



ГРАФЕНОВАЯ ФОТОНИКА

Е.Образцова, к.ф.-м.н., зав. лаб. спектроскопии наноматериалов Института общей физики им. А.М. Прохорова РАН, elobr@kapella.gpi.ru

Если раньше черный электропроводящий графит считался непригодным для фотоники материалом, то в последние годы эта точка зрения изменилась коренным образом. Оказалось, что при понижении размерности и переходе к двумерному графиту (графену) или одномерному графиту (одностенным углеродным нанотрубкам и графеновым нанополосам) материал проявляет новые уникальные свойства.

Так сложилось исторически, что первыми были открыты одностенные углеродные нанотрубки (ОУН) [1]. Они представляют собой однослойные цилиндры с диаметром 0,3-3,0 нм и длиной 1-10 мкм, свернутые (с различным углом закручивания) из полос графеновой плоскости (рис.1а). Обычно нанотрубки синтезируются в виде пучков (ropes). Пучки нанотрубок представляют собой одномерные кристаллы (рис.1б), они могут формировать протяженные тонкие пленки нанометровой толщины (рис.1с). Нанотрубка – одномерная углеродная структура, все атомы которой находятся на поверхности. Электронные и оптические свойства такой системы полностью определяются ее геометрией. ОУН могут быть как металлами, так и полупроводниками. В электронной структуре полупроводниковых нанотрубок появляется запрещенная зона, ширина которой растет при уменьшении диаметра нанотрубки. Это означает, что оптические свойства материала варьируемые.

Оказалось, что нанотрубки обладают также высокой оптической нелинейностью (на два порядка большей, чем широко использующиеся кристаллы KDP) и сверхбыстрыми временами релаксации электронных возбуждений (около 100 фс). Эти свойства открыли возможность использования нанотрубок в качестве сверхбыстрых модуляторов световых пучков – насыщающихся поглотителей (НП). НП используются для реализации режима самосинхронизации мод и формирования сверхкоротких (фемтосекундных) импульсов в лазерах ближнего ИК-диапазона [2–6] (рис.2); для генерации оптических гармоник [6, 7], для создания сверхбыстрых фотодетекторов, работающих в широком спектральном диапазоне [8]. Это

