

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

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

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт катализа им. Г.К. Борескова
Сибирского отделения Российской академии наук

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова
Сибирского отделения Российской академии наук

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова
Российской академии наук

Третья российская конференция «ГРАФЕН: МОЛЕКУЛА И 2D-КРИСТАЛЛ»

Программа и сборник тезисов докладов

5-9 августа 2019 года

Новосибирск, 2019

УДК 546.26+546.052+546.22

Программа и тезисы докладов Третьей российской конференции «Графен: молекула и 2D-кристалл» / Ответственный за выпуск А.В. Окотруб. Новосибирск: ИНХ СО РАН, 2019, 116 с.

Сборник содержит доклады Третьей российской конференции «Графен: молекула и 2D-кристалл», которая проводилась 5-9 августа 2019 года в Новосибирске.

В сборнике представлены доклады по направлениям: химический и CVD синтеза графена и родственных материалов; химическая модификация графена и гибридные 2D материалы; топологические изоляторы и полуметаллы Вейля; диагностика графена и других 2D материалов; теория, строение и моделирование свойств графена и родственных низкоразмерных материалов; графеновая электроника, механические и электромеханические приложения.

ОРГАНИЗАТОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Новосибирский государственный университет
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН
Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН
Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Окотруб А.В., д.ф.-м.н., профессор, ИНХ СО РАН, Новосибирск – **председатель**
Бухтияров В.И., академик, ИК СО РАН, Новосибирск
Быков В.А., д.т.н., профессор, президент группы компаний НТ-МДТ Спектрум Инструментс
Губин С. П., д.х.н., профессор, ИОНХ РАН, Москва
Елецкий А.В., д.ф.-м.н., профессор, НИУ «МЭИ», Москва
Исмагилов З.Р., чл.-к., ИУХМ СО РАН, Кемерово
Кузнецов В.Л., к.х.н., ИК СО РАН, Новосибирск
Латышев А.В., академик, ИПФ СО РАН, Новосибирск
Максименко С.А., д.ф.-м.н., профессор, БГУ, Минск
Насибулин А.Г., д.т.н., профессор, Сколтех, Москва
Образцов А.Н., д.ф.-м.н., профессор, МГУ, Москва
Образцова Е.Д., к.ф.-м.н., ИОФ РАН, Москва
Принц В.Я., д.ф.-м.н., ИПФ СО РАН, Новосибирск
Федин В.П., чл.-к., ИНХ СО РАН, Новосибирск
Федорук М.П., чл.-к., НГУ, Новосибирск
Чернозатонский Л.А., д.ф.-м.н., профессор, ИБХФ РАН, Москва

СЕКРЕТАРИАТ КОНФЕРЕНЦИИ

Антонова И.В., д.ф.-м.н., ИФП СО РАН, Новосибирск
Буслаева Е.Ю., д.х.н., ИОНХ РАН, Москва
Федосеева Ю.В., к.ф.-м.н., ИНХ СО РАН, Новосибирск

**НАУЧНАЯ ПРОГРАММА
И
ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**

5 АВГУСТА, ПОНЕДЕЛЬНИК

- 13:20-13:30 **ОТКРЫТИЕ КОНФЕРЕНЦИИ**
А.В. Окотруб
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск
М.П. Федорук
Новосибирский государственный университет, Новосибирск
В.П. Федин
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск
- 13:30-14:00 **С.А. Тарасенко**
ФОТОТОКИ В ГРАФЕНЕ В УСЛОВИЯХ КВАНТОВОГО ЭФФЕКТА ХОЛЛА
Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе, С.-Петербурга
- 14:00-14:30 **М.М. Глазов**
ЭКСИТОН-ФОНОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В МОНОСЛОЯХ
ДИХАЛЬКОГЕНИДОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ
Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе, С.-Петербурга
- 14:30-15:00 **А.М. Шикин**
2D ПОВЕРХНОСТНЫЙ ФЕРРОМАГНЕТИЗМ И АНТИФЕРРОМАГНЕТИЗМ В
СИСТЕМАХ С ДИРАКОВСКИМ КОНУСОМ ЭЛЕКТРОННЫХ СОСТОЯНИЙ НА
ОСНОВЕ МАГНИТНЫХ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ИЗОЛЯТОРОВ
Санкт-Петербургский государственный университет, С.-Петербурга
- 15:00-15:30 **В.А. Осипов**
ТРАНСПОРТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ГРАФЕНЕ: РЯД ПРАКТИЧЕСКИХ
ПРИЛОЖЕНИЙ
*Лаборатория теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова, Объединенный
институт ядерных исследований, Дубна*
- 16:00-16:20 **Я. Смотлаха**
АНДРЕЕВСКОЕ ОТРАЖЕНИЕ В ВЕЙЛЕВСКИХ ПОЛУМЕТАЛЛАХ В
МАГНИТНОМ ПОЛЕ
*Лаборатория теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова, Объединенный
институт ядерных исследований, Дубна*
- 16:20-16:40 **С.Г. Буга**
МЕТАСТАБИЛЬНЫЕ ФАЗЫ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ИЗОЛЯТОРОВ Sb_2Te_3 и
 Bi_2Se_3 , ПОЛУЧАЕМЫЕ ОБРАБОТКОЙ ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ И
ТЕМПЕРАТУРОЙ
*Технологический институт сверхтвердых и новых углеродных материа-
лов, Троицк, Москва*
- 16:40-16:55 **К.Г. Батраков**
ГЕНЕРАЦИЯ И ПОГЛОЩЕНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ В ДИРАКОВСКИХ СТРУКТУРАХ
«Институт ядерных проблем» Белорусского государственного универси-
тета, Минск
- 16:55-17:10 **А.А. Решетняк**
ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА ДВУХСЛОЙНЫХ ГРАФЕНОВ ВО ВНЕШНИХ
ПОЛЯХ С НАРУШЕННОЙ СИММЕТРИЕЙ ОСНОВНОГО СОСТОЯНИЯ
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск

17:10-17:25 **А.П. Бройко**
ОПТИМАЛЬНАЯ СТРУКТУРА КОМПОЗИТНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ И МЕМБРАН,
МОДИФИЦИРОВАННЫХ ГРАФЕНОМ, ДЛЯ МИКРОАКТЮАТОРОВ БИОМИ-
МЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ
*Санкт-Петербургский государственный электротехнический универси-
тет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), С.-Петербург*

ФОТОТОКИ В ГРАФЕНЕ В УСЛОВИЯХ КВАНТОВОГО ЭФФЕКТА ХОЛЛА

С.А. Тарасенко¹, М.В. Дурнев¹, Х. Планк², С.Д. Ганичев²

¹ ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия

² Terahertz Center, University of Regensburg, 93053 Regensburg, Germany
tarasenko@coherent.ioffe.ru

Исследование проводящих каналов, возникающих на краю двумерных кристаллических систем с нетривиальной топологией, является в настоящее время одним из основных направлений развития физики твердого тела [1]. Такие топологически защищенные краевые каналы возникают естественным образом в двумерных электронных системах в сильном перпендикулярном магнитном поле в режиме квантового эффекта Холла.

В настоящем докладе сообщается о наблюдении, теоретическом и экспериментальном исследовании фототоков, индуцированных терагерцовым излучением в графене в режиме квантового эффекта Холла [2]. Показано, что возбуждение графена электромагнитным полем разрушает тепловое равновесие в краевых каналах и приводит к генерации электрического тока. Направление тока определяется полярностью магнитного поля, а его величина зависит от поляризации излучения.

Графен с дираковским электронным спектром является уникальной системой для изучения краевых фототоков, поскольку большая циклотронная щель ~ 30 мэВ, необходимая для формирования краевых каналов, достигается уже в магнитном поле 1 Т. Это создает перспективы для разработки стандартов сопротивления на основе графена.

[1] С.А. Тарасенко, Электронные свойства топологических изоляторов. Структура краевых состояний и фотогальванические эффекты. УФН 188, 1129 (2018).

[2] H. Plank, M.V. Durnev, S. Candussio, J. Pernul, K.-M. Dantscher, E. Mönch, A. Sandner, J. Eroms, D. Weiss, V.V. Belkov, S.A. Tarasenko, and S.D. Ganichev, Edge currents driven by terahertz radiation in graphene in quantum Hall regime. 2D Materials 6, 011002 (2019).

ЭКСИТОН-ФОНОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В МОНОСЛОЯХ ДИХАЛЬКОГЕНИДОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

М.М. Глазов

ФТИ им. А.Ф. Иоффе, ул. Политехническая 26, Санкт-Петербург, Россия
glazov@coherent.ioffe.ru

Двумерные дихалькогениды переходных металлов, в частности MoS_2 и подобные соединения, привлекают пристальный интерес исследователей своими необычными свойствами. Оптические свойства этих материалов контролируются экситонами, электрон-дырочными парами, связанными кулоновским взаимодействием [1].

В докладе обсуждаются проявления взаимодействия экситонов и фононов в оптических и транспортных свойствах монослоев дихалькогенидов переходных металлов. Основное внимание сосредоточено на следующих эффектах:

- 1) Асимметрия спектров экситонного поглощения [2].
- 2) Энергетическая релаксация экситонов на акустических и оптических фононах.
- 3) Транспортные свойства экситонов [3], их диффузия и эффект увлечения экситонов неравновесными фононами.

Также будут кратко обсуждаться перенормировки спектра электронов и экситонов за счет поляронного эффекта.

Показано, что двумерный характер фононов приводит к значительному усилению взаимодействия колебаний решетки с носителями заряда и их кулоновскими комплексами в монослоях дихалькогенидов переходных металлов.

[1] G. Wang, A. Chernikov, M.M. Glazov, T.F. Heinz, X. Marie, T. Amand, and B. Urbaszek, Colloquium: Excitons in atomically thin transition metal dichalcogenides, Rev. Mod. Phys. 90, 021001 (2018).

[2] S. Shree, M. Semina, C. Robert, B. Han, T. Amand, A. Balocchi, M. Manca, E. Courtade, X. Marie, T. Taniguchi, K. Watanabe, M. M. Glazov, and B. Urbaszek, Observation of exciton-phonon coupling in MoSe₂ monolayers, Phys. Rev. B 98, 035302 (2018).

[3] M. Kulig, J. Zipfel, P. Nagler, S. Blanter, C. Schueller, T. Korn, N. Paradiso, M. M. Glazov, and A. Chernikov, Exciton diffusion and halo effects in monolayer semiconductors, Phys. Rev. Lett. 120, 207401 (2018).

2D ПОВЕРХНОСТНЫЙ ФЕРРОМАГНЕТИЗМ И АНТИФЕРРОМАГНЕТИЗМ В СИСТЕМАХ С ДИРАКОВСКИМ КОНУСОМ ЭЛЕКТРОННЫХ СОСТОЯНИЙ НА ОСНОВЕ МАГНИТНЫХ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ИЗОЛЯТОРОВ

А.М. Шикин

Санкт-Петербургский государственный университет, Ульяновская 1, Петродворец, Санкт Петербург, Россия

a.shikin@spbu.ru

В последние годы повышенное внимание исследователей привлекают магнитные топологические изоляторы ввиду возможной эффективной реализации целого ряда квантовых топологических эффектов, связанных с комбинацией топологических и магнитных свойств, которые сопровождаются открытием энергетической щели в точке Дирака и формированием хиральных краевых состояний в Дираковской щели при ее локализации на уровне Ферми. В данном докладе будут представлены и проанализированы особенности электронной, спиновой структуры и магнитных свойств двух новых типов антиферромагнитных топологических изоляторов: (а) Gd-допированный топологический изолятор с локализацией точки Дирака на уровне Ферми и (б) магнитно-упорядоченный стехиометрический топологический изолятор MnBi₂Te₄. Данные материалы характеризуются аномально большой величиной Дираковской щели (30 и 80 мэВ, соответственно) и являются перспективными материалами для реализации квантового аномального эффекта Холла (КАЭХ) при повышенных температурах. Для Gd-допированного топологического изолятора (вследствие изовалентности Gd и Bi) характерно также отсутствие примесной зоны и соответствующих состояний вблизи уровня Ферми, через которые могут протекать паразитные зарядовые токи, шунтирующие спиновые токи, формируемые в КАЭХ. Для анализа будут использованы методы фотоэлектронной спектроскопии с угловым и спиновым разрешением, резонансной фотоэмиссии, циркулярного дихроизма и магнитометрические методы. Будет показана возможность манипуляции величиной Дираковской щели при использовании синхротронного и лазерного излучения различной поляризации. Будет проанализирована возможность поверхностного магнетизма в данных системах.

ТРАНСПОРТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ГРАФЕНЕ: РЯД ПРАКТИЧЕСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ

В.А. Осипов

ЛТФ ОИЯИ, Дубна, Россия

osipov@theor.jinr.ru

Представлен краткий обзор результатов последних лет, полученных нашей группой в ЛТФ ОИЯИ и посвященных исследованию транспортных явлений в графене, его модификациях и поликристаллическом графене. В частности, обсуждается влияние вакансий и топологических дефектов на теплопроводность графена, возможность использования графеновых полосок в качестве эффективного термоэлектрического материала, возможность создания туннельного полевого транзистора на базе графена, эффективность работы устройства для расшифровки нуклеотидной последовательности фрагментов молекулы ДНК с использованием структуры графен-нуклеотид-графен, и, возможно, еще несколько интересных примеров.

АНДРЕЕВСКОЕ ОТРАЖЕНИЕ В ВЕЙЛЕВСКИХ ПОЛУМЕТАЛЛАХ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Я. Смотлаха, М. Майти

*Лаборатория теоретической физики им. Боголюбова, Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия
smota@centrum.cz*

Вейлевские полуметаллы первого и второго типа были исследованы с точки зрения проводимости для контактов со сверхпроводниками, а также более сложных структур типа Вейлевский полуметалл–сверхпроводник–Вейлевский полуметалл, Вейлевский полуметалл–Вейлевский полуметалл–сверхпроводник и так далее. В случае Вейлевских полуметаллов первого типа было обнаружено значительное влияние магнитного поля на проводимость. В наших расчетах, мы расширяем исследование влияния магнитного поля на свойства Вейлевских полуметаллов второго типа, увеличиваем количество исследованных структур, и сравниваем магнитные свойства обоих типов Вейлевских полуметаллов.

МЕТАСТАБИЛЬНЫЕ ФАЗЫ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ИЗОЛЯТОРОВ Sb_2Te_3 и Bi_2Se_3 , ПОЛУЧАЕМЫЕ ОБРАБОТКОЙ ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ И ТЕМПЕРАТУРОЙС.Г. Буга^{1,2}, Н.Р. Серебряная^{1,2}, В.А. Кульбачинский³, Н.А. Львова^{1,2}, Н.Н. Елисеев^{1,2}, В.Д. Бланк^{1,2}¹*Технологический институт сверхтвёрдых и новых углеродных материалов, Ул. Центральная 7а, г. Троицк, г. Москва, Россия*²*Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный, Московская обл., Россия*³*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физический факультет, Воробьёвы горы, г. Москва, Россия
buga@tisnum.ru*

Халькогениды сурьмы и висмута Sb_2Te_3 и Bi_2Se_3 являются узкощелевыми полупроводниками и относятся к классу топологических изоляторов (ТИ). Помимо полупроводниковых ТИ в последние годы значительный интерес привлекают также топологические полуметаллы и металлы Вейля, поверхность Ферми которых имеет точки Дирака, как и в топологических изоляторах. Путем химического легирования и внешних воздействий изменяется положение уровня Ферми и кристаллическая структура этих материалов, что существенным образом влияет на энергетический спектр носителей заряда и в конечном итоге изменяются их электронные свойства и магнитная восприимчивость. Важным свойством топологических изоляторов и металлов является сверхпроводимость, поскольку сочетание характерных топологических свойств и сверхпроводимости может обеспечить им принципиально новые функциональные свойства. Переходы в сверхпроводящее состояние этих материалов получены как легированием, так и воздействием высокого давления. Однако, сверхпроводящие фазы высокого давления, получаемые при комнатной температуре из нелегированных соединений, обычно неустойчивы и возвращаются в исходные структуры после снятия давления. Нами использована методика обработки высоким давлением и температурой при $P = 4-7.7$ ГПа, $T = 400-800^\circ\text{C}$ для синтеза новых метастабильных фаз этих соединений, исследована их кристаллическая и зонная структура (фазы $m-Sb_2Te_3$), электрические свойства и магнитная восприимчивость [1,2]. Метастабильные фазы проявляют свойства топологических полуметаллов.

[1] S.G. Buga, N.A. Lvova, N.R. Serebryanaya et al., Superconductivity in bulk polycrystalline metastable phases of Sb_2Te_3 and Bi_2Te_3 quenched after high-pressure-high temperature treatment, Chem. Phys. Lett. 631-632, 97-102 (2015).

[2] V.A Kulbachinskii, S.G. Buga, N.R. Serebryanaya, N.N. Eliseev, V.D. Blank, Superconductivity, magnetoresistance, magnetic anomaly and crystal structure of new phases of topological insulators Bi_2Se_3 and Sb_2Te_3 . J. Phys.: Conf. Ser. 969(1), 012152 (2018).

ГЕНЕРАЦИЯ И ПОГЛОЩЕНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ В ДИРАКОВСКИХ СТРУКТУРАХ

К.Г. Батраков

НИИ ядерных проблем БГУ, Минск

kgbatratkov@gmail.com

Ряд материалов, таких как графен, топологические изоляторы, вейлевские и дираковские полуметаллы, демонстрируют дираковский спектр электронной подсистемы. Важной и интересной особенностью такого типа дисперсии является хорошо известный «парадокс» Клейна, заключающийся в безотражательном прохождении частиц сквозь потенциальный барьер, что является одним из факторов приводящим к возможности баллистического движения электронов на длине до десятков микрон. Это существенно, на порядки, превосходит электронные пробеги в обычных твердых телах и приводит к рекордным значениям подвижности носителей, сказываясь на электродинамических параметрах структур. За счет этого возникает сильное взаимодействие с электромагнитной волной, приводящее, например, к возможности практически полного поглощения падающего терагерцового и микроволнового излучения одним слоем графена атомарной толщины [1]. В данной работе приводятся результаты исследований по поглощению и генерации терагерцового и микроволнового излучения в дираковских структурах. Показана возможность резкого замедления плазмон-поляритонов, распространяющихся вдоль слоистых графеновых структур и вдоль поверхности топологических 3D изоляторов, позволяющая обеспечить черенковский синхронизм волны с потоком нерелятивистских электронов. Замедленная в этих структурах волна оказывается сильно локализованной на расстоянии от поверхности в сотни раз меньшем, чем длина волны, что способствует увеличению концентрации энергии поля в малом объеме, резкому усилению взаимодействия с электронами и высокому темпу генерации. В докладе также рассматривается возможность управления процессами генерации и поглощения путем электростатического допирования, путем растяжения образцов и воздействием магнитного поля.

[1] K Batratkov, et al, Flexible transparent graphene/polymer multilayers for efficient electromagnetic field absorption, Sci. Rep. 4, 7191 (2014).

ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА ДВУХСЛОЙНЫХ ГРАФЕНОВ ВО ВНЕШНИХ ПОЛЯХ С НАРУШЕННОЙ СИММЕТРИЕЙ ОСНОВНОГО СОСТОЯНИЯА.А. Решетняк¹, Б.Р. Мищук²¹Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, пр. Академический 2/4, Томск, Россия²Томский государственный педагогический университет, пр. Комсомольский 75, Томск, Россия

reshet@ispms.tsc.ru

Представлены результаты теоретического исследования влияния различных представлений энергии основного состояния двухслойного графена (билэера) со щелью, зависящей от спиновой $s = \pm h/2$ и долиной ξ переменных в Дираковских K ($\xi=1$) and K' ($\xi=-1$) точках в квазичастичном спектре на продольную и Холловскую оптические проводимости как АА, так АВ-стекированных графенов на основе подхода КЭД в (2+1)-мерном пространстве-времени. Точные аналитические выражения для оптических проводимостей σ_{\pm} во внешних электрическом (со щелью 5-20 мэВ) и магнитном полях (3-10 Тл) выведены с помощью 4-зонного микроскопического гамильтониана, линейного по ковариантным производным (с потенциалом магнитного поля перпендикулярного листам графена)

$$H = \xi \begin{pmatrix} \Delta_{\xi s} & \gamma_3 v_F \pi / \gamma_0 & \gamma_4 v_F \pi^+ / \gamma_0 & v_F \pi^+ \\ \gamma_3 v_F \pi^+ / \gamma_0 & -\Delta_{\xi s} & v_F \pi & \gamma_4 v_F \pi / \gamma_0 \\ \gamma_4 v_F \pi / \gamma_0 & v_F \pi^+ & -\Delta_{\xi s} & \gamma_1 \\ v_F \pi & \gamma_4 v_F \pi^+ / \gamma_0 & \gamma_1 & \Delta_{\xi s} \end{pmatrix} \text{ for } \Delta_{\xi s} = U + \xi \Delta_T + s U_T + \xi s \Delta \quad (1)$$

дираковского типа (разного для AA и AB -стекирований с учетом тригонального искажения спектра. Полученные по формулам Кубо проводимости включают зависимости от температуры, химического потенциала. Рассмотрены предельный случай постоянного тока и соотношения между σ_{\pm} и углами Керра и Фарадея для композитных систем со слоями из “ $AB(AA)$ -графенов”. Исследовано влияние примесей на величину проводимостей на основе точной функции Грина для 2-зонного гамильтониана AB -графена. Результаты предсказывают ряд режимов для основных состояний с нарушенной симметрией с реализациями, под управлением внешних полей, для использования в нано- и микроэлектронике на основе графеновых устройств.

- [1] K.S. Novoselov and E. McCann and S.V. Morozov etc. *Nat.Phys.* 2 177 (2006).
 [2] E. McCann and M. Koshini, *Rep. Prog. Phys.* 76 056503 (2013).
 [3] L.A. Falkovsky, *JETP Letters* 97 429-438 (2013).
 [4] V.P. Gusynin, A.A. Reshetnyak, S. Sharapov, *AIP Conf.Proc.* 1683 (2015) 020070.
 [5] A.A. Reshetnyak, B.R.Mischuk, (to be submitted in *Phys.Rev.B*)

ОПТИМАЛЬНАЯ СТРУКТУРА КОМПОЗИТНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ И МЕМБРАН, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ГРАФЕНОМ, ДЛЯ МИКРОАКТУАТОРОВ БИОМИМЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Н.И. Алексеев, В.С. Багрец, А.П. Бройко, В.Е. Калёнов, А.В. Корляков, В.В. Лучинин, И.К. Хмельницкий

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), ул. Профессора Попова 5, Санкт-Петербург, Россия
 NIAlekseyev@yandex.ru

Биомиметические системы имитируют движение биообъектов. Актюаторы этих систем трансформируют энергию химических реакций в механическое движение и включают в себя два гибких графеновых электрода и раствор электролита между ними, заполняющий пространство электроактивного полимера. Такой ионный полимер-графеновый композит (ИПГК) сгибается под действием напряжения. Проблема создания графенового электрода из чешуек восстановленного оксида графена (ВОГ) состоит в недостаточной проводимости плохо восстановленного графена и трудности создания цельной плёнки графена, который восстановлен слишком хорошо. Была разработана технология восстановления ОГ обеспечивающая цельность и стабильность плёнки, осаждаемой методом полива из стабильной водной суспензии ВОГ, при ее низком сопротивлении (менее 1 кОм).

В качестве полимера использовался МФ-4СК – российский аналог Нафиона, отличающийся характерной длиной полимерных цепочек. Так как комбинация «МФ-4СК – графен» исследовалась впервые, модификация полимера графеном [1], а электродов – серебром [2], не производилась, поскольку она усложняет технологию. Тем не менее, актюатор показал примерно ту же амплитуду отклонения и необходимую блокировочную силу, что и в [3]. Факт усиления активации с ростом длины полимерных цепочек и, возможно, существования оптимума описывается структурной моделью нафионового полимера [1].

