

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева  
Сибирского отделения Российской академии наук

Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»

## **Второй Российско-Белорусский семинар «Углеродные наноструктуры и их электромагнитные свойства»**

**Программа и сборник тезисов докладов**

**24–26 апреля 2017 года**

**Новосибирск, 2017**

УДК 546.26 + 54.052 + 544.22

Программа и тезисы докладов Второго Российско-Белорусского семинара «Углеродные наноструктуры и их электромагнитные свойства» / Ответственный за выпуск Окотруб А.В. Новосибирск: ИНХ СО РАН, 2017, 44 с.

Основной целью данного семинара является выявление и систематизация актуальных проблем и тенденций в области взаимодействия углеродных наноматериалов и гибридных систем на их основе с электромагнитным излучением в широком спектральном диапазоне; создание условий для обсуждения научных достижений, планирования совместных исследований и проектов в области электромагнитных свойств углеродных наноструктур, укрепление Российско-Белорусских научных связей.

**Научные направления:**

- Синтез и диагностика углеродных наноструктур
- Гибридные материалы
- Электрофизические характеристики углеродных наноструктур
- Применение терагерцового и гигагерцового излучения для характеристики наноматериалов
- Графеновая электроника
- Магнитные наноматериалы
- Теоретические методы и подходы в приложении к наноэлектромагнитизму

**Организаторы конференции:**

Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН  
Новосибирский государственный университет

**Программный комитет:**

- Кузнецов В.Л., к.х.н., ИК СО РАН, Новосибирск
- Кужир П.П., к.ф.-м.н., БГУ, Минск
- Максименко С.А., д.ф.-м.н., профессор, БГУ, Минск
- Насибулин А.Г., д.т.н., профессор, «Сколтех», Москва
- Окотруб А.В., д.ф.-м.н., профессор, Новосибирск
- Суслев В.И., к.ф.-м.н., ТГУ, Томск
- Федин В.П., чл.-к., ИНХ СО РАН, Новосибирск
- Федоров Г.Е., д.ф.-м.н., МФТИ, Москва
- Федорук М.П., чл.-к., профессор, НГУ, Новосибирск

**Секретариат конференции:**

Каныгин М.А., к.ф.-м.н., ИНХ СО РАН, Новосибирск

# Программа 2-ого Российско-Белорусского семинара «Углеродные наноструктуры и их электромагнитные свойства»

24 апреля (понедельник)

- 13<sup>00</sup>-13<sup>15</sup> **Открытие семинара**
- 13<sup>15</sup>-14<sup>00</sup> **Максименко Сергей Афанасьевич** (*НИИ ЯП БГУ, Минск*)
- 14<sup>00</sup>-14<sup>45</sup> **Кузнецов Владимир Львович** (*ИК СО РАН, Новосибирск*) - «Композиционные материалы на основе неорганических матриц, модифицированных углеродными нанотрубками»
- 14<sup>45</sup>-15<sup>00</sup> **Перерыв на кофе**
- 15<sup>00</sup>-15<sup>45</sup> **Кибис Олег Васильевич** (*НГТУ, Новосибирск*) – «Дираковские двумерные материалы в режиме сильного взаимодействия с электромагнитным полем»
- 15<sup>45</sup>-16<sup>30</sup> **Сусяев Валентин Иванович** (*ТГУ, Томск*) - «Композиционные материалы, эффективно взаимодействующие с электромагнитным излучением в широком диапазоне частот»
- 16<sup>30</sup>-19<sup>00</sup> Ужин на берегу Обского моря

25 апреля (вторник)

- 9<sup>30</sup>-10<sup>15</sup> **Кужир Полина Павловна** (*НИИ ЯП БГУ, Минск*) - «Мета-атомы и мета-поверхности на основе углеродных сфер для эффективного манипулирования СВЧ и терагерцовым излучением»
- 10<sup>15</sup>-11<sup>00</sup> **Федоров Георгий Евгеньевич** (*МФТИ, Москва*) - «Исследование возможностей использования наноструктур на основе графена для детектирования излучения терагерцового диапазона»
- 11<sup>00</sup>-11<sup>20</sup> **Перерыв на кофе**
- 11<sup>20</sup>-12<sup>05</sup> **Новопашин Сергей Андреевич** (*ИТ СО РАН, Новосибирск*) – «Влияние электрохимических свойств углеродных наноструктур на теплопроводность наножидкостей»

- 12<sup>05</sup>-12<sup>20</sup> **Кулешов Григорий Евгеньевич** (ТГУ, Томск) – «Многослойный поглотитель излучения на основе многостенных углеродных нанотрубок, гексаферрита и микропроводов»
- 12<sup>20</sup>-12<sup>45</sup> **Красников Дмитрий Викторович** (ИК СО РАН, Новосибирск) – «Электромагнитные свойства полимерных композиционных материалов на основе углеродных нанотрубок с контролируемыми свойствами»
- 12<sup>45</sup>-13<sup>05</sup> **Дорофеев Игорь Олегович** (ТГУ, Томск) - «Рассеяние электромагнитных пучков терагерцового диапазона на образцах аэрогелей сферической и плоскопараллельной формы»
- 13<sup>05</sup>-14<sup>00</sup> **Обед**
- 14<sup>00</sup>-14<sup>45</sup> **Петров Александр Владимирович** (ГО "НПЦ НАН Беларуси по материаловедению", Минск) – «Взаимодействие гибридных структур на основе углеродных нанотрубок с высокочастотным излучением»
- 14<sup>45</sup>-15<sup>05</sup> **Коровин Евгений Юрьевич** (ТГУ, Томск) – «Программное обеспечение для расчета электромагнитных параметров»
- 15<sup>05</sup>-15<sup>25</sup> **Федосеева Юлия Владимировна** (ИНХ СО РАН, Новосибирск) – «Гибридные структуры на основе углеродных нанотрубок и наночастиц CdS»
- 15<sup>25</sup>-15<sup>45</sup> **Казакова Мария Александровна** (ИК СО РАН, Новосибирск) - «Новые композитные материалы для электромагнитных приложений на основе полиэтилена и многослойных углеродных нанотрубок, модифицированных магнитными наночастицами Co.»
- 15<sup>45</sup>-16<sup>05</sup> **Седельников Ольга Викторовна** (ИНХ СО РАН, Новосибирск) – «Модификация поверхности графена для применения в фотонике»
- 16<sup>05</sup>-16<sup>20</sup> **Перерыв на кофе**
- 16<sup>20</sup>-16<sup>40</sup> **Песоцкий Кирилл** (НИИ ЯП БГУ, Минск) – «Взаимодействие монослойного графена с плоской лазерной волной»
- 16<sup>40</sup>-17<sup>00</sup> **Каныгин Михаил Андреевич** (ИНХ СО РАН, Новосибирск) - «Электромагнитные свойства композиционных материалов на основе диэлектрических матриц полимеров с различными углеродными наполнителями»

- 17<sup>00</sup>-17<sup>20</sup> **Горохов Глеб Викторович** (*НИИ ЯП БГУ, Минск*) - «Композиционные материалы на основе углеродных нанотрубок и магнитных наночастиц»
- 17<sup>20</sup>-17<sup>40</sup> **Хмель Сергей Яковлевич** (*ИТ СО РАН, Новосибирск*) – «Наноразмерные структуры оксида кремния, полученные методом химического газофазного осаждения, с активацией электронно-пучковой плазмой»
- 17<sup>40</sup>-18<sup>00</sup> **Ямалетдинов Руслан** (*ИНХ СО РАН, Новосибирск*) – «Моделирование переключения мембранного мемконденсатора»

26 апреля (среда)

- 9<sup>30</sup>-10<sup>15</sup> **Антонова Ирина Вениаминовна** (*ИФП, Новосибирск*) – «Квантовые и электронные свойства систем графен /фторографен»
- 10<sup>15</sup>-11<sup>00</sup> **Окотруб Александр Владимирович** (*ИНХ СО РАН, Новосибирск*) - «Структура и магнитные свойства многослойных углеродных нанотрубок инкапсулированных наночастицами железа»
- 11<sup>00</sup>-11<sup>20</sup> **Перерыв на кофе**
- 11<sup>20</sup>-11<sup>40</sup> **Петров Александр Владимирович** (*ГО "НПЦ НАН Беларуси по материаловедению", Минск*) – «Управление морфологией углеродного нанокompозита, посредством изменения прекурсора твердофазного пиролиза»
- 11<sup>40</sup>-12<sup>00</sup> **Бадьин Александр Владимирович** (*ТГУ, Томск*) – «К возможности управления электромагнитным излучением в квч области частот «умными» материалами»
- 12<sup>00</sup>-12<sup>20</sup> **Пономарев Александр** (*ИФПМ СО РАН, Томск*) – «Теплоемкость эпитаксиального графена»
- 12<sup>20</sup>-12<sup>40</sup> **Архипов Вячеслава Евгеньевич** (*ИНХ СО РАН, Новосибирск*) – «CVD-синтез допированного графена»
- 12<sup>40</sup>-13<sup>00</sup> **Фролов Кирилл Олегович** (*ТГУ, Томск*) – «Поглощающие свойства полимерного магнитного материала на основе нанокристаллического гексагонального феррита и углеродных нанотрубок»
- 13<sup>00</sup>-13<sup>20</sup> **Журавлев Виктор Алексеевич** (*ТГУ, Томск*) – «Радиопоглощающие свойства пустых микросфер магнетита, полученных плазмо-динамическим синтезом.»

24 апреля (понедельник)

Максименко С.А.  
НИИ ЯП БГУ, Минск, Беларусь



Директор НИИ ЯП БГУ (с 01.01.2013)

Заведующий лабораторией электродинамики  
неоднородных сред (до 31.12.2012)

Доктор физико-математических наук, профессор

Образование:

•Д.ф.-м.н.: 1996, Институт физики, Белорусская  
академия наук, Минск, Беларусь

•К.ф.-м.н.: 1988, Белорусский государственный  
университет, Минск, Беларусь

Тезисы:

1996 - "Propagation of waves and wave packets in periodical and dispersive media", Inst. of  
Physics, Belarusian Academy of Science, Minsk, Belarus

1988 - "Polarization and time-domain effects under the interaction of radiation from x-ray  
spectral range with anisotropic and dispersive media", Belarusian State University, Minsk,  
Belarus

## **Композиционные материалы на основе неорганических матриц, модифицированных углеродными нанотрубками**

Кузнецов В.Л.