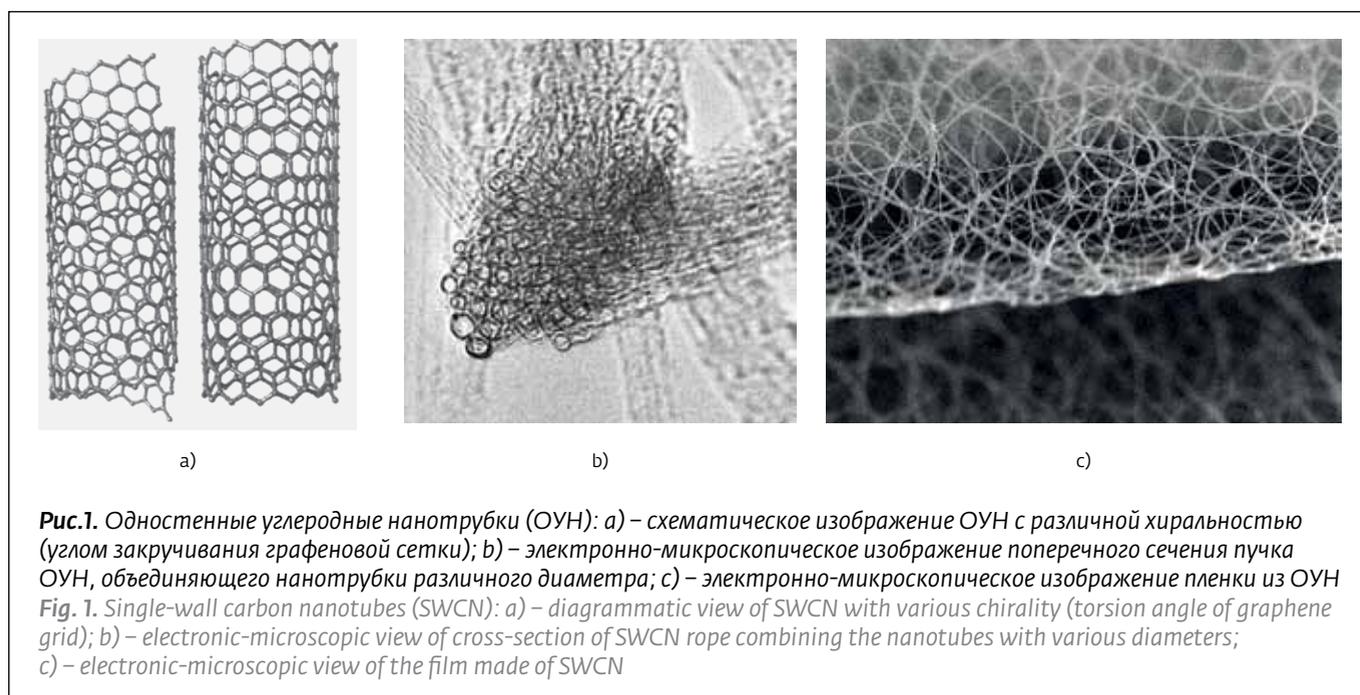
GRAPHENE PHOTONICS

E.Obraztsova, Chief of Laboratory of Nanomaterial Spectroscopy of Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences, elobr@kapella.gpi.ru

For many years the black electrically conductive graphite was considered as the material which is useless for photonics. Over the recent years the opinion about this material has been drastically changed. It was found that the new unique properties appear when decreasing the dimensionality and transiting to two-dimensional graphite (graphene) or one-dimensional graphite (single-wall carbon nanotubes and graphene nanoribbons).

Historically, single-wall carbon nanotubes (SWCN) were discovered first [1]. They are represented by single-layer cylinders with the diameter of 0.3-3.0 nm and length of 1-10 μm rolled up (with various torsion angle) from the bands of graphene plane (Fig.1a). Usually, the nanotubes are synthesized in the form of ropes, which are represented by one-dimensional crystals (Fig.1b). Nanotube ropes can form extended thin films with nanometric thickness (Fig.1c). Nanotube is one-dimensional carbon structure, all atoms of which are located on the surface. Electronic and optical properties of such system are completely determined by its geometry. SWCNs can be represented by metals and semiconductors. Forbidden zone, which increases with the decrease of nanotube diameter, occurs in the electron structure of semiconductor nanotubes. It means that the material has varying optical properties.

It was found that nanotubes also have high optical nonlinearity (by 2 orders higher than widely used crystals KDP) and ultrafast periods of relaxation of electron excitations (about 100 fs). These properties gave the opportunity to use nanotubes as ultrafast modulators of light beams – saturable absorbers (SA) used for the implementation of self-mode-locking and formation of ultrashort (femtosecond) pulses in the lasers with near IR band [2–6] (Fig. 2); for the generation of optical harmonics [6, 7], for the creation of ultrafast photodetectors operating in broad spectral range [8]. These capabilities are important for the development of optical communications (using the radiation with the fundamental wavelength of 1.5 μm), laser surgery and



дает возможность использовать материал в оптических коммуникациях (с использованием излучения с основной длиной волны 1,5 мкм), лазерной хирургии, особенно офтальмологической хирургии (с 1,8-2,2-мкм излучением), в зондировании загрязнений в атмосфере (при длинах волн более 2 мкм) и в спектроскопии с временным разрешением.

Формирование и применение насыщающихся поглотителей на основе ОУН является новой интенсивно развивающейся областью науки. Первое упоминание о применении ОУН (в виде пленки, напыленной на стекло) в качестве насыщающегося поглотителя в волоконном (эрбиевом) лазере было опубликовано японскими учеными в тезисах OFC-конференции в 2003 году [9]. А уже через год – в 2004 году российскими учеными из Института общей физики им. А.М. Прохорова РАН (ИОФ РАН) была реализована самосинхронизация мод в эрбиевом лазере с использованием жидкой суспензии нанотрубок (рис. 3а) [2]. В 2007 году, благодаря взаимодействию с Научным центром волоконной оптики РАН (НЦВО РАН), были успешно проведены работы по созданию элементов для волоконных лазеров в форме полимерных пленок с распределенными в них ОУН [4–6]. За десять лет на базе лаборатории спектроскопии наноматериалов (под руководством Е. Образцовой) в ИОФ РАН был реализован полный (полупромышленный) цикл формирования НП. Он включает в себя синтез ОУН методами дугового разряда и химического газофазного осаждения, всестороннюю характеристику

especially ophthalmological surgery (with the radiation of 1.8-2.2 μm), sensing of atmosphere pollution (with the wavelengths of more than 2 μm) and spectroscopy with time resolution.