- [1] N. I. Alekseyev, A. P. Broyko, V.E. Kalyonov et al. *J. Struct. Chem.* 2018. 59. pp 1707–1718.
 [2] N. I. Alekseyev, A. P. Broyko, V. E. Kalyonov et al. *J. Struct. Chem.* 2018. 59. pp 891–899.
 [3] N. I. Alekseev, A. P. Broyko, Z. I. Evseev, et al *AIP Conf. Proc.* 2018. 2041. 020011

6 АВГУСТА, ВТОРНИК

- 9:00-9:20 **М.Р. Предтеченский**
ОДНОСТЕННЫЕ УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ TUBALL - ЧТО ДАЛЬШЕ
OCSiAl, Новосибирск
- 9:20-9:40 **В.Л. Кузнецов**
КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ
УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ
Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, Новосибирск
- 9:40-10:00 **В.П. Толстой**
НОВЫЕ СПОСОБЫ СИНТЕЗА И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА 2D
НАНОКРИСТАЛЛОВ ОКСИДОВ И ОКСИГИДРОКСИДОВ ПЕРЕХОДНЫХ
МЕТАЛЛОВ С МОРФОЛОГИЕЙ НАНОЛИСТОВ И ИХ КОМПОЗИТОВ С
ГРАФЕНОМ
*Институт химии Санкт-Петербургского государственного
университета*
- 10:00-10:15 **С.А. Смагулова**
ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ВАН-ДЕР-ВААЛЬСОВЫЕ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ НА
ОСНОВЕ ГРАФЕНА И ДИСУЛЬФИДА МОЛИБДЕНА
*Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова,
Якутск*
- 10:15-10:30 **А.В. Мележик**
СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ НОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ОКСИДА ГРАФЕНА
Тамбовский государственный технический университет, Тамбов
- 11:00-11:15 **М.Б. Шавелкина**
ПЕРСПЕКТИВЫ СИНТЕЗИРОВАННОГО В ПЛАЗМЕ ГРАФЕНА
Объединенный институт высоких температур РАН, Москва
- 11:15-11:30 **О.В. Кононенко**
ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА ТУРБОСТРАТНОГО ГРАФЕНА
*Институт проблем технологии микроэлектроники и особо чистых
материалов РАН, Черноголовка*
- 11:30-11:45 **А.И. Сапрыкин**
СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ГРАФЕНОВЫХ СЛОЕВ МИКРОВОЛНОВОЙ
ЭКСФОЛИАЦИЕЙ ИНТЕРКАЛАТОВ ФТОРИРОВАННОГО ГРАФИТА
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева, Новосибирск
- 11:45-12:00 **Ю.И. Бауман**
СЕГМЕНТИРОВАННЫЕ УГЛЕРОДНЫЕ НАНОСТРУКТУРЫ: МЕХАНИЗМ
РОСТА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, Новосибирск
- 12:00-12:15 **А.А. Возняковский**
ПОЛУЧЕНИЕ МНОГОСЛОЙНОГО ГРАФЕНА МЕТОДОМ
САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО
СИНТЕЗА
Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе, С.-Петербург

- 14:00-14:15 **А.А. Арбузов**
КОМПОЗИТЫ ГРАФЕНОПОДОБНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПРОТЯЖЕННЫМИ
УГЛЕРОДНЫМИ НАНОСТРУКТУРАМИ
Институт проблем химической физики РАН, Черноголовка
- 14:15-14:30 **А.С. Чичкань**
ПОЛУЧЕНИЕ ГРАФЕНА ТЕМПЛАТНЫМ МЕТОДОМ И ИССЛЕДОВАНИЕ
ЕГО СВОЙСТВ
Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, Новосибирск
- 14:30-14:45 **Б.Ч. Холхоев**
ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИЕ ГРАФЕНОВЫЕ БИОКОМПОЗИТЫ
Байкальский институт природопользования СО РАН, Улан-Удэ
- 14:45-15:00 **А.Г. Баннов**
ДИНАМИКА СИНТЕЗА ОКСИДА ГРАФИТА
*Новосибирский государственный технический университет,
Новосибирск*
- 15:00-15:15 **И.И. Куркина**
ОТРИЦАТЕЛЬНОЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ В
МУЛЬТИБАРЬЕРНЫХ ПЛЕНКАХ ФТОРИРОВАННОГО ГРАФЕНА СО
ВСТРОЕННЫМИ КВАНТОВЫМИ ТОЧКАМИ ГРАФЕНА
*Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова,
Якутск*
- 15:15-15:30 **Н.А. Небогатикова**
НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА
ПУТЕМ ОБЛУЧЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ
Институт физики полупроводников А.В. Ржанова СО РАН, Новосибирск
- 15:30-15:45 **А.М. Даниленко**
ПОВЕДЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА ВО ФТОРИДНЫХ
СРЕДАХ
*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН,
Новосибирск*
- 16:00-18:00 **СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ**

ОДНОСТЕННЫЕ УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ TUBALL - ЧТО ДАЛЬШЕ

М.Р. Предтеченский

OCSiAl, Новосибирск, Россия



Предтеченский Михаил Рудольфович - академик РАН, специалист в области механики, теплофизики, энергетики, заведующий кафедрой нанокompозитных материалов Новосибирского государственного университета, научный руководитель и один из основателей компании OCSiAl.

В настоящем докладе представлены результаты работ по созданию модификаторов на основе TUBALL, применение которых позволяет использовать углеродные нанотрубки в качестве модифицирующей добавки. Продемонстрированы несколько успешных применений ОУНТ: создание электропроводящих полимерных материалов, композитных материалов с улучшенными физико-механическими свойствами, аккумуляторов с уникальными характеристиками. Обсуждаются перспективы применений одностенных углеродных нанотрубок, проблемы, которые встают на пути создания новых материалов с ОУНТ, а также способы их решения.

КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ

В.Л. Кузнецов

Институт катализа им. Г.К. Борескова, пр. Лаврентьева 5, Новосибирск, Россия

Углеродные нанотрубки (УНТ) считаются одним из перспективных модификаторов при разработке композиционных конструкционных и функциональных материалов. В случае неорганических матричных композитов исследователи особенно сосредоточились на УНТ как на компонентах, улучшающих прочность, чтобы преодолеть хрупкость, присущую керамическому материалу. В то же время, новое введение УНТ в композиты на основе оксидов позволяют разработать функциональные материалы с улучшенными электрическими, оптическими и теплопроводными свойствами. В данной презентации рассматривается синтез оксидных композитов, содержащих УНТ, с различными свойствами (оптическими, электрическими и химическими). Особое внимание будет уделено формированию границ раздела между оксидной матрицей и поверхностью УНТ, что является наиболее важным для производства материалов с однородными и воспроизводимыми свойствами.

Композиты на основе оксидов и нанотрубок можно разделить на два типа: низкотемпературные и высокотемпературные. Первые характеризуются распределением УНТ в оксидной матрице за счет взаимодействия поверхности функционализированных УНТ с предшественниками оксидов с последующей обработкой при умеренных температурах, в ходе которых функциональные группы УНТ могут быть сохранены. Во-вторых, после стадии предварительного распределения УНТ на поверхности оксидных предшественников, полученную смесь подвергают высокотемпературной обработке. В этом случае образование интерфейсов в этих системах следует рассматривать как неравновесные процессы с учетом фазовых диаграмм («оксидные элементы - углерод»), которые могут привести к образованию новых соединений на границах раздела, модифицирующих композит (например, оксикарбидов или карбидов). Наиболее информативные методы формирования интерфейсов в этих случаях основаны на использовании *in-situ* и *operando* подходов (с использованием *in-situ* HR TEM, *in-situ* XRD и т. Д.). Будут рассмотрены примеры получения и свойств различных типов оксидных композитов, модифицированных УНТ. В частности, аэрогелей на основе SiO₂ для оптических применений [1], проводящей вакуумно плотной керамики на основе Al₂O₃ [2] и пеностеклянных композитов для радиочастотных безэховых камер [3].

Работа выполнена в рамках государственного задания ИК СО РАН

[1] A. I. Chernov, A. Y. Predein, A. F. Danilyuk, V. L. Kuznetsov, T. V. Larina, and E. D. Obratsova, Optical properties of silica aerogels with embedded multiwalled carbon nanotubes, Phys. Status Solidi B. 2016, 253, 2440–2445.

[2] Myz A.L., Kichai O.V., Karagedov G.R., Shutilov R.A., Kuznetsov V.L., Design of Electroconductive MWCNT-Al₂O₃ Composite Ceramics, *Materials Today: Proceedings*. 2017, 4 (No 11), 11375-11380.

[3] O Kazmina, V Suslyayev, K Dorozhkin, V Kuznetsov, E Lebedeva. The foam-glass material for a radio frequency echoless chambers, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2016, 110, 012086 (1-5).

НОВЫЕ СПОСОБЫ СИНТЕЗА И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА 2D НАНОКРИСТАЛЛОВ ОКСИДОВ И ОКСИГИДРОКСИДОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ С МОРФОЛОГИЕЙ НАНОЛИСТОВ И ИХ КОМПОЗИТОВ С ГРАФЕНОМ

В.П. Толстой, А.А. Лобинский, В.Е. Гуренко, Н.И. Владимирова, Л.Б. Гулина, М.В. Канева
*Институт химии Санкт-Петербургского государственного университета
Университетский пр. 26, Ст. Петергоф, Санкт-Петербург, Россия
v.tolstoy@spbu.ru*

В докладе дается краткий обзор современных способов синтеза 2D нанокристаллов оксидов и оксигидроксидов переходных металлов с морфологией наноллистов и подробно излагаются приоритетные способы синтеза с участием растворов реагентов, такие как ионное наслаивание [1, 2] и межфазный синтез на границе раздела раствор-газ с участием реагентов, один из которых находится в газовой фазе, а второй в растворе [3]. Приводятся примеры применения данных способов при получении высокоэффективных электродных материалов электрохимических устройств, включая электроды электролизеров воды и гибридных батарей-суперконденсаторов. Отмечается, что ряд важных задач при создании таких материалов может быть решен только с использованием предлагаемых способов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 18-19-00370.

[1] V.P. Tolstoy, A.A. Lobinsky, M.V. Kaneva, *Journal of Molecular Liquids*, 2019, accepted manuscript, <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.02.067>.

[2] A.A. Lobinsky, V.P., Tolstoy, *RSC Advances*, 2018, 8, 29607.

[3] V.P. Tolstoy, L.B. Gulina, *Langmuir*, 2014, 30, 8366.

ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ВАН-ДЕР-ВААЛЬСОВЫЕ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА И ДИСУЛЬФИДА МОЛИБДЕНА

С.А. Смагулова

*Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, г. Якутск, Россия
smagulova@mail.ru*

В настоящее время большой интерес вызывает синтез двумерных материалов с полупроводниковыми свойствами. Семейством таких двумерных полупроводников являются ди-халькогениды переходных металлов. Среди них наиболее интересны MoS₂, WS₂, которые являются фоточувствительными в диапазоне видимого света, что делает их перспективными для создания солнечных элементов. Двухмерные пленки MoS₂, WS₂ обладают рядом уникальных свойств: прочностью, прозрачностью, гибкостью. Гибкая электроника предлагает создание совершенно новых электронных устройств. В качестве прозрачных электродов перспективно использовать гибкие графеновые пленки, которые с успехом могут заменить оксиды индия и олова.

Графеновые пленки были синтезированы методом CVD путем разложения газообразного метана, а дисульфид молибдена и вольфрама синтезированы путем испарения порошковых твердых прекурсоров. Синтезированные пленки были исследованы с помощью оптического, сканирующего электронного и атомно-силового микроскопов, элементного анализа, измерения спектров комбинационного рассеяния света, измерения электрических характеристик. Проведены эксперименты по переносу графеновых пленок и пленок дисульфида молибдена на прозрачные гибкие подложки. Проводится сборка вертикальных Ван-дер Ваальсовых гетероструктур из синтезированных пленок графена и дисульфида молибдена.

Работа проведена в рамках гранта РФФИ р_а № 18-42-140005

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ НОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ОКСИДА ГРАФЕНА

А.Г. Ткачев, А.Е. Бураков, И.В. Буракова, А.В. Бабкин, А.В. Мележик, Н.Р. Меметов
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»
nanocarbon@rambler.ru

Оксид графена (ОГ) широко применяется для синтеза разнообразных графеновых материалов. В ТГТУ и в ООО НаноТехЦентр разработана, построена и отлажена технологическая линия синтеза высококачественного ОГ с производительностью 0,4 кг ОГ (что соответствует переработке 0,2 кг исходного графита) за технологический цикл. Процесс автоматизирован и управляется компьютером. Технология основана на оригинальной модификации метода Хаммерса-Оффемана (патентуется). Готовый товарный продукт представляет собой 1%-ную водную дисперсию ОГ и фасуется в 20-литровых канистрах. По данным рентгенофазового и элементного анализа, в продукте отсутствует примесь недоокисленного графита, содержание минеральных примесей не превышает 0,3% от массы сухого ОГ. Нами разработана также новая модификация ОГ (глубокого окисления, ОГЛ) и оригинальная технология синтеза (патентуется). Технология отработана в заводском масштабе. ОГЛ отличается от обычного ОГ меньшим латеральным размером частиц, лучшей коллоидной стабильностью в присутствии электролитов и кислот.

Показано, что полимеризация п-бензохинона в присутствии ОГ приводит к образованию нанокпозиционного материала, в котором ОГ восстановлен до графена, а графеновые слои покрыты полигидрохиноном. Этот материал, благодаря наличию полифенольных групп, обладает высокой адсорбционной способностью по отношению к ионам тяжелых металлов и может найти применение для глубокой очистки воды.

Путем химического модифицирования обычного ОГ и ОГЛ октадециламином получены маслорастворимые формы графена. Маслорастворимый графен получен также реакцией октадециламина с графеновым продуктом пиролиза сухого ОГ, в котором содержатся карбонильные группы. Эти формы графена могут найти применение в смазочных материалах.

Механохимической обработкой дисперсии ОГ в присутствии солей двухвалентного железа получен графен, декорированный наноразмерными частицами магнетита. Также, синтезирован графен, декорированный наночастицами феррита кобальта. Эти композиты могут найти применение в составе радиопоглощающих материалов.

ПЕРСПЕКТИВЫ СИНТЕЗИРОВАННОГО В ПЛАЗМЕ ГРАФЕНА

М.Б. Шавелкина¹, Р.Х. Амиров¹, Т.Б. Шаталова², М.В. Ильичев¹, А.И. Драчев³

¹*Объединенный институт высоких температур РАН, ул. Ижорская д.1, стр.2, Москва, Россия*

²*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр.3, Москва, Россия*

³*ГНЦ РФ Государственный научно-исследовательский институт химии и технологии элементорганических соединений, шоссе Энтузиастов, д. 38, Москва, Россия*
mshavelkina@gmail.com

Особенностью графена, синтезированного в объеме струи термической плазмы, является свободное состояние, латеральный размер, не превышающий 2 мкм, отсутствие примесей, простота модификации, что, в целом, позволяет развивать существующие графеновые технологии и создавать новые. Основой для синтеза графена являются углеводородные газы и спирты. При их вводе одновременно с плазмообразующим газом в мощный плазмотрон постоянного тока образуется смесь из газа и пара, в зависимости от скорости охлаждения которой формируется графен с различной морфологией и геометрией. В качестве плазмообразующего газа использовался азот, аргон или гелий при давлении в реакторе от 100 до 710 Торр. Синтезированные структуры (графен, N-графен, гидрированный графен) применены в качестве добавок для повышения физико-механических характеристик щеток электрических

машин, нитридборной керамики, электрохимических характеристик суперконденсатора, улучшающих структуру газодиффузионных слоев электродов топливных элементов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (18-08-00040, 19-08-00081 и 18-08-00306).

ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА ТУРБОСТРАТНОГО ГРАФЕНА

О.В. Кононенко, В.Н. Матвеев, В.И. Левашов, И.И. Ходос

Институт проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов Российской академии наук, ул. Академика Осипьяна, д. 6, Черноголовка, Россия

oleg@iptm.ru

Турбостратный бислойный графен вызвал в последние годы большой интерес благодаря зависящим от угла уникальным свойствам. При повороте слоев относительно друг друга в бислойном графене возникают новые электронные и оптические свойства, отсутствующие в однослойном графене. Это, например, возникновение сингулярностей ван Хофа и сильное усиление (в десятки раз) при определенных углах интенсивности рамановского пика G.

Недавно Mogera с соавторами впервые продемонстрировал возможность синтеза многослойного турбостратного графена на никелевой фольге модифицированным CVD методом. Несмотря на наличие большого количества слоев, турбостратный графен демонстрировал спектры комбинационного рассеяния, характерные для однослойного графена. Кроме этого, в пленках обнаружены полосы оптического поглощения и другие интересные свойства.

Турбостратный графен был синтезирован нами CVD методом низкого давления с однократным напуском ацетилена на пленках железного катализатора. Структура и свойства турбостратного графена исследовались с помощью спектроскопии комбинационного рассеяния света и просвечивающей микроскопии высокого разрешения. Пленки толщиной 5-15 нм демонстрировали КР спектры, характерные для однослойного графена. При исследовании в просвечивающем электронном микроскопе, в пленках наблюдались структуры Муара, вызванные поворотом слоев относительно друг друга.

Работа частично поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (грант 16-29-06306).

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ГРАФЕНОВЫХ СЛОЕВ МИКРОВОЛНОВОЙ ЭКСФОЛИАЦИЕЙ ИНТЕРКАЛАТОВ ФТОРИРОВАННОГО ГРАФИТА

В.Г. Макотченко¹, А.Н. Михеев², А.И. Сапрыкин^{1,2}

¹ *ФГБУН Институт неорганической химии им. А.В. Николаева, Новосибирск*

² *ФГБОУ ВО Новосибирский государственный исследовательский университет*

saprykin@niic.nsc.ru

В ИНХ СО РАН были впервые синтезированы интеркалированные соединения фторированного графита (фториддиуглерода) состава $C_2F \cdot xF_n$, где F_n – различные классы органических и неорганических соединений с температурой кипения от 150 до 250° С.

Эти соединения были использованы в качестве прекурсоров для получения т.н. малослойного графена (МСГ) и композиционных материалов на его основе под воздействием микроволнового (МВ) излучения. Отличительными свойствами МСГ, полученных путем МВ расщепления, по сравнению с традиционным способом их получения при конвективном термическом нагреве: высокая скорость протекания процесса (не более 2-3 мин для граммовых навесок); снижение температуры процесса на 40 – 50 %; более высокая степень расщепления (толщина пачек графеновых слоев 2 – 3 нм) и большая площадь удельной поверхности до 450 м²/г; низкая удельная плотность до 0,3 – 0,4 г/дм³ и высокая сорбционная емкость – до 250 мл жидкости на 1 г МСГ.

В докладе будут рассмотрены возможности практического применения МСГ для создания твердых и жидких смазок, в 2 - 3 раза понижающих коэффициент трения скольжения; улуч-

шения прочности полимеров и пластиков; получения электропроводящих дисперсий для защиты от электромагнитного излучения и использования в качестве сорбционных повязок при лечении ран, ожогов и гнойников.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ проект № 19-74-30011.

СЕГМЕНТИРОВАННЫЕ УГЛЕРОДНЫЕ НАНОСТРУКТУРЫ: МЕХАНИЗМ РОСТА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Ю.И. Бауман¹, Ю.В. Руднева², А.А. Зданович¹, И.В. Мишаков¹, М.А. Мацько, А.А. Ведягин¹

¹ФИЦ ИК СО РАН, пр. Лаврентьева 5, Новосибирск, Россия

²ИНХ СО РАН, пр. Ак. Лаврентьева 3, Новосибирск, Россия

bauman@mail.ru

Спектр применения наноструктурированных форм углерода стремительно расширяется с каждым годом. Наиболее технологичным представляется процесс каталитического получения углеродного наноразмерного материала (УНМ), идущий в соответствии с механизмом карбидного цикла. Вовлечение хлорпроизводных углеводородов в производство УНМ открывает перспективу совмещения его с другим важным процессом – утилизацией опасных отходов хлорорганического синтеза.

Разложение углеводородов на самоорганизующихся $Ni_{1-x}M_x$ катализаторах может приводить к отложению углеродных волокон сегментированного строения. В то же время, в результате деструкции галогензамещенных углеводородов образуется углеродный продукт, состоящий, главным образом, из нитей субмикронного диаметра сегментированного строения. Материал обладает низкой насыпной плотностью (0.02 г/см^3), а удельная поверхность данного материала может достигать $580 \text{ м}^2/\text{г}$. В докладе также будут продемонстрированы перспективные области применения углеродных сегментированных нитей, образующиеся в результате разложения хлоруглеводородов.

ПОЛУЧЕНИЕ МНОГОСЛОЙНОГО ГРАФЕНА МЕТОДОМ САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА

А.А. Возняковский¹, А.П. Возняковский², С.В. Кидалов¹

¹ФТИ им. А.Ф. Иоффе, ул. Политехническая д. 26, Санкт-Петербург, РФ

²ФГУП «НИИСК», ул. Гапсальская д. 1, Санкт-Петербург, РФ

alexey_inform@mail.ru

2D углеродные материалы, как продемонстрировано большим количеством исследовательских групп, перспективны для многих областей практического применения. Однако переход от лабораторных экспериментов к реальной практике до настоящего времени осложняется как недостаточной производительностью методов получения графеновых структур (как правило, используется методика Хаммерса и ее более поздние модификации), так и неприемлемо для реального материаловедения высокой ценой. Задачей проведенного и представленного в настоящей статье исследования была разработка методики синтеза 2D углеродных структур, отвечающих современным вызовам материаловедения. С этой целью мы использовали метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Совокупность полученных характеристик карбонизированного продукта позволяет уверенно идентифицировать его как 2D графеновые структуры. В настоящее время разработанная методика позволяет получать до 0.5 кг/сутки графеновых структур и может быть легко масштабирована. При применении полученных структур в приборах вакуумной электроники было установлено, что полевая электронная эмиссия на полученных наноуглеродах возбуждается в электрических полях на 2-3 порядка более низких, чем для традиционной автоэлектронной эмиссии из металлов и полупроводников. Также докладываются результаты испытаний полученного материала в качестве сорбента радионуклидов, компонента нанесенных катализаторов, а также для получения полимерных нанокомпозитов и иммобилизации бактерий-нефтедеструкторов.

Работа была поддержана грантом № 18-29-24129 МК.

КОМПОЗИТЫ ГРАФЕНОПОДОБНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПРОТЯЖЕННЫМИ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОСТРУКТУРАМИ

А.А. Арбузов, А.А. Володин, Б.П. Тарасов

*Институт проблем химической физики РАН, г. Черноголовка, Россия
arbuzov@icp.ac.ru*

Обобщены результаты работ по получению углерод-графеновых композитов синтезом углеродных нанотрубок (УНТ) и нановолокон (УНВ) на поверхности графеноподобных материалов (ГПМ) каталитическим разложением углеводородов. Определены оптимальные условия синтеза, структура, особенности формирования и функциональные характеристики композитных материалов.

Нами запатентованы оригинальные методики равномерного нанесения наночастиц металлов (Ni, Fe, Pt, Pd и др.) на ГПМ [1, 2]. Синтез УНВ на поверхности ГПМ осуществляли в 2 стадии: сначала получали композит оксида графена (ОГ) с $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2$, а затем проводили каталитический синтез в токе смеси газов $\text{Ag}:\text{C}_2\text{H}_4:\text{H}_2$ при температуре 700°C . Установлено, что диаметр и структура УНВ определяется размером и морфологией каталитической частицы, а длина – продолжительностью синтеза. Диаметр УНВ находится в пределах 5–10 нм, а длина увеличивается от 5 до 300 нм с повышением времени синтеза от 1 до 60 мин. Синтез УНТ на поверхности ГПМ осуществляли каталитическим разложением метана при 900°C с использованием Ni, Pt или Pd [3, 4]. Показано, что на поверхности ГПМ образуются одностенные УНТ диаметром 2–5 нм и длиной от 50 до 500 нм. Полученные композиты обладают развитой поверхностью (более $1000 \text{ м}^2/\text{г}$) и могут быть использованы в качестве сорбентов газов и органических соединений. В процессе синтеза металлическая наночастица выносится на торец УНВ или УНТ, поэтому композиты можно использовать в качестве эффективных катализаторов различных химических и электрохимических процессов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-29-06197-офи_м), в рамках госзадания № 0089-2019-0007.

[1] Патент РФ 2551673 С1, 2015, Бюл. № 15.

[2] Патент РФ 2660232 С1, 2018, Бюл. № 19.

[3] Арбузов А.А. и др. Изв. АН, Серия химическая, 2016, № 8, С. 1893.

[4] Тарасов Б.П. и др. Ж. структурной химии, 2018, Т. 59, № 4. С. 867.

ПОЛУЧЕНИЕ ГРАФЕНА ТЕМПЛАТНЫМ МЕТОДОМ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО СВОЙСТВ

А.С. Чичкань¹, В.В. Чесноков¹

*¹Институт катализа им. Г.К. Борескова, пр. Лаврентьева, 5, Новосибирск, Россия
alexscsh@yandex.ru*

Графен – это двумерная аллотропная форма углерода, в которой объединенные в гексагональную кристаллическую решетку атомы образуют слой толщиной в один атом, это самый тонкий и прочный материал. Уникальные свойства графена открывают огромные перспективы его применения в различных областях, например, для создания высокомоощных электронных устройств, улучшения свойства проводимости различных материалов, создания дисплея на органических светодиодах. Существуют различные физические и химические методы получения графена. Самым простым способом получения графена – метод эксфолиации (отслаивания), а метод химического осаждения из паровой фазы является перспективным методом получения графена с высоким выходом.

В настоящей работе графен синтезирован темплатным методом. Использовали оксид магния, который обладает высокой удельной поверхностью и хорошо растворяется в кислотах. В качестве источника каталитического углерода выбран бутадиен-1,3, т.к. он весьма склонен к реакциям конденсации и полимеризации. Исследования электрохимических свойств графенового порошка показали, что удельная ёмкость достигает максимального значения при промежуточном времени роста углеродного материала на катализаторе MgO. Для допированного азотом (от 2 до 5 ат. %) графенового порошка наблюдались несколько меньшие значения удельной ёмкости, чем для недопированного графена. Это может быть связано с тем,

что даже небольшие количества азота при внедрении в структуру графена могут приводить к его сильному разупорядочению, что отражается на величине удельной ёмкости.

ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИЕ ГРАФЕНОВЫЕ БИОКОМПОЗИТЫ

Б.Ч. Холхоев¹, А.С. Буинов¹, В.Г. Макотченко², К.Н. Бардакова³, В.Е. Федоров², П.С. Тимашев³, В.Ф. Бурдуковский¹

¹*Байкальский институт природопользования СО РАН, ул. Сахьяновой, 6, Улан-Удэ, Россия*

²*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, пр. Лаврентьева, 3, Новосибирск, Россия*

³*Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова, ул. Трубецкая, 8-2, Москва, Россия*

holh_bat@mail.ru

В настоящее время отмечается неугасающий интерес к исследованиям в области синтеза и свойств графеновых материалов различного типа. Одним из относительно новых направлений является использование графена в качестве нанодобавки в биополимерных композитах, перспективных для создания биосенсоров, систем доставки лекарственных средств, тканеинженерных конструкций, противомикробных препаратов и др. Целью данной работы являлось получение биоконпозитов на основе хитозана и поверхностно-модифицированного графена.

На первом этапе разработан ряд подходов к формированию устойчивых коллоидных дисперсий малослойных графеновых частиц в воде. Установлено, что диспергирование мультислойного графена в водном растворе поливинилпирролидона или блок-сополимера Pluronic F-108 приводит к формированию дисперсий графена, состоящих из 1-10 слоев, с концентрацией до 1.5 мг/мл. На основе полученных дисперсий графена и хитозана сформированы новые композиционные материалы с содержанием наполнителя до 5% (масс.). Благодаря гомогенному распределению графена в полимерной матрице композиты характеризуются улучшенными физико-механическими свойствами и электропроводностью, достигающей 9.0×10^{-1} См/см. По данным МТТ-теста и конфокальной микроскопии полученные композиты не токсичны, при этом увеличение содержания графена в композите способствует улучшению адгезии мезенхимальных стволовых клеток человека, что позволяет рассчитывать на успешное применение полученных материалов в тканевой инженерии.

ДИНАМИКА СИНТЕЗА ОКСИДА ГРАФИТА

А.Г. Баннов¹, О.В. Никитёнок¹, А.В. Ухина², Е.А. Максимовский³

¹*Новосибирский государственный технический университет, пр. К. Маркса 20, Новосибирск, Россия*

²*Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, ул. Кутателадзе 18, Новосибирск, Россия*

³*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, пр. Лаврентьева 3, Новосибирск, Россия*

bannov_a@mail.ru

Динамику синтеза оксида графита исследовали методом отбора проб с их последующим анализом. Оксид графита получали с помощью модифицированного метода Хаммерса. Пробы отбирали из реакционной смеси и после отмычки анализировали с помощью термogravиметрии, дифференциальной сканирующей калориметрии, энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии, рентгенофазового анализа, рентгенофотоэлектронной спектроскопии. Было установлено, что наиболее сильное окисление графита зафиксировано в течение первых 10 мин после начала синтеза, что соответствует добавлению KMnO_4 в реакционную смесь. Показано, что добавление H_2O_2 в реакционную смесь играет существенную роль в повышении содержания кислородсодержащих функциональных групп. Стоит отметить, что практически на каждом из этапов синтеза можно останавливать проведение процесса и про-

водить гидролиз с образованием разнообразных оксидов графита с определенным отношением С:О и температурными пределами восстановления оксида графита. Данную особенность можно использовать для получения различных форм восстановленного оксида графита, графитовых нанопластинок и родственных материалов.

ОТРИЦАТЕЛЬНОЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ В МУЛЬТИБАРЬЕРНЫХ ПЛЕНКАХ ФТОРИРОВАННОГО ГРАФЕНА СО ВСТРОЕННЫМИ КВАНТОВЫМИ ТОЧКАМИ ГРАФЕНА

И.И. Куркина¹, И.В. Антонова², С.А. Смагулова¹

¹Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Белинского 58, Якутск, Россия

²Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова, пр. Лаврентьева 13, Новосибирск, Россия

ii.kurkina@s-vfu.ru

Устройства с неомическими вольт-амперными характеристиками (ВАХ), демонстрирующими участки отрицательного дифференциального сопротивления (ОДС), используются в широком диапазоне применений, включая умножители частоты, быстрые переключатели, высокочастотные генераторы, работающие до диапазона ТГц, активные фильтры и т. д. Графен демонстрирует значительное отрицательное дифференциальное сопротивление [1, 2], которое способствует продвижению графена, как ключевого материала нанoeлектроники. Для разработки новых устройств на основе ОДС может быть полезной концепция, представленная в [3]. Создание латеральной сверхрешетки на основе графена, в период которой входят зоны с разной скоростью Ферми, запрещенной зоной и электростатическим потенциалом. Транспортная передача такой системы может быть настроена путем изменения основных параметров латеральной графеновой сверхрешетки, таких как ширина ямы и барьера, количество периодов, ширина запрещенной зоны, энергия и угол падения электронов, скорость Ферми в барьере. Таким образом, можно контролировать и настраивать ОДС с помощью параметров сверхрешетки на основе графена.

В докладе будут представлены экспериментальные результаты исследования фторированного графена с низкой степенью фторирования (не превышающей 25 %), для которого обнаружены участки ОДС на вольт-амперных характеристиках [4]. В связи с низкой степенью фторирования в пленке образуются узкие области фторированного графена, которые выступают барьерами для носителей зарядов. Образуется мультбарьерная система фторографен (ФГ)/графеновые квантовые точки (ГКТ), проводимость которой не заблокирована полностью. При увеличении степени фторирования появляется несколько пиков ОДС на ВАХ, и положение пиков сдвигается в сторону меньших напряжений смещения. Чтобы выяснить влияние квантово-размерного эффекта и резонансного туннелирования между соседними квантовыми уровнями ГКТ через барьеры ФГ, которые приводят к ОДС, был выполнен численный расчет [5], результаты которого находятся в разумном согласии с экспериментальными данными. В докладе будет обсуждаться появление отрицательного дифференциального сопротивления и транспорт носителей через пленку фторированного графена.

[1] Dragoman D. et.al. Appl. Phys. Lett. 90, 143111 (2007).

[2] Mishchenko A. et.al. Nature Nanotechnology 9, 808 (2014).

[3] Sattari-Esfahlan S. M. et.al. J. Phys. D: Appl. Phys. 50, 255102 (2017).

[4] Antonova I. V. et.al. Nanotechnology 28, 074001 (2017).

[5] Antonova I. V. et.al. Appl. Phys. Lett. 111, 043108 (2017).

НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА ПУТЕМ ОБЛУЧЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Н.А. Небогатикова¹, И.В. Антонова¹⁻³, А.И. Иванов¹, А. Олейничак⁴, В.А. Скуратов⁴

¹Институт физики полупроводников А.В. Ржанова СО РАН, пр. Лаврентьева, 13, Новосибирск, Россия

²Новосибирский государственный университет, ул. Пирогова, 1, Новосибирск, Россия

³Новосибирский государственный технологический университет, пр. Маркса, 20, Новосибирск, Россия

⁴Объединенный институт ядерных исследований, ул. Жолио-Кюри, 6, Дубна, Россия
nadonebo@gmail.com

Целью работы являлось наноструктурирование пленок графена, мультиграфена и материалов на основе графена с целью формирования в них квантовых точек либо пор. Подобное наноструктурирование является перспективным с точки зрения создания новых материалов наноразмерной толщины. Для наноструктурирования было использовано облучение пленок быстрыми тяжелыми ионами высоких энергий. Взаимодействие ионов с пленками приводит к локальному выделению в них большого количества энергии в области пролета ионов. Характер процессов наноструктурирования, протекающих в процессе облучения исследуемых пленок, зависит от величины теплопроводности ($K_{||}$) исходного облучаемого материала (мультиграфен $K_{||} \sim 2000$ Вт/м²К, окисленный графен $K_{||} \sim 500$ Вт/м²К, частично фторированный графен $K_{||} \sim 80$ Вт/м²К). Облучение пленок быстрыми тяжелыми ионами производилось с использованием ионов Хе, Аг, Кг с энергиями 26-167 МэВ. Дозы облучения варьировались в диапазоне 10^{10} - 10^{14} ионов/см².

Было продемонстрировано формирование квантовых точек в пленках окисленного графена и фторографена и отверстий в пленках мультиграфена. Структура и размер формирований меняется от относительно больших (20-40 нм) пор для мультиграфена до более сложных по структуре образований с КТ с размерами 1-3 нм для фторографена. Полученные наноструктурированные материалы демонстрируют интересные для приложений свойства, обусловленные квантово-размерными эффектами.

Работа выполнена: при поддержке РФФИ (грант № 18-32-00449) и стипендии Президента РФ (проект № СП-5416.2018.2).

ПОВЕДЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА ВО ФТОРИДНЫХ СРЕДАХ

А.М. Даниленко¹, В.Г. Макотченко¹, И.П. Асанов¹, М.Б. Шавелкина²

¹Институт неорганической химии им. А.В.Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия

²Объединенный институт высоких температур РАН, Москва, Россия
graphite@niic.nsc.ru

Уникальные свойства графена и его производных имеют решающее значение для создания новых материалов широкого спектра применения. Относительная сложность получения макроколичеств графена с идеальной монослойной структурой привела к использованию во многих случаях образцов «few-layer-graphene», представляющих собой стопки из нескольких слоев графена.

В настоящей работе приведены результаты изучения поведения поликристаллического природного графита и нескольких образцов «few-layer-graphene», полученных различными способами [1-2], в парах фтористого водорода в присутствии некоторых окислителей. Обнаружено влияние природы окислителя, а также способа получения образцов «few-layer-graphene» на количество и тип присоединенных к углеродным слоям гетероатомов. Исходные углеродные материалы и полученные продукты охарактеризованы методами ИК-, КР- и рентгеноэлектронной спектроскопии, термического и рентгенофазового анализа.

[1] V.E.Fedorov, E.D.Grayfer, V.G.Makotchenko et al. Highly Exfoliated Graphite Fluoride as a Precursor for Graphene Fluoride Dispersions and Films. Croat. Chem. Acta. 85(1), 107-112 (2012).

[2] R.H. Amirov, M.E. Iskhakov, M.B. Shavelkina. Synthesis of high purity multilayer graphene using plasma jet. Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics 7(1), 60-64 (2016).

СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ**C1****СЕЛЕКТИВНОЕ ОКИСЛЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК В ГАЗОВОЙ ФАЗЕ**

А.А. Алексеева¹, Д.В. Красников¹, Э.М. Хабушев¹, В.Я. Яковлев¹, Б.Ю. Забелич¹,
А.Г. Насибулин^{1,2}

¹Сколковский Институт Науки и Технологий, ул. Нобеля д.3, Москва, Россия

²Университет Аальто, 15100, FI-00076 Эспоо, Финляндия

alena.alekseeva@skolkovotech.ru

Однослойные углеродные нанотрубки (ОУНТ) имеют уникальные электрические, оптические и механические свойства, что делает их перспективным материалом для применения в качестве функциональных покрытий в различных устройствах электроники и композиционных материалах. При этом эксплуатационные характеристики пленок ОУНТ определяются степенью их индивидуальности, дефектностью и геометрическими особенностями структуры, а также сопротивлением контакта между самими наночастицами.

Среди методов получения тонких пленок нанотрубок наилучшие результаты обеспечиваются путем синтеза в аэрозольной фазе с движущимся слоем катализатора, что обеспечивает высокую степень индивидуальности ОУНТ. Как правило, получаемый в результате синтеза материал представляет собой смесь полупроводниковых и металлических ОУНТ с широким распределением по хиральностям, поэтому актуальной задачей является получение пленок ОУНТ одного типа проводимости. На данный момент разработаны различные методики сортировки ОУНТ по хиральности и очистки материала. Большинство из этих работ посвящено постобработке суспензий порошков ОУНТ такими способами как центрифугирование и хроматография, химическое травление [1]. Основными недостатками данных методов является введение дефектов в структуру ОУНТ в результате подобной обработки и необходимость использования поверхностно активных веществ для разделения ОУНТ, которые впоследствии сложно удалить из пленки, что негативно сказывается на характеристиках приборов и покрытий на основе таких пленок ОУНТ. Настоящий подход, заключается в аэрозольной модификации углеродных нанотрубок с целью изменения функций распределения нанотрубок по диаметру, длине, хиральности, химическому составу поверхности, что позволяет не только таргетировано обработать индивидуальную наночастицу, обеспечив высокую селективность и не воздействуя на морфологию конечных пленок, но и избавиться от дополнительных этапов постобработки самих пленок.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 17-19-01787.

[1] D. Janas, "Towards monochiral carbon nanotubes: A review of progress in sorting of single-wall carbon" Mater. Chem., pp. 1–49, 2017.

C2**ОСОБЕННОСТИ ИММОБИЛИЗАЦИИ КОРОТКИХ ОЛИГОНУКЛЕОТИДНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ НА КАРБОКСИЛИРОВАННОМ ГРАФЕНЕ**

О.М. Антипова¹, И.А. Комаров², Н.С. Стручков³, М.К. Рабчинский⁴

¹МГУ им. М.В. Ломоносова, Ленинские горы, д. 1, Москва, Российская Федерация

²МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, Москва, Российская Федерация

³Национальный исследовательский университет «МИЭТ», Пл. Шокина, д. 1, Зеленоград, Российская Федерация

⁴ФТИ им. Иоффе, Политехническая ул., 26, Санкт-Петербург, Российская Федерация
antipovachem@gmail.com

Оксид графена и его производные являются одним из перспективных классов материалов, которые могут быть использованы для различных приложений, в частности для задачи создания сенсорных структур. В частности, восстановленный оксид графена, в зависимости от способа восстановления может содержать различные функциональные группы.

В работе исследовались особенности взаимодействия коротких нуклеотидных последовательностей с обработанными ультрафиолетовым излучением тонкими пленками оксида графена. В зависимости от параметров воздействия УФ излучение позволяет формировать карбоксилированный графен с концентрацией карбоксильных групп 10 ат.% и значением электропроводности 150-180 См/м [1,2]. Это в перспективе дает возможность создания различных электронных устройств, в частности биологических сенсоров. Повышенное содержание карбоксильных групп в обработанном УФ излучением оксиде графена позволяет осуществлять безлинкерное ковалентное связывание олигонуклеотидов с поверхностью карбоксилированного графена. Показано, что проведение конъюгации коротких олигонуклеотидов с поверхностью карбоксилированного графена протекает эффективно в присутствии 25% органического модификатора в реакционной смеси. Степень связывания олигонуклеотида оценивали по уменьшению количества олигонуклеотида в реакционной смеси, которое достигало 0,2 нмоль/мм² графена, а также на основе данных РФЭС.

Таким образом, показана возможность формирования функционального бионанокompозитного материала, который может быть использован для различных задач, в частности для биологических сенсоров с повышенной чувствительностью.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований проект номер 18-29-19172.

[1] A.E. Aleksenskii, S.P. Vul', A.T. Dideikin, et al. Phys., Chem., Math. 7, 81–86 (2016).

[2] M. K. Rabchinskii, V.V. Shnitov, A. T. Dideikin, et al. J. Phys. Chem. C 120, 28261–28269 (2016).

СЗ

РАДИОПОГЛОЩАЮЩИЕ ПОЛИСТИРОЛЬНЫЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ САЖ, СИНТЕЗИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОДУГОВЫМ МЕТОДОМ

К.И. Баскакова¹, О.В. Седельникова^{1,2}, А. В. Окотруб^{1,2}, Л. Г. Булушева^{1,2}

¹*Институт неорганической химии СО РАН, пр. Лаврентьева 3, Новосибирск, Россия*

²*Новосибирский государственный университет, ул. Пирогова, 1, Новосибирск, Россия*
baskakova@niic.nsc.ru

Для эффективного экранирования электромагнитного излучения очень перспективными являются полимерные композиты с высокой проводимостью, малым весом, высокой степенью поглощения излучения и низкими отражающими характеристиками.

Электродуговое испарения графита позволяет получать углеродные структуры различной морфологии и размеров. В качестве полимерной матрицы был выбран полистирол (ПС) с высокими механическими характеристиками и диэлектрической проницаемостью. Исследованы диэлектрические свойства и проводимость полистирольных композитов с сажой, полученной при испарении графитового электрода в атмосфере гелия с добавлением толуола C₇H₈.

Для характеристики саж были использованы просвечивающая электронная микроскопия, спектроскопия комбинационного рассеяния света, рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия, термогравиметрический анализ и элементный анализ CHNS. Полимерные композиты с различным содержанием наполнителя получали раствором методом в хлороформе. Диэлектрические постоянные и удельные электропроводности рассчитывались в диапазоне 1 кГц - 1 МГц на основе измерений импеданса электрохимической ячейки, эквивалентной конденсатору, заполненному композитной пленкой. Значения проводимости в условиях постоянного тока рассчитаны по методу Ван дер Пау.

Добавление толуола в процессе синтеза сажи приводит к уменьшению размера углеродных частиц и увеличению их проводимости.

С4**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ БЛИЖНЕГО ПОРЯДКА ДВУХСЛОЙНОГО АВ ГРАФЕНА С ДЕФЕКТАМИ**

А.А. Белослудцева^{1,3}, Н.Г. Бобенко¹, В.Е. Егорушкин¹, Н.В. Мельникова², А.Н. Пономарев¹, Л.Д. Баркалов¹

¹ ИФПМ СО РАН, Академический 2/4, Томск, Россия

² СФТИ ТГУ, Пл. Новособорная, 1 Томск, Россия

³ ТУСУР пр. Ленина, 40, Томск, Россия

⁴ ИТМО, пр. Кронверкский, д. 49, Санкт-Петербурге, Россия

ann.bell0301@gmail.com

Электронные свойства бислоев графена существенно зависят от таких факторов, как ориентация слоев относительно друг друга и наличия дефектов в структуре графена. Качественной и количественной характеристикой, описывающей концентрацию и конфигурации атомов примеси, может служить параметр ближнего порядка.

Для моделирования структуры двухслойного АВ графена с дефектами и расчета параметров ближнего порядка разработано программное обеспечение на языке программирования Java, с использованием свободно распространяемого апплета Jmol. В моделируемой структуре, примесные атомы могут располагаться в трёх различных вариантах: в верхнем слое, над слоем или между углеродными слоями, что соответствует экспериментально наблюдаемым дефектам. Алгоритм расчета разработанной программы составлен для первых двух координатных сфер. Сначала путем последовательного обхода всех атомов производится поиск и расчет всех необходимых величин, после чего происходит расчет параметра ближнего порядка, с последующим его усреднением.

Данные, полученные в результате работы программы показывают, что параметры ближнего порядка для различных конфигураций дефектов имеют разные по модулю значения и могут быть как положительными, так и отрицательными. Полученные данные о значениях параметров ближнего порядка для конкретных структурных дефектов в дальнейшем могут быть использованы при исследовании электронных тепловых и транспортных свойств и характеристик двухслойного разупорядоченного АВ графена.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и администрации Томской области в рамках научного проекта № 18-42-703019 р_мол_а, а также в рамках проекта ИФПМ СО РАН III.23.2.8.

С5**ВЛИЯНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТАВА НА СЕНСОРНЫЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК ФТОРИРОВАННОГО ГРАФЕНА**

М.О. Булавский¹, В.И. Сысоев¹, А.В. Окотруб^{1,2}, Л.Г. Булушева^{1,2}

¹Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, пр. Лаврентьева 3, Новосибирск, Россия

²Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, ул. Пирогова 1, Новосибирск, Россия

mikhail@bulavsky.pp.ru

Графен и графеновые материалы являются крайне привлекательными с точки зрения их использования в качестве сенсорных материалов. Графен обладает очень большой удельной поверхностью, высокой электропроводностью, что и обуславливает исследование его сенсорных свойств при адсорбции разнообразных газов. В то же время, благодаря наличию ненасыщенных двойных связей графен может быть ковалентно модифицирован разными атомами и функциональными группами. Это позволяет управлять электронными свойствами получаемого материала, а также создавать специфичные адсорбционные центры на поверхности сенсора, что способствует улучшению сенсорных свойств. Одним из способов такой модификации является фторирование. Целью данной работы являлось изучение зависимости сенсорных свойств пленок на основе фторидов графена от степени ковалентной модификации фтором. В качестве материалов для изучения этого влияния были использованы

фториды природного графита с содержанием фтора от 7 до 24,4 ат.%. Была отработана методика приготовления стабильных суспензий фторида графена в толуоле. С использованием отстаивания и центрифугирования были получены суспензии крупной и мелкой фракции фторида графена. Затем полученные фильтрованием пленки были перенесены на стеклянные и полимерные подложки и просушены в вакууме при температурах 80-100°C. Пленки фторированного графена были охарактеризованы методами сканирующей электронной микроскопии, атомно-силовой микроскопии, спектроскопии комбинационного рассеяния света, энерго-дисперсионной и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Сенсорные свойства материалов были исследованы при циклической подаче NO₂ с концентрацией 100 ppm при времени подачи равном 3 мин и последующем продуве аргоном в течение 12 мин (всего 5 циклов). Проведен анализ зависимости сенсорного отклика и регенерации от степени фторирования материалов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ №18-33-00760.

C6

AB INITIO МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ СВОЙСТВ ГЕТЕРОСТРУКТУР НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА И MoS₂, ПОДВЕРЖЕННЫХ МЕХАНИЧЕСКИМ ДЕФОРМАЦИЯМ

А.А. Валишина, Р.М. Бурганова, О.В. Недопекин, Д.А. Таюрский

*Казанский (Приволжский) Федеральный университет, ул. Кремлевская 18, Казань, Россия
valishinalina@gmail.com*

Ван-дер-Ваальсовы гетероструктуры вызывают особый интерес, поскольку возможность комбинирования отдельных слоев двумерных структур приводит к созданию новых материалов с желаемыми свойствами [1]. Наиболее изученными является соединение на основе графена и дисульфид молибдена (MoS₂). Энергетический спектр гибридной структуры представляется суперпозицией двух спектров, относящихся к графену и монослою MoS₂. Однако было показано [2], что в *K* точке импульсного пространства π и π* зоны отталкиваются друг от друга, формируя энергетическую щель величиной 2 мэВ. В рамках теории функционала плотности было исследовано влияние механических деформаций типа сжатия и растяжения на электронные свойства бислоя. Установлено, что подобные деформации приводят к уменьшению межслойного расстояния, что приводит к увеличению величины запрещенной зоны в десятки раз.

[1] K. Novoselov, D. Jiang, F. Schedin, T. Booth, V. Khotkevich, S. Morozov, and A.

[2] Geim, Proceedings of the National Academy of Sciences 102, 10451–10453 (2005).

Y. Ma, Y. Dai, M. Guo, C. Niu, and B. Huang, Nanoscale 3, 3883–3887 (2011).

C7

РАЗРАБОТКА СОЗДАНИЯ ГЕТЕРОСТРУКТУР ТРАФАРЕТНОЙ ПЕЧАТЬЮ С ПОМОЩЬЮ ГРАФЕНОВОЙ СУСПЕНЗИИ

Ф.Д. Васильева, А.Н. Капитонов, С.А. Смагулова

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Белинского 58, Якутск, Россия

dorush21@mail.ru

В настоящее время во всем мире растет интерес к гибкой электронике. Печатные технологии наиболее подходят для создания приборов и устройств для гибкой электроники, поскольку позволяют напрямую печатать нужные электронные структуры на разных подложках, минуя этапы переноса тонких пленок с одной подложки на другую, при которых двумерные пленки рвутся и теряют свои уникальные свойства. В последнее время все чаще стали применять трафаретную печать, за счет простоты технологического процесса, масштабируемости, экономичности и отсутствия необходимости использования дорогостоящего оборудования. Одним из перспективных направлений разработки оптоэлектронных приборов является созда-

ние гетероструктур MoS₂/графен. анная работа посвящена разработке создания вертикальных Ван-дер Ваальсовых гетероструктур MoS₂/графен трафаретной печатью из суспензий слабоокисленного графена и MoS₂ на гибкой подложке, состоящих из чередующихся тонких слоев графена и MoS₂, уложенных последовательно друг на друга, а также гибридные гетероструктуры, напечатанные из суспензии графена на пленке MoS₂, выращенном методом CVD. Будут исследованы электрофизические характеристики и фоточувствительность полученных гетероструктур.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 19-32-50034_мол_нр

С8

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ СТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ MoS₂ И МУЛЬТИГРАФЕНА

П.В. Винокуров, А.А. Семенова, Е.И. Захаркина, С.А. Смагулова

Северо-Восточный федеральный университет, ул. Белинского, 58, г. Якутск, РФ

pv.vinokurov@s-vfu.ru

Двухмерные пленки дихалькогенидов переходных металлов благодаря своим оптическим свойствам [1,2] открывают перспективы для создания элементов оптоэлектроники. Свойства таких материалов сильно зависят от их структурных особенностей. Так, при переходе от объемного материала к пленке с толщиной в один атом, MoS₂ становится полупроводником с прямой запрещенной зоной. Поэтому синтез и создание комбинированных структур на основе двухмерных материалов является актуальной задачей. Для создания пленок MoS₂ и WS₂ одним из основных методов является химическое осаждение из газовой фазы (CVD), который позволяет выращивать однослойные пленки на различных подложках.