*Институт катализа им. Г.К.Борескова СО РАН, Новосибирск*

В силу сочетания уникальных физических и механических свойств углеродных нанотрубок (УНТ), они считаются одним из наиболее перспективных компонентов для разработки новых композиционных материалов (КМ). При разработке КМ на основе неорганических матриц наибольшее внимание направлено на получении конструкционных КМ с улучшенными механическими свойствами. В частности, исследователи сосредоточены на получении материалов с повышенной ударопрочностью (трещиностойкостью) для преодоления хрупкости, присущей керамическим материалам. В то же время, с использованием УНТ также могут быть разработаны новые функциональные керамические материалы, характеризующиеся наличием у них специфических оптических свойств, повышенной электро- и теплопроводности. Эта мотивация вызвала появление многочисленных исследований, направленных на разработку методов введения УНТ в состав хрупких керамик для устранения их хрупкости, а также для получения прочных электро- и теплопроводящих материалов. В настоящем сообщении обсуждаются особенности синтеза оксидных композитов, модифицированных УНТ, обеспечивающих изменение свойств исходных матриц. Особое внимание будет уделено рассмотрению формирования границ раздела между оксидной матрицей и поверхностью УНТ, которая является наиболее важным для производства материалов с единообразными и воспроизводимыми свойствами. Кроме этого будут рассмотрены свойства некоторых композитов на основе керамических матриц, а именно: аэрогелей из  $\text{SiO}_2$  для оптических применений,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  токопроводящей вакуумноплотной керамики и пеностекла (композита для радиочастотных безэховых камер) и др.



# ДИРАКОВСКИЕ ДВУМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В РЕЖИМЕ СИЛЬНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

Кибис О.В.

*Новосибирский государственный технический университет*

E-mail: Oleg.Kibis@nstu.ru

Одним из активно развивающихся научных направлений в современной физике является исследование перенормировки (ренормализации) электронных свойств различных систем, обусловленной нерезонансным взаимодействием электронов с сильным высокочастотным электромагнитным полем [1]. Поскольку частоты нерезонансного поля лежат далеко от характерных частот электронной системы, то это поле не поглощается электронами и, следуя общепринятой терминологии, называется «одевающим полем» (dressing field). Соответственно, ренормализация электронных свойств одевающим полем называется «электромагнитным одеванием» или «электромагнитным дрессингом» (electromagnetic dressing). Проводя работы в рамках данного научного направления, мы теоретически исследовали электромагнитный дрессинг электронов в таких двумерных наноструктурах с линейным (дираковским) законом электронной дисперсии, как графен и топологические изоляторы. Из полученных нами недавних результатов [2–5] следует, что электромагнитный дрессинг существенным образом ренормализует электронные и спиновые характеристики дираковских материалов, приводя к появлению качественно новых светоиндуцированных явлений. В частности, одевающее поле индуцирует анизотропию электронных и спиновых свойств, приводит к появлению осциллирующей зависимости электронных транспортных характеристик как функции интенсивности одевающего поля, а также качественно меняет структуру уровней Ландау в магнитном поле. Предлагаемый доклад посвящен обсуждению этих новых физических эффектов.

[1] M. O. Scully and M. S. Zubairy, *Quantum Optics* (Cambridge University Press, Cambridge, 2001).

[2] K. Kristinsson, O. V. Kibis, S. Morina, I. A. Shelykh, *Scientific Reports* 6, 20082 (2016).

[3] O. V. Kibis, S. Morina, K. Dini, I. A. Shelykh, *Physical Review B* 93, 115420 (2016).

[4] A. S. Sheremet, O. V. Kibis, A. V. Kavokin, I. A. Shelykh, *Physical Review B* 93, 165307 (2016).

[5] D. Yudin, O. V. Kibis, I. A. Shelykh, *Journal of New Physics* 18, 103014 (2016).

## **КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ЭФФЕКТИВНО ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИЕ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ**

Суляев В.И.

*Томский государственный университет  
sust@mail.tsu.ru*

Материалы, эффективно отражающие или поглощающие электромагнитное излучение, находят применение для: решения задач электромагнитной совместимости; защиты биологических объектов от вредного воздействия электромагнитного излучения; снижения радиозаметности военной техники; создания безэховых камер; устранения боковых лепестков антенн; защиты информации.

В настоящее время создан обширный класс композиционных материалов, в которых активной фазой являются: углеродные материалы, включая наноразмерные (луковичные структуры, одно- и многослойные углеродные нанотрубки, графен); микропровод; карбонильное железо; ферриты различного состава и кристаллографических структур (шпинели, граната, гексагональной).

В качестве связующего наиболее часто используются: эпоксидная смола, латекс, порошковая краска, полиэтилен, жидкое стекло, полиуретановый лак, пенополиуретан, пеностекло.

Несмотря на относительно большую рыночную номенклатуру разработанных материалов, применяемых для экранирования, исследования в этой области продолжаются, что вызвано появлением новых задач и ростом требований к материалам, среди которых можно выделить следующие: широкополостность; малая толщина и малый вес; хорошая адгезия; многофункциональность (антикоррозионные свойства, теплозащита, звукоизоляция, защита от ионизирующего излучения); технологичность; термостабильность и способность работать при высоких температурах; низкая стоимость.

В настоящее время внимание уделяется разработке материалов с адаптивными электромагнитными характеристиками и материалам, которые могут быть использованы для маскировки обтеканием.

Разработка новых композиционных материалов, эффективно взаимодействующих с электромагнитным излучением, является актуальной задачей.

25 апреля (вторник)

## **МЕТА-АТОМЫ И МЕТА-ПОВЕРХНОСТИ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ СФЕР ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО МАНИПУЛИРОВАНИЯ СВЧ И ТЕРАГЕРЦОВЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ**

Д.С.Быченко, О.Г.Поддубская, П.П.Кужир  
*НИИ ядерных проблем БГУ*

Будет представлена идея разработки и экспериментальной реализации нового типа мета-атомов, 2D и 3D структур из них на основе полых нано- и микросфер с магнитными включениями, эффективные диэлектрические и магнитные свойства которых могут регулироваться и контролироваться посредством дизайна и структуры электрических и магнитных элементов системы. Точный контроль над геометрией и электромагнитными свойствами исходной матрицы позволит получить мета-атомы с характерным, заранее заданным, электрическим и магнитным откликом, а дизайн определенного пространственного распределения элементов (мета-атомов) в 2D- и 3D-структуре, в том числе пространственно-периодического распределения, позволит создать материалы и поверхности с профилированным, контролируемо изменяющимся показателем преломления.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАНОСТРУКТУР НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА

Федоров Г.Е.

*МФТИ*

В последнее время наблюдается повышенный интерес к так называемому терагерцовому диапазону электромагнитного излучения (от  $10^{11}$  до  $10^{13}$  Гц). Это связано, прежде всего, с появлением новых подходов к созданию, как источников, так и детекторов этого излучения. При этом проводятся исследования, которые ставят задачи как получения новых научных данных, так и создания более эффективных источников (оптоэлектронных приборов) и детекторов излучения терагерцового диапазона. Актуальной задачей остается детектирование ТГц излучения. Увеличение чувствительности детекторов излучения ТГц диапазона может быть достигнуто за счет уменьшения размера чувствительного элемента. При этом практически идеальным материалом для создания наноразмерных структур, пригодных для этой цели является графен и его «производные»: углеродные нанотрубки (УНТ), графеновые наноленты (ГНЛ) и др. Одним из главных преимуществ графена является высокая подвижность носителей и связанная с этим большая длина когерентности, благодаря чему зонная структура определяется размерным квантованием и может контролироваться заданием геометрических размеров структуры.

Ранее были предложены несколько более или менее успешных конфигураций детекторов ТГц излучения [1-5] на основе графена и УНТ. Дальнейшее усовершенствование такого типа устройств невозможно без более глубокого понимания механизмов, определяющих величину отклика на излучение.

В данном докладе будут представлены результаты проведенных нами систематических исследований детекторов различных конфигураций с чувствительным элементом на основе как графена, так и УНТ и ГНЛ. Полученные данные позволяют определить наиболее перспективные направления развития технологии создания наноуглеродных структур для детектирования ТГц излучения.

[1] L. Vicarelli, M. S., D. Coquillat, A. Lombardo, A. C. Ferrari, W. Knap, M. Polini, V. Pellegrini, and A. Tredicucci, *Nat. Mater.* 11, 865 (2012).

[2] X. Cai, A. B. Sushkov, R. J. Suess, M. M. Jadidi, G. S. Jenkins, L. O. Nyakiti, R. L. Myers-Ward, S. Li, J. Yan, D. K. Gaskill, T. E. Murphy, H. D. Drew, and M. S. Fuhrer, *Nat. Nanotechnol.* 9, 814 (2014).

[3] X. He, N. Fujimura, J. M. Lloyd, K. J. Erickson, A. A. Talin, Q. Zhang, W. Gao, Q. Jiang, Y. Kawano, R. H. Hauge, F. Leonard, and J. Kono, *Nano Lett.* 14(7), 3953 (2014).

[4] G. Fedorov, A. Kardakova, I. Gayduchenko, I. Charayev, B. M. Voronov, M. Finkel, T. M. Klapwijk, S. Morozov, M. Presniakov, I. Bobrinetskiy, R. Ibragimov, and G. Goltzman, *Appl. Phys. Lett.* 103, 585 181121 (2013).

[5] I. Gayduchenko, A. Kardakova, G. Fedorov, B. Voronov, M. Finkel, D. Jimenez, S. Morozov, M. Presniakov, and G. Goltzman, *J. Appl. Phys.* 118, 194303 (2015).

# **ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУР НА ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ НАНОЖИДКОСТЕЙ**

Новопашин С.А.