Formation and application of the saturable absorbers based on single-wall carbon nanotubes (SWCN) refer to the new intensely-developing field of science. The first reference of SWCN application (in the form of the film evaporated on glass) as the saturable absorber in fiber (erbium) laser was published by Japanese scientists in the theses OFC of the conference in 2003 [9]. In the next year (2004) the Russian scientists from Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences (GPI RAS) implemented the self-mode-locking in erbium laser using the liquid suspension of nanotubes (Fig. 3a) [2]. In 2007 thanks to the cooperation with the Fiber Optics Research Center of the Russian Academy of Sciences (FORC RAS), the works associated with the creation of the elements for fiber lasers in the form of polymer films with distributed SWCN were successfully accomplished [4–6]. Over the recent years using the facilities of the Laboratory of Nanomaterial Spectroscopy (under the supervision of E.D. Obraztsova) in GPI RAS the complete (semi-industrial) cycle of SA formation was implemented: SWCN synthesis using the methods of arc discharge and chemical gas-phase deposition, comprehensive characterization of their properties by optical methods, formation of different types of SAs on their basis (Fig. 3b-d) and their testing in various lasers with broad range of operating wavelengths (1.0-2.2 μm).

их свойств оптическими методами, формирование на их основе НП различного типа (рис.3б-г) и их испытание в различных лазерах с широким диапазоном рабочих длин волн (1,0–2,2 мкм).

Широкий рабочий спектральный диапазон, определяемый геометрией нанотрубок, является одной из их ключевых уникальных характеристик. До недавнего времени нанотрубки, синтезированные различными методами (электрическая дуга, лазерная абляция, химическое газофазное осаждение из метана или паров спирта) имели диаметр менее 2 нм. В последние годы была продемонстрирована возможность использования одностенных углеродных нанотрубок в качестве насыщающихся поглотителей в лазерах, работающих в спектральном диапазоне 0,80–1,93 нм (от титан-сапфирового лазера [11] до тулиевого волоконного лазера [5, 6]). Однако реализовать режим самосинхронизации мод и получить субпикосекундные импульсы также важно и в диапазоне 2,0–3,0 мкм. Этого требует и оптическая диагностика атмосферы, и необходимость расширения класса лазеров, работающих с насыщающимися поглотителями, основанными на ОУН. Недавно разработанный аэрозольный метод синтеза с использованием ферроцена в газе СО позволяет получать большие нанотрубки с диаметрами до 3,0 нм. Их спектр поглощения покрывает диапазон вплоть до 3 мкм [12].

В 2004 году в науку стремительно ворвался графен – гексагональная углеродная сетка толщиной в один атом [10]. Относительно несложный способ его получения и регистрация многих новых фундаментальных эффектов в этом материале взбудоражили научное общество и принесли Нобелевскую премию его открывателям – выходцам из России Андрею Гейму и Константину Новоселову. Для фотоники появление графена открыло фантастическую возможность создания нелинейно-оптических элементов для практически неограниченного спектрального диапазона – от средней инфракрасной до терагерцевой области [11–12]. Российским ученым удалось внести свой вклад в использование графеновых насыщающихся поглотителей. В частности, впервые были зарегистрированы и измерены насыщающиеся потери на длине волны 10 мкм, характерной для широко применяющегося в технологиях СО₂-лазера [13].

Графен обладает всеми преимуществами нанотрубок (высокой оптической нелинейностью и субпикосекундными временами релаксации электронных возбуждений), но вследствие линейной дисперсии энергии электронов в зависимости от волнового вектора он может использоваться

Broad operating spectral range determined by nanotube geometry is one of their key unique characteristics. Until recently, the nanotubes synthesized by various methods (electric arc, laser ablation, chemical gas-phase deposition of methane or alcoholic fumes) have had the diameters of less than 2 nm. Over the recent years the capability of use of single-wall carbon nanotubes as the saturable absorbers in the lasers operating within the spectral range of 0.80–1.93 nm (from titanium-sapphire laser [11] to thulium fiber laser [5, 6]) was demonstrated. However, the capability to implement self-mode-locking and obtain subpicosecond pulses is very important within the range 2.0–3.0 μm for the optical diagnostics of atmosphere and expansion of the class of lasers, which operate with the saturable absorbers based on SWCN. Recently developed aerosol method of synthesis using ferrocene in CO gas makes it possible to obtain the large nanotubes with the diameters up to 3.0 nm, absorption spectrum of which covers the range up to 3 μm [12].