В данной работе были исследованы структуры на основе MoS₂ и мультиграфена. Пленка дисульфида молибдена была выращена CVD методом при температуре 700°C на кремниевой подложке. Для создания структуры, пленка мультиграфена была перенесена стандартным методом с использованием PMMA на пленку MoS₂. На вольт-амперных характеристиках полученных структур наблюдается фоточувствительность к падающему свету. Структурные характеристики получаемых образцов были исследованы с помощью сканирующей электронной и атомно-силовой микроскопии, также были сняты рамановские спектры.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ № 18-32-00730 и № 18-42-140005

[1] Sangram K. Pradhan, Bo Xiao, Aswini K. Pradhan. Solar Energy Materials & Solar Cells 144, 117–127 (2016).

[2] Lili Yu, Yi-Hsien Lee, Xi Ling, Elton J. G. Santos, Yong Cheol Shin, Yuxuan Lin, Madan Dubey, Efthimios Kaxiras, Jing Kong, Han Wang, and Tomás Palacios. Nano Lett. 14 (6), 3055–3063 (2014).

С9

Fe/Ni/Cu КАТАЛИЗАТОРЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ: ВЛИЯНИЕ СОСТАВА И СООТНОШЕНИЯ МЕТАЛЛОВ

Г.В. Голубцов^{1,2}, М.А. Казакова^{1,2}, А.В. Ищенко¹, В.Л. Кузнецов¹

¹*Институт катализа СО РАН, Новосибирск, Россия*

²*Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия*

goshillo@gmail.com

Углеродные наноматериалы, такие как углеродные нанотрубки (УНТ) и углеродные нановолокна (УНВ), за счет своих уникальных физико-химических свойств, а также благодаря возможности масштабирования их производства, являются одним из ключевых компонентов при разработке новых материалов и устройств. При этом свойства композитных материалов существенно зависят от структуры и морфологии, используемых углеродных материалов, а

также от степени их чистоты и дефектности. В настоящий момент наиболее распространенным методом получения УНТ и УНВ является метод каталитического химического осаждения из газовой фазы (CCVD). Известно, что свойства УНТ и УНВ, прежде всего, определяются составом, структурой и способом активации катализатора, на котором происходит их рост. Разработка методов приготовления активных и селективных катализаторов, а также детальное исследование стадии формирования частиц активного компонента катализаторов различного состава в реакционной среде и выявление зависимости свойств углеродных наноматериалов от свойств используемых катализаторов позволят получать углеродные наноматериалы с заданными характеристиками. Целью данной работы является изучение особенностей формирования и активации Fe/Ni/Cu катализаторов для получения многослойных углеродных нанотрубок/углеродных нановолокон в зависимости от состава и соотношения металлов активного компонента катализатора.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-33-00401.

C10

АВТОЭМИССИОННЫЕ СВОЙСТВА ГРАФЕНА ДЛЯ ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Д.В. Городецкий¹, С.Н. Шевченко², А.В. Гусельников¹, А.В. Окотруб¹, Ю.В. Першин³

¹*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия*

²*Физико-технический институт низких температур имени Б.И. Веркина НАН, Украина*

³*Department of Physics and Astronomy and Smart State Center for Experimental Nanoscale Physics, University of South Carolina, Columbia, USA*

gordim2005@yandex.ru

Высокое аспектное отношение позволяет графену быть перспективным материалом для различных автоэмиссионных приложений. Интересной особенностью автоэлектронной эмиссии с графенового катода является выраженный гистерезис вольтамперных характеристик (ВАХ). Такие свойства могут использоваться в элементах с памятью – мемристорах. В данной работе рассмотрен гистерезис автоэлектронной эмиссии с графеновых катодов.

Для экспериментального исследования ВАХ автоэлектронной эмиссии с торца графена использовались образцы производства компании «Graphenea», CIC NanoGune, Испания. Графен площадью 100 мм² находился на поверхности кремниевой подложки со слоем SiO₂.

Установка измерения автоэлектронной эмиссии представляет собой вакуумную камеру, поддерживающую разряжение порядка 1×10⁻⁵ Торр. Для проведения эксперимента, кремниевая подложка с графеном раскалывалась пополам, после чего одна из половинок 5×10 мм устанавливалась в измерительную камеру установки измерения автоэлектронной эмиссии сколом вверх (сколом к аноду длиной ~10 мм).

В качестве анода выступает стекло с токопроводящим покрытием (ITO). Установка позволяет подавать пилообразный потенциал в диодном режиме на электроды в диапазоне от 0 до 6000 вольт. Расстояние между поверхностью массива ориентированных УНТ, являющегося катодом, и плоским анодом варьировали от 1000 мкм до 10000 мкм.

Для установления частотной зависимости были проведены эксперименты по подаче пилообразного сигнала с частотой от 0,1 до 30 Гц. ВАХ регистрировались при подаче нескольких последовательных циклов. В описанной модели в качестве катода выступал графен на подложке Si/SiO₂. Вольтамперные кривые демонстрируют гистерезис с самопересечением.

C11**ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОКСИДА ГРАФИТА: ВЛИЯНИЕ ИНТЕРКАЛИРОВАННЫХ МОЛЕКУЛ ВОДЫ И ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТАВА МАТРИЦЫ**

М.А. Гребёнкина^{1,2}, А.В. Гусельников¹, С.Г. Столярова¹, Л.Г. Булушева^{1,2}, А.В. Окотруб^{1,2}

¹Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, пр. Лаврентьева, 3, Новосибирск, Россия

²Новосибирский государственный университет, ул. Пирогова, 1, Новосибирск, Россия
grtmariya@mail.ru

Оксид графита (ОГ) состоит из функционализированных кислородсодержащими группами слоев графена, между которыми находятся молекулы H₂O. Состав ОГ зависит от метода синтеза и определяет свойства материала. В частности, степень окисления графеновых слоев и концентрация интеркалированных молекул, образующих водородные связи с этими слоями, должны определять диэлектрические свойства ОГ.

В данной работе исследованы частотные и температурные зависимости диэлектрической проницаемости ОГ, синтезированного методами Хаммерса и Броди. Измерения проводились с помощью импедансной спектроскопии. Частотный диапазон составлял от 1 Гц до 7 МГц, температурный – от -10 °С до 150 °С. Годографы образцов анализировались на основе моделирования эквивалентных электрических схем.

Обнаружено, что увеличение количества интеркалированных молекул H₂O в ОГ, синтезированном методом Хаммерса, способствует возникновению на низких частотах ионных диффузионных процессов. Для ОГ, полученном методом Броди, при увеличении влажности появляется дополнительный механизм поляризации матрицы. На основе сравнительного анализа данных ИК-спектроскопии и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии для исследованных образцов предположено, что это отличие связано с отсутствием эпоксидных групп у ОГ, синтезированного методом Броди. Продемонстрировано образование ассоциатов молекул H₂O в межслоевом пространстве ОГ при повышении влажности окружающей среды и представлены структурные модели ОГ для каждого метода синтеза.

C12**РФЭС И РЭС ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ СТРУКТУРЫ ДИХАЛЬКОГЕНИДОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ MQ₂ (M = Mo, Ti; Q = S, Se), ЗАМЕЩЕННЫХ ПО АТОМУ МЕТАЛЛА И ХАЛЬКОГЕНА**

С.А. Грибанова^{1,2}, А.Д. Федоренко¹, А.Ю. Леднева¹, Л.Н. Мазалов^{1,2}, В.Е. Федоров¹

¹ИНХ СО РАН, пр. Лаврентьева 3, Новосибирск, Россия

²НГУ, ул. Пирогова 2, Новосибирск, Россия

Дихалькогениды переходных металлов MQ₂ (M = Mo, Ti; Q = S, Se) представляют класс слоистых соединений, свойства которых широко варьируются в зависимости от типа атома металла или халькогена. Неизовалентное замещение даже небольшого количества атомов способно приводить к значительным изменениям в проводящих свойствах, реакционной способности, в том числе и каталитическую активность данных объектов. Так, допирование TiSe₂ ниобием и серой приводит к увеличению проводимости. Замещение как по халькогену, так и по металлу приводит к увеличению термоЭДС в несколько раз, что связано с одновременным увеличением концентрации носителей заряда, и, в то же время, уменьшением их длины свободного пробега за счет рассеивания на структурных дефектах. Исследования термоэлектрических свойств прессованного образца Ti_{0.98}Nb_{0.02}Se_{1.3}S_{0.7} показало, что при его отжиге в вакууме проводимость значительно улучшилась. В данной работе были получены рентгеновские фотоэлектронные спектры и рентгеновские эмиссионные спектры основных уровней, дающие информацию о зарядовом состоянии атомов, входящих в структуру исследуемых веществ. Проведен анализ парциальных атомных вкладов в вершину валентной зоны, в зависимости от типа атомов допанта. Показано, что замещение по атому металла существенно изменяет распределение nd состояний металла, и не влияет на распределение пр состояния халькогена, в то время как замещение по халькогену, изменяет парциальные вклады отдельных атомных состояний металла и халькогена в структуру валентной зоны.

Авторы выражают благодарность РФФИ (Проект №18-03-01061 А) за поддержку работы.

C13**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЗАПОЛНЕННЫХ ОДНОСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК**

О.А. Гурова¹, В.И. Сысоев¹, О.В. Седельникова^{1,2}, Л.Г. Булушева^{1,2}, А.В. Окотруб^{1,2}

¹*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева, пр. Лаврентьева 3, Новосибирск, Россия*

²*Новосибирский государственный университет, ул. Пирогова 2, Новосибирск, Россия*
olga.gurov@gmail.com

Заполнение внутренней полости одностенных углеродных нанотрубок (ОУНТ) различными соединениями может приводить к возникновению новых физических свойств нанотрубок за счёт изменения электронной структуры и химической активности материала.

Одним из наиболее эффективных и простых методов заполнения ОУНТ является ампульный метод синтеза. В данной работе использовались ОУНТ, приобретенные в компании OCSiAl. Для открытия углеродных «шапочек» ОУНТ прокаливались на воздухе при 500°C. Перед заполнением, порошок нанотрубок с элементарной серой перетиралась в агатовой ступке. Полученную смесь засыпали в кварцевую ампулу, ампулу откачивали и запаивали. Заполнение проводилось при 700°C в течении 15 часов. Для определения заполнения ОУНТ, часть полученных нанотрубок промывалась толуолом, чтобы избавиться от серы на поверхности ОУНТ.

Структура исходных и заполненных серой ОУНТ характеризовалась сканирующей электронной микроскопией, инфракрасной, оптической спектроскопией, и спектроскопией комбинационного рассеяния света. Были измерены сенсорные свойства ОУНТ.

Работа была выполнена при поддержке РФФ (Грант 18-72-00017).

C14**МОДЕЛИРОВАНИЕ ОДНОМЕРНЫХ НАНОСТРУКТУР НА ОСНОВЕ БИСЛОЙНОГО ГРАФЕНА**

В.А. Демин, А.А. Артюх, Л.А. Чернозатонский

Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, ул. Косыгина, 4, Москва, Россия
victordemin88@gmail.com

Бислойный графен является перспективным материалом для различных приложений. При создании в нем периодически расположенных отверстий и дальнейшем соединении слоев образуется наносетка, которая представляет собой массив Y-соединений нанотрубок [1,2]. Геометрия полученных нанотрубок зависит от упаковки исходного бислоя, размера отверстий и расстояния между ними. К примеру, уже возможно экспериментальное получение нанотрубок с диаметром менее 1 нм из биграфена используя просвечивающий электронный микроскоп [3]. Из бислоя в AA или AB упаковке возможно получение нанотрубок типов «зиг-заг» и «кресло» любой длины и диаметра. При различных углах Муара возможно создание только Y-соединений или фрагментов хиральных нанотрубок, соединяющих массивы биграфена.

В данной работе представлены результаты моделирования структуры и свойств нанотрубок, полученных из биграфена, в зависимости от типа упаковки исходного бислоя.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ 18-32-01009 с использованием ресурсов суперкомпьютерного комплекса МГУ имени М.В. Ломоносова и межведомственного суперкомпьютерного центра РАН.

[1] L.A. Chernozatonskii, V.A. Demin, and P. Lambin, *Physical Chemistry Chemical Physics* 18, 27432 (2016).

[2] D.G. Kvashnin, P. Vancsó, L.Y. Antipina, G.I. Márk, L.P. Biró, P.B. Sorokin, and L.A. Chernozatonskii, *Nano Res.* 8, 1250 (2015).

[3] G. Algara-Siller, A. Santana, R. Onions, M. Suyetin, J. Biskupek, E. Bichoutskaia, and U. Kaiser, *Carbon* 65, 80 (2013).

C15**ПОЛУЧЕНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК ФТОРИДА МЕДИ И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕМРИСТОРОВ НА ИХ ОСНОВЕ**

З.И. Евсеев, В.И. Попов, Е.П. Неустроев

*Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, ул. Белинского, д 58,
г. Якутск, Российская Федерация
zakevseev@gmail.com*

Мемристоры являются одним из основных кандидатов для применения в качестве элементов памяти нового поколения [1]. Также, вычислительные системы нейроморфных процессоров на основе мемристоров, отличных от систем с архитектурой фон Неймана, получили широкое внимание научного сообщества [2]. Актуальной задачей является поиск новых материалов для создания мемристоров со стабильными характеристиками переключения, низкими рабочими напряжениями, большим количеством переключений и быстродействием. Большинство предложенных механизмов эффекта резистивного переключения связывают его с миграцией ионов в толще материала и образованием проводящих филаментов [3]. Большую роль в этих процессах играет подвижность ионов, радиус эффективного сечения иона и его заряд. Наиболее широко изученными «классическими» материалами для мемристоров являются оксиды металлов (TiO_2 , CuO_2 , CrO_2 и т.д.). Замена атомов кислорода в данных структурах на другие элементы с меньшим радиусом сечения и зарядом, может привести к улучшению быстродействия мемристоров, уменьшению напряжения переключения и т.д. В данной работе был разработан метод получения тонких пленок фторида меди методом обработки хлорида меди в радиочастотной плазме (13,56 МГц) газа SF_6 . В полученных образцах был обнаружен эффект резистивного переключения. Исследование характеристик мемристорных структур показало, что мемристоры на основе фторида меди обладают большим отношением сопротивлений в высокоомном и низкоомном состояниях и относительно меньшими значениями напряжения переключения, чем структуры на оксиде меди.

[1] O. Multu, J. Merza, L. Subramanian. The Main Memory System: Challenges and Opportunities, Communications of the Korean Institute of Information Scientists and Engineers. 2015.

[2] Y. Li, Z. Wang, R. Midya, Q. Xia, J.J. Yang. Review of Memristor Devices in Neuromorphic Computing: Materials Science and Device Challenges, Journal of Physics D: Applied Physics. 51.(50), 503002 (2018).

[3] J.S. Lee, S. Lee, T.W. Noh. Resistive switching phenomena: A review of statistical physics approaches, Applied Physics Reviews 2, 031303 (2015).

C16**ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА УГЛЕРОДНЫХ ТОЧЕК СИНТЕЗИРОВАННЫХ СОЛЬВОТЕРМАЛЬНЫМ МЕТОДОМ ИЗ ЛИМОННОЙ КИСЛОТЫ И ФОРМАМИДА**

М.Н. Егорова, А.Н. Капитонов, А.А. Алексеев, С.А. Смагулова

*Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, ул. Белинского, 58,
Якутск, Россия
mn.egorova@s-vfu.ru*

Синтез углеродных точек (УТ), люминесцирующих в широком диапазоне спектра, в последние годы представляет большой интерес для исследователей. Это вызвано их уникальными свойствами: перестраиваемой люминесценцией, высокой фотостабильностью, низкой токсичностью и высокой биосовместимостью. Они обладают хорошим потенциалом для использования в оптоэлектронике, в химическом зондировании и, особенно, в биомедицине (в клеточном биоизображении и адресной доставке лекарств) [1].

В данной работе представлены результаты эксперимента по получению УТ из лимонной кислоты и формамида методом сольвотермального синтеза. Выявлено, что использование формамида играет ключевую роль, т.к. он принимает участие в механизме образования УТ. Показано, что полученные УТ имеют зависимость от длины волны возбуждения люминесцент-

ные свойства. При изменении длины волны возбуждения от 300 до 500 нм происходит сдвиг спектров люминесценции от 430-540 нм. Данное свойство связано с поверхностными дефектными состояниями УТ [2]. Во-вторых, при длине волны возбуждения 400 нм наблюдалась наибольшая интенсивность (514 нм) спектра люминесценции. Спектры поглощения образцов показали наличие пика на 350 нм, который можно отнести к $n\text{-}\pi^*$ переходам С-О связей.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-32-50016

[1] S. Sun, L. Zhang, K. Jiang, A. Wu, H. Lin, Chem. Mater. 28, 8659-8668 (2016).

[2] Xiao, L.; Wang, Y.; Wong, T.; Sun, H. Nanoscale 9, 12637–12646 (2017)

C17

ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЫ В ТОЧКЕ ДИРАКА В ЛЕГИРОВАННОМ Gd ТОПОЛОГИЧЕСКОМ ИЗОЛЯТОРЕ

Д.А. Естюнин¹, Д. Глазкова¹, И.И. Климовских¹, С.О. Фильнов¹, О.Е. Терещенко^{1,2}, К.А. Кох^{1,2}, А.М. Шикин¹

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

²Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

estyunin@gmail.com

В последние годы проявляется значительный интерес к системам с электронной структурой с Дираковским конусом [1]. К ним относятся материалы на основе графена, а также различные типы топологических изоляторов (ТИ). Тем не менее для использования подобных материалов в современной электронике необходимо образование запрещенной зоны в точке Дирака. В ТИ запрещенная зона может быть открыта за счет нарушения симметрии обращения времени. Этого можно добиться при легировании бинарных ТИ вида A_2B_3 ($A=Bi, Sn$ $B=Te, Se$) магнитными атомами. Более того, открытие запрещенной зоны в ТИ при помощи обменного взаимодействия может привести к появлению краевых состояний с квантованной проводимостью даже в отсутствие внешнего магнитного поля, т.н. квантовый аномальный эффект Холла (КАЭХ).

Важным условием для перехода ТИ в режим КАЭХ является открытие магнитной запрещенной зоны на уровне Ферми. В данной работе в качестве магнитной легирующей примеси был выбран редкоземельный металл Gd. Гадолиний обладает одним из наибольших магнитных моментов (8 μ_B) и при замещении Bi (Sn) в ТИ оказывается Gd^{3+} , что не приводит к дополнительному электронному допированию [2]. В работе при помощи фотоэлектронной спектроскопии с угловым и спиновым разрешением проведена оценка величины запрещенной зоны в точке Дирака, а также проведен анализ состояний Дираковского конуса. Образцы, легированные Gd, показывают стабильное наличие запрещенной зоны при температурах от 10 до 30 К [3,4]. Также в работе наблюдалась значительная вариация ее величины в зависимости от энергии фотонов и типа источника (лазер/синхротрон) при фотоэлектронной спектроскопии.

[1] Cui-Zu Chang and Mingda Li, J. Phys.: Condens. Matter 28, 123002 (2016).

[2] Jinsu Kim, Kyujoon Lee, Toshiro Takabatake et al., Sci Rep 5, 10309 (2015).

[3] A. M. Shikin, A. A. Rybkina, D. A. Estyunin et al., Sci Rep 8, 6544 (2018).

[4] A. M. Shikin, D. A. Estyunin, Yu. I. Surnin et al., Sci Rep 9, 4813 (2019).

C18**ЗАВИСИМОСТЬ ПЛОЩАДИ ДОМЕНОВ MoS₂, WS₂ ОТ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА CVD МЕТОДОМ**

Е.И. Захарина, А.А. Семенова, П.В. Винокуров, Е.Ф. Боякинов, С.А. Смагулова
 Северо-восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, ул. Белинского, 58,
 Якутск, Россия
 aizhan7enova@mail.ru

Однослойные пленки MoS₂, WS₂ являются полупроводниками с прямой запрещенной зоной [1]. Эти материалы обладают уникальными свойствами: высокая механическая прочность, прозрачность, гибкость. В связи с этим синтез и исследование структур дихалькогенидов переходных металлов является перспективной задачей и открывает возможности для создания опто- и наноэлектронных приборов.

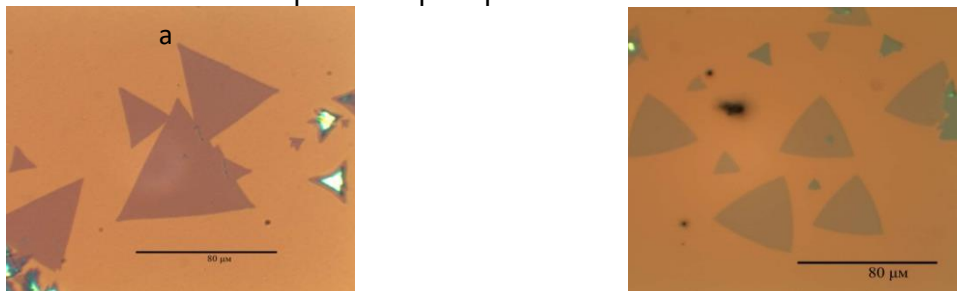


Рис.1. Оптическое изображение треугольных доменов.
 а – домены MoS₂; б – домены WS₂

В данной работе был проведен синтез MoS₂ и WS₂ методом химического осаждения из газовой фазы (CVD) на поверхность SiO₂ и Al₂O₃. Были подобраны оптимальные параметры синтеза для роста треугольных доменов. Обнаружена зависимость площади доменов от температуры синтеза. Результаты измерений на оптическом и электронном микроскопах показали рост доменов MoS₂ и WS₂ в виде треугольников с латеральными размерами до 80 мкм на SiO₂ и до 240 мкм на Al₂O₃, толщиной 0.8-0.9 нм.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-32-00730, РФФИ р_а № 18-42-140005.

[1] Splendiani, A.; Sun, L.; Zhang, Y. Emerging Photoluminescence in Monolayer MoS₂. Nano Lett. 10, 1271–1275 (2010).

C19**ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛИОЛЕФИНОВ НА ПОВЕРХНОСТИ МНОГОСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК В ПРОЦЕССЕ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ *IN SITU***

А.А. Зданович, М.А. Мацько, В.Л. Кузнецов, В.А. Захаров
 Институт катализа СО РАН им. Г. К. Борескова, Новосибирск, Россия
 zdanovich@catalysis.ru

В настоящее время большой интерес представляют полимерные нанокомпозитные материалы, сочетающие в себе свойства как углеродных наноматериалов (высокая прочность, эластичность, тепло- и электропроводность, диэлектрическая проницаемость), так и полиолефинов (устойчивость к агрессивным средам, простота получения, дешевизна). Наиболее перспективным способом получения полимерных композитных материалов является метод полимеризации олефина *in situ* с использованием катализатора, закрепленного на поверхности углеродного наноматериала (УНМ). Этот метод позволяет частично разрушать агломераты УНМ растущим полимером и достигать более равномерного распределения нанонаполнителей в полимерной матрице.

В данной работе с использованием диалкилов магния (MgR₂) и тетрахлорида титана (TiCl₄) и триэтилалюминия в качестве сокатализатора была сформирована каталитическая система для полимеризации этилена на поверхности многослойных углеродных нанотрубок (МУНТ). Методом сканирующей электронной микроскопии была изучена морфология исходных МУНТ

и композитных материалов, полученные методом полимеризацией этилена *in situ* с различным выходом полимера.

Показано, что в процессе полимеризации *in-situ* полиэтилен образуется на поверхности МУНТ, преимущественно в виде микроглобул. Обнаружено, что морфология композита, в целом, повторяет морфологию исходного наноматериала. Окислительная обработка МУНТ приводит к образованию плотных агломератов, которые впоследствии не разрушаются в процессе полимеризации. Наиболее однородное распределение МУНТ достигается при использовании МУНТ со средним диаметром 18.6 нм, удельной площадью поверхности 140 м²/г (по БЭТ), имеющих изначально более «рыхлые» агломераты сравнительно небольшого размера (10 - 50 мкм).

