОМНАТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ**

Симаков В.В., Осыко И.Д., Синёв И.В., Гребенников А.И., Смирнов А.В.,  
Кисин В.В.

Саратовский национальный исследовательский государственный  
университет имени Н. Г. Чернышевского,  
г. Саратов, Россия

Системы детектирования газовых смесей и запахов, включающие полупроводниковые сенсоры газа, устройства предварительной обработки сигналов, контроля и управления рабочим режимом технологических комплексов, могут быть сформированы на единой подложке методами микро- и нанотехнологий [1]. Однако для активации процессов обмена поверхности активных слоев сенсоров с газовой фазой используют рабочие температуры, как правило, существенно выше комнатной [2], что ограничивает возможности их применения в автономных системах и комплексах. Использование энергии внешнего излучения открывает перспективы снижения рабочей температуры сенсоров газа вплоть до комнатной [3-4]. В работе приведены результаты исследований влияния освещения на времена отклика сенсора газа на основе тонкой пленки SnO<sub>2</sub> к парам этанола различной концентрацией.

Газочувствительные слои диоксида олова формировались методом высокочастотного магнетронного распыления стехиометрической мишени SnO<sub>2</sub> [5], поверх которых через маску наносилась система контактов. Для освещения активного слоя сенсора использовался светодиод марки DFL-5AP4SC-400 с излучением в полосе 380-430 nm. Исследования газочувствительных свойств полученных структур проводились с помощью аппаратно-программного комплекса [6] при температуре 30°C. Газовые пробы, содержащие пары этанола, составлялись путем барботирования 96% этилового спирта потоком сухого воздуха с расходом 100 сссм.

Присутствие в окружающей атмосфере паров этанола приводит к увеличению проводимости (рис. 1, а) Это может быть обусловлено либо появлением новых донорных центров на поверхности пленки диоксида олова, либо вытеснением частиц адсорбированного кислорода. Экспериментально обнаружено, что времена отклика сенсора на воздействие паров этанола при освещении существенно меньше, чем в темноте (рис. 1, б).

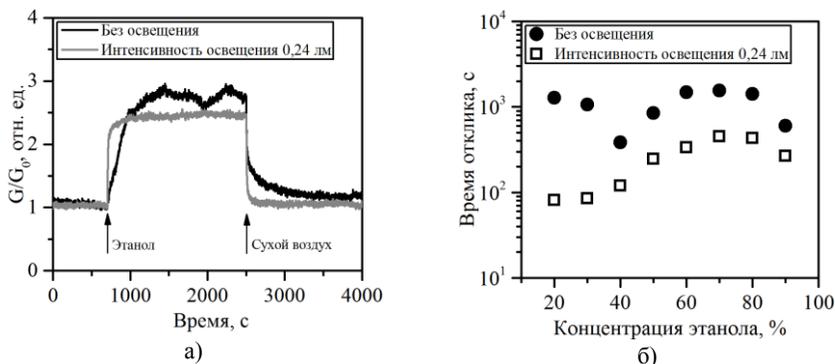


Рис.1. Динамика изменения проводимости сенсора  $G$  при напуске паров этанола с концентрацией 60% (а) и зависимость времен отклика от концентрации этанола в газовой пробе (б),  $G_0$  – проводимость сенсора до напуска газовой пробы

Таким образом, в работе проведено исследование динамики отклика сенсора газа на основе тонкой пленки  $\text{SnO}_2$  к парам этанола с различной концентрацией в темноте и в условиях освещения.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 16-07-00821, 16-07-00818\_а и при поддержке Совета по грантам Президента РФ (СП-677.2015.4).*

### Литература

1. Кисин, В. В., Ворошилов, С. А., Сысоев, В. В., Симаков, В. В. // ЖТФ, 1999, т. 69, №4, с. 112–113.
2. Kissine, V. V., Sysoev, V. V., Voroshilov, S. A., Simakov, V. V. // Semiconductors, 2000, v. 34, pp. 308–311.
3. Симаков, В. В., Синёв, И. В., Смирнов, А. В., Осыко, И. Д., Гребенников, А. И., Сергеев, С. А. // Нано- и микросистемная техника, 2017, т. 19, № 1, с. 34–40.
4. Русских, Д. В., Рембеза, С. И. // ФТП, 2009, т. 43, №. 6, с. 811–815.
5. Симаков, В. В., Синёв, И. В., Смирнов, А. В., Сякина, С. Д., Гребенников, А. И., Кисин, В. В. // Нанотехника, 2011, № 3, с. 45–46.
6. Симаков, В. В., Никитина, Л. В., Синёв, И. В. // Башкирский химический журнал, 2010, т. 17, с. 125–127.

**РАСЧЕТ СТРУКТУРЫ ПОЛИМОРФНЫХ РАЗНОВИДНОСТЕЙ ГРАФЕНА**

Поляк К.О.

Челябинский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Графен является перспективным материалом для электроники [1]. Его широкому использованию в электронных устройствах препятствует отсутствие запрещенной зоны на уровне энергии Ферми в зонной структуре. Однако, возможно существование полиморфных разновидностей графена, электронные свойства которых могут отличаться от свойств обычного графена гексагонального  $L_6$  [2]. В данной работе был выполнен расчет геометрически оптимизированной структуры и электронных свойств ряда новых полиморфных разновидностей графена. Расчеты были выполнены методом теории функционала плотности в градиентном приближении, хорошо апробированным для расчета углеродных материалов [3-5]. Первичная структура слоев была построена в результате «сшивки» слоя карбиновых цепочек, располагающихся параллельно друг другу. В результате расчетов была установлена возможность устойчивого существования четырех новых полиморфных разновидностей графена, в которых атомы углерода находятся в двух различных структурных состояниях. Для этих слоев были рассчитаны плотности электронных состояний и зонные структуры, по которым было установлено, что у трех полиморфов  $L_{4-6-8a}$ ,  $L_{4-6-8b}$ , и  $L_{4-12}$  ширины запрещенных зон равны нулю и они должны проявлять металлические свойства. Четвертый полиморф  $L_{4-10}$  должен проявлять полупроводниковые свойства, так как имеет ширину запрещенной зоны 0.59 эВ. Эта структурная разновидность графена наиболее перспективна для конструирования электронных устройств. Энергии сублимации новых полиморфов, исследованных в данной работе лежат в диапазоне от 6.45 до 7.35 эВ/атом, что соответствует интервалу значений экспериментально синтезированных углеродных материалов.

**Литература**

1. Belenkov, E.A., Belenkova, T.E., Chernov, V.M., Mavrinskii, V.V. Structural modifications of graphyne layers consisting of carbon atoms in the  $sp$ - and  $sp^2$ -hybridized states // Journal of Experimental and Theoretical Physics, 2015, T. 120, № 5, P. 820-830.
2. Беленков, Е.А., Шейнкман, А.И. Моделирование процессов графитизации аморфного углерода // Известия высших учебных заведений. Физика, 1991, № 10, С. 67-69.
3. Belenkov, E.A., Greshnyakov, V.A., Brzhezinskaya, M.M. Novel carbon diamond-like phases LA5, LA7 and LA8 // Diamond and Related Materials. 2014. V. 50. С. 9-14.
4. Беленков, Е.А. Моделирование процесса формирования кристаллической структуры углеродного волокна // Кристаллография, 1999, Т. 44, № 5, С. 808-813.
5. Беленкова, Э.И. Адсорбция атомов Li в нанокристаллическом углероде // В книге: Актуальные проблемы микро- и нанoeлектроники. Сборник тезисов докладов IV Всероссийской научной молодежной конференции с международным участием, 2016, Уфа: БашГУ, С. 224.

© Поляк К.О., 2017 г.

Челябинский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Слой гексагонального графена можно рассматривать как плоскую сетку из шестиугольников в вершинах которых располагаются углеродные атомы. Если в слое вместо шестиугольника встречается другой многоугольник, то это топологический дефект. Электронные свойства графена можно изменять за счет топологических дефектов в его структуре. Наиболее известным комбинированным топологическим дефектом является дефект Стоуна-Уэльса (дефект 5-7-7-5) который состоит из двух пятиугольников и двух семиугольников [1]. Этот дефект может образовываться в слое графена флуктуационно, за счет локальной перестройки межатомных связей. В данной работе выполнены расчеты энергии образования дефекта Стоуна-Уэльса и энергию его движения по графеновому слою. Расчеты геометрически оптимизированной структуры и расчет энергетических характеристик выполняли фрагментов графенового слоя были выполнены хорошо апробированными методом молекулярной механики ММ+ и полуэмпирическим квантово-механическим методом РМЗ [2-6]. В результате расчета фрагментов графенового слоя различного размера, содержащих и не содержащих дефекты было установлено что с увеличением размера кластера энергия образования в нем дефекта стремится к предельному значению характеризующему численное значение энергии образования дефекта 5-7-7-5 в бесконечном слое. Численное значение этой величины оказалось равным 121.7 ккал/моль. При движении дефекта по слою графена изменение энергии между состояниями составляет 80.5 ккал/моль.

### Литература

1. Беленков Е.А., Зинатулина Ю.А. Топологические дефекты графеновых слоёв // Челябинский физико-математический журнал. 2008. № 25. С. 32-38
2. Belenkov, E.A., Belenkova, T.E., Chernov, V.M., Mavrinskii, V.V. Structural modifications of graphyne layers consisting of carbon atoms in the sp- and sp<sup>2</sup>-hybridized states // Journal of Experimental and Theoretical Physics, 2015, T. 120, № 5, P. 820-830.
3. Беленков, Е.А. Моделирование процесса формирования кристаллической структуры углеродного волокна // Кристаллография, 1999, Т. 44, № 5, С. 808-813.
4. Belenkov, E.A., Greshnyakov, V.A., Brzhezinskaya, M.M. Novel carbon diamond-like phases LA5, LA7 and LA8 // Diamond and Related Materials. 2014. V. 50. С. 9-14.
5. Беленкова, Э.И. Адсорбция атомов Li в нанокристаллическом углероде// В книге: Актуальные проблемы микро- и нанoeлектроники. Сборник тезисов докладов IV Всероссийской научной молодежной конференции с международным участием, 2016, Уфа: БашГУ, С. 224.
6. Беленков, Е.А. Моделирование процесса формирования кристаллической структуры углеродного волокна // Кристаллография, 1999, Т. 44, № 5, С. 808.

© Согрина Е.Э., 2017 г.

## ВОЛЬТАМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК ДИОКСИДА ОЛОВА

Суханов В.А., Осыко И.Д., Симаков В.В.

Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского, г. Саратов, Россия

В настоящее время, газочувствительные технологии играют важную роль в бытовой сфере, промышленности, здравоохранении, армии и т. д. [1]. Например, одной из областей применения газовых сенсоров является мониторинг промышленных выбросов [2], обнаружение токсичных, легковоспламеняющихся газов или загрязнителей воздуха в помещениях [3].

Твердотельные полупроводниковые газовые сенсоры имеют ряд преимуществ: невысокую стоимость, миниатюрны, надежны и способны работать в широком диапазоне температур. С точки зрения приборного применения, одной из важней характеристик газовых сенсоров является их вольтамперная характеристика, которая определяет диапазон рабочих напряжений [4]. Однако, вольтамперные характеристики газочувствительных структур на основе поликристаллических слоев зависят от состояния межзеренных границ, рабочей температуры и т.д. [5]. Поэтому выявление закономерностей, влияющих на процессы переноса заряда в поликристаллических слоях, представляют собой важную научно-техническую задачу.

В работе представлена математическая модель переноса заряда в неоднородно легированных поликристаллических слоях широкозонных полупроводников. Представленная модель учитывает наличие локализованных состояний акцепторного и/или донорного типа на границах зерен.

Нормированное уравнение непрерывности, описывающее распределение концентрации электронов в образце имеет вид:

$$\frac{\partial^2 \eta}{\partial \xi^2} + \frac{1}{\eta} \cdot \frac{\partial \eta}{\partial \xi} \left( i - \frac{\partial \eta}{\partial \xi} \right) + \eta \left( \eta_D + \eta_{d0} \cdot \frac{n_{d0}}{\eta + n_{d0}} - \eta - \eta_{a0} \cdot \frac{\eta}{\eta + n_{a0}} \right) = 0. \quad (1)$$

где  $\eta$  – нормированная на контракцию доноров концентрация электронов;  $i$  – нормированная плотность тока;  $\xi$  – нормированная на длину Дебая координата;  $\eta_D$  – нормированный заряд мелких полностью ионизованных доноров в пленке;  $\eta_{d0}$ ,  $\eta_{a0}$  – нормированное распределение доноров и акцепторов соответственно.  $n_{d0}$ ,  $n_{a0}$  – нормированный параметр донорного и акцепторного уровня соответственно.

На рис.1. представлены результаты расчета зависимости тока через поликристаллический образец, дифференциальной проводимости от приложенного напряжения при различной глубине залегания акцепторного уровня на границе зерен. Вольтамперные характеристики носят нелинейный

характер, который может быть связан с процессами захвата носителей заряда акцепторными уровнями на границах зерен, а также инжекцией носителей заряда.

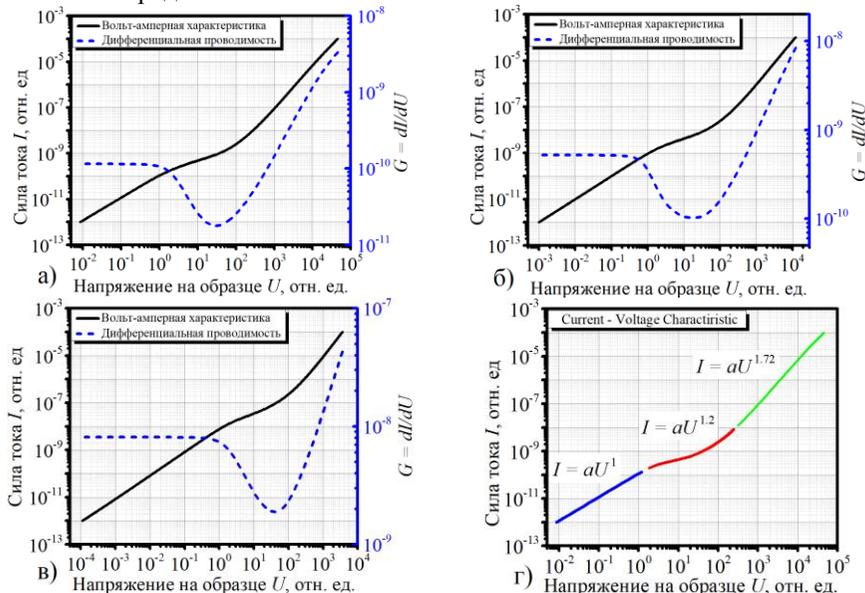


Рис. 1. Вольтамперные характеристики, рассчитанные по модели для диоксида олова:  $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ , а) Параметр акцепторного уровня  $n_a = 0,001$ , б)  $n_a = 0,01$ , в)  $n_a = 0,1$ . Под г) представлена аппроксимация на различных участках степенной функцией:  $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $n_a = 0,001$

### Литература

1. Akimoto, H. Global Air Quality and Pollution H. Akimoto // Sci. 2003. v. 302, pp. 1716-1719.
2. Smith, J. Facility monitoring of toxic industrial compounds in air using an automated, fieldable, miniature mass spectrometer J. Smith // Analyst. 2010. Is. 5 pp. 994-1003.
3. Xie, Y. Synthesis and gas sensing properties of hierarchical mesomacroporous SnO<sub>2</sub> for detection of indoor air pollutants Y. Xie // Sensor and Actuators B: Chemical. 2015. Vol. 211, pp. 255-262.
4. Симаков, В.В. Поверхностный ионный транспорт в тонкопленочных хеморезисторах // УДК 621.382, 2006, с. 1-3.
5. Simakov, V. V. I-V characteristics of gas-sensitive structures based on tin oxid thin films // Sensors and Actuators B: Chemical. 2006, v. 116, pp. 221-225.

© Суханов В.А., 2017 г.

**РАСЧЕТ СТРУКТУРЫ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧАЮЩИХСЯ  
ПРИ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ФУЛЛЕРИТА C<sub>20</sub>**

Тиньгаев М. И.

Челябинский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Элементная база микроэлектроники базируется на кремниевых кристаллах, однако вместо кремния, можно использовать углеродные кристаллы. Углеродные соединения из атомов в  $sp^3$  состояниях имеют большую ширину запрещенной зоны, в то время как у материалов из  $sp^2$  атомов запрещенная зона нулевая. Промежуточное значение ширины запрещенной зоны, подходящее для использования в электронных устройствах может быть у гибридных  $sp^2+sp^3$  углеродных соединений. В данной работе теоретически исследована  $sp^2+sp^3$  фаза. Первичная структура этой фазы была получена при полимеризации фуллеренового конденсата C<sub>20</sub>. В исходном фуллере атомы углерода находились в  $sp^2$  состояниях, при сшивке соседних фуллеренов между каждой парой фуллеренов образовывалась одна ковалентная межатомная связь. В результате гибридизация атомов, участвующих в образовании связей, становилась  $sp^3$ , однако у части атомов гибридизация осталась  $sp^2$ . Так получалась гибридная  $sp^2+sp^3$  структура [1,2], в которой соотношение атомов  $sp^3:sp^2 = 3:7$ . Далее, методом молекулярной механики ММ+ [3,4] были выполнены расчеты геометрически оптимизированной структуры. Было установлено, что кристаллическая решетка фазы относится к триклинной сингонии и в элементарной ячейке содержится 20 атомов. Длины векторов элементарных трансляций:  $a = 5.44 \text{ \AA}$ ,  $b = 5.58 \text{ \AA}$ ,  $c = 5, 46 \text{ \AA}$ . Углы между векторами:  $\alpha = 53.9^\circ$ ,  $\beta = 57.6^\circ$ ,  $\gamma = 70.7^\circ$ . Энергия сублимации гибридной структуры, получающейся в результате частичной полимеризации фуллеренов C<sub>20</sub>, вычисленная полуэмпирическим квантово-механическим методом РМЗ [5] оказалась равной 231.3 ккал/моль.

**Литература**

1. Беленков, Е.А., Тиньгаев, М.И. Структура новых  $sp^2+sp^3$  гибридных углеродных фаз, получаемых совмещением (n,n) однослойных углеродных нанотрубок // Письма о материалах, 2015, Т. 5, № 1, С. 15-19.
2. Тиньгаев, М.И., Беленков, Е.А. Гибридные фазы из углеродных нанотрубок (8,0) // Фундаментальные проблемы современного материаловедения, 2017, Т. 14. С. 193.
3. Беленкова, Э.И. Адсорбция атомов Li в нанокристаллическом углероде // В книге: Актуальные проблемы микро- и нанoeлектроники. Сборник тезисов докладов IV Всероссийской научной молодежной конференции с международным участием, 2016, Уфа: БашГУ, С. 224.
4. Беленков, Е.А. Моделирование процесса формирования кристаллической структуры углеродного волокна // Кристаллография, 1999, Т. 44, № 5, С. 808.
5. Belenkov, E.A., Greshnyakov, V.A., Brzhezinskaya, M.M. Novel carbon diamond-like phases LA5, LA7 and LA8 // Diamond and Related Materials. 2014. V. 50. С. 9-14.

© Тиньгаев М.И., 2017 г.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОРИСТОСТИ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ: АЛГОРИТМ И МЕТОДИКА**

Таран В.М., Лясникова А.В., Маркелова О.А., Дударева О.А., Гришина И.П.  
Саратовский государственный технический университет  
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия

Известна технология использования пористых плазменных покрытий в качестве емкости для хранения жидких веществ [1, 2].

Размеры и форма пор в каркасе покрытия имеют очень большое разнообразие. Для изучения их свойств и роли в различных технических приложениях особое значение имеют модельные представления пористой структуры [3].

В настоящей работе рассматривается проектная задача, направленная на разработку алгоритмического обеспечения для математического моделирования пористости плазмонапыленного покрытия.

Метод моделирования состоит в представлении физических величин параметров в виде совокупности взаимосвязанных дискретных элементов – дискретных ячеек.

Дискретизация (разбиение) дает возможность описать геометрическую структуру и взаимосвязанные физические величины графовыми методами, которые являются неотъемлемой частью при переходе к численному решению задач с использованием вычислительной техники.

Разработан алгоритм оценочного определения пористости покрытия, основанного на методе экспертно-статического численного моделирования:

1. Принимается, что для моделирования достаточно рассматривать сравнительно небольшой объем покрытия со статическими свойствами, характерными для всего объема покрытия.
2. В качестве моделируемого объема покрытия выбрана фигура параллелепипеда, которая разделена на элементарные дискретные ячейки кубической формы.
3. Система координат моделируемого объема представляет собой решетку с определенной длиной, шириной и высотой, разбитую на слои.
4. В процессе моделирования каждый слой покрытия представляется двухкоординатной сеткой.
5. Каждый слой разбивается на дискретные ячейки.
6. На позиции каждой дискретной ячейки производится «вероятностный розыгрыш» состояний дискретной ячейки.
7. Производится последовательное перемещение по координатным сеткам.
8. Вводится понятие <поровый канал>.

9. Вводится понятие <счетчик взаимосвязанных ячеек в состоянии пор>.
10. Вводится понятие <число поровых каналов с выходом на поверхность покрытия>.
11. Вводится понятие <счетчик дискретных ячеек с открытой пористостью>.
12. Вводится понятие <счетчик дискретных ячеек с закрытой пористостью>.
13. Вводится понятие <плотность поровых каналов на поверхности покрытия>.
14. Вводится понятие <общее число поровых каналов>.
15. Вводится понятие <общий объем поровых каналов>.
16. Вводится понятие <пористость покрытия>.

На основе представленного алгоритма строится блок-схема и компьютерная программа, позволяющая оценочно определить пористость плазмонапыленного покрытия, что может быть полезно при разработке новых материалов и покрытий, обладающих функцией хранения жидких веществ.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента для государственной поддержки молодых российских ученых РФ – докторов наук МД-1403.2017.8 и стипендии Президента РФ для молодых ученых и аспирантов СП-5048.2018.4, а также Гранта РФФИ в рамках научного проекта № 16-08-01250 а.*

### **Литература**

1. Lyasnikova A.V. Mathematical Modeling of Stress in Plasma Coatings Used in Medicine / A.V. Lyasnikova, V.M. Taran, O.A. Markelova, O.A. Dudareva, I.P. Grishina // Biomedical Engineering, Vol.47, No.3, September, 2013, pp.142-145.
2. Лясникова А.В. Статистическое моделирование движения жидкого лекарственного вещества в пористых биокомпозиционных покрытиях / А.В. Лясникова, В.М. Таран, О.А. Маркелова, О.А. Дударева, И.П. Гришина // Конструкции из композиционных материалов. – 2014. – № 4. – С. 34-39.
3. Плазменное напыление: монография / В.Н. Лясников, А.В. Лясникова, О.А. Дударева ; Саратовский гос. техн. ун-т им. Гагарина Ю.А. - Саратов : СГТУ, 2016. - 624 с.

© Таран В.М., Лясникова А.В., Маркелова О.А., Дударева О.А., Гришина И.П. 2018 г.

## АНАЛИЗ СОСТАВА НЕФТИ МЕТОДОМ ИНФРАКРАСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Тулеухан А.

ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан

Важное место в изучении строения нефти занимает ИК-спектроскопия, которая позволяет судить о химическом составе вещества и получать информацию о структурных группах [1, 2, 3]. ИК-спектры идентифицируют все колебания связей, в которых принимает участие группы атомов  $\text{CH}$ ;  $\text{CH}_2$ ;  $\text{CH}_3$ ;  $\text{OH}$ ;  $\text{NH}_2$ ;  $\text{SH}$  и др., а также группы, содержащие кратные связи ( $\text{C}=\text{O}$ ;  $\text{SO}_2$ ;  $\text{NO}_2$ ;  $\text{N}=\text{N}$  и др.). На сегодняшний день довольно большое количество исследовательских работ в сфере нефти и нефтепродуктов по инфракрасным спектрам посвящены методам идентификации, и определения углеводородных соединений. Инфракрасный спектр, в свою очередь, надежнее, чем химический анализ, определяет функциональные группы, в особенности, когда требуются в совокупности и качественный, и количественный анализы.

В качестве объектов исследования были изучены нефти месторождения Жанаталап, Жанажол, Чинарево и Сазан Курак в Казахстане. Объекты были исследованы на Фурье спектрометра FT/IR-4700. В наших исследованных образцах отчетливо видны интенсивные пики поглощения при 1462  $\text{cm}^{-1}$  и 1376  $\text{cm}^{-1}$ , что соответствуют колебаний C-C связей метильных групп в составе асфальтена. Данные полосы как видно из рисунков присутствуют во всех образцах исследуемых нефти. Также для всех спектров характерен пик на 722  $\text{cm}^{-1}$ , что соответствует маятниковым колебаниям метиленовых групп  $\text{CH}_2$  в парафиновых углеводородах. Пик при 1457  $\text{cm}^{-1}$  соответствует деформационному, 2949  $\text{cm}^{-1}$  валентным колебания C-H связи  $\text{CH}_2$  групп.

Поглощение при 1600  $\text{cm}^{-1}$  соответствует C-C связям ароматических колец, а полоса при 1305  $\text{cm}^{-1}$  может соответствовать SO группам. Можно предположить, что нефть из месторождения Жанаталап отличается меньшим содержанием сульфоксидных групп. В отличие от других образцов в ИК спектре нефти Жанажолского месторождения (рисунок 1) отсутствует полоса при 2360  $\text{cm}^{-1}$ . Это подтверждает о низком содержание серы в Жанажолском нефти по сравнению с другими образцами.

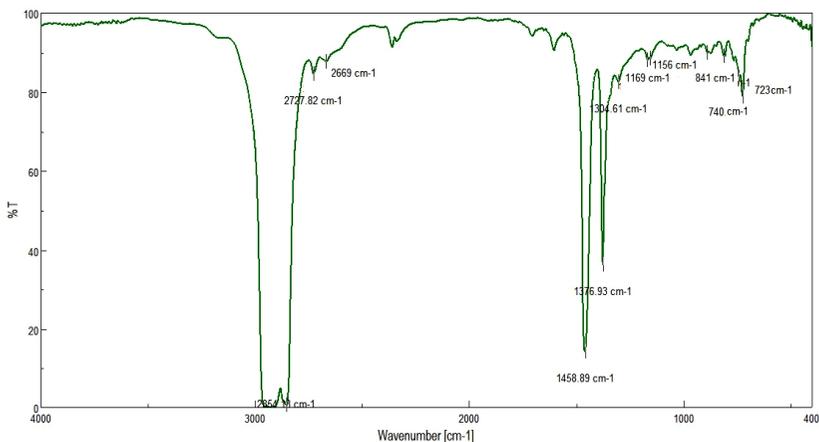


Рисунок 1. ИК спектр нефти из месторождения «Жаназол».

### Литература

1. Ганеева Ю.М., Юсупова Т.Н., Романов Г.В. Асфальтеновые наноагрегаты: структура, фазовые превращения, влияние на свойства нефтяных систем // Успехи химии. 2011. №10.
2. Муханова М.У. Физико-химическая характеристика нефти месторождения Кумколь // Геология, география и глобальная энергия. 2010. №2.
3. Ширяева Р.Н., Асадуллина А.С. Исследование структуры асфальтенов спектральными методами // Международный научно-исследовательский журнал. 2014. №3.

## СЕКЦИЯ «СКАНИРУЮЩАЯ ЗОНДОВАЯ МИКРОСКОПИЯ: ИЗМЕРЕНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ АТОМАРНОГО И НАНОМЕТРОВОГО МАСШТАБА»

УДК 538.9

### ВЛИЯНИЕ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ НА ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА ГРАФЕНОВЫХ НАНОБЛИСТЕРОВ

О.Е. Глухова, П.В. Барков, М.М. Слепченко

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени  
Н.Г. Чернышевского, г. Саратов, Россия

В настоящее время актуальной научной проблемой функциональной электроники является разработка наноустройств, характеризующихся многофункциональностью, малыми габаритами и высокой энергоэффективностью. Решению этой проблемы во многом будет способствовать создание новой элементной базы на основе низкоразмерных наноструктур. В последние несколько лет в широкой печати все чаще стали появляться работы, посвященные экспериментальным и теоретическим исследованиям графеновых наноблистеров [1]. На практике подобные структуры получают в результате осаждения графена на металлической поверхности, в частности никеля, и бомбардировки её ионами аргона. Для расширения спектра практического применения наноблистеров в электронике необходимо обладать данными об электронных свойствах материала и о возможных способах их контроля. Целью работы является теоретическое исследование электронных свойств графеновых наноблистеров и выявление закономерностей влияния топологии атомной сетки на электронно-энергетические характеристики нанобъекта.

Изучение электронных свойств графеновых блистеров проводилось на примере атомистической модели блистера диаметром 5.4 нм и высотой 1 нм (рис. 1). Построенная модель отвечает данным натурального эксперимента, выполненного в работе [2]. В качестве инструмента исследования использовался программный продукт KVAZAR [3]. Поиск равновесной конфигурации построенных блистерных структур проводился с помощью молекулярной динамики с использованием потенциала AIREBO [4].

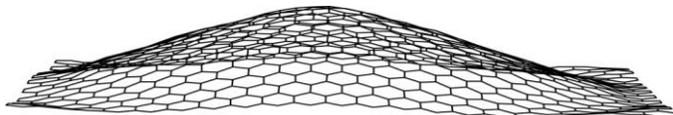


Рис. 1. Атомная структура графенового блистера с диаметром островка 5.4 нм и высотой 0.8 нм.

Для анализа электронных свойств графеновых наноблистеров были рассчитаны распределение плотности электронных состояний (DOS), потенциал ионизации и энергетическая щель спектра с помощью самосогласованного метода функционала плотности на базе схемы сильной

связи DFTB2 [5]. Результаты расчета показали, что по сравнению с планарным графеном в распределении DOS блистера наблюдается увеличение плотности состояний вблизи уровня НОМО (-6.69 эВ). С внедрением в атомную сетку блистеров дефектов плотность состояний вблизи уровня НОМО возрастает. Наибольший рост характеристики в этой области достигается при внедрении 2V-дефекта.

По сравнению с планарным графеном в спектре блистера открывается щель, размер которой можно варьировать в пределах 0,01-0,1 эВ, внося в атомную сетку структуры различное число дефектов одного или нескольких типов. Наибольшая энергетическая щель  $\sim 0,1$  эВ, характерная для узкозонных полупроводников, была получена в случае SW-дефектов или addimer- дефектов максимальной концентрации. Потенциал ионизации наноблистеров ведет себя немонотонно при варьировании типа и количества дефектов атомной сетки. Смешанное сочетание дефектов приводило к снижению эмиссионной характеристики. Наиболее ощутимое снижение потенциала ионизации ( $\sim 0,1$  эВ) в рамках проводимого исследования наблюдалось для случая, когда атомная сетка блистера содержали по одному дефекту каждого топологического типа. Таким образом, варьируя топологию и количество вносимых дефектов, можно управлять электронно-энергетическими характеристиками графеновых наноблистеров, а именно, его эмиссионную способность материала или тип его проводимости.

Работа выполнена при поддержке стипендии Президента РФ молодым ученым и аспирантам СП-3135.2016.1.

### Литература

1. Watcharinyanon S., Virojanadara C., Osiecki J.R., Zakharov A.A., Yakimova R., Uhrberg R.I.G., Johansson L.I. Hydrogen intercalation of graphene grown on 6H-SiC(0001) // *Surface Science*, 2011, V. 605, № 17–18, P. 1662-1668.
2. Larciprete R., Colonna S., Ronci F., Flammini R., Lacovig P., Apostol N., Politano A., Feul-ner P., Menzel D., Lizzit S. Self-Assembly of Graphene Nanoblisters Sealed to a Bare Metal Surface // *Nano Lett*, 2016, V. 16, P. 1808-1817.
3. Glukhova O.E., Savostyanov G.V., Slepchenkov M.M., A new approach to dynamical determination of the active zone in the framework of the hybrid model (quantum mechanics/ molecular mechanics) // *Procedia Materials Science*, 2014, V. 6, P. 256-264.
4. O'Connor T.C., Andzelm J., Robbins M.O. AIREBO-M: A reactive model for hydrocarbons at extreme pressures // *J. Chem. Phys.*, 2015, V. 142, № 024903, P. 1-9.
5. M. Elstner, D. Porezag, G. Jungnickel, J. Elsner, M. Haugk, Th. Frauenheim, S. Suhai, G. Seifert. Self-consistent-charge density-functional tight-binding method for simulations of complex materials properties // *Phys. Rev. B*, 1998, v. 58, pp. 7260-7268.

©Барков П.В., 2018 г.

# РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ОБРАЗЦОВ АСФАЛТО-СМОЛИСТЫХ ВЕЩЕСТВ ДЛЯ ДЕТАЛЬНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ИХ ПОВЕРХНОСТНОЙ СТРУКТУРЫ

Акбутин Г. Д., Шарипов Т.И.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

В настоящее время большое внимание уделяется работам, в которых рассматривается использование органических молекул для создания электронных компонент микро- и нанoeлектроники. Перспективными конструкционными материалами в молекулярной электронике являются асфальто-смолистые вещества (АСВ). Известно, что асфальтены в нефтяных дисперсных системах находятся в виде надмолекулярных структур размером от 1 до 1000 нм, что позволяет рассматривать асфальтены в качестве перспективного объекта нанотехнологий. На данный момент свойства асфальтенов на надмолекулярном уровне изучаются различными физико-химическими методами, а также методами атомно-силовой микроскопии [1-4].

Целью данной работы является разработка методики приготовления АСВ для исследования их методом атомно-силовой микроскопии. При разработке данного метода мы использовали имеющийся опыт по приготовлению образцов органических молекул [5-9]. Первоначальной задачей ставился подбор оптимальной концентрации асфальтенов в толуоле — рабочего раствора. Оптимальная концентрация определялась опытным путем, а также учитывая результаты исследований других ученых, работающих над данной проблемой [5, 10]. Рассчитав теоретически соотношение массы АСВ в объеме толуола, приготавливались растворы АСВ. Вторым варьируемым параметром была процедура получения мономолекулярной пленки на поверхности слюдяной подложки. В качестве подложки была выбрана слюда. Для получения мономолекулярной пленки использовался метод Ленгмюра-Блоджетт. Готовый образец исследовался в полуконтактном режиме атомно-силового микроскопа.

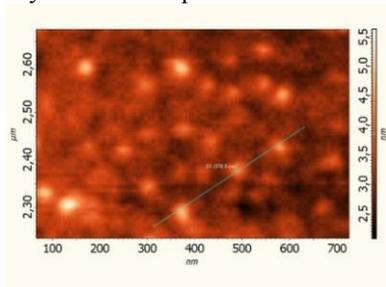


Рис.1 АСМ-изображение пленки асфальтенов

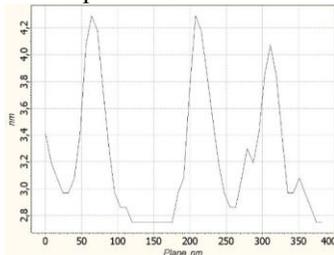


Рис.2 Профиль сечения, выполненный по линии, проведенной на рис. 1.

Интерпретируя полученные АСМ-изображения, делался вывод об успешности взятой концентрации асфальто-смолистых веществ при приготовлении рабочего раствора. Критерием успешности ставилась визуализация с высоким разрешением отдельных молекул асфальто-смолистых веществ.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 17-42-020616.

### Литература

1. Шуткова С.А., Доломатов М.Ю., Дезорцев С.В. Расчет электронной молекулярной структуры парамагнитных фрагментов нефтяных асфальтенов // Нефтегазопереработка-2012: Мат. Междунар. научно-практич. конф. - Уфа: ГУП ИНХП РБ, 2012. – С.267-268.
2. Ганеева Ю.М., Юсупова Т.Н., Романов Г.В. Асфальтеновые наноагрегаты: структура, фазовые превращения, влияние на свойства нефтяных систем // Успехи химии. – 2011. – Т. 80. – № 10. – С. 1034–1050.
3. Т.И. Шарипов, М.Ю. Доломатов, Р.З. Бахтизин. Исследование молекул смоло-асфальтеновых веществ методами атомно-силовой микроскопии. // «Нанoeлектроника, нанофотоника и нелинейная физика»: тез. докл. XII Всерос. конф. молодых ученых. – Саратов: Изд-во «Техно-Декор», 2017. – с. 316-317.
4. Р.З. Бахтизин, Т.И. Шарипов, Т.Н. Нурахметов, К.А. Кутербеков, Ж.М. Салиходжа, М.Ю. Доломатов, А.Ж. Кайнарбай. Атомно-силовая микроскопия молекул смоло-асфальтеновых веществ. // Научный журнал Физика (Физика илимий журналы). 2017. №1. Сс. 79-84.
5. Коржов Ю.В., Орлов С.А. Агрегирование и коагуляция асфальтенов в пленке нефти: физические характеристики продуктов поверхностных отложений // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2016. Т. 327. №12. 62-74.
6. T I Sharipov and R Z Bakhtizin The study of electrical conductivity of DNA molecules by scanning tunneling spectroscopy // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 256 (2017) 012009
7. T I Sharipov, R Z Bakhtizin The estimation of quantitative parameters of oligonucleotides immobilization on mica surface // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 195 (2017) 012002
8. Г.Д. Акбутин, Т.И. Шарипов. Исследование электропроводности олигонуклеотидов (Investigation of the electrical conductivity of oligonucleotides) // Scanning Probe Microscopy. Abstract Book of International Conference (Ekaterinburg, August 28-30, 2017) Ekaterinburg, Ural Federal University, 2017, p. 214
9. Блинов Л.М. Ленгмюровские пленки. Успех физических наук, Т.155. 3, с.433-480, 1988.
10. Акбарзаде К., Хаммани А., Харат А., Дэн Чжан и др. Асфальтены проблемы и перспективы // Нефтегазовое обозрение. Издание компании "Шлюмберге (Shlumberger)", М.: 2007, т. 19, № 2, с. 28 - 42.

© Акбутин Г.Д., Шарипов Т.И., 2018 г.

**«ЗЕЛЕНЬ МЕТОД» ПОЛУЧЕНИЯ НАНОЧАСТИЦ МЕДИ**

Беглецова Н.Н., Селифонова Е.И., Чернова Р.К., Глуховской Е.Г.

Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского,  
г. Саратов

Разработка методик и исследование свойств синтезируемых наночастиц различных металлов в настоящее время является достаточно популярным научным направлением. Особенный интерес вызывают так называемые «зеленые методы» получения наночастиц металлов [1, 2]. Они позволяют синтезировать наночастицы металлов без использования опасных и вредных химических реагентов. Такие наночастицы применяют в медицине.

В работе представлено описание методики синтеза наночастиц меди в водном растворе аскорбиновой кислоты, выступающей в роли восстановителя и стабилизатора.

Методика получения наночастиц меди заключалась в следующем: готовился 0,02 М водный раствор  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  путем растворения навески прекурсора в 50 мл дистиллированной воды (рис. 1, *слева*). Рассчитав навеску аскорбиновой кислоты, растворяли ее в 50 мл дистиллированной воды для получения 0,1 М водного раствора (рис. 1, *справа*). Далее 0,02 М водный раствор соли ставили на магнитную мешалку до достижения температуры нагрева  $80^\circ\text{C}$  при 500 об/мин. По достижению данной температуры приливали по каплям к данному раствору раствор аскорбиновой кислоты. Добавление водного раствора аскорбиновой кислоты осуществлялось в течение 10 минут, при этом температура раствора изменялась от  $76$  до  $78^\circ\text{C}$ . Синтез наночастиц меди проводили в течение 120 минут.



Рис. 1. Водные растворы соли меди (*слева*) и аскорбиновой кислоты (*справа*)

В процессе синтеза наночастиц меди изменение цвета водного раствора визуально не наблюдалось (раствор имел мутно-белый цвет) (рис. 2, *а*). Такое поведение приготовленного раствора может быть связано с окислительно-восстановительной способностью используемого восстановителя. Известно, что аскорбиновая кислота по сравнению с такими восстановителями, как боргидрид натрия и гидразин гидрат является слабой

кислотой. В виду этого реакция восстановления меди во времени может протекать дольше.

Через 5 дней после синтеза наночастиц меди полученный водный раствор окрасился из мутно-белого в светло-желтый цвет (рис. 2, б), появился осадок наночастиц меди темно-коричневого цвета.



Рис. 2. Раствор с наночастицами меди: (а) в день эксперимента; (б) через 5 дней после синтеза

Предложенная методика получения наночастиц меди в водном растворе аскорбиновой кислоты является экономически выгодной, простой в исполнении и экологически чистой, что является достаточно важным при промышленном производстве и использовании в медицинском направлении.

*Работа выполнена при поддержке грантами РФФИ проект № 16-07-00093 и № 16-07-00185.*

### **Литература**

1. Sutradhar, P. Microwave Synthesis of Copper Oxide Nanoparticles Using Tea Leaf and Coffee Powder Extracts and Its Antibacterial Activity // J. Nanostruct. Chem., 2014, v. 4, 6 p.
2. Shikha, J. Experimental Investigation on the Synthesis of Copper Nanoparticles By Chemical Reduction Method // International Journal of Scientific & Engineering Research, 2014, v. 5, iss. 11, pp. 973-978.