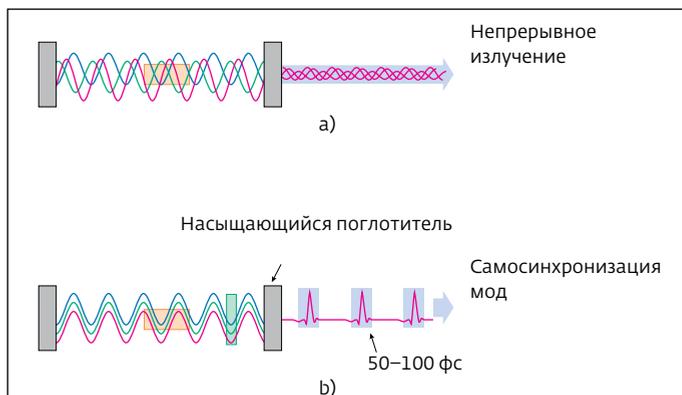


Рис.2. Схема процесса самосинхронизации мод в лазере: а) – при отсутствии насыщающегося поглотителя в лазерном резонаторе выходное излучение является непрерывным и представляет собой конволюцию мод различной интенсивности, высвечиваемых в произвольные моменты времени; б) – при внесении в резонатор амплитудно-дискриминирующего элемента (насыщающегося поглотителя) моды с низкой интенсивностью подавляются и по прошествии нескольких десятков проходов через резонатор выходное излучение становится структурированным с длительностью импульсов, соответствующей характерным параметрам мод (десятьки фемтосекунд)
Fig. 2 Diagram of the process of self-mode-locking in laser: а) – in case of the absence of saturable absorber in laser resonator, the output radiation is continuous and represents the convolution of the modes with various intensity illuminated in random moments of time; б) – in case of introduction of amplitude-discriminating element (saturable absorber), the modes with low intensity are suppressed and after several tens of passages through resonator the output radiation becomes structured with the pulse duration which corresponds to the typical mode parameters (tens of femtoseconds)

на любой длине волны, в то время как нанотрубки наиболее эффективны при возбуждении с длинами волн, совпадающими с максимумами их оптического поглощения. Максимальный диаметр, при котором одностенные нанотрубки остаются устойчивыми, ограничен – около 3 нм. Это значит, что максимальная длина волны, на которой могут работать насыщающиеся поглотители из ОУН, не превышает 3 мкм (рис.4).

Со времени первых экспериментов по использованию графеновых структур в фотонике прошло около 12 лет. Перефразируя известное выражение, можно сказать что графен "так же неисчерпаем, как и атом". Сегодня появились новые идеи использования графена для генерации суперконтинуума в волоконных лазерах, об увеличении оптической нелинейности в пленках из допированных одностенных углеродных нанотрубок или графена. При создании компактных лазеров на основе фотонных кристаллов [14] или "on-chip" лазеров графен рассматривается как единственный подходящий насыщающийся поглотитель, способный сохранить миниатюрность устройств. Сегодня в России более пяти групп в различных городах (в Москве, Новосибирске, Черноголовке, Нижнем Новгороде, Ижевске, Санкт-Петербурге) вовлечены в исследования в области графеновой фотоники. Следует отметить, что их результаты находятся на мировом уровне и вполне конкурентоспособны. Возможно, уже настала пора сделать шаг от лабораторных исследований к промышленным разработкам.

Работа поддержана Российским научным фондом в рамках проекта "Углеродная фотоника".

ЛИТЕРАТУРА

1. Iijima S. Helical microtubules of graphitic carbon. – Nature, 1991, v. 354, p. 56.
2. Ильичев Н.Н., Образцова Е.Д., Гарнов С.В., Мосалева С.Е. Нелинейное пропускание одностенных углеродных нанотрубок в D_2O на длине волны 1,54 мкм и получение режима самосинхронизации мод в лазере на стекле с Er^{3+} с помощью пассивного затвора на их основе. – Квантовая электроника, 2004, т. 34, с. 572.
3. Garnov S.V., Solokhin S.A., Obratsova E.D., Lobach A.S., Obratsov P.A., Chernov A.I., Bukin V.V., Sirotkin A.A., Zagumennyi Y.D., Zavartsev Y.D., Kutovoi S.A. and Shcherbakov I.A. Passive mode-locking with carbon nanotube saturable absorber in Nd: GdVO₄ and Nd: Y_{0,9}Gd_{0,1}VO₄ lasers operating at 1,34 mkm. – Laser Physics Lett., 2007, v.4, p.648.