*Институт теплофизики СО РАН, Новосибирск*

Наножидкости представляют собой суспензии на основе частиц нанометрового диапазона. Интерес к исследованию теплопроводности наножидкостей связан с пионерской работой (Чои, 1995), в которой было высказано предположение о возможности существенного, по сравнению с классической теорией Максвелла) увеличения теплопроводности жидкости при добавлении именно наночастиц. Собственно эффект увеличения теплопроводности связан с тем, что теплопроводность твердых тел на два, три порядка превышает теплопроводность жидкостей. К настоящему времени накоплен большой экспериментальный опыт по измерению теплопроводности наножидкостей на основе сферических частиц. Также проведены исследования влияния формы частиц на теплопроводность наножидкостей. Для увеличения теплопроводности углеродные нанотрубки представляют собой уникальный объект для создания эффективных теплоносителей.

В настоящем докладе представлен ряд принципиальных ограничений повышения теплопроводности наножидкостей. Проведен анализ влияния теплового контактного сопротивления Капицы и двойного электрического слоя, который возникает вокруг частицы. Конкретные характеристики дзета - потенциала определяются электрохимическими свойствами жидкости и материала частицы. Для воды углеродные материалы являются гидрофобными. Поэтому для создания устойчивой к агломерации наночастиц необходимо использовать поверхностно активные вещества. Наличие дополнительной прослойки приводит к возникновению дополнительного теплового сопротивления и ограничения увеличения теплопроводности наножидкостей.

В докладе будут представлены теоретические результаты, оценки и данные экспериментов по теплопроводности сферических наночастиц и углеродных одностенных нанотруб.

# **МНОГОСЛОЙНЫЙ ПОГЛОТИТЕЛЬ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ МНОГОСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК, ГЕКСАФЕРРИТА И МИКРОПРОВОДОВ**

Кулешов Г.Е., Файзулин Р.Р., Фролов К.О.

*Национальный исследовательский Томский государственный университет*

*E-mail: [grigorij-kge@sibmail.com](mailto:grigorij-kge@sibmail.com)*

В последние годы рост уровня развития современной науки и техники опережает теоретические разработки по получению новейших материалов для радиоэлектронной промышленности. При этом, многостенные углеродные нанотрубки (МУНТ) могут применяться для улучшения электромагнитных свойств радиокомпозитов. Ферриты зарекомендовало себя отличными поглотителями СВЧ диапазона. Остекленные магнитные микропровода широко используются в микроволновой технике и для экранирования излучения. Поэтому, актуальной задачей является разработкой материалов для радиоэлектронной промышленности на их основе.

Были получены образцы композитов, содержащие МУНТ (диаметром 9,4 нм), гексаферрит бария ( $\text{Ba}_3\text{Co}_2,4\text{Ti}_{0,4}\text{Fe}_{23,2}\text{O}_{41}$ ) и магнитные микропровода ( $\text{FeCoBSi}$ ) в качестве наполнителей и эпоксидную смолу в качестве матрицы. Исследованы многослойные структуры на их основе. Измерения проводились в коаксиальной измерительной ячейке с использованием векторного анализатора цепей P4M-18 на частотах от 10 МГц до 18 ГГц по схеме «на отражение».

Добавление 1 мас.% МУНТ в ферритовый образец приводит к увеличению поглощающих свойств композитного материала в высокочастотной области исследуемого диапазона. У однослойных образцов с микропроводом уровень отраженного излучения составляет от -15 до -40 дБ в очень узкой полосе частот в районе 17 ГГц. На основе материала с несколькими слоями из микропроводов может быть получен слабый (около 4 дБ ослабление), но широкополосный (от 6 до более 18 ГГц) поглотитель. На основе многослойного материала гексаферриты/МУНТ можно получить эффективный (более 15 дБ ослабление), но узкополосный (от 10 до 13 ГГц) поглотитель. Изменение структуры (концентраций и типа наполнителей) двухслойных образцов дает возможность изменить рабочий диапазон радиоматериалов и применять их в различных радиоэлектронных устройствах.

## **ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК С КОНТРОЛИРУЕМЫМИ СВОЙСТВАМИ**

Красников Д.В.<sup>1,2</sup>, Мосеенков С.И.<sup>1</sup>, Коровин Е.Ю.<sup>3</sup>, Кузнецов В.Л.<sup>1,2,3</sup>,  
Сусяев В.И.<sup>3</sup>, Романенко А.И.<sup>2,4</sup>, I. Kranauskaite<sup>5</sup>, J. Macutkevici<sup>5</sup>, J. Banys<sup>5</sup>

<sup>1</sup>*Институт катализа СО РАН, Новосибирск*

<sup>2</sup>*Новосибирский государственный университет, Новосибирск*

<sup>3</sup>*Томский государственный университет, Томск*

<sup>4</sup>*Институт неорганической химии СО РАН, Новосибирск*

<sup>5</sup>*Вильнюсский университет, Вильнюс, Литва*

[dk@catalysis.ru](mailto:dk@catalysis.ru)

Несмотря на высокую перспективность и значительный объем выполненных исследований полимерные композиты на основе многослойных углеродных нанотрубок до сих пор не находят широкого применения, что связано, в первую очередь, со сложностью равномерного распределения армирующего компонента в матрице и достижения необходимого уровня адгезии между ними.

В настоящей работе приведен систематический анализ влияния таких параметров, как длина, диаметр, химический состав поверхности углеродных нанотрубок и способ их введения в полимерную матрицу на свойства получаемых материалов. Показано, что разрушение вторичных агломератов нанотрубок, которое не может быть достигнуто обработкой ультразвуком, позволяет снизить порог перколяции более чем в 3 раза. Вариация химического состава поверхности углеродных нанотрубок, в свою очередь, позволяет управлять их адгезией с заданным полимером. Показано, что для различных приложений композитов оптимально использовать нанотрубки со специально заданным для случая набором характеристик. Так, уменьшение диаметра углеродных нанотрубок приводит к увеличению проводимости композитов при постоянной доле армирующего компонента, уменьшая при этом коэффициент теплопроводности.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ИК СО РАН (проект № 0303-2016-0003), программы повышения конкурентоспособности ТГУ. Авторы выражают благодарность к.х.н. Казаковой М.А., к.х.н. Мазову И.Н., к.х.н. Ткачеву Е.Н. за ценные консультации на различных этапах исследования.



## РАССЕЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПУЧКОВ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА НА ОБРАЗЦАХ АЭРОГЕЛЕЙ СФЕРИЧЕСКОЙ И ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ФОРМЫ

Дорожкин К.В.<sup>1</sup>, Дорофеев И.О.<sup>1</sup>, Красников Д.В.<sup>2</sup>, Кузнецов В.Л.<sup>2</sup>, Мосеенков С.И.<sup>2</sup>, Казакова М.А.<sup>2</sup>, Сусяев В.И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Томский государственный университет*

<sup>2</sup>*Институт катализа СО РАН*

*idorofeev@mail.tsu.ru*

Ранее были проведены исследования взаимодействия электромагнитных волн сантиметрового диапазона длин волн (8 – 15 ГГц) с образцами аэрогелей на основе многостенных углеродных нанотрубок сферической формы [1]. Результаты данных исследований показали, что электрофизические свойства аэрогелей близки к свойствам металлов. Представляет интерес изучение взаимодействия аналогичных образцов с электромагнитным излучением в более высокочастотных диапазонах, в частности, в интенсивно развивающемся терагерцовом диапазоне.

С этой целью была создана экспериментальная установка на основе спектрометра STD-21. Для измерения характеристик рассеяния терагерцовых пучков на объектах шарообразной формы было предложено регистрировать интенсивность бокового излучения. Калибровка осуществлялась по металлическим шарам с диаметрами, близкими к диаметрам аэрогелей. Измерения показали, что интенсивность бокового рассеяния аэрогелей диаметром 6 мм уменьшается от 0.7 до 0.1 относительно металлических шаров при увеличении частоты от 50 ГГц до 970 ГГц. При этом участком основного спада (0.7 – 0.3) является диапазон 50 – 200 ГГц.

По стандартной схеме спектрометра для нормального падения была измерена частотная зависимость коэффициента отражения для плоского образца. В этом случае, в диапазоне 50 – 970 ГГц коэффициент отражения спадал от 0.85 до 0.65.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что величина отраженного сигнала зависит от угла падения, что может быть связано с увеличением диффузного характера рассеяния электромагнитных волн с ростом частоты из-за особенностей поверхностей аэрогелей.

1. V. L. Kuznetsov, V. I. Suslyayev, I.O. Dorofeev et al. "Investigation of electromagnetic properties of MWCNT aerogels produced via catalytic ethylene decomposition"// Phys. Status Solidi B 252, No. 11, 2519–2523 (2015).

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГИБРИДНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК С ВЫСОКОЧАСТОТНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Демьянов С.Е.<sup>1</sup>, Канюков Е.Ю.<sup>1</sup>, Мудрый А.В.<sup>1</sup>, Петров А.В.<sup>1</sup>, Якимчук Д.В.<sup>1</sup>,  
Кужир П.П.<sup>2</sup>, Максименко С.А.<sup>2</sup>, Шуба М.В.<sup>2</sup>, Куреня А.Г.<sup>3</sup>, Окотруб А.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению, г. Минск,  
Беларусь

<sup>2</sup>Институт ядерных проблем БГУ, г. Минск, Беларусь

<sup>3</sup>Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, г. Новосибирск,  
Россия

E-mail: [petrov@physics.by](mailto:petrov@physics.by)

На сегодняшний день актуальным вопросом является установление механизмов взаимодействия массивов углеродных нанотрубок (УНТ) с электромагнитным излучением в широком диапазоне частот. Приведены результаты исследований двух систем: массивов УНТ в порах структур Si/SiO<sub>2</sub>(Ni) и гибридных структур УНТ с квантовыми точками (КТ).

Созданы нанопористые матрицы на основе системы n-Si/SiO<sub>2</sub>, в которых методом электрохимического осаждения поры слоя SiO<sub>2</sub> заполнены никелем. При CVD-синтезе УНТ выращены на локализованном в порах никелевом катализаторе. С целью наблюдения плазмонно-резонансных эффектов при взаимодействии электромагнитного излучения оптического диапазона с наноструктурами Si/SiO<sub>2</sub>(Ni)/УНТ проведены низкотемпературные исследования фотолюминесценции (ФЛ) в спектральной области 200 - 2500 нм. Установлено, что наличие сетки УНТ приводит к модификации электронной структуры границы раздела между подсистемами Si/SiO<sub>2</sub> и Ni/УНТ, в результате чего в спектрах ФЛ при 4,2 К обнаружены широкие полосы D1 ~ 0,82 эВ и D2 ~ 0,87 эВ, относящиеся к излучательной рекомбинации неравновесных носителей заряда на дислокациях.