C20

ВЛИЯНИЕ ГРАФЕНА НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТНОГО НАНОПОРОШКА НА ОСНОВЕ Al₂O₃

М.Ю. Зорин^{1,2}, Д.Д. Титов², Е.А. Трусова², А.Н. Кириченко³, К.В. Поликарпов^{1,2}, О.В. Яровая¹, М.А. Вартамян¹

¹РХТУ им. Д.И. Менделеева, г. Москва, Миусская пл, 9, РФ

²ИМЕТ им. А.А. Байкова РАН, г. Москва, Ленинский пр., 49, РФ

³ТИСНУМ, г. Троицк, ул. Центральная, 7а, РФ

michael.zorinzor@gmail.com

Синтезирован композитный наноструктурированный порошок на основе бескислородного графена (1,5 мас.%) [1] и Al₂O₃, который был охарактеризован с использованием комплекса инструментальных методов, включающего РФА, ПЭМ, адсорбцию-десорбцию N₂, колебательную спектроскопию и элементный анализ. Установлено, что в композитной наноструктуре графен равномерно распределен в объеме, при этом отсутствует его химическое взаимодействие с Al₂O₃, что позволяет отнести композит к ван-дер-ваальсовым системам. Отличительной особенностью морфологии композита является то, что отдельные кристаллиты Al₂O₃ или агломераты из 2-3 кристаллитов «обернуты» листами графена толщиной в несколько нанометров. Проведено сравнительное исследование прессуемости наноструктурированных порошков композита графен-Al₂O₃ и Al₂O₃. Дилатометрическое исследование в интервале температур от комнатной до 1450°C в токе Ar показало, что скорость усадки композитного порошка в несколько раз ниже (до 3,5) этого показателя для нанопорошка чистого Al₂O₃. Усадка композита в полном цикле в 1,3 раза меньше, чем чистого Al₂O₃. Кроме того, в составе композита во всем исследованном температурном интервале Al₂O₃ сохраняет гамма-модификацию в отличие от чистого порошка. Данным дилатометрии соответствуют результаты сравнительного реологического исследования: деформация и коэффициент сжимаемости композита примерно в полтора раза ниже, чем чистого Al₂O₃. Таким образом показано, что бескислородный графен придает новые реологические свойства нанопорошку Al₂O₃, защищая кристаллиты от деформации и фазового перехода в области 1130°C, характерного для чистого наноструктурированного Al₂O₃. Предложенный способ синтеза открывает новые возможности для создания функциональных керамических материалов с новыми свойствами, востребованных в производстве материалов медицинского назначения с повышенной биосовместимостью, сенсоров, материалов с пониженным электросопротивлением, катализаторов, адсорбентов, электродов Li-батарей.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 19-03-00554_a.

[1] E.A. Trusova, K.V. Kotsareva, A.N. Kirichenko et al. Adv. Mater. Sci. Eng. V 2018 (2018) ID 6026437, 11pp. <https://doi.org/10.1155/2018/6026437>.

C21**ВЛИЯНИЕ p- И n-ЛЕГИРОВАНИЯ НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРАФЕНА**

В.Р. Исламова

Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва

Материалы доклада будут представлены во время конференции

C22**ПРОЗРАЧНЫЕ ПРОВОДЯЩИЕ ПЛЕНКИ НА ОСНОВЕ ОРИЕНТИРОВАННЫХ ОУНТ: ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЙ ПРЕДЕЛ СВОЙСТВ**Д.А. Илатовский¹, Д.В. Красников¹, А.П. Цапенко¹, О.Е. Глухова², А.Г. Насибулин¹¹*Сколковский институт науки и технологий, Нобеля 3, Москва, Россия*²*Саратовский государственный университет, Астраханская 83, Саратов, Россия**daniil.Ilatovskii@skoltech.ru*

Создание прозрачных проводящих пленок с улучшенными эксплуатационными характеристиками является актуальной задачей науки и промышленности, так как они являются ключевым элементом при разработке следующего поколения солнечных панелей, органических светодиодов и газовых сенсоров. Однослойные углеродные нанотрубки (ОУНТ) проявляют себя являются перспективным компонентом подобных пленок ввиду наличия подходящего набора структурных и оптоэлектронных характеристик. Многие научные группы по всему миру пытаются использовать потенциал ОУНТ для производства прозрачных электродов, используя, как правило, два подхода к улучшению свойств: легирование пленок и получение композитов. Это обеспечило прогресс относительно ключевых показателей в несколько раз и бурное развитие области, которое, однако, замедляется. На данный момент не очевидно развитие данной области и не выявлены основные тенденции, к которым необходимо стремиться в дальнейших исследованиях. Данная работа проясняет эту важную информацию путем дуального подхода к получению тонких прозрачных проводящих электродов на основе ОУНТ:

1. Изучались электрические и оптические свойства ориентированных тонких пленок ОУНТ, полученных химическим осаждением из газовой фазы в реакторе с движущимся слоем катализатора. Была произведена пост-обработка пленок путем допирования AuCl_4 (30 ммол раствор в этаноле), что привело к уменьшению эквивалентного сопротивления (R при значении коэффициента пропускания света $T = 90\%$ ($\lambda=550$ нм)) полученных трубок составляет $R_{90} = 51,9$ Ом/□, что сопоставимо с лучшими показателями, достигнутыми к текущему моменту.)

2. Теоретически выявлена оптимальная структура и произведена оценка фундаментального предела эквивалентного поверхностного сопротивления тонких нелегированных пленок ОУНТ – $R_{90} = 2,3$ Ом/□. Для данной задачи производилось моделирование упорядоченных структур ОУНТ с помощью программного комплекса KVAZAR на супер-ЭВМ: рассчитаны коэффициенты пропускания и поверхностные сопротивления пленок, состоящих из ОУНТ единой хиральности и расположенных на одинаковом расстоянии друг от друга, проводящих в одном направлении или в плоскости.

Авторы благодарят проект Next Generation Program, поддерживаемый Сколковским институтом науки и технологий.

C23**CoMoS/МУНТ КАТАЛИЗАТОРЫ ГИДРООЧИСТКИ: ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ТЕРМООБРАБОТКИ НА СОСТОЯНИЕ И МОРФОЛОГИЮ АКТИВНОГО КОМПОНЕНТА**

М.А. Казакова^{1,2}, М.О. Казаков¹, Ю.В. Ватутина^{1,2}, О.В. Климов¹, А.С. Носков¹

¹*Институт катализа СО РАН, Новосибирск, Россия*

²*Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия*

mas@catalysis.ru

Гидроочистка является важным процессом переработки нефти, который позволяет удалить соединения азота и серы, содержащиеся в составе углеводородного сырья путем их взаимодействия с водородом в присутствии катализатора. На сегодняшний день используемые в промышленности современные катализаторы гидроочистки – это сульфидные Co(Ni)Mo системы, нанесенные на оксид алюминия. Однако существенным недостатком катализаторов на основе оксида алюминия является сильное химическое взаимодействие с оксидами переходных металлов на стадии приготовления катализаторов, что затрудняет дальнейший процесс сульфидирования активного компонента катализатора. Использование углеродных носителей, характеризующихся более слабыми кислотными свойствами, в целом позволит снизить взаимодействие «металл-носитель». Данная работа посвящена исследованию влияния условий термообработки на состояние и морфологию активного CoMoS компонента катализатора гидроочистки на основе многослойных углеродных нанотрубок.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-33-00401.

C24**ЩЕЛОЧНАЯ ОБРАБОТКА ВОССТАНОВЛЕННОГО ОКСИДА ГРАФИТА**

А.А. Кобец¹, Е.О. Федоровская^{1,2}

¹*Новосибирский государственный университет, ул. Пирогова 1, Новосибирск, Россия*

²*Институт неорганической химии им. Николаева СО РАН, ул. Лаврентьева 3,*

Новосибирск, Россия

a.a.kobets@mail.ru

Восстановленный оксид графита обладает большой площадью поверхности, которая может быть функционализирована различными кислородсодержащими группами (гидроксильными, карбонильными, карбоксильными). Функционализация такого материала приводит к изменению электрохимических свойств, а также позволяет ковалентно или нековалентно присоединять наночастицы, органические молекулы, полимеры или биоматериалы.

В данной работе восстановленный оксид графита был получен обработкой оксида графита концентрированной серной кислотой при нагревании. Далее восстановленный оксид графита был обработан щелочью в гидротермальных условиях, а также хлорацетатом натрия, смесью оксида кальция и гидроксида калия. Морфология и функциональный состав всех образцов были исследованы методами СЭМ, КРС- и ИК-спектроскопией. Также все полученные материалы были изучены методом циклической вольтамперометрии, и пики, наблюдаемые на вольтамперных кривых, были сопоставлены с окислительно-восстановительными процессами, протекающими на поверхности углеродной матрицы при подаче потенциала. Таким образом, было показано, что щелочная обработка приводит к изменению морфологии и функционального состава, а также оказывает влияние на электрохимические свойства восстановленного оксида графита.

C25**ВЛИЯНИЕ ПРЕДОБРАБОТКИ МЕДНОЙ ПОДЛОЖКИ НА СВОЙСТВА ГРАФЕНА В РАЗЛИЧНЫХ КОНФИГУРАЦИЯХ CVD ПРОЦЕССА**

И.И. Кондрашов, М.Г. Рыбин, Е.Д. Образцова

*Институт Общей Физики им А.М. Прохорова РАН, ул. Вавилова, 38, Москва, Россия
navi.soul@gmail.com*

Графен с его уникальными электронными и механическими свойствами обладает большим потенциалом для использования в различных областях, многие из которых требуют материал высокого качества и большой площади. Одним из перспективных методов синтеза графена большой площади является метод CVD синтеза при низком давлении, использующий углеродосодержащий газ в качестве первичного источника углерода. Одним из важных факторов, влияющих на качество синтезируемого графена в CVD процессе, является подготовка каталитической подложки - медной фольги. Также при необходимости избежать использования взрывоопасных газов в процессе производства графена, в качестве альтернативного метода может использоваться CVD синтез из жидких или твердых источников углерода. В данной работе мы представляем исследование контролируемого роста высококачественного графена большой площади из газовых и твердых источников углерода. В качестве каталитической подложки использовалась обработанная разными методами медная фольга. Мы исследовали свойства графеновых пленок, полученных при различных методах CVD синтеза, с различной поверхностной шероховатостью медной подложки. Предобработка медной подложки значительно влияет на дефектность, равномерность и проводимость получаемых графеновых пленок. В совокупности с выбором подходящего метода синтеза, выбор и обработка каталитической подложки, дает возможность получать графен высокого качества при различных конфигурациях оборудования и для широкого спектра задач.

C26**МАГНИТОКАЛОРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В ГРАФЕНЕ**В.В. Королев¹, С.П. Губин²¹*Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН, Иваново, Россия*²*Институт Общей и Неорганической Химии им. Н.С. Курнакова, Москва, Россия*

За последнее десятилетие появились расчетные и экспериментальные работы показавшие, что особенности электронной структуры углеродсодержащих образцов могут приводить к развитию магнитных (в том числе ферромагнитных) или сверхпроводящих электронных корреляций, сохраняющихся вплоть до комнатной температуры. В частности, имеется ряд сообщений о ферромагнитном упорядочении в образцах на основе графена [1-4]. Графен занимает особое место среди углеродных наноструктур - это слой sp^2 -гибридизованных углеродных атомов, соединенных в гексагональную двумерную 2D решетку. В последнее время графен привлекает как теоретиков, так и экспериментаторов сочетанием уникальных свойств, обусловленных поведением его π -электронной системы [5], определяющей высокие электрофизические характеристики [6] и механическую прочность [7].

Хотя магнитное упорядочение в образцах графена различного происхождения фиксировалось неоднократно, механизм возникновения ферромагнетизма в таких углеродных наноструктурах пока не выяснен; прослеживается, однако, очевидная связь между магнетизмом и наличием дефектов различной природы в исследуемых образцах графена [1].

Авторами этой работы впервые экспериментально в области комнатных температур обнаружен магнитокалорический эффект (МКЭ) чешуйчатого многослойного графена. При изменении индукции магнитного поля от 0 до 1.0 Тл наблюдается положительный магнитокалорический эффект. Полевая зависимость МКЭ имеет линейный характер. Значения МКЭ при 298 К составляют величину 0.025 К. Образцы графена, полученные восстановлением оксида графена в сверхкритическом изопропанолe при температуре 573 К и восстановлением оксида графена гидразином при комнатной температуре, имели различную степень дефектности, много большую во втором случае. Установлено, что с ростом степени дефектности по-

верхности графена МКЭ увеличивается. Температурная зависимость удельной теплоемкости отличается для образцов графена, полученных разными способами с различной степенью дефектности. В области комнатных температур значения удельной теплоемкости образцов графена находятся в области 1 J/gK.

[1] Е.Ф. Шека, Н.А. Попова, В.А. Попова, Физика и химия графена. Эмерджентность, магнетизм, механофизика и механохимия. Успехи физических наук, 188(7), 720 – 772 (2018).

[2] Т.Л. Макарова. Магнитные свойства углеродных структур, Физика и техника полупроводников. 38, 641-664 (2004).

[3] Lin Fu, Kaiyu Zhang, Weili Zhang, Jie Chen, Yu Deng, Youwei Du, Nujiang Tang. Synthesis and intrinsic magnetism of bilayer graphene nanoribbons. Carbon 143, 1-7 (2019).

[4] Soo-Whan Kim, Hyun-Kyung Kim, Kyujoon Lee, Kwang Chul Roh, Joong Tark Han, Kwang-Bum Kim, Sunghun Lee, Myung-Hwa Jung. Studying reduction of graphene oxide with magnetic measurements. Carbon 142, 373-378 (2019).

[5] P. Avouris, Graphene: Electronic and Photonic Properties and Devices, Nano Ltd, 10-11, 4285-4294 (2010).

[6] K. Geim, K.S. Novoselov, The Rise of Graphen, Nature Materials. 6, 183-191 (2007).

[7] J.S. Bunch, A.M. Zande, S.S. Verbridge, I.W. Frank, D.M. Tanenbaum J.M. Parpia, H.G. Craighead, P.L. McEuen, Electromechanical Resonators from Graphen Seets, Science. 315, 490-493 (2007).

C27

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК CVD-ГРАФЕНА

И.А. Костогруд¹, П.Е. Маточкин¹, Е.В. Бойко^{1,2}, Д.В. Смовж^{1,2}

¹Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, пр. Лаврентьева, 1, г. Новосибирск, Россия

²Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, ул. Пирогова, 1, г. Новосибирск, Россия

ikostogrud@gmail.com

Гибкость, прозрачность и проводимость графена делают его привлекательным материалом для применения в таких устройствах как солнечные элементы, суперконденсаторы, светодиоды, дисплеи, сенсорные экраны, умные окна, сенсоры и др. Метод химического осаждения из паровой фазы (CVD) на металлической подложке представляется наиболее перспективным для получения сплошных пленок графена большого размера. Для многих приложений необходимо перенести CVD-графен с каталитической подложки на различные поверхности. Полученная таким образом пленка графена представляет собой поликристаллическую структуру и по свойствам отличается от идеального графенового листа.

В данной работе графен синтезирован методом CVD на медной подложке с использованием метана в качестве углеродного прекурсора. Анализ образцов проводился с помощью спектроскопии комбинационного рассеяния света и оптической микроскопии с окислением подложки. Далее графен перенесен на полимерную подложку ПЭТ/ЭВА методом горячего пресования с последующим химическим травлением меди. Было проведено исследование электрофизических свойств полученных графен-полимерных композитов. Измерены их вольтамперные характеристики. Начальное сопротивление образцов составило 0,6-1 кОм на квадрат. Исследована зависимость сопротивления образцов от нагрева (до 110°C). Показано, что резистивный нагрев образцов на воздухе выше 60°C приводит к увеличению их сопротивления. При исследовании ВАХ графен-полимерных композитов было показано, что максимальная рассеиваемая мощность (до разрушения графенового покрытия), на воздухе – 1,2 Вт/см², в дистиллированной воде – 5,5 Вт/см². Таким образом, покрытия на основе графен-полимерных композитов могут быть использованы для создания прозрачных нагревательных элементов в различных приложениях.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (Уникальный идентификатор прикладных научных исследований (проекта) RFMEFI60417X0157)

C28**ВОССТАНОВЛЕНИЕ G-NMP КАК СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ - ГРАФЕН НА ДИЭЛЕКТРИКЕ**

И. А. Котин, Е.А. Якимчук, И.В. Антонова

*Институт физики полупроводников им. Ржанова, Россия**kotin@isp.nsc.ru*

N-метилпирролидон (C_5H_9NO) широко используют для расслоения графита и получения графеновой суспензии, так как он хорошо проникает в каждое межплоскостное пространство, обладает близкими с графитом поверхностной энергией и Hansen parameters и, как считалось, не вступает в химическую связь с частицами графена. Более того, на данный момент NMP считается лучшей средой для графена, которая обеспечивает наилучшую стабильность суспензии. Но нами было показано, что при интеркаляции и дополнительном отжиге при температурах 100 – 200 °C наблюдается взаимодействие NMP с графеном и формирование высокоомных слоев G-NMP.

Слоевое сопротивление пленок из исходной не функционализированной суспензии, составляло ~200 Ом/кв. После функционализации в NMP слоевое сопротивление возросло до величины более 1 ГОм/кв (верхний предел измерения сопротивления для установки, использующей четырехзондовую измерительную головку).

Известно, что NMP растворяется в кислотах. Восстановление верхних слоев пленки графена, функционализированного NMP, происходило в парах 10% водного раствора плавиковой кислоты (HF). После кратковременной, 5 секундной, обработки пленки в парах HF ВАХ, измеренная в темноте соответствовала сопротивлению пленки 1.3 МОм/кв, и обычная подсветка дневным светом увеличивала проводимость пленки до 84 кОм/кв. В случае более длительной (30 секунд) обработки в сопротивление уменьшилось: от 1.3 МОм/кв до 43 кОм/кв.

Подвижность электронов, рассчитанная из передаточных характеристик транзисторных структур, полученных путем восстановления проводимости некоторого верхнего слоя в парах HF в течении 35 сек дало значение $\mu=50$ см²/Вс, что в несколько раз выше типичных значений подвижности носителей, получаемых для пленок из этой же суспензии без дополнительной функционализации в NMP ($0.1 \div 1$ см²/Вс).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-32-00571.

C29**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИТОВ MoS₂/Gr ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ТЕРМОУДАРА**А.А. Коцун^{1,2}, С.Г. Столярова¹, В.О. Коротеев³, Л.Г. Булушева^{1,2}, А.В. Окотруб^{1,2}¹*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, г. Новосибирск*²*Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск*³*CIC nanoGUNE, г. Сан-Себастьян, Испания**kotsun15@gmail.com*

Гибридные материалы из слоев MoS₂ на поверхности углеродных наноструктур обладают свойствами, отличными от свойств индивидуальных компонентов, что приводит к улучшению стабильности работы Li-ионных полужеек и к уменьшению деградации материала в процессе циклирования, а также к повышению удельные ёмкости материала.

Композиты MoS₂/C (C – углеродная компонента) были получены методом термоудара при различных температурах (300 °C, 400 °C, 600 °C, 800 °C) и при разном соотношении Mo/C из смеси оксида графита [1] и тиомолибдата аммония. Из композитов были изготовлены электроды и собраны Li-ионные полужеекы. Наиболее хорошая стабильность циклов заряда/разряда и удельная емкость при долговременном циклировании (1000 циклов) на высоких плотностях тока (500 мА/г, 2 мА/г, 10 мА/г) наблюдается на полужеекках с композитом, полученным при 400 °C.

Работа была выполнена при поддержке РФФ (Грант 16-13-00016).

[1] С.Г. Столярова, Е.С. Кобелева, И.П. Асанов, А.В. Окотруб, Л.Г. Булушева // Журн. структур. химии 58(6), 1228-1234 (2017).

С30

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СИНТЕЗА УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ССVD-МЕТОДОМ В АТМОСФЕРЕ МЕТАНА

В.Р. Кузнецова^{1,2}, Е.В. Лобяк¹, Л.Г. Булушева¹ А.В., Окотруб¹

¹Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, пр. Лаврентьева, 3, г. Новосибирск, Россия

²Новосибирский государственный технический университет, пр-т. Карла Маркса, 20, г. Новосибирск, Россия

kuznetsova.viktoriya.98@mail.ru

Благодаря ряду уникальных свойств углеродные нанотрубки (УНТ) представляют огромный интерес для многих коммерческих производителей. Характеристики УНТ определяют свойства и параметры изготавливаемых на их основе приборов и материалов. Выбор оптимальных параметров для проведения ССVD-синтеза является основной задачей для контролируемого роста УНТ с заданными характеристиками.

В настоящей работе для оптимизации синтеза УНТ были использованы полимолибдаты $[\text{Mo}_{12}\text{O}_{28}(\mu_2\text{-OH})_{12}\{\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_3\}_4]$, $[\text{Mo}_{12}\text{O}_{28}(\mu_2\text{-OH})_{12}\{\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_3\}_4]$, $[\text{Mo}_{72}\text{Fe}_{30}\text{O}_{252}(\text{CH}_3\text{COO})_{12}\{\text{Mo}_2\text{O}_7(\text{H}_2\text{O})\}\{\text{H}_2\text{Mo}_2\text{O}_8(\text{H}_2\text{O})\}(\text{H}_2\text{O})_{91}]$ в качестве предшественников каталитических частиц. Определяющим фактором для формирования частиц одинакового размера является кластерное строение и постоянный заданный состав полимолибдатов. Для равномерного распределения катализатора полимолибдаты осаждались на поверхность оксида магния. В настоящей работе было исследовано влияние температурного профиля, носителя каталитических частиц и скорости потоков и соотношения газов CH_4/H_2 на структуру УНТ. Полученные материалы были опробованы в качестве рабочих электродов для суперконденсаторов.

Работа была выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант 18-33-01053).

С31

ПРИМЕНЕНИЕ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ СЛАБОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ 2D МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА

Д.А. Кустов, Н.А. Небогатикова, Е.А. Якимчук

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

danil-kustov@yandex.ru

2D слоистые материалы, такие как графен, черный фосфор, дихалькогениды переходных металлов, широко используются в качестве функциональных слоёв на твердых и гибких подложках, из-за их механических, электрических и оптических свойствах.

Известен простой метод получения новых материалов – функционализация графена. Так, например, был открыт простой и эффективный способ создания фторографена (FG) – графена функционализированного фтором, имеющий запрещённую зону около 3,2 эВ, в зависимости от степени функционализации. Данный материал может использоваться в качестве диэлектрического слоя для структур на основе графена.

Другой материал – графен функционализированный N-метилпирролидоном (G-NMP). Данный материал был недавно исследован и его предварительные исследования показали следующее – термическая стабильность материала до 250 °С, фотолюминесценция в видимом диапазоне, токи утечки меньше чем у фторографена, и, самое главное, при восстановлении данного материала до графена, получается структура графен/G-NMP с подвижностью у графена сопоставимой с результатами полученные на h-BN.

Комбинационное рассеяние света (КРС) – бесконтактный неразрушающий способ анализа структуры вещества, позволяет исследовать как особенности химического состава материала, так и его качество. Особый интерес представляет гигантское комбинационное

рассеяние света (ГКРС), поскольку оно позволяет исследовать новые материалы, полученные функционализацией графена, что не всегда возможно сделать с помощью обычного КРС, из-за отсутствия полезного сигнала.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-32-00571.

С32

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СВЧ АКТИВАЦИИ ИНТЕРКАЛИРОВАННЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПОЛИФТОРИДДИУГЛЕРОДА

В.Г. Макотченко¹, А.В. Аржанников², А.И. Сапрыкин^{1,2}

¹ ФГБУН Институт неорганической химии им. А.В. Николаева, г. Новосибирск

² ФГБОУ ВО Новосибирский государственный исследовательский университет, twg@niic.nsc.ru

В работе исследованы особенности термического разложения (эксфолиации) соединений фториддиуглерода интеркалированных органическими и неорганическими соединениями (ацетоном, ацетонитрилом, бензолом, четырёххлористым углеродом, трифторидом хлора и др.) в процессе сверх высокочастотной (СВЧ) или микроволновой (МВ) активации. При СВЧ воздействии на указанные интеркалированные соединения фториддиуглерода происходит их быстрое (взрывное) разложение с образованием малослойного графена (МСГ). Ключевую роль в поглощении энергии электромагнитного излучения на стадии активации играет его воздействие на интеркалат, внедренный в межслоевое пространство матрицы фториддиуглерода. Процесс эксфолиации происходит при более низких температурах, по сравнению с традиционным конвективным нагревом. Так, температура СВЧ разложения соединений фториддиуглерода, интеркалированных полярными соединениями (ацетон и ацетонитрил), на 50 – 55 % ниже, чем при конвективном нагреве, тогда как при интеркаливании малополярными и неполярными соединениями (трифторид хлора, бензол, четыреххлористый углерод) снижение температуры составляет 40 – 45 %. При использовании МВ нагрева возрастает степень расщепления МСГ, увеличивается удельная поверхность и снижается содержание примесей фтора и хлора, определяющих количество дефектов структуры.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-29-19149 мк.

С33

УСТАНОВКА ПО КОМБИНИРОВАННОМУ ЛАЗЕРНО-ПЛАЗМЕННОМУ СИНТЕЗУ +СВЧ

А.Э. Медведев¹, П.А. Пинаев¹, А.М. Барняков²

¹ ИЛФ СО РАН, пр. Лаврентьева 15Б, Новосибирск, Россия

² ИЯФ СО РАН, пр. Лаврентьева, д. 11, Новосибирск, Россия
medvedev@laser.nsc.ru

Рассматривается работа установки, на базе ранее созданного СВЧ модуля [1] и вновь разработанного квазицилиндрического резонатора на ТМ₀₁₂-моде [2]. В отличие от традиционно используемой схемы цилиндрического резонатора для СВЧ плазмотронов, когда резонатор разделяется кварцевой перегородкой на рабочую камеру, где формируется плазма, и камеру ввода СВЧ энергии, для предотвращения пробоя с более высоким давлением газа, наше решение в виде квазицилиндра позволяет, кроме СВЧ, обеспечить ввод лазерного пучка. Введённый через запердельный волновод лазерный пучок проходит через не очень плотную СВЧ плазму, формируя на выходе из плазмотрона пятно приповерхностной лазерной плазмы. СВЧ модуль позволяет инициировать плазму синхронно с импульсами лазерного излучения (1-5 мкс, 30-150 кГц) с регулируемой фазой (задержкой) и обеспечивает опорный фон, уменьшая порог зажигания и увеличивая площадь пятна лазерной плазмы. Предварительные эксперименты, показали работу СВЧ резонатора и возможность синтеза алмазоподобной плёнки на молибденовой подложке. Планируется представить результаты экс-

периментов по взаимодействию СВЧ плазмы и пучка излучения CO₂ лазера, экспериментальные оценки влияния СВЧ плазмы на пороги зажигания, конфигурацию приповерхностного пятна и объёмного факела лазерной плазмы.

Работа поддержана проектами РАН № 0307-2018-0014 и II.10.1. № 0307-2017-0015 (номер госрегистрации АААА-А17-117021750017-0, 17.02.17)

[1] Медведев А.Э., Грачёв Г.Н. XL Звенигородская конференция, 2013, 219.

[2] Медведев А.Э., Пинаев П.А., Барняков А.М. XLVI Звенигородская конференция, 2019, 216.

С34

ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ С РАЗВИТОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ И ПОРИСТОСТЬЮ

А.В. Мележик, Г.В. Смольский, А.Д. Зеленин, А.Г. Ткачев

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

nanocarbon@rambler.ru

Для ряда применений нужны углеродные материалы с максимально возможной удельной поверхностью, удельным объемом микропор или мезопор, максимальной плотностью, электропроводностью и другими, нередко взаимоисключающими требованиями. Одним из наиболее эффективных методов синтеза таких материалов является высокотемпературная активация углеродсодержащих веществ гидроксидом калия. При этом параметры целевого продукта очень сильно зависят от природы взятого для активации исходного углеродсодержащего вещества.

Показано, что для синтеза материалов с наибольшим удельным объемом микропор лучше всего подходят карбонизованные полимеры на основе фурфурола. Получены материалы с удельным объемом микропор 1,0-1,2 см³/г и долей микропор в общем объеме пор порядка 80-90% (здесь и далее параметры пористости рассчитаны по модели DFT), что близко к теоретически возможному пределу.

Для синтеза преимущественно мезопористых материалов, с удельным объемом мезопор 2-3 см³/г (порядка 70-80% от общего объема пор), хорошие результаты получены с применением в качестве исходного углеродсодержащего материала продукта карбонизации системы декстрин - оксид графена - фенолформальдегидная смола. При этом удельная поверхность по БЭТ составляет 3000-4000 м²/г.

Рассмотрен вопрос о физической реальности или нереальности экстремально высоких значений удельной поверхности углеродных материалов. Предполагается, что некоторые углеродные структуры гипотетически могут обладать удельной поверхностью до 6000 м²/г. Сделана попытка синтеза таких материалов с применением вещества с технического названием «поликумулен» в качестве исходного для активации гидроксидом калия. Получены активированные материалы с удельной поверхностью по БЭТ до 5600 м²/г.

С35

УГЛЕРОДНЫЙ АЭРОГЕЛЬ ДЛЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРА

Х.Ч. Нгуен, К.М. Чан, Т.А. Хоанг, Ж.Х. Нго, С.В. Чан, Т.Б.Т.Чан

Ханойский Институт Химии и Материалов, 17 Хоанг Шам, Ханой, Вьетнам

nguyentranhung28@gmail.com

Углеродный аэрогель - это новый вид углеродных материалов с высокой удельной площадью, который подходит для электродов суперконденсаторов. В этом исследовании углеродные аэрогели просто синтезируются методом сублимационной сушки из макулатуры и биомассы и добавления углеродных волокон. Структура углеродных аэрогелей характеризуется такими методами, как сканирующая электронная микроскопия (SEM), прозрачная электронная микроскопия (TEM), рентгенофазовый анализ (XRD) и удельная поверхность по методу

Брунауэра – Эммета – Теллера (ВЕТ). Благодаря добавлению углеродных волокон углеродные аэрогели имеют уникальную структуру и высокую электропроводность. При применении в электродах суперконденсаторов они показывают высокую производительность при емкости, достигающей 213 Ф/г.

С36

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ОКСИДА ГРАФЕНА МОДИФИЦИРОВАННОГО В ПЛАЗМЕ МЕТАНА И АЗОТА

Е.П. Неустроев, З.И. Евсеев, Д.М. Уйгуров, В.И. Попов, В.Б. Тимофеев, В.С. Слепцов, А.А. Алексеев.

*Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия
neustr@mail.ru*

Плазменная обработка является одним из эффективных методов функционализации оксида графена (ОГ) [1]. Обработка в плазме метана уменьшает содержание кислородных групп и дефектность структуры ОГ [2]. Плазменная обработка в азоте одновременно легирует и восстанавливает структуру графена [3]. В данной работе представлены результаты исследования свойств ОГ, обработанного в индуктивной плазме метана и азота, и восстановленного при температурах до 800 °С. Обработки проводились в условиях низкого давления (<1 мбар) в радиочастотной плазме (13,56 МГц) мощностью от 100 до 300 Вт и длительностью до 15 мин. Структурные исследования показали образование аморфных пленок и островков на поверхности ОГ, толщина которых зависит от мощности плазмы и длительности обработки. При последующих отжигах при температурах существенно выше 450°С аморфных пленок на поверхности ОГ не наблюдалось. Исследования методом эффекта Холла ОГ, обработанного в плазме метана и азота, показали формирование n-типа проводимости, в то время как исходные образцы имели p-тип. В работе также изучены зависимости фототока от освещенности. Величина фототока составляет до 20% от темнового тока при напряжениях ±8 В. Полученные результаты позволяют понять влияние плазменной обработки на электрические и оптические свойства оксида графена.

[1] A. Dey, A. Chroneos, NS. Braithwaite, Ram P. Gandhiraman, S. Krishnamurthy Plasma engineering of graphene. Applied Physics Reviews. 3, 021301(2016).

[2] M. Cheng, R. Yang, L. Zhang, Z. Shi, W. Yang, D. Wang, G. Xie, D. Shi, G. Zhang. Restoration of graphene from grapheme oxide by defect repair. Carbon 50, 2581–2587 (2012).

[3] E. P. Neustroev, A.R. Prokopiev, B. D. Soloviev, E.K. Burtseva, V.I. Popov, V. B. Timofeev. Modification of graphene oxide films by radiofrequency N₂ plasma. Nanotechnology 29(14), 144002 (2018).

С37

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДОКАЗАТЕЛЬСТВА И ФИЗИКА ИНТЕРКАЛЯЦИИ НАНОФАЗЫ МОЛЕКУЛЯРНОГО ВОДОРОДА ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ В ГРАФЕНОВЫЕ И ГРАФИТОВЫЕ НАНОСТРУКТУРЫ

Ю.С. Нечаев¹, В.Г. Макотченко²

¹ ФГУП «ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина», г. Москва

² ИНХ СО РАН, г. Новосибирск

yuri1939@inbox.ru, mwg@niic.nsc.ru

На основе термодинамических подходов и результатов [1,2] рассматриваются экспериментальные доказательства и физика (термодинамика) самопроизвольной интеркаляции нанопазы газообразного молекулярного водорода высокой плотности ($\rho \approx 0.045$ г/см³, $T \approx 300$ К) в поверхностные графеновые наноблистеры в пиролитическом графите и эпитаксиальном графене, а также физика самопроизвольной интеркаляции в графитовые нановолокна нанопазы «мегабарного» твердого молекулярного водорода ($\rho \approx 0.5$ г/см³, $T \approx 300$ К, сжимающее давление ~ 0.5 Мбар), применительно к проблеме компактного и эффективного хранения и

использования водорода в экологически чистых автомобилях [3] и аэрокосмических аппаратах с топливными элементами. Показано проявление в изучаемых сорбционных процессах эффекта (явления) Курдюмова термоупругого равновесия фаз и водородного спилловер-эффекта.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-29-19149 мк.

[1] Yu.S. Nechaev and T.N. Veziroglu. Mechanism and Energetics of the Unique Spillover Effect Manifestation, Relevance to the Efficient Hydrogen Storage in Graphite Nanofibers. // International Journal of Chemistry, 7, 207-212 (2015).

[2] Yu.S. Nechaev and T.N. Veziroglu. On the Hydrogenation-Dehydrogenation of Graphene-Layer-Nanostructures: Relevance to the Hydrogen on-Board Storage Problem. // International Journal of Physical Sciences, 10, 54-89 (2015).

[3] Yu.S. Nechaev, V.G. Makotchenko et al. Comparing of Hydrogen On-Board Storage by the Largest Car Companies, Relevance to Prospects for More Efficient Technologies. // Open Journal of Energy Efficiency, 6, 73-79 (2017).

С38

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕКСТИЛЯ, ОБРАБОТАННОГО СУСПЕНЗИЕЙ ОКСИДА ГРАФЕНА

Г.Н. Александров, Д.В. Николаев, С.А. Смагулова
СВФУ, Белинского, 58 Якутск, Российская Федерация
gn.alexandrov@s-vfu.ru

Получение электронного текстиля представляет большой интерес из-за их потенциального применения в носимых электронных устройствах, в том числе в биологических. Электронный текстиль должен быть проводящим, а также прочным, высокоэластичным, механически гибким, пригодным для носки и легким. Графеновые материалы являются хорошими кандидатами на эту роль, поскольку они соответствуют перечисленным требованиям.

В работе был использован текстиль двух видов - полиэстеровая нить и нейлоновая ткань. Покрытие текстиля восстановленным оксидом графена проводили последовательным погружением текстиля в бычий сывороточный альбумин, суспензию оксида графена и далее восстановлением оксида графена в парах гидразина. Полученный материал обладает чувствительностью к внешним факторам, что может быть использовано для создания датчиков. Графики зависимости силы тока от времени выявили периодические колебания тока, индуцированные периодическими включениями и выключениями освещения. Время релаксации составляет около 10 секунд (рис. 1).

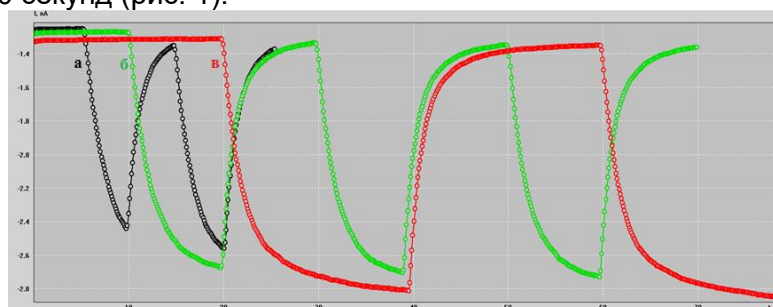


Рис. 1. Зависимость силы тока от времени при длительностях освещения: а - 5 с, б - 10 с и в - 20 с; (периодах: а - 10 с, б - 20 с и в - 40 с). Начальные значения силы тока измерены без освещения.

С39**ТЕМПЛАТНЫЙ СИНТЕЗ АЗОТСОДЕРЖАЩИХ ПОРИСТЫХ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ЧАСТИЦАХ Fe@CaO**А.Д. Нишакова^{1,2}, Л.Г. Булушева¹, Шляхова^{1,2}, А.В. Окотруб^{1,2}¹Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия²Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

lina.nischakova@gmail.com

Пористые углеродные материалы (ПУМ) обладают высокой удельной поверхностью, за счет чего они могут быть использованы в качестве сорбентов, электродов электрохимических источников тока, носителей каталитически активных частиц [1]. Эффективность металлического катализатора зависит от его дисперсности и электронного состояния. Оптимизировать эти параметры можно при дополнительной модификации углеродной поверхности за счет, например, допирования азотом, который может активнее взаимодействовать с металлом, чем углерод. В настоящей работе проведено исследование влияния температуры CVD синтеза на структуру азотсодержащего пористого углерода, формирующегося из ацетонитрила на железосодержащих наночастицах CaO [2]. Синтез азотсодержащих ПУМ проводился при пониженном давлении в интервале температур 650-900°C, с шагом 50°C. Полученная серия образцов исследована методами РЭМ, ПЭМ, РФЭС, РФА, СНН-анализа и измерения температурной адсорбции/десорбции N₂. Обнаружено, материалы имеют слоистую структуру, число слоёв в них варьируется от 2 до 12, материалы содержат как микро- и мезопоры, так и макропоры, содержание N по данным СНН-анализа около 6-8%. РФЭС N1s спектры выявили четыре формы азота - пиридиновый, пиррольный, графитовый и N-O_x, соотношение которых зависит от температуры синтеза.

[1] Sakintuna B., Yürüm Y. Templated Porous Carbons: A Review Article // Industrial & Engineering Chemistry Research. 44 (9), 2893–2902 (2005).

[2] Shlyakhova E.V. et al. Synthesis of nitrogen-containing porous carbon using calcium oxide nanoparticles: Synthesis of nitrogen-containing porous carbon // physica status solidi (b). 2014. Vol. 251(12), 2607–2612 (2014).

С40**СИНТЕЗ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ СОЕДИНЕНИЙ ВКЛЮЧЕНИЯ ФТОРИДОВ ГРАФИТА - ПРЕДШЕСТВЕННИКОВ МАЛОСЛОЙНЫХ ГРАФЕНОВ**Д.В. Пинаков^{1,2}, Г.Н. Чехова¹, Л.Г. Булушева^{1,2}, А.В. Окотруб^{1,2}, И.П. Асанов^{1,2}, Ю.В. Шубин^{1,2}, Е.А. Максимовский¹, И.В. Юшина¹, Н.И. Алфёрова¹, В.П. Фадеева³, В.Д. Тихова³¹ИНХ СО РАН, пр. Лаврентьева 3, Новосибирск, Российская Федерация²НГУ, ул. Пирогова 2, Новосибирск, Российская Федерация³НИОХ СО РАН, пр. Лаврентьева 9, Новосибирск, Российская Федерация

pinakov@niic.nsc.ru

Химия фторированных углеродных материалов на основе графита представляет интерес – как фундаментальной, так и прикладной. В исследованиях по строению и составу основанных на графите материалов часто применяют спектральные методы, масс-спектрометрию, термический анализ, РФА. Эти методы дополняют друг друга в исследовании структуры углеродных материалов на разных уровнях – но, в случае легколетучих внедрённых компонентов, не дают точной и корректной информации об их элементном составе.

Как показала многолетняя практика, фторпроизводные графита являются сложными для элементного анализа объектами. В представляемой работе для определения углерода, водорода, брома, фтора – в соединениях включения (СВ) фторированного графита C₂F_x с Br₂ используются аттестованные методики, разработанные и применяемые в НИОХ СО РАН.

Синтез СВ C₂F_x с Br₂ был проведён по методике, основным этапом которой было долговременное фторирование в газовой фазе над растворами BrF₃ в Br₂ разных концентраций. Полученные соединения были проанализированы спектральными методами, позволившими проанализировать их структуру и характер межмолекулярных взаимодействий. Результаты

элементного анализа как более достоверного определения брутто-состава соединений были сопоставлены с данными спектральных методов. Результаты проведённых исследований показывают заметное влияние составов матриц на свойства СВ фторированного графита. *Работа проводилась при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект №18-29-19073.*

C41**LPCVD СИНТЕЗ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЗОТДОПИРОВАННЫХ ГРАФЕНОВЫХ ПЛЁНОК**

К.М. Попов¹, В.Е. Архипов¹, Д.В. Городецкий¹, А.В. Гусельников¹, Е.А. Максимовский¹, П.Н. Гевко¹, Л.Г. Булушева^{1,2}, А.В. Окотруб^{1,2}

¹*Институт неорганической химии СО РАН, Адрес, Новосибирск, Россия*

²*Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия*

porovkm90@mail.ru

Графен имеет высокую электро- и теплопроводность, прозрачность и механическую прочность, что делает его интересным материалом для многих приложений. Одним из методов синтеза графена и допированных графенов является метод LPCVD (химическое осаждение из газовой фазы при пониженном давлении). Основную роль в CVD-синтезе играют свойства подложки и газодинамические параметры синтеза. Для снижения температуры разложения предшественников широко используются подложки из различных переходных металлов (например, Cu, Ni, Co). В настоящей работе допированный графен выращивали на медной фольге. Метод химической полировки использовался для уменьшения шероховатости поверхности медной фольги. Образцы графена, допированные азотом, были синтезированы в трубчатом CVD реакторе. Подложки размером до 6 см² отжигались в атмосфере водорода для восстановления слоя оксида меди на поверхности фольги.

Синтез пленок допированного графена происходил в результате термолиза газопаровой смеси (метана/источника азота и водорода) при низком давлении. Пиридин, метиламин и ацетонитрил использовались в качестве источников азота. Температура роста азотдопированных графеновых плёнок составляла 1000 °С. Образцы были исследованы с использованием спектроскопии КРС, РФЭС, СЭМ, АСМ и ПЭМ. Проведены исследования электропроводности и подвижности носителей заряда азотдопированных графеновых плёнок. Значения холловской подвижности носителей заряда варьируются в различных диапазонах: от ~ 11 до 16 см²/(В·с) для образцов серии ацетонитрила; от ~ 7 до 19 см²/(В·с) для образцов серии пиридина; от ~ 8 до 108 см²/(В·с) для образцов серии метиламина. В результате мы хотим представить, как структура и элементный состав графеновых пленок будут зависеть от концентрации и природы источников азота.

C42**ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ГРАДИЕНТОВ ПРИ СПЕКАНИИ КОМПОЗИТА «ГИДРОКСИАПАТИТ-МНОГОСТЕННЫЕ УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ» НА ЕГО МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА**

А.Е. Резванова^{1,4}, М.С. Барабашко^{2,3}, А.Н. Пономарев⁴

¹*Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 40, пр. Ленина, г. Томск, Россия*

²*Физико-технический институт низких температур им. Б. И. Веркина НАН Украины, 47, пр. Науки, г. Харьков, Украина*

³*Национальный исследовательский томский политехнический университет 30, пр. Ленина, г. Томск, Россия*

⁴*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, 2/4 Академический пр., г. Томск, Россия*

nastyia.rezvanova@mail.ru

Проведены исследования трещиностойкости, модуля Юнга, твердости по Виккерсу биоактивного композита на основе гидроксипатита (ГА) с добавками многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ). Показано, что добавки МУНТ позволяют улучшить механические свойства композита, в частности, повысить твердость по Виккерсу и трещиностойкость. Модуль Юнга при добавлении примесей МУНТ с концентрациями до 0.5 вес.% практически не меняется. Показано, что добавки МУНТ уменьшают температурные градиенты во время спекания композита, благодаря их лучшей теплопроводности, чем у ГА.

C43

ИНДУЦИРОВАННАЯ ЩЕЛЬ В ПОДКРУЧЕНОМ ГРАФЕНЕ

А.В. Рожков¹, А.О. Сбойчаков¹, А.Л. Рахманов¹, F. Nori²

¹ИТПЭ РАН, ул. Ижорская 13, Москва, Российская Федерация

²Center for Emergent Matter Science, RIKEN, Wako-shi, Saitama, Japan

arozhkov@gmail.com

Подкрученный графен – это двуслойка, состоящая из двух листов графена, положенных один на другой так, что кристаллические оси слоев не совпадают, а образуют некоторый конечный угол подкрутки θ . Поведение электронов в такой системе очень чувствительно к углу подкрутки. При не слишком малом θ можно считать, что дираковские конусы, характеризующие низкоэнергетическую дисперсию однослойного графена, не исчезают, а лишь испытывают перенормировку скорости Ферми, которая зависит от угла подкрутки. В связи с тем, что плотность состояний для дираковской дисперсии зануляется в точке Ферми, такая картина оказывается достаточно устойчивой по отношению к электрон-электронному взаимодействию. Несложно показать, однако, что приложение электрического поля по нормали к такой двуслойке приводит к образованию конечной плотности состояний на уровне Ферми. Кроме этого, возникающие электронные и дырочные поверхности (линии) Ферми практически идентичны. Такая геометрическая эквивалентность поверхностей Ферми называется нестингом. Хорошо известно, что системы с нестингом поверхности Ферми являются неустойчивыми по отношению к возникновению упорядоченного состояния электронной жидкости. Это обстоятельство может быть использовано для создания контролируемой щели в спектре подкрученного графена. В данном докладе мы обсуждаем эту возможность теоретически [1]. В частности, в рамках приближения среднего поля при нулевой температуре будет показано, что в подкрученном графене, находящемся в перпендикулярном электрическом поле E , спонтанно возникает диэлектрическое состояние со спиновым упорядочением. Величина диэлектрической щели является функцией E . Эта зависимость объясняется тем, что именно приложенное поле создает конечную плотность состояний на уровне Ферми, без которой переход в диэлектрическое состояние невозможен. Поскольку величина угла θ влияет на перенормировку скорости Ферми в подкрученном графене (что сказывается на плотности состояний), возникшая щель чувствительна к углу подкрутки: чем меньше θ , тем больше щель. Выполненные расчеты показывают, что величина диэлектрической щели может достигать сотен кельвин. Обсуждаемый механизм предлагает новый подход к так называемой «инженерии щели» в системах на основе графена. Поскольку диэлектрическое состояние сопровождается возникновением нетривиальной магнитной упорядоченности, можно также ожидать, что рассмотренная система найдет интересные приложения в спинтронике.

[1] A.O. Sboychakov, A.V. Rozhkov, A.L. Rakhmanov, and Franco Nori, Externally controlled magnetism and band gap in twisted bilayer graphene, Phys. Rev. Lett. 120, 266402 (2018).

C44

КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ ОКСИДА ГРАФЕНА С КРАСИТЕЛЕМ МЕТИЛЕНОВЫМ ГОЛУБЫМ В ВОДНОМ РАСТВОРЕ

В.А. Сало, А.С. Бучельников

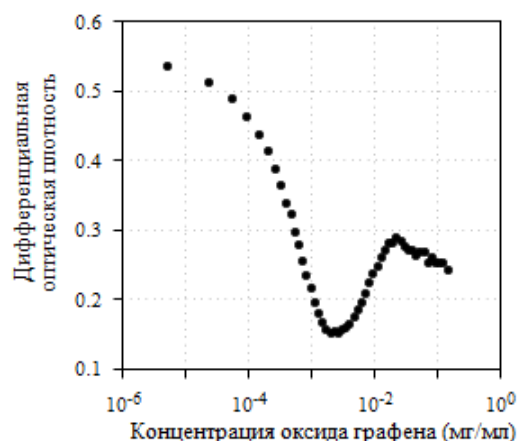
Севастопольский государственный университет, ул. Университетская, 33, Севастополь, Россия

viktoriya_salo@mail.ru

Водный раствор оксида графена представляет особый интерес в связи с его способностью адсорбировать на своей поверхности различные ароматические соединения. Это свойство может быть использовано, например, для очистки промышленных стоков.

Для изучения комплексообразования ароматических соединений с поверхностью оксида графена в качестве модельного соединения был выбран краситель фенотиазинового ряда метиленовый голубой. С использованием дифференциального спектрофотометрического метода мы провели эксперимент титрованием: при постоянной концентрации метиленового голубого изменялась концентрация оксида графена, и в каждой точке записывался электронный спектр поглощения относительно водного раствора оксида графена той же концентрации. На рисунке представлена зависимость дифференциальной оптической плотности от концентрации оксида графена, снятая на длине волны, соответствующей максимуму поглощения чистого красителя (664 нм). По мере титрования изменялась электронная конфигурация молекулы красителя, что отражалось в появлении полосы поглощения красителя на 585 нм. Это может указывать на наличие переноса заряда в исследуемой молекулярной системе.

Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ для государственной поддержки ведущих научных школ № НШ-5889.2018.3.