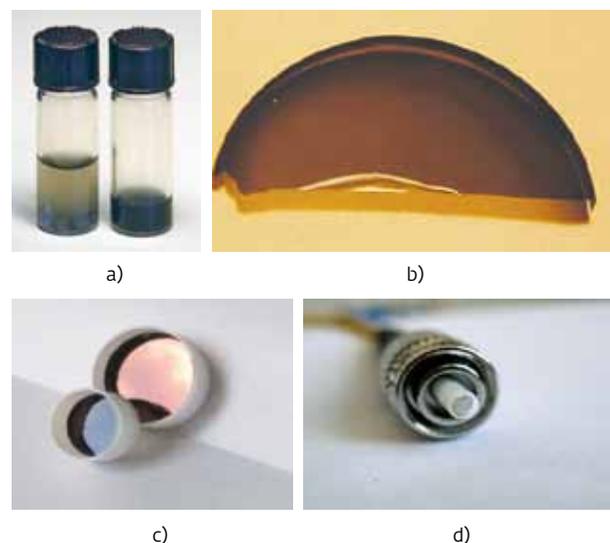


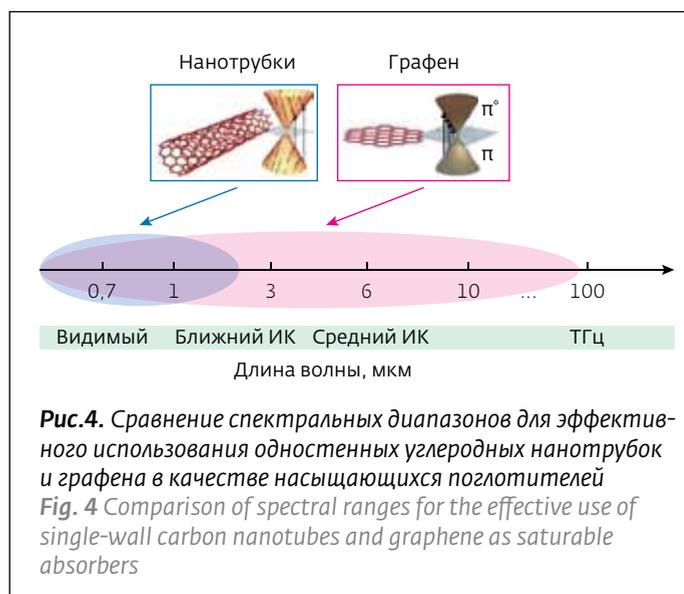
Рис.3. Различные типы насыщающихся поглотителей на основе одностенных углеродных нанотрубок: а) – однородная водная суспензия, содержащая индивидуальные ОУН, покрытые молекулами поверхностно-активного вещества; б) – пленка из карбоксиметилцеллюлозы с однородно распределенными ОУН; в) – зеркало, покрытое полимерной пленкой, содержащей индивидуальные ОУН; д) – коннектор волоконного лазера с нанесенной на его сердцевину пленкой из ОУН

Fig. 3 Various types of saturable absorbers based on single-wall carbon nanotubes: a) – homogeneous aqueous suspension containing the individual SWCNs which are covered with the molecules of surface active substance; b) – film of carboxymethyl cellulose with uniform-distributed SWCNs; c) – mirror covered with the polymer film containing individual SWCNs; d) – connector of fiber laser with the film of SWCN applied on its core part

In 2004 graphene, the hexagonal carbon grid with the thickness of one atom, burst into the science [10]. Relatively simple method of its obtainment and recording of several new fundamental effects in the material have agitated the scientific society and brought the Nobel Prize to its discoverers – immigrants from Russia, Andre Geim and Konstantin Novoselov. For photonics, the occurrence of graphene opened the fantastic capability of creation of nonlinear optical elements with practically unlimited spectral range – from medium infrared to terahertz region [11-12]. The Russian scientists managed to make contribution into the use of graphene saturable absorbers. In particular, the saturable losses at the wavelength of 10 μm , which is typical for CO₂ laser widely used in technologies, were recorded and measured for the first time [13].

Graphene has all advantages of nanotubes (high optical nonlinearity and sub-picosecond periods of

4. Tausenev A. V., Obraztsova E.D., Lobach A.S., Chernov A.I., Konov V.I., Kryukov P.G., Konyashchenko A.V., Dianov E.M. 177-fs erbium-doped fiber laser mode-locked with a cellulose polymer film containing single-wall carbon nanotubes. – Appl. Phys. Lett., 2008, v.92 p. 171113.
5. Max A. Solodyankin, Obraztsova E.D., Lobach A.S., Chernov A.I., Tausenev A.V., Konov V.I., Dianov E.M. 1.93 mm mode-locked thulium fiber laser with a carbon nanotube absorber. – Optics Lett., 2008, v. 33, p. 1336.
6. Chernysheva M., Krylov A., Arutyunyan N., Pozharov A., Obraztsova E., Dianov E. SESAM and SWCNT Mode-Locked All-Fiber Thulium-Doped Lasers Based on the Nonlinear Amplifying Loop Mirror. – IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, 2014, v. 20, p.1101208.
7. Bykov A.Y., Murzina T.V., Rybin M.G., Obraztsova E.D. Second harmonic generation in multilayer graphene induced by direct electric current. – Phys. Rev. B, 2012, v.85, p.121413 (R).
8. Obraztsov P.A., Kaplas T., Garnov S.V., Kuwata-Gonokami M., Obraztsov A.N., Svirko Yu.P. All-optical control of ultrafast photocurrents in unbiased grapheme. – Scientific reports, 2014, v.4, p.4007.
9. Set S.Y., Yaguchi H., Tanaka Y., Yablonski M., Sakakibara Y., Rozhin A., Tokumoto M., Kataura H., Achiba Y. and Kikuchi K. – Abstracts of OFC 2003 (USA), PDP44.
10. Novoselov K.S., Geim A.K., Morozov S.V., Jiang D., Zhang Y., S.V. Dubonos, Grigorieva I.V., and Firsov A.A. Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films. – Science, 2004, v. 306, p. 666.
11. Bao Q., Zhang H., Wang Yu, Ni Z., Yan Y., Shen Z.X., Loh K.P. and Tang D.Y. Atomic-Layer Graphene as a Saturable Absorber for Ultrafast Pulsed Lasers. – Adv. Func. Materials, 2009, v. 19, p. 3077.
12. Sun Z., Hasan T., Torrisi F., Popa D., Privitera G., Wang F., Bonnacorso F., Basko D.M. and Ferrari A.C. Graphene Mode-Locked Ultrafast laser. – ACS Nano, 2010, v. 4, p. 803.
13. Сороченко В.Р., Образцова Е.Д., Русаков П.С., Рыбин М.Г. Нелинейное пропускание графеном излучения CO₂-лазера. – Квантовая электроника, 2012, т. 42, с. 907.
14. Rybin M.G., Pozharov A.S., Chevalier C., Garrigues M., Seassal C., Peretti R., Jamois C., Viktorovitch P. and Obraztsova E. Enhanced optical absorbance of CVD-graphene monolayer by combination with photonic crystal slab. – Physica Status Solidi B, 2012, v. 249, p. 2530.



relaxation of electron excitations) but due to the linear dispersion of electron energy depending on the wave vector it can be used at any wavelength, while the nanotubes are more effective for the excitation with the wavelengths matching the maximums of their optical absorption. Maximum diameter, at which the single-wall nanotubes remain stable, is limited – about 3 nm. It means that maximum wavelength, at which the saturable absorbers of SWCN will operate, is not more than 3 μm.

About 12 years have passed since the time of initial experiments associated with the use of graphene structures in photonics. Paraphrasing well-known expression we can say that graphene "is inexhaustible in the same manner as atom". Nowadays, the new ideas on the graphene use for the generation of supercontinuum in fiber lasers, increase of optical nonlinearity of the films made of doped single-wall carbon nanotubes or graphene are occurring. When designing the compact lasers based on photonic crystals [14] or on-chip lasers, graphene is considered to be the only suitable saturable absorber which is capable to retain the diminutiveness of devices. Today, in Russia more than 5 groups in different cities (in Moscow, Novosibirsk, Chernogolovka, Nizhny Novgorod, Izhevsk, Saint Petersburg) are being involved in the studies of graphene photonics. It should be noted that their results meet the international standards and are fully competitive. It is possible that the time has come to make step from the laboratory studies to the industrial design.

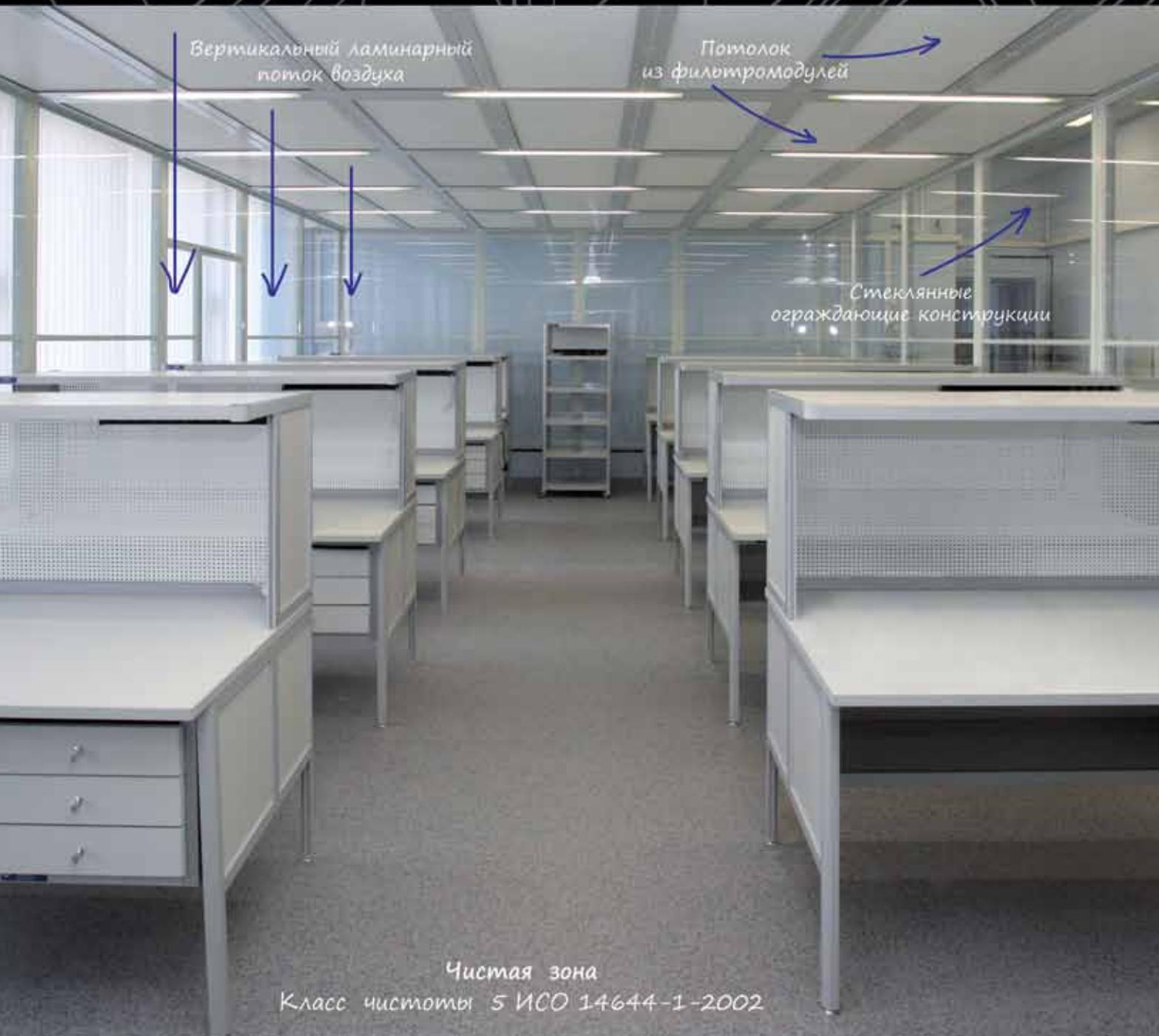
The work is supported by the Russian Research Foundation within the framework of the project "Carbon Photonics".



ЛАМИНАРНЫЕ СИСТЕМЫ
LAMSYSTEMS

www.lamsys.ru
+7 (3513) 255 - 255 sale@lamsys.ru
Представитель в Москве:
+7 (925) 508-71-26, +7 (901) 547-84-03

ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ



Вертикальный ламинарный
поток воздуха

Потолок
из фильтромодулей

Стеклянные
ограждающие конструкции

Чистая зона
Класс чистоты 5 ИСО 14644-1-2002

**ОСНАЩЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВ
И ЛАБОРАТОРИЙ
С ВЫСОКИМИ ТРЕБОВАНИЯМИ
К ЧИСТОТЕ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ**

**ЛАМИНАРНЫЕ УКРЫТИЯ
ПЕРЧАТОЧНЫЕ БОКСЫ
ЧИСТЫЕ ЗОНЫ
ЧИСТЫЕ ПОМЕЩЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОДЕЖДА**



ФЕСТИВАЛЬ ФОТОНИКИ PHOTONICS FESTIVAL IN TAIWAN



С 16 по 18 июня 2015 года на Тайване проходила выставка Photonics Festival in Taiwan. Тайвань - одна из главных мировых производственных площадок по изготовлению фотонной продукции: плазменных панелей, светодиодов, DVD-проигрывателей, фотовольтаических систем, оптического волокна и многих других устройств. Организаторами мероприятия выступила Ассоциация развития прикладной и индустриальной фотоники Тайваня – Photonics Industry & Technology Development Association (PIDA). Выставка проходила в новом выставочном зале Taipei World Trade Center (TWTC). Отсчитывая свою историю с 1984 года, она стала крупнейшей среди подобных профессиональных форумов Азии в оптоэлектронной отрасли. На самом деле - это шесть тематических выставок, каждая из которых фокусирует свое внимание на определенных отраслях.

OPTO Taiwan 2015 демонстрировала оптоэлектронные устройства, измерительные приборы, оптические устройства ввода-вывода и хранения информации. Отдельные зоны выставки были посвящены лазерным технологиям, 3D-печати, биофотонике, академической науке. Цель большинства участников – привлечь внимание инвесторов. Технология 3D-печати находится в стадии разработки, поэтому ранние инвестиции в R&D способны обеспечить в будущем целый ряд преимуществ 3D-технологий, чего нельзя выполнить с помощью традиционных методов производства.

В зоне лазерных приложений расположились фирмы по лазерной микрообработке, лазерной голографии, обработке изображений, автоматизированным роботам. В ходе выставки можно было увидеть разработки в области компонентов точной оптики для мобильной телефонии, цифровых систем видеонаблюдения, автомобилестроения, потребительских продуктов, коммерческих систем технического зрения и робототехники. Широко были представлены компании Японии и Китая.

Display Taiwan 2015 – выставка, в которой акцент сделан, естественно, на дисплеи: PDP-, LCD-, дисплеи на основе тонкопленочных транзисторов, на основе органических светоизлучающих люминесцентных диодов (OLED) и диодов с полевой эмиссией (FED). На наш взгляд, большинство экспонентов составляло промышленное оборудование для обработки элементов дисплеев и контроля узлов позиционирования.

NANO Taiwan 2015 – это выставка нанотехнологий. В ее зоне свою продукцию показали стартапы, боль-

шинство из которых расположены в технопарках. Разработанные ими продукты – уникальные приборы для телемедицины, радиологических исследований, они способны заинтересовать ведущие медицинские центры и больницы. Но в этой зоне мы встретили и крупные компании, выпускающие полимеры, химические наполнители, биоразлагаемые материалы для упаковки.

LED Lighting Taiwan 2015 – выставка освещения и светодиодов, **OPTICS TAIWAN 2015** – выставка высокоточной оптической промышленности, **Solar Taiwan 2015** – выставка фотовольтаики. И хотя аналитики предупреждают, что через десяток лет цены на PV-модули упадут вдвое, и это даст возможность альтернативной энергетике конкурировать по оптовым ценам с традиционной электроэнергией, участников выставки **Solar Taiwan** было мало. Для сравнения: **OPTO Taiwan** – 215 участников, **Display Taiwan 2015** – 40 участников, **LED Lighting Taiwan** – 74 участника, **OPTICS TAIWAN** – 56 участников, **NANO Taiwan** – 39 участников, **Solar Taiwan** – 7 фирм, плюс три крупнейших технопарка, среди которых Hsichu Science park, прозванный азиатской силиконовой долиной. Резиденты технопарков – это в основном стартапы, на их стендах мы увидели много уникальных приборов для медицинских учреждений и населения, следящего за состоянием своего здоровья.

Но самой "вкусной" оказалась новая выставка **Plant Factory**. Она объединила производителей агрокультур и представила продукцию компаний, занимающихся оборудованием для производства растений, показала большие наработки, сделанные на Тайване в области сельского хозяйства. Соединение знаний об особенностях выращивания плодов и растений с возможностями PV-энергетики и LED-источников дает потрясающие результаты.

Посещение выставки Photonics Festival in Taiwan для редакции журнала "Фотоника" было любезно предоставлено TAITRA (Советом по развитию внешней торговли Тайваня), его отделением в Санкт-Петербурге (stpetersburg.taiwantrade.com.tw). В следующих номерах журнала читатели увидят обзоры мероприятий и интервью с участниками выставки. Мы надеемся, что это поможет российским компаниям наладить торговые связи с поставщиками из Тайваня

*Н.Истомина, Л.Карякина,
журнал "Фотоника", издательство "ТЕХНОСФЕРА"*