Методом Монте-Карло построена модель композитного материала, представляющего собой диэлектрическую матрицу со сравнительно небольшой концентрацией УНТ и систему УНТ – КТ (CdS). Модель позволяет рассчитывать проводимость и диэлектрическую проницаемость таких материалов в диапазоне микроволнового, терагерцового и ИК излучения. Проведено исследование влияния количества КТ и длины многослойных УНТ (МУНТ) на спектры поляризуемости. Показано, что наличие КТ уменьшает частоту и увеличивает амплитуду первого резонансного пика поверхностных волн в МУНТ.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант № Ф15СО-016).

# ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ

Качалов А.С., Коровин Е.Ю., Гаврилов Д.Ю.

*Томский государственный университет*

[gavr131313@gmail.com](mailto:gavr131313@gmail.com)

Радиоволновые методы исследования электромагнитных параметров позволяет получить уникальную информацию о фундаментальных характеристиках радиоматериалов: строении и составе, необходимую для определения области применения этих веществ и разработки оптимальных устройств на их основе.

Обзор литературных источников показал, что использование стандартного программного обеспечения фирм производителей измерительной техники не всегда дает физически оправданный результат. Это связано с использованием не качественных калибровочных мер, не точностью выполнения измерений, шумами в измерительном тракте [1]. Данные виды погрешности, возможно, минимизировать программно, что не предусмотрено стандартным программным обеспечением производителя.

В основе разработанного программного обеспечения лежит метод Николсона-Росса-Виера [2]. Расчет комплексной магнитной и диэлектрической проницаемостей проводится по измеренным значениям волновых параметров. Разработанное программное обеспечение полностью управляет векторным анализатором цепей, что облегчает процесс измерения элементов волновой матрицы и дальнейший расчет комплексной магнитной и диэлектрической проницаемостей.

С помощью данного программного обеспечения проведены тестовые измерения комплексной диэлектрической и магнитной проницаемостей материалов с заданными свойствами. Показавшие хорошее согласие измеренных и заданных значений комплексной и магнитной проницаемости.

1 Agilent Basics of Measuring the Dielectric Properties of Materials. опубли. 26.06.2006. URL: <http://www3.imperial.ac.uk/pls/portallive/docs/1/11949698.PDF>. (Дата обращения: 28.11.2016).

2 Chen L. F. Microwave Electronics: Measurement and Materials Characterization / L. F. Chen, C. K. Ong, C. P. Neo, V. V. Varadan. – Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2004. P. 535.

## ГИБРИДНЫЕ СТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК И НАНОЧАСТИЦ CdS

Ю.В. Федосеева<sup>1,2</sup>, Л.Г. Булушева<sup>1,2</sup>, А.В. Окотруб<sup>1,2</sup>, П. Н. Гевко<sup>1</sup>, С.В. Ларионов<sup>1</sup>, И. П. Асанов<sup>1</sup>, М.А. Каныгин<sup>1,2</sup>, К.С. Журавлев<sup>3</sup>, Ю.Л. Михлин<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup>Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

<sup>3</sup>Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Новосибирск, Россия

<sup>4</sup>Институт химии и химической технологии СО РАН, Красноярск, Россия

В настоящее время разработка новых светоизлучающих элементов необходима для создания компактных энергоэффективных полноцветных световых устройств. Наиболее активно развивающимся направлением в данной области является. Гибридных наноматериалов на основе углеродных нанотрубок (УНТ) и люминесцентных наночастиц CdS (УНТ-CdS) привлекают внимание исследователей благодаря широкому потенциалу применения в фотовольтаике и оптоэлектронике. Массивы многослойных УНТ были получены методом каталитического осаждения из газовой фазы из смеси толуола и ферроцена. Наночастицы CdS сформированы на поверхности УНТ из водно-аммиачного раствора хлорида кадмия и тиомочевины. Морфология и строение гибридных структур УНТ-CdS исследовалась методами сканирующей электронной микроскопией, просвечивающей электронной микроскопией и атомно-силовой микроскопией. Методы рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, рентгеновской спектроскопии поглощения, спектроскопии комбинационного рассеяния света позволили выявить информацию о поверхностном составе, структуре и электронном строении гибридных материалов УНТ-CdS. Было показано, что увеличение времени и температуры синтеза приводит к увеличению размера и степени кристалличности наночастиц CdS, которые имеют сферическую форму. Использование вязких органических растворителей приводит к

росту наночастиц CdS нитевидной формы. Вакансионные дефекты в стенках УНТ являются центрами нуклеации для наночастиц CdS. Кроме того, использование УНТ с модифицированной фтором поверхностью приводит к более равномерному формированию наночастиц CdS маленького размера, по сравнению с УНТ с немодифицированной поверхностью. Концентрация и состав наночастиц CdS может быть изменены в результате приложения электрического поля. Было проведено детальное изучение явления электролюминесценции и фотолуминесценции в гибридных структурах. Было показано, что фото- и электролюминесцентные свойства гибридных структур УНТ-CdS зависит от состава, строения и морфологии наночастиц CdS.

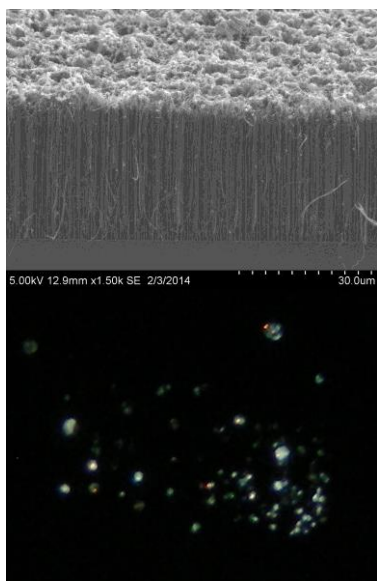


Рис. СЭМ-изображение и свечение электролюминесценции УНТ-CdS

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента: МК-3277.2017.2.

# НОВЫЕ КОМПОЗИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНА И МНОГОСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК, МОДИФИЦИРОВАННЫХ МАГНИТНЫМИ НАНОЧАСТИЦАМИ Со.

Казакова М.А.<sup>1,2</sup>, Семиколенова Н.В.<sup>2</sup>, Кузнецов В.Л.<sup>1,2</sup>, Коровин Е.Ю.<sup>3</sup>, Сусяев В.И.<sup>3</sup>,  
Мацько М.А.<sup>1</sup>, Захаров В.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Институт катализа СО РАН, Новосибирск*

<sup>2</sup> *Новосибирский государственный университет, Новосибирск*

<sup>3</sup> *Томский государственный университет, Томск*

*Email: [mas@catalysis.ru](mailto:mas@catalysis.ru)*

Разработка новых композитных материалов на основе широко используемых полимеров и многослойных углеродных нанотрубок (МУНТ) является одним из перспективных направлений современного материаловедения. Введение небольших количеств МУНТ в состав полимерных материалов позволяет улучшить их механические и электрофизические свойства. Добавление еще одной составляющей, такой как магнитные частицы металлов, в композитный материал на стадии приготовления позволит контролируемо изменять электрофизические свойства материала за счет варьирования диэлектрических свойств МУНТ и магнитных свойств металлов. Таким образом, создание подобных «тройных композитов», открывает целый спектр возможностей по получению легких и эластичных материалов, эффективно экранирующих или поглощающих электромагнитное излучение. Данная работа направлена на исследование зависимостей «строение – свойства» сложных композитных материалов на основе полиэтилена и МУНТ, модифицированных наночастицами Со.

Предложенная в работе методика получения Со/МУНТ-ПЭ композитов за счет предварительного распределения Ti-содержащего катализатора полимеризации на поверхности Со/МУНТ позволяет получить композиты с равномерным распределением в структуре ПЭ матрицы как МУНТ, так и наночастиц Со. Были получены композитные материалы Со/МУНТ-ПЭ с содержанием добавки (3,5 – 14,5 масс. % Со/МУНТ) около 10 – 15 масс. %. Общее содержание Со в композитных материалах варьировалось с 0,33 до 1,74 масс. %. Было показано, что образец 12% (14,5%Со/МУНТ) - ПЭ с содержанием Со – 1,74 масс. % может быть использован в качестве перспективного материала для создания широкополосных конструкций, эффективно взаимодействующих с электромагнитным излучением в диапазоне частот 10-16 ГГц.

Исследования по электронной микроскопии были выполнены при поддержке Правительства Новосибирской области (Стипендия для прохождения обучения для молодых ученых - 2017)

## **МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ ГРАФЕНА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ФОТОНИКЕ**

Седельникова О.В.,<sup>1,2</sup> Булушева Л.Г.,<sup>1,2</sup> Окотруб А.В.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск*

<sup>2</sup>*Новосибирский государственный университет, Новосибирск*

Тенденции развития современной фотоники и оптоэлектроники требуют поиска новых материалов с усовершенствованными функциональными свойствами. В кремниевых фотодетекторах ширина частотной полосы определяется шириной полосы запрещенной зоны для электронов, поэтому они не могут фиксировать фотоны любой длины волны. Графен не имеет запрещенной зоны, поэтому идея устройств на основе графена является очень привлекательной. Модификация поверхности графена позволит преодолеть основное препятствие для применения таких материалов в фотонике, связанное с оптической прозрачностью.

Действительно, около 98% процентов мощности падающей волны проходит сквозь графен, поглощается не более 2.3%. Поэтому, несмотря на широкий диапазон рабочих частот, графен не является эффективным материалом для фотоники и оптоэлектроники. Для усиления взаимодействия с падающим электромагнитным излучением можно использовать эффект резонансного взаимодействия электромагнитного излучения с электронной системой графена за счет возбуждения плазмона, положение которого будет варьироваться внедрением дефектов или модификацией поверхности полупроводниковыми частицами. Квантово-химические расчеты показали, что декорирование графена полупроводниковыми частицами создает в материале дополнительные зоны поглощения.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ в рамках научного проекта № 16-33-00515. О.В. Седельникова благодарит за поддержку стипендию Президента РФ СП-3530.2016.1.

# ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МОНОСЛОЙНОГО ГРАФЕНА С ПЛОСКОЙ ЛАЗЕРНОЙ ВОЛНОЙ

Песоцкий К.

*Институт ядерных проблем БГУ*

*kirillpias@gmail.com*

Электроны в однослойном графене имеющие импульсы лежащие в окрестности угла зоны Боулинга могут быть эффективно описаны как лишенные массы (киральные) Дираковы фермионы со скоростью ферми  $v_F \approx 3 \times 10^{-3}c$ .

В данной работе представлено решение уравнения Дирака для киральных фермионов взаимодействующих с плоской произвольно-поляризованной лазерной волной с произвольным направлением волнового вектора. В работе показано, что спинор может быть представлен в схожем с известным спинором Волкова виде, т.е. в виде плоской волны модулированной функцией от координат светового конуса. Однако решение имеет ряд существенных и принципиальных отличий. Во первых, решение Волкова предполагает вакуумное дисперсионное соотношение электромагнитной волны, что не справедливо по отношению к графену, во вторых, отличность же скорости ферми в графене от скорости света в вакууме не позволяет привести «квадратичное» уравнение Дирака для модуляционной функции к уравнению первой степени, таким образом даже полагая что дисперсионное соотношение совпадает с соответствующим соотношением в вакууме уравнение по прежнему второго порядка. Так как предполагается что электроны в графене существуют на вложенной в трехмерное пространство двумерной поверхности, утилизация калибровочных соотношений для элиминации члена со второй производной также остается не возможной. Таким образом полученное решение не делает предположений ни о калибровочных условиях для падающей волны, ни о ее дисперсионном соотношении в листе графена.

# **ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТРИЦ ПОЛИМЕРОВ С РАЗЛИЧНЫМИ УГЛЕРОДНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ**

М. Каныгин<sup>1,2</sup>, О. Седельникова<sup>1,2</sup>, Е. Коровин<sup>3</sup>, В. Суляев<sup>3</sup>,  
Л. Булушева<sup>1,2</sup>, А. Окотруб<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия*

<sup>2</sup>*Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия*

<sup>3</sup>*Томский государственный университет, Томск, Россия*

На сегодняшний день композиционные материалы на основе диэлектрических матриц полимеров с различными проводящими включениями активно используются ряда электромагнитных приложений. Углеродные материалы, такие как графен и углеродные нанотрубки, представляют особый интерес в качестве альтернативных наполнителей для композитов за счет своих высоких проводящих характеристик, высокой удельной поверхности и низкого удельного веса. При этом, электромагнитные свойства получаемых материалов зависят от многих параметров, таких как размер, форма, дефектность, концентрация и ориентация наполнителя в матрице.

В данной работе мы рассматриваем особенности взаимодействия электромагнитного излучения в интервале от низких частот до терагерцового диапазона с композитами с различными углеродными наполнителями. Продемонстрировано влияние способа создания композита на его свойства. Показана эффективность метода растяжения и вальцевания для задания ориентации нанотрубок в композите. Анизотропный отклик был зафиксирован в терагерцовой, видимой и низкочастотной областях спектра. Была зафиксирована крайне высокая степень ослабления ЭМИ в терагерцовой области спектра. В приближении Гауссова распределения наполнителя в матрице проведена оценка средней разориентации включений.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ в рамках научного проекта № 16-32-00311.



# КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК И МАГНИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ

Горохов Г.В., Быченко Д.С., Кужир П.П.

НИИ Ядерных проблем БГУ

glebgorokhov@yandex.ru

Композиционные материалы, обладающие контролируруемыми электромагнитными свойствами, позволяют решать целый ряд задач в области беспроводных коммуникаций, медицины и защиты от радиобнаружения [1, 2]. Каждое практическое применение помимо определённых электромагнитных характеристик требует также наличия у материала механической прочности, термостойкости, адгезии к определённым материалам или иных параметров. Выбор материала диэлектрической матрицы позволяет наряду с электромагнитными свойствами модифицировать указанные дополнительные характеристики. Композиты с полимерной матрицей близки по технологии обработки к классическим полимерам [3], в то время, как керамическая матрица [2] позволяет сделать композит жаростойким.

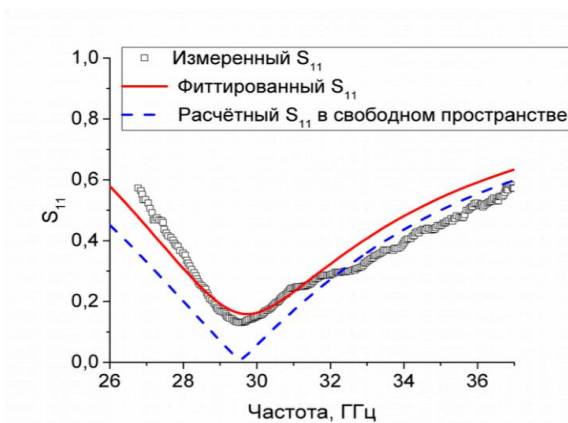


Рис. 1: Амплитуда отражённого сигнала слоя керамического композита на основе  $BaTiO_3/Fe_3O_4/МУНТ$ , измеренная в волноводе на металлической подложке

Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом характеризуется спектральным коэффициентом преломления вещества, который, в свою очередь, зависит от его комплексных диэлектрической ( $\epsilon$ ) и магнитной ( $\mu$ ) проницаемости. Эффективные значения последних можно варьировать путём изменения концентраций наполнителей в диэлектрической матрице. Таким образом, возможно добиться высоких (до 100 %) значений спектрального коэффициента поглощения в определённом диапазоне (см. Рис.1).

В качестве наполнителя, регулирующего  $\epsilon$  композита, использовались многостенные углеродные нанотрубки, необходимое значение  $\mu$  обеспечивалось путем введения в композит магнетита  $Fe_3O_4$ .

1. DESIGN OF CARBON NANOTUBE-BASED BROADBAND RADAR ABSORBER FOR KA-BAND FREQUENCY RANGE / D. Bychanok [et al.] // Prog. Electromagn. Res. M. – 2017. – Vol. 53. – P. 9-16.
2. EXPLORING CARBON NANOTUBES/BATIO<sub>3</sub>/FE<sub>3</sub>O<sub>4</sub> NANOCOMPOSITES AS MICROWAVE ABSORBERS / D. Bychanok [et al.] // Prog. Electromagn. Res. C. – 2016. – Vol. 66. – P. 77-85.
3. Improved absorption properties of nanocarbon/magnetite composites in 26–37 GHz / G. Gorokhov [и др.] // Open Readings 2016 International Conference : Open Readings 2016 International Conference / Vilnius University. – 2016. – С. 203.

# НАНОРАЗМЕРНЫЕ СТРУКТУРЫ ОКСИДА КРЕМНИЯ, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ ХИМИЧЕСКОГО ГАЗОФАЗНОГО ОСАЖДЕНИЯ, С АКТИВАЦИЕЙ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ПЛАЗМОЙ

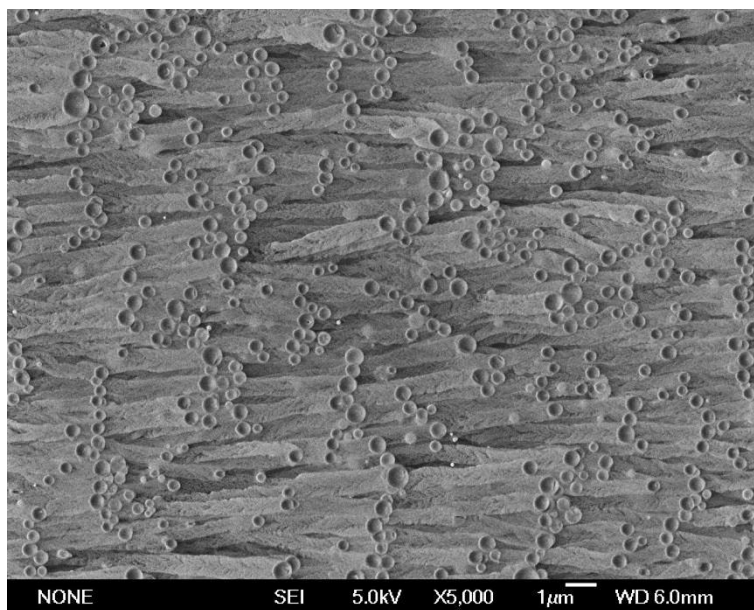
Хмель С.Я., Замчий А.О., Баранов Е.А.

Институт теплофизики СО РАН, khmel@itp.nsc.ru

В последнее время, среди всего разнообразия наноразмерных структур, особенный интерес получили нанопроволоки оксида кремния, поскольку они обладают разнообразной и гибкой морфологией [1], хорошей биосовместимостью и интенсивной фотолюминесценцией при комнатной температуре.

В данной работе, синтезировали нанопроволоки оксида кремния на частицах оловянного катализатора с использованием смеси моносилан-аргон-водород методом химического газофазного осаждения, с активацией электронно-пучковой плазмой [2].

На рисунке приведено SEM изображение плотного массива ориентированных пучков нанопроволок. Видно, что из каждой частицы катализатора выходит пучок нанопроволок («микроканат»), которые имеют примерно цилиндрическую форму и диаметр пучка примерно равен размеру частицы катализатора. Пучок нанопроволок выходит из нижней части частицы катализатора, в то время как в верхней части они почти отсутствуют. «Микроканаты» взаимно ориентированы и образуют своеобразный вертикальный «лес». Отдельные нанопроволоки имеют средний диаметр примерно 15 нм.



1. S. Ya. Khmel, E. A. Baranov, A. V. Zaikovskii, A. O. Zamchii, E. A. Maximovskiy, D. V. Gulyaev, K. S. Zhuravlev // Synthesis of silicon oxide nanowires by the GJ EBP CVD method using different diluent gases // Phys. Status Solidi A 213, No. 7, 1774–1782 (2016).

2. E. A. Baranov, A. O. Zamchii, S. Ya. Khmel // Synthesis and morphology of silicon oxide nanowires from a free jet activated by electron-beam plasma // Journal of Engineering Thermophysics 25, Issue 2, 239–247 (2016).