С45

МНОГОЧАСТИЧНЫЕ ЭФФЕКТЫ В ПОДКРУЧЕНОМ ГРАФЕНЕ ПРИ МАГИЧЕСКОМ УГЛЕ ПОДКРУТКИ

А.О. Сбойчаков¹, А.В. Рожков¹, А.Л. Рахманов¹, F. Nori²

¹ИТПЭ РАН, ул. Ижорская 13, Москва, Российская Федерация

²Center for Emergent Matter Science, RIKEN, Wako-shi, Saitama, Japan

sboycha@mail.ru

Известно [1], что при уменьшении угла подворота слоев в подкрученном двухслойном графене, скорость Ферми дираковских конусов уменьшается и обращается в ноль при некотором, т.н. магическом угле подкрутки θ_c . Как теоретически, так и экспериментально, значение магического угла оценивается как $\theta_c \approx 1.1^\circ$. Именно для образцов с углом подкрутки близким к этому значению, в недавних экспериментах были обнаружены моттовские диэлектрические состояния, а также сверхпроводимость. При магическом угле подкрутки, низкоэнергетический спектр электронов состоит из четырех (восьми с учетом спина) почти вырожденных плоских зон. Слабая дисперсия зон делает электроны чувствительными к взаимодействию [2-4]. Мы рассматриваем два параметра порядка типа волны спиновой плотности, и показываем, что они снимают вырождение зон следующим образом: один параметр порядка разделяет восемь зон на два квартета, тогда как другой параметр порядка расщепляет зоны в квартетах, создавая четыре дублета. Зонная структура нетривиально зависит от уровня допирования. Это позволяет нам качественно воспроизвести [6] поведение проводимости с допированием, наблюдаемое экспериментально [5]. Рассматриваемые параметры порядка обладают нетривиальной структурой, приводящей к возникновению электронной нематичности – понижению симметрии энергетического спектра, продиктованной симметрией решетки.

[1] A. Rozhkov, et. al., Physics Reports 648, 1 (2016).

[2] A.O. Sboychakov, et. al, Phys. Rev. Lett. 120, 266402 (2018).

[3] J.-B. Liu, et al., Sci. Rep. 5, 15285 (2015).

[4] Cao et. al., Nature 556, 43 (2018).

[5] Cao et. al., Nature 556, 80 (2018).

[6] A.O. Sboychakov, et. al., arXiv:1807.08190.

C46

ЭЛЕКТРОННЫЕ И ПРОВОДЯЩИЕ СВОЙСТВА ОДНОСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБ, ЗАПОЛНЕННЫХ СЕРОЙ

О.В. Седельникова^{1,2}, О.А. Гурова¹, Д.В. Городецкий¹, А.В. Гусельников¹, Л.Г. Булушева^{1,2}, А.В. Окотруб^{1,2}

¹Институт неорганической химии им. А.В. Николаева, СО РАН, пр. Лаврентьева, д. 3, Новосибирск, Россия

²Новосибирский государственный университет, ул. Пирогова, д. 2, Новосибирск, Россия
o.sedelnikoval@gmail.com

В настоящее время большое внимание уделяется разностороннему исследованию одностенных углеродных нанотруб (ОУНТ). Являясь полыми наноразмерными частицами, ОУНТ могут выступать в роли темплата для получения квазиодномерных наностекол. Новые гибридные материалы представляют интерес благодаря физико-химическим свойствам инкапсулированных стекол (возможности регулировать транспортные и оптические свойства под воздействием света или нагревания) и коллективным эффектам в гибридных системах (перенос заряда между компонентами, плазмонные эффекты, анизотропное и нелинейное поглощение).

В данном докладе исследованы особенности электронной структуры и механизм проводимости в ОУНТ, заполненных серой методом ампульного синтеза. Характеризация структуры заполняющей фазы выполнены методами электронной микроскопии, спектроскопии комбинационного рассеяния света и *in situ* рентгеновской и фотоэлектронной спектроскопий. Моделирование структуры серы внутри ОУНТ выполнено методами молекулярной динамики в приближении сильной связи.

Данная работа поддержана проектом РНФ № 18-72-00017.

C47

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОННОЙ СТРУКТУРЫ ОРГАНИЧЕСКОГО ПОЛУПРОВОДНИКА НА ОСНОВЕ ZnPc и ZnPcF₁₆

Г. И. Семушкина¹, Л. Н. Мазалов¹, Р. В. Гуляев², Т. В. Басова¹, А. В. Окотруб¹

¹ИНХ СО РАН, пр. Лаврентьева 3, Новосибирск

²ИК СО РАН, пр. Лаврентьева 5, Новосибирск
spectroscopy@mail.ru

В настоящее время наблюдается повышенный интерес к органическим соединениям, которые могут служить альтернативой полупроводниковым материалам. В современной макромолекулярной электронике в качестве элементов схем широко применяют тонкие пленки фталоцианинов. В частности, тонкие пленки соответствующих соединений используют в качестве органических светоизлучающих диодов (Organic light emitting diodes – OLED). Типичный светодиод имеет слоевую структуру, в состав которой, помимо электродов, входит дырководящий слой, слой, блокирующий электроны, активный слой (эмитирующий слой), слой, блокирующий дырки, и электронопроводящий слой. В зависимости от природы центрального макроцикла и периферических заместителей в составе лиганда фталоцианины могут обладать как дырочной, так и электронной проводимостью, что позволяет их использовать в качестве проводящих слоев в OLED. В качестве прозрачных анодов для соответствующих устройств широко используются графеновые материалы, которые обладают механической гибкостью и электропроводностью. Эффективность проводящих слоев и электродов определяется, прежде всего, характеристиками электронного спектра верхних занятых молекулярных орбиталей (ВЗМО) и нижних свободных молекулярных орбиталей (НСМО).

В настоящей работе проведен комплексный анализ энергетического спектра и парциального атомного состава ВЗМО и НСМО методами рентгеновской (XES, XANES) и рентгеноэлектронной спектроскопии (XPS). Экспериментальные данные сопоставлены с квантово-химическими расчетами, выполненными в программе ADF 2017.

Таким образом, совместное применение экспериментальных и теоретических методов позволило в единой шкале энергий связи определить порядок следования занятых и свободных уровней, энергии связи ВЗМО и НСМО, парциальный состав МО и наличие взаимодействия между отдельными атомами исследуемых соединений, что является важнейшими факторами, определяющими физико-химические свойства проводящих слоев OLED. Показано, что граничные ВЗМО и НСМО комплекса ZnPc построены в основном из $2p$ – АО лигандов: $2p$ – АО углерода, $2p$ – АО азота, в то время как вклад АО металла в граничные МО практически отсутствует. Замещение периферийных атомов водорода атомами фтора (ZnPcF₁₆) привело к перераспределению вкладов в ВЗМО и НСМО между $2p$ – АО лиганда и $2p$ – АО фтора, но вклад $3d$ - АО цинка остался столь же незначительным.

C48

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ОКСИДА ГРАФИТА В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛА

Н.О. Соловьев¹, Е.О. Федоровская^{1,2}

¹ *Новосибирский Государственный Университет, ул. Пирогова, 2, Новосибирск 630090 Россия*

² *Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН soloviev.nikos@gmail.com*

Развитие современных мобильных технологий требует создания эффективных устройств для накопления энергии с высокой ёмкостью. Электрохимические конденсаторы, известные также как суперконденсаторы, вызывают большой интерес в качестве устройств для накопления энергии из-за их высокой плотности энергии и стабильности при циклировании по сравнению с твердотельными конденсаторами. Перспективным сырьём для изготовления электродов являются углеродные материалы, в том числе восстановленный оксид графита, который обладает не только значительной проводимостью электрического тока, но и коррозионной стойкостью, термической устойчивостью и электрохимической стабильностью. Особое значение имеют высокая удельная поверхность и доступность пор материала для электролита.

Мы исследовали восстановленный оксид графита, полученный из оксида графита путём восстановления цинком и железом в кислой среде, алюмогидридом и боргидридом лития и термической эксфолиацией. Синтезированные образцы были исследованы методами КР-, ИК- и РФЭС-спектроскопии. Электрохимические измерения проводились на потенциостате Elins P-45X, работающем в потенциодинамическом режиме. Была исследована взаимосвязь методов синтеза восстановленного оксида графита и морфологии синтезированных образцов с их функциональным составом и электрохимическими свойствами. Была продемонстрирована применимость синтезированного таким образом восстановленного оксида графита для электродов суперконденсаторов за счет его высокой ёмкости.

C49

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОДИОДОВ НА ГЕТЕРОПЕРЕХОДЕ ГРАФЕН-КРЕМНИЙ

В.Б. Тимофеев, Д.В. Николаев, Т.Е. Тимофеева, Е.П. Неустроев

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия titamara2013@mail.ru

Графен является перспективным материалом для изготовления фотодиодов, работающих в широком диапазоне длин волн: от ультрафиолета до ближнего инфракрасного [1]. Основные

усилия исследователей направлены на улучшение характеристик фотодиодов, таких как чувствительность, ширина спектрального диапазона, быстродействие, квантовая эффективность [2]. В данной работе приведены результаты измерения характеристик фотодиодов на гетеропереходе графен/кремний, изготовленных методом ламинирования [3]. В качестве подложек для переноса CVD-графена использованы кремний р-типа и кремний n-типа. В работе исследованы темновые и световые ВАХ, чувствительность, относительные спектральные характеристики фотодиодов, определены внешняя квантовая эффективность, нормированная эквивалентная мощность шума. Результаты исследования показали, что фотодиод на гетеропереходе графен/кремний n – типа показывает такую же чувствительность 0.37А/Вт как и фотодиод на гетеропереходе графен/кремний р-типа на длине волны 520 нм. Диапазон регистрации электромагнитного излучения для фотодиода графен/кремний n-типа 340-1000 нм, против 320-1100 нм у фотодиода с кремнием р-типа.

[1] An X., Liu F., Jung Y.J., Kar S. Tunable graphene–silicon hetero-junctions for ultrasensitive photodetection // Nano Lett. 13(3), 909–916 (2013).

[2] Wan X., Xu Y., Guo H. A self-powered high-performance graphene/silicon ultraviolet photodetector with ultra-shallow junction: breaking the limit of silicon? // NPJ 2D Materials and Applications 4, 1–8 (2017).

[3] T. E. Timofeeva, V. B. Timofeev, and D. V. Nikolaev. Graphene/Silicon Photodiode Prepared via Lamination and Its Properties. Nanotechnologies in Russia 13(3–4), 130–133 (2018).

C50

ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАФЕНА ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННОГО N-МЕТИЛПИРРОЛИДОНОМ QDLTS МЕТОДОМ

А.Е. Томская¹, Е.А Якимчук².

¹Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, Адрес, Россия

²Институт физики полупроводников им. Ржанова, Россия

ae.tomskaya@s-vfu.ru

Развитие технологий получения 2D материалов привело к прорывному развитию тонкопленочной электроники, основным элементом которой являются Ван-дер-Ваальсовские гетероструктуры. Графен, как правило, выступает в роли проводящего канала, расположенного между диэлектрическими слоями. Хорошо известно, что свойства графена сильно зависят от его взаимодействия с окружающими слоями и материалами, так, например, электрические характеристики и, прежде всего, подвижность определяются типом соседних слоев и качеством интерфейсов.

Нами показано что пленки из нового high-*k* диэлектрического материала – графен, функционализированный N-метилпирролидоном является перспективным смежным слоем для графена и структур на его основе. Полученные высокоомные пленки демонстрируют низкие токи утечки (10^{-7} - 10^{-8} А/см²) и ультранизкий заряд в пленке G-NMP $(-(1-4) \cdot 10^{10}$ см²) и достаточно высокую напряженность электрического поля пробоя пленки (2-3) 10^5 В/см. Причем увеличение температуры отжига выше 150⁰С приводит к заметному росту напряженности электрического поля пробоя, улучшая тем самым параметры пленок. Емкостные измерения позволили оценить относительную диэлектрическую проницаемость материала, которая составила $\epsilon = 8.5 - 9.0$

В данной работе пленки G-NMP исследовались с помощью зарядовой релаксационной спектроскопией глубоких уровней (QDLTS). В результате обнаружены 2 характерных центра захвата, проанализировав которые мы пришли к выводу, что из-за смены полярности заряда на уровне, один из них является центром захвата зарядов возле середины запрещенной зоны и, таким образом, можем оценить ширину запрещенной зоны, она составляет 2.8 эВ.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-32-00571.

C51**КВАНТОВО-МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ИК СПЕКТРОВ И СПЕКТРОВ ПОГЛОЩЕНИЯ ГРАФЕНОВЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК С КРАЕВОЙ ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЕЙ**

Т.Е. Тимофеева, Г.Н. Александров, С.А. Смагулова

*Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия
titamara2013@mail.ru*

Графеновые квантовые точки (GQDs) представляют собой наноматериал, который может широко применяться в электронике и оптоэлектронике [1]. GQDs изготавливают разными методами из различных прекурсоров с широким разбросом их геометрических параметров и функциональных групп [2]. Форма, размер, функциональные группы и тип легирования GQDs определяют их электронные и оптические свойства [3]. Изучение влияния функциональных групп и легирования на эти свойства представляет интерес для управления электронными и оптическими параметрами GQDs [4]. В рамках данной работы исследовано влияние краевых функциональных групп на энергетический спектр, спектры возбуждения в ИК области и спектры поглощения GQDs. Рассмотрены простые модели однослойных GQDs с краевой функционализацией гидроксильной (-OH), карбоксильной (-COOH), карбонильной (-COH), эфирной (-COCH₃), амидной (-NH₂) группами и GQDs, легированные азотом графитикового и пиридинового типа. Получены E_{LUMO} - E_{HOMO} , ИК спектры и спектры поглощения методом квантовохимических расчетов. Последние рассчитаны с использованием метода TDDFT на базисе 6-31G (pd), 6-31G и на гибридном функционале B3LYP1. Получены частоты в ИК области, характерные для заданных функциональных групп, дополнительные пики для спектров поглощения, их осцилляторные силы.

[1] Chang, H.Wu, H. Graphene-Based Nanomaterials: Synthesis, Properties, and Optical and Optoelectronic Applications. Adv. Funct. Mater. 23, 1984–1997 (2013).

[2] M. Bacon, S. J. Bradley, and T. Nann. Graphene Quantum Dots. Part. Part. Syst. Charact. 31, 415–428 (2014).

[3] Y. Li, H. Shu, X.H. Niu, and J. Wang. Electronic and Optical Properties of Edge-Functionalized Graphene Quantum Dots and the Underlying Mechanism. J. Phys. Chem. C DOI: 10.1021/acs.jpcc.5b05935

[4] J.Feng, H. Dong, L.Yu, and L. Dong. Optical and Electronic Properties of Graphene Quantum Dots with Oxygen-Containing Groups: a Density Functional Theory Study. J. Mater. Chem. C, 2017, DOI: 10.1039/C7TC00631D.

C52**ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО СТРОЕНИЯ ПОЛИЯДЕРНЫХ МЕТАЛЛОКЛАСТЕРНЫХ ХАЛЬКОГЕНИДНЫХ КОМПЛЕКСОВ МЕТОДАМИ РЕНТГЕНОВСКОЙ И РЕНТГЕНОЭЛЕКТРОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ**А.Д. Федоренко¹, Л.Н. Мазалов^{1,2}, С.А. Грибанова^{1,2}, Г.И. Семушкина¹, Н.Н. Перегудова¹¹ИНХ СО РАН, пр. Лаврентьева, 3, Новосибирск, Россия²Новосибирский государственный университет, ул. Пирогова, 1, Новосибирск, Россия
fedorenko@niic.nsc.ru

Рентгеновская спектроскопия является эффективным методом изучения электронного строения различных веществ и материалов. В работе было проведено экспериментальное и теоретическое исследование электронного строения халькогенидных комплексов переходных металлов $\{M_2Q_4\}^{4+}$, $\{M_3Q_4\}^{4+}$ и $\{M_3Q_7\}^{4+}$ ($M = Mo, V, Nb$; $Q = S, Se$), а также полихалькогениды переходных металлов, содержащие как S^{2-} так и $(S_2)^{2-}$ лиганды.

Изучение характера распределения электронной плотности между атомами комплекса и особенности электронных взаимодействий металл-халькоген необходимо для понимания физических и химических свойств. Рентгеновские эмиссионные спектры дают информацию об энергетическом положении и парциальном атомном составе занятых молекулярных орбиталей соединений. Рентгеновские фотоэлектронные спектры использовались в работе для определения эффективных зарядов на мостиковых халькогенидных и полихалькогенидных

внутрикластерных лигандах в зависимости от типа внешнесферных лигандов. Для детальной интерпретации, полученных экспериментальных были проведены квантово-химические расчеты энергетического спектра и атомного состава ВЗМО рассматриваемых комплексов, которые можно непосредственно связать со структурой рентгеновских эмиссионных спектров. *Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 18-03-01061 а. Работа была выполнена с использованием ресурсов ЦКП Сибирский Суперкомпьютерный Центр ИВМиМГ СО РАН*

C53

ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫЕ ГРАФЕНОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОДОВ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ И Li-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

Е.О. Федоровская^{1,2}, А.А. Кобец¹, А.А. Юрченкова¹

¹Новосибирский Государственный Университет, ул. Пирогова, 1, Новосибирск, Россия

²ФГБУН Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, пр. Лаврентьева 3, Новосибирск, Россия

e.fedorovskaia@nsu.ru

Графеновые материалы – уникальные структуры, которые имеют высокую проводимость, большую удельную площадь поверхности, химическую инертность и физическую устойчивость, что делает их перспективными для использования во многих устройствах, в том числе, в Li-ионных аккумуляторах и суперконденсаторах. Восстановленный оксид графита является примером таких графеновых структур. Функционализация поверхности графеновых материалов кислород- или азотсодержащими функциональными группами, а также ее допирование атомами азота, брома и другими гетероатомами позволяет дополнительно увеличить удельную емкость обоих типов устройств за счет увеличения активности поверхности. Кроме того, функционализированная поверхность более эффективна для осаждения электроактивных компонентов, имеющих значительно большие емкостные характеристики, чем графеновые материалы, однако демонстрирующих быструю деградацию или низкую проводимость, например, электропроводящих полимеров или оксидов переходных металлов. В работе было исследовано влияние функционализации и допирования гетероатомами графенового материала на его морфологию, функциональный состав, поведение в композиционных материалах и электрохимические свойства, а также продемонстрирована возможность создания макетов Li-ионных аккумуляторов и суперконденсаторов с использованием графеновых и гибридных наноструктур.

Работа выполнена при финансовой поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации (грант МК-712.2019.3).

C54

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СФЕРИЧЕСКИХ ГРАФИТОВЫХ АНОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ЩЕЛОЧНЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Ю.В. Федосеева^{1,2}, Л.Г. Булушева^{1,2}, Н. Song³, А.А. Макарова⁴, А.В. Окотруб^{1,2}

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, пр. Лаврентьева 3, Новосибирск, Россия

²Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, ул. Пирогова 1, Новосибирск, Россия

³State Key Laboratory of Chemical Resources Engineering, Beijing Key Laboratory of Electrochemical Process and Technology for Materials, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, P. R. China

⁴Технический университет Дрездена, Дрезден, Германия

fedoseeva@niic.nsc.ru

Углеродный анодный материал, состоящий из сферических микро и наночастиц графитовой структуры с разной ориентацией слоев, увеличенным межслоевым расстоянием и малыми

путями диффузии ионов щелочных металлов, является перспективным анодным материалом в литий-, натрий- и калий-ионных аккумуляторах.

В настоящей работе было проведено исследование сферических нано- и микрочастиц, полученных из продуктов отжига наноалмазов, аморфной сажи, пиролизом органических соединений и природных и искусственных графитов. Для исследования особенностей взаимодействия углеродных частиц с щелочными металлами было проведено *in situ* исследование методами рентгеноэлектронной и ультрамягкой рентгеновской спектроскопии образцов до и после термического напыления металлов в условиях высокого вакуума. Сравнительное исследование образцов позволило выявить способность адсорбции щелочных металлов на поверхности сферических углеродных частиц с графитоподобной структурой.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-53-53020.

C55

ФОСФОР – ЗАПОЛНЕННЫЕ ОДНОСЛОЙНЫЕ УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ И СЕНСОРНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

А. А. Федосова^{1,2}, С. Г. Столярова², В. И. Сысоев^{1,2}, Л. Г. Булушева^{1,2}, А. В. Окотруб^{1,2}

¹Новосибирский государственный университет, ул. Пирогова, 1, Новосибирск, Россия

²Институт неорганической химии им. А. В. Николаева СО РАН, пр. Академика Лаврентьева, 3, Новосибирск, Россия

a.fedosova@g.nsu.ru

Заполнение однослойных углеродных нанотрубок (ОУНТ) различными неорганическими соединениями изменяет электронную структуру и химическую активность материала. Фосфор может как проникать в полость нанотрубки, образуя различные цепочечные структуры и нанокластеры, так и встраиваться в графеновую решетку с образованием фосфор-углеродной связи. Комбинация ОУНТ, которые обладают хорошей проводимостью и обеспечивают механическую и химическую стабильность при электрохимическом циклировании и фосфора, который обладает высокой теоретической удельной ёмкостью (2595 мАч/г), позволит создать эффективный электродный материал для литий-ионного аккумулятора. (ЛИА). Заполнение нанотрубок изменяет свойства поверхности, что может оказать влияние на селективность и отклик сенсорных материалов.

Одним из наиболее эффективных и простых методов синтеза заполненных ОУНТ является ампульный метод синтеза. Заполнение проводили в н-образной ампуле, в одну часть которой помещали фосфор, а в другую – ОУНТ. При нагревании пары фосфора оседают как на поверхности ОУНТ, так и проникают в полость ОУНТ. Варьируя такие параметры как соотношение реагентов, время синтеза и температура синтеза, можно достичь наилучшей степени заполнения ОУНТ фосфором. Полученная серия образцов исследована методами спектроскопии КРС, РЭМ, ПЭМ, АЭС и РФЭС. Установлено, что наилучшая степень заполнения достигается при соотношении ОУНТ:P=1:2, температуре 800°C и времени синтеза 48 ч. По данным РФЭС в образце содержится 8 ат. % фосфора.

Исследование электрохимических свойств полученного материала в качестве анодного материала для ЛИА показало увеличение емкости для заполненных фосфором ОУНТ в два раза по сравнению с обычными ОУНТ, что связано с обратимой реакцией взаимодействия лития с фосфором с образованием интермедиатов различного состава Li_xP , в том числе Li_3P . Исследование сенсорных свойств показало, что заполнение ОУНТ фосфором приводит к значительному увеличению отклика по отношению к электрон-акцепторным молекулам (NO_2), в то время как противоположные результаты наблюдались при адсорбции электрон-донорными молекулами (NH_3). Полученные результаты показывают, что наличие фосфора во внутренней полости приводит к *p*-допированию ОУНТ.

C56**ТОНКАЯ НАСТРОЙКА СВОЙСТВ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ДЛЯ ЦЕЛЕВЫХ ПРИМЕНЕНИЙ**

Э.М. Хабушев¹, Д.В. Красников¹, А.П. Цапенко^{1,2}, О.Т. Заремба¹, Ю.В. Колодяжная¹, А.Е. Гольдт¹, А.Г. Насибулин^{1,2}

¹Сколковский институт науки и технологии, ул. Нобеля, 3, Москва, Россия

²Университет Аалто, 02150 Эспо, Финляндия

eldar.khabushev@skoltech.ru

Данная работа посвящена изучению роста однослойных углеродных нанотрубок (ОУНТ) аэрозольным методом химического осаждения из газовой фазы. Исследованный процесс основан на реакции диспропорционирования монооксида углерода на поверхности железных наночастиц, сформированных в виде аэрозоле в ходе термического разложения ферроцена. Мы исследовали влияние условий синтеза таких как: температура, парциальное давление прекурсора (ферроцена) и диоксида углерода, – на свойства синтезируемых ОУНТ посредством спектрофотометрии, спектроскопии комбинационного рассеяния, четырех контактного метода измерения электропроводности, а также ПЭМ и РЭМ. Получаемые образцы имеют высокое качество: отношение интенсивностей G и D мод комбинационного рассеяния достигает 500, что говорит о низкой концентрации дефектов нанотрубок и отсутствии аморфного углерода. Также, продемонстрирована возможность варьирования среднего диаметра ОУНТ в пределах от 1 до 2 нм за счет введения небольшого количества диоксида углерода и изменения температуры проведения процесса. Полученные зависимости позволили нам найти условия для синтеза пленок с высокими оптоэлектронными характеристиками: поверхностное сопротивление при 90% пропускании (на длине волны 550 нм) составило 67 ом/квадрат после легирования хлоридом золота, что на сегодняшний день является одним из самых низких достигнутых результатов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 17-19-01787

C57**ПОРИСТЫЙ УГЛЕРОД, ПОЛУЧЕННЫЙ ОСАЖДЕНИЕМ ПАРОВ ЭТАНОЛА НА ТЕМПЛАТНЫХ НАНОЧАСТИЦАХ С-СаО, И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В СУПЕРКОНДЕНСАТОРАХ**

Е.В. Шляхова¹, А.В. Окотруб^{1,2}, Е.О. Федоровская^{1,2}, Е.А. Мельгунова³, М.С. Мельгунов³, Л.Г. Булушева^{1,2}

¹Институт неорганической химии им. Николаева СО РАН, пр. Лаврентьева 3, Новосибирск, РФ

²Новосибирский Государственный Университет, ул. Пирогова 2, Новосибирск, РФ

³Институт катализа им. Борескова СО РАН, пр. Лаврентьева 5, Новосибирск, РФ

shlyakhovaev@niic.sbras.ru

Пористый углеродный материал с высокой удельной поверхностью и высокой долей содержания мезопор в нем был получен с использованием наночастиц СаО, покрытыми углеродными слоями, в качестве темплата. Термической разложение чистого или допированного атомами железа тартрата кальция приводит к образованию композита С-минеральная основа, размеры частиц которого составляют 5-14 нм. Для увеличения количества углеродного продукта проведено последующее химическое осаждение из этанола, последующее удаление наночастиц СаО из которого с помощью HCl приводит к образованию пористого углерода с преимущественным содержанием пор такого же размера. Добавление небольшого количества атомов Fe (до 2 ат.%) приводит увеличению количество осажденного углерода, а его структура становится более графитизированной. Перестройки углеродной структуры в результате проведенной дополнительной процедуры осаждения углерода увеличила значения удельной емкости в кислом электролите в ~1.5 раза.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №19- 73-10068

С58

МОДИФИКАЦИЯ ВОССТАНОВЛЕННОГО ОКСИДА ГРАФИТА ГАЛОГЕНСОДЕРЖАЩИМИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ ГРУППАМИА.А. Юрченкова¹, Е.О. Федоровская^{1,2}¹Новосибирский государственный университет, Пирогова 2, Новосибирск, Россия²Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, пр. Лаврентьева 3, Новосибирск, Россия

anna.yurchenkova@yandex.ru

В последние годы графеноподобные материалы широко применяются в различных областях исследований. Одним из самых востребованных применений является их использование в качестве материалов электрохимических накопителей энергии, таких как суперконденсаторы и Li-ионные батареи. Перспективным материалом для таких приложений является восстановленный оксид графита (ВОГ) в силу простоты его получения, высокой химической стойкости и возможности промышленного синтеза. На электрохимические свойства ВОГ влияет модификация его поверхности функциональными группами. Так, для применения в суперконденсаторах, как правило, большую эффективность демонстрирует ВОГ, функционализированный кислородосодержащими группами, тогда как для применения в Li-ионных батареях наибольшую эффективность имеют образцы, допированные азотом. Введение на поверхность материала таких групп, как Cl, Br, SO₂Cl так же перспективно для последующей модификации более сложными и массивными функциональными группами с целью использования в биосенсорах, катализаторах, функциональных материалах, электродах суперконденсаторов и аккумуляторов.