© Беглецова Н.Н., 2017 г.

## **ПОЛУЧЕНИЕ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ НАНОЧАСТИЦ НИКЕЛЯ**

Беглецова Н.Н., Селифонова Е.И., Чернова Р.К., Глуховской Е.Г.

Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского,  
г. Саратов

Последние десятилетия интерес ученых сосредоточен на изучении наноразмерных материалов. Особенный интерес вызывают наночастицы металлов с размерами в диапазоне от 1 до 100 нм, что связано с их уникальными оптическими, химическими и электрическими свойствами [1]. Например, наночастицы никеля могут использоваться для каталитического дегидрирования 2-бутанола до 2-бутанона [2].

Существует большое количество методов синтеза наночастиц никеля, но чаще всего используют метод химического восстановления, т.к. он не требует использования дорогостоящего оборудования. В присутствии таких восстановителей, как боргидрид натрия и гидразин получают наночастицы никеля малого размера с высокой поверхностной энергией. Однако, такие частицы склонны к агломерации. Для предотвращения процесса агломерации используют вещества активные на поверхности, например, полимеры и поверхностно-активные вещества (ПАВ).

Известно, что переход металла в окисленное состояние сопровождается изменением его электрических и оптических свойств. Так, окисление наночастиц никеля представляет собой изменение свойств наночастиц с металлических на полупроводниковые. Полученные в результате окисления наночастицы никеля потенциально могут быть использованы в качестве активных слоев солнечных батарей и суперконденсаторов.

Нами была апробирована и усовершенствована методика синтеза наночастиц никеля из карбоната никеля  $\text{NiCO}_3$  методом химического восстановления при использовании в качестве восстановителя гидразин гидрата  $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ .

Для идентификации наночастиц никеля в полученном водном растворе методом спектрофотометрического анализа на спектрофотометре SHIMADZU UV-2550 проводилась регистрация спектров поглощения в диапазоне длин волн от 190 до 900 нм (рис. 1). Согласно литературным данным появление двух максимумов поглощения полученного водного раствора при длине волны 356 нм и 558 нм соответствует поверхностному плазмонному резонансу (ППР) для наночастиц оксида никеля и никеля, соответственно.

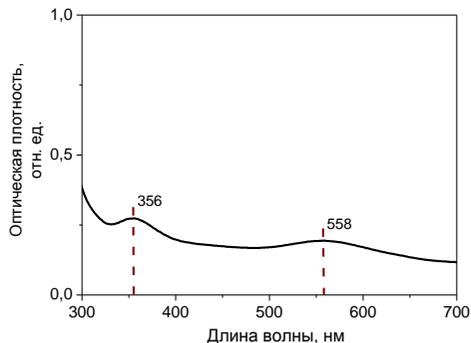


Рис. 1. Спектр поглощения раствора с наночастицами никеля

На установке Malvern Zetasizer NS проводилось исследование распределения полученных наночастиц по размерам. На рис. 2 показано, что размеры синтезируемых наночастиц никеля лежат в диапазоне от 4,8 до 6,5 нм. Таким образом, усовершенствованная методика синтеза позволяет синтезировать наночастицы никеля с узким распределением по размерам, что является важным при формировании проводящих пленок на их основе.

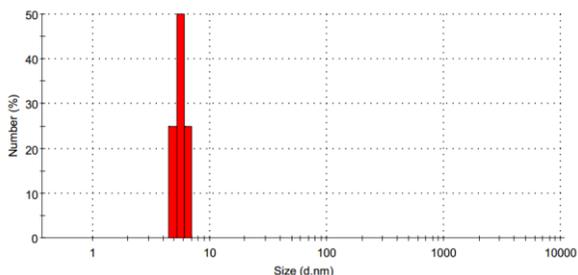


Рис. 2. Гистограмма распределения наночастиц никеля

*Работа выполнена при поддержке грантами РФФИ проект № 16-07-00093 и № 16-07-00185.*

### Литература

1. Kumar, A. Ni-Nanoparticles: An Efficient Catalyst for Synthesis of Quinoxalines // Catalysis Communications, 2008, v. 9, pp. 778-784.
2. Gao, J. Preparation of Ultrafine Nickel Powder and Its Catalytic Dehydrogenation Activity // Mater. Chem. Phys., 2001, v. 71, pp. 215-219.

© Беглецова Н.Н., 2017 г.

**РАСЧЕТ СТРУКТУРЫ ЭНДОЭДРАЛЬНЫХ НАНОТРУБОК**

Белекеев И.А.

Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия

Для конструирования наноэлектронных устройств на основе углерода очень перспективными являются материалы на основе графеновых лент. Однако структура этих лент неустойчива. Один из возможных способов получения графеновых нанолент, пригодных для использования в наноэлектронике, – формирование внутри углеродных нанотрубок. Поэтому в данной работе было выполнено модельное исследование структуры углеродных нанотрубок с инкапсулированными графеновыми лентами.

Решение поставленной в работе задачи было выполнено при использовании модельных компьютерных расчетов методом молекулярной механики ММ2, а также схемы модельного построения наноструктур из работ [1-3]. Объектами исследования были углеродные нанотрубки (10, 10), заполненные ненасыщенными углеводородными молекулами и графеновыми нанолентами, сформированными на их основе.

В результате расчетов были получены геометрически оптимизированные структуры углеродных нанотрубок (10, 10) с инкапсулированными в них ненасыщенными углеводородами и графеновыми лентами. Установлено, что из молекул коронена внутри нанотрубок могут быть сформированы armchair графеновые ленты (рис. 1), а из бензоперилена – zig-zag структурные разновидности нанолент.

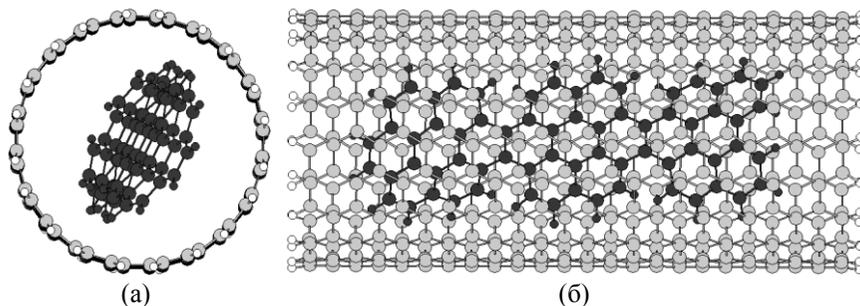


Рис. 1. Фрагменты структур эндоэдральных нанотрубок (10,10) с молекулами коронена (а) и armchair графеновой лентой (б)

**Литература**

1. Грешняков В.А., Беленков Е.А. // ЖЭТФ, 2011, Т. 140, № 1, С. 99-111.
2. Беленков Е.А., Грешняков В.А. // ЖЭТФ, 2014, Т. 146, № 1, С. 116-122.
3. Беленков Е.А., Грешняков В.А. // ФТТ, 2013, Т. 55, № 8, С. 1640-1650.

© Белекеев И.А., 2018 г.

**РАСЧЕТ СТРУКТУРЫ ФТОРОГРАФАНОВЫХ ПОЛИМОРФОВ**

Беленков М.Е., Чернов В.М.

Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия

Графановые слои являются перспективным материалом для наноэлектроники, так как на их основе можно создавать наноразмерные электронные устройства различного назначения [1]. Графановые слои получают в результате химической адсорбции неуглеродных атомов (водорода, фтора, кислорода и др.) на поверхность графеновых слоев. В данной работе теоретически изучена структура фторографановых слоев, получающихся в результате присоединения фтора к слоям графена  $L_6$ ,  $L_{4-8}$ ,  $L_{3-12}$  и  $L_{4-6-12}$ . Расчет геометрически оптимизированной структуры фторографана был выполнен на первом этапе методами молекулярной механики [2,3], окончательные расчеты структуры и энергий сублимации фторографановых слоев были выполнены методом теории функционала плотности в градиентном приближении [1,4,5]. В результате расчетов была установлена возможность устойчивого существования пяти полиморфных разновидностей фторографана получающегося на основе гексагонального графена, а также по четыре разновидности возможно получить на основе слоев графена  $L_{4-8}$ ,  $L_{3-12}$  и  $L_{4-6-12}$ . Геометрически оптимизированная структура всех фторографановых слоев плоская, так что половина атомов фтора располагается с одной стороны слоя углеродных атомов, а вторая с другой. Углы между связями, образуемыми углеродными атомами во всех разновидностях фторографана отличаются от значения угла  $109,47^\circ$  характерного для атомов углерода в структуре алмаза. Минимальные отклонения наблюдаются для полиморфной разновидности  $T_{1L6}$ , модельно построенной на основе гексагонального графена. Именно эта структурная разновидность обладает максимальной энергией сублимации и должна быть наиболее устойчивой, по сравнению с остальными.

**Литература**

1. Беленкова Т.Е., Чернов В.М., Беленков Е.А. Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии. 2016. Т.8. №1. С. 49-54.
2. Беленкова, Э.И. Моделирование структурной трансформации углеродных материалов, обусловленное изменением размеров нанокристаллов // В книге: Новые технологии в материаловедении материалы I научно-практической конференции с международным участием, 2015, Уфа: БашГУ, С. 180-181.
3. Беленков, Е.А. Моделирование процесса формирования кристаллической структуры углеродного волокна // Кристаллография, 1999, Т. 44, № 5, С. 808-813.
4. Belenkov E.A., Belenkova T.E., Chernov V.M., Mavriinskii V.V. Structural modifications of graphyne layers consisting of carbon atoms in the sp- and sp<sup>2</sup>-hybridized states // Journal of Experimental and Theoretical Physics, 2015, Т. 120, № 5, P. 820-830.
5. Belenkov, E.A., Greshnyakov, V.A. Diamond-like phases obtained from nanotubes and three-dimensional graphites // Physics of the Solid State. 2015. V. 57. № 6. С. 1253-1263.

© Беленков М.Е., 2018 г.

**ЭЛЕКТРОННАЯ СТРУКТУРА И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОНО- И БИСЛОЙНЫХ ГРАФЕН-НАНОТРУБНЫХ ПЛЕНОК**

Глухова О.Е., Слепченков М.М., Митрофанов В.В.

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, г. Саратов, Россия

В настоящее время в материаловедении интенсивно развивается направление, ориентированное на экспериментальное получение материалов на основе графен-нанотрубных гибридных соединений с различными типами упаковки структурных элементов. Первыми в широкой печати появились сообщения о 3D-композитах с вертикальной ориентацией нанотрубок между графеновыми листами [1], однако в последние годы все чаще стали появляться работы, посвященные 2D-пленкам с горизонтальной упаковкой трубок между слоями графена [2].

Данная работа посвящена изучению электронной структуры и электрических свойств графен-нанотрубных пленочных композитов с горизонтальной упаковкой трубок между листами графена. Проведено исследование влияния топологии – киральности нанотрубок и расстояния между ними – на электронно-энергетические и электрические характеристики графен-нанотрубных композитов. Для выявления новых физических закономерностей рассматриваемых гибридных углеродных наноструктур осуществлялись численные эксперименты с применением самосогласованного метода теории функционала плотности в схеме сильной связи SCCDFTB2 [3], классической молекулярной динамики с использованием эмпирического потенциала AIREBO [4] и метода неравновесных функций Грина [5].

С помощью оригинальной методики построения элементарных ячеек композитов [6] были получены атомистические модели моно- и бислойных графен-нанотрубных композитов различной топологии. По результатам расчета энтальпии формирования определены топологические модели моно-бислойных графен-нанотрубных структур, характеризующихся наибольшей энергетической устойчивостью. Согласно проведенным оценкам энергетически устойчивый монослойный композит формируют трубки zigzag (n,0) с числом n=10,12,14,16,18,20 при расстоянии между трубками 8-16 гексагонов, а бислойный композит – трубки (10,0) при межтрубном расстоянии 10,12,14,16 гексагонов и трубки (12,0) при расстоянии 10 и 12 гексагонов.

Для объяснения электрических свойств исследуемых пленочных композитов с помощью метода SCC DFTB2 было рассчитано распределение плотности электронных состояний (DOS). Полученные результаты расчета позволили установить, что у всех моделей монослойного композита наблюдается щель между валентной зоной и зоной проводимости в

несколько десятых электронвольта. При этом у бислойного композита щель отсутствует для всех типов топологических моделей. Электрические свойства композитов характеризовались электрической проводимостью и сопротивлением, для расчета которых использовался метод неравновесных функции Грина. Сравнение одинаковых топологических моделей, соответствующих композитам с разным числом слоев, показывает, что бислойный композит характеризуется проводимостью почти в 2 раза выше ввиду возросшей практически вдвое плотности нанотрубок. В целом, характеристики проводимости моно- и бислойных композитов качественно повторяют друг друга. Показано, что ключевым фактором, определяющим величину поверхностного и объемного удельного сопротивлений пленочного композита, является тип проводимости трубок. Для композитов с трубками полупроводникового типа проводимости значения сопротивлений в десятки раз превышают сопротивления композитов с трубками металлического типа проводимости.

Работа выполнена при поддержке стипендии Президента РФ молодым ученым и аспирантам СП-3135.2016.1.

### Литература

1. Yang X., Yu D., Cao B., To A.C. Ultrahigh Thermal Rectification in Pillared Graphene Structure with Carbon Nanotube–Graphene Intramolecular Junctions // *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 2017, v. 9, pp. 29-35.

2. Kim S.H., Song W., Jung M.W., Kang M.A., Kim K., Chang S.J., Lee S.S., Lim J., Hwang J., Myung S., An K.S. Carbon nanotube and graphene hybrid thin film for transparent electrodes and field effect transistors // *Advanced Materials*, 2014, v. 26, № 25, pp. 4247-4252.

3. M. Elstner, D. Porezag, G. Jungnickel, J. Elsner, M. Haugk, Th. Frauenheim, S. Suhai, G. Seifert. Self-consistent-charge density-functional tight-binding method for simulations of complex materials properties // *Phys. Rev. B*, 1998, v. 58, pp. 7260-7268.

4. O'Connor T.C., Andzelm J., Robbins M.O. AIREBO-M: A reactive model for hydrocarbons at extreme pressures // *J. Chem. Phys.*, 2015, V. 142, № 024903, P. 1-9.

5. Do V.N. Non-equilibrium Green function method: theory and application in simulation of nanometer electronic devices // *Adv. Nat. Sci.: Nanosci. Nanotechnol.*, 2014, v. 5, pp. 033001-1033001-21.

6. Mitrofanov V.V., Slepchenkov M.M., Zhang G., Glukhova O.E. Hybrid carbon nanotube-graphene monolayer films: Regularities of structure, electronic and optical properties // *Carbon*, 2017, v. 115, pp. 803-810.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОРИСТОСТИ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ: АЛГОРИТМ И МЕТОДИКА**

Гришина И.П., Таран В.М., Лясникова А.В., Маркелова О.А., Дударева О.А.  
Саратовский государственный технический университет  
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия

Известна технология использования пористых плазменных покрытий в качестве емкости для хранения жидких веществ [1, 2].

Размеры и форма пор в каркасе покрытия имеют очень большое разнообразие. Для изучения их свойств и роли в различных технических приложениях особое значение имеют модельные представления пористой структуры [3].

В настоящей работе рассматривается проектная задача, направленная на разработку алгоритмического обеспечения для математического моделирования пористости плазмонапыленного покрытия.

Метод моделирования состоит в представлении физических величин параметров в виде совокупности взаимосвязанных дискретных элементов – дискретных ячеек.

Дискретизация (разбиение) дает возможность описать геометрическую структуру и взаимосвязанные физические величины графовыми методами, которые являются неотъемлемой частью при переходе к численному решению задач с использованием вычислительной техники.

Разработан алгоритм оценочного определения пористости покрытия, основанного на методе экспертно-статического численного моделирования:

1. Принимается, что для моделирования достаточно рассматривать сравнительно небольшой объем покрытия со статическими свойствами, характерными для всего объема покрытия.

2. В качестве моделируемого объема покрытия выбрана фигура параллелепипеда, которая разделена на элементарные дискретные ячейки кубической формы.

3. Система координат моделируемого объема представляет собой решетку с определенной длиной, шириной и высотой, разбитую на слои.

4. В процессе моделирования каждый слой покрытия представляется двухкоординатной сеткой.

5. Каждый слой разбивается на дискретные ячейки.

6. На позиции каждой дискретной ячейки производится «вероятностный розыгрыш» состояний дискретной ячейки.

7. Производится последовательное перемещение по координатным сеткам.

8. Вводится понятие <поровый канал>.

9. Вводится понятие <счетчик взаимосвязанных ячеек в состоянии пор>.

10. Вводится понятие <число поровых каналов с выходом на поверхность покрытия>.
11. Вводится понятие <счетчик дискретных ячеек с открытой пористостью>.
12. Вводится понятие <счетчик дискретных ячеек с закрытой пористостью>.
13. Вводится понятие <плотность поровых каналов на поверхности покрытия>.
14. Вводится понятие <общее число поровых каналов>.
15. Вводится понятие <общий объем поровых каналов>.
16. Вводится понятие <пористость покрытия>.

На основе представленного алгоритма строится блок-схема и компьютерная программа, позволяющая оценочно определить пористость плазмонапыленного покрытия, что может быть полезно при разработке новых материалов и покрытий, обладающих функцией хранения жидких веществ.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ №18-38-00677 мол\_а.*

### **Литература**

1. Lyasnikova A.V. Mathematical Modeling of Stress in Plasma Coatings Used in Medicine / A.V. Lyasnikova, V.M. Taran, O.A. Markelova, O.A. Dudareva, I.P. Grishina // Biomedical Engineering, Vol.47, No.3, September, 2013, pp.142-145.
2. Лясникова А.В. Статистическое моделирование движения жидкого лекарственного вещества в пористых биокомпозиционных покрытиях / А.В. Лясникова, В.М. Таран, О.А. Маркелова, О.А. Дударева, И.П. Гришина // Конструкции из композиционных материалов. – 2014. – № 4. – С. 34-39.
3. Плазменное напыление: монография / В.Н. Лясников, А.В. Лясникова, О.А. Дударева ; Саратовский гос. техн. ун-т им. Гагарина Ю.А. - Саратов : СГТУ, 2016. - 624 с.

© Таран В.М., Лясникова А.В., Маркелова О.А., Дударева О.А., Гришина И.П. 2018 г.

**МАТРИЧНЫЙ СИНТЕЗ ГЕТЕРОСТРУКТУРНЫХ НАНОПРОВОЛОК Cu/Ni:  
ВЫБОР АНОДА И РЕЖИМА ОСАЖДЕНИЯ**

И.М. Долуденко<sup>1,2</sup>, А.С. Шаталов<sup>1,2</sup>, Д.Л. Загорский<sup>2</sup>, С.А. Бедин<sup>2,3</sup>, В.В. Артемов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,  
Москва, Россия

<sup>2</sup>ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН

<sup>3</sup>Московский педагогический государственный университет

Получение и исследованию различных типов наноматериалов является актуальной задачей. Так, большой интерес представляет получение массивов (ансамблей) параллельно ориентированных нанопроволок состоящих из большого количества чередующихся слоёв магнитного и немагнитного металлов [1]. Целями данной работы являются: отработка методики и получение массивов гетероструктурных нанопроволок состава Cu/Ni методом матричного синтеза.

Метод получения гетероструктурных нанопроволок основан на разности равновесных потенциалов никеля и меди. Известно, что при меньшем потенциале будет осаждаться преимущественно медь, а с увеличением напряжения в составе осаждаемого вещества будет появляться никель [2].

Для электрохимического осаждения был подобран электролит следующего состава: NiSO<sub>4</sub>\*7H<sub>2</sub>O - 196,7 г/л; CuSO<sub>4</sub>\*5H<sub>2</sub>O - 6,25 г/л; H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> - 31,6 г/л. Этот состав обеспечивал низкую концентрацию примеси меди в слое никеля. Для данного состава необходимо было установить оптимальные потенциалы процесса электроосаждения и выбрать анод.

Для определения оптимальных потенциалов проводилось осаждение на плоскую поверхность. Была проведена серия экспериментов с последовательным увеличением ростового напряжения. При подборе оптимального анода для электроосаждения были проведены исследования с медным или никелевым анодами. В процессе получения фиксировалась сила тока на гальванической ванне. На рисунке 1 представлены средние значения силы тока от прикладываемого потенциала для эксперимента с медным анодом (для никелевого анода график идентичен). Из данного графика видно, что сила тока увеличивается нелинейно, а увеличение скорости роста сильно увеличивает поли- кристалличность и снижает прочность. Следовательно, при выборе оптимального потенциала для осаждения слоя «меди» необходимо выбирать максимальный потенциал при котором концентрация никеля ещё минимальна. Для слоя «никеля» необходим минимальный потенциал при котором его концентрация уже достигла максимума.

После получения химический состав оценивался с помощью растрового электронного микроскопа с приставкой для элементного анализа. Результаты представлены на рисунках 2 и 3 для никелевого и медного анода соответственно.

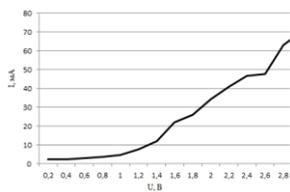


Рис.1. Зависимость силы тока от напряжения

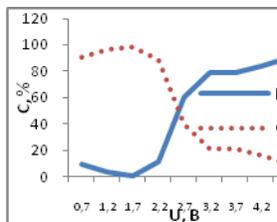


Рис.2. Зависимость концентраций от потенциала для никелевого анода

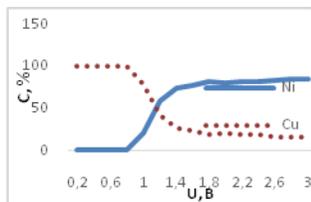


Рис.3. Зависимость концентраций от потенциала для медного анода

Исходя из полученных данных, можно сказать, что для послойного осаждения вышеописанного электролита необходимо использовать медный анод. Это связано с тем, что при его использовании при малых потенциалах достигается 100 % концентрация меди; максимальная концентрация никеля несколько ниже, чем при использовании никелевого анода, но она достигается при меньшем потенциале.

Анализ данных СЭМ показал, что оптимальные потенциалы для осаждения слоя меди – 0,8 В, так как концентрация меди остается равной 100%, а поверхность остается гладкой. Оптимальный потенциал для получения слоя никеля – 1,8 В, так как при меньшем потенциале концентрация никеля недостаточна, а с увеличением потенциала выше 1.8 В концентрация никеля меняется незначительно, но при осаждении образуется большее количество неровностей.

Используя вышеописанный режим, с помощью матричного синтеза были получены массивы гетероструктурных нанопроволок. Они были исследованы с помощью РЭМ, ПЭМ, рентгеноструктурного анализа. Общий итог исследований массивов подтверждает наличие отдельных слоев меди и твердого раствора никеля с примесью меди.

Таким образом в работе показано, как используя двухкомпонентный электролит и варьируя условия электроосаждения, получать слоистые нанопроволоки.

Синтез магнитных нанопроволок и дополнительные СЭМ измерения проводилось в рамках государственного задания ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН - при поддержке Федерального агентства научных организаций (соглашение № 007-ГЗ/ЧЗ363/26) и при частичной поддержке гранта РФФИ 18-32-01066. Авторы благодарны проф. П.Ю. Апелю (ОИЯИ,г. Дубна) за предоставление образцов мембран

#### Список литературы

1. M. Vazquez. Magnetic Nano- and Microwires, Woodhead, Elsevier, 2015.
2. N. Lupu. Electrodeposited NWs and Their Applications, InTech, Rijeka, Croatia, 2010.

**ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО НА СТРУКТУРУ СЛОЕВЫХ  
НАНОПРОВОЛОК ПОЛУЧЕННЫХ МАТРИЧНЫМ СИНТЕЗОМ**  
И.М. Долуденко<sup>1,2</sup>, А.С. Шаталов<sup>1,2</sup>, Д.Л. Загорский<sup>2</sup>, С.А. Бедин<sup>2,3</sup>, В.В.  
Артемов<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский университет «Высшая школа  
экономики», Москва, Россия

<sup>2</sup>ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН

<sup>3</sup>Московский педагогический государственный университет

В последние годы стали широко изучаться наноразмерные материалы, такие как гетероструктурные массивы нанопроволок.

Метод получения гетероструктурных нанопроволок основан на разности равновесных потенциалов никеля и меди. Известно, что при меньшем потенциале будет осаждаться медь, а при большем потенциале будет осаждаться преимущественно никель. На этих образцах (с чередованием ферромагнитного и диамагнитного металлов) обнаружен эффект «гигантского магнетосо-противления». В настоящей работе были получены нанопроволоки Cu/Ni и было исследовано влияние магнитного поля, прилагаемого при осаждение.

Для электрохимического осаждения использовался электролит следующего состава: NiSO<sub>4</sub>\*7H<sub>2</sub>O - 196,7 г/л; CuSO<sub>4</sub>\*5H<sub>2</sub>O - 6,25 г/л; H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> - 31,6 г/л. Данный состав обеспечивал низкую концентрацию меди в предполагаемом слое никеля.

Был изучен процесс электроосаждения НП с чередующимися металлами в «стандартном режиме»- без приложения полей. Эксперимент показал, что оптимальный потенциал для осаждения меди равен 0,8 В. Оптимальный потенциал для осаждения никеля составит 1,8 В. Используя полученные данные проводилось осаждение в поры трековых мембран. Время осаждения слоя меди составляло 125 секунд, а слоя никеля 10 секунд. Процесс повторялся 4 раза, чтобы добиться максимальной наполненности поры.

После электроосаждения матрица удалялась, а образцы исследовались с помощью растрового электронного микроскопа (рис.1). Из полученных микрофотографий можно сказать, что данные нанопроволоки однородны по своей структуре по всей длине.

На следующем этапе проводилось осаждение массивов нанопроволок в магнитном поле. К поверхности матрицы прикладывался магнит разными полюсами. Величина магнитной индукции равнялась 0,25 Тл. После получения нанопроволок ранее описанным методом, матрица удалялась а полученные массивы исследовались на растровом электронном микроскопе. Результаты представлены на рисунках 2 и 3.

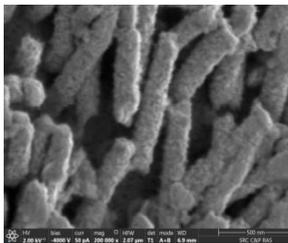


Рис.1. Общий вид массива нанопроволок

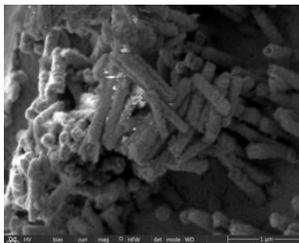


Рис.2. Микрофотография образца, выращенного в магнитном поле (к образцу прикладывался северный полюс)

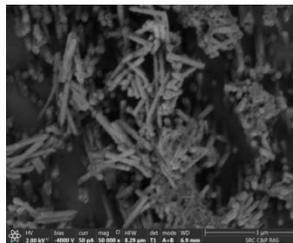


Рис.7. Внешний вид группы нанопроволок выращенных в магнитном поле (к образцу прикладывался южный полюс)

На рисунке 2 на вершинах нанопроволок заметны углубления, а сама верхняя часть имеет форму трубки. Данная часть нанопроволоки соответствует слою никеля, который рос при большем потенциале. Исходя из этого, можно предположить, что ранее выращенные слои никеля также являются полыми внутри и «запечатаны» осаждёнными затем слоями меди, образуя таким подобие капсулы.

Для образца, к которому во время роста прикладывался магнит южным полюсом (рис.3.), не было замечено образования полостей. Однако их длина заметно увеличивается по сравнению с образцом, выращенным без приложения магнитного поля. Таким образом, приложение неоднородного магнитного поля в процессе роста нанопроволок влечет к значительным изменениям в их структуре.

Синтез магнитных нанопроволок и дополнительные СЭМ измерения проводилось в рамках государственного задания ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН - при поддержке Федерального агентства научных организаций (соглашение № 007-ГЗ/Ч3363/26) и при частичной поддержке гранта РФФИ 18-32-01066. Авторы благодарны проф. П.Ю. Апелю (ОИЯИ, г. Дубна) за предоставление образцов мембран

### Список литературы

1. Никитин С. А. Гигантское магнитосопротивление, Соросовский обзорный журнал. Т. 8, № 2. 92 (2004)
2. R. Coehoorn. Novel Magnetoelectronic Materials and Devices. Giant magnetoresistance and magnetic interactions in exchange-biased spinvalves. Lecture Notes. Technische Universiteit Eindhoven (2003)

# ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОВОДИМОСТЬ КЛАСТЕРОВ РАЗЛИЧНОГО РАЗМЕРА, ИММОБИЛИЗОВАННЫХ НА ПОВЕРХНОСТЯХ С РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНЬЮ ПРОВОДИМОСТИ

Кутлубаев И.С., Шарипов Т.И.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Методы сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ) являются наиболее широко используемыми при исследовании структур, расположенных на поверхности твердого тела [1-3]. В частности, метод сканирующей туннельной микроскопии (СТМ) помимо того, что позволяет исследовать процессы реконструкции поверхности [4], адсорбции атомов, с помощью него можно измерять зависимость туннельного тока, возникающего в зазоре между зондом и исследуемым образцом, от приложенного напряжения – то есть получать вольт-амперные характеристики (ВАХ) различных объектов [5].

Для исследования проводимости кластеров олигонуклеотидов (на рис. 1 показаны стрелками), мы изготовили подложки с различной проводимостью. С целью получения таких подложек мы напыляли различные металлы (Al, Cu) на поверхность слюды в вакууме (около  $10^{-4}$  мм. рт. ст.). Далее на напыленные подложки наносили раствор олигонуклеотидов и в течение 2 часов ждали полного высыхания подложки в атмосфере воздуха.

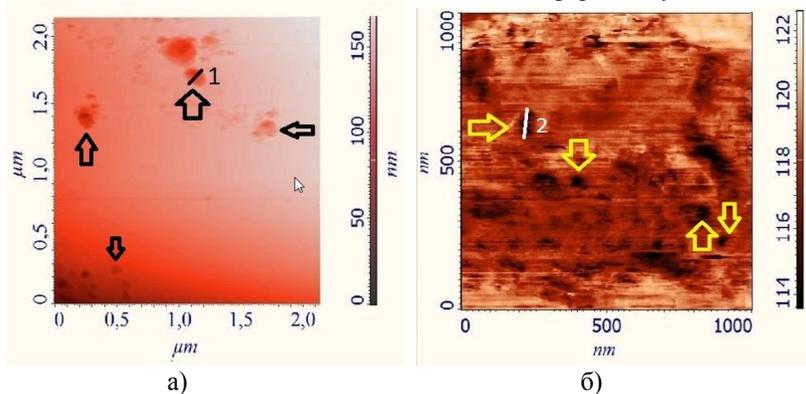


Рис. 1. а) АСМ-изображение олигонуклеотидов, нанесенных на медную подложку; б) АСМ-изображение олигонуклеотидов, нанесенных на алюминиевую подложку.

Приготовленные образцы исследовали с помощью атомно-силового микроскопа (АСМ). На АСМ-изображении хорошо визуализируются кластеры олигонуклеотидов. После этого измеряли с помощью СТМ ВАХ как кластеров различных размеров, так и кластеров приблизительно одного размера, но расположенных на разных поверхностях. Затем сравнивали

между собой полученные ВАХ кластеров олигонуклеотидов, иммобилизованных на подложках с различной проводимостью (рис. 2):

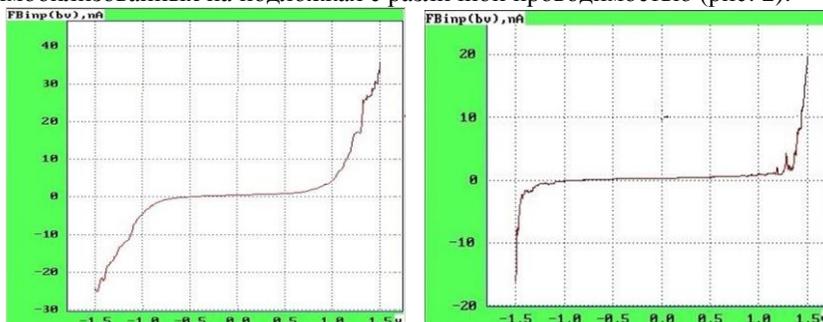


Рис. 2. ВАХ кластеров олигонуклеотидов приблизительно одного размера, иммобилизованных на медной подложке (слева), и на алюминиевой подложке (справа).

При сравнении кластеров олигонуклеотидов одного размера на поверхностях с различной проводимостью заметен тот факт, что кластеры, расположенные на поверхности меди, имеют меньшее усредненное значение статического сопротивления, нежели кластеры, расположенные на алюминиевой поверхности. Это видно по следующим расчетам:

Кластер №1 (отмечен цифрой 1 на рисунке 1а) высотой 14 нм и шириной 120 нм имеет усредненное статическое сопротивление  $R_{ст.ср.} = 195$  МОм, вычисленное по ВАХ (рис. 2 слева).

Кластер №2 (отмечен цифрой 2 на рисунке 1б) высотой 30 нм и шириной 100 нм имеет усредненное статическое сопротивление  $R_{ст.ср.} = 241$  МОм, вычисленное по ВАХ (рис. 2 справа).

### Литература

1. Hansma H. G., Browne K. A., Bezanilla M., and Bruce T. C., Bending and straightening of DNA induced by the same ligand: characterization with the atomic force microscope // *Biochemistry*, 2011. V. 33. Pp. 8436-8441
2. T I Sharipov, R Z Bakhtizin The estimation of quantitative parameters of oligonucleotides immobilization on mica surface // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 195 (2017) 012002
3. T I Sharipov and R Z Bakhtizin The study of electrical conductivity of DNA molecules by scanning tunneling spectroscopy // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 256 (2017) 012009
4. B. Z. Noshu and W. H. Weinberg. Effects of surface reconstruction on III-V semiconductor interface formation: The role of III/V composition. *Applied Physics Letters*, 1999. 74 (12). Pp. 1704-1706.
5. Г.Д. Акбутин, Т.И. Шарипов. Исследование электропроводности олигонуклеотидов (Investigation of the electrical conductivity of oligonucleotides) // *Scanning Probe Microscopy. Abstract Book of International Conference* (Ekaterinburg, August 28-30, 2017) Ekaterinburg, Ural Federal University, 2017. P. 214

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ СИГНАЛА  
ПОЛЕВОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ЭМИССИИ НА ОПРЕДЕЛЕНИЕ  
РАБОТЫ ВЫХОДА**

Лифантова Е.Е., Вараюнь М.И., Антонов А.Ю.

Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

Работа посвящена исследованию влияния погрешностей измерений на определение работы выхода электрона для полевого катода. В качестве сигнала полевой электронной эмиссии рассмотрена дифференциальная вольтамперная характеристика (ВАХ). Зависимость плотности тока от напряженности электростатического поля получена численно с использованием квантово-механического подхода. Также введена в рассмотрение параметрическая модель на основе классической формулы Фаулера–Нордгейма. Методами регрессионного анализа проведено построение точечных и интервальных оценок параметров математической модели дифференциальной ВАХ. Построена зависимость ширины доверительных интервалов исследуемых величин от интенсивности шума при разных значениях уровня значимости. В качестве примера приведены результаты для граней (001), (011) и (111) вольфрамового катода.

**Литература**

- [1] Fowler R. H., Nordheim L. W. Electron emission in intense electric fields // Proceedings of the Royal Society A, Vol. 119, N 781, 1928, pp. 173–181.
- [2] Antonov A.Yu., Varayun' V.I. I–V curve investigation with regression methods // 14th International Baltic Conference on Atomic Layer Deposition (BALD 2016). St. Petersburg, 2016. P. 41–43.
- [3] Matsumoto M., Nishimura T. Mersenne Twister: A 623- dimensionally equidistributed uniform pseudorandom number generator // ACM T. Model. Comp. S. 1998. Vol. 8. N 1. P. 3–30.
- [4] N. R. Draper, H. Smith. Applied Regression Analysis (3 rd edition). Wiley-Interscience, 1998.

©Лифантова Е.Е., Вараюнь М.И., Антонов А.Ю., 2018г.

## ФОРМИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАЗМОНАПЫЛЕННЫХ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ГАЗОПОГЛАЩАЮЩИХ СИСТЕМ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Лясников В.Н., Протасова Н.В., Тарасов А.Г.

Саратовский государственный технический университет  
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия

Плазмонапыленные нараспыляемые газопоглатители представляет собой губчатый пористый наноструктурированный слой активного материала (титан, цирконий, ниобий, тантал, цизаль и др.), напыленного на подложки различных материалов или непосредственно на детали электровакуумных приборов [1,2].

Структурная схема автоматизированного плазменного напылительного оборудования для нанесения газопоглатителей с дополнительным энергетическим воздействием на частицы в процессе напыления приведена на рис.1.



Рис. 1. Структурная схема оборудования для электроплазменного напыления газопоглатителей

Анализ пространственно-временной картины процессов плазменного напыления, происходящих при полете частицы в струе плазмы, её ударе о подложку и последующем ее растекании и кристаллизации, показывает, что все частицы деформируются, формируют покрытие и застывают индивидуально. Благодаря высокой кинетической энергии частицы зоне контакта возникает ударное давление в течение  $10^{-9}$ - $10^{-8}$  с, которое быстро приводит к развитию физического контакта, и напорное или динамическое давление, действующие в течение  $10^{-7}$ - $10^{-5}$  с [3,4].

Ударное давление может достигать  $10^3$  МПа, а напорное соответственно 50-100 МПа. Последовательно оседая друг на друга, частицы образуют сложное чешуйчатое слоистое наноструктурированное покрытие с сильной анизотропией физико-механических структурно-морфологических свойств, характеризующиеся развитой поверхностью стыков между деформированными частицами, а также наличием пустот, микротрещин и различного рода пор.

Методика исследования формирования плазмонапыленных наноструктурированных нераспыляемых газопоглотителей (титан) включала изготовление образцов из молибденовой проволоки диаметром 0,5 мм с напыленным слоем титана. Затем образцы подвергают различным методам наноструктурирования для формирования в приповерхностном слое аморфной, нано- и субмикроструктурной структуры. Исследование структурно-морфологического состояния образцов в нанометровом масштабе, производили на сканирующем зондовом микроскопе СММ-2000 в режиме атомно-силовой микроскопии (АСМ).

В соответствии с выполненными исследованиями установлена возможность формирования плазмонапыленных наноструктурированных геттерных систем для изделий электронной техники с помощью широкой гаммы дополнительных воздействий (электронно-ионно-лучевой обработки, лазерной, термической, ультразвуковой и т.д.). Варьирование технологическими параметрами плазменного напыления покрытий, а также указанными выше дополнительными волновым и корпускулярным энергетическим воздействием удается централизованно регулировать их функциональные и эксплуатационные свойства.

### **Литература**

1. Лясников В.Н., Протасова Н.В., Толмачев К.С. Плазмонапыление материала и покрытия свойства. Технология. Оборудование. Применение / Учебное пособие. М-во образ и наука. СГТУ, Саратов 2012. 302 с.
2. Перспективные материалы : учебное пособие / В.Н. Лясников [и др.] ; под ред. Д.Л. Мерсона. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2013. Т. V. 422 с.
3. Лясников В.Н., Протасова Н.В., Лепилин А.В. Электроплазменные покрытия в электронике, машиностроении и медицине // Саратовский государственный технический университет, 2014. № 4 (77). С. 92-95.
4. Лясников В.Н., Протасова Н.В. Плазменное напыление в электронике и биомедицинской технике : уч. пособие. – Саратов: Саратовский государственный технический университет, 2010. 285 с.

©Лясников В.Н., Протасова Н.В., Тарасов А.Г., 2018г.

УДК 621.793

**ПУТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И КАЧЕСТВА  
ЭЛЕКТРОПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛИТЕЛЬНОГО  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ  
ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ**

Протасова Н.В., Гомон В.А., Тарасов А.Г.

Саратовский государственный технический университет  
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия

Электроплазменные процессы обработки и нанесения широкой гаммы различных покрытий являются особенно перспективными в научных исследованиях и в производстве изделий электропорошковой техники [1-4]. По результатам многочисленных исследований установлено, что при электроплазменном напылении различных пористо – порошковых покрытий (геттерных, эмиссионных и антиэмиссионных, антидипатронных, поглощающих сверхвысокочастотную энергию и др. покрытий), используя дополнительное воздействие на покрытие в процессе напыления или на уже напыленное покрытие, можно кардинально менять мешать (модифицировать) их функциональные и эксимутационные свойства [5-7].

В настоящее время существует значительное количество различных методов наноструктурирования поверхностных слоев различных материалов и покрытий.

В работе электроплазменное напыление покрытий на образцы из титана, никеля и оксида алюминия производили на серийной автоматизированной установке камерного типа, дополненной специальными приспособлениями для воздействия на напыляемые частицы и напыленные покрытия при формировании наноразмерных структур [6-9]. В качестве таких воздействий были использованы: ионно-электронная лучевая обработка; лазерная обработка; ультразвуковая обработка; термический нагрев (резистивный, электродуговой); индукционный нагрев.

Специальное сконструированное автоматизированное напылительное электроплазменное оборудование позволяет создавать наноструктурированные (модифицированные) покрытия с определенной морфологией поверхности, пористой структурой и шероховатостью, а также другими функциональными и эксплуатационными свойствами [8,9].

Исследование структурно-морфологических свойств полученных электроплазменным напылением структур осуществляли с использованием сканирующей электронной микроскопии MIRA II LMU. Изучения структуры поверхности напыленных покрытий осуществляли с помощью анализатора изображения АГПМ-6М с программой «Металлограф». Профилометрию поверхности покрытий изучали на цифровом профилометре-профилографе 107622 и сканирующем мультимикроскопе СММ-2000 в режиме атомносиловой микроскопии.

В зависимости от установленного технологического режима напыления формируется покрытие с конкретными аморфно – кристаллическими параметрами, пористой структурой, морфологией поверхности и другими параметрами.

### Литература

1. Лясников В.Н., Протасова Н.В., Толмачёв К.С. Плазмонапыленные материалы и покрытия. Свойства. Технология. Оборудование. Применение / Учебное пособие. М-во образ и наука. СГТУ, Саратов 2012. 302 с.

2. Lyasnikova A.V., Markelova O.A., Lyasnikov V.N., Dudareva O.A. Biocomposite plasma-sprayed coatings based on zinc-substituted hydroxyapatite: structure, properties, and prospects of application // *Mechanics of composite materials*, 2016, Vol. 51, №6, p. 801-804.

3. Бейдик О.В., Бутовский К.Г., Лясников В.Н., Левченко К.К., Цыплаков А.Ю. Экспериментальное исследование процессов остеointegrации имплантатов для наружного чрескостного остеосинтеза с различными биокomпозиционными покрытиями // *Гений ортопедии*, 2002г., №4

4. Lyasnikova A.V., Lyasnikov V.N., Markelova O.A., Dudareva O.A., Pichhidze S.J., Grishina I.P. Study of Properties of Silver-Substituted Hydroxyapatite and Biocomposite Nano-structured Coatings Based on It // *Biomedical Engineering*. Vol. 49. No. 5, 2016, p. 304-307.

5. Лясников В.Н. Свойства плазмонапыленных порошковых покрытий // *Перспективные материалы*, 1995, № 4, с.61-67.

6. Калганова С.Г., Лясников В.Н. Научные основы создания современных дентальных имплантатов с биоактивным покрытием / *Новое в стоматологии*, Т.2., 1999, с. 24.

7. Лясников В.Н., Муктаров О.Д. Ионно-лучевая технология наноструктурирования гидроксипатитовых плазмонапыленных покрытий // *Вестник Саратовского государственного технического университета*, 2012. Т. 2, № 2 (66), с. 93-97.

8. Лясникова А.В., Лясников В.Н., Маркелова О.А., Дударева О.А., Пичхидзе С.Я., Гришина И.П. Исследование свойств серебромещенного гидроксипатита и биокomпозиционных наноструктурированных покрытий на его основе // *Медицинская техника*, 2015, № 5, с. 38-40.

9. *Перспективные материалы: учебное пособие* / В.Н. Лясников, А.В. Колубаев, А.А. Викарчук и др.; под ред. Д.Л. Мерсона. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2013, Т.V, 422 с.

© Протасова Н.В., Гомон В.А., Тарасов А.Г., 2018 г.

**ВЛИЯНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА ОТКЛИК  
СЕНСОРА ГАЗА НА ОСНОВЕ ТОНКОЙ ПЛЕНКИ ДИОКСИДА  
ОЛОВА К ПАРАМ ВОДЫ И ЭТАНОЛА ПРИ КОМНАТНОЙ  
ТЕМПЕРАТУРЕ**

Симаков В.В., Осыко И.Д., Суханов В.А., Синёв И.В., Смирнов А.В.  
Саратовский национальный исследовательский государственный  
университет имени Н. Г. Чернышевского,  
г. Саратов, Россия

Для полупроводниковых газовых сенсоров на основе оксидов металлов (например, диоксида олова) характерны низкая стоимость, малые габариты, высокая чувствительность к присутствию в окружающей атмосфере примесей газов различной природы, надежность работы и т.д. Отклик сенсора на содержание детектируемых газовых примесей определяется как отношение проводимости газочувствительного слоя в атмосфере, содержащей анализируемую пробу, к проводимости газочувствительного слоя в атмосфере сухого очищенного воздуха [1]. Как правило, величина отклика сенсора зависит от ряда факторов, например, рабочей температуры, геометрии контактной системы, параметров газочувствительного слоя, природы анализируемого газа, измерительного напряжения и т.д. [2].

В работе представлены результаты исследований влияния величины измерительного напряжения на проводимость и отклик сенсора газа на основе тонкой пленки  $\text{SnO}_2$  к парам воды и этанола при комнатной температуре.

Слой диоксида олова формировался методом высокочастотного магнетронного распыления стехиометрической мишени  $\text{SnO}_2$  [3], поверх которого через маску с помощью термического испарения наносилась система металлических контактов. Исследования электрофизических и газочувствительных свойств полученных структур проводились аппаратно-программным комплексом [4] при температуре  $30^\circ\text{C}$ . Газовые пробы, содержащие пары воды и этанола, составлялись путем барботирования деионизованной воды или 96% этилового спирта потоком сухого очищенного воздуха. Газочувствительная структура на основе пленки диоксида олова помещалась в измерительную камеру объемом  $2 \text{ см}^3$ , через которую продувалась анализируемая газовая смесь с расходом  $100 \text{ ссст}$ .

В атмосфере сухого очищенного воздуха, паров воды и этанола дифференциальная проводимость газочувствительной структуры во всем исследованном диапазоне напряжений уменьшалась с увеличением измерительного напряжения (рис. 1, а). Это может быть связано с инжекцией носителей заряда в объем диоксида олова и последующим захватом электронов на локализованных уровнях, связанных с адсорбированными

частицами кислорода, молекулами воды или этанола на поверхности газочувствительного слоя.

С увеличением измерительного напряжения дифференциальная проводимость в атмосфере сухого воздуха уменьшалась более существенно, чем в газовых пробах, содержащих пары воды и этанола. Поэтому отклик газочувствительной структуры на воздействие паров воды и этанола увеличивался с ростом измерительного напряжения (рис. 1, б).

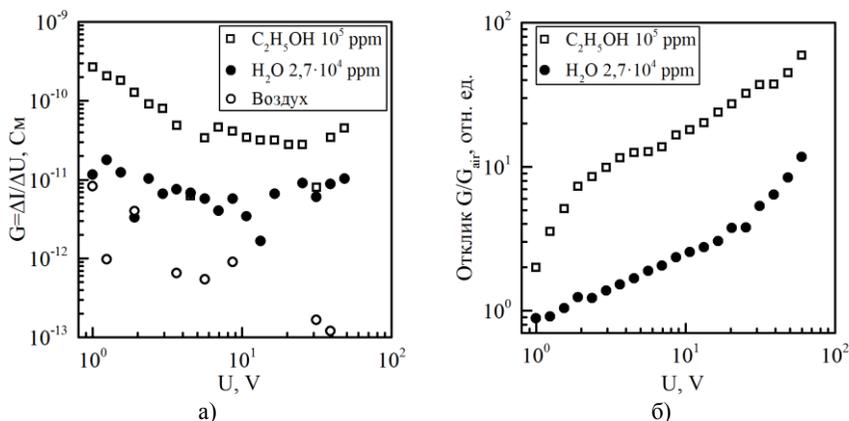


Рис.1. Зависимости дифференциальной проводимости тонкой пленки  $\text{SnO}_2$  в атмосфере сухого воздуха, паров воды и этанола (а) и отклика сенсора на воздействие паров воды и этанола (б) от величины измерительного напряжения

Таким образом, в работе проведено исследование зависимости газочувствительных свойств сенсора газа на основе тонкой пленки  $\text{SnO}_2$  от величины измерительного напряжения.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 16-07-00821, 16-07-00818\_а и при поддержке Совета по грантам Президента РФ (СП-677.2015.4).*

### Литература

1. Kisin, V. V., Voroshilov, S. A., Sysoev, V. V., Simakov, V. V. // Приборы и техника эксперимента, 1995, т. 38, № 5, с. 178–181.
2. Симаков, В. В., Синёв, И. В., Смирнов, А. В., Осыко, И. Д., Гребенников, А. И., Сергеев, С. А. // Нано- и микросистемная техника, 2017, т. 19. № 1, с. 34–40.
3. Симаков, В. В., Синёв, И. В., Смирнов, А. В., Сякина, С. Д., Гребенников, А. И., Кисин, В. В. // Нанотехника, 2011, № 3, с. 45–46.
4. Симаков, В. В., Никитина, Л. В., Синёв, И. В. // Башкирский химический журнал, 2010, т. 17, с. 125–127.

**РАСЧЕТ СТРУКТУРЫ 3D-ГРАФИТОВ, СФОРМИРОВАННЫХ НА  
ОСНОВЕ АЛМАЗОПОДОБНЫХ ФАЗ**

Смирнов К.В.

Челябинский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Обычный графит состоит из слоев графена в которых атомы связаны прочными ковалентными связями, трехмерная структура формируется при упаковке слоев в стопки за счет сил Ван-дер-Ваальса. Однако теоретически предсказывается возможность существования трехмерных структур из трехкоординированных углеродных атомов только на основе ковалентных связей. Эти соединения получили название 3D-графиты [1] и они являются перспективными материалами для электроники, так как некоторые из них могут обладать полупроводниковыми свойствами ширина запрещенной зоны которых варьируется в зависимости от особенностей структуры. В данной работе были выполнены теоретические расчеты структуры 3D-графитов которые модельно могут быть получены в результате частичной деструкции межатомных связей в фуллерановых алмазоподобных фазах [2,3]. Расчеты оптимизированной структуры и энергий сублимации были выполнены полуэмпирическими квантово-механическими методами AM1 и PM3 [4,5]. В качестве исходных были рассмотрены алмазоподобные фазы CA1, CA2, CA3 и CA4, на основе которых удалось построить две новых 3D-графитовых фазы. Одна из фаз получилась на основе фазы CA1, вторая из CA4 фазы. Кристаллические решетки этих фаз относятся к триклинной сингонии и содержат 8 и 26 атомов в элементарных ячейках. Энергии сублимации фаз меньше чем для обычного графита и кубического алмаза, однако их значения попадают в диапазон величин характерных для экспериментально синтезированных углеродных материалов устойчиво существующих при нормальных условиях.

**Литература**

1. Belenkov E.A., Ali-Pasha V.A. 3D-graphite structure // Crystallography Reports. 2011. Т. 56. № 1. С. 101-106.
2. Belenkov, E.A., Greshnyakov, V.A. Diamond-like phases obtained from nanotubes and three-dimensional graphites // Physics of the Solid State. 2015. V. 57. № 6. С. 1253-1263.
3. Belenkov, E.A., Greshnyakov, V.A., Brzhezinskaya, M.M. Novel carbon diamond-like phases LA5, LA7 and LA8 // Diamond and Related Materials. 2014. V. 50. С. 9-14.
4. Belenkov, E.A., Belenkova, T.E., Chernov, V.M., Mavrinskii, V.V. Structural modifications of graphyne layers consisting of carbon atoms in the  $sp$ - and  $sp^2$ -hybridized states // Journal of Experimental and Theoretical Physics, 2015, Т. 120, № 5, P. 820-830.
5. Беленкова, Э.И. Адсорбция атомов Li в нанокристаллическом углероде // В книге: Актуальные проблемы микро- и нанoeлектроники. Сборник тезисов докладов IV Всероссийской научной молодежной конференции с международным участием, 2016, Уфа: БашГУ, С. 224.

© Смирнов К.В., 2017 г.

**АВТОИНТЕРКАЛИРОВАННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ НА ОСНОВЕ  
ГРАФЕНА**

Смирнова Д.А.

Челябинский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Структура автоинтеркалированных углеродных соединений формируется в результате взаимного вложения углеродных структурных элементов, состоящих из углеродных атомов связанных ковалентными связями, так что связи между этими структурными элементами осуществляются ван-дер-ваальсовыми связями [1,2]. Примером таких соединений являются экспериментально синтезированные многослойные углеродные нанотрубки, многослойные фуллерены, пиподы и др. Теоретически предсказана возможность еще большего разнообразия аналогичных соединений, структурными элементами которых могут выступать различные углеродные наноструктуры фуллерены, нанотрубки и графеновые слои. В данной работе теоретически исследована структура автоинтеркалированных соединений на основе графена  $L_6$ . Расчеты геометрически оптимизированной структуры были выполнены хорошо апробированными на углеродных материалах методами молекулярной механики [3-5]. Первичная структура слоев была построена в результате взаимного вложения двух стопок графеновых слоев плоскости которых взаимно перпендикулярны друг другу. Расчет структуры выполняли для двух структурных  $2L_6$  и  $4L_6$  разновидностей отличающихся расстоянием слоев графена в стопках. Оценка устойчивости фаз была произведена в результате расчетов энергии атомизации автоинтеркалированных фаз и отдельного слоя гексагонального графена. Оказалось, что максимальная энергия атомизации у изолированного графенового слоя  $L_6$ . Энергии сублимации автоинтеркалированных фаз и соответственно их устойчивость тем выше, чем больше расстояние между слоями графена в стопках.

**Литература**

1. Беленков, Е.А. Закономерности структурного упорядочения многослойных углеродных нанотрубок // Известия Челябинского научного центра УрО РАН, 2001, № 1. С. 51-60.
2. Belenkov, E.A., Mavrinsky, V.V. Crystal structure of a perfect carbene // Crystallography Reports, 2008, T. 53, № 1, С. 83-87.
3. Belenkov, E.A., Belenkova, T.E., Chernov, V.M., Mavrinskii, V.V. Structural modifications of graphyne layers consisting of carbon atoms in the  $sp$ - and  $sp^2$ -hybridized states // Journal of Experimental and Theoretical Physics, 2015, T. 120, № 5, P. 820-830.
4. Belenkov, E.A., Greshnyakov, V.A., Brzhezinskaya, M.M. Novel carbon diamond-like phases LA5, LA7 and LA8 // Diamond and Related Materials. 2014. V. 50. С. 9-14.
5. Беленкова, Э.И. Моделирование структурной трансформации углеродных материалов, обусловленное изменением размеров нанокристаллов // В книге: Новые технологии в материаловедении материалы I научно-практической конференции с международным участием, 2015, Уфа: БашГУ, С. 180-181. ©Смирнова Д.А., 2017 г.

## **ПОЛУЧЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОПРОВОЛОК ИЗ НИКЕЛЯ И ЖЕЛЕЗА ПУТЁМ ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЯ В ПОРЫ ТРЕКОВЫХ МЕМБРАН**

А.С. Шаталов<sup>1,2</sup>, Д.Л. Загорский<sup>2</sup>, С.А. Бедин<sup>2,3</sup>, И.М. Долуденко<sup>1,2</sup>.

<sup>1</sup>Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Россия

<sup>2</sup>ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН

<sup>3</sup>Московский педагогический государственный университет

В настоящее время нанопроволоки (НП) находят применение в нанoeлектронике и вызывают повышенный интерес у разработчиков нанoeлектроники [1]. Основным способом получения НП является электроосаждение в поры специальной матрицы. Обычно для этого производят две операции – собственно гальванический синтез массива НП и отделение этого массива от ростовой матрицы. При этих процессах могут возникать определенные проблемы; как правило, эти проблемы становятся особенно трудноразрешимыми при уменьшении диаметра получаемых НП [2,3].

В настоящей работе массивы НП были получены путём электроосаждения металлов в поры трековых матриц (ТМ) (диаметр пор от 50 до 5000 нм). Материал матрицы – полиэтилентерефталат (ПЭТФ). На поверхность ТМ предварительно наносится контактный слой меди толщиной 10-20 нм, который затем наращивается методом электролитического осаждения. Дальнейшее осаждение в поры НП из металлов группы железа (Fe, Co, Ni) проводилось также электролитически при определённых режимах, которые зависят от выбранного металла.

При осаждении обычно возникает проблема неравномерного заполнения пор металлом- она решалась путём применения различных добавок в ростовой электролит. В работе было показано, что наибольшая эффективность достигается при использовании бутандиола и лаурилсульфата натрия. Продемонстрирован эффект применения этих добавок - НП растут более равномерно - т.е уменьшается доля незаполненных пор, а отдельные НП массива растут с одинаковой скоростью. Кроме того, как показывает электронная микроскопия, поверхность НП становится более гладкой (Рис. 1,2).

Последним этапом получения массива НП является удаление ростовой матрицы – путём её снятия или растворения. (Отметим, что для некоторых задач отделять полимер не нужно- в этом случае используется так называемый «металл-полимерный композит»). В настоящей работе все исследования проводились после отделения массива НП от ТМ.

Следующей операцией является отделение ростовой матрицы и «высвобождение», отделение массива НП. Обычно это осуществляется путём растворением матрицы. При таком растворении ростовой матрицы может возникнуть проблема деградации самих НП. Кроме того, процесс может идти не до конца (остаются куски полимера).

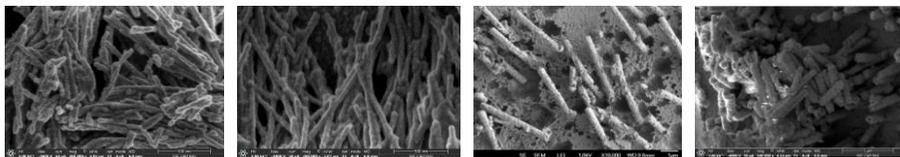


Рис.1. образцы НП, полученные без бутандиола;

Рис.2. образцы НП, полученные с бутандиолом

Рис. 3 Эффект деградации массива НП

Рис. 4 Неполное удаление полимерной матрицы

Эффект деградации массива НП (Рис. 3) заключается в их разрушении при стравливании ростовой матрицы в концентрированной щёлочи при высокой температуре. В работе показано, что удаление ростовой матрицы может проводиться и при комнатной температуре, однако для этого необходимо дополнительное облучение образца ультрафиолетовым (УФ) излучением. Доказано, что для исследуемого типа образцов эффективной является обработка УФ с длиной волны 310 нм, проводимая в течение 24 часов. После такой обработки хорошие результаты были достигнуты при стравливании ТМ уже при комнатной температуре (при концентрации щёлочи NaOH 240 г/л и времени травления 2 ч)

Ещё одной проблемой является неполное удаление полимерной матрицы (Рис. 4). Известно, что одним из способов удаления остатков полимера является ультразвуковое воздействие во время травления. В работе исследован этот процесс и показано, что приём этот не всегда можно применять: при малых диаметрах НП при воздействии УЗ происходит не только удаление полимера, но и разрушение самих НП. Были определены предельные значения диаметра НП, при котором не происходит разрушения (деградации) НП при воздействии УЗ – диаметры НП при этом составляют 0,3 мкм.

Электронномикроскопические изображения получены с участием с.н.с. Артёмова В.В. Работа частично финансировалась грантом РФФИ № 15-08-04949.

### Литература

4. M. Vazquez (editor). Magnetic Nano- and Microwires, Woodhead, Elsevier, 2015.
5. N. Lupu (editor). Electrodeposited NWs and Their Applications, InTech, Rijeka, Croatia, 2010.
6. Елисеев А., Синицкий А. Философия наносинтеза // Наноазбука. — М., 2008.

© Шаталов А.С.

**НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ ПОКРЫТИЯ НИКЕЛЯ НА  
ВЫСОКОРАЗВИТОЙ ПОВЕРХНОСТИ АЛЮМИНИЯ И ОКСИДА  
АЛЮМИНИЯ: ПОЛУЧЕНИЕ, СТРУКТУРА, КАТОДНЫЕ СВОЙСТВА В  
РЕАКЦИЯХ ВЫДЕЛЕНИЯ ВОДОРОДА**

Сташкова В. В.<sup>2</sup>, Чукавин А. И.<sup>1</sup>, Валеев Р. Г.<sup>1</sup>, Алалыкин А. С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Физико-технический институт УдмФИЦ УрО РАН, г. Ижевск, Россия

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», г. Ижевск, Россия

В настоящее время актуальной проблемой является поиск недорогих и надежных катодов для реакции выделения водорода [1]. Для получения совершенных катодов очень важна их каталитическая активность [2]. В последнее время в состав подавляющего большинства катодов для реакции выделения водорода входит никель, пришедший на смену металлам платиновой группы в силу своей дешевизны, достаточной распространенности, хорошей каталитической активности и коррозионной стойкости [3,4]. В настоящее время сплавы никеля с различными металлическими и неметаллическими компонентами активно исследуются в качестве каталитически активных материалов для электролитического получения водорода [5]. Информация по каталитической активности сплавов никеля с неметаллами в реакции выделения водорода довольно противоречива и их исследование требует дальнейшего развития [6].

Эффективность реакции выделения водорода зависит не только от материала катода, но и от площади его поверхности. Известно, что количество выделяемого водорода непосредственно зависит от площади поверхности используемого катода. Максимальной площадью обладают пористые материалы, такие как пористый анодный оксид алюминия, что может быть использовано для синтеза наноструктурированных покрытий никеля с высокоразвитой поверхностью. Пористый оксид алюминия обладает контролируемыми структурными характеристиками, такими как диаметр, длина и расстояние между соседними порами, которые можно изменять в процессе синтеза [7]. После удаления оксида алюминия на поверхности алюминия остаются полусферические углубления, что также может быть использовано для получения наноструктурированных покрытий.

Целью данной работы являлись синтез и исследование характеристик катодной реакции выделения водорода наноструктурированных покрытий никеля, полученных магнетронным осаждением на поверхность пористого оксида алюминия и пластин алюминия после удаления оксида, имеющих высокоразвитую поверхность. Исследованы морфология, структурно-фазовое состояние и электронная структура полученных образцов в зависимости от параметров пористой структуры пористого  $Al_2O_3$  (диаметр пор, расстояние между отдельными порами). Также исследованы катодные реакции выделения водорода и сделаны выводы о возможной взаимосвязи указанных выше характеристик на эффективность ПВВ.

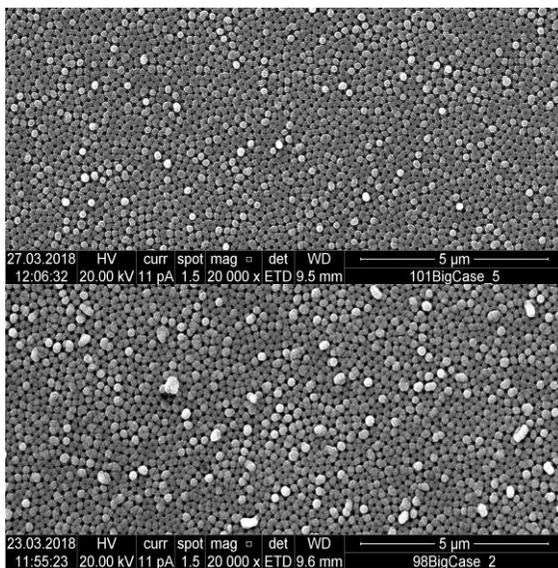


Рис.1. СЭМ-изображения поверхности образцов до (слева) и после (справа) реакции выделения водорода.

#### Литература:

1. Реакция выделения водорода на Ni-P и NiP-TiO<sub>2</sub> покрытиях / И. В. Петухов, Н. А. Медведева, И. Р. Субакова.
2. <http://www.chemicals-el.ru/chemicals-3145-1.html>.
4. Катодное выделение водорода на поверхности нанокompозитных слоев, полученных лазерным спеканием порошков железо-никель / С. М. Решетников, Е. В. Харанжевский, М. Д. Кривилев; Химическая физика и мезоскопия, Институт механики Уральского отделения РАН, 2011, т.-13, № 3, стр. 419 – 425.
4. Кинетика реакции выделения водорода на PrNi<sub>2</sub>Ge<sub>2</sub> и NdNi<sub>2</sub>Ge<sub>2</sub> электродах / А. Б. Шейн, В. И. Кичигин; Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь.
5. Водород в энергетике: учеб. пособие / Р. В. Радченко, А. С. Мокрушин, В. В. Тюльпа.- Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014.-229.
6. Каталитическая активность никелевых сплавов в реакции выделения водорода / О. В. Долгих, Н. В. Соцкая, Ю. Г. Кравцова, О. В. Слепцова; Вестник ВГУ, серия: Химия. Биология. Фармация, 2007, № 1, стр. 33-38.
7. Синтез магнитных наночастиц с контролируемой анизотропией функциональных свойств на основе пленок пористого оксида алюминия / работа И. В. Рослякова на соискание премии чл.-корр. РАН Н.Н. Олейникова. Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, 2009.

© Сташкова В.В., Чукавин А.И., Валеев Р.Г.

## РАЗРАБОТКА СВЕРХТОЧНЫХ СИСТЕМ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ДЛЯ ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ НА ОСНОВЕ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕФОРМАЦИИ

Терехова Ю.С.

НИТУ «МИСиС», г. Москва, Россия

Для научного и технического применения разработано большое многообразие систем микро- и наноперемещений, основанные на обратном пьезоэффекте, использующие в качестве активных элементов различные виды пьезоэлектриков [1]. Наиболее широкое распространение в таких системах получила пьезокерамика ввиду больших значений пьезомодулей при сравнительно небольших напряжениях. Наряду с этим существуют монокристаллические пьезоэлектрики [2]. При определенном соотношении геометрических размеров и наличии сформированной доменной структуры монокристаллических элементов можно добиться перемещений сравнимых с пьезокерамикой.

В частности рассмотрим сканирующую зондовую микроскопию с целью осуществления прецизионных перемещений требуется исследование возможности применения электромеханических монокристаллических преобразователей из ниобата лития в сканере зондового микроскопа. Сканирующее устройство состоит из ортогонально расположенных монокристаллических рабочих элементов по осям X, Y и Z, связанных между собой в точке установки держателя образца (рисунок 1). В результате приложения электрического поля монокристаллические элементы испытывают изгибные деформации, перемещая держатель образца в соответствующем направлении.



а) – Сканер с рабочими элементами на основе пьезокерамики;  
б) – Сканер с рабочими элементами на основе  $\text{LiNbO}_3$ .

Рис. 1. Вид сканера зондового микроскопа

Деформационные и резонансные показатели системы во многом определяют основные эксплуатационные характеристики устройства. Для опытного образца сканирующей системы на основе монокристаллических биморфов ниобата лития резонансная частота составила 1,84 кГц, 1,95 кГц и 1,57 кГц для осей X, Y и Z соответственно; развиваемая величина деформаций при величине приложенного напряжения 600 В составляет 6 мкм в плоскости XY и 5 мкм в плоскости Z (рисунок 2). Описанная выше система обеспечивает высокую точность, повторяемость и безгистерезисность в позиционировании объекта, в результате применения в качестве электромеханических преобразователей монокристаллических элементов, практически лишённых характерных недостатков для пьезокерамических материалов.

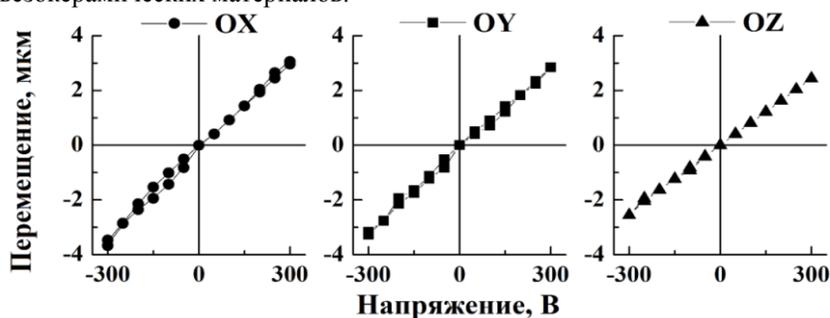


Рис. 2. Измерения деформационных характеристик сканера

В дальнейшем для достижения необходимых значений перемещений будут изменяться геометрические размеры монокристаллических биморфных пьезопреобразователей из ниобата лития. Что позволит существенно улучшить качество получаемых результатов, расширить области сканирования, добиться большей скорости и полного отсутствия основных недостатков в виде нелинейности перемещений, ползучести и малого температурного интервала использования в сканере зондового микроскопа с рабочими элементами на основе пьезокерамики ЦТС-19.

### Литература

1. Бардин В.А. Системы управления высокоточными устройствами позиционирования на основе пьезоэлектрических актюаторов.– г. Пенза: ПГУ, 2015.
2. Пьезоэлектрическая керамика: применение, производство, перспективы /Головнин В.А., Каплунов И.А., Малышкина О.В. и др. // Вестник ТвГУ, серия «Физика», 2010 – Выпуск 11 – с. 47-58.

**К МЕХАНИЗМУ ХЕМОСОРБЦИИ АТОМОВ МЕТАЛЛОВ НА  
ПОВЕРХНОСТИ ОКСИДОВ: ОТДЕЛЬНЫЕ АТОМЫ И СВЕРХМАЛЫЕ  
КЛАСТЕРЫ NI НА ПОВЕРХНОСТИ  $\gamma$ - $Al_2O_3(111)$**

Хубежов С.А.<sup>1</sup>, Силаев И.В.<sup>1</sup>, Блиев А.П.<sup>1</sup>, Джиоев А.З.<sup>1</sup>, Fukutani K.<sup>2</sup>, Магкоев Т.Т.<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>«Северо-Осетинский государственный университет имени К.Л. Хетагурова» г.  
Владикавказ, Россия

<sup>2</sup>«Institute of Industrial Science, The University of Tokyo», Tokyo 153-8505, Japan

Системы, образованные адсорбцией атомов металлов на поверхности оксидов металлов, привлекают пристальное внимание исследователей, поскольку такие системы прототипируют широкое разнообразие материалов от физической и квантовой электроники до биологической и медицинской физики и техники, с одной стороны, и позволяют обнаружение новых фундаментальных закономерностей взаимодействия атомов, молекул и конденсированных сред – с другой. Несмотря на многолетние интенсивные исследования в этом направлении ряд вопросов фундаментального характера остается открытым. Одним из основных является вопрос о природе адсорбционной/хемосорбционной связи атома металла с поверхностью оксида. Именно от характера этой связи зависит реализация тех или иных свойств металлооксидной системы в целом. С использованием косвенных методов, в частности метода высокоразрешающей инфракрасной Фурье-спектроскопии с использованием соответствующей поляризации волны в применении к тестовым адсорбированным молекулам, возможно получение достаточно достоверной информации. В настоящей работе в условиях сверхвысокого вакуума формировалась система, состоящая из отдельных атомов и/или сверхмалых кластеров Ni на поверхности упорядоченной пленки оксида алюминия модификации  $\gamma$ - $Al_2O_3$ , морфология и электронное состояние которой определялась методом in-situ низкотемпературной сканирующей туннельной микроскопии (СТМ) и спектроскопии (СТС) и методом ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии с использованием синхротронного излучения (УФЭС-СИ). Адсорбированные на поверхности Ni молекулы оксида азота, как следует из результатов ИКС и УФЭС-СИ существенно меняют свое электронное состояние в зависимости от состояния атомов или кластеров Ni. Детальный анализ полученных результатов свидетельствует о том, что преимущественным механизмом хемосорбции атомов Ni на поверхности оксида алюминия является гибридизация как заполненных, так и незаполненных 3d-орбиталей Ni с не связывающими 2p-орбиталями ионов кислорода с поляризацией связи  $d \rightarrow p$ . Установление такого механизма взаимодействия атомов металлов на поверхности оксидов позволяет создание механизмов тонкой настройки электронных и адсорбционных свойств металлооксидных систем для применения в различных областях науки, техники и технологии.

Работа выполнена при поддержке государственного задания Министерства образования и науки РФ СОГУ (проект № 3.9281.2017) и РФФИ (грант № 16-02-00138-а)

**НАБЛЮДЕНИЕ ЭКСИТОНОВ ПРИ КОМНАТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ В  
НАНОСТРУКТУРАХ  $ZnS_xSe_{1-x}$  В МАТРИЦЕ ПОРИСТОГО  $Al_2O_3$** 

Чукавин А.И., Валеев Р.Г., Бельтюков А.Н.

Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН,  
г. Ижевск

Получение полупроводниковых структур со стабильными экситонами при комнатной температуре имеет решающее значение для развития экситоники и поляритоники [1]. Для усиления экситонных эффектов в полупроводниковых структурах обычно используется эффект квантового ограничения. Эффект диэлектрического усиления экситонов («dielectric confinement»), приводящий к значительно более сильному увеличению энергии связи и силы осциллятора экситона, оказался более трудным для реализации из-за быстрой поверхностной/интерфейсной безызлучательной рекомбинации в гибридных структурах полупроводник-диэлектрик. В настоящей работе с целью исследования эффекта диэлектрического усиления методом вакуумного термического испарения синтезированы наноструктуры твердого раствора  $ZnS_xSe_{1-x}$  в диэлектрической матрице пористого анодного оксида алюминия (ПАОА).

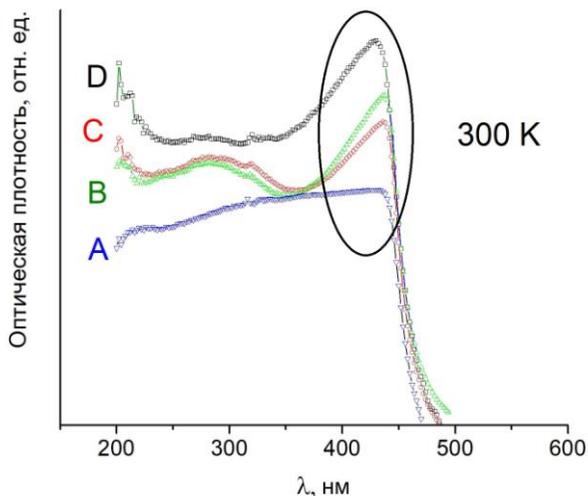


Рис. 1. Спектры оптической плотности образцов нанокомпозитов  $ZnS_xSe_{1-x}$ , напыленных на матрицы с различными параметрами пористой структуры (B, C, D – радиусы наночастиц соответственно равны 34,5 нм, 25 нм и 17,5 нм) в сравнении со спектрами поглощения тонких пленок (A).

На Рис. 1. представлены спектры поглощения образцов  $ZnS_xSe_{1-x}$ , напыленных на матрицы с различными параметрами пористой структуры в

сравнении со спектрами поглощения тонких пленок, синтезированных напылением на гладкую стеклянную подложку. На спектрах поглощения образцов нанокompозитов при комнатной температуре наблюдаются достаточно узкие пики на краю собственного поглощения полупроводников (область отмечена на Рис. 1.), которые относятся к оптическим переходам с образованием экситонов. При этом на спектрах тонких пленок, полученных на гладкой стеклянной подложке, экситонные пики не наблюдаются. Экспериментальная оценка энергии связи экситона находится в качественном согласии с рассчитанными значениями при учете как размерного квантования, так и диэлектрического усиления по формуле, полученной в работе [2] в рамках метода эффективной массы для полупроводниковых квантовых точек окруженных диэлектрической матрицей. При используемом методе синтеза наночастиц  $ZnS_xSe_{1-x}$  пора ПАОА заполняются в среднем на глубину порядка диаметра поры. Поэтому получаемые наночастицы можно считать квазиульмерными структурами (0D) с радиусами от 17,5 до 34,5 нм, которые окружены диэлектриком. Благодаря значительной разнице между диэлектрическими постоянными матрицы ( $\epsilon_1=1,6$ ) и полупроводника ( $\epsilon_2=8,1$  для ZnS и  $\epsilon_3=8,3$  для ZnSe) в исследуемых структурах удалось получить энергии связи экситона порядка 150 мэВ. Показано, что при уменьшении диаметров пор матрицы происходит сдвиг максимума экситонного пика в сторону больших энергий, что объясняется увеличением энергии экситона с возрастанием диэлектрического окружения.

Выполнено в рамках темы госзадания № АААА-А17-117022250040-0.

### Литература

- [1]. Johannes K. Zettler, Pierre Corfdir, Christian Hauswald et al. Observation of dielectrically confined excitons in ultrathin GaN nanowires up to room temperature // Nano Lett., 2016, v. 16 (2), pp. 973–980.
- [2]. T. Takagahara. Effects of dielectric confinement and electron-hole exchange interaction on excitonic states semiconductor quantum dots. // Physical Review B, 1993, v. 47 №8, pp. 4569-4584.

© Чукавин А.И., 2018 г.

## СЕКЦИЯ «МАГНИТНЫЕ НАНОСТРУКТУРЫ И ПРИБОРЫ СПИНТРОНИКИ»

### КРИТИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ МОДЕЛИ ИЗИНГА НА ТРЕУГОЛЬНОЙ РЕШЕТКЕ С ВЗАИМОДЕЙСТВИЯМИ ВТОРЫХ БЛИЖАЙШИХ СОСЕДЕЙ

А. К. Муртазаев<sup>1,2</sup>, М. К. Рамазанов<sup>1</sup>, Я.К. Абуев<sup>1</sup>, М. К. Бадиев<sup>1</sup>,  
Д.Р. Курбанова<sup>1</sup>, К. Ш. Муртазаев<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт физики ДНЦ РАН, 367003 Махачкала, Россия

<sup>2</sup> Дагестанский государственный университет, 367025 Махачкала

Модель Изинга на треугольной решетке с антиферромагнитным взаимодействием ближайших соседей разупорядочена при нулевой температуре, нарушая третий закон термодинамики [1]. Взаимодействие следующих ближайших соседей играет решающую роль, вызывая различные виды дальнего порядка в зависимости от знака взаимодействия следующих ближайших соседей.

Антиферромагнитная модель Изинга на слоистой треугольной решетке с учетом взаимодействий следующих ближайших соседей описывается гамильтонианом [2]:

$$H = -J_1 \sum_{\langle i,j \rangle} (S_i \cdot S_j) - J_2 \sum_{\langle i,l \rangle} (S_i \cdot S_l) \quad (1)$$

где  $S_i = \pm 1$  – изинговский спин,  $J_1 < 0$  и  $J_2 > 0$  – константы обменного взаимодействия.  $r = J_2/J_1$  – величина взаимодействия следующих ближайших соседей. В данной работе рассматривается интервал значений  $r = 0, 0, 1, 0$ .

Параметр порядка системы  $m$  вычислялся, используя выражение [3]:

$$m = \frac{3}{N} \sqrt{\langle M_A^2 + M_B^2 + M_C^2 \rangle / 3}, \quad (2)$$

где  $M_A, M_B$  и  $M_C$  – намагниченности трех подрешеток.

Намагниченность подрешетки определялась по формуле [3]:

$$\langle \vec{M}_r \rangle = \left\langle \sqrt{S_x^2 + S_y^2 + S_z^2} \right\rangle, \quad r = A, B, C. \quad (3)$$

Для наблюдения за температурным ходом теплоемкости и восприимчивости использованы выражения [4].

Для определения критической температуры  $T_N$ , мы использовали метод кумулянтов Биндера  $U_L$  четвертого порядка, который имеет вид [5]:

$$U_L = 1 - \frac{\langle m^4 \rangle_L}{3 \langle m^2 \rangle_L^2}, \quad (4)$$

Согласно теории конечно-размерного скейлинга точка пересечения всех кривых  $U_L(T)$  является критической точкой. Выражение (4) позволяет определить критическую температуру  $T_N$  с большой точностью.

Для расчета статических критических индексов теплоемкости  $\alpha$ , восприимчивости  $\gamma$ , намагниченности  $\beta$  и радиуса корреляции  $\nu$  применялись соотношения теории конечно-размерного скейлинга [5].

Значения критических индексов  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\nu$  и  $\eta$ .

| $k$ | $T_N$    | $\nu$     | $\alpha$  | $\beta$   | $\gamma$ | $\eta$    | $\alpha+2\beta+\gamma=2$ |
|-----|----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|--------------------------|
| 0   | 2.926(3) | 0.668(5)  | -0.040(3) | 0.346(4)  | 1.313(5) | 0.033(10) | 1.96                     |
| 1   | 8.427(3) | 0.651(50) | 0.142(10) | 0.371(4)  | 1.166(5) | 0.205(10) | 2.05                     |
| [6] |          | 0.669(7)  | -0.01(2)  | 0.345(12) | -0.01(2) | 1.316(9)  |                          |

Все значения статических критических индексов, полученные таким образом, представлены в таблице.

Как видно из таблицы все значения критических индексов, рассчитанные нами для значения  $k=0.0$ , в пределах погрешности совпадают со значениями критических индексов трехмерной XY модели [6], что свидетельствует о принадлежности данной модели к XY классу универсальности критического поведения. Аналогичный результат был получен для данной модели в работ [6]. Значения критических индексов, рассчитанные нами при  $k=0.0$ , хорошо согласуются с данными другого автора [6]. Что касается результатов, полученных нами для  $k=1.0$ , то они сильно отличаются от данных полученных для этой модели при соотношении при  $k=0.0$ . Можно предположить, что учет взаимодействий вторых ближайших соседей для трехмерной модели Изинга на слоистой треугольной решетке приводит к смене класса универсальности критического поведения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-02-00214-а.

1. G. N. Wannier, Phys. Rev. **79**, 357 (1950); Phys. Rev. B **7**, 5017(E) (1973)
2. M. Zukovic, L. Mizisin, and A. Bobak, ACTA Phys. Polonica A **126**, 40 (2014).
3. D. P. Landau, Phys. Rev. B **27**, 5604 (1983).
4. K. Binder and J.-Sh. Wang, J. Stat. Phys. **55**, 87 (1989).
5. A. K. Муртазаев, М. К. Рамазанов, М. К. Бадиев, ЖЭТФ **150**, 722 (2016).
6. M. F. Collins, Magnetic critical scattering, Oxford University Press, Oxford (1989).

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТИ УСТОЙЧИВОСТИ ДЕЛОКАЛИЗОВАННЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ МОД ТРЕУГОЛЬНОЙ РЕШЕТКИ МОРЗЕ

Абдуллина Д.У.<sup>1,2</sup>, Корзникова Е.А.<sup>1</sup>, Дмитриев С.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, Уфа

<sup>2</sup>Башкирский государственный университет, Уфа

В докладе представлены результаты исследования устойчивости одномерных делокализованных нелинейных колебательных мод треугольной решетки Морзе. Всего существует восемь таких мод, найденных теоретико-групповыми методами. На Рис. 1 (а) дан пример одной из мод, на (b) и (c) как функции времени показаны перемещения одного из атомов вдоль и поперек его начальной траектории, соответственно. Поперечное перемещение на (c) дано в логарифмическом масштабе. Из (b) видно, что рассматриваемый атом совершает периодические колебания вплоть до момента времени  $t \sim 8$ , после чего колебания становятся хаотическими. Из (c) видно, что это происходит в результате развития неустойчивости, в результате чего поперечное перемещение растет экспоненциально во времени. Скорость роста кривой показана пунктирной линией, тангенс угла которой определяет критическую экспоненту, характеризующую скорость развития данной неустойчивости. Данное исследование важно для анализа пространственно локализованных нелинейных колебательных мод (дискретных бризеров) в треугольной решетке Морзе, которые будут проанализированы в последующих работах.

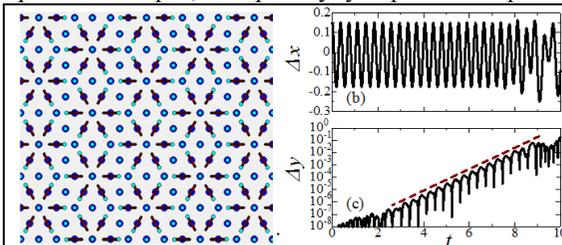


Рис.1 (а) Одна из восьми одномерных делокализованных нелинейных колебательных мод треугольной решетки. (b) Перемещение атома вдоль своей траектории как функция времени. (c) Перемещение атома перпендикулярно начальной траектории как функция времени в логарифмическом масштабе

**УПРУГИЕ СВОЙСТВА СПЛАВОВ ГЕЙСЛЕРА Ni(Co)-Mn(Cr,C)-In И Ni(Co)-Mn(Cr,C)-In**

Д.Р. Байгутлин, В.Д. Бучельников, В.В. Соколовский, М.А. Загребин,  
Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия

С момента своего открытия в 1903 году сплавы Гейслера вызвали значительный научный интерес в силу разнообразия проявляемых практически важных свойств, например, таких как эффект памяти формы, сверхэластичность и сверхупругость, гигантские магнитокалорический эффект, магнитосопротивление, магнитодеформации др. [1, 2]. Каждое из указанных свойств представляет собой как самостоятельный научный интерес, так и перспективу для практического применения.

В данной работе представлены первопринципные исследования упругих свойств сплавов Гейслера вида Ni(Co)-Mn(Cr,C)-In и Ni(Co)-Mn(Cr,C)-Sn. Представленные вычисления реализованы с помощью теории функционала плотности в рамках программного пакета VASP (Vienna *ab initio* simulation package) [3] и приближения обобщенного градиента. Для моделирования химического беспорядка использовался метод суперячейки, включающей 32 атома.

Как известно, для кубических кристаллов существует три независимых элемента тензора упругих постоянных:  $C_{11}$ ,  $C_{12}$ ,  $C_{44}$ . Для определения данных констант рассматривались три типа искажений базиса кубической решетки. В результате, были получены зависимости полной энергии рассмотренных сплавов от величины деформации  $-\Delta E/V_0(\delta)$ , где деформация  $\delta$  принимала значения в интервале  $-0,03$  до  $0,03$  с шагом  $0,01$ . Данные зависимости были аппроксимированы полиномами второго порядка. Константы упругости были вычислены из коэффициентов при вторых степенях полиномов путем решения соответствующих систем уравнений. Так же, были определены значения таких упругих характеристик как модуль Юнга ( $E$ ), коэффициент Пуассона ( $\nu$ ) и температура Дебая ( $\theta$ ), используя известные соотношения между упругими модулями.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №17-72-20022\17.

**Литература**

1. A.N. Vasiliev, V.D. Buchelnikov, et al., Phys.-Usp., **173**, 577–608 (2003)
2. P. Entel, et al., Mat. Sci. Forum, **635**, 3 (2010)
3. G. Kresse, D. Joubert, Phys. Rev., **59**, 1758 (1999)
4. I.A. Abrikosov, et al., Usp. Fiz. Met., **14**, 319–352 (2013)

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ДВУКРАТНОЙ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ФОТОГРАФИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ ПЛЕНОК ФЕРРИТОВ- ГРАНАТОВ

Богомолов А.В., Шапаева Т.Б.

Физический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова, г. Москва, Россия

С помощью метода высокоскоростной фотографии исследовали влияние импульса накачки на динамику доменной границы (ДГ) в эпитаксиальных пленках  $\text{Vi}$ -содержащего феррита-граната [1,2]. Измерения проводили в лаборатории под руководством профессора Т.Райзена в Университете им. св. Радбауда, Наймеген, Нидерланды.

В эксперименте впервые были объединены метод накачки-зондирования и метод двукратной высокоскоростной фотографии. [3] Благодаря визуализации динамической доменной границы использованная методика позволяет наблюдать результат воздействия мощного короткого импульса накачки на ДГ в процессе движения. Единственную доменную границу создавали в образце с помощью градиентного магнитного поля величиной  $3,3 \text{ кЭ/см}$ . Длительность световых импульсов составляла 150 фс. Задержка между двумя импульсами зондирования (800 нм) была 16 нс, задержку между первым импульсом зондирования и импульсом накачки (400 нм) можно было менять от 0 до 3 нс. (рис. 1)



Рис.1. Взаимное расположение импульсов света (накачки и зондирования) и магнитного поля.

Под действием импульсного магнитного поля ДГ начинала свое движение, ее скорость определяли методом двукратной фотографии. При достижении ДГ определенной скорости в промежутке между двумя световыми импульсами на динамическую ДГ действовали мощным возбуждающим импульсом.

Исследование влияние импульса накачки на скорость движения ДГ проводили для разных мощностей и поляризаций возбуждающего импульса. Было установлено, что воздействие импульса накачки может приводить к ускорению или замедлению ДГ (рис.2). Этот результат зависит от взаимного расположения в пространстве динамической ДГ и возбуждающего импульса. (рис. 3) Поляризация импульса накачки не влияет на результаты эксперимента.



Рис. 2. Двукратные фотографии динамической доменной границы: А в отсутствие импульса накачки, Б и В в присутствии импульса накачки. Скорость движения ДГ 400 м/с,  $W_{\text{pump}} = 1.3$  мВт.

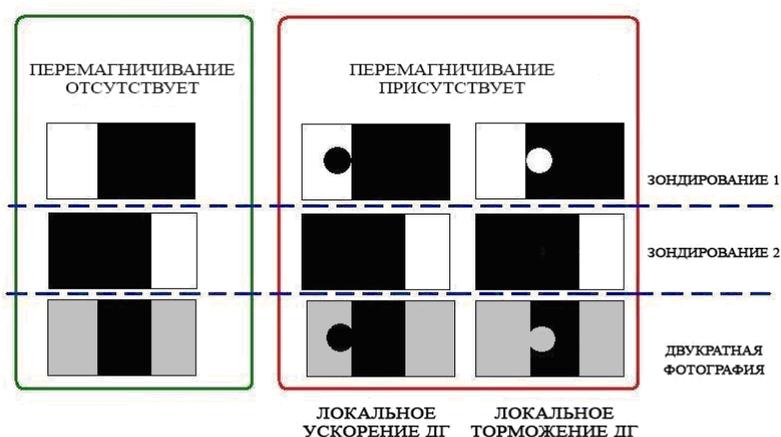


Рис. 3. Схема, иллюстрирующая локальное ускорение и торможение доменной границы после действия импульса накачки. Наблюдение с помощью метода двукратной высокоскоростной фотографии.

1. А.М. Калашникова, А.В. Кимель, Р.В. Писарев. УФН 185, №10. 1064. (2015).
2. М.В.Четкин, Ю.Н.Курбатова, Т.Б.Шапаева. ФТТ, 52, 9, 1795 (2010).
3. К. Н. Prabhakara, Т. В. Shapaeva, S. Wang, С. S. Davies, А. I. Kirilyuk, Th. Rasing and А. V. Kimel. Exploring the influence of femtosecond laser pulses on the motion of domain walls. Book of Abstracts "Ultrafast Magnetism Conference". October 9-13, 2017. Kaiserslautern, Germany. Tue-7

## МАГНИТНАЯ ЗАПИСЬ ИНФОРМАЦИИ: НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ

Вотченко Е.В., Шапаева Т.Б.

Физический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова, г. Москва, Россия

Магнитная запись информации лежит в основе работы жестких дисков, которые в настоящее время используются сотнями миллионов пользователей и абсолютным большинством центров обработки данных по всему миру.

Основой современной технологии записи, хранения и обработки информации является возможность локального изменения направления намагниченности материала между двумя устойчивыми состояниями. Основными характеристиками устройств для записи информации является плотность записи, быстродействие и цена. Важным параметром является также энергия, необходимая для записи и хранения информации. Благодаря прогрессу в развитии фундаментальной науки и технологии последние десятилетия магнитная запись информации претерпела ряд революционных изменений. В настоящее время время для записи единицы информации требуется время порядка 1 нс, а плотность записи информации составляет 1 терабит на квадратный дюйм – еще несколько лет назад такие характеристики казались недостижимыми. Интенсивное развитие беспроводных технологий не дает сомневаться в том, что в экономике будущего спрос на быструю запись информации будет только расти.

Цель работы – сравнить различные технологии современной магнитной записи. В работе рассмотрены как технологии магнитной записи, готовые к выпуску в промышленном масштабе в ближайшие 10 лет, так и исследования, пока еще далекие от практического применения.

На рис.1. представлена дорожная карта технологии развития магнитной записи информации. Перпендикулярная магнитная запись (Perpendicular Magnetic Recording (PMR)) активно используется в настоящее время. Сейчас над ее усовершенствованием активно работают во многих лабораториях. Предполагается, что в недалеком будущем конкуренцию перпендикулярной магнитной записи будет составлять двумерная (Two-Dimensional Magnetic Recording (TDMR)) и черепичная магнитная запись (Shingled Magnetic Recording (SMR)). Интересные перспективы открывает технология HAMR (Heat-Assisted Magnetic Recording), способная увеличить плотность записи до 2 Тбит/дюйм<sup>2</sup> и даже выше. Суть этого вида магнитной записи заключается в следующем: пишущая головка оснащается лазером с длиной волны 810 нм и мощностью около 20 мВт, который локально нагревает магнитную пластину до 450 °С. Высокая температура способствует снижению коэрцитивности что, в свою очередь, позволяет сократить площадь области, необходимой для хранения одного бита информации, и при этом исключить вероятность суперпарамагнитного эффекта (произвольного перехода ферромагнитных частиц в однодоменное состояние, что приводит к потере записанных данных) [2].

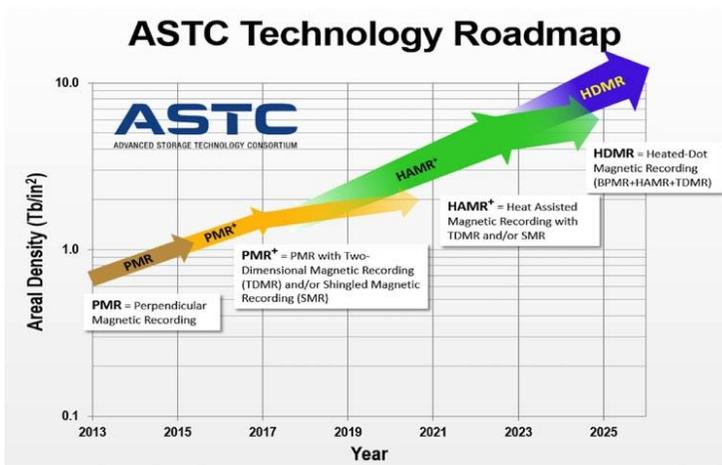


Рис.1. Дорожная карта развития технологии магнитной записи информации. [1]

Авторы работы [3] сообщили о достижении предельной плотности записи информации в магнитном состоянии вещества — один бит в одном атоме. Это соответствует увеличению емкости жестких дисков в тысячи раз. Для двухбитового устройства ученые разработали процедуры записи и чтения информации с помощью сканирующего туннельного микроскопа. Технология еще далека от реальных применений, однако она показывает, что достижение предела плотности записи информации возможно. Ученые продемонстрировали стабильную запись и хранение информации на протяжении нескольких часов в одиночных атомах гольмия. Магнитные свойства атомов определяются в основном неспаренными электронами. Гольмий обладает большим количеством таких электронов и имеет самый большой магнитный момент среди элементов периодической таблицы. Кроме того, неспаренные электроны атома находятся близко к ядру, что обеспечивает их некоторую изолированность от внешней среды. Поэтому магнитное состояние гольмия может сохраняться достаточно долгое время.

1. [https://www.seagate.com/www-content/ti-dm/tech-insights/en-us/docs/TP707-1-1712US\\_HAMR.pdf](https://www.seagate.com/www-content/ti-dm/tech-insights/en-us/docs/TP707-1-1712US_HAMR.pdf)
2. <https://blog.seagate.com/intelligent/hamr-next-leap-forward-now/> - HAMR: the Next Leap Forward is Now
3. <https://www.nature.com/articles/nature21371> - Fabian D. Natterer, Kai Yang, William Paul, Philip Willke, Taeyoung Choi, Thomas Greber, Andreas J. Heinrich & Christopher P. Lutz Reading and writing single-atom magnets

**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА СПЕКТРАЛЬНЫХ  
ЗАВИСИМОСТЕЙ ФАРАДЕЕВСКОГО ВРАЩЕНИЯ  
В МАГНИТООПТИЧЕСКИХ ПЛЁНКАХ**

Ильин С.В., Логунов М.В.

Национальный исследовательский Мордовский государственный  
университет им. Н.П. Огарёва, г. Саранск, Россия

Для использования магнитных пленок в магнитооптических устройствах важна подробная информация об эффектах Фарадея и Керра. Вращение плоскости поляризации линейно поляризованного света исследуется методами поляриметрии. Поскольку удельное фарадеевское вращение зависит и от температуры, и от длины волны света, возникает необходимость в регистрации и обработке спектральных зависимостей магнитооптических эффектов. В настоящей работе представлено программное обеспечение для установки по измерению спектров фарадеевского вращения в магнитных материалах. При небольшой модернизации установки оно применимо и для исследования спектральных зависимостей эффектов Керра.

Для автоматизации процесса измерения и повышения его точности в установке используется зондирующий оптический сигнал со сплошным спектром. Это позволяет исключить процесс сканирования по спектру и ускорить процесс измерений. Ключевым элементом установки, позволяющим повысить скорость измерений, является одноканальный CCD-спектрометр (CCS100/M) с оптоволоконным входом, позволяющий регистрировать оптический спектр без сканирования по длине волны. Спектры пропускания оптической системы регистрируются в зависимости от азимутального угла анализатора. Сбор данных автоматизирован: регистрируются спектральные зависимости коэффициента пропускания оптической системы без образца, с образцом в размагниченном состоянии и в состоянии насыщения для противоположных направлений магнитного поля, приложенного вдоль нормали к плоскости образца.

С использованием разработанного программного обеспечения проводится накопление (для повышения отношения сигнал/шум) и анализ экспериментально зарегистрированных спектров, в результате получается серия характеристик исследуемых образцов: дисперсионные зависимости фарадеевского вращения и спектральные зависимости коэффициента пропускания, интегральные по оптической толщине исследуемой пленки. Разработанное программное управление режимом работы CCD-спектрометра увеличило эффективность использования его динамического диапазона, что позволило проводить измерения параметров материалов с высокой дисперсией коэффициента поглощения.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (18-52-16006 НЦНИЛ\_а).

УДК 538.7

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ДИНАМИКИ МАГНИТНЫХ 3D-ПУЛЬСОНОВ И 3D-СОЛИТОНОВ В ФЕРРОМАГНЕТИКЕ С ДЕФЕКТАМИ**

Салимов Р.К., Гумеров А.М., Екомасов Е.Г.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Появление новой экспериментальной методики, позволяющей изучать процессы образования и распространения локализованных волн намагниченности нанометровых размеров, пробудило в последнее время дополнительный интерес к изучению магнитных солитонов. Возможными центрами зарождения магнитных солитонов являются различные дефекты, приводящие к неоднородности параметров материала. Поскольку, как правило, трудно сделать точный (микроскопический) расчет таких задач, можно моделировать функции, описывающие параметры неоднородного материала. Неоднородность параметров материала приводит к значительному усложнению уравнения Ландау-Лифшица для намагниченности. Хотя, часто задачу возбуждения и распределения волн намагниченности при определенных условиях можно свести к исследованиям модифицированного уравнения синус-Гордон с неоднородными параметрами. Исследование влияния больших возмущений на решение модифицированного уравнения синус-Гордон в общем случае может быть исследовано только с помощью численных методов. В динамике, когда временное или пространственное неоднородное возмущение действует в области таких неоднородностей (или дефектов), при определенных условиях могут возникать сильно нелинейные локализованные волны намагниченности. В работе рассмотрен случай трехмерной неоднородности константы магнитной анизотропии (НКМА). Исследована структура и эволюции трехмерных магнитных неоднородностей пульсонного и солитонного типов, локализованных в области дефектов. Найдена зависимость структуры локализованных магнитных неоднородностей от параметров дефектной области. Предложены аналитические выражения, описывающие магнитные неоднородности обоих типов. Получены зависимости амплитуды и частоты колебаний намагниченности в магнитных неоднородностях типа 3D-пульсонов и 3D-солитонов от времени и неоднородности параметров. Показано, что возможность расходования энергии в магнитной системе на возбуждение локализованных магнитных неоднородностей пульсонного и солитонного типа на локализованных в пространстве микро- и наноразмерных дефектах можно рассматривать, как новый механизм затухания для движущихся доменных стенок в ферромагнетиках.

Работа поддержана грантом РФФИ, проект **18-31-00122**.

**К ВОПРОСУ ВЗНИКНОВЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ИСКАЖЕНИЙ  
СМЕКТИЧЕСКИХ СЛОЕВ  $\text{SmC}^*$  В СКРЕЩИВАЮЩИХСЯ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ И МАГНИТНОМ ПОЛЯХ**

Кондратьев Д.В.

Башкирский кооперативный институт (филиал) РУК, г. Уфа, Россия

В данной работе рассмотрен образец сегнетоэлектрического жидкого кристалла, заключенный между двумя полубесконечными пластинами со слабым сцеплением на границах ячейки. Магнитное поле, приложенное параллельно смектическим слоям, вызывает периодическое искажение слоев в случае, когда величина поля превышает некоторое критическое значение. Электрическое поле направлено перпендикулярно слоям. Вопрос образования периодических структур в объеме сегнетоэлектрика под действием периодических граничных условий во внешнем электрическом поле авторами уже исследовался в работах [1, 2].

Используя методологию Стюарта [3], получено выражение для свободной энергии образца, которое описывает состояние этой системы. Исследование периодических искажений смектических слоев для сегнетоэлектрических жидких кристаллов при одновременном воздействии магнитного и электрического полей дало возможность получить выражение для среднего значения энергии сегнетоэлектрического ЖК, минимизация которой дает возможность оценить некоторые параметры системы. Это позволяет выбрать соответствующие константы упругости, значения внешних полей с тем, чтобы связать их с определёнными физическими процессами, происходящими в вязкоупругих, слоевых, анизотропных средах.

На основе континуального подхода получены усредненное значение энергии в объеме образца планарной сегнетоэлектрической мезофазы в геометрии «книжная полка» и выражение для волнового числа, описывающего периодические искажения смектических слоев, обеспечивающего минимум энергии анизотропной слоевой системы внутри ограниченной ячейки. Проанализирована возможность появления периодических искажений смектических слоев  $\text{SmC}^*$ .

**Литература**

1. Мигранова Д. Н., Кондратьев Д. В., Мигранов Н. Г. Исследование устойчивости равновесных состояний наноматериалов на основе сегнетоэлектрических жидких кристаллов во внешнем электрическом поле // Жидк. крист. и их практич. использ. 2015. Т. 15, № 3. С. 133–142.
2. Мигранова Д. Н., Кондратьев Д. В., Мигранов Н. Г. Метод прямых в решении краевой задачи Пуассона для смектика  $\text{SmC}^*$  во внешнем электрическом поле // Жидк. крист. и их практич. использ. 2016. Т. 16, № 3. С. 58–68.
3. Stewart I.W. Distortions induced by a magnetic field in planar aligned samples of smectic-C liquid crystals // Mol. Cryst. and Liq. Cryst. 2001. Vol. 366. P. 919–928.

© Кондратьев Д.В., 2018 г.

# СИНТЕЗ, СТРУКТУРА И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ТОНКОПЛЕНОЧНОЙ СИСТЕМЫ $Al_2O_3/Ge-p/Al_2O_3/Co$ . Кобяков А.В.<sup>1,2</sup>, Турпанов И.А.<sup>2</sup>, Патрин Г.С.<sup>1,2</sup>, Руденко Р.Ю.<sup>1,2</sup>, Юшков В.И.<sup>1,2</sup>, Косырев Н.Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

<sup>2</sup> Институт физики им.Л.В. Киренского СО РАН, г. Красноярск, Россия

Актуальной задачей в современной науке, является исследование тонкопленочных структур ферромагнитный металл/диэлектрик /полупроводник (ФММ/Д/ПП), в частности, исследование влияния границ раздела слоев на магнитные свойства [1-3]. Для исследования были выбраны образцы  $Al_2O_3/Ge-p/Al_2O_3/Co$ . Эти структуры и пленки чистого кобальта, были получены методом ионно-плазменного напыления при базовом давлении  $P = 10^{-6}$  Торр в атмосфере аргона. В качестве материала подложки использовался кремний (001). Исследованы два типа образцов: 1 тип - с более низкими скоростями напыления, 2 тип - с более высокими. Отличие скоростей осаждения для  $Al_2O_3$  в 10 раз, а для Ge-p и Co в 5 раз. Толщина кобальта 1000 Å. Выяснено, что при одной и той же

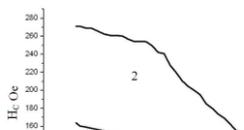


Рис.1. Зависимость коэрцитивной силы от температуры, образцы 1 и 2 типа.

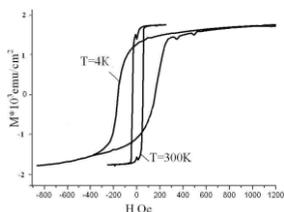


Рис.2. Петли гистерезиса для чистого слоя кобальта при  $T=300K$  и  $T=4K$  1 тип образцов.

скорости напыления кобальта чистого и в системе  $Al_2O_3/Ge-p/Al_2O_3/Co$  (рис 1 – кривая 1, рис 2) его коэрцитивная сила отличается в два и более раз в зависимости от температуры. Как известно [4], при уменьшении скорости осаждения кобальта доля гексагональной фазы уменьшается, и появляются дополнительные фазы. Таким образом, изменение коэрцитивной силы в системах  $Al_2O_3/Ge-p/Al_2O_3/Co$  мы объясняем анизотропией на интерфейсе.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (грант № 18-02-00161-а).

## Литература

- 1 Y. Xuan, Y.Q. Wu, H.C. Lin, T. Shen, Peide D. Ye. IEEE Electron. Dev. Lett., 28, 935 (2007).
- 2 П.В. Середин, Д.Л. Голошапов, А.Н. Лукин, А.С. Леньшин, А.Д. Бондарев, И.Н. Арсентьев, Л.С. Вавилова, И.С. Тарасов Физика и техника полупроводников, (2014), том 48, вып. 11
- 3 Л.А. Крушинская, Я.А. Стельмах. Вopr. атомной науки и техники. Сер.: Вакуум, чистые материалы, сверхпроводники, № 19, 92 (2011).
- 4 G.S. Patrin, I.A. Turpanov, A.V. Kobayakov, D. A. Velikanov, K.G. Patrin, L.A. Li, V. K. Mal'cev, S. M. Zharkov, V.I. Physics of the Solid State V.56.-N.2.-P.301-307, (2014).

## ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ УПРУГИХ ВОЛН С ФМР В ПЛЁНКАХ НИКЕЛЯ

Костарев Д.С.

Сыктывкарский Государственный Университет имени Питирима  
Сорокина, г. Сыктывкар, Россия

В последнее время большое внимание уделяется исследованиям параметрического возбуждения нелинейной прецессии намагниченности под действием упругих полей поверхностных волн [1-3]. Эти исследования открывают дверь к многообразию режимов управления намагниченностью с помощью упругих волн. Представленная методика может быть использована для исследования новых материалов с неизвестными магнитоупругими свойствами. Детальное изучение взаимодействия между магнитной и упругой подсистемами позволит создавать различные устройства обработки информации на поверхностных упругих волнах [3].

Целью данной работы является расчет взаимодействия поверхностной упругой волны с однородными колебаниями намагниченности (ФМР) в тонкой пленке никеля. Постоянное магнитное поле  $H$  приложено в плоскости пленки, вдоль оси  $x$  и составляет угол  $\varphi$  с направлением распространения поверхностной упругой волны. Уравнение Ландау-Лифшица сводится к уравнению параметрического нелинейного осциллятора в случае взаимодействия поверхностной упругой волны и однородных магнитных колебаний:

$$\ddot{m} + (\Gamma_0 + \Gamma_1 e_{xx}(t))\dot{m} + (\Omega_0^2 + \Omega_1^2 e_{xx}(t))m + A_0 e_{xx}(t)mm + B_0 \dot{e}_{xx}(t)m^2 = F_0 e_{xx}(t) \quad (1)$$

где  $m$ -переменная намагниченность,  $\Omega^2 = \Omega_0^2 + \Omega_1^2 e_{xx}(t)$ - квадрат частоты ферромагнитного резонанса,  $e_{xx}(t)$ - деформация в поверхностной акустической волне,  $\Gamma = \Gamma_0 + \Gamma_1 e_{xx}(t)$  - коэффициент затухания осциллятора. Коэффициенты в уравнении (1) определяются следующими формулами:

$$\Omega_0^2 = \gamma^2 \mu_0^2 H(H + M_0), \quad \Omega_1^2 = \frac{\gamma^2 \mu_0 b_1}{M_0} (H + M_0 - (3H + 2M_0) \cos^2 \varphi) \quad (2)$$

$$\Gamma_0 = \Gamma_{empirical} + \frac{\gamma \alpha}{(1 + \alpha^2)} \mu_0 H, \quad \Gamma_1 = \frac{\gamma \alpha}{M_0 (1 + \alpha^2)} b_1 (1 - 2 \cos^2 \varphi), \quad F_0 = \frac{\gamma^2 \mu_0}{2M_0} b_1 (H + M_0) \sin 2\varphi \quad (3)$$

$$A_0 = \frac{2\alpha \gamma \sin 2\varphi}{M_0 (1 + \alpha^2)} b_2, \quad B_0 = \frac{\alpha \gamma \sin 2\varphi}{M_0 (1 + \alpha^2)} b_2 \quad (4)$$

где  $\mu_0$  – магнитная проницаемость вакуума в системе СИ,  $\gamma$  – гиромагнитное отношение,  $\alpha$  – параметр затухания Гильберта,  $M_0$  - намагниченность

насыщения,  $b_1, b_2$  – первая и вторая константы магнитоупругости. Здесь мы пренебрегли сдвиговыми компонентами деформации  $e_{xy}(t)$  и  $e_{zz}(t)$  и ввели постоянное смещение  $\Gamma_{empirical}$ , которое необходимо для моделирования экспериментальных данных. Физически  $\Gamma_{empirical}$  учитывает эффект неоднородного уширения.

Уравнение (1) решалось численно в пакете Scilab. В результате решения этого уравнения мы определяем зависимость Фурье спектра переменной намагниченности от напряженности постоянного магнитного поля. Были получены графики при различных длинах упругой волны, которые совпали с экспериментальными зависимостями, опубликованными в работе [3].

Таким образом, в работе, мы продемонстрировали общую особенность параметрического возбуждения прецессии намагниченности под действием упругих полей в тонких магнитных пленках. Представленная техника расчетов может быть использована для исследования новых материалов с неизвестными магнитоупругими свойствами. Тонкие магнитные пленки с МАХ-фазой, с пренебрежимо малой магнитокристаллической анизотропией и вероятно высоким магнитострикцией являются хорошими кандидатами для будущих исследований [3].

### Литература

1. J. Janusonis, C. L. Chang, T. Jansma, A. Gatilova, V. S. Vlasov, A. M. Lomonosov, V. V. Temnov, R. I. Tobey. Ultrafast magnetoelastic probing of surface acoustic transients // Phys. Rev. B. 2016. V. 94. 024415.
2. J. Janusonis et al. Transient Grating Spectroscopy in Magnetic Thin Films: Simultaneous Detection of Elastic and Magnetic Dynamics// Scientific Reports. B. 2016. 10.1038.
3. C. L. Chang, A. M. Lomonosov, J. Janusonis, V. S. Vlasov, V. V. Temnov, R. I. Tobey. Parametric frequency mixing in a magnetoelastically driven linear ferromagnetic-resonance oscillator // Phys. Rev. B. 2017. V. 95. 060409(R).

## ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОЙ ПЕРЕОРИЕНТАЦИИ АНСАМБЛЯ МАЛЫХ NiO ЧАСТИЦ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СВЧ ПОЛЯ

Кукушкин И.С., Голов А.В., Власов В.С., Котов Л.Н.

Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина,  
г. Сыктывкар, Россия

Интерес к нелинейной магнитной динамике в магнитоупорядоченных средах обусловлен разнообразием нелинейных эффектов, возникающих при воздействии на диссипативную магнитную систему ВЧ- или СВЧ-полем [1].

В данной работе методом численного моделирования исследовалось явление переориентации вектора антиферромагнетизма ансамбля однодоменных NiO наночастиц при воздействии на них СВЧ-магнитного поля. Магнитная динамика вектора антиферромагнетизма моделировалась при помощи системы уравнений Ландау-Лифшица, записанных для каждой из подрешеток ансамбля из 64 сферических частиц, расположенных в узлах куба. Учитывались поля анизотропии, размагничивающие поля и поле обмена между подрешетками антиферромагнетика.

Была получена зависимость пороговой амплитуды внешнего поля при которой происходит переключение вектора антиферромагнетизма ансамбля частиц из одного устойчивого положения в другое от частоты внешнего поля (рис.1). Чем выше частота внешнего поля в рассматриваемом диапазоне частот, тем большее поле требуется для переключения вектора антиферромагнетизма ансамбля частиц в новое положение.

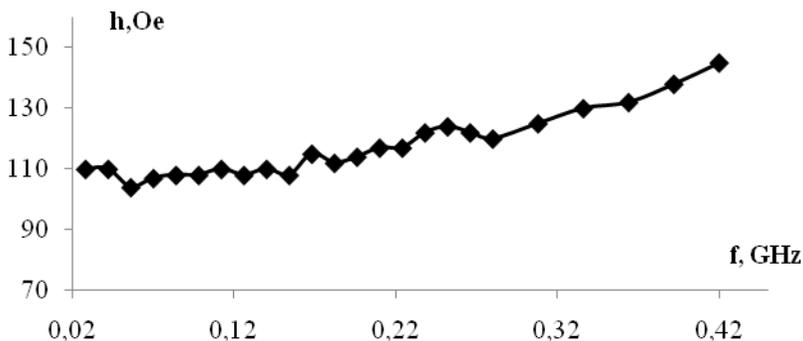


Рис. 1. Зависимость пороговой амплитуды внешнего поля от частоты.

### Литература

[1] Котов Л.Н., Носов Л.С. и др. О магнитной переориентации СВЧ-полем в антиферромагнитных наночастицах // Вестник Челябинского государственного университета. Физика. Вып. 12, 2011, **39** (254), С. 15–18.

**ОСОБЕННОСТИ ДИСПЕРСИИ МАГНИТОСТАТИЧЕСКИХ ВОЛН В  
ДИССИПАТИВНЫХ СРЕДАХ**Макаров П.А.<sup>1</sup>, Котов Л.Н.<sup>1</sup>, Шавров В.Г.<sup>2</sup>, Щеглов В.И.<sup>2</sup><sup>1</sup>ФГБОУ ВО «СГУ им. Питирима Сорокина», г. Сытывкар, Россия<sup>2</sup>ФГБУН ИРЭ имени В.А. Котельникова РАН, г. Москва, Россия

Исследования волновых явлений в ферро- и ферритмагнитных материалах привели к созданию нового научно-технического направления — спинволновой электроники. Одной из активно развиваемых областей спинтроники является разработка компактных радиоэлектронных устройств с уникальными магнитными свойствами, работающих на поверхностных и объёмных магнитостатических волнах [1-5].

В данной работе в магнитостатическом приближении электродинамики получены дисперсионные соотношения для поверхностных и объёмных магнитостатических волн (МСВ), распространяющихся в магнитной плёнке, намагниченной до насыщения продольным постоянным магнитным полем  $H$ .

Установлено, что в слабых магнитных полях (вплоть до величин  $H < 200$  Э) спектр ПМСВ шире, чем ООМСВ, однако с увеличением поля, интервал частот, в котором могут распространяться поверхностные волны, сужается, в то время как частотный спектр объёмных волн расширяется. При значениях поля  $H \approx 200$  Э частотные интервалы ПМСВ и ООМСВ сравниваются, а при дальнейшем увеличении поля больший вклад в МСВ дают ООМСВ. Это приводит к тому, что при полях  $H \approx 10$  кЭ практически весь спектр МСВ представлен объёмными волнами, в то время как поверхностные могут распространяться в диапазоне частот шириной всего 100 МГц. Полный спектр обоих типов МСВ не зависит от поля и определяется только величиной намагниченности насыщения плёнки.

Выявлено, что ПМСВ имеют ограниченную диаграмму направленности, так как могут распространяться только в секторе углов  $0 \leq \varphi \leq \varphi_s$ , ограниченном углом отсечки  $\varphi_s$  (угол  $\varphi$  отсчитывается в плоскости плёнки от перпендикуляра к направлению постоянного подмагничивающего поля). В противоположность этому, диаграмма направленности объёмных волн ограничивается только углом  $\varphi = 0^\circ$ . Частотные интервалы, в которых могут распространяться ПМСВ и ООМСВ при постоянном поле  $H = 440$  Э и комнатной температуре в плёнках железоиттриевого гранта примерно совпадают по ширине при  $\varphi = 40^\circ$ .

Также обнаружено, что с увеличением диссипации дисперсионные кривые для ПМСВ отклоняются вверх по частоте относительно бездиссипативной кривой, причем такое отклонение проявляется тем сильнее, чем выше диссипация. Однако кривые с диссипацией, в отличие от бездиссипативной кривой, обрываются при критическом значении волнового

числа, которому соответствует критическая частота. Предельные волновое число и частота становятся тем меньше, чем больше величина диссипации.

### **Литература**

1. Damon R.W., Eshbach J.R. // J. Phys. Chem. Sol., 1961, v. 19, pp. 308-320.
2. Parekh J.P. et al. // Circuits, Systems and Signal Processing, 1985, v. 4, pp. 9-39.
3. Stancil D., Prabhakar A. Spin Waves. Springer, New York, 2009.
4. Demidov V.E. et al. // Sci. Rep., 2015, v. 5, pp. 8578.
5. Sadovnikov A.V. et al. // Phys. Rev. Appl., 2017, v. 7, pp. 014013.

**ФОНОНЫ В СПЛАВАХ ГЕЙСЛЕРА Pd<sub>2</sub>MnZ (Z = Ga, Ge, As)**Мирошкина О.Н.<sup>1</sup>, Заяк А.Т.<sup>2</sup>, Бучельников В.Д.<sup>1</sup><sup>1</sup>Челябинский государственный университет, г. Челябинск, Россия<sup>2</sup>Государственный университет Боулинг Грин, г. Боулинг Грин, США

В настоящей работе изучаются фоновые спектры сплавов Гейслера Pd<sub>2</sub>MnZ (Z = Ga, Ge, As). На сегодняшний день структурные, магнитные, электронные и термодинамические свойства сплавов Pd<sub>2</sub>Mn-содержащих сплавов пусть не широко, но тем не менее освещены в литературе, в то время как о фоновых спектрах данных сплавов нет никакой информации. В связи с этим было бы интересно вычислить дисперсионные кривые сплавов Гейслера Pd<sub>2</sub>MnZ (Z = Ga, Ge, As) и проверить наличие каких-либо особенностей у этих спектров.

Вычисления выполнялись с помощью программных пакетов VASP (Vienna *ab initio* simulation package) [1, 2] и PHONON [3, 4]. Расчеты проводились для 40-атомных суперячеек, удлинённых вдоль направления [110]<sub>c</sub> кубической ячейки L<sub>21</sub>, соответствующего направлению [010]<sub>t</sub> в тетрагональной ячейке (Рис.1).

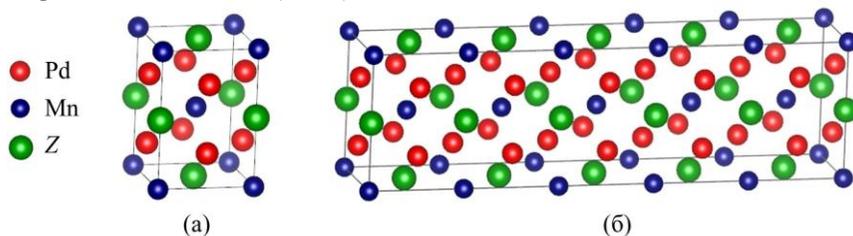


Рис.1. (а) Примитивная и (б) удлинённая вдоль направления [110]<sub>c</sub> ячейки сплавов Pd<sub>2</sub>MnZ (Z = Ga, Ge, As).

Установлено, что спектры сплавов Pd<sub>2</sub>MnZ (Z = Ga, Ge, As) не демонстрируют особенностей, в отличие от дисперсионных кривых сплава Ni<sub>2</sub>MnGa, отрицательные частоты поперечной акустической моды TA<sub>2</sub> которого исследованы в работе [13].

Работа выполнена при поддержке Фонда поддержки молодых ученых ФГБОУ ВО "ЧелГУ".

1. G. Kresse, et al., Phys. Rev. B, **54**, 11169 (1996)
2. G. Kresse, et al., Phys. Rev. B, **59**, 1758 (1999)
3. K. Parlinski, et al., Phys. Rev. Lett., **78**, 4063 (1997)
4. K. Parlinski, Software Phonon, Cracow (2013)

©Мирошкина О.Н., 2018 г.

## О ВЛИЯНИИ МАГНИТОУПРУГОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НА НАМАГНИЧЕННОСТЬ НАНОРАЗМЕРНЫХ МАГНИТКОВ

Назарова З.И.<sup>1</sup>, Назаров А.Н.<sup>1</sup>, Орлов В.А.<sup>1,2</sup>, Прокопенко В.С.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

<sup>2</sup>Институт физики им. Л. В. Киренского СО РАН, г. Красноярск, Россия

<sup>3</sup>Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева, г. Красноярск, Россия

На распределение намагниченности в ферромагнетиках субмикронных размеров может оказывать существенное влияние магнитоупругое взаимодействие, вследствие сильных механических напряжений, возникающих на границах образцов. В настоящей работе нас будет интересовать влияние механического напряжения на свойства магнитной анизотропии цилиндрической симметрии (нанопроволоки, наноточки).

Магнитоупругая энергия для цилиндрического полукристаллического образца может быть представлена в виде:  $E_{str} = -(3/2)\lambda\sigma\cos^2(\vartheta)$ . Здесь  $\lambda$  - коэффициент магнитострикции,  $\sigma$  - механическое напряжение  $\vartheta$  - полярный угол приложения напряжения. Чтобы найти энергию магнитострикции (1), необходимо знать механическое напряжение, которое можно оценить из формулы Лапласа:  $\sigma = \varepsilon(1/R_1 + 1/R_2)$ , где  $\varepsilon$  - коэффициент поверхностного натяжения кристаллической фазы, а  $R$  - главные радиусы кривизны поверхности магнетика. Для проволоки можно считать, что  $R_1 = r$  - радиус сечения проволоки, а  $R_2 = \infty$ . Для наноточки:  $R_1 = h/2$ ,  $R_2 \gg R_1$ ,  $h$  - толщина наноточки. Для плотности энергии можем записать:  $E_{str} = -(3/2)(\varepsilon/R)\lambda\cos^2(\vartheta)$ . Заметим, что функциональная зависимость от угла  $\vartheta$  всех видов магнитных энергий одинаково, поэтому для эффективной анизотропии можно записать:

$$K_{ef} = K + \mu_0 M_S^2 + (3/2)(\varepsilon/R)\lambda. \quad (1)$$

Для магнетиков с радиусом кривизны поверхности порядка 10 нм последнее слагаемое в (1) сравнимо по величине с кристаллографической анизотропией, следовательно играет важную роль.

### Литература

1. Белов К.П. Магнитострикционные явления и их технические приложения. М.: Наука, 1987. 159 с.
2. Вонсовский С.В. Магнетизм. М.: Наука, 1984. 207 с.
3. Каганов М.И., Цукерник В.М. Природа магнетизма. М.: Наука, 1982. 192 с.
4. Nikitin S.A., Myalikgulyev G., Annaorazov M.P. et al. // Phys. Lett. A. 1992. Vol. 171. P. 234-236.

## ВЛИЯНИЕ НАРУШЕНИЯ ПОРЯДКА НА УПРУГИЕ СВОЙСТВА СПЛАВА ГЕЙСЛЕРА $\text{Co}_2\text{CrAl}$

Т. Першукова, М. Загребин, В. Соколовский, В. Бучельников  
*Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия*

Сплавы Гейслера на основе Co представляют интерес в качестве рабочего тела в устройствах спинтроники, поскольку в данном классе соединений наблюдается  $\approx 100\%$  спиновая поляризация [1-3]. В настоящее время сплав  $\text{Co}_2\text{CrAl}$  вызвал большой интерес как с экспериментальной, так и с теоретической точек зрения из-за сложного полуметаллического ферромагнитного (ФМ), ферримагнитного и антиферромагнитного поведения.  $\text{Co}_2\text{CrAl}$  кристаллизуется в структуре  $L2_1$  [1]. С одной стороны, экспериментальные исследования магнитных и структурных свойств  $\text{Co}_2\text{CrAl}$  в зависимости от механического легирования показали, что структурный беспорядок приводит к исчезновению ФМ упорядочения [1-3]. С другой стороны, влияние пластической деформации на структурный беспорядок существенно не изменяет магнитные и электронные свойства  $\text{Co}_2\text{CrAl}$  [2]. Аналогичное исследование тонких пленок  $\text{Co}_2\text{CrAl}$  показало, что с увеличением структурного беспорядка наблюдается уменьшение температуры Кюри и намагниченности насыщения [4]. В данной работе с помощью теории функционала плотности, внедренную в пакет VASP [5] было изучено влияние структурного беспорядка на упругие, магнитные и электронные свойства сплава  $\text{Co}_2\text{CrAl}$ . С помощью 32-атомной суперячейки для структур  $L2_1$ ,  $A2$  были вычислены модули упругости. Полученные данные показывают, что в упорядоченном состоянии модули упругости больше по величине, чем в разупорядоченном.

|        | $C_{11}$ , ГПа | $C_{12}$ , ГПа | $C_{44}$ , ГПа | Модуль Юнга $E$ , ГПа |
|--------|----------------|----------------|----------------|-----------------------|
| $L1_2$ | 260.9          | 174.0          | 143.7          | 233.3                 |
| $A2$   | 224.8          | 153.4          | 133.5          | 206.5                 |

### Литература

1. M. Nakimi et al., J. Magn. Magn. Mater. 322 (2010) 3443.
2. N.I. Kourov et al., Phys. Sol. State 55 (2013) 977.
3. M.A. Zagrebina et al., Physica B 519 (2017) 82.
4. Y.V. Kudryavtsev et al., Phys. Rev. B 77 (2008) 195104.
5. G. Kresse, J. Furthmuller, Phys. Rev. B 54 (1996) 11169.

## СВЯЗАННЫЕ КОЛЕБАНИЯ МАГНИТНЫХ ВИХРЕЙ В МАССИВЕ КВАДРАТНЫХ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ

Руденко Р.Ю., Орлов В.А.

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

Институт физики им. Л. В. Киренского СО РАН, г. Красноярск, Россия

Как известно, в наноразмерных магнетиках может быть реализовано особое распределение намагниченности в виде вихря. В центре вихря возникает малая область с сильной неоднородностью намагниченности, которую называют ядром. Описание изменения намагниченности со временем удобно проводить на языке коллективных переменных. Эта идея была предложена Тилем [1]. В настоящей работе представлены результаты решения теоретической задачи по поиску частот колебаний в системе магнитостатически взаимодействующих элементов квадратной формы. В основе расчетов лежит уравнение Тиля [1]:

$$\mathbf{G} \times \mathbf{v} + \vec{\mathbf{D}}\mathbf{v} + \nabla W = 0. \quad (1)$$

Здесь  $\mathbf{G}$  - гировектор,  $\vec{\mathbf{D}}$  - матрица коэффициентов эффективного трения,  $\mathbf{v}$  - скорость ядра магнитного вихря,  $W$  - энергия магнитного вихря, в которую мы включили размагничивающую энергию и энергию дипольного взаимодействия между магнитными подсистемами квадратных элементов. Решение уравнения (1) проводилось в длинноволновом пределе. В результате получено выражение для собственных частот массива из элементов двух сортов:

$$\omega^2 = \frac{1}{G^2} (\kappa + \varepsilon S_1 \pm \pi_{T1} \varepsilon S_2) (\kappa + \varepsilon S_1 \pm \pi_{T2} \varepsilon S_2). \quad (2)$$

В этом выражении  $\kappa$  - коэффициент квазижесткости магнитной подсистемы,  $\pi_T$  - топологический заряд магнитного вихря,  $\varepsilon$  - параметр, характеризующий величину взаимодействия магнитных подсистем и зависит

от расстояния между элементами,  $S_\alpha = \sum \frac{n^2 - 2m^2}{(n^2 + m^2)^{5/2}}$  - суммы по координатам центра элемента  $(n, m)$ , подсчитанные с учетом сорта элемента ( $\alpha = 1, 2$ ).

Таким образом, в рассматриваемой системе реализуются четыре коллективные моды движения магнитного вихря с частотами, определяемыми уравнением (1) без учета затухания.

### Литература

1. Thiele A., Steady-State Motion of Magnetic Domains // Physical Review Letters., - 1973 - Vol. 30. - 230.

Многослойные пленочные магнитные структуры привлекают внимание многих исследователей. Путём различной комбинации нанесения слоев магнитного и немагнитного материалов, можно создавать материалы с уникальными свойствами. Тонкопленочные системы, состоящие из чередующихся слоев ферромагнитного металла и полупроводника, являются перспективными для использования в устройствах спинтроники[1]. Нами были исследованы трехслойные структуры, состоящие из Fe/Bi/Fe. Пленки напылялись при базовом вакууме  $10^{-6}$  -  $10^{-7}$  Торр, с различной толщиной висмута. Для всех пленок толщины Fe соответствовали значениям  $t_{Fe} \approx 19$  нм, а толщина висмута варьировалась в пределах  $t_{Bi} = 3.5$ –12 нм. Величина  $t_{Fe}$  была выбрана из соображений, чтобы она была довольно малой, но в то же самое время достаточной для того, чтобы намагниченность насыщения магнитного слоя более не менялась от флуктуаций его толщины. Измерения зависимости намагниченности от температуры и приложенного поля показали, что межслоевое взаимодействие зависит от толщины висмутовой прослойки.

Анализ петель гистерезиса, полученных при  $T=300$  К показал, что  $H_c$  возрастает в 1,5 раза при увеличении толщины прослойки с 3,5 до 4,5 нм, а затем практически не зависит от толщины рисунок 1 (а). Измерение при температуре  $T=4,2$  К показало, что обменное смещение резко увеличивается по мере увеличения толщины висмутовой прослойки, а после начинает спадать по экспоненте рисунок 1 (б).

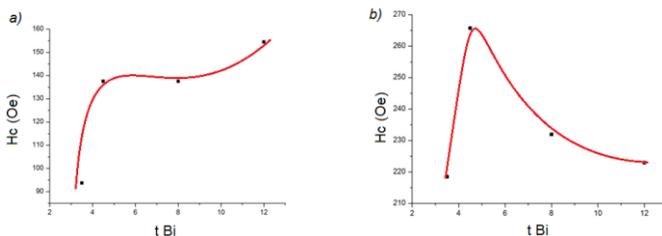


Рисунок 1. (а) Зависимость коэрцитивной силы  $H_c$  от толщины немагнитной прослойки Fe/Bi/Fe при  $T=300$  К. (б) Зависимость обменного смещения  $H_e$  от толщины немагнитной прослойки Fe/Bi/Fe при  $T=4.2$

### Литература

2. M. R. Hofmann and M. Oestreich, Magnetic Heterostructures. Advances and Perspectives in Spinstructures and Spintransport / Springer, Berlin, - 2008, p. 335.

**КОЭРЦИТИВНАЯ СИЛА ПЛЁНОК И ГЕТЕРОСТРУКТУР  
НАНОМЕТРОВЫХ ТОЛЩИН**

Сафонов С.С., Чурбанов А.М., Логунов М.В.

Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, г.  
Москва, Россия

Использование магнитных пленок в устройствах спинтроники во многом определяется коэрцитивной силой материала. Именно от этого параметра зависят, с одной стороны, область устойчивого состояния магнитных элементов и, с другой стороны, необходимые для переключения состояния элементов напряженности магнитных полей. В магнитомягких материалах, служащих основой наноманитных устройств на базе доменных границ [1,2], наличие эффектов закрепления доменных границ приводит к нежелательным последствиям в области малых продвигающих полей [3-5]. Эффекты закрепления зависят в основном от толщины пленок и интерфейсных взаимодействий.

В докладе будет представлена методика измерения коэрцитивной сила пленок в области малых полей, соответствующих процессам намагничивания путём движения доменных границ. Именно в этой области зависимость смещения доменных границ  $x$  от магнитного поля  $H$  является нелинейной, а выход на линейный участок зависимости  $x(H)$  соответствует преодолению эффектов закрепления [3,4]. В малых магнитных полях для изучения коэрцитивности плёнок и особенностей смещения доменных границ необходимы меры по повышению чувствительности системы регистрации установок, поскольку в магнитомягких материалах эффекты закрепления проявляются при смещении доменных границ на единицы/десятки нанометров. При использовании оптической микроскопии для визуального наблюдения и регистрации положения доменных границ разрешающая способность ограничена дифракционным пределом. Методы оптической микроскопии темного поля обеспечивают детектирование и исследование субмикронных магнитных структур с размерами  $\sim 100$  нм. Использование щелевых диафрагм и лазерного зондирования также не позволяют существенно преодолеть порог в 100 нм. Для исследования малых изменений в доменной структуре, значительно меньших предела оптического разрешения, используют фотометрические методы с использованием эффектов Фарадея, Керра или холловскую микромагнитометрию [6]. Упомянутые методы позволяют получить интегральные сведения о малых смещениях доменных границ и охарактеризовать коэрцитивные свойства пленок.

В работе исследованы коэрцитивные свойства монослоев, микро- и наногетероструктур на основе монокристаллических и поликристаллических пленок ферритов-гранатов толщиной от десятков нанометров до единиц

микрометров, в том числе в комбинации со сверхрешетками интерметаллидов. Изучены зависимости изменения коэрцитивной силы от толщины моно- и поликристаллических пленок при послойном травлении плёнок, что важно для развития методов синтеза магнитных наноструктур с градиентом толщины пленок. Исследовано движение доменных границ в малых продвигающих полях в магнитострикционных наногетероструктурах при воздействии механических напряжений.

Работа выполнена при поддержке РФФ (14-19-00760) и РФФИ (18-52-16006 НЦНИЛ\_a).

### **Литература**

1. Fernandez-Pacheco, A., et al. Three dimensional nanomagnetism // Nature Communications, 2017, v. 8, pp. 15756.
2. Sander, D., et al. The 2017 Magnetism Roadmap // J. Phys. D: Appl. Phys., 2017, v. 50, pp. 363001.
3. Metaxas, P. J. Creep and Flow Dynamics of Magnetic Domain Walls: Weak Disorder, Wall Binding, and Periodic Pinning // Solid State Physics, 2011, v. 62, pp. 75-162.
4. Geng, L. D., and Jin, Y. M. Domain wall creep in magnetic thin films near the depinning transition // EPL, 2016, v. 116, pp. 36002.
5. Ferrero, E. E., et al. Spatiotemporal Patterns in Ultraslow Domain Wall Creep Dynamics // Phys. Rev. Lett., 2017, v. 118, pp. 147208.
6. Christian, D.A., Novoselov, K.S., and Geim, A.K. Barkhausen statistics from a single domain wall in thin films studied with ballistic Hall magnetometry // Phys. Rev. B, 2006, v. 74, pp. 064403.

## РЕЗОНАНСНАЯ ДИНАМИКА СОЛИТОННОЙ РЕШЕТКИ В КИРАЛЬНОМ ОДНООСНОМ ГЕЛИМАГНЕТИКЕ

Вл.Е. Синецын<sup>1</sup>, А.С. Овчинников<sup>1</sup>, И.Г. Бострем<sup>1</sup>, И.В. Проскурин<sup>1</sup>, Дж.  
Кишине<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Институт естественных наук и математики, УрФУ, Екатеринбург,  
Россия*

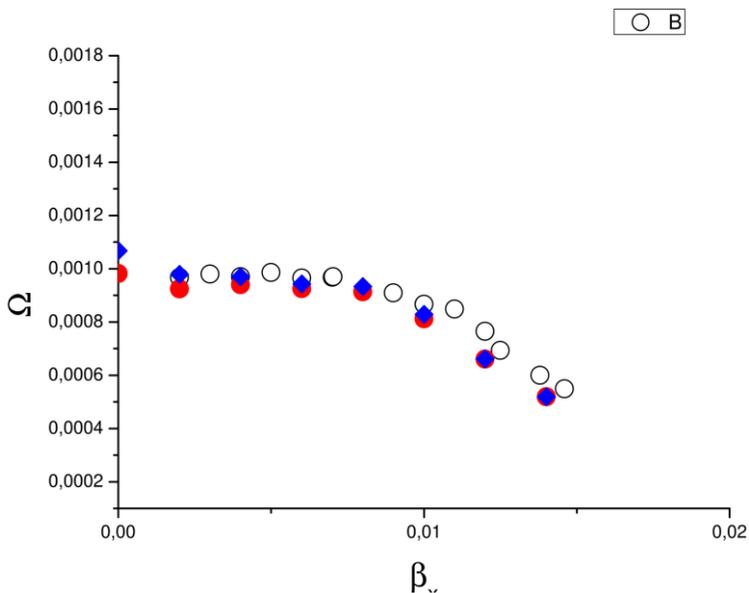
<sup>2</sup> *Graduate School of Arts and Sciences, The Open University of Japan, Japan*

Хорошо известно, что резонансные явления играют фундаментальную роль в изучении свойств динамических систем различной природы. В работе рассматривается спиновая динамика кристаллической солитонной решетки в одномерной магнитной цепочке, между узлами которой действует гайзенберговской обменное взаимодействие и антисимметричный обмен Дзялошинского-Мория [1]. Вектор Дзялошинского направлен вдоль оси цепочки, стационарное магнитное поле, формирующее солитонную решетку, направлено перпендикулярно ей.

$$\hat{H} = -J \sum_p \mathbf{S}_p \mathbf{S}_{p+1} + D \sum_p [\mathbf{S}_p \times \mathbf{S}_{p+1}]_z - g\mu_B H \sum_p S_p^x$$

Реальная доменная структура образцов, где киральность меняется на противоположную от домена к домену, моделируется дополнительным магнитным полем  $\mathbf{V}_{\text{end}}$ , действующим на магнитные моменты спинов крайних узлов цепочки. Данное слагаемое формирует так называемые «не жесткие» граничные условия.

Проведено численное моделирование поведения рассматриваемой системы в осциллирующем магнитном поле, направленном вдоль киральной оси. Рассматривалась цепочка длиной 411 узлов (10 периодов спирали в нулевом поперечном поле), использовались значения обменного интеграла и вектора Дзялошинского, характерные для Cr1/3 NbS2. Для определения собственной частоты колебаний солитонной решетки использовался метод биений [2]. Полученные из численных расчетов значения собственной частоты колебаний солитонной решетки отмечены на рис.1 пустыми кружками. Ход зависимости частоты резонанса от величины поперечного магнитного поля качественно совпадает с экспериментальными данными, полученными на тонких пленках Cr1/3 NbS2.



Также был проведен аналитический расчет собственной частоты стоячих волн в солитонной решетке. Полученные в результате расчета значения собственной частоты очень хорошо совпадают с теми, которые дает численный расчет. Кроме того, аналитический расчет дает для определения собственной частоты трансцендентное уравнение, которое имеет два близких решения (синие ромбы и красные кружки на рис. 1). Этот результат также находится в согласии с экспериментальными данными, где была обнаружена тонкая структура резонансных линий.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-32-00769 мол\_а и Президентского гранта № МК-6230.2016.2 от Министерства образования и науки Российской Федерации.

### Литература

1. I. E. Dzyaloshinskii, Sov. Phys. JETP 19, 960 (1964); 20, 665 (1965).
2. J. Kishine, I. Proskurin, I. G. Bostrem, A. S. Ovchinnikov, Vl. E. Sinitsyn // Phys. Rev. B 93, 054403 (2016).

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИФфуЗИОННОЙ СВАРКИ МЕТАЛЛОВ В РАМКАХ ДВУМЕРНОЙ МОДЕЛИ КРИСТАЛЛА С КВАДРАТНОЙ РЕШЕТКОЙ

Субхангулова А.М.<sup>1,2</sup>, Корзникова Е.А.<sup>1</sup>, Дмитриев С.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, Уфа, <sup>2</sup>БашГУ, Уфа  
[elena.a.korznikova@gmail.com](mailto:elena.a.korznikova@gmail.com)

Представлена компьютерная модель, позволяющая на качественном уровне исследовать в бинарных и тернарных системах такие процессы как диффузионная сварка разнородных металлов, кинетика фазового перехода порядок-беспорядок и другие процессы, контролируемые диффузией. Моделируется диффузия по вакансионному механизму, при этом вычисляются энергии, связанные с перескоком одного из восьми атомов с первой или второй координационной сферы в вакансию, и с помощью датчика случайных чисел определяется какой из восьми атомов займет место вакансии. Более вероятными будут те перескоки, которые приводят к большему выигрышу энергии, однако перескоки с проигрышем энергии также возможны, но с меньшей вероятностью. Учитывается роль температуры, которая состоит в выравнивании вероятностей перескока с ростом температуры, вне зависимости от выигрыша или проигрыша энергии. На рис. 1 показана кинетика процесса диффузионной сварки двух металлов, А (темные точки) и В (светлые точки). На (а-в) показаны распределения компонент в ходе развития процесса взаимной диффузии. На (б) и (в) хорошо видна асимметрия процесса диффузии: Внутри металла В происходит образование островков упорядоченной структуры со стехиометрией  $AB_3$ , а внутри металла А островков других фаз не образуется и изменения происходят только на границах области, занимаемой этим металлом. На (в) хорошо видно, что металл А граничит с упорядоченной фазой  $A_3B$ , которая переходит в упорядоченную фазу АВ. Расчет энергий всех наблюдаемых фаз показал, что наименьшую энергию, при выбранных параметрах модели, имеет фаза АВ.

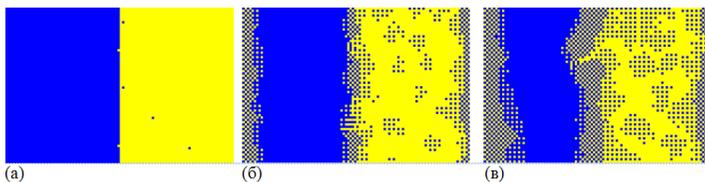


Рис. 1. Распределение компонент А (темные точки) и В (светлые точки) в расчетной ячейке: (а) Начало процесса диффузионной сварки двух металлов; (б) и (в) развитие данного процесса во времени.

## МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА МОДЕЛИ

### МАГНИТОТВЕРДОГО/МАГНИТОМЯГКОГО БИСЛОЯ

Таев Т. А.<sup>1</sup>, Хизриев К. Ш.<sup>1,2</sup>, Муртазаев А. К.<sup>1,2</sup>, Хизриев Ш. К.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт физики им. Х.И. Амирханова ДагНЦ РАН, г. Махачкала, Россия

<sup>2</sup>Дагестанский государственный университет, г. Махачкала, Россия

Основной характеристикой магнитотвердых материалов является максимальная величина энергетического произведения  $(BH)_{max}$ . В 1991 году был предложен альтернативный способ для увеличения показателя  $(BH)_{max}$  путем создания композитных материалов с чередующимися твердыми и мягкими магнитными фазами [1]. Такие магниты называют обменно-связанными (обменно-упругими), и они приводят к возникновению ряда необычных явлений, таких как формирование во внешнем магнитном поле одномерной гетерофазной спиновой пружины.

Для исследования магнитных свойств модели магнитотвердого/магнитомягкого бислоя была использована модель [2-4]. Гамильтониан модели был представлен в виде:

$$H = -\frac{1}{2} \sum_{i,j} J(S_i^x S_j^x + S_i^y S_j^y) - \sum_i K(S_i^x)^2 - g\mu \sum_i \vec{H}_0 \vec{S}_i \quad (1)$$

где первая сумма учитывает обменное взаимодействие каждого магнитного атома с ближайшими соседями внутри слоев; вторая сумма учитывает вклад анизотропии в энергию системы; третья сумма – вклад внешнего магнитного поля,  $g \approx 2$  – фактор Ланде,  $\mu$  – магнетон Бора,  $H_0$  – внешнее магнитное поле,  $S_i^{x,y}$  – проекции спина, локализованного на узле  $i$ .

Расчеты проводились стандартным алгоритмом Метрополиса метода Монте-Карло для систем с линейными размерами  $Lx \times Ly \times Lz$ , при температуре  $T$  намного ниже  $T_c$  для модели магнитного бислоя [2]. По осям  $x$  и  $y$  линейные размеры системы были фиксированы ( $Lx = Ly = 50$ ), а по оси  $z$  принимали различные значения, в зависимости от толщины магнитотвердого и магнитомягкого слоев.

Нами были исследованы три системы:

- 1) S1 – линейные размеры системы по оси  $z$  принимали значения  $Lz = 40 \div 150$ , при сохранении соотношения толщины магнитотвердого и магнитомягкого слоев  $t_h/t_s = 1:1$ .
- 2) S2 – линейные размеры системы по оси  $z - Lz = 50 \div 150$ , при этом толщина магнитотвердого слоя была фиксирована  $t_h = 50$ , а магнитомягкого принимала значения  $t_s = 10 \div 100$  атомных слоев, соответственно.
- 3) S3 – линейные размеры по оси  $z - Lz = 50 \div 100$ , при этом толщина магнитомягкого слоя была фиксирована  $t_s = 50$ , а магнитотвердого принимала значения  $t_h = 10 \div 50$  атомных слоев.

В рамках данной модели были получены полевые зависимости общей намагниченности, поперечной и продольной составляющих общей намагниченности как для систем в целом, так и для магнитотвердого и магнитомягкого слоев по отдельности.

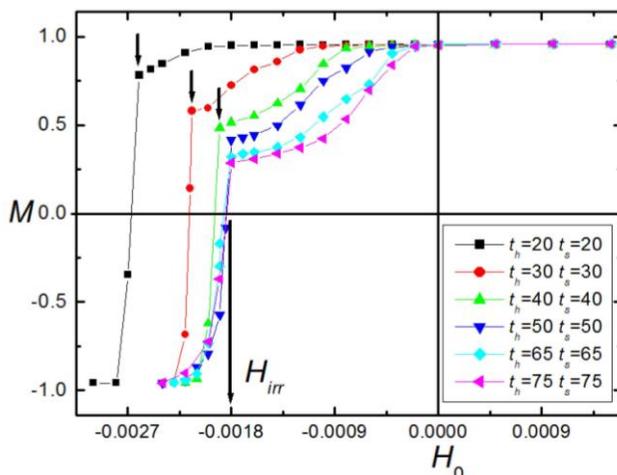


Рис. 1. Кривые перемагничивания общей намагниченности  $M$  для системы  $S1$ .  $H_{irr}$  – критическое значение внешнего магнитного поля.

На рис. 1 показаны кривые перемагничивания общей намагниченности для системы  $S1$ . Как видно из рисунка, критическое значение внешнего магнитного поля  $H_{irr}$ , при котором бислой полностью перемагничивается, уменьшается с увеличением линейных размеров  $Lz$ , вплоть до  $Lz = 100$ . При  $Lz > 100$  критическое значение поля  $H_{irr}$  не изменяется.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ (грант № 16-02-00214).

### Литература

1. Kneller E. F., Hawig R. The exchange-spring magnet: a new material principle for permanent magnets // IEEE Trans. Magn., 1991, v. 27, pp. 3588–3600.
2. Тааев Т. А., Хизриев К. Ш., Муртазаев А. К. Термодинамические свойства модели магнитотвердого/магнитомягкого бислоя // ЖЭТФ., 2016, Т. 149 (5), с. 1022–1029.
3. Тааев Т.А., Khizriev K.Sh., Murtazaev A.K., Uzdin V. M. Investigation of critical phenomena of the hard/soft magnetic bilayer model by the Monte-Carlo method // Journal of Alloys and Comp., 2016, v. 678, pp. 167–170.
4. Тааев Т.А., Хизриев К.Ш., Муртазаев А.К. Исследование процессов перемагничивания модели магнитотвердого/магнитомягкого бислоя методом Монте-Карло // ЖЭТФ., 2017, Т. 151 (6), с. 1084–1091.

УДК 538.7

## **ВЛИЯНИЕ СПИН-ПОЛЯРИЗОВАННОГО ТОКА И ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ДИНАМИКУ И ТРАНСФОРМАЦИЮ СТРУКТУРЫ СВЯЗАННЫХ МАГНИТНЫХ ВИХРЕЙ**

Степанов С.В., Антонов Г.И.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Большое внимание, в настоящее время, привлекают исследования переключения и возбуждения осцилляций намагниченности в магнитных наноструктурах с помощью спин-поляризованного тока и внешнего магнитного поля, которые могут позволить увеличить скорости устройств магнитной памяти, вплоть до терагерцового уровня. Интересны, в этом плане, микроволновые спин-трансферные наноосцилляторы (СТНО), которые отличаются относительно большим спектром частот осцилляций магнитных вихрей, реализуемых даже без приложения внешнего магнитного поля. Большинство таких структур имеют два магнитных слоя, разделенных немагнитной прослойкой. Одной из наиболее перспективных разновидностей СТНО, является вихревая структура, в которой магнитный вихрь реализуется как основное состояние в ферромагнитных слоях. Появилось много экспериментальных и теоретических работ, посвященных исследованию динамики магнитостатически связанных магнитных вихрей (см., например, [1-4]).

С помощью численного решения обобщенного уравнения Ландау-Лифшица, проведено микромагнитное исследование динамики двух дипольно связанных магнитных вихрей в трехслойном наностолбике, под действием внешнего магнитного поля и спин-поляризованного электрического тока. Показана возможность существования различных режимов движения вихрей, в зависимости от величины поляризованного тока и магнитного поля. Для случая стационарной динамики связанных магнитных вихрей, найдена зависимость частоты их колебаний от величины тока. Предложена возможность управления частотой стационарного движения вихрей и подстройки амплитуды управляющих токов с помощью внешнего магнитного поля.

1. N. Locatelli, A.E. Ekomasov, A.V. Khvalkovskiy. Applied Physics Letters// 2013, 102, 062401.

2. N. Locatelli, R. Lebrun, V. Naletov. IEEE Transactions on magnetics Das// 2015, 51, 8, 4300206.

3. A. Hamadeh, N. Locatelli, V. Naletov. Physical Review Letters// 2014, 112, 257201.

4. А.Е. Екомасов, С.В. Степанов, Е.Г. Екомасов, К.А. Звездин. Физика металлов и металловедение// 2017 118, 345.

Степанов С.В., 2018 г.

**МАГНИТОАКУСТИЧЕСКИЙ РЕЗОНАНС В ХИРАЛЬНЫХ  
ГЕЛИМАГНЕТИКАХ**Терещенко А.А., Сеницын Вл.Е.

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия

В данной работе исследуется магнитоакустический резонанс в одноосных хиральных гелимагнетиках в случаях различных магнитных фаз. Возможное решение подобной задачи рассматривалось для вынужденного ферромагнитного состояния в работе [1] и конической фазы в работе [2].

Различные магнитные фазы возникают при деформации магнитной спирали внешним магнитным полем. При приложении вдоль оси симметрии гелимагнетика внешнего магнитного поля образуется коническая фаза или фаза вынужденного ферромагнетизма (в случае достижения критического поля). При приложении перпендикулярно оси симметрии гелимагнетика внешнего магнитного поля образуется фаза солитонной решетки. Вдоль этой же оси предполагается распространение акустической волны. В результате взаимодействия упругой и магнитной подсистем кристалла из-за магнитоупругости могут существовать магнитоупругие волны. Для описания распространения магнитоупругих волн используется феноменологическая модель магнитоупругого взаимодействия. В рассматриваемую энергию магнитоупругой системы включен однородный обмен Гейзенберга, антисимметричный обмен Дзялошинского-Мория, магнитоупругое взаимодействие, упругое взаимодействие и взаимодействие Зеемана. Для получения уравнений движения магнитной и упругой подсистем кристалла, соответственно, используются уравнения Ландау-Лифшица и уравнения теории упругости. Далее из уравнений движения стандартным образом получаются дисперсионные уравнения для магнитоупругих волн.

Анализ спектра магнитоупругих волн демонстрирует, в общем случае, различные виды точек гибридизации: фонон-магнонные, фонон-фононные и магнон-магнонные. Показано, как значения фонон-магнонных щелей спектра могут быть использованы для оценки магнитоупругих констант, связанных с торсионными деформациями. Выявлены особенности магнитоакустического резонанса для конической фазы и фазы солитонной решетки. Отметим, что в первом случае имеется заметная невзаимность спектра относительно отражения волнового вектора, а во втором, спектр характеризуется целочисленным мультirezонансным поведением, что может быть использовано для детектирования солитонной решетки в хиральных гелимагнетиках с помощью магнитоакустического резонанса.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-32-00769 мол\_а и Президентского гранта № МК-6230.2016.2 от Министерства образования и науки Российской Федерации.

1. Carmine Vittoria, Phys. Rev. B **92**, 064407 (2015).
2. V.D. Buchel'nikov, I.V. Bychkov and V.G. Shavrov, J. Magn. Magn. Mater. **118**, 169-174 (1993).

## ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ И НАГРЕВА НА ПОЛЕ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ СУБМИКРОННЫХ ЧАСТИЦ

Ханипов Т.Ф., Бухараев А.А., Бизяев Д.А., Нургазизов Н.И.

Казанский физико-технический институт им. Е.К.Завойского – обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН, ул. Сибирский тракт, 10/7, г. Казань

Изучение влияния упругих напряжений на магнитные свойства ферромагнетиков вызывает большой интерес в настоящее время. Активно развивающееся сегодня направление – стрейнотроника, изучающее эффекты в твердых телах под действием деформаций, предсказывает существенное понижение энергопотребления для стрейнотронных устройств, таких как спиновый клапан или ячейка памяти, по сравнению с имеющимися технологиями.

В данной работе изучалось влияние упругих напряжений на поле переключения субмикронных частиц пермаллоя в комбинации с нагревом. В ранних работах было показано, что с увеличением температуры субмикронных частиц пермаллоя можно добиться существенного уменьшения поля их переключения. Целью же данной работы являлось исследование возможности дальнейшего понижения поля переключения частиц при помощи наведенных упругих напряжений.

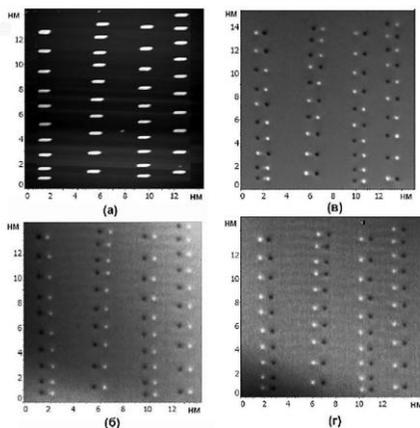


Рис.1. Сороч напряженных частиц пермаллоя с размерами  $1350 \times 350 \times 40 \text{ нм}^3$ . АСМ изображение (а). МСМ изображения образца: (б) - в исходном состоянии с однородно намагниченными частицами; (в) - после нагрева при  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  в поле  $270 \text{ Э}$ ; (г) – после нагрева при  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  в поле  $420 \text{ Э}$ , когда все частицы перемагнитились.

С помощью МСМ изучался массив частиц пермаллоя (Ni 79%, Fe 16%, Mo 4%) по методике описанной в работе [1]. Пермаллой данного состава имеет отрицательную магнитоотрицательность. Образец с субмикронными частицами пермаллоя изготавливался методом сканирующей зондовой литографии [2]. Напыление пермаллоя через маску происходило на изогнутую на специальном держателе подложку из SiO<sub>2</sub>. После высвобождения подложки из держателя, она выпрямлялась и на частицах наводились напряжения сжатия перпендикулярно, либо параллельно длинным осям частиц.

Эксперимент проходил следующим образом. Частицы намагничивались во внешнем магнитном поле порядка 800 Э в одном из направлений. Далее, образец нагревался до температуры 100 °С и прикладывалось внешнее магнитное поле в противоположном направлении с шагом 25 Э. На каждом шаге образец остывал до комнатной температуры во внешнем магнитном поле. Далее, проводилось МСМ-измерение частиц образца и подсчет количества перемагнитившихся частиц. Эксперимент продолжался до перемагничивания всех частиц в массиве. Таким образом, был получен график зависимости количества перемагнитившихся частиц от величины внешнего магнитного поля при температуре 100 °С.

На следующем этапе эксперимента, образец отжигался при температуре 300 °С. Как было выяснено ранее в нашей лаборатории, при нагреве напряженных пермалловых частиц данного состава до температуры 200 °С, все напряжения в частицах необратимо исчезали. Следовательно, после отжига образца, можно считать образец с частицами ненапряженным. Далее, проводился цикл экспериментов, описанный выше. Таким образом, были измерены зависимости количества перемагнитившихся частиц от величины внешнего магнитного поля при температуре 100 °С: для напряженных частиц (до отжига) и для ненапряженных частиц (после отжига). Такие зависимости измерялись как для перпендикулярной ориентации наведенных напряжений относительно длинных осей частиц, так и для параллельной.

В результате работы было выяснено, что напряжения сжатия, в зависимости от их ориентации относительно длинных осей частиц пермаллоя, могут как уменьшать поле переключения частиц во внешнем магнитном поле при температуре выше комнатной, так и увеличивать.

### Литература

1. Нургазизов Н.И., Бизяев Д.А., Бухараев А.А //ФТТ 58, 2016, стр. 917.
2. Бизяев, Д.А., Бухараев, А.А., Лебедев, Д.В., Нургазизов, Н.И., Ханипов, Т.Ф. // Письма в ЖТФ 38, 2012, стр. 8.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВЧ И ВЧ ПРОВОДИМОСТИ МАГНИТНЫХ КОМПЗИТНЫХ ПЛЁНОК

Холопов Н.В.

Сыктывкарский государственный университет им. Питирима, Сыктывкар, Россия.

Композитные пленки, имеющие сложную металлодиэлектрическую структуру, вызывают интерес исследователей, благодаря своим уникальным проводящим, магнитным и оптическим свойствам [1]. Результаты исследований ВЧ и СВЧ проводящих свойств композитных плёнок способствуют развитию новых идей и принципов, которые вызывают потребность в более глубоком и детальном теоретическом анализе, и постановке комплексных экспериментальных исследований. Исследование электрических свойств композитных плёнок необходимо для объяснения механизмов электро переноса, понимания связи проводящих свойств с нано- и микроструктурой, особенно в СВЧ диапазоне, который широко используется в современной радиотехнике и линиях связи. Исследуемыми композитными плёнками в работе являлись плёнки на ситалловой подложке составов  $\{(Co+Fe+B)+(C_2)\}$ . Получение исследуемых композитных плёнок описано в работе [1].

Для экспериментального исследования проводимости была собрана установка (рис. 1), состоящая из генератора качающейся частоты (1), двух одинаковых коаксиальных кабелей (2,4), подключаемого модуля (3), в который вставлялись исследуемые плёнки и анализатора спектра (5) GSP-7830. Выходное сопротивление ГКЧ, входное сопротивление анализатора спектра и волновое сопротивление коаксиальных кабелей были равны 50 Ом. Для исследования сопротивления композитных плёнок на постоянном токе, был использован мегаомметр.

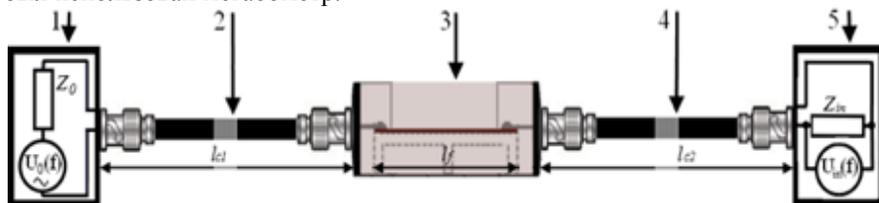


Рис. 1. Блок схема установки для исследования ВЧ и СВЧ проводимости.

Получены спектры потерь мощности сигнала в установке с композитной плёнкой (Рис.2.). Для определения эквивалентной схемы композитной плёнки, было измерено сопротивление плёнки в установке по постоянному току. Далее вместо композитной плёнки в модуль была установлена медная плёнка, разрезанная на две части, которые были соединены между собой

SMD резистором. Номинал резистора был равен сопротивлению композитной плёнки на постоянном токе (Рис. 2). В случае с композитной плёнкой, потери в установке были больше. Такое отличие спектров композитной плёнки, от спектров металлической плёнки с резистором, связано с магнитными свойствами композитной плёнки. Сложная металлическая структура из металла, в состав которого входит Co и Fe приводит к возникновению индуктивного сопротивления пропорционального частоте, которое уменьшает мощности сигнала, приходящего до анализатора спектра. Для установки в модуль схемы, состоящей из резистора, с сопротивлением, равным сопротивлению композитной плёнки и индуктивности, была изменена форма медной металлической плёнки, к которой был припаян резистор. Форма металлической плёнки была в виде меандра.

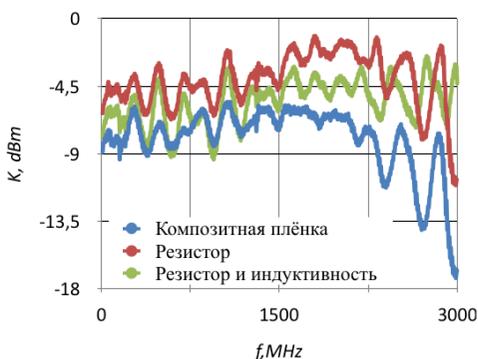


Рис.2. Спектр потерь мощности сигнала в установке

Были получены спектры в установке с резистором и металлической плёнкой в форме меандра (Рис.2.). Из спектров видно, что с увеличением индуктивности металлической плёнки, потери в линии увеличились. Таким образом, используя анализатор спектра и подбирая параметры индуктивности схемы, можно определить параметры эквивалентной схемы, которые определяют проводящие свойства композитных плёнок в ВЧ и СВЧ диапазоне.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (номер гранта: 17-02-01138).

### Литература

1. Котов Л. Н. и др. Магнитная структура, высокочастотные и сверхвысокочастотные электрические потери в композитных плёнках  $(\text{Co}_{0,5}\text{Fe}_{0,5}\text{Zr}_{0,01})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{(1-x)/5}$  // Вестник Челябинского государственного университета. 2015. No 22 (377). Физика. Вып. 21. С. 75–82.

## СЕКЦИЯ «НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ В УСТРОЙСТВАХ ЭНЕРГЕТИКИ»

УДК 541.136.88, 544.643.076.2, 537.39, 537-72

### О ПРЕОБРАЗОВАНИИ ПРОСТЫХ АЛКАЛИНОВЫХ БАТАРЕЕК В АККУМУЛЯТОРНЫЕ

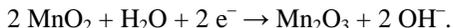
Шарипов Р. А.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия.

Считается, что щелочные (алкалиновые) батарейки были придуманы Льюисом Урри в 1950-е годы. Патент на них [1] был оформлен Полом Марсалом, Карлом Кордешем и Льюисом Урри в 1957 году и получен в 1960 году. Патентообладатель — компания Union Carbide. В настоящее время алкалиновые батарейки практически полностью вытеснили солевые марганцево-цинковые батарейки для нужд бытовой электроники. В их составе также присутствует марганец и цинк, но цинк уже не является материалом корпуса, а содержится в виде мелкогранулированного порошка. Цинковый порошок контактирует с латунным стержнем, который связан с отрицательным полюсом батарейки. И в солевых, и в алкалиновых батарейках энергия в основном вырабатывается за счёт окисления цинка:



Электроны, проходя через внешнюю цепь, совершают работу и возвращаются на положительный полюс батареи, которым служит стальной цилиндрический стаканчик. К стаканчику с внутренней стороны припрессован порошок диоксида марганца  $\text{MnO}_2$  в смеси с графитовым порошком или сажей, которые обеспечивают электропроводность. Электроны, прибывшие из внешней цепи, восстанавливают  $\text{MnO}_2$  до  $\text{Mn}_2\text{O}_3$ . Это препятствует выделению водорода и восполняет запас гидроксил-ионов:



Источником гидроксил-ионов  $\text{OH}^-$  служит щелочной электролит — раствор гидроксида калия КОН.

Задача превращения алкалиновых батареек в аккумуляторные состоит в обращении приведённых выше реакций в процессе зарядки. В докладе обсуждаются пути достижения этого при помощи полной замены щелочного электролита либо введением в его состав дополнительных веществ, а также возможной замены диоксида марганца при сохранении металлического цинка как основного накопителя энергии.

### Литература

1. Marsal P.A., Kordesch K., Urry L., Dry cell, US patent 2960558, 1960.

© Шарипов Р. А., 2018 г.

## ДСК КАЛОРИМЕТРИЯ И РЕНТГЕНОФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СУЛЬФИДОВ МЕДИ

$\text{Na}_{0,05}\text{Cu}_{1,95}\text{S}$ ,  $\text{Na}_{0,075}\text{Cu}_{1,925}\text{S}$ ,  $\text{Na}_{0,1}\text{Cu}_{1,9}\text{S}$ ,  $\text{Na}_{0,15}\text{Cu}_{1,85}\text{S}$ .

Кубенова М.М.<sup>1,2</sup>, Агилова Н.Г.<sup>1</sup>, Балапанов М.Х.<sup>1</sup>, Ишембетов Р.Х.<sup>1</sup>

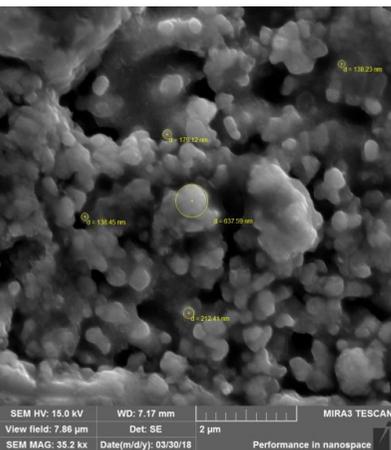
<sup>1</sup>Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

<sup>2</sup>Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г.Астана, Казахстан

Поиск новых эффективных материалов для термоэлектрических генераторов является одной из важнейших задач альтернативной энергетики. Перспективными в этом отношении представляются суперионные

халькогениды, обладающие высокими термоэлектрическими характеристиками [1-2]. В данной работе исследовались фазовые переходы в термоэлектрических наноматериалах  $\text{Na}_{0,05}\text{Cu}_{1,95}\text{S}$ ,  $\text{Na}_{0,075}\text{Cu}_{1,925}\text{S}$ ,  $\text{Na}_{0,1}\text{Cu}_{1,9}\text{S}$ .

Нанопорошки данных материалов с размерами частиц 20-200 нм были синтезированы при температуре 165 °С. Реакция синтеза осуществлялась в смешанной среде гидрооксидов NaOH и KOH. Кривые дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) были сняты на приборе DSC 404 фирмы NETZSCH в среде аргона. На рис. 2



представлена кривая ДСК для образца  $\text{Na}_{0,05}\text{Cu}_{1,95}\text{S}$ .

Рис. 1. Вид частиц нанопорошка  $\text{Na}_{0,05}\text{Cu}_{1,95}\text{S}$ .

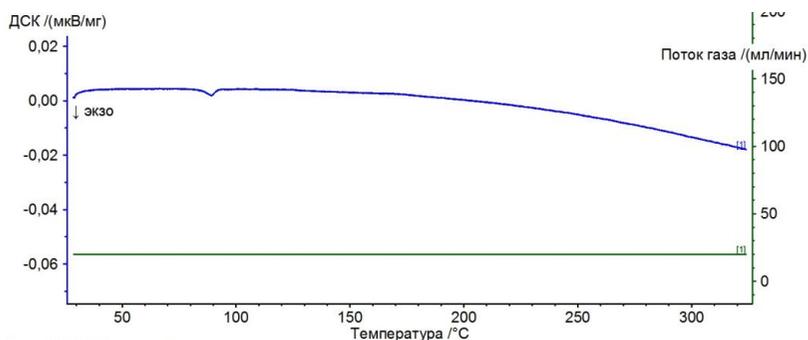


Рис. 2 Кривая дифференциальной сканирующей калориметрии образца  $\text{Na}_{0,05}\text{Cu}_{1,95}\text{S}$ .

Как видно из кривой ДСК на рис.1, в  $\text{Na}_{0,05}\text{Cu}_{1,95}\text{S}$  наблюдается единственный экзотермический тепловой эффект с пиком при температуре  $\approx$

87 °С. Из известных в системе Cu-S фазовых переходов при этой температуре может совершаться переход из низкотемпературной фазы дюрлеита, который в зависимости от химического состава (от  $\text{Cu}_{1,934}\text{S}$  до  $\text{Cu}_{1,971}\text{S}$ ) может протекать в интервале температур от  $72 \pm 3$  °С до  $93 \pm 2$  °С. Другая возможность – это фазовый переход из моноклинного халькоцита  $\text{Cu}_2\text{S}$  в гексагональный, который при дефиците меди (состав  $\text{Cu}_{1,993}\text{S}$ ) вместо 104 °С может происходить при  $90 \pm 2$  °С [3]. При 91 °С также зафиксирован переход из низкотемпературного дигенита  $\text{Cu}_{1,8}\text{S}$  в высокотемпературный.

На рисунке 3 приведен спектр рентгенофазового анализа образца  $\text{Na}_{0,05}\text{Cu}_{1,95}\text{S}$ , снятый на дифрактометре D8 ADVANCE ECO (Bruker, Германия) с использованием излучения  $\text{CuK}_\alpha$  при комнатной температуре. Согласно спектру, при комнатной температуре образец представляет собой смесь фаз ромбоэдрического дигенита  $\text{Cu}_9\text{S}_5$  (PDF 00-047-1748) и орторомбического  $\text{CuS}_2$  (PDF 01-082-6358).

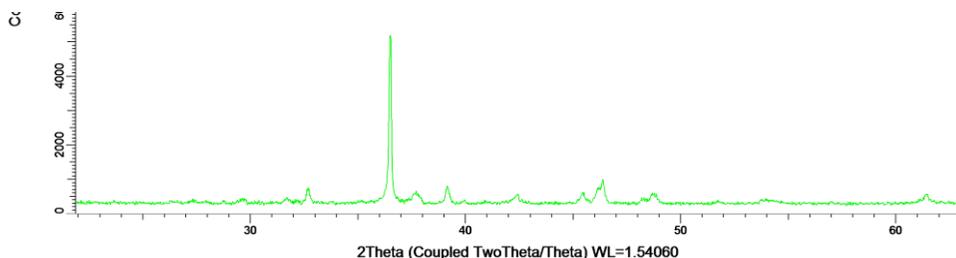


Рис.3 Спектр рентгенофазового анализа образца  $\text{Na}_{0,05}\text{Cu}_{1,95}\text{S}$  при комнатной температуре.

В работе получены и проанализированы аналогичные данные и для образцов  $\text{Na}_{0,075}\text{Cu}_{1,925}\text{S}$ ,  $\text{Na}_{0,1}\text{Cu}_{1,9}\text{S}$ ,  $\text{Na}_{0,15}\text{Cu}_{1,85}\text{S}$ .

### Литература

1. Балапанов М.Х., Ишембетов Р.Х., Кутербеков К.А., Кубенова М.М., Даниленко В.Н., Назаров К.С., Якшибаев Р.А. Термоэлектрические и тепловые свойства суперионных сплавов  $\text{Ag}_x\text{Cu}_{2-x}\text{Se}$  ( $x = 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.25$ ). // Письма о материалах. 2016. Т. 6. № 4 (24). С. 360-365.
2. Балапанов М.Х., Ишембетов Р.Х., Ишембетов С.Р., Кубенова М.М., Кутербеков К.А., Назаров К.С., Якшибаев Р.А. Электронная и ионная термоэдс в смешанных проводниках  $\text{Ag}_{0,25-\delta}\text{Cu}_{1,75}\text{Se}$ ,  $\text{Ag}_{1,2-\delta}\text{Cu}_{0,8}\text{Se}$  // Электрохимия. 2017. Т. 53. № 8. С. 964-971.
3. Chakrabarti DJ, Laughlin DE (1983) The Cu-S (Copper-Sulfur) system. J Phase Equilibria 4(3):254-271. doi: 10.1007/BF02868665

© Агилова Н.Г., Кубенова М.М., Балапанов М.Х., Ишембетов Р.Х., 2018 г.

УДК 538.9, 54.057,

## СИНТЕЗ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КВАНТОВЫХ ТОЧЕК CdSe и CdS

Адалбек Н., Халилова И., Абдраман Б.К.

Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, г. Астана,  
Казахстан.

В настоящее время наночастицы изучаются как перспективное практическое применение новых материалов солнечной энергетики, как материалы потенциально способные повысить КПД солнечных ячеек (СЭ). Одно из направлений например кроется в возможности реализации «luminescent down conversion» (LDC), т.е. трансформации высокоэнергетической части солнечного излучения при взаимодействии с пленкой, в результате которого наночастицы будут люминесцировать в низкоэнергетической области спектра. Потенциальные «LDC» материалы должны обладать следующие свойствами: широкой областью поглощения (и/или возбуждения); заданным узким спектром испускания и др. [1]. Всем этим требованиям удовлетворяют квантовые точки полупроводников. Как мы знаем селенид кадмия CdSe это прямозонный полупроводник ( $E_g=1,74$  эВ) группы  $A^{II}B^{VI}$ , который особенно интересен для фотовольтаики поскольку охватывает видимый диапазон спектра, который также соответствует диапазону чувствительности большинства детекторов излучений и детекторов изображения [2,3]. Интерес к данному полупроводнику обусловлен также тем, что он обладает полосой люминесценции совпадающей с областью спектральной чувствительности действующих кремниевых солнечных элементов.

Кристаллическая фаза CdSe стабильная и относится к вюрциту, фаза цинковая обманка метастабильна. CdSe в кристаллической фазе вюрцита кристаллизуется в пространственной группе  $P6_3mc$  с параметрами решетки  $a = 4,302 \text{ \AA}$  и  $c = 7,014 \text{ \AA}$ . CdSe в кристаллической структуре вюрцита представляет собой полупроводник с прямой зоной II-VI. Энергия связи экситонов составляет 13,2 мэВ, а энергия экситонного перехода - 1,82 эВ [4]. Радиус экситона Бора объемных материалов CdSe имеет размер  $\approx 6$  нм. Таким образом, квантовые точки (КТ) селенида кадмия могут быть определены как частицы, изготовленные из CdSe с размерами в интервале от 2 до 10 нм.

В рамках данной работы проводятся работы по синтезу КТ CdSe «наилучшего качества» по модифицированной методике работ [5-8], получение КТ обладающих большим квантовым выходом люминесценции в красной области спектра. Постановка данной задачи требует решения многих задач, таких как выбор оптимальных параметров синтеза для воспроизводимого получения КТ; определение влияния условий синтеза на

свойства КТ; получение КТ с большим квантовым выходом люминесценции на уровне 50-60% и многое др.

Проведение собственных исследований, литературный обзор существующих работ показывает, что СЭ с LDS слоями, содержащими КТ, могут обеспечить улучшенные электрические показатели. Однако, увеличение КПД остается слабым из-за низкого квантового выхода люминесценции КТ. Следовательно, синтез высококачественных КТ является ключевой проблемой для повышения эффективности фотоэлектрических устройств с помощью слоя LDS[9]. На решение данной проблемы будут направлены усилия.

### **Благодарности.**

Авторы работ благодарят научного руководителя гранта ИРН АР05131725 КН МОН РК за возможность проведения исследовательских работ.

### **Список использованной литературы**

1. Sgrignuoli F., Paternoster G., Marconi A., Ingenhoven P., Anopchenko A. etc. // *Journal of Applied Physics*, 2012, v.111, pp.034303.
2. Yang L., Mao H., Wang Y.A., Cao Z., Peng X., Wang X., Duan H., Ni C., Yuan Q., Adams G., Smith M.Q., Wood W.C., Gao X., Nie S. Single chain epidermal growth factor receptor antibody conjugated nanoparticles for in vivo tumor targeting and imaging // *Small*, 2009, v.5, pp.235-243.
3. Jaiswal J.K., Mattoussi H., Mauro J.M., Simon S.M. Long-term multiple color imaging of live cells using quantum dot bioconjugates // *Nat. Biotechnol.*, 2003, v.21, pp. 47-51.
4. Börnstein L. *Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology. Group III Condensed Matter*, v. 41, Semiconductors, II-VI and I-VII Compounds; Semimagnetic Compounds. Berlin, Heidelberg: Springer, 1999.
5. L. Qu, Z.A. Peng, and X. Peng, *Nano Lett.* 1 (2001) 333.
6. S. Gallardo, M. Guterrez, A. Henglein, and E. Janata, *Ber. Bunsenges.* 93 (1989)1080.
7. C. B. Murray, D. J. Norris, and M. G. Bawendi, *J. Am. Chem. Soc.*115 (1993) 8706.
8. C. B. Murray, S. H. Sun, W. Gaschler, H. Doyle, T. A. Betley, and C. R. Kagan, *IBM J. Res. Dev.* 45 (2001) 47.
9. Xuan T.T., Liu J.Q., Li H.L., Sun H.C., Pan L.K., Chen X.H. and Sun Z. // *RSC Adv.*, 2015, v.5, pp. 7673–7678.

## ЯВЛЕНИЯ ИОННОГО ПЕРЕНОСА В ДВУМЕРНЫХ СУПЕРИОННЫХ ПРОВОДНИКАХ

Акманов А.А., Акманова Г.Р.

Башкирский государственный университет, г.Уфа, Россия

В работе представлены экспериментальные результаты измерения ионной проводимости и диффузии в соединениях  $\text{CuCrS}_2$ ,  $\text{AgCrS}_2$  и их сплавах. Образцы для исследований были приготовлены спеканием при температуре 1273 К из чистых элементов, взятых в соответствующих весовых пропорциях, в кварцевых ампулах в вакууме.

Ионная проводимость соединений измерялась на постоянном токе методом подавления электронной составляющей с использованием сложных ионных электродов, блокирующих электронный ток, в температурном интервале 250-430 °С. Величины ионной проводимости при 400 °С для  $\text{CuCrS}_2$  равна  $0,08 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$ , для соединения  $\text{AgCrS}_2$  величина ионной проводимости -  $0,35 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$ .

Для всех исследуемых соединений из кривых установления и спада концентрационной поляризации при пропускании тока через образец определялся коэффициент химической диффузии, который с увеличением содержания меди в твердом растворе уменьшался (таблица). Методом радиоактивных изотопов были определены коэффициенты самодиффузии серебра при 420 °С в данных соединениях.

| Состав   | $\tilde{D} \cdot 10^{-3},$<br>$\text{см}^2/\text{с}$ | $t_i = 1 - t_e \frac{V_i^i(0)}{V_i^i(\infty)}$ | $t_i = \frac{\sigma_i}{\sigma_0}$ |
|--|--|--|-----------------------------------|
| $\text{CuCrS}_2$                               | 0.5  | 0.08   | 0.10                              |
| $\text{Cu}_{0,75}\text{Ag}_{0,25}\text{CrS}_2$ | 1.8  | 0.19   | 0.21                              |
| $\text{Cu}_{0,5}\text{Ag}_{0,5}\text{CrS}_2$   | 2.1  | 0.42   | 0.45                              |
| $\text{Cu}_{0,25}\text{Ag}_{0,75}\text{CrS}_2$ | 1.7  | 0.69   | 0.73                              |
| $\text{AgCrS}_2$                               | 1.5  | 0.88   | 0.92                              |

Определенные таким образом значения чисел переноса при 673 К хорошо согласуются со значениями, полученными из прямых измерений общей и ионной составляющих проводимостей, что показывает правомерность использования для подобных систем теории смешанной ионно-электронной проводимости, разработанной для соединений группы халькогенидов меди и серебра.

© Акманов А.А., Акманова Г.Р. 2018 г.

## A STUDY ON PV PARAMETERS, RADIATION CHARACTERISTICS POLYCRYSTALLINE SOLAR CELL AT DIFFERENT TEMPERATURE AND LIGHT

Alieva A., Yussupbekova B.

L.N. Gumilyov Eurasian national university, Astana, Kazakhstan

Current manufacturing of solar cells is in the second stage of its development and is almost entirely based on polycrystalline silicon, with energy efficiency rate of 10-12% [1], the smallness of such a parameter forces scientists to search for new materials and new technologies that will significantly increase it in the future. The purpose of this work is to establish the regularity of the change in the electrical parameters of silicon solar cells (and surface-modified samples of surface solar cells) at high temperatures, to determine the effect of illumination and temperature on the rate of radiation degradation of the parameters of silicon solar cells. As the temperature of the solar cell is known, the intensity (and spectral composition) of the solar radiation incident on the surface of the solar cell is one of the factors that affect its effective operation. Table 1- Photovoltaic parameters

| $V_{oc}$ , V | $I_{sc}$ , A | $J_{sc}$<br>mA/cm <sup>2</sup> | $I_{max}$ , A | $V_{max}$ , V | $P_{max}$ , mW | Fill<br>Factor | Efficiency | Temp.<br>°C |
|--------------|--------------|--------------------------------|---------------|---------------|----------------|----------------|------------|-------------|
| 0.5598       | 0.0433       | 10.8380                        | 0.0406        | 0.5148        | 20.9149        | 86.1730        | 19.0136    | 25.564      |
| 0.4911       | 0.0587       | 6.1860                         | 0.0539        | 0.4610        | 24.8627        | 86.1392        | 14.6536    | 35.153      |
| 0.4779       | 0.0603       | 6.3543                         | 0.0556        | 0.4514        | 25.1098        | 87.0247        | 14.7992    | 40.454      |

polycrystalline silicon cells at different temperature

Preliminary studies of the dependence of the main parameters of the solar cell on temperature showed that with a rise in temperature above room temperature, the short-circuit current ( $I_{sc}$ ) increases slightly, the open circuit voltage ( $V_{oc}$ ), the maximum power at the optimum load ( $P_{max}$ ), the filling factor of the current-voltage characteristic (FF) and the efficiency decreases.

The growth of the photocurrent with increasing temperature [2] is explained by the change in light absorption. As the temperature of the element rises, the absorption edge shifts due to the narrowing of the crystal gap ( $E_g$ ), and the number of pairs generated in the volume increases. On the other hand, with increasing temperature, the light absorption coefficient changes. As a result, the photocurrent increases with increasing temperature. However, with a further increase in temperature, other processes leading to a reduction in the photocurrent are started.

We also studied the spectral characteristics of silicon solar cells for study to application luminescent down conversion nanomaterials.

### Reference

1. L.M.Nikolaenko, V.F.Razumov, Uspekhi khimii, 2013, 82(5), 429-448
2. Energy Reports1 (2015) 104-109

**РАЗДЕЛЕНИЕ ВКЛАДОВ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ В СПЕКТРАХ  
ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОНОВ СТРУКТУР Fe-Si**

Андрющенко Т.А., Игуменов А.Ю., Канзычакова В.О., Паршин А.С.  
Сибирский государственный университет науки и технологий имени  
академика М. Ф. Решетнева, г. Красноярск, Россия

В настоящее время всё более актуальным становится использование фотоэлектрических преобразователей, разработка которых вносит значительный вклад в развитие нанотехнологий. Для их создания широко применяются силициды железа, свойства которых исследованы посредством спектроскопии характеристических потерь энергии электронов.

В данной работе рассмотрены спектры сечения неупругого рассеяния электронов Fe, Si и FeSi. Полученные в результате эксперимента данные исследованы с помощью математических методов, таких, как разложение на пики и факторный анализ [1-2].

Экспериментальные спектры получены с помощью сверхвысоковакуумного фотоэлектронного спектрометра SPECS (Германия) при энергиях первичных электронов 300, 600, 1200, 1900, 3000 эВ. Проведен анализ спектров сечения неупругого рассеяния электронов FeSi. Спектры сечения неупругого рассеяния электронов ( $K\lambda$ -спектры [3]) представляют собой произведение средней длины неупругого пробега электронов  $\lambda$  и дифференциального сечения неупругого рассеяния  $K(E_0, E_0 - E)$ , где  $E_0$  и  $E$  – энергии первичных и отраженных электронов, соответственно,  $T = E_0 - E$  – потери энергии электронов. Согласно алгоритму [3], с помощью программного пакета QUASES<sup>TM</sup> XS REELS [4] были получены спектры сечения неупругого рассеяния электронов из экспериментальных спектров потерь энергии отраженных электронов.

На спектрах сечения неупругого рассеяния электронов Fe, Si и FeSi наблюдаются пики, соответствующие поверхностному и объемному плазмону, которые сливаются между собой. В работах [5-10] данные пики были разделены при помощи аппроксимации спектров функциями Тоугарда. В данной работе для их разделения использован факторный анализ. С помощью матричного умножения и подбора коэффициентов, исходный спектр удастся представить как сумму объемного и поверхностного вкладов.

Факторный анализ использован для разделения спектров сечения неупругого рассеяния электронов Fe, Si и FeSi на поверхностную и объемную компоненты. Возрастающая и убывающая зависимости амплитуд вкладов от энергии первичных электронов подтверждают их объемную и поверхностную природу.

**Литература**

1. Jin, H. Measurement of optical constants of Si and SiO<sub>2</sub> from reflection electron energy loss spectra using factor analysis method / H. Jin, H. Shinotsuka, H. Yoshikawa, H. Iwai, S. Tanuma, S. Tougaard // Journal of applied physics, 2010, № 107, P. 083709, 1-11.

2. Jin, H. Inelastic Scattering Cross Section of Si Determined from Angular Dependent Reflection Electron Energy Loss Spectra / H. Jin, H. Yoshikawa, H. Iwai, S. Tanuma, S. Tougaard // Journal of Surface Analysis, 2009, Vol.15, № 3, P. 321-324.

3. Tougaard S., Differential inelastic electron scattering cross sections from experimental reflection electron-energy-loss spectra: Application to background removal in electron spectroscopy // Phys.Rev. B, 1987, Vol. 35 (13). P. 6570-6577.

4. QUASES – Software packages to characterize surface nano-structures by analysis of electron spectra. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.quases.com> (дата обращения: 10.04.2018).

5. Расчет вероятности генерации поверхностных возбуждений электронами, отраженными от поверхности Si / А. Ю. Игуменов, А. С. Паршин, Ю. Л. Михлин и др. // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева, 2014, Том 56 (4), С. 230-235.

6. Тонкая структура спектров сечения неупругого рассеяния электронов и поверхностный параметр Si / А.С. Паршин, А.Ю. Игуменов, Ю.Л. Михлин и др. // Физика и техника полупроводников, 2015, Том 49 (4), С. 435-439.

7. Сравнительный анализ спектров характеристических потерь энергии электронов и спектров сечения неупругого рассеяния в Fe / А. С. Паршин, А. Ю. Игуменов, Ю. Л. Михлин и др. // Физика твердого тела, 2016, Том 58 (5), С. 881-887.

8. Исследование дисилицида железа методами электронной спектроскопии / А. С. Паршин, А. Ю. Игуменов, Ю. Л. Михлин и др. // Журнал технической физики, 2016, Том 86 (9), С. 136-140.

9. Fine structure of inelastic electron scattering cross-section spectra for Mn / A. S. Parshin, A. Yu. Igumenov и др. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2016, Том 122, С. 012025, 1-7.

10. Reflection electron energy loss spectroscopy of structures based on silicon and transition metals / A. S. Parshin, A. Yu. Igumenov и др. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2017, Том. 255, С. 012019, 1-7.

©Андрющенко Т.А., Игуменов А.Ю., Канзычакова В.О., Паршин А.С., 2018

## ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И ДСК КАЛОРИМЕТРИЯ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СУЛЬФИДОВ

**$K_{0.1}Cu_{1.9}S$ ,  $K_{0.15}Cu_{1.85}S$ ,  $K_{0.2}Cu_{1.8}S$**

Кубенова М.М.<sup>1,2</sup>, Ахметгалиев Б. М.<sup>1</sup>, Кутербеков К.А.<sup>2</sup>, Балапанов М.Х.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

<sup>2</sup>Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г.Астана,  
Казахстан

Суперионные полупроводниковые халькогениды являются перспективными полупроводниковыми материалами для термоэлектрических генераторов [1-4]. В данной работе для улучшения термоэлектрических свойств сульфида меди использовалось допирование калием и наноструктурирование материала. Термоэлектрические наноматериалы  $K_{0.1}Cu_{1.9}S$ ,  $K_{0.15}Cu_{1.85}S$ ,  $K_{0.2}Cu_{1.8}S$  были синтезированы при температуре 165 °С. Реакция синтеза осуществлялась в смешанной среде гидроксидов NaOH и KOH. Размеры частиц синтезированного порошка лежали в диапазоне 30-300 нм.

Методом дифференциальной сканирующей калориметрии в атмосфере воздуха в  $K_{0.1}Cu_{1.9}S$  обнаружен эндотермический тепловой эффект 5.5 мДж·г<sup>-1</sup>, сопровождающий фазовый суперионный переход. Начало фазового перехода при 93 °С, окончание – при 102 °С. Температура перехода соответствует фазовому переходу из низкотемпературной орторомбической фазы сульфида меди в среднетемпературную гексагональную модификацию.

Увеличение содержания калия в сульфиде меди до состава  $K_{0.2}Cu_{1.8}S$  приводит к «сглаживанию» эндотермического теплового эффекта около 100 °С до 1.6 мДж·г<sup>-1</sup>.

Рентгенофазовый анализ при комнатной температуре показал наличие кубической и орторомбической фаз сульфида меди различной нестехиометрии.

### Литература

1. P.Qiu , X. Shi, L. Chen. Cu-based thermoelectric materials // Energy Storage Materials. 2016. V.3. P.85–97. DOI: 10.1016/j.ensm.2016.01.009
2. Балапанов М.Х., Ишембетов Р.Х., Кутербеков К.А., Кубенова М.М., Даниленко В.Н., Назаров К.С., Якшибаев Р.А. Термоэлектрические и тепловые свойства суперионных сплавов  $Ag_xCu_{2-x}Se$  ( $x = 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.25$ ). // Письма о материалах. 2016. Т. 6. № 4 (24). С. 360-365.
3. Ишембетов Р.Х., Юлаева Ю.Х., Балапанов М.Х., Шарипов Т.И., Якшибаев Р.А. Электрофизические свойства наноструктурированного селенида меди ( $Cu_{1.9}Li_{0.1}Se$ ). // Перспективные материалы. 2011. № 12. С. 55-59.
4. Балапанов М.Х., Ишембетов Р.Х., Кутербеков К.А., Нурахметов Т.Н., Уразаева Э.К., Якшибаев Р.А. Влияние дефектности катионной подрешетки на электронную термо-эдс в  $Li_xCu_{(2-x)}S$  ( $x < 0.25$ ) // Неорганические материалы. 2014. Т. 50. № 9. С. 1006.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИОННОЙ ПРОВОДИМОСТИ  
ТВЕРДОКСИДНОГО КАТОДА НА ОСНОВЕ  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$** 

Байрбаева Г.Б., Агабеков Ж.Х.

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана,  
Республика Казахстан

Применение электрохимических установок на основе топливных элементов для генерации электроэнергии может способствовать преодолению сырьевых и экологических проблем. Топливный элемент – электрохимическое устройство, преобразующее химическую энергию в электрическую. Твердооксидные топливные элементы (ТОТЭ) являются наиболее перспективными. КПД ТОТЭ составляет около 50%. В ТОТЭ в качестве электролита применяется твердый керамический материал, который позволяет достигать высоких рабочих температур – 900...1000 °С. В качестве катода ТОТЭ используются соединения типа манганита лантана-стронция. Для создания высокоэффективных катодов твердооксидных топливных элементов необходимо синтезировать материалы со смешанной ионно-электронной проводимостью. Основным свойством материала катода является высокая подвижность кислорода решетки, высокая реакционная способность и каталитическая активность. Актуальной задачей современной физики и химии твердого тела является создание ТОТЭ, работающих эффективно при температурах ниже 900-1000 °С [1].

Моделирование процессов ионной проводимости в твердооксидном катоде на основе манганита лантана будет проводиться с использованием пакета полуэмпирических квантово-химических программ MORAC-2016 в приближении РМ-7. Нами построена структура манганита лантана, состоящая из 135 атомов, т.е. 27 атомов La, 27 атомов марганца, 81 атомов кислорода, соответствующая кубической структуре. Размеры рассматриваемых наноструктур составили около 14, 15 и 16 ангстрем, соответственно в трех направлениях. В работе будет обсуждаться результаты квантово-химического моделирования процессов миграции ионов кислорода в кубической структуре кристаллов  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ ,  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{FeO}_3$  и  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3$ .

**Литература**

1. Mastrikov Yu.A., Guo S., Puleo F., Liotta L.F., Kotomin E.A. First Principles Modeling of Pd-doped (La,Sr)(Co,Fe)O<sub>3</sub> Complex Perovskites. // Fuel cells, April, 2016, v.16, Issue2. pp. 267-271.

Работа выполнена в рамках исследований по проекту ИРН: AP05131725.

## ТЕЧЕНИЕ ДИСКОЦИТОВ В СОСУДЕ СО СТЕНОЗОМ

Ганиева Ю. Р., Газизова Г. А.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

В последние годы активно развивается микрогидродинамика, изучающая течение газов, жидкостей и многофазных сред в микроканалах.

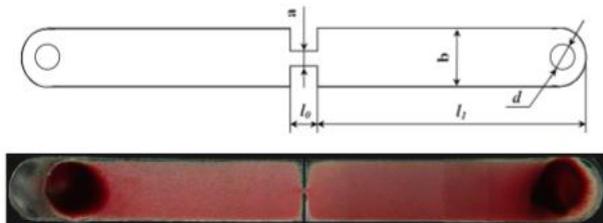


Рис.1. Схематическое изображение микрожидкостного устройства со ступенчатым сужением, ниже фотография при пропускании крови ( $l_0=100\text{мк}$ , глубина  $2h=50\text{мк}$ ,  $a=50\text{мк}$ ,  $b=1\text{мм}$ , общая длина  $10\text{мм}$ ,  $d=2\text{мм}$ )

Кровеносная система человека, включающая в себя вены, артерии и капилляры, представляет собой систему микроканалов, по которым течет кровь. Цельная кровь-это суспензия, состоящая из плазмы и форменных элементов (эритроциты, тромбоциты, лейкоциты, ...), а в разбавленной основными являются анизотропные включения. Условия течения крови в

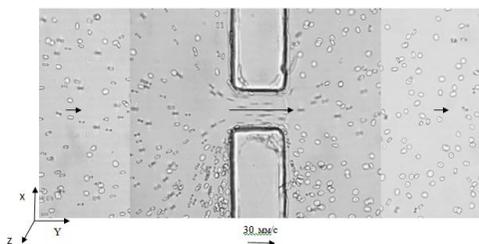


Рис. 2. Изменение ориентации дискотиков в области сужения микроканала(объемная концентрация 1% эритроцитов в физрастворе).

сосудах со стенозом являются аномальными [1], по отношению к гидродинамическим условиям течения крови в кровеносной системе здорового организма. В сосудах со стенозом скорость деформации сдвига в

сужении многократно превышает ее значение в здоровой части сосуда(порядка  $100 \text{ с}^{-1}$  в здоровом организме).

Гидродинамика крови определяется движением эритроцитов (от греческого «erythros»-красный, «kytos»-клетка), также известных под названием дискоциты - двояковогнутые диски (из-за их формы), потому что их содержание в крови на 2 порядка больше, чем остальных форменных элементов. Чтобы, изучить течение крови в сосуде со стенозом, было разработано микрожидкостное устройство (МЖУ) с сужением, имитирующее такой сосуд. Кровь текла через микроканал при перепаде давления 700 Па и под микроскопом с высоким разрешением при помощи высокоскоростной камеры (7000 кадров/сек) изучалось движение эритроцитов.

Следует отметить, что ориентация эритроцитов в потоке цельной крови и в разбавленной в сосуде со стенозом, существенно отличаются. В цельной крови у входа в сужение (зона ускорения) эритроциты ориентируется преимущественно в вертикальной плоскости параллельно линиям тока, а после сужения (зона торможения) практически все переориентируются в горизонтальное положение, перпендикулярно линиям тока и поверхностям ячейки. (Рис. 2). В разбавленной крови, одиночные эритроциты после выхода из сужения переориентируются в горизонтальное положение параллельно линиям тока. Следует отметить, что в ячейке Хили-Шоу распределение скоростей имеет вид  $V = \frac{\Delta P h^2}{2\mu l} \left[ 1 - \left( \frac{z}{h} \right)^2 \right]$ . Измеренные значения скорости показали, что в сужении скорость (170 мм/с) в 18-19 раз больше, чем на расстоянии 700 мк от него (9 мм/с), а скорости деформации сдвига различаются 13 раз (в сужении  $9980 \text{ с}^{-1}$ , на расстоянии 700 мк от сужения  $750 \text{ с}^{-1}$ ). По соотношению сечений основного канала и сужения, скорости в сужении и на расстоянии около 700 мк от него должны различаться в 20 раз, в пределах погрешности полученные значения сопоставляются с соотношением объемного расхода.

#### Литература

1. Ахметов А.Т., Валиев А.А., Рахимов А.А., Саметов С.П., Хабибуллина Р.Р. «Микрогидродинамика крови при стенозе сосудов»// Труды института механики им. Р. Р. Мавлютова Уфимского научного центра РАН. 2016. Т. 11, №2 С. 210-217.

2. Чижевский А. Л. «Структурный анализ движущейся крови».- Издательство АН СССР.-М., 1959.

© Ганиева Ю. Р., Газизова Г. А. 2018

**НАНОСТРУКТУРИРОВАННАЯ ОКСИДОСОДЕРЖАЩАЯ  
ВЫСОКОВОЛЬТНАЯ КЕРАМИКА**

Касмамытов Н.К., Кыдыралиев Э.М., Нургамит К.

Институт физико-технических проблем и материаловедений НАН КР  
г. Бишкек, Кыргызстан

В Институте физико-технических проблем и материаловедения Национальной Академии наук Кыргызской Республики ( ИФТПиМ НАН КР) в лаборатории порошковых материалов разрабатывается технология получения изделий высоковольтной фарфоровой керамики (ВФК) на базе минерального сырья месторождений Кыргызской Республики. В настоящее время Кыргызская Республика не имеет производства по выпуску электротехнических материалов и в частности высоковольтную керамику. Электротехнические изделия в том числе и высоковольтная керамика полностью завозятся из за рубежа для нужд энергосектора экономики Кыргызской Республики. В последние годы в Кыргызстане интенсивно развивается энергетическая отрасль, строится каскад новых гидроэлектростанций и теплоэлектростанций, проводится модернизация старых действующих электростанций, вводятся в строй новые линии электропередач и другие объекты, что приводит к большому и широкому спросу электротехнических материалов, включая и высоковольтные изделия. В связи с этим в ИФТПиМ НАН КР поставлена задача по разработке технологии получения высоковольтной керамики на базе минерального сырья месторождений Кыргызской Республики.

В докладе будут представлены результаты разработки составов наноструктурированной керамической массы, представляющая собой смесь различных нано- и ультрадисперсных порошков. Также будут обсуждены особенности формирования нано - и микроструктуры фарфоровой высоковольтной керамики при различных температурах обжига (спекания), а также будут приведены результаты исследования некоторых физико-механических и электрических свойств [1]. Установлено, что опытная керамика на базе местного сырья является нано- и ультраструктурированной керамикой низкого температурного обжига 1175-1200 °С. Исследованиями показано, что у тонкодисперсных керамических материалов, обожженных при оптимальной температуре, электрические и механические свойства улучшаются по сравнению с традиционными классическими аналогами керамических материалов и соответствуют требованиям высоковольтной ФВК ГОСТа №20419-83. Улучшение свойств ВФК связывается однородностью и равномерностью формирования нано и микроструктуры в процессе обжига изделий, полученных на основе нано- и ультраструктурированной керамической массы.

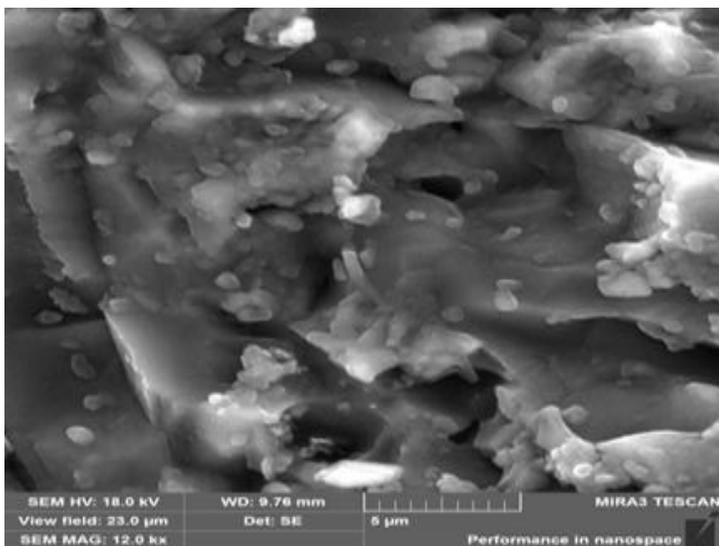


Рис.1. Микроструктура нано структурированной высоковольтной кислородосодержащей керамики.

На рис.1 представлена тонкая микроструктура разработанной ВФК на базе местного сырья месторождений Кыргызской республики. Установлено, что механическая прочность опытных ВФК на изгиб составляет 104 МПа, а пробивное напряжение 49 Кв/мм.

#### Литература:

1. Касмамытов Н.К., Кыдыралиев Э.М., Календеров А.М. Разработка новой керамической массы на основе местного сырья для создания высоковольтной керамики. Науч. журн. «Физика» 2017, №2. -34-39 с.

© Касмамытов Н.К., Кыдыралиев Э.М., Нургамит К., 2018 г.

**ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОВЫЕ СВОЙСТВА  
СУПЕРИОННОГО ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СПЛАВОВ  $\text{Li}_{0,11}\text{Cu}_{1,89}\text{S}$  и  
 $\text{Li}_{0,18}\text{Cu}_{1,82}\text{S}$**

Кубенова М.М., Маркабаева Ф.Н., Хасанова А.Х., Ишембетов Р.Х.,  
Балапанов М.Х.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Поиск новых эффективных материалов для термоэлектрических генераторов является одной из важнейших задач полупроводниковой электроники и альтернативной энергетики. Перспективными в этом отношении представляются суперионные полупроводниковые халькогениды, обладающие высокими термоэлектрическими характеристиками [1-5]. В данной работе для улучшения термоэлектрических свойств сульфида меди использовалось допирование литием и наноструктурирование материала.

Образцы  $\text{Li}_{0,11}\text{Cu}_{1,89}\text{S}$  и  $\text{Li}_{0,18}\text{Cu}_{1,82}\text{S}$  были синтезированы в смешанной среде гидроксидов NaOH и KOH при температурах 165 °С. Из полученного порошка с частицами 50-200 нм под давлением 3 т/см<sup>2</sup> были спрессованы прямоугольные таблетки размерами 3х3х20 мм и измерены одновременно температурные зависимости электронной проводимости и электронного коэффициента Зеебека, а затем - температурные зависимости теплопроводности.

На рисунке 1 показаны температурные зависимости электронной проводимости и электронного коэффициента Зеебека сплава  $\text{Li}_{0,11}\text{Cu}_{1,89}\text{S}$ .

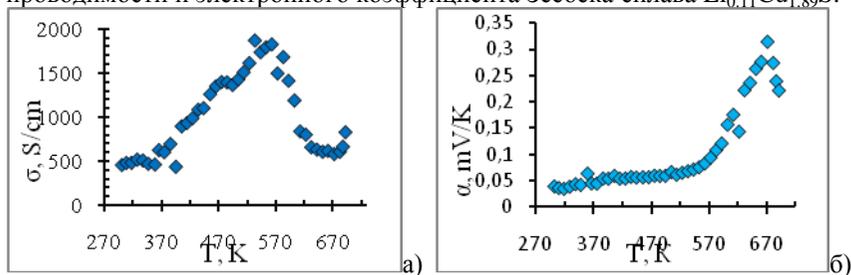


Рис. 1. Электронная проводимость (а) и электронный коэффициент Зеебека (б) сплава  $\text{Li}_{0,11}\text{Cu}_{1,89}\text{S}$ .

На рис. 2 показаны температурные зависимости электронной проводимости и электронного коэффициента Зеебека сплава  $\text{Li}_{0,18}\text{Cu}_{1,82}\text{S}$ .

На рис. 3 представлены температурные зависимости теплопроводности. Наблюдаются очень низкие значения теплопроводности, свойственные суперионному состоянию вещества. Судя по более высокому значению термоэлектрической эффективности  $ZT = \alpha^2 \sigma T / \lambda$ , сплав  $\text{Li}_{0,11}\text{Cu}_{1,89}\text{S}$  представляется более перспективным для практического использования, хотя и коэффициент термо-эд.с.  $\text{Li}_{0,18}\text{Cu}_{1,82}\text{S}$  в несколько раз выше.

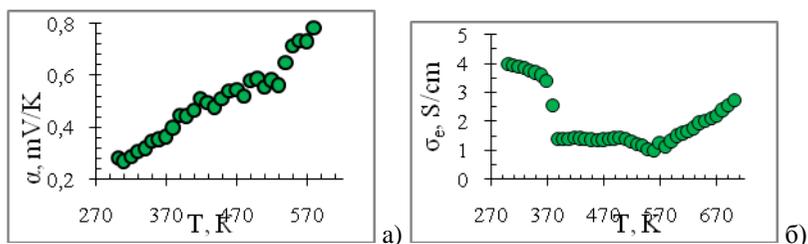


Рис. 2. Электронная проводимость (а) и электронный коэффициент Зеебека (б) сплава  $\text{Li}_{0.18}\text{Cu}_{1.82}\text{S}$ .

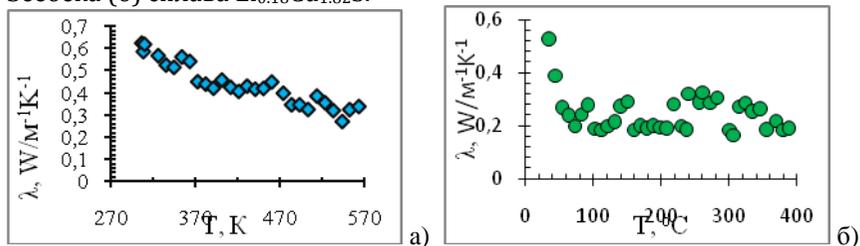


Рис. 3 Температурные зависимости теплопроводности  $\text{Li}_{0.11}\text{Cu}_{1.89}\text{S}$  (а) и  $\text{Li}_{0.18}\text{Cu}_{1.82}\text{S}$  (б).

### Литература

1. P.Qiu , X. Shi, L. Chen. Cu-based thermoelectric materials // Energy Storage Materials. 2016. V.3. P.85–97. DOI: 10.1016/j.ensm.2016.01.009
2. М. Х. Балапанов, И. Б. Зиннуров, К. А. Кутербеков, Р. Х. Ишембетов, М. М. Кубенова, Р. А. Якшибаев. Влияние концентрации меди на электронную проводимость и коэффициент электронной термо-э.д.с. сплавов  $\text{Li}_x\text{Cu}_{1.75-δ}\text{Se}$  ( $x \leq 0.25$ ) // Вестник Башкирского университета. 2017. Том 22, No. 1. С.41-47.
3. Балапанов М.Х., Ишембетов Р.Х., Ишембетов С.Р., Кубенова М.М., Кутербеков К.А., Назаров К.С., Якшибаев Р.А. Электронная и ионная термо-эдс в смешанных проводниках  $\text{Ag}_{0.25-δ}\text{Cu}_{1.75}\text{Se}$ ,  $\text{Ag}_{1.2-δ}\text{Cu}_{0.8}\text{Se}$  // Электрохимия. 2017. Т. 53. № 8. С. 964-971.
4. Балапанов М.Х., Ишембетов Р.Х., Кутербеков К.А., Кубенова М.М., Даниленко В.Н., Назаров К.С., Якшибаев Р.А. Термoeлектрические и тепловые свойства суперионных сплавов  $\text{Ag}_x\text{Cu}_{2-x}\text{Se}$  ( $x = 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.25$ ). // Письма о материалах. 2016. Т. 6. № 4 (24). С. 360-365.
5. Юнусов Р.В., Иванов М.Д., Балапанов М.Х. Теплопроводность сплава  $\text{Na}_{0.2}\text{Cu}_{1.8}\text{S}$  // В книге: Актуальные проблемы микро- и нанoeлектроники. Сборник тезисов докладов IV Всероссийской научной молодежной конференции с международным участием. Ответственный редактор Бахтизин Р.З.. 2016. С. 251.

© Кубенова М.М., Маркабаева Ф.Н., Хасанова А.Х., Ишембетов Р.Х., Балапанов М.Х.

## ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СУПЕРИОННОГО СУЛЬФИДА МЕДИ $\text{Na}_{0,20}\text{Cu}_{1,77}\text{S}$

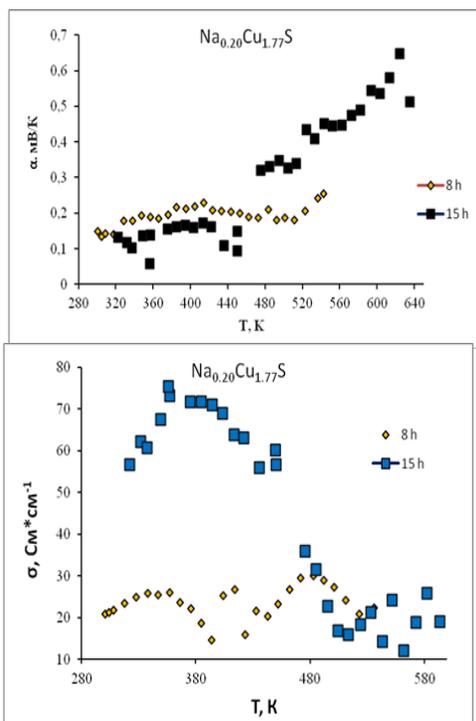
Шахмадеев Д.В., Ишембетов Р.Х.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

На рисунках 1.3 и 1.4 показаны температурные зависимости электронного коэффициента Зеебека и электронной проводимости нестехиометрических образцов  $\text{Na}_{0,20}\text{Cu}_{1,77}\text{S}$ , синтезированных при выдержке 8 ч и 15 ч в расплаве

КОН и NaOH при 165 °С. Для образцов  $\text{Na}_{0,20}\text{Cu}_{1,77}\text{S}$  наблюдается та же закономерность, при увеличении времени выдержки значительно растет проводимость, резче проявляются скачки при фазовых переходах. В целом, проводимость состава  $\text{Na}_{0,20}\text{Cu}_{1,77}\text{S}$  ниже, чем для  $\text{Na}_{0,17}\text{Cu}_{1,80}\text{S}$ , что может объясняться большим содержанием примеси (натрия), создающей центры рассеяния носителей тока. для состава  $\text{Na}_{0,2}\text{Cu}_{1,8}\text{S}$  в области температур от комнатной до температуры фазового перехода около 300 оС наблюдаются высокие значения электронной проводимости, коэффициента электронной термо-э.д.с и низкая теплопроводность на уровне 0.35 Вт /м К, что дает

показатель безразмерной термоэлектрической эффективности ZT в пределах 0.2 - 0.7 и позволяет надеяться в дальнейшем на возможность повышения этого показателя за счет вариации содержания меди или натрия в пределах области гомогенности материала.

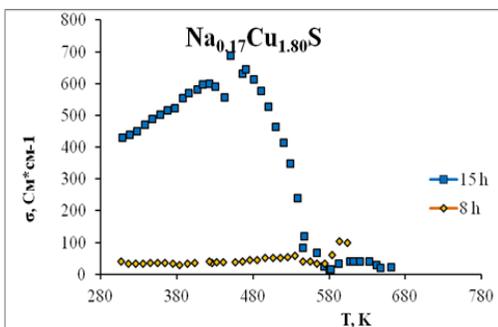
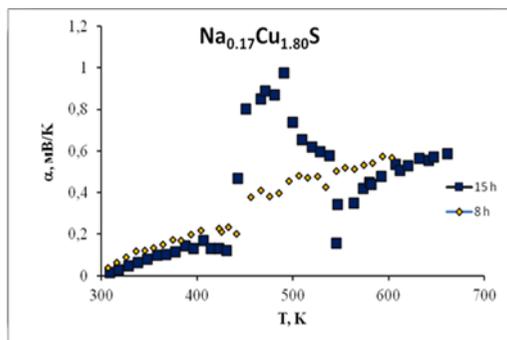


## ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ СИНТЕЗА НА СВОЙСТВА СПЛАВА $\text{Na}_{0,17}\text{Cu}_{1,80}\text{S}$ Юнусов Р.В., Ишембетов Р.Х.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

В последнее десятилетие химия синтеза суперионных материалов сделала огромный рывок как по разнообразию различных методов синтеза, так и по установлению связей между условиями синтеза и обработки материала и его физическими свойствами. На рисунках 1.1 и 1.2 приведены температурные зависимости электронного коэффициента Зеебека и электронной проводимости сплава  $\text{Na}_{0,17}\text{Cu}_{1,80}\text{S}$ , синтезированных при выдержке 8 ч и 15 ч в расплаве  $\text{KOH}$  и  $\text{NaOH}$  при 165 оС.

На рисунках 1.1 и 1.2 приведены температурные зависимости электронного коэффициента Зеебека и электронной проводимости нестехиометрических образцов  $\text{Na}_{0,17}\text{Cu}_{1,80}\text{S}$ , синтезированных при выдержке 8 ч и 15 ч в расплаве  $\text{KOH}$  и при 165 оС.



Видно, что время выдержки сильно влияет на приведенные характеристики материалов. Увеличение времени отжига от 8 до 15 ч на порядок увеличивает величину электронной проводимости и в два раза уменьшает коэффициент термо-э.д.с. образцов  $\text{Na}_{0,17}\text{Cu}_{1,80}\text{S}$  в низкотемпературной фазе, существующей до 430-440 К. Кроме того, более резкими становятся скачки проводимости и коэффициента термо-э.д.с. при фазовых переходах. Для образца, полученного при 15 ч выдержки, отлично виден фазовый переход около 550 К, практически незаметный для образца 8-часовой выдержки.

Механизм влияния, на наш взгляд, связан с изменением фазового состава. При 8 часах отжига реакция синтеза не успевает завершиться.

© Ишембетов Р.Х. 2018 г.

**ЭНТРОПИЯ И ЭНТАЛЬПИЯ В ТЕЛЛУРИДЕ МЕДИ**

Курбанова Д.И., Акманова Г.Р.

Башкирский государственный университет, г.Уфа, Россия

Нестехиометрическое соединение теллурид меди относится к суперинионным проводникам со смешанной ионно-электронной проводимостью.

Метод кулонометрического титрования позволяет изучить изменение термодинамических параметров смешанных ионно-электронных проводников в зависимости от состава и температуры.

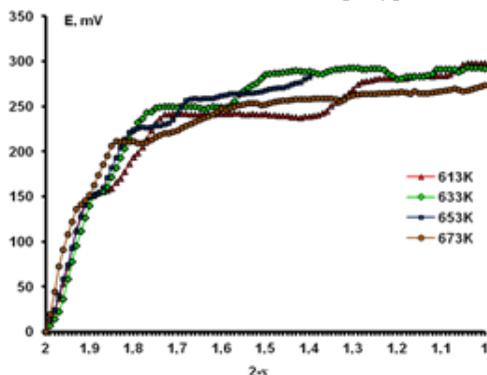


Рис. 1. Зависимость ЭДС электрохимической ячейки от состава при температурах 613–673К

Кривые кулонометрического титрования снимают с помощью ячеек типа  $\text{Cu}|\text{CuBr}|\text{Cu}_{2-x}\text{Te}$ , где в качестве электронного фильтра используется соединение с чисто ионной проводимостью  $\text{CuBr}$ . Из кривых кулонометрического титрования находят изменение термодинамических параметров соединения  $\text{Cu}_{2-x}\text{Te}$  энтропии и энтальпии в зависимости от содержания меди в образце и температуры. Для этого используется температурная зависимость ЭДС электрохимической ячейки при постоянных составах.

Расчеты энтропии и энтальпии показывают, что при изменении стехиометрии в диапазоне температур 593–673К меняется знак приращения энтропии системы: положительный для составов  $x=0,04-0,19$ , отрицательный для составов  $x=0,19-0,25$ . Нехарактерное поведение для суперинионных проводников изменения энтропии наблюдается в интервале 613–633К. Такой же характер зависимости наблюдается и для приращения энтальпии.

© Курбанова Д.И., Акманова Г.Р. 2018 г.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УГЛЕРОДНЫХ  
НАНОКОМПОЗИТНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ  
ЛАЗЕРНОЙ ФОТОАКУСТИКИ**

А. Мирзо, Оспанова Ж.Т.

Таджикский национальный университет, г. Душанбе,  
Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана

Лазерный фотоакустический (ФА) или оптоакустический (ОА) метод, основанный на оптический способ генерации тепловых и акустических волн, является наиболее универсальным методом определения ряд фундаментально важных физическо-химических свойств материалов и веществ. По своей физической природе, ФА методы относятся к абсорбционным (калориметрическим) методам спектроскопии, общей характерной чертой которых являются способы поглощения и преобразования энергии оптического излучения [1].

Существуют две схемы регистрации фотоакустического сигнала: микрофонная (косвенная) и пьезоэлектрическая (прямая). Каждая из этих способ имеют свои преимущества и недостатки. Косвенная схема регистрация, например, является более универсальным, бесконтактным и естественно имеет более широкие прикладные применения (в различные агрегатные состояния вещества) [2].

В рамках настоящего доклада приводятся результаты исследования особенности применения данного метода для определения теплофизических характеристик (коэффициентов температуропроводности  $\alpha$ , теплопроводности  $\lambda$ , теплоемкости  $C_p$  и др.) прозрачных и полупрозрачных углеродных нанокompозитных полимерных материалов (пленок).

Основы современной теории ФА метода с косвенной схемой регистрации сигнала при исследовании конденсированных сред наиболее подробно и удовлетворительно изложены в работе [3]. В данной теории, которая к настоящему времени стала классической и часто именуется как RG-теория, разработана общая теория генерации ФА сигнала при его микрофонной регистрации. Данная теория связывает основные параметры ФА сигнала (амплитуда, частота и фазы) с физическими и геометрическими характеристиками исследуемого объекта, а также с параметрами источника оптического излучения

Исследуемые образцы представляют собой прозрачные и полупрозрачные тонкие пленки полимерных материалов на основе полиэтилена низкой плотности (ПЭНП) и полиметилметакрилата (ПММА), а также углеродные нанокompозитные пленки на их основе, с добавлением различной концентрации (от 0,5 до 10%) наночастицы фуллерена  $C_{60}$ .

Экспериментальная установка, характерная для ФА исследования твердотельных образцов состоит из нескольких основных принципиальных блоков: 1) источника оптического излучения (He-Ne или Ar<sup>+</sup> -лазер), 2)

модулятор оптического излучения, 3) ФА-ячейка (камеры) с измерительным микрофоном, 4) системы обработки ФА сигнала: усилитель, синхронный усилитель, ПК с соответствующие программные обеспечения. На рисунке 1 приведены внешний вид исследуемых образцов и блок-схемы ФА экспериментальная установка (слева)

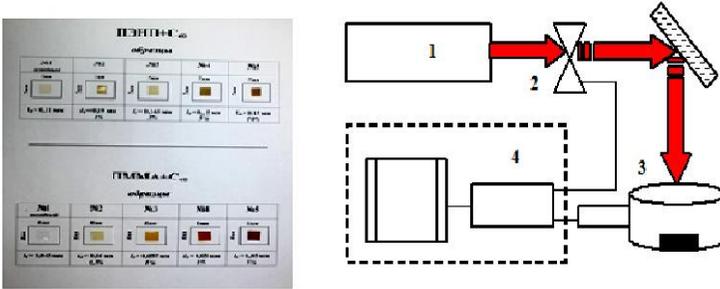


Рис. 1. Внешний вид исследуемых образцов и блок-схемы ФА экспериментальная установка

Анализируя экспериментально полученные зависимости параметров ФА сигнала (амплитуды, фаза и частоты), в частности, от коэффициента температуропроводности, ( $a_i = \kappa_i / \rho c_p, м^2 / сек$ ) и толщины образцов, можно определить и другие фундаментально важные значения теплофизических параметров: коэффициенты теплопроводность, теплоемкость или плотности исследуемых образцов. Выражение зависимости амплитуды и фаза ФА сигнала для случае термически толстых образцов  $\sigma_s L_s > 1$  имеют следующий вид:

$$|\delta P_g| \approx A \frac{\mu_g b_{bs}}{k_b \sigma_b} \exp(-\sigma_s L_s), \quad \varphi = -L_s \sqrt{\frac{\omega}{2a_s}} - \frac{\pi}{2} \quad (1)$$

Если считать образец термически тонким, т.е.  $\sigma_s L_s < 1$ , тогда выражение для комплексной амплитуды ФА сигнала принимает следующий вид:

$$|\delta P_g| \approx A \frac{\mu_g}{k_b \sigma_b} \frac{b_{bs}}{\sigma_s L_s}, \quad (2)$$

где  $A = \frac{P_0 \gamma \eta_b I_0}{\sqrt{2} L_g T_0}$ , остальные обозначение соответствуют [3].

Список используемой литературы.

1. Жаров В.П., Летохов В.С. Лазерная оптико-акустическая спектроскопия, М., 1984, 320 стр.
2. Мадвалиев У.. Разработка новых методов фотоакустической спектроскопии конденсированных сред. Диссер. на соиск. д.ф.-м.н. М. МГУ, 2007, 302 стр.
3. Rosencwaig A., Gersho A. Theory of the photoacoustic effect with solids // J. Appl. Phys. 1976 V. 47. № 1. P. 64-69.

УДК 538.911, 543.424.2, 544.6;

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ LiFePO<sub>4</sub> МЕТОДОМ СПЕКТРОСКОПИИ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА**

Рябин А. А., Махмутов А. Р., Слаутин Б. С., Пелегов Д. В.

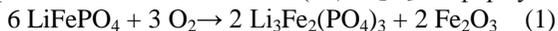
Уральский Федеральный Университет, Екатеринбург, Россия

В настоящее время актуален вопрос о способах сохранения электрической энергии. В данной сфере являются важными разработки литий-ионных аккумуляторов, необходимых для портативной электроники, транспорта (переход на электрический транспорт) и энергетики (стационарные системы накопления энергии для альтернативной энергетики и интеллектуальные сети). Одним из самых популярных и относительно новых положительных электродных материалов является железозфосфат лития LiFePO<sub>4</sub> (LFP) со структурой оливина.

Критичной проблемой данного материала является необходимость его производства в ультрадисперсном (субмикронном) состоянии в связи с малыми значениями ионной и электронной проводимости. Исследование нестехиометрии данного материала становится актуальным как для решения задачи изменения свойств LFP при помощи модификации структуры, так и контроль качества при крупномасштабном производстве ультрадисперсных порошков.

Один из самых популярных методов исследования структуры - спектроскопия комбинационного рассеяния света (КРС) - используется в основном для идентификации целевой фазы. Мы предлагаем использование спектроскопии КРС для изучения дефектности LFP, как это было показано нами ранее для другого электродного материала, титаната лития (Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>TO<sub>12</sub>) [1].

Основной сложностью проведения структурных исследований LFP при помощи спектроскопии КРС в кислородной атмосфере является индуцированный возбуждающим лазерным излучением окислительный распад LFP с образованием оксида железа (III) Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> по формуле:



Образованный в ходе измерений спектров КРС оксида железа (III) даёт свой определённый спектр, который во многих работах ошибочно предписывают к характеристическим пикам LFP.

В своей работе мы поднимаем вопросы особенности исследования структуры LFP и его дефектов. Для этого мы предлагаем использовать накопление и статистическую обработку большого числа спектров КРС.

### **Литература**

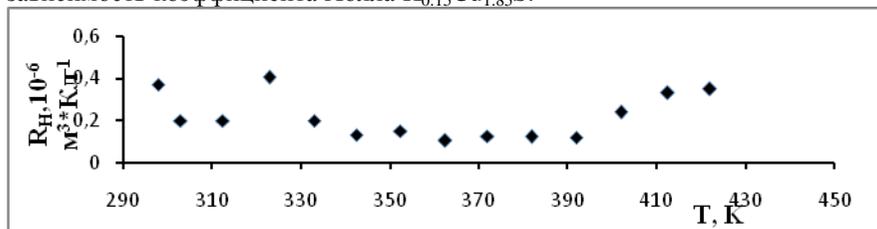
1. Pelegov, D. V.; Slautin, B. N.; Gorshkov, V. S.; Zelenovskiy, P. S.; Kiselev, E. A.; Kholkin, A. L.; Shur, V. Y. Raman Spectroscopy, "Big Data", and Local Heterogeneity of Solid State Synthesized Lithium Titanate // J. Power Sources, 2017, v. 346, pp. 143–150.

© Пелегов Д.В., 2018 г.

**ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СУЛЬФИДАХ МЕДИ, ДОПИРОВАННЫХ КАЛИЕМ**Кубенова М.М.<sup>1,2</sup>, Балапанов М.Х.<sup>1</sup>, Хабибова Г.Ф.<sup>1</sup>, Якшибаев Р.А.<sup>1</sup><sup>1</sup>Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия<sup>2</sup>Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г.Астана, Казахстан

Суперионные полупроводниковые халькогениды являются перспективными полупроводниковыми материалами для использования в термоэлектрических генераторах, в оптических устройствах, использующих плазмонный резонанс и др. [1-3]. В данной работе изучалось влияние допирования калием на фазовые переходы материала в нанокристаллическом сульфиде меди. Образцы  $K_{0.1}Cu_{1.9}S$ ,  $K_{0.15}Cu_{1.85}S$ ,  $K_{0.2}Cu_{1.8}S$  были получены в расплаве NaOH и KOH при температуре 165 °С. Размеры частиц синтезированного порошка находились от 30 до 300 нм.

В дополнение к рентгенофазовому анализу и ДСК-калориметрии образцов, наличие фазовых переходов было подтверждено по аномалиям на температурных зависимостях коэффициентов Холла и электронной термо-э.д.с., электронной проводимости. На рис.1 представлена температурная зависимость коэффициента Холла  $K_{0.15}Cu_{1.85}S$ .

Рис.1 Температурная зависимость коэффициента Холла  $K_{0.15}Cu_{1.85}S$ .**Литература**

1. Ge Z.H., Zhang B.P., Chen Y.X., Yu Z.X., Liu Y., Li J.F. Synthesis and transport property of  $Cu_{1.8}S$  as a promising thermoelectric compound. // Chem. Comm. 2011. V.47. P.12697-12699.

2. Балапанов М.Х., Ишембетов Р.Х., Ишембетов С.Р., Кубенова М.М., Кутербеков К.А., Назаров К.С., Якшибаев Р.А. Электронная и ионная термо-эдс в смешанных проводниках  $Ag_{0.25-8}Cu_{1.75}Se$ ,  $Ag_{1.2-8}Cu_{0.8}Se$ . // Электрохимия. 2017. Т. 53. № 8. С. 964-971.

3. М. Х. Балапанов, И. Б. Зиннуров, К. А. Кутербеков, Р. Х. Ишембетов, М. М. Кубенова, Р. А. Якшибаев. Влияние концентрации меди на электронную проводимость и коэффициент электронной термо-э.д.с. сплавов  $Li_xCu_{1.75-8}Se$  ( $x \leq 0.25$ ) // Вестник Башкирского университета. 2017. Том 22, No. 1. С.41-47.

© Кубенова М.М., Балапанов М.Х., Хабибова Г. Ф., Якшибаев Р.А., 2018 г.

**СПЕКТРОСКОПИЯ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ ОТРАЖЕННЫХ  
ЭЛЕКТРОНОВ Al**

Хохлова Т.Н., Игуменов А.Ю., Паршин А.С.

Сибирский государственный университет науки и технологий имени  
академика М. Ф. Решетнева, г. Красноярск, Россия

Для создания новых материалов нанотехнологий требуются высокоточные методы анализа их физико-химических свойств. В отрасли исследования наноматериалов широко используются методы электронной спектроскопии, а именно Оже-электронная спектроскопия (ОЭС), рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС) и спектроскопия характеристических потерь энергии электронов (СХПЭЭ).

Спектры характеристических потерь энергии электронов были получены на сверхвысоковакуумном фотоэлектронном спектрометре SPECS при энергиях первичных электронов 300, 600, 1200, 1900, 3000 эВ. Спектры сечения неупругого рассеяния электронов (К $\lambda$ -спектры) представляют собой произведения средней длины неупругого пробега электронов  $\lambda$  и дифференциального сечения неупругого рассеяния  $K(E_0, E_0 - E$  [6]), где  $E_0$  и  $E$  – соответственно энергии первичных и отраженных электронов,  $T = E_0 - E$  – потери энергии электронов. Спектры сечения неупругого рассеяния электронов рассчитаны из экспериментальных спектров потерь энергии отраженных электронов с помощью программного пакета QUASES<sup>TM</sup> XS REELS [7], согласно алгоритму [6].

Спектры сечения неупругого рассеяния электронов Al рассчитаны на основе экспериментальных спектров характеристических потерь энергии отраженных электронов [1-5]. В спектрах ХПЭЭ основным параметром, служащим для анализа исследуемых материалов, является энергия характеристических пиков объемного плазмона. Спектры сечения неупругого рассеяния электронов имеют преимущества в исследовании процессов взаимодействия электронов с веществом по сравнению со спектрами потерь энергии электронов, поскольку в них вычтен фон многократного рассеяния, а интенсивность потерь измеряется в абсолютных единицах [1-6].

**Литература**

1. Расчет вероятности генерации поверхностных возбуждений электронами, отраженными от поверхности Si / А. Ю. Игуменов, А. С. Паршин, Ю. Л. Михлин и др. // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева, 2014, Том 56 (4), С. 230-235.

2. Тонкая структура спектров сечения неупругого рассеяния электронов и поверхностный параметр Si / А.С. Паршин, А.Ю. Игуменов, Ю.Л. Михлин и др. // Физика и техника полупроводников, 2015, Том 49 (4), С. 435-439.

3. Сравнительный анализ спектров характеристических потерь энергии электронов и спектров сечения неупругого рассеяния в Fe / А. С. Паршин, А. Ю. Игуменов, Ю. Л. Михлин и др. // Физика твердого тела, 2016, Том 58 (5), С. 881-887.

4. Исследование дисилицида железа методами электронной спектроскопии / А. С. Паршин, А. Ю. Игуменов, Ю. Л. Михлин и др. // Журнал технической физики, 2016, Том 86 (9), С. 136-140.

5. Fine structure of inelastic electron scattering cross-section spectra for Mn / A. S. Parshin, A. Yu. Igumenov, Yu. L. Mikhlin et al. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2016, Vol. 122, P. 012025, 1-7.

6. Tougaard S., Differential inelastic electron scattering cross sections from experimental reflection electron-energy-loss spectra: Application to background removal in electron spectroscopy // Phys.Rev. B, 1987, Vol. 35 (13), P. 6570-6577.

7. QUASES – Software packages to characterize surface nano-structures by analysis of electron spectra. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.quases.com> (дата обращения: 09.04.2018).

© Хохлова Т.Н., Игуменов А.Ю., Паршин А.С., 2018 г.

**СПЕКТРОСОКПИЯ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ ОТРАЖЕННЫХ  
ЭЛЕКТРОНОВ  $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$** 

Лиханова О.А., Игуменов А.Ю., Паршин А.С.

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, г. Красноярск, Россия

На сегодняшний день активно развивается отрасль нанотехнологий, где широко используются методы электронной спектроскопии, а именно Оже-электронная спектроскопия (ОЭС), рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС) и спектроскопия характеристических потерь энергии электронов (СХПЭЭ). С помощью данных методов удобно анализировать физико-химические свойства исследуемых материалов.

Изучаемые в данной работе спектры характеристических потерь энергии электронов были получены на сверхвысоковакуумном фотоэлектронном спектрометре SPECS (Германия) при энергиях первичных электронов 300, 600, 1200, 1900, 3000 эВ. Спектры сечения неупругого рассеяния электронов (К $\lambda$ -спектры) представляют собой произведения средней длины неупругого пробега электронов  $\lambda$  и дифференциального сечения неупругого рассеяния  $K(E_0, E_0 - E)$  [6], где  $E_0$  и  $E$  – соответственно энергии первичных и отраженных электронов,  $T = E_0 - E$  – потери энергии электронов. Данные спектры получены из экспериментальных спектров потерь энергии отраженных электронов с помощью программного пакета QUASES™ XS REELS [7], согласно алгоритму [6]. В данной работе проанализированы спектры сечения неупругого рассеяния электронов  $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ .

Спектры сечения неупругого рассеяния электронов  $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$  рассчитаны на основе экспериментальных спектров потерь энергии отраженных электронов [1-5]. Основной характеристикой изучаемых материалов является энергия пиков объемного плазмона.

Преимущества исследования спектров сечения неупругого рассеяния электронов в сравнении со спектрами потерь энергии электронов заключаются в том, что в них отсутствует фоновый вклад, и единицы измерения интенсивности являются абсолютными [1-6].

**Литература**

1. Расчет вероятности генерации поверхностных возбуждений электронами, отраженными от поверхности Si / А. Ю. Игуменов, А. С. Паршин, Ю. Л. Михлин и др. // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева, 2014, Том 56 (4), С. 230-235.

2. Тонкая структура спектров сечения неупругого рассеяния электронов и поверхностный параметр Si / А.С. Паршин, А.Ю. Игуменов, Ю.Л. Михлин и др. // Физика и техника полупроводников, 2015, Том 49 (4), С. 435-439.

3. Сравнительный анализ спектров характеристических потерь энергии электронов и спектров сечения неупругого рассеяния в Fe / А. С. Паршин, А. Ю. Игуменов, Ю. Л. Михлин и др. // Физика твердого тела, 2016, Том 58 (5), С. 881-887.

4. Исследование дисилицида железа методами электронной спектроскопии / А. С. Паршин, А. Ю. Игуменов, Ю. Л. Михлин и др. // Журнал технической физики, 2016, Том 86 (9), С. 136-140.

5. Fine structure of inelastic electron scattering cross-section spectra for Mn / A. S. Parshin, A. Yu. Igumenov, Yu. L. Mikhlin et al. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2016, Vol. 122, P. 012025, 1-7.

6. Tougaard S., Differential inelastic electron scattering cross sections from experimental reflection electron-energy-loss spectra: Application to background removal in electron spectroscopy // Phys.Rev. B, 1987, Vol. 35 (13), P. 6570-6577.

7. QUASES – Software packages to characterize surface nano-structures by analysis of electron spectra. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.quases.com> (дата обращения: 08.04.2018).

© Лиханова О.А., Игуменов А.Ю., Паршин А.С., 2018 г.

**THE DIELECTRIC CONSTANT OF THE MIXTURE IS COMPENSATED  
CHOLESTERIC LIQUID CRYSTALS**

Balapanov M. Kh., Kuvatov Z. Kh., Korytnikov A. A.  
Bashkir state University, Ufa, Russia

For cholesterol liquid crystals is characterized by a spiral structure. The mixture of right- and left-rotating cholesteric has a spiral structure, the step of which is sensitive to temperature and composition [1]. For this composition, a change in the specific rotation sign occurs with a change in temperature, which indicates a change in the direction of the spiral twisting [2]. The method of diffraction of polarized light shows that the value inverse to the spiral pitch is linearly dependent on temperature. At some temperature ( $T_N$ ) passes through zero. At the point of transition to the nematic there is a full compensation of the right- and left-handed forms. There is a complete compensation of the influence of the two helical structures of opposite direction of rotation [3].

In this paper, the temperature dependence of the Dielectric Constant of a mixture of compensating cholesterol was investigated. The mixture consisted of cholesteryl chloride (left spiral configuration) and cholesteryl pelargonate (right form) in weight composition 59%:41%. The measurements were carried out at a serial cooling of the sample from  $80^\circ$  and at a frequency of 5 kHz. The sample filled the gap between the plane-parallel electrodes. The thickness of the sample layer was 100 microns.

Figure 1 indicates that graphs have a maximum at  $T=T_N$ . In the spiral structure, the influence of the magnetic field (3.75 kG) depends on the value of the spiral pitch. With increasing pitch of the helix effect of the magnetic field increases and at the temperature  $T_N$ , the action of the field becomes maximum. Nematic structure the most sensitive of all LC structures to external influences. The orienting magnetic field was superimposed parallel ( $\parallel$ ) and perpendicular ( $\perp$ ) to the measuring electric field. In the polarization microscope texture is observed indicating that the spiral axis is parallel to a layer of a flat sample (Fig. 2.).

From the above results it follows that the Dielectric Constant of the mixture of the right – and left-rotating cholesteric is very sensitive to the transition to the nematic phase.

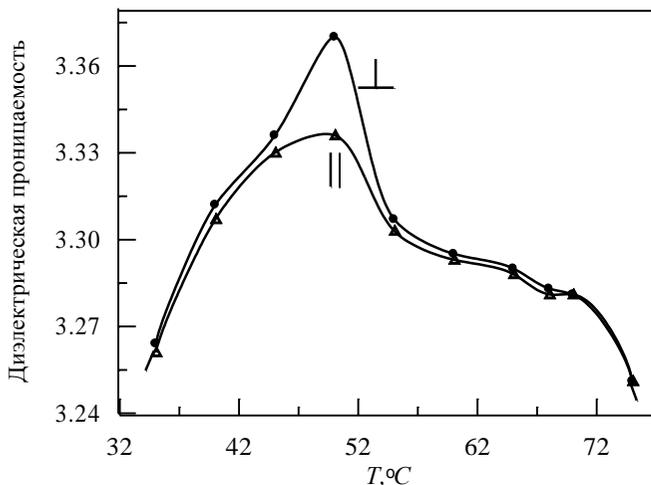


Fig. 1. The temperature dependence of the dielectric constant is compensated mixtures of cholesteric liquid crystals (cholesteryl chloride (left spiral configuration) and cholesteryl pelargonate).



Fig. 2. The optical texture of the mixture at a temperature  $T \neq T_N$ .

#### References

1. Friedel G., Ann. Physique, **18**, 273 (1922).
2. Sackmann B., Melboom S., Snyder L.C., Meixner A.E., Diets R.E. Journ. Am. Chem. Soc., **90**, 3567 (1968).
3. De Gennes P.G. The Physics of Liquid Crystals, Clarendon Press, Oxford, 1974.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗОННОЙ СТРУКТУРЫ И ФОНОННОГО  
СПЕКТРА СЕЛЕНИДА МЕДИ И ТЕЛЛУРИДА СЕРЕБРА В  
НАНОСОСТОЯНИИ**

<sup>1</sup>Сафаргалиев Д.И., <sup>2</sup> Нигматуллина Г.Р.

<sup>1</sup>Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета,  
г. Стерлитамак, Россия

<sup>2</sup>Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Возрастающий интерес к изучению халькогенидов меди и серебра обусловлен тем, что в данных соединениях, в последние годы, находят новые свойства и принципиально новые эффекты, что позволяет считать данные соединения перспективными материалами полупроводниковой техники. Наноматериалы селенида меди и теллурида серебра проявляют термоэлектрические свойства значительно превышающие таковые в макросостоянии.

Поиск глобального минимума для стабильных структур кластеров занимает значительное время вследствие большого варианта соединений, и в данной работе используется эволюционный алгоритм для поиска наилучшей структуры, отвечающей глобальному минимуму. В данной работе используется программный пакет USPEX в комбинации с MORAC, представителем полуэмпирического метода расчета структур, для поиска оптимальных по энергиям структур кластеров. Целью данной работы является поиск стабильных структур  $Cu_nSe_m$ ,  $Ag_nTe_m$  [ $n, m = 1-10$ ] и решение следующих конкретных задач:

- моделирование геометрических структур кластеров  $Cu_nSe_m$ , где [ $n, m = 1-10$ ];
- моделирование геометрических структур кластеров  $Ag_nTe_m$ , где [ $n, m = 1-10$ ];
- расчет энтальпии и энтропии, определение области стабильности;
- расчет фононных спектров, зонной структуры, ширины запрещенной зоны полученных стабильных структур;
- моделирование методом молекулярной динамики структуры и свойств (диффузионных, ионной проводимости) в зависимости от температуры;
- анализ и сопоставление полученных теоретически данных для наносостояния с экспериментально-полученными для объемных материалов;
- выработка критериев формирования суперионного состояния и механизма суперионной проводимости.

© Биккулова Н.Н., Сафаргалиев Д.И., Нигматуллина Г.Р., 2018 г.

|   |   |
|---|---|
| <b>Содержание</b>   |   |
| <b>ПЛЕНАРНЫЕ ЛЕКЦИИ</b>   |   |
| <p><i>Professor <b>Hidemi Shigekawa</b>, Institute of Applied Physics,<br/>University of Tsukuba, Japan</i></p> <p><b>MECHANICALLY ACTIVATED SWITCHING OF SI-BASED SINGLE-MOLECULE JUNCTION AS IMAGED WITH THREE-DIMENSIONAL DYNAMIC PROBE</b></p>                            | 3 |
| <p><i>Professor <b>Ajay Kumar Mishra</b>, University of South Africa,<br/>Johannesburg, RSA</i></p> <p><b>DNA BINDING STUDIES AND SYNTHESIS OF NI (II), CO (II), CU (II) AND ZN (II) METAL COMPLEXES</b></p>  | 4 |
| <p><i>Академик РАН <b>К.М. Салихов</b>, Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского, КНЦ РАН, г. Казань, РФ</i></p> <p><b>ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАРАМАГНИТНЫХ ЦЕНТРОВ: ПОТЕНЦИАЛ ЭЛЕКТРОННЫХ СПИНОВ В КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЯХ И КВАНТОВОЙ ИНФОРМАТИКЕ</b></p> | 5 |
| <p><i>Профессор <b>Р.А. Браже</b>, Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск, РФ</i></p> <p><b>ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ КЕПЛЕРОВСКИХ ГРАФЕНОВ И НАНОТРУБОК НА ИХ ОСНОВЕ</b></p>   | 6 |
| <p><i>Профессор <b>К.А. Кутербек</b>ов, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, Республика Казахстан</i></p> <p><b>РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В КАЗАХСТАНЕ</b></p>  | 7 |
| <p><i>Professor <b>Vijay Kumar</b>, Shiv Nadar University, India</i></p> <p><b>DESIGN OF NOVEL NANOSTRUCTURES FROM <i>Ab initio</i> CALCULATIONS</b></p>  | 9 |

|   |    |
|---|----|
| <p><i>Профессор Ю.М. Юмагузин, Башкирский государственный университет, г. Уфа, РФ</i></p> <p>ПОЛЕВАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ</p>  | 10 |
| <p><i>Профессор Н.Г. Пугач, Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, Национальный Исследовательский Университет Высшая Школа Экономики, г. Москва, РФ</i></p> <p>СВЕРХПРОВОДЯЩАЯ СПИНТРОНИКА, КАК ЧАСТЬ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ КВАНТОВЫХ СИСТЕМ</p>       | 12 |
| <p><b>СЕКЦИЯ «ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТОК И СОЗДАНИЯ НАНО- И МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ»</b></p>   | 3  |
| <p><b>Басов М.В.</b></p> <p>РАЗРАБОТКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ДАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА</p>  | 13 |
| <p><b>Беленкова Э.И.</b></p> <p>МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК</p>   | 14 |
| <p><b>Р.Ф. Галинурова<sup>1</sup>, Р.В. Солонецкий<sup>1</sup>, А.А. Ахметова<sup>1</sup>, Р.М. Вахитов<sup>1</sup></b></p> <p>ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА СТРУКТУРУ МИКРОМАГНИТНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ НА КОЛУМНАРНОМ ДЕФЕКТЕ В МАГНИТООДНООСНОЙ ПЛЁНКЕ</p> | 15 |
| <p><b>Ахметшин И.И</b></p> <p>МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА В СВЕРХРЕШЕТКАХ ОБРАЗОВАННЫМИ ФЕРРОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ И МАГНИТНЫМИ ПЛЕНКАМИ</p>   | 17 |
| <p><b>Гареев Т.Т., Куликова Д.П., Николаева Е.П., Пятаков А.П</b></p> <p>ПРОЯВЛЕНИЕ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА НА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ МАГНИТНЫХ ДОМЕНАХ В ПЛЕНКАХ ФЕРРИТОВ ГРАНАТОВ.</p>  | 18 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Гареева З.В.</b><br>МАГНИТНЫЕ СКЕРМИОНЫ – ПЕРСПЕКТИВЫ ДЛЯ<br>РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  | 20 |
| <b>Гареева З.В.</b><br>СПИНОВЫЕ СПИРАЛИ В МУЛЬТИФЕРРОИКЕ ФЕРРИТЕ<br>ВИСМУТА   | 21 |
| <b>Зайцев Н.Л.</b><br>ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ И<br>ЭЛЕКТРОННОЙ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛ-ОРГАНИЧЕСКОГО<br>ИНТЕРФЕЙСА  | 22 |
| <b>Кудрявцев Р.В., Капитонов И.В., Гумеров А.М.</b><br>СТРУКТУРА И ДИНАМИКА СОЛИТОНОВ<br>МОДИФИЦИРОВАННОГО УРАВНЕНИЯ СИНУС-ГОРДОНА С<br>УЧЁТОМ ПРИМЕСЕЙ, ВНЕШНЕЙ СИЛЫ И ЗАТУХАНИЯ   | 23 |
| <b>Маслова Т.А.</b><br>МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСТРИЙНОЙ ЭМИССИОННОЙ СИСТЕМЫ<br>С МОДУЛЯТОРОМ МЕТОДОМ ПЕРЕКРЫТИЯ ОБЛАСТЕЙ   | 24 |
| <b>М. Вахитов<sup>1</sup>, З.В. Гареева<sup>1,2</sup>, Р.В. Солонецкий<sup>3</sup>, Ф.А. Мажитова<sup>1</sup></b><br>МИКРОМАГНИТНЫЕ СТРУКТУРЫ, ОБРАЗУЮЩИЕСЯ В<br>НЕОДНОРОДНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ В<br>МАГНИТООДНООСНЫХ ПЛЕНКАХ  | 26 |
| <b>Нугуманов А.Г.</b><br>ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СВЕРХРЕШЁТОК С<br>ПЕРЕМЕННОЙ СПИНОВОЙ КОНЦЕНТРАЦИЕЙ   | 27 |
| <b>А.И. Попов<sup>1</sup>, Ф.А. Мажитова<sup>3</sup>, З.В. Гареева<sup>2,3</sup>, Р.А. Дорошенко<sup>2</sup></b><br>МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В ПЛЕНКАХ ФЕРРИТ –<br>ГРАНАТОВ С НЕОДНОРОДНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ<br>НАМАГНИЧЕННОСТИ | 28 |
| <b>Толкачев В.А., Харитонов О.Г., Плаксин П.С., Кузьмин Д.А,<br/>Бычков И.В.</b><br>ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ НА<br>ГРАНИЦЕ МАГНИТНОГО ДИЭЛЕКТРИКА   | 29 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Калатурская Э.В.</b><br>МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИОДНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ТОНКОГО ПОЛЕВОГО ЭМИТТЕРА   | 31 |
| <b>Жармухаметов А.Р., Юлдашева А.Р.</b><br>МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ В НАНОПЛЕНКАХ МУЛЬТИФЕРРОИКОВ В РАМКАХ ВЕГ-МОДЕЛИ                           | 33 |
| <b>Уральский В.С.</b><br>КРИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА 3D АНТИФЕРРОМАГНИТНОЙ МОДЕЛИ ИЗИНГА НА ОРТОРОМБИЧЕСКОЙ РЕШЕТКЕ С УЧЕТОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ БЛИЖАЙШИХ СОСЕДЕЙ | 34 |
| <b>СЕКЦИЯ «ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ В НАНО- И МИКРОЭЛЕКТРОНИКЕ»</b>   | 35 |
| <b>Бикметова Р.Р., Лопатюк А.В.</b><br>ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОКАНАЛЬНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ С 4-Х ВОЛНОВЫМ СМЕЩЕНИЕМ                                     | 35 |
| <b>Р. В. Борисова, А. М. Вальшин</b><br>ИМПУЛЬСНО-ПЕРИОДИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ НАКАЧКИ ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА                           | 37 |
| <b>Важдаев К.В, Биктимеров А.А.</b><br>ИНТЕРФЕРОМЕТРЫ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ НА БЕГУЩИХ И СТОЯЧИХ УПРУГИХ ВОЛНАХ  | 38 |
| <b>Важдаев К.В<sup>1,2</sup>, Биктимеров А.А.<sup>2</sup></b><br>ИНТЕРФЕРОМЕТРЫ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ НА ОСНОВЕ АКУСТООПТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА                        | 39 |
| <b>Захаров Ю.А., Гоц С.С., Бахгизин Р.З.</b><br>ОЦЕНКА ЗАВИСИМОСТИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОЛОЧНЫХ НАГРУЗОК ОТ ЧАСТОТЫ                                       | 40 |
| <b>Лопатюк А.В, Грачева А.М.</b><br>МОДЕЛИРОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЯ EDFA ДЛЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ   | 42 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Иждавлетова Р. Ф., Лопатюк А. В.</b><br>МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОСЬМИКАНАЛЬНОГО ОПТИЧЕСКОГО ОТВЕТВИТЕЛЯ   | 44 |
| <b>Каразбаева А. Ф., Лопатюк А. В.</b><br>ПРОЕКТИРОВАНИЕ 10 ГИГАБИТНОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ СО СПЕКТРАЛЬНЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ  | 46 |
| <b>И.О. Золотовский, В.А. Лапин, Д.И. Семенов</b><br>МОДУЛЯЦИОННАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ВОЛНОВЫХ ПАКЕТОВ, РАСПРОСТРАНЯЮЩИХСЯ В КАСКАДАХ НЕОДНОРОДНЫХ ПО ДЛИНЕ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ | 48 |
| <b>А.М. Вальшин, В.А.Кудашев</b><br>ЛАЗЕР НА ГРАНАТЕ С ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ НАКАЧКОЙ   | 50 |
| <b>Рахматова Л.И.</b><br>АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЯ ПОДВИЖНОСТИ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА  | 51 |
| <b>А.М. Вальшин, А.З. Файзуллина, Ю.А.Пашкова</b><br>ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ ИНДУКЦИОННАЯ НАКАЧКА ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ   | 52 |
| <b>Факиев И.А.</b><br>УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ МИКРОПЕРЕМЕЩЕНИЕМ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОДА В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ LABVIEW  | 54 |
| <b>А.С. Шаталов, С.Г. Чигарев, Д.Л. Загорский, И.М. Долуденко.</b><br>ПОЛУЧЕНИЕ ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КОЛЕБАНИЙ ТЕГАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА НА ОСНОВЕ МАССИВА НАНОПРОВОЛОК   | 56 |
| <b>Зайнитдинова А.А., Салихов Р.Б.</b><br>ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА   | 58 |
| <b>Юлдашев Р.З.</b><br>ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОДОНЕФТЯНОЙ ЭМУЛЬСИИ ОТ ЧАСТОТЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА   | 60 |

|   |    |
|---|----|
| <b>СЕКЦИЯ «НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ»</b>  | 62 |
| <b>Альмухаметова А.Р., Габдрахманова Л.А., Альмухаметов Р.Ф.</b><br>РЕНТГЕНОВСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СУПЕРИОННЫХ ПРОВОДНИКОВ $CuS-(1-x)CrS-xMnS$  | 62 |
| <b>Абдрахманов Н. И., Салихов Р.Б.,Тавлыкаев Р.Ф.</b><br>ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК ИЗ АРОМАТИЧЕСКОГО ПОЛИСУЛЬФОНА                | 63 |
| <b>Абдрахманов Н. И., Салихов Р.Б.,Тавлыкаев Р.Ф.</b><br>ВЛИЯНИЕ ПОВЫШЕННОЙ ВЛАЖНОСТИ НА СВОЙСТВА ПЛЕНОК ИЗ ПОЛИСУЛЬФОНА [ПС]   | 64 |
| <b>Фархутдинов Р.Д., Корнилов В.М.</b><br>ЗАВИСИМОСТЬ ОПТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ ПОЛИМЕРА В РАСТВОРЕ   | 65 |
| <b>Гильманова Р.Д.</b><br>ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СВОЙСТВА ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА ПОЛИМЕР-ПОЛИМЕР   | 67 |
| <b>Грешняков В.А.</b><br>МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ ГРАФИТА $L_{4-8}$ В ПОЛИМОРФНЫЕ РАЗНОВИДНОСТИ АЛМАЗА   | 68 |
| <b>Зарубин В.Ю., Курочка К.В., Мельникова Н.В., Куренных Т.Е. Аликин Д.О.</b><br>ВОЗДЕЙСТВИЕ ОБЛУЧЕНИЯ НА СВОЙСТВА И СТРУКТУРУ АМОРФНОГО ИОННОГО ПРОВОДНИКА ИЗ СИСТЕМЫ Ag-Ge-As-S | 69 |
| <b>Халилова Г.У., Шакирьянов Р.Р., Лачинов А.Н.</b><br>ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МНОГОСЛОЙНЫХ ПЛЁНОК ПОЛИДИФЕНИЛЕНФТАЛИДА  | 70 |
| <b>Хазыров Е.С.</b><br>К ВОПРОСУ О РАСПРЕДЕЛЕНИИ МОЛЕКУЛ В СЛОЯХ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ   | 71 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Кириянов И.И.<sup>1)</sup>, Мукминов Ф.Х.<sup>2)</sup>, Халилов Л.М.<sup>1)</sup></b><br>ИСКУССТВЕННЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В УСТАНОВЛЕНИИ СТРУКТУРЫ ПРОИЗВОДНЫХ Фуллерена C <sub>60</sub> – ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ | 72 |
| <b>Клунникова Ю.В.</b><br>ИССЛЕДОВАНИЕ ОТЖИГА ПЛЕНОК ОКСИДА ЖЕЛЕЗА ЛАЗЕРОМ НА ПОДЛОЖКАХ САПФИРА   | 74 |
| <b>Кочеткова Е.М.</b><br>СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ ДИОКСИДА ВАНАДИЯ ПРИ ПОМОЩИ КАНАЛЬНЫХ КЛАТРАТОВ  | 75 |
| <b>Колесникова А.С., Глуховской Е.Г.</b><br>СПОСОБ ИЗМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СВОЙСТВ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК ZNS  | 77 |
| <b>Лихачева А.Р., Рахматова Л.И.</b><br>ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ НА ПОДВИЖНОСТЬ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В ПЛЕНКАХ ПОЛИДИФЕНИЛЕНФТАЛИДА (ПДФ)  | 79 |
| <b>Лясникова А.В., Дударева О.А., Маркелова О.А., Гришина И.П., Лясников В.Н.</b><br>ГИДРОФИЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ЗАМЕЩЕННЫХ КАЛЬЦИЙ ФОСФАТОВ  | 80 |
| <b>Мазепа М.М., Колесникова А.С.</b><br>ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА УГЛЕРОДНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ  | 82 |
| <b>Минченкин А.С., Корнилов В.М.</b><br>ЭМИССИОННЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРА С УГЛЕРОДНЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ  | 84 |
| <b>Муллагалиев И. Н., Сафаргалин И.Н., Салихов Р.Б.</b><br>ФОТОТРАНЗИСТОРЫ НА ОСНОВЕ РАСТВОРИМЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРОВ   | 86 |
| <b>Никитина Д.В.</b><br>ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВОДЫ НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПОЛИДИФЕНИЛЕНФТАЛИДА   | 87 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Петров Е.Г.</b><br>МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОВЕДЕНИЯ СМЕКТИЧЕСКОГО<br>ЖИДКОГО КРИСТАЛЛА В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ   | 88 |
| <b>Сафаргалин И.Н., Салихов Т.Р.</b><br>СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ НА ОСНОВЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК<br>ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ   | 89 |
| <b>Салихов Т.Р.</b><br>ТРАНСПОРТ ЗАРЯДА В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ ПОЛИАНИЛИНОВ   | 90 |
| <b>Шинкаренко О.А., Цветкова О.Ю., Аткин В. С., Захаревич<br/>А.М., Глуховской Е.Г.</b><br>СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ НИКЕЛЯ   | 92 |
| <b>Старникова А.П., Петров В.В., Каменцев А.С.</b><br>ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ<br>МАССИВА НАНОСТЕРЖНЕЙ ОКСИДА ЦИНКА К ОКСИДУ<br>УГЛЕРОДА (II)  | 94 |
| <b>Телегин С.В., Гришина И.П., Маркелова О.А., Дударева О.А.,<br/>Лясникова А.В.</b><br>ПОВЕРХНОСТНАЯ ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА<br>МАТЕРИАЛОВ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ | 95 |
| <b>СЕКЦИЯ «БИОФИЗИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И МЕХАНИЗМЫ<br/>ПРОЦЕССОВ В МОЛЕКУЛЯРНОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ»</b>   | 97 |
| <b>Закирьянов Ф.К., Фахретдинов М.И., Мельников В.Ю.</b><br>ОБ ОДНОЙ МОДЕЛИ ПЕРЕНОСА ЗАРЯДА В МОЛЕКУЛЕ ДНК  | 97 |
| <b>Аралбаев З.Ф.</b><br>ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТ<br>И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА   | 98 |
| <b>Васильева Е.П.</b><br>МЕХАНИЗМЫ ФИЗИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ИСТОЧНИКОВ<br>НЕИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ   | 99 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Гарафутдинов Р.Р.<sup>1</sup>, Сахаутдинов И.М.<sup>2</sup>, Ясаков Т.Р.<sup>3</sup>, Шарипов Т.И.<sup>4</sup></b><br>АТОМНО-СИЛОВАЯ МИКРОСКОПИЯ В ИССЛЕДОВАНИИ<br>БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ: ОТ БИОМОЛЕКУЛ ДО ЖИВЫХ<br>ОРГАНИЗМОВ              | 100 |
| <b>Р.З. Бахтизин, Т.И. Шарипов</b><br>АТОМНО-СИЛОВАЯ МИКРОСКОПИЯ МОЛЕКУЛ<br>СМОЛО-АСФАЛЬТЕНОВЫХ ВЕЩЕСТВ   | 101 |
| <b>Ишниязов Р.А.</b><br>ВИЗУАЛИЗАЦИЯ БИОПОЛЯ ЧЕЛОВЕКА   | 103 |
| <b>Исмагилов А.Р.</b><br>МЕТОДЫ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ЭХОЛОКОКАЦИИ   | 104 |
| <b>Юлгильдин А.А., Шарипов Т.И.</b><br>СКАНИРУЮЩАЯ ТУННЕЛЬНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ<br>МОЛЕКУЛ ДНК НА АЛЮМИНИЕВОЙ ПОВЕРХНОСТИ   | 105 |
| <b>СЕКЦИЯ «ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ НАНОСТРУКТУРЫ:<br/>ЭЛЕКТРОННЫЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА,<br/>МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ»</b>   | 106 |
| <b>Доломатова М.М.</b><br>ЭФФЕКТЫ СВЯЗИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ<br>СЛОЖНЫХ ВЕЩЕСТВ С ИНТЕГРАЛЬНЫМИ<br>ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ОПТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ  | 106 |
| <b><sup>1</sup>Бадретдинов Б.Р., <sup>1</sup>Петров А.М., <sup>2</sup>Гильманшина К.А.</b><br>ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ<br>ВЫСОКОКИПЯЩИХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ   | 108 |
| <b>Еремина С.А.<sup>1</sup>, Ярмухаметова Г.У.<sup>1</sup></b><br>ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ВАНАДИЯ В<br>МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СРЕДАХ ПО ИНТЕГРАЛЬНЫМ<br>ПАРАМЕТРАМ СПЕКТРОВ ОПТИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ   | 110 |
| <b><sup>1</sup>Ишниязов З. З., <sup>2</sup>Шуткова С. А., <sup>1</sup>Доломатова М. М., <sup>1</sup>Латыпов<br/>К. Ф., <sup>1</sup>Доломатов М. Ю.</b><br>ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ И ХИМИЧЕСКОЙ<br>СТРУКТУРЫ НАНОКЛАСТЕРОВ НЕФТЯНЫХ АСФАЛЬТЕНОВ | 112 |

|   |     |
|---|-----|
| <b><sup>1</sup>Ишниязов З. З.,<sup>2</sup>Шуткова С. А.,<sup>1</sup>Доломатова М. М.,<sup>1</sup>Латыпов К. Ф.,<sup>4</sup>Петров А.М.</b><br>ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ СТРУКТУРЫ АСФАЛЬТЕНОВ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИМИ И ОПТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ                        | 114 |
| <b>А.В. Ключев, А.В. Якимов</b><br>ФЛУКТУАЦИИ ИНТЕНСИВНОСТИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В GaAs ЛАЗЕРАХ НА КВАНТОВЫХ ЯМАХ  | 116 |
| <b>Колесникова А.С.</b><br>ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА УГЛЕРОДНЫХ ПОРИСТЫХ НАНОСТРУКТУР  | 117 |
| <b>Кутуева А.В.<sup>1,2</sup>, Журавлева Н.А.<sup>1</sup></b><br>ВЛИЯНИЕ ТОПОЛОГИИ НА ТЕРМИЧЕСКУЮ СТАБИЛЬНОСТЬ МОЛЕКУЛ ЖИДКИХ ДИЭЛЕКТРИКОВ  | 118 |
| <b>Куржумбаев Д.Ж.</b><br>СТРУКТУРА АЛМАЗОПОДОБНЫХ СОЕДИНЕНИЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ ИЗ ГРАФЕНА L <sub>5-7</sub>   | 120 |
| <b>Латыпов К.Ф.</b><br>ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ИОНИЗАЦИИ И СРОДСТВА К ЭЛЕКТРОНУ КИСЛОРОД- И АЗОТСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ ПО ИНТЕГРАЛЬНЫМ ПАРАМЕТРАМ ОПТИЧЕСКОГО СПЕКТРА   | 121 |
| <b>Паймурзина<sup>1,2</sup> Н.Х., Ковалева<sup>2</sup> Э.А., Доломатов<sup>1,2</sup> М.Ю.</b><br>ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ПОТЕНЦИАЛОВ ИОНИЗАЦИИ И ИНТЕГРАЛЬНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ С УЧЕТОМ ГРУПП СИММЕТРИИ | 123 |
| <b>Симаков В.В., Осько И.Д., Синёв И.В., Гребенников А.И., Смирнов А.В., Кисин В.В.</b><br>ВЛИЯНИЕ ОСВЕЩЕНИЯ НА ВРЕМЯ ОТКЛИКА СЕНСОРА ГАЗА НА ОСНОВЕ ТОНКОЙ ПЛЕНКИ ДИОКСИДА ОЛОВА К ПАРАМ ЭТАНОЛА ПРИ КОМНАТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ                                   | 125 |
| <b>Поляк К.О.</b><br>РАСЧЕТ СТРУКТУРЫ ПОЛИМОРФНЫХ РАЗНОВИДНОСТЕЙ ГРАФЕНА  | 127 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Согрина Е.Э.</b><br>МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ДЕФЕКТОВ В СЛОЯХ<br>ГРАФЕНА   | 128 |
| <b>Суханов В.А., Осыко И.Д., Симаков В.В.</b><br>ВОЛЬТАМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ<br>ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ<br>ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК ДИОКСИДА ОЛОВА     | 129 |
| <b>Тиньгаев М. И.</b><br>РАСЧЕТ СТРУКТУРЫ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ,<br>ПОЛУЧАЮЩИХСЯ ПРИ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ФУЛЛЕРИТА C <sub>20</sub>  | 131 |
| <b>Таран В.М., Лясникова А.В., Маркелова О.А., Дударева О.А.,<br/>Гришина И.П.</b><br>МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОРИСТОСТИ ПЛАЗМЕННЫХ<br>ПОКРЫТИЙ: АЛГОРИТМ И МЕТОДИКА              | 132 |
| <b>Тулехан А.</b><br>АНАЛИЗ СОСТАВА НЕФТИ МЕТОДОМ ИНФРАКРАСНОЙ<br>СПЕКТРОСКОПИИ   | 134 |
| <b>СЕКЦИЯ «СКАНИРУЮЩАЯ ЗОНДОВАЯ МИКРОСКОПИЯ:<br/>ИЗМЕРЕНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ АТОМАРНОГО И<br/>НАНОМЕТРОВОГО МАСШТАБА»</b>  | 136 |
| <b>О.Е. Глухова, П.В. Барков, М.М. Слепченков</b><br>ВЛИЯНИЕ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ НА ЭЛЕКТРОННЫЕ<br>СВОЙСТВА ГРАФЕНОВЫХ НАНОБЛИСТЕРОВ                            | 136 |
| <b>Акбутин Г. Д., Шарипов Т.И.</b><br>РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ОБРАЗЦОВ<br>АСФАЛЬТО-СМОЛИСТЫХ ВЕЩЕСТВ ДЛЯ ДЕТАЛЬНОЙ<br>ВИЗУАЛИЗАЦИИ ИХ ПОВЕРХНОСТНОЙ СТРУКТУРЫ | 138 |
| <b>Беглецова Н.Н., Селифонова Е.И., Чернова Р.К., Глуховской<br/>Е.Г.</b><br>«ЗЕЛЕНЫЙ МЕТОД» ПОЛУЧЕНИЯ НАНОЧАСТИЦ МЕДИ  | 140 |
| <b>Беглецова Н.Н., Селифонова Е.И., Чернова Р.К., Глуховской<br/>Е.Г.</b><br>ПОЛУЧЕНИЕ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ НАНОЧАСТИЦ НИКЕЛЯ  | 142 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Белекеев И.А.</b><br>РАСЧЕТ СТРУКТУРЫ ЭНДОЭДРАЛЬНЫХ НАНОТРУБОК  | 144 |
| <b>Беленков М.Е., Чернов В.М.</b><br>РАСЧЕТ СТРУКТУРЫ ФТОРОГРАФАНОВЫХ ПОЛИМОРФОВ   | 145 |
| <b>Глухова О.Е., Слепченков М.М., Мигрофанов В.В.</b><br>ЭЛЕКТРОННАЯ СТРУКТУРА И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОНО- И БИСЛОЙНЫХ ГРАФЕН-НАНОТРУБНЫХ ПЛЕНОК  | 146 |
| <b>Гришина И.П., Таран В.М., Лясникова А.В., Маркелова О.А., Дударева О.А.</b><br>МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОРИСТОСТИ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ: АЛГОРИТМ И МЕТОДИКА  | 148 |
| <b>И.М. Долуденко<sup>1,2</sup>, А.С. Шаталов<sup>1,2</sup>, Д.Л. Загорский<sup>2</sup>, С.А. Бедин<sup>2,3</sup>, В.В. Артемов<sup>2</sup></b><br>МАТРИЧНЫЙ СИНТЕЗ ГЕТЕРОСТРУКТУРНЫХ НАНОПРОВОЛОК Cu/Ni: ВЫБОР АНОДА И РЕЖИМА ОСАЖДЕНИЯ | 150 |
| <b>И.М. Долуденко<sup>1,2</sup>, А.С. Шаталов<sup>1,2</sup>, Д.Л. Загорский<sup>2</sup>, С.А. Бедин<sup>2,3</sup>, В.В. Артемов<sup>2</sup></b><br>ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО НА СТРУКТУРУ СЛОЕВЫХ НАНОПРОВОЛОК ПОЛУЧЕННЫХ МАТРИЧНЫМ СИНТЕЗОМ    | 152 |
| <b>Кутлубаев И.С., Шарипов Т.И.</b><br>ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОВОДИМОСТЬ КЛАСТЕРОВ РАЗЛИЧНОГО РАЗМЕРА, ИММОБИЛИЗОВАННЫХ НА ПОВЕРХНОСТЯХ С РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНЬЮ ПРОВОДИМОСТИ   | 154 |
| <b>Лифантова Е.Е., Вараюнь М.И., Антонов А.Ю.</b><br>АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ СИГНАЛА ПОЛЕВОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ЭМИССИИ НА ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОТЫ ВЫХОДА  | 156 |
| <b>Лясников В.Н., Протасова Н.В., Тарасов А.Г.</b><br>ФОРМИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАЗМОНАПЫЛЕННЫХ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ГАЗОПОГЛАЩАЮЩИХ СИСТЕМ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ  | 157 |

|  |     |
|--|-----|
| <p><b>Протасова Н.В., Гомон В.А., Тарасов А.Г.</b><br/> ПУТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И<br/> КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛИТЕЛЬНОГО<br/> ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ<br/> ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ</p>  | 159 |
| <p><b>Симаков В.В., Осыко И.Д., Суханов В.А., Синёв И.В., Смирнов А.В.</b><br/> ВЛИЯНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА ОТКЛИК<br/> СЕНСОРА ГАЗА НА ОСНОВЕ ТОНКОЙ ПЛЕНКИ ДИОКСИДА<br/> ОЛОВА К ПАРАМ ВОДЫ И ЭТАНОЛА ПРИ КОМНАТНОЙ<br/> ТЕМПЕРАТУРЕ</p>  | 161 |
| <p><b>Смирнов К.В.</b><br/> РАСЧЕТ СТРУКТУРЫ 3D-ГРАФИТОВ, СФОРМИРОВАННЫХ<br/> НА ОСНОВЕ АЛМАЗОПОДОБНЫХ ФАЗ</p>   | 163 |
| <p><b>Смирнова Д.А.</b><br/> АВТОИНТЕРКАЛИРОВАННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ НА ОСНОВЕ<br/> ГРАФЕНА</p>   | 164 |
| <p><b>А.С. Шаталов<sup>1,2</sup>, Д.Л. Загорский<sup>2</sup>, С.А. Бедин<sup>2,3</sup>, И.М. Долуденко<sup>1,2</sup>.</b><br/> ПОЛУЧЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОПРОВОЛОК ИЗ<br/> НИКЕЛЯ И ЖЕЛЕЗА ПУТЁМ ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЯ В ПОРЫ<br/> ТРЕКОВЫХ МЕМБРАН</p>  | 165 |
| <p><b>Сташкова В. В.<sup>2</sup>, Чукавин А. И.<sup>1</sup>, Валеев Р. Г.<sup>1</sup>, Алалыкин А. С.<sup>2</sup></b><br/> НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ ПОКРЫТИЯ НИКЕЛЯ НА<br/> ВЫСОКОРАЗВИТОЙ ПОВЕРХНОСТИ АЛЮМИНИЯ И ОКСИДА<br/> АЛЮМИНИЯ: ПОЛУЧЕНИЕ, СТРУКТУРА, КАТОДНЫЕ<br/> СВОЙСТВА В РЕАКЦИЯХ ВЫДЕЛЕНИЯ ВОДОРОДА</p>                                      | 167 |
| <p><b>Терехова Ю.С.</b><br/> РАЗРАБОТКА СВЕРХТОЧНЫХ СИСТЕМ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ДЛЯ<br/> ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ НА ОСНОВЕ<br/> МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕФОРМАЦИИ</p>   | 169 |
| <p><b>Хубежов С.А.<sup>1</sup>, Силаев И.В.<sup>1</sup>, Блиев А.П.<sup>1</sup>, Джиоев А.З.<sup>1</sup>, Fukutani K.<sup>2</sup>, Магкоев Т.Т.<sup>1</sup></b><br/> К МЕХАНИЗМУ ХЕМОСОРБЦИИ АТОМОВ МЕТАЛЛОВ НА<br/> ПОВЕРХНОСТИ ОКСИДОВ: ОТДЕЛЬНЫЕ АТОМЫ И<br/> СВЕРХМАЛЫЕ КЛАСТЕРЫ NI НА ПОВЕРХНОСТИ <math>\gamma</math>-<math>Al_2O_3(111)</math></p> | 171 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Чукавин А.И., Валеев Р.Г., Бельтюков А.Н.</b><br>НАБЛЮДЕНИЕ ЭКСИТОНОВ ПРИ КОМНАТНОЙ<br>ТЕМПЕРАТУРЕ В НАНОСТРУКТУРАХ $ZnS_xSe_{1-x}$ В МАТРИЦЕ<br>ПОРИСТОГО $Al_2O_3$  | 172 |
| <b>СЕКЦИЯ «МАГНИТНЫЕ НАНОСТРУКТУРЫ И ПРИБОРЫ<br/>СПИНТРОНИКИ»</b>  | 174 |
| <b>А. К. Муртазаев<sup>1,2</sup>, М. К. Рамазанов<sup>1</sup>, Я.К. Абуев<sup>1</sup>, М. К. Бадиев<sup>1</sup>,<br/>Д.Р. Курбанова<sup>1</sup>, К. Ш. Муртазаев<sup>2</sup></b><br>КРИТИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ МОДЕЛИ ИЗИНГА НА<br>ТРЕУГОЛЬНОЙ РЕШЕТКЕ С ВЗАИМОДЕЙСТВИЯМИ ВТОРЫХ<br>БЛИЖАЙШИХ СОСЕДЕЙ | 174 |
| <b>Абдуллина Д.У.<sup>1,2</sup>, Корзникова Е.А.<sup>1</sup>, Дмитриев С.В.<sup>1</sup></b><br>ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТИ УСТОЙЧИВОСТИ<br>ДЕЛОКАЛИЗОВАННЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ<br>МОД ТРЕУГОЛЬНОЙ РЕШЕТКИ МОРЗЕ  | 176 |
| <b>Д.Р. Байгутлин, В.Д. Бучельников, В.В. Соколовский, М.А.<br/>Загребин,</b><br>УПРУГИЕ СВОЙСТВА СПЛАВОВ ГЕЙСЛЕРА $Ni(Co)-Mn(Cr,C)-In$<br>И $Ni(Co)-Mn(Cr,C)-In$  | 177 |
| <b>Богомолов А.В., Шапаева Т.Б.</b><br>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ДВУКРАТНОЙ<br>ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ФОТОГРАФИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ<br>ОПТИЧЕСКОГО ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ ПЛЕНОК ФЕРРИТОВ-<br>ГРАНАТОВ  | 178 |
| <b>Вотченко Е.В., Шапаева Т.Б.</b><br>МАГНИТНАЯ ЗАПИСЬ ИНФОРМАЦИИ: НАСТОЯЩЕЕ И<br>БУДУЩЕЕ  | 180 |
| <b>Ильин С.В., Логунов М.В.</b><br>ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА<br>СПЕКТРАЛЬНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ФАРАДЕЕВСКОГО<br>ВРАЩЕНИЯ В МАГНИТООПТИЧЕСКИХ ПЛЁНКАХ  | 182 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Салимов Р.К., Гумеров А.М., Екомасов Е.Г.</b><br>МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ДИНАМИКИ<br>МАГНИТНЫХ 3D-ПУЛЬСОНОВ И 3D-СОЛИТОНОВ В<br>ФЕРРОМАГНЕТИКЕ С ДЕФЕКТАМИ   | 183 |
| <b>Кондратьев Д.В.</b><br>К ВОПРОСУ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКИХ<br>ИСКАЖЕНИЙ СМЕКТИЧЕСКИХ СЛОЕВ $SmC^*$ В<br>СКРЕЩИВАЮЩИХСЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ И МАГНИТНОМ<br>ПОЛЯХ  | 184 |
| <b>Кобяков А.В.<sup>1,2</sup>, Турпанов И.А.<sup>2</sup>, Патрин Г.С.<sup>1,2</sup>, Руденко<br/>Р.Ю.<sup>1,2</sup>, Юшков В.И.<sup>1,2</sup>, Косырев Н.Н.<sup>2</sup></b><br>СИНТЕЗ, СТРУКТУРА И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА<br>ТОНКОПЛЕНОЧНОЙ СИСТЕМЫ $Al_2O_3/Ge-p/Al_2O_3/Co$ . | 185 |
| <b>Костарев Д.С.</b><br>ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ<br>УПРУГИХ ВОЛН С ФМР В ПЛЁНКАХ НИКЕЛЯ   | 186 |
| <b>Кукушкин И.С., Голов А.В., Власов В.С., Котов Л.Н.</b><br>ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОЙ ПЕРЕОРИЕНТАЦИИ<br>АНСАМБЛЯ МАЛЫХ NiO ЧАСТИЦ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СВЧ<br>ПОЛЯ   | 188 |
| <b>Макаров П.А.<sup>1</sup>, Котов Л.Н.<sup>1</sup>, Шавров В.Г.<sup>2</sup>, Щеглов В.И.<sup>2</sup></b><br>ОСОБЕННОСТИ ДИСПЕРСИИ МАГНИТОСТАТИЧЕСКИХ<br>ВОЛН В ДИССИПАТИВНЫХ СРЕДАХ  | 189 |
| <b>Мирошкина О.Н.<sup>1</sup>, Заяк А.Т.<sup>2</sup>, Бучельников В.Д.<sup>1</sup></b><br>ФОНОННЫ В СПЛАВАХ ГЕЙСЛЕРА $Pd_2MnZ$ ( $Z = Ga, Ge, As$ )   | 191 |
| <b>Назарова З.И.<sup>1</sup>, Назаров А.Н.<sup>1</sup>, Орлов В.А.<sup>1,2</sup>, Прокопенко В.С.<sup>3</sup></b><br>ВЛИЯНИИ МАГНИТОУПРУГОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НА<br>НАМАГНИЧЕННОСТЬ НАНОРАЗМЕРНЫХ МАГНИТНИКОВ   | 192 |
| <b>Т. Першукова, М. Загребин, В. Соколовский, В. Бучельников</b><br>ВЛИЯНИЕ НАРУШЕНИЯ ПОРЯДКА НА УПРУГИЕ СВОЙСТВА<br>СПЛАВА ГЕЙСЛЕРА $Co_2CrAl$   | 193 |
| <b>Руденко Р.Ю., Орлов В.А.</b><br>СВЯЗАННЫЕ КОЛЕБАНИЯ МАГНИТНЫХ ВИХРЕЙ В<br>МАССИВЕ КВАДРАТНЫХ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ  | 194 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Руденко Т.В.<sup>1</sup>, Патрин Г.С.<sup>1,2</sup></b><br>МАГНИТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТРЕХСТОЙНЫХ ПЛЕНОК Fe/Bi/Fe   | 195 |
| <b>Сафонов С.С., Чурбанов А.М., Логунов М.В.</b><br>КОЭРЦИТИВНАЯ СИЛА ПЛЁНОК И ГЕТЕРОСТРУКТУР НАНОМЕТРОВЫХ ТОЛЩИН  | 196 |
| <b>Вл.Е. Сеницын<sup>1</sup>, А.С. Овчинников<sup>1</sup>, И.Г. Бострем<sup>1</sup>, И.В. Проскурин<sup>1</sup>, Дж. Кишине<sup>2</sup></b><br>РЕЗОНАНСНАЯ ДИНАМИКА СОЛИТОННОЙ РЕШЕТКИ В КИРАЛЬНОМ ОДНООСНОМ ГЕЛИМАГНЕТИКЕ | 198 |
| <b>Субхангулова А.М.<sup>1,2</sup>, Корзникова Е.А.<sup>1</sup>, Дмитриев С.В.<sup>1</sup></b><br>МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИФфуЗИОННОЙ СВАРКИ МЕТАЛЛОВ В РАМКАХ ДВУМЕРНОЙ МОДЕЛИ КРИСТАЛЛА С КВАДРАТНОЙ РЕШЕТКОЙ                     | 200 |
| <b>Тааев Т. А.<sup>1</sup>, Хизриев К. Ш.<sup>1,2</sup>, Мургазаев А. К.<sup>1,2</sup>, Хизриев Ш. К.<sup>1</sup></b><br>МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА МОДЕЛИ МАГНИТОТВЕРДОГО/МАГНИТОМЯГКОГО БИСЛОЯ                                   | 201 |
| <b>Степанов С.В., Антонов Г.И.</b><br>ВЛИЯНИЕ СПИН-ПОЛЯРИЗОВАННОГО ТОКА И ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ДИНАМИКУ И ТРАНСФОРМАЦИЮ СТРУКТУРЫ СВЯЗАННЫХ МАГНИТНЫХ ВИХРЕЙ  | 203 |
| <b>Терещенко А.А., Сеницын Вл.Е.</b><br>МАГНИТОАКУСТИЧЕСКИЙ РЕЗОНАНС В ХИРАЛЬНЫХ ГЕЛИМАГНЕТИКАХ  | 204 |
| <b>Ханипов Т.Ф., Бухараев А.А., Бизяев Д.А., Нургазизов Н.И.</b><br>ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ И НАГРЕВА НА ПОЛЕ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ СУБМИКРОННЫХ ЧАСТИЦ  | 205 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Холопов Н.В.</b><br>ИССЛЕДОВАНИЕ СВЧ И ВЧ ПРОВОДИМОСТИ МАГНИТНЫХ КОМПОЗИТНЫХ ПЛЁНОК  | 207 |
| <b>СЕКЦИЯ «НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ В УСТРОЙСТВАХ ЭНЕРГЕТИКИ»</b>   | 209 |
| <b>Шарипов Р. А.</b><br>О ПРЕОБРАЗОВАНИИ ПРОСТЫХ АЛКАЛИНОВЫХ БАТАРЕЕК В АККУМУЛЯТОРНЫЕ  | 209 |
| <b>Кубенова М.М.<sup>1,2</sup>, Агилова Н.Г.<sup>1</sup>, Балапанов М.Х.<sup>1</sup>, Ишембетов Р.Х.<sup>1</sup></b><br>ДСК КАЛОРИМЕТРИЯ И РЕНТГЕНОФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СУЛЬФИДОВ МЕДИ<br>$\text{Na}_{0,05}\text{Cu}_{1,95}\text{S}$ , $\text{Na}_{0,075}\text{Cu}_{1,925}\text{S}$ , $\text{Na}_{0,1}\text{Cu}_{1,9}\text{S}$ , $\text{Na}_{0,15}\text{Cu}_{1,85}\text{S}$ . | 210 |
| <b>Адалбек Н., Халилова И., Абдраман Б.К.</b><br>СИНТЕЗ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КВАНТОВЫХ ТОЧЕК CdSe и CdS  | 212 |
| <b>Акманов А.А., Акманова Г.Р.</b><br>ЯВЛЕНИЯ ИОННОГО ПЕРЕНОСА В ДВУМЕРНЫХ СУПЕРИОННЫХ ПРОВОДНИКАХ  | 214 |
| <b>Alieva A., Yussupbekova B.</b><br>A STUDY ON PV PARAMETERS, RADIATION CHARACTERISTICS POLYCRYSTALLINE SOLAR CELL AT DIFFERENT TEMPERATURE AND LIGHT  | 215 |
| <b>Андрющенко Т.А., Игуменов А.Ю., Канзычакова В.О., Паршин А.С.</b><br>РАЗДЕЛЕНИЕ ВКЛАДОВ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ В СПЕКТРАХ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОНОВ СТРУКТУР Fe-Si  | 216 |
| <b>Кубенова М.М.<sup>1,2</sup>, Ахметгалиев Б. М.<sup>1</sup>, Кутербек К.А.<sup>2</sup>, Балапанов М.Х.<sup>1</sup></b><br>ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И ДСК КАЛОРИМЕТРИЯ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СУЛЬФИДОВ $\text{K}_{0,1}\text{Cu}_{1,9}\text{S}$ , $\text{K}_{0,15}\text{Cu}_{1,85}\text{S}$ , $\text{K}_{0,2}\text{Cu}_{1,8}\text{S}$   | 218 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Байрбаева Г.Б., Агабеков Ж.Х.</b><br>МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИОННОЙ ПРОВОДИМОСТИ<br>ТВЕРДОКСИДНОГО КАТОДА НА ОСНОВЕ $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  | 219 |
| <b>Ганиева Ю. Р., Газизова Г. А.</b><br>ТЕЧЕНИЕ ДИСКОЦИТОВ В СОСУДЕ СО СТЕНОЗОМ   | 220 |
| <b>Касамытов Н.К., Кыдыралиев Э.М., Нургамит К.</b><br>НАНОСТРУКТУРИРОВАННАЯ ОКСИДОСОДЕРЖАЩАЯ<br>ВЫСОКОВОЛЬТНАЯ КЕРАМИКА  | 222 |
| <b>Кубенова М.М., Маркабаева Ф.Н., Хасанова А.Х., Ишембетов Р.Х., Балапанов М.Х.</b><br>ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОВЫЕ СВОЙСТВА<br>СУПЕРИОННОГО ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СПЛАВОВ $\text{Li}_{0,11}\text{Cu}_{1,89}\text{S}$ и<br>$\text{Li}_{0,18}\text{Cu}_{1,82}\text{S}$ . | 224 |
| <b>Шахмадеев Д.В., Ишембетов Р.Х.</b><br>ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СУПЕРИОННОГО<br>СУЛЬФИДА МЕДИ $\text{Na}_{0,20}\text{Cu}_{1,77}\text{S}$   | 226 |
| <b>Юнусов Р.В., Ишембетов Р.Х.</b><br>ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ СИНТЕЗА НА СВОЙСТВА СПЛАВА<br>$\text{Na}_{0,17}\text{Cu}_{1,80}\text{S}$  | 227 |
| <b>Курбанова Д.И., Акманова Г.Р.</b><br>ЭНТРОПИЯ И ЭНТАЛЬПИЯ В ТЕТРАГИДЕ МЕДИ   | 228 |
| <b>А. Мирзо, Оспанова Ж.Т.</b><br>ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УГЛЕРОДНЫХ<br>НАНОКОМПОЗИТНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ<br>ЛАЗЕРНОЙ ФОТОАКУСТИКИ   | 229 |
| <b>Рябин А. А., Махмутов А. Р., Слаутин Б. С., Пелегов Д. В.</b><br>ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ $\text{LiFePO}_4$ МЕТОДОМ<br>СПЕКТРОСКОПИИ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ<br>СВЕТА  | 231 |
| <b>Кубенова М.М.<sup>1,2</sup>, Балапанов М.Х.<sup>1</sup>, Хабибова Г. Ф.<sup>1</sup>,<br/>Якшибаев Р.А.<sup>1</sup></b><br>ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ<br>СУЛЬФИДАХ МЕДИ, ДОПИРОВАННЫХ КАЛИЕМ  | 232 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Хохлова Т.Н., Игуменов А.Ю., Паршин А.С.</b><br>СПЕКТРОСКОПИЯ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ ОТРАЖЕННЫХ<br>ЭЛЕКТРОНОВ Al   | 233 |
| <b>Лиханова О.А., Игуменов А.Ю., Паршин А.С.</b><br>СПЕКТРОСОКПИЯ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ ОТРАЖЕННЫХ<br>ЭЛЕКТРОНОВ Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>                                  | 235 |
| <b>Balapanov M. Kh., Kuvatov Z. Kh., Korytnikov A. A.</b><br>THE DIELECTRIC CONSTANT OF THE MIXTURE IS<br>COMPENSATED CHOLESTERIC LIQUID CRYSTALS                           | 237 |
| <sup>1</sup> Сафаргалиев Д.И., <sup>2</sup> Нигматуллина Г.Р.<br>МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗОННОЙ СТРУКТУРЫ И ФОНОННОГО<br>СПЕКТРА СЕЛЕНИДА МЕДИ И ТЕЛЛУРИДА СЕРЕБРА В<br>НАНОСОСТОЯНИИ | 239 |