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ МЕМБРАННОГО МЕМКОНДЕНСАТОРА

Ямалетдинов Р.Д.<sup>1</sup>, Першин Ю.В.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт Неорганической Химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск

<sup>2</sup>University of South Carolina, Department of Physics and Astronomy,  
Columbia, United States of America

yamaletdinov@niic.nsc.ru

Мемконденсатор — наноэлектромеханическая система, выполняющая функцию конденсатора, характеристики которой являются функцией как от текущего, так и от предыдущих состояний системы. Одной из возможных реализаций подобного устройства — плоский конденсатор с деформированной мембраной в качестве одной из обкладок [1]. Такая система может находиться в двух состояниях: мембрана выгнута вверх и мембрана выгнута вниз (0 и 1 на Рис.1). При приложении определённых разностей потенциалов возможно переключение данной мембраны из одного состояния в другое, с соответствующим изменением емкости. Подобная схема реализации мемконденсатора позволяет создавать новые типы устройств как для хранения, так и для обработки информации [1–3].

Данная работа посвящена теоретическому исследованию возможности создания мемконденсатора на основе графеновой мембраны. На основе моделирования молекулярной динамикой (МД) построена механистическая модель работы такого устройства. В работе подробно рассмотрены вопросы связанные с расчётом силовых постоянных МД, а так же смоделирован процесс и определены условия переключения мемконденсатора из одного состояния в другое. По ходу работы, были определены или оценены ограничения на физические свойства используемых материалов, связанные со стабильностью индивидуальных состояний (состояния 0 и 1 на Рис. 1) и возможностью выдерживания пиковых потенциалов. Многие из результатов были получены в аналитическом виде, что несомненно ускорит и упростит дальнейшие исследования по данной тематике.

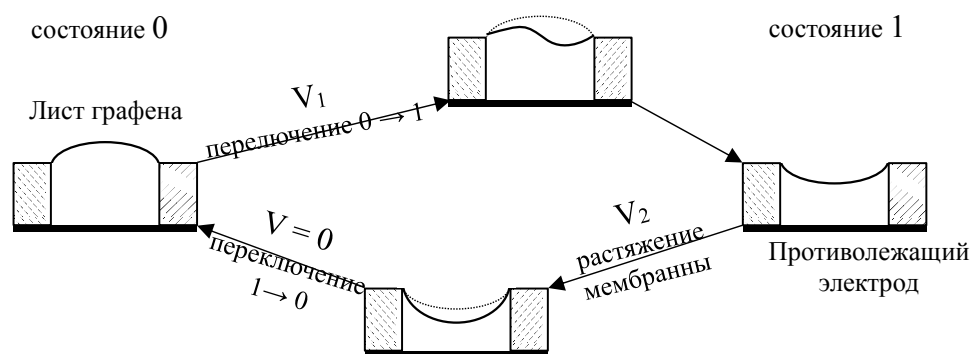


Рис. 1. Механизм работы мемконденсатора.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 15-13-20021).

1. J.Martinez-Rincon., Y. V. Pershin, *IEEE Trans. Electron Devices*. 2011. Vol. 58, № 6. P. 1809–1812.
2. Y.V.Pershin, M. Di Ventra *International Workshop on Computational Electronics (IWCE)*. IEEE, 2014. P. 1–2.
3. Y.V. Pershin, F.L. Traversa, M.Di.Ventra, *Nanotechnology*. 2015. Vol. 26, № 22. P. 225201.

26 апреля (среда)

## **КВАНТОВЫЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА СИСТЕМ ГРАФЕН/ФТОРОГРАФЕН**

Антонова И.В.

*Институт физики полупроводников им. А.В.Ржанова СО РАН*

Ван дер Ваасльсовские и латеральные гетероструктуры на основе графена привлекают огромное внимание благодаря широкому спектру их возможных приложений. В данном докладе будут обсуждаться методы создания и свойства массивов квантовых точек графена, встроенных в матрицу фторографен, вертикальные структуры графена на напечатанных пленках фторографена. В результате исследования транспортных свойств в интервале температур 80 – 350 К и использования нестационарной спектроскопии глубоких уровней была определена величина барьера на гетерогранице графен /фторографен и исследована электронная структура фторографена и квантовых точек графена в матрице фторографена. Была показана возможность управления временем перезарядки квантовых точек при изменении толщины пленок или использовании подсветки. Обнаружена возможность наблюдать резонансное туннелирование между квантовыми точками, приводящее к появлению отрицательного дифференциального сопротивления на вольт – амперных характеристиках для пленок, полученных из частично фторированной суспензии. Кроме того, при определенных условиях возможно наблюдение резистивных переключений в пленках, полученных из частично фторированного графена и из суспензии.

## **СТРУКТУРА И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА МНОГОСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ИНКАПСУЛИРОВАННЫХ НАНОЧАСТИЦАМИ ЖЕЛЕЗА**

Окотруб А.В., Каныгин М.А., Куреня А.Г., Архипов В.Е., Гусельников А.В.,  
Макарова Т.Л., Булушева Л.Г.

*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, г. Новосибирск  
Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск*

Массивы упорядоченных углеродных нанотрубок (УНТ) были синтезированы на кремниевых подложках в реакции термолиза паров смеси ферроцен/толуол. Структура нанотрубок исследована методами просвечивающей электронной микроскопии, рентгеновской и фотоэлектронной спектроскопии. Методом мессбауэровской спектроскопии определен состав и свойства наночастиц железа инкапсулированных во внутренней полости нанотрубок. Три формы наночастиц железа  $\alpha$ -Fe,  $\epsilon$ -Fe и Fe<sub>3</sub>C были обнаружены в УНТ. Было обнаружено, что магнитные наночастицы связаны сильным обменным взаимодействием и являются ферромагнитными при комнатной температуре. Измерена намагниченность железных наночастиц в массивах нанотрубок, полученных с разными временами синтеза. Изготовлены композиционные материалы из ориентированных многостенных углеродных нанотрубок в полистирольной матрице. Полистирольный композит был одноосно растянут, чтобы обеспечить выравнивание нанотрубок. Измерение магнитной восприимчивости, выполненные в трех перпендикулярных направлениях магнитного поля, подтверждают ориентацию нанотрубок. Обнаружен значительный диамагнитный отклик в магнитном поле, перпендикулярном к оси нанотрубок. Количественно, эффект анизотропии превосходит эффект, ожидаемый от собственной восприимчивости нанотрубок, более чем на порядок. Можно предположить, что поверхность нанотрубок достаточно сильно взаимодействует с одноосно растянутой полимерной матрицей. Рассмотрен механизм такого взаимодействия.

## УПРАВЛЕНИЕ МОРФОЛОГИЕЙ УГЛЕРОДНОГО НАНОКОМПОЗИТА, ПОСРЕДСТВОМ ИЗМЕНЕНИЯ ПРЕКУРСОРА ТВЕРДОФАЗНОГО ПИРОЛИЗА

Манукян А.С.<sup>1</sup>, Гюласарян А.Т.<sup>1</sup>, Алексанян С.Е.<sup>1</sup>, Петров А.В.<sup>2</sup>, Канюков Е.Ю.<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Институт физических исследований НАН Армении, г.Аштарак, Армения  
<sup>2</sup>Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению, г.Минск, Беларусь  
E-mail: petrov@physics.by

Методом твердофазного пиролиза безметалльного- и металл (Cu, Ni) - фталоцианина синтезированы углеродные наноконпозиты с различным составом и морфологией: микросферы из аморфного углерода, наночастицы металла капсулированные в графитоподобной углеродной оболочке и углеродные нанотрубки. Проведены комплексные исследования состава и структурных особенностей полученных наноструктур, на основании которых показана возможность управления механизмами их роста, посредством изменения прекурсора твердофазного пиролиза. Так, при использовании безметалльного фталоцианина происходит формирование углеродных микросфер со средними диаметрами ~3 мкм, которые состоят из аморфного углерода с небольшими примесями азота и содержат включения графитированных областей и нанокристаллитов углерода (рис.1).

Добавление к комплексу фталоцианина металла, являющегося катализатором роста, приводит к изменению механизмов формирования углеродного наноконпозита. Пиролиз комплексных соединений фталоцианина с медью приводит к синтезу структур, в которых металлические наночастицы капсулированы в графитоподобной углеродной оболочке. Использование никель-фталоцианина позволяет формировать наноконпозит, одновременно содержащий углеродные нанотрубки с диаметрами ~20 нм и углеродные микросферы.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта «БРФФИ-ГКН Арм» № Ф14АРМ-020, совместных белорусско-армянских исследований.

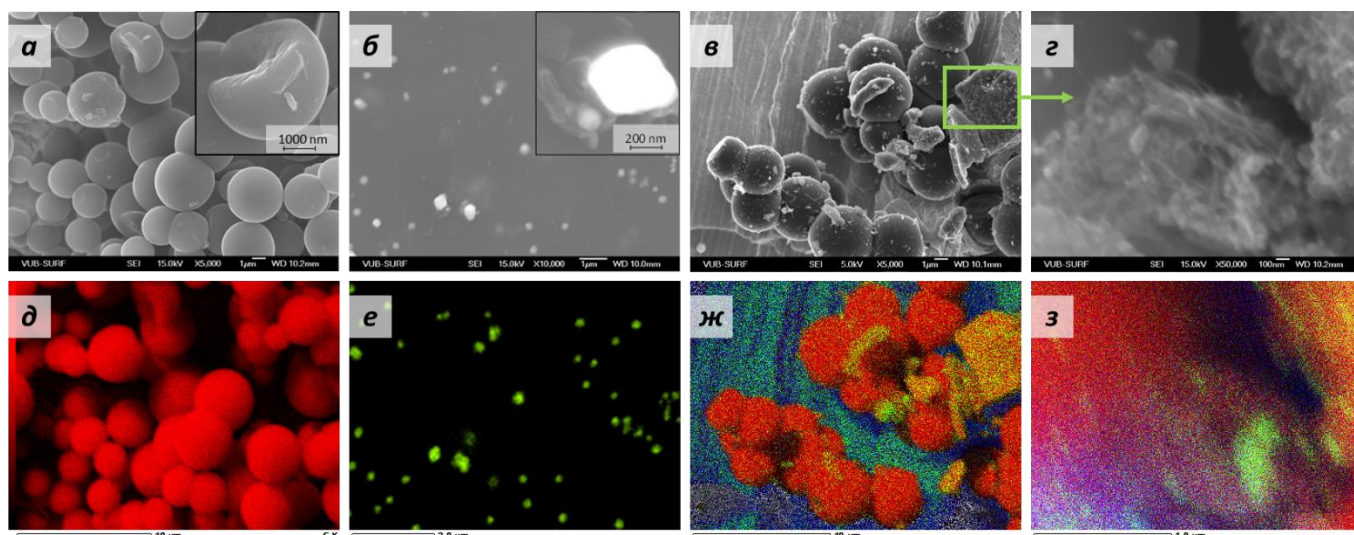


Рис. Изображения сканирующей электронной микроскопии (а-г) и энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (д-з) углеродных микросфер (а, д), а также наноконпозитов медь-углерод (б, е) и никель-углерод (в, г, ж, з)

## **К ВОЗМОЖНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ В КВЧ ОБЛАСТИ ЧАСТОТ «УМНЫМИ» МАТЕРИАЛАМИ**

Павлова А. А., Бадьин А. В.

*Национальный исследовательский Томский государственный университет*

*E-mail: [sandy.surname@gmail.com](mailto:sandy.surname@gmail.com)*

В настоящее время интенсивно исследуется возможность управления параметрами электромагнитной волны в терагерцовом диапазоне частот [1]. Использование немеханических управляемых материалов, таких как ферромагнитные жидкости во внешнем магнитном поле, в квазиоптических трактах представляет наибольший интерес [2-3].

Рассмотрена возможность управления параметрами электромагнитной волны в квазиоптическом тракте в области крайневисоких частот с использованием ферромагнитных жидкостей на основе полусинтетических масел с различными концентрациями наночастиц магнетита. Экспериментально показано влияние внешних продольных и поперечных магнитных полей на коэффициент прохождения электромагнитной волны. Обнаружено изменение коэффициента прохождения линейно-поляризованной электромагнитной волны через кювету с образцом управляемой среды под воздействием малого (до 20 Э) внешнего поперечного магнитного поля в диапазоне частот 120 - 250 ГГц. Приложение поперечного магнитного поля величиной 146 Э приводит к увеличению диэлектрической проницаемости на 1-1,5%.

1. G.E. Dunaevskii, V.I. Suslyaev, V.A. Zhuravlev, et. al. "Electromagnetic response of anisotropic polystyrene composite materials containing oriented multiwall carbon nanotubes", 39th IRMMW-THz International Conference, 6956106, Tucson, USA, Sept. 14-19, 1-2, 2014.
2. Zhenyu Wu, Anna Mueller, Sven Degenhard, et. al. "Enhancing the magnetoviscosity of ferrofluids by the addition of biological nanotubes", ACS Nano, vol. 4, № 8, pp. 4531-4538, 2010.
3. Vékás, L., Raşa, M., & Bica, D. Physical properties of magnetic fluids and nanoparticles from magnetic and magneto-rheological measurements. Journal of Colloid and interface Science, 231(2), pp. 247-254, 2000.



## ТЕПЛОЁМКОСТЬ ЭПИТАКСИАЛЬНОГО ГРАФЕНА

Пономарёв А.Н.<sup>1,2</sup>, Егорушкин В.Е.<sup>2</sup>, Мельникова Н.В.<sup>3</sup>, Бобенко Н.Г.<sup>1,2</sup>,

Белослудцева А.А.<sup>1</sup>, Баркалов Л.Д.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Томский политехнический университет

<sup>2</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

<sup>3</sup>Томский государственный университет

*alex@ispms.tsc.ru*

Расчет теплоемкости для металлизированного эпитаксиального графена с примесями и структурными областями типа ближнего порядка проводился методом температурных функций Грина в приближении времени релаксации. Выражение для электронной теплоемкости графена, полученное нами аналогично тому, как было сделано в [1], приведено ниже:

$$C = \frac{2}{3} \frac{\pi^2 k^2}{\hbar v_F^2} \left\{ v_0 T + \frac{1}{\tau_{np}} \left( 5 \left( 1 - \frac{1-c}{N} \alpha \right) T + 2 \frac{1-c}{N} \alpha \beta T^2 \right) \right\}, \quad (1)$$

здесь  $v_F$  - скорость электронов на уровне Ферми,  $v_0 = m/2\pi\hbar^2$  - плотность электронных состояний на уровне Ферми,  $\tau_{np}^{-1} = 2\pi\hbar^{-1}cU_0v_0$  - обратное время релаксации электронов на примеси,  $c$  - концентрация примеси,  $\alpha$  - параметр ближнего порядка,  $N$  - количество атомов в ближнеупорядоченной области,  $\beta = \pi\hbar^{-2}R^2mk$ .

Теплоемкость (1) зависит от температуры, параметра ближнего порядка, размеров элементарной ячейки графена, концентрации инородных атомов. Показано, что величину теплоемкости определяют линейные вклады от идеальной структуры и примесный. Квадратичный вклад от рассеяния на областях ближнего порядка определяется размерами элементарного трансляционного элемента структуры графена и может также существенно изменять температурное поведение теплоемкости для случаев упорядочения и расслоения. Сравнение значений рассчитанного электронного вклада и теоретических данных о фононной теплоемкости графена позволяют говорить о том, что электронная теплоемкость неидеального графена может быть определяющей в области температур до  $\sim 100$ К.

1. Ponomarev, A. N., Egorushkin, V. E., Melnikova, N. V., Bobenko, N.G. (2015) On the low-temperature anomalies of specific heat in disordered carbon nanotubes. Physica E., no.66, pp. 13-17.

## **CVD-СИНТЕЗ ДОПИРОВАННОГО ГРАФЕНА.**

Архипов В. Е., Попов К. М., Гусельников А.В., Гевко П.Н., Булушева Л.Г., Окотруб А.В.

*Институт неорганической химии СО РАН, Новосибирск, Россия*

Slavaarhipov@ngs.ru

Одним из методов синтеза графена является метод каталитического химического осаждения из газовой фазы (CCVD). Основную роль в CCVD-синтезе играют свойства подложки и газодинамические параметры синтеза. Для CCVD-синтеза графена в качестве материала подложки используют медь, никель, и др. В настоящей работе синтез графена проводился на медной электролитической фольге толщиной 35 мкм. Для уменьшения шероховатости поверхности фольги применялся метод химической полировки. Качество полировки контролировалось методом атомно-силовой микроскопии (АСМ). Для исследования изменения размеров и ориентации кристаллитов после отжига медной фольги в водороде использовался метод дифракции обратного рассеяния электронов.

Образцы N-допированного мультислойного графена были синтезированы в проточном CVD-реакторе. Отжиг подложки необходимый для удаления с поверхности фольги оксидной пленки проводился в атмосфере водорода. Синтез азот-допированного графена происходил на поверхности фольги в результате термолиза газовой смеси ацетонитрила и водорода при пониженном давлении. Температура разложения ацетонитрила и формирования графенового слоя составляла 900 °С. После остывания подложки были получены образцы графена размером до 1 см<sup>2</sup>. Также в результате пиролиза газовой смеси состоящей из метана, водорода и фосфина были синтезированы образцы фосфор-допированного графена. Полученные образцы исследовались с помощью спектроскопии комбинационного рассеивания света и РФЭС.

# **ПОГЛОЩАЮЩИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНОГО МАГНИТНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ГЕКСАГОНАЛЬНОГО ФЕРРИТА И МНОГОСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК**

Фролов. К.О.

*Национальный исследовательский Томский государственный университет*

*FrolouKirill.O@yandex.ru*

С каждым годом все более жесткие функциональные и эксплуатационные требования предъявляются к материалам радиоэлектронной промышленности. Одной из задач, которую призваны решить эти материалы, является электромагнитная совместимость узлов радиоаппаратуры. Полимерные композиционные материалы сочетают в себе высокие механические и электромагнитные свойства. В качестве активной фазы полимерных высокочастотных материалов используются ферро- и ферримагнитные материалы, а так же углеродные нанотрубки. Полимеры на основе ферритов, нанесенные на металлические поверхности, являются хорошими поглотителями электромагнитного излучения, имеют неплохие адгезионные характеристики, но при этом достаточно большой вес. Углеродные нанотрубки сочетают в себе высокие механические характеристики (модуль Юнга более 1 ТПа, прочность на разрыв около 200 ГПа), зависящие от линейных характеристик и технологических параметров при изготовлении, малый вес, а так же значительные показатели поглощения электромагнитного излучения при использовании в качестве наполнителей полимерных материалов.

В работе рассматривались коэффициенты отражения и суммарные электромагнитные потери от тороидальных образцов, толщиной не более 1,3 мм с различным массовым соотношением полимера, гексагонального феррита Z – типа и многослойных углеродных нанотрубок диаметром 9,4 и 18,6 нм. В качестве полимерной матрицы была выбрана эпоксидная смола марки ЭДП 20.

Результаты показали значительное уменьшение отраженной мощности электромагнитной волны от экспериментального образца, а так же уширение полосы поглощения относительно полимерного образца, содержащего только гексаферрит.

## **КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК - ЭФФЕКТИВНЫЙ ПОГЛОТИТЕЛЬ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В КА-ЗОНЕ**

Быченко Д.С., Мейсак Д.Н, Кужир П.П.

*Институт ядерных проблем Белорусского государственного университета*

*e-mail: dzmitrybychanok@ya.ru*

Разработка компактного многофункционального поглотителя СВЧ-излучения является актуальной и на сегодняшний день не решенной до конца задачей. Материалы, эффективно поглощающие высокочастотное электромагнитное излучение особенно востребованы в авиастроении при разработке технологии снижения заметности для радара. Большое количество исследований показывают, что нанокремниевые материалы обладают уникальными электромагнитными свойствами, которые могут использоваться для производства конструкционных материалов с контролируемыми электромагнитными свойствами [10-14]. В настоящей работе использовались композиционные материалы на основе эпоксидной смолы и углеродных нанотрубок для получения эффективного широкополосного поглотителя в Ка-диапазоне (26-37 ГГц). Исследуемые композиты с содержанием углеродных нанотрубок выше порога перколяции являлись макроскопически проводящими со статической проводимостью "несколько Сименс на метр" и обладали выраженной частотной дисперсией диэлектрической проницаемости  $\epsilon=1/\nu$  [5]. В работе обсуждаются и анализируются общие принципы проектирования и разработки СВЧ-поглощающих материалов применительно к диапазону частот 26-37 ГГц (Ка-диапазон). Дисперсионные композиционные материалы на основе углеродных нанотрубок в матрице эпоксидной смолы были получены, и их электромагнитный отклик исследовался экспериментально в Ка-диапазоне. Как теоретические, так и экспериментальные результаты показывают, что представленные композиты могут быть использованы в качестве компактных эффективных поглотителей электромагнитного излучения в диапазоне частот 26-37 ГГц.

- [1] Qin, F. and C. Brosseau, Journal of Applied Physics, Vol. 111, 061301-24, 2012.
- [2] Bychanok, D., et al. Journal of Applied Physics, Vol. 113, 124103-6, 2013.
- [3] Brosseau, C. et al., Journal of Applied Physics, Vol. 89, 8297–8310, 2001.
- [4] Kuzhir, P. et al. Thin Solid Films, Carbon- or Nitrogen-Containing Nanostructured Composite Films, Vol. 519, 4114–4118, 2011.
- [5] Bychanok, D. et al., Progress In Electromagnetics Research M, Vol. 53, 9-16, 2017.

# ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ С УНТ, МОДИФИЦИРОВАННЫМИ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ НАНОЧАСТИЦАМИ, В ТЕРАГЕРЦОВОМ ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ

Седелъникова О.В.

*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск  
Новосибирский государственный университет, Новосибирск*

Композиционные материалы с углеродными нанотрубками (УНТ) вызывают значительный интерес в связи с перспективами создания новых легких, гибких и химически инертных поглощающих материалов. Добавление в полимер даже небольшого количества углеродного наполнителя позволяет качественно изменить электромагнитные свойства материала. Заполнение внутренней полости УНТ магнитными кластерами позволит усилить взаимодействие композита с электромагнитным излучением.

Массивы УНТ были синтезированы методом CVD, в качестве исходного углеродного соединения использовался толуол  $C_6H_5CH_3$ , в качестве катализатора роста УНТ использовались продукты термолиты ферроцена  $Fe(C_5H_5)_2$ . Содержание железа в образцах определялось содержанием ферроцена в реакционной смеси. Увеличение содержания ферроцена в смеси приводит к формированию избыточных наночастиц железа, которые могут осаждаться на поверхности углеродного вещества и заполнять внутреннюю полость УНТ. Композиционные материалы были изготовлены из ПММА с добавлением 0.25 масс% УНТ. Исследование электромагнитных характеристик материалов проводилось в Центре коллективного пользования «Центр радиофизических измерений, диагностики и исследования параметров природных и искусственных материалов» ТГУ. При проведении исследований в диапазоне частот 125-258 ГГц использовался векторный анализатор цепей Agilent N5247A, электромагнитные свойства в диапазоне 330-511 ГГц измерялись на спектрометре терагерцового излучения СТД-21 при распространении излучения в открытом пространстве. Продемонстрировано уменьшение коэффициента прохождения электромагнитного излучения через образец при увеличении содержания железа в нанотрубках. Для растянутых полимерных пластин с УНТ обнаружена выраженная поляризационная зависимость в высокочастотном электромагнитном отклике. Удаление поверхностных частиц катализатора приводит к увеличению разницы между продольной и перпендикулярной составляющими прошедшего через образец излучения, что можно отнести к влиянию наночастиц железа, капсулированных в полости УНТ.

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТЕПЛОВЫХ И АКУСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОРИЕНТАЦИОННОГО СТЕКЛА C<sub>60</sub>

Барабашко М.С.<sup>1,3</sup>, Пономарев А.Н.<sup>1,2</sup>, Багацкий М.И.<sup>3</sup>, Сумароков В.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Томский политехнический университет

<sup>2</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

<sup>3</sup>Физико-технический институт низких температур им. Б.И. Веркина НАН Украины

[alex@ispms.tsc.ru](mailto:alex@ispms.tsc.ru)

Наблюдаемый в экспериментальных значениях теплоемкости фуллерита C<sub>60</sub> неожиданно большой «стекольный» вклад, почти на порядок больше, чем даже у диэлектриков типа аморфного кремния, по-видимому, не укладывается в описание в рамках моделей двухуровневых систем. В связи с этим, целью данной работы было исследование природы линейного слагаемого в теплоемкости и определение из данных теплоемкости низкотемпературной зависимости скорости звука в фуллерите C<sub>60</sub>. В работе проанализированы экспериментально полученные данные низкотемпературной теплоемкости, и предложена модифицированная модель динамической конфигурации возбуждений (ДКВ) для описания вклада в теплоемкость линейного слагаемого.

При анализе результатов теплоемкости во всем исследованном температурном интервале 1.2 -120 К, учитывалось, что поступательные, вращательные и внутримолекулярные степени свободы вносят аддитивный вклад в теплоемкость C<sub>60</sub>. Ниже 3 К, линейный член в температурной зависимости теплоемкости, по-видимому, может быть обусловлен наличием низкоуровневых туннельных уровней в ориентационной стекле C<sub>60</sub>. Ниже 10 К расчет стекольного вклада в теплоемкость и низкотемпературную зависимость скорости звука, был проведен нами в рамках модифицированной модели динамической конфигурации возбуждений (ДКВ).

Эта модель, по-видимому, более применима для анализа динамики кластерных образований типа ближнего порядка в аморфных системах, поскольку, в отличие от двухуровневых систем, ДКВ являются возбуждениями как атомной, так и электронной подсистем металлов и полупроводников. По нашему мнению, низкоэнергетические туннельные состояния, которые расположены на границах доменов C<sub>60</sub>, по-видимому, вносят доминирующий вклад в низкотемпературные эффекты в теплоемкости C<sub>60</sub>.

Мы благодарны за финансовую поддержку Российскому фонду фундаментальных исследований (проект №16-32-50015).

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА АЭРОГЕЛЕЙ МНОГОСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Красников Д.В.<sup>1,2</sup>, Кузнецов В.Л.<sup>1,2,3</sup>, Дорофеев И.О.<sup>3</sup>, Суслиев В.И.<sup>3</sup>, Смирнова Т.Е.<sup>3</sup>,  
Казакова М.А.<sup>1,2</sup>, Мосеенков С.И.<sup>1</sup>, Ткачев Е.Н.<sup>4</sup>, Романенко А.И.<sup>2,4</sup>

<sup>1</sup>*Институт катализа СО РАН, Новосибирск*

<sup>2</sup>*Новосибирский государственный университет, Новосибирск*

<sup>3</sup>*Томский государственный университет, Томск*

<sup>4</sup>*Институт неорганической химии СО РАН, Новосибирск*

[dk@catalysis.ru](mailto:dk@catalysis.ru)

Аэрогели многослойных углеродных нанотрубок (МУНТ) сочетают в себе уникальные механические, электрофизические и теплопроводные свойства МУНТ с характеристиками, задаваемыми своей структурой. В связи с высокой дисперсностью и плохой формуемостью исходных порошков аэрогели МУНТ оказываются более перспективными для поглощения акустических волн, электромагнитного излучения, в качестве компонентов газовых сенсоров, а также при использовании в качестве носителей ферментов.

В Институте катализа СО РАН разработана оригинальная методика одностадийного получения аэрогелей МУНТ с заданными параметрами: насыпной плотностью, площадью поверхности, формой, дефектностью поверхности нанотрубок. Аэрогели являются удобным объектом для изучения контактов между МУНТ, а также влиянию параметров индивидуальных нанотрубок на электромагнитные свойства материала. В настоящей работе представлены результаты соответствующих исследований. Показано, что аэрогели МУНТ обладают поляризуемостью в электромагнитном поле, близкой к металлам, по сравнению с которыми они имеют намного более низкий вес. Несмотря на то, что контакты между МУНТ обеспечиваются Ван-Дер-Ваальсовыми взаимодействиями, их величина, зависящая в первую очередь от площади контакта, может достигать существенных значений. В работе изучена сила взаимодействия между МУНТ путем изменения расклинивающего давления между нанотрубками в атмосфере летучих соединений.

Работа выполнена в рамках Комплексной программы фундаментальных научных исследований Сибирского отделения РАН № П.2 (проект № 0303-2016-0018), программы повышения конкурентоспособности ТГУ.

## АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Антонова Ирина Вениаминовна	29
Архипов Вячеслава Евгеньевич	34
Бадьин Александр Владимирович	32
Быченко Дмитрий	36
Горохов Глеб Викторович	25
Дорофеев Игорь Олегович	17
Казакова Мария Александровна	21
Каныгин Михаил Андреевич	24
Кибис Олег Васильевич	9
Коровин Евгений Юрьевич	19
Красников Дмитрий Викторович	16, 39
Кужир Полина Павловна	12
Кузнецов Владимир Львович	8
Кулешов Григорий Евгеньевич	15
Максименко Сергей Афанасьевич	7
Новопашин Сергей Андреевич	14
Окотруб Александр Владимирович	30
Песоцкий Кирилл	23
Петров Александр Владимирович	18, 31
Пономарев Александр	33, 38
Седельников Ольга Викторовна	22, 37
Суляев Валентин Иванович	10
Федоров Георгий Евгеньевич	13
Федосеева Юлия Владимировна	20
Фролов Кирилл Олегович	35
Хмель Сергей Яковлевич	26
Ямалетдинов Руслан	27



Научное издание

**Второй Российско-Белорусский семинар  
«Углеродные наноструктуры и их электромагнитные свойства»**

ПРОГРАММА И СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ

Ответственный за выпуск  
д.ф.-м.н. ОКОТРУБ Александр Владимирович

Техническое редактирование и верстка  
к.ф.-м.н. Каныгин М.А.

Подписано к печати и в свет 05.04.2017  
Формат 60×84/8. Печ. л. – 5,5. Уч.-изд. л. – 6,0.  
Тираж 35 экз. Заказ № 152.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева Сибирского отделения РАН.  
Просп. Акад. Лаврентьева, 3, Новосибирск, 630090