В данной работе, в качестве предшественника ВОГ использовался оксид графита, синтезированный модифицированным методом Хаммерса. Затем, оксид графита активировался в концентрированной серной кислоте, после чего подвергался терморасширению и последующему термическому отжигу при 500°C. Дальнейшая функционализация ВОГ различными галогенсодержащими группами была проведена при обработке ВОГ галогенирующими агентами при нагревании и в гидротермальных условиях. Функциональный состав образцов был изучен методами ИК-, КР-, РФЭ-спектроскопии. Было показано, что наряду с ковалентной функционализацией поверхности галогенсодержащими группами происходит интеркаляция атомов между графеновыми слоями (рис. 1 в). Методом СЭМ было показано, что введение галогенсодержащих группировок приводит к изменению морфологии поверхности и размера частиц (рис. 1 а, б). Синтезированные материалы были изучены в качестве электродных материалов суперконденсаторов и анодных материалов Li-ионных батарей методами циклической вольтамперометрии с линейной развёрткой потенциала, заряд-разрядного циклирования и электрохимической спектроскопии импеданса.

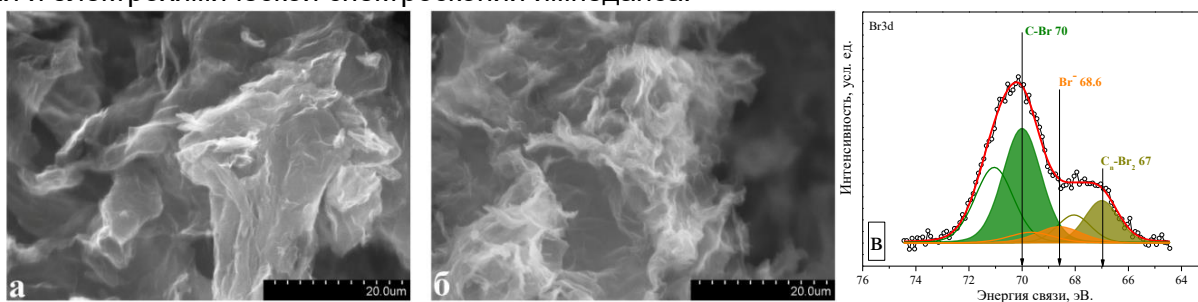


Рис. 1. СЭМ изображения образцов ВОГ, полученных действием NBS в ТГФ (а) и водного раствора HBr (б) в гидротермальных условиях, РФЭ Br 3d спектр образца ВОГ, полученного действием NBS в ТГФ (в).

C59**НОВАЯ ПРОИЗВОДНАЯ ГРАФЕНА С N-МЕТИЛПИРРОЛИДОНОМ: СУСПЕНЗИЯ, СТРУКТУРНЫЕ, ОПТИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА**Е.А. Якимчук¹, И.А. Котин¹, А.Е. Томская², И.В. Антонова^{1,3}¹Институт физики полупроводников им. Ржанова, Россия²Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, Россия³Новосибирский государственный университет, Россия

eayakimchuk@isp.nsc.ru

N-метилпирролидон (C₅H₉NO) широко используют для расслоения графита и получения графеновой суспензии, так как он хорошо проникает в каждое межплоскостное пространство, обладает близкими с графитом поверхностной энергией и Hansen parameters и, как считалось, не вступает в химическую связь с частицами графена. Более того, на данный момент NMP считается лучшей средой для графена, которая обеспечивает наилучшую стабильность суспензии.

В работе исследовано взаимодействие частиц суспензии мультиграфена (толщина частиц 2 - 5 нм) с N-метилпирролидоном. Показано, что проводимость пленок из суспензии, полученной с использованием обработки в NMP, после дополнительного отжига в интервале температур 60 – 200^oC уменьшается на 6-7 порядков, причем требуемая температура отжига уменьшается с уменьшением размера частиц суспензии. Полученные высокоомные пленки демонстрируют низкие токи утечки (10⁻⁷ - 10⁻⁸ А/см²), ультра низкий заряд в функционализированной пленке $(-(1-4) \cdot 10^{10} \text{ см}^2)$, относительно высокую диэлектрическую константу 8.5 – 9.0 и напряженность электрического поля пробоя $(2-3) \cdot 10^5 \text{ В/см}$. Показана возможность восстановить проводимость верхнего слоя пленки из функционализированной суспензии до сопротивления ~43 кОм/кв и получить неожиданно высокое значение подвижности электронов $\mu = 51 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ (по сравнению с подвижностью пленок из исходной суспензии 1 - 10 см²/В·с).

Сочетание описанных выше свойств пленок G-NMP с возможностью получать прозрачные в видимом диапазоне пленки, с возможностью формирования гетероструктур простой химической очисткой поверхности и ожидаемой гибкостью делает эти пленки перспективными для широкого спектра приложений. Среди них – диэлектрические high-k пленки для Ван-дер-Ваальсовских гетероструктур, и структур гибкой и печатной электроники.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (грант № 18-32-00571).

7 АВГУСТА, СРЕДА

- 9:00-9:20 **Л.А. Чернозатонский**
БИСЛОЙНЫЙ ГРАФЕН И ОКОЛО НЕГО: СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВА
Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва
- 9:20-9:40 **D.Y. Zemlyanov**
VERSATILE TECHNIQUE FOR ASSESSING THICKNESS OF 2D LAYERED MATERIALS BY XPS
Birck Nanotechnology Center, Purdue University, West Lafayette, USA
- 9:40-10:00 **В.З. Мордкович**
ОСОБЕННОСТИ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ CVD В ПРИСУТСТВИИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТАЛЛОЦЕНОВ
Технологический институт сверхтвердых и новых углеродных материалов, Москва, Троицк
- 10:00-10:20 **А.А. Макарова**
ГРАФЕН И ГРАФЕНОПОДОБНЫЕ СТРУКТУРЫ, ВЫРАЩЕННЫЕ НА ПОВЕРХНОСТЯХ «КРИВЫХ» КРИСТАЛЛОВ
Технический Университет Дрездена, Дрезден, Германия
- 11:00-11:12 **Е.С. Азарова**
МАССИВНЫЕ ДИРАКОВСКИЕ ЧАСТИЦЫ В ОДНОМЕРНЫХ НАНОКОЛЬЦАХ С НЕОДНОРОДНОСТЯМИ
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Н. Новгород
- 11:12-11:24 **М.В. Гудков**
ПРИМЕНЕНИЕ БИНАРНЫХ УГЛЕРОД/УГЛЕРОДНЫХ СМЕСЕЙ В КАЧЕСТВЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ
Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, Москва
- 11:24-11:36 **С.А. Краснов**
ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛЕНОК АСФАЛЬТЕНОВ ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ КАМЕННОУГОЛЬНОГО ПЕКА
Кемеровский государственный университет, Кемерово
- 11:36-11:48 **А.И. Иванов**
ИМПУЛЬСНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ РЕЗИСТИВНЫХ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЙ В КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛАХ НА ОСНОВЕ ФТОРИРОВАННОГО ГРАФЕНА
Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Новосибирск
- 11:48-12:00 **А.В. Заворин**
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЗОФАЗНОГО ХИМИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ МНОГОСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК
Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, Новосибирск
- 12:00-12:12 **Е.В. Лобяк**
ГИБРИДНЫЙ МАТЕРИАЛ УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ/ПОРИСТЫЙ УГЛЕРОД ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева, Новосибирск

- 14:00-14:12 **А.Е. Томская**
ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УГЛЕРОДНЫХ ТОЧЕК ПОЛУЧЕННЫХ
ГИДРОТЕРМАЛЬНЫМ МЕТОДОМ
*Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова,
Якутск*
- 14:12-14:24 **Д.В. Соколов**
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ТРАНСПОРТА В
ИНДИВИДУАЛЬНЫХ МНОГОСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБКАХ
МЕТОДОМ ПРОВОДЯЩЕЙ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ
Омский научный центр СО РАН, Омск
- 14:24-14:36 **Г.В. Горохов**
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ПОРИСТЫХ НАНОУГЛЕРОДНЫХ
СТРУКТУР, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ SLS-ПЕЧАТИ
*«Институт ядерных проблем» Белорусского государственного
университета, Минск*
- 14:36-14:48 **С.Г. Столярова**
ГИБРИДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ MoS_2 /ПЕРФОРИРОВАННЫЙ ГРАФЕН ДЛЯ
ЭФФЕКТИВНЫХ LI-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева, Новосибирск
- 14:48-15:00 **В.А. Кузнецов**
КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ МАТРИЦЫ ПОЛИБЕНЗИМИДАЗОЛА С
НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫМИ УГЛЕРОДНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ:
ЭЛЕКТРОННЫЙ ТРАНСПОРТ И ТЕНЗОРЕЗИСТИВНЫЙ ЭФФЕКТ
*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН,
Новосибирск*
- 15:00-15:12 **Е.А. Губерна**
СВЕРХКОРОТКИЙ ЦИКЛ СИНТЕЗА ГРАФЕНА МЕТОДОМ CVD
Московский физико-технический институт, Долгопрудный
- 15:12-15:24 **А.А. Леонов**
КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ,
УПРОЧНЕННЫЙ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ
*Национальный исследовательский Томский политехнический
университет, Томск*
- 15:24-15:36 **А.В. Тарасов**
ФОТОЭЛЕКТРОННАЯ ДИФРАКЦИЯ И ГОЛОГРАФИЯ ИНТЕРФЕЙСОВ С
2D МАТЕРИАЛАМИ
Санкт-Петербургский государственный университет, С.-Петербург
- 16:12-16:24 **А.С. Галушко**
СТАБИЛИЗАЦИЯ ЖИДКИХ МИКРО- И НАНОКАПЕЛЬ ФОСФОРНОЙ
КИСЛОТЫ НА ПОВЕРХНОСТИ ФОСФОР-ДОПИРОВАННОГО
ВОССТАНОВЛЕННОГО ОКСИДА ГРАФЕНА
Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН, Москва
- 16:24-16:36 **Р.Д. Ямалетдинов**
ПОДВИЖНОСТЬ АТОМОВ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ В ГРАФЕНОВЫХ
СИСТЕМАХ С ГЕОМЕТРИЧЕСКИМИ ОГРАНИЧЕНИЯМИ
*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН,
Новосибирск*

- 16:36-16:48 **Р.Ф. Сафаргалиев**
ГАШЕНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ГРАФЕНОВОЙ СУСПЕНЗИИ
В РЕЗУЛЬТАТЕ АДСОРБЦИИ УГЛЕВОДОРОДОВ
Тюменский государственный университет, Тюмень
- 16:48-17:00 **К.В. Ларионов**
ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА
ГРАФЕН/ПОЛУМЕТАЛЛИЧЕСКИЙ СПЛАВ ГЕЙСЛЕРА
*Национальный исследовательский технологический университет
МИСиС, Москва*
- 17:00-17:12 **С.В. Ерохин**
НАБЛЮДЕНИЕ И ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗМЕНЕНИЯ АТОМНОЙ
СТРУКТУРЫ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ПРИ РАСТЯЖЕНИИ И
ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ
*Национальный исследовательский технологический университет
МИСиС, Москва*
- 17:12-17:24 **М.К. Рабчинский**
ФОРМИРОВАНИЕ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ
НА ОСНОВЕ ПРОИЗВОДНЫХ ГРАФЕНА С ЗАДАНЫМ СОСТАВОМ
ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ГРУПП
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, С.-Петербург
- 17:24-17:36 **А.Н. Субоч**
АЗОТ-СОДЕРЖАЩИЕ УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ В КАЧЕСТВЕ
ЭФФЕКТИВНОГО НОСИТЕЛЯ ДЛЯ СИНТЕЗА СТАБИЛЬНЫХ
ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ
Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, Новосибирск

БИСЛОЙНЫЙ ГРАФЕН И ОКОЛО НЕГО: СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВА

Л.А. Чернозатонский, В.А. Демин, А.Г. Квашнин, Д.Г. Квашнин, П.Б. Сорокин
 Институт биохимической физики РАН, Косыгина ул. 4, Москва.

Вслед революционному открытию графена (G) началось массово исследование структур на его основе, в частности - двуслойного графена (так только за последние 2 года опубликовано около 2000 работ). Его разнообразие прежде всего связано с возможностью различной укладки слоев: обычные для графита AA и AB (Бернала), а также сверхрешетки (tBG) при повороте одного слоя относительно другого. Это приводит к появлению в таких структурах новых свойств, не присущих графену. Подобные муаровые структуры возникают и в смешанных бислойных системах (G/h-BN, G/слой халькогенидов, G/AlN и др.). В докладе будет дан обзор последних работ по таким структурам (в основном за 2018-2019 года), включая работы нашей группы.

Рассматриваются:

Особенности биграфена tBG при «магических» углах поворота, соответствующих появлению сверхрешеток Муара, - возникновение особенностей в электронном и фононном спектрах, в транспортных и оптических свойствах.

Особенности биграфена при малом магическом (около 1°) угле поворота, включая эффект сверхпроводимости, вигнеровской кристаллизации при его легировании.

Особенности биграфена при большом (около 30°) угле поворота, включая появление квазикристалла при $\Theta=30^\circ$.

Функционализация BG фтором или водородом – переход BG с упаковками AA и AB в алмазаны – алмазные нанопленки, сверхрешетки с наноструктурами алмаза (включая G/h-BN структуры).

Биграфеновые и G/h-BN структуры с нанотвердотелами – локализация в них носителей заряда, включая эффекты одноэлектронного «захвата».

Резонансные электронные и оптические свойства BG сверхрешеток, связанные с особенностями ван Хофа (аналогичными особенностям в углеродных нанотрубках). Управление этими свойствами приложением механических напряжений или поперечного электрического поля.

Механические свойства биграфена и BG наносеток с различными упаковками слоев: (а) упругие модули, (б) коэффициенты Пуассона, (в) пределы разрыва.

Многообразие биграфеновых квантовых точек (BGQD) в различных слоистых фторграфенах CF_x (гидрированных биграфенах – CH_x).

Перспективы использования рассмотренных бислойных структур в нано- и оптоэлектронике, энергосберегательных системах и биологии.

Работа выполнялась в рамках РФФИ проектов: 17-02-01095.

VERSATILE TECHNIQUE FOR ASSESSING THICKNESS OF 2D LAYERED MATERIALS BY XPS

D. Y. Zemlyanov¹, D. N. Zakharov², R. Paul³, T. S. Fisher¹, A. A. Voevodin^{1,4}

¹Birck Nanotechnology Center, Purdue University, West Lafayette, IN 47907

²Center for Functional Nanomaterials, Brookhaven National Laboratory, Upton, NY 11973, USA

³Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Case Western Reserve University, Cleveland, OH 44106, USA

⁴Department of Materials Science and Engineering, University of North Texas, Denton, TX 76203, USA

dzemlian@purdue.edu

X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) have been demonstrated as a versatile method for characterization of various two-dimensional 2D films, which thicknesses can simultaneously measure when acquiring XPS data for the film chemical state. For the validation of the developed technique, the thickness of few-layer graphene (FLG), MoS₂ and amorphous BN layers, produced by MPCVD, PECVD, and PLD respectively, is measured. The ratio between photoemission peaks recorded for the films (C 1s, Mo 3d, B 1s) and the substrates (Cu 2p, Si 2p, Al 2p) is the primary input for the

thickness calculation, in addition to the atomic densities of the substrate and the film, and corresponding electron attenuation length. The XPS data were used with a proposed model for thickness calculations, which was verified by cross-sectional TEM measurements of thickness for all the films. XPS method determines thickness values averaged over an analysis area, which is orders of magnitude larger than the typical area in cross-sectional TEM imaging, hence providing a good approach for the thickness measurements in large area processing of 2D materials. The study confirms that versatile XPS method allows rapid and reliable assessment of the 2D material thickness and this method can facilitate in tailoring growth conditions for producing very thin 2D materials effectively over large area.

ОСОБЕННОСТИ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ CVD В ПРИСУТСТВИИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТАЛЛОЦЕНОВ

В.З. Мордкович^{1,2}, А.Р. Караева¹, С.А. Урванов¹, Е.А. Жукова¹, Ф.С. Хоробрых¹, Н.В. Казеннов¹

¹Технологический институт сверхтвердых и новых углеродных материалов, Троицк

²МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

mordkovich@tisnum.ru

Целью настоящей работы является получение углеродных нанотрубок с использованием различных металлоценов и их смесей, исследование структурных особенностей и электрофизических свойств углеродного продукта. В данной работе в качестве предшественников катализатора использовали не только ферроцен, но и другие металлоцены переходных металлов – никелоцен, кобальтоцен, а также их смеси в различных сочетаниях 50/50, 25/75 и др.

Выявлены структурные особенности и различия в электрофизических свойствах, - в частности, различие в электропроводности почти на порядок (3100 См/м для УНТ с Fe и 150 См/м для УНТ с Ni). Структурные особенности еще более интересны – в частности, обнаружены моно-кристалльные «нанопроволоки» из металлического никеля или кобальта внутри УНТ – см. Рис. 1.

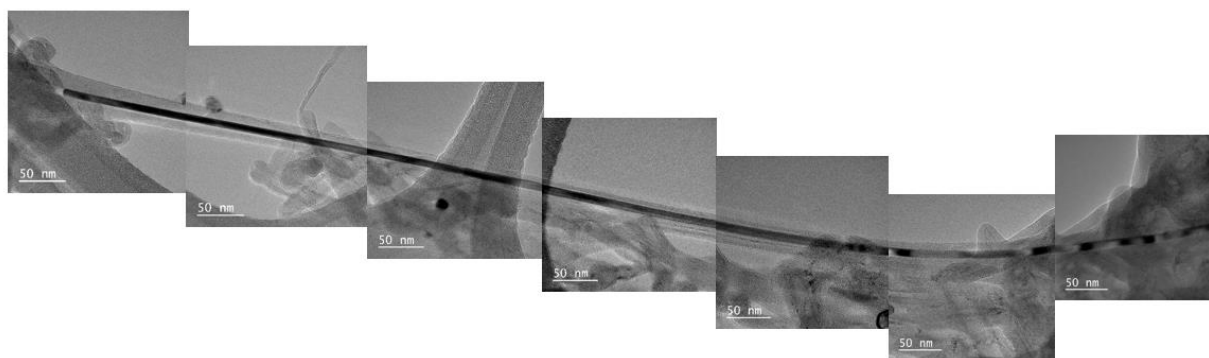


Рис. 1. «Нанопроволока» из никеля длиной более 1 мкм, расположенная внутри углеродной нанотрубки

ГРАФЕН И ГРАФЕНОПОДОБНЫЕ СТРУКТУРЫ, ВЫРАЩЕННЫЕ НА ПОВЕРХНОСТЯХ «КРИВЫХ» КРИСТАЛЛОВ

А.А. Макарова¹, Л. Фернандез¹, Д.Ю. Усачев², А.В. Федоров^{2,3}, К.А. Бокай², О.Ю. Вилков², Д.А. Смирнов¹, К. Лаубшат¹, Д.В. Вялых^{4,5}, Ф. Шиллер⁶, Х.Э. Ортега^{4,6,7}

¹Технический Университет Дрездена, Дрезден, Германия

²Санкт-Петербургский Государственный Университет

³IFW, Дрезден, Германия

⁴DIPC, Сан-Себастьян, Испания

⁵IKERBASQUE, Бильбао, Испания

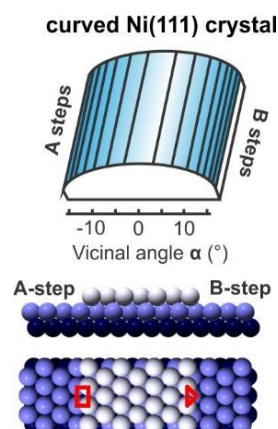
⁶Центр Физики Материалов, Сан-Себастьян, Испания

⁷Университет Страны Басков, Сан-Себастьян, Испания

aa.makarova@yandex.com

Уникальность «кривых» кристаллов заключается во множестве ориентаций поверхности, содержащихся в одном образце. Данная особенность позволяет заменить многочисленные процедуры синтеза и циклы экспериментов с несколькими различными плоскими кристаллами одним, с единственным образцом. «Кривые» кристаллы обладают цилиндрической формой и представляют собой мульти-вициальную поверхность. На рисунке схематично представлен пример такого кристалла: с-Ni(111) является $\alpha = \pm 15^\circ$ секцией цилиндрического монокристалла никеля с центром, ориентированным вдоль направления (111).

Методом химического осаждения из газовой фазы на поверхностях «кривых» кристаллов были синтезированы графен, N-допированный графен, а также гексагональный нитрид бора. С помощью фотоэлектронной спектроскопии и спектроскопии поглощения рентгеновского излучения, были исследованы особенности роста двумерных структур и физико-химические свойства соответствующих интерфейсов.



МАССИВНЫЕ ДИРАКОВСКИЕ ЧАСТИЦЫ В ОДНОМЕРНЫХ НАНОКОЛЬЦАХ С НЕОДНОРОДНОСТЯМИ

Е.С. Азарова, Г.М. Максимова, В.А. Бурдов

ННГУ им. Н.И. Лобачевского, пр. Гагарина 23, Н. Новгород, Россия

azarova.ekaterin@yandex.ru

В данной работе исследованы структура энергетических уровней и персистентные токи (ПТ) в одномерных неоднородных нанокольцах из щелевых дираковских материалов: силицена и щелевой фазы графена [1]. Показано, что наличие дефекта в графеновом кольце приводит к антикроссингу уровней и к появлению уровней, почти не зависящих от магнитного потока Φ , что вызывает уменьшение ПТ и сглаживание их зависимости $J(\Phi)$. Однако во внешнем поперечном электрическом поле ПТ неоднородного силицевого кольца не является гладкой функцией магнитного потока: возникают две группы уровней, характеризующихся различными спин-долинными индексами, пересечение которых вызывает скачки ПТ. Обнаружено, что ПТ электронов проводимости в дираковском кольце при высокой степени заселенности зоны не чувствительны к наличию дефекта. Исследован энергетический спектр кольца с произвольным числом локальных периодически распределенных дефектов (сверхрешетка на кольце). Для щелевого графена показано формирование энергетических подзон, количество уровней в которых равно числу дефектов на кольце. Рассмотрено влияние энергетического беспорядка на зонную структуру кольца: неупорядоченное изменение высоты барьеров означает потерю вращательной симметрии, что в свою очередь приводит к антикроссингу уровней и сглаживанию зависимости $J(\Phi)$, т.е. к уменьшению ПТ в таком кольце так же, как в случае одиночного дефекта.

Работа поддержана грантами Минобрнауки РФ (задание № 3.2637.2017/4.6), Фонда развития теоретической физики и математики «БАЗИС» и РФФИ (18-32-00740-мол_a).

[1] E.S. Azarova, G.M. Maksimova, V.A. Burdov, Physica E 106, 140 (2019).

**ПРИМЕНЕНИЕ БИНАРНЫХ УГЛЕРОД/УГЛЕРОДНЫХ СМЕСЕЙ В КАЧЕСТВЕ НАНОРАