

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
Воробьевой Екатерины Андреевны
на тему: «Анизотропия тепловых и электрофизических свойств
углеродных нанотрубок и полимерных композитов с их включением»
по специальности 01.04.15 – «Физика и технология наноструктур,
атомная и молекулярная физика»

С момента открытия углеродных нанотрубок (УНТ) в 1991 году научное сообщество активно занимается их исследованиями. Уникальные свойства углеродных нанотрубок (например, зависимость типа проводимости от геометрии, хорошая механическая и химическая стабильность, высокая электропроводность) вдохновляют сотни лабораторий по всему миру исследовать применения нанотрубок в различных областях: от сенсорных экранов до корпусов лодок и самолетов. Развитие различных методов синтеза УНТ обеспечило не только разнообразие материалов на основе нанотрубок (пленки, отдельно стоящие листы, леса, аэрогели), но также способствовало крупномасштабному производству нанотрубок. Массовое производство, в свою очередь, снизило стоимость многостенных углеродных нанотрубок на два порядка, что обеспечило внедрение нанотрубок в повседневную жизнь.

В зависимости от геометрии нанотрубки могут иметь полупроводниковый или металлический тип проводимости. Каждый тип нанотрубок имеет свою область применения: металлическая фракция используется, например, для создания контактной разводки в платах микросхем, полупроводниковая фракция – для создания транзисторов и сенсоров транзисторного типа. Диссертантом проделана большая работа по исследованию оптимальных режимов осаждения УНТ различных конфигураций на различных подложках, а также режимов, обеспечивающих создание композитных материалов с УНТ в качестве наполнителей. Особый интерес представляют результаты соискателя по синтезу ориентированных

УНТ, исследованию структурных особенностей многостенных углеродных нанотрубок, структурных характеристик каталитических наночастиц, способствующих формированию УНТ, и особенностей их взаимодействия с УНТ. Тема диссертации является безусловно актуальной. Работа вносит вклад в формирование более полного представления о механизмах роста УНТ и возможностях их использования в новых композитных материалах с высокими функциональными свойствами.

Защищаемые соискателем положения достаточно обоснованы в диссертации. Так положения

«1. Структура нанокластеров Fe в углеродных нанотрубках имеет моноклинную искаженную гранецентрированную решетку, соответствующей деформированной гамма-фазе железа, с моноклинной деформацией кубической симметрии с осями $c > a = b$ и с квадратной базой, трансформированной в ромбическую;

«2. Соседние слои в многостенных углеродных нанотрубках не являются структурно когерентными»

убедительно обоснованы в Главе 3 в разделе «Кристаллическая структура МУНТ и включений катализатора (по результатам ПЭМ)». Представленные в этом разделе результаты являются новыми, а их достоверность не вызывает сомнений.

Положение

«3. При определенных условиях пиролитического газофазного осаждения ориентированные углеродные нанотрубки могут формировать структуру микротрубок»

проиллюстрировано также в главе 3. Такие структуры обнаружены впервые, однако хотелось бы большей детализации описания условий синтеза в диссертации.

Положение

«4. Использование ориентированных определенным образом углеродных нанотрубок (УНТ) в полимерных композитах позволяет существенно (на 10-12 порядков) увеличить их электропроводность

(($\sigma=0,85 \cdot 1/(Oм \cdot см)$)), тем самым переводя материал из разряда диэлектриков в разряд проводников»

обосновано в главе 4 диссертации. Соответствующие результаты опубликованы автором в журнале, входящем в категорию Q1 по индексации WoS. Тем не менее стоило бы расширить исследования, например, включив температурную зависимость и исследование композитов с функционализированными УНТ.

Положение

«5. Теплопроводность эпоксидной смолы с вертикально ориентированными УНТ (16,7% по объему) в 18,5 раз и с ГО УНТ в 5 раз превышает теплопроводность исходной смолы, а также превышает теплопроводность эпоксидной смолы с неориентированными УНТ»

обосновано в главе 5 диссертации, однако также следовало бы исследовать влияние функционализации на теплопроводность композитов.

В целом, научные положения, выносимые на защиту, и выводы можно считать обоснованными и достоверными. Достоверность результатов обеспечивается публикациями в журналах WoS/Scopus, участием в международных и российских конференциях, непротиворечием с другими научными данными и успешным применением апробированной среды для моделирования, которое, безусловно, стоит продолжить.

Рекомендации в виде дальнейших разработок темы, которые позволят создавать композитные материалы с заранее определенными характеристиками для большого количества приложений, весьма актуальны и могут способствовать снижению стоимости синтеза МУНТ, удешевлению производства и созданию все более прогрессивных технологий контроля свойств нанокompозитных материалов с превосходными функциональными свойствами.

Однако стоит отметить следующие замечания по тексту диссертации:

1. В главе 2 «Методика эксперимента. Методы исследования» в разделе 2.8 «Функционализация многостенных углеродных нанотрубок методом воздействия ионным пучком» стр.63 указан диапазон флюенсов от $5 \cdot 10^{13}$ до

10^{17} ион/см². Это не совпадает с флюенсом от $5 \cdot 10^{14}$ до $2 \cdot 10^{16}$ ионов/см², указанным в главе 3 «Структура синтезируемых многостенных углеродных нанотрубок» в разделе 3.4 стр. 92.

2. В тексте встречаются английские слова и буквы в подписях к рисункам, например, рис. 4.1 стр. 94, рис. 3.22 стр. 86.

3. При исследовании влияния режимов синтеза на структуру углеродных нанотрубок, а также исследовании различных методов и режимов функционализации УНТ следовало бы привести данные ИК-спектроскопии.

4. В тексте диссертации встречаются незначительные орфографические ошибки, например, на стр. 68 следует писать «в BSE-детекторе».

5. В главе 3 «Структура синтезируемых многостенных углеродных нанотрубок» следовало бы привести спектры комбинационного рассеяния (КР) света, чтобы нагляднее продемонстрировать различия в структуре полученных автором нанотрубок, так как КР спектроскопия – один из наиболее информативных методов диагностики углеродных наноструктур. Спектральные особенности дают информацию о геометрии, типе проводимости, структурных особенностях ОУНТ.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.04.15 – «Физика и технология наноструктур, атомная и молекулярная физика» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Считаю, что соискатель Воробьева Екатерина Андреевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по

специальности 01.04.15 – «Физика и технология наноструктур, атомная и молекулярная физика».

Официальный оппонент:

кандидат физико-математических наук, доцент,
Заведующий лабораторией спектроскопии наноматериалов Отдела
светоиндуцированных поверхностных явлений Центра естественно-научных
исследований ИОФ РАН
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Федерального исследовательского центра «Институт общей физики им. А.М.
Прохорова Российской академии наук» (ИОФ РАН)

Образцова Елена Дмитриевна

9.10.2020

Контактные данные:

тел.: _____, e-mail: _____

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:

01.04.05 – Оптика

Адрес места работы:

119991, г. Москва, ул. Вавилова, д. 38 корпус 1, к. 449
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный
исследовательский центр «Институт общей физики им. А.М. Прохорова
Российской академии наук» (ИОФ РАН), Центр естественно-научных
исследований ИОФ РАН, Отдел светоиндуцированных поверхностных
явлений, Лаборатория спектроскопии наноматериалов

Тел.: _____ e-mail: _____

**Подпись сотрудника Е.Д. Образцовой
удостоверяю:**

ВРИО учёного секретаря ИОФ РАН

д.ф.-м.н.



09.10.2020 г.

И.В. Глушнев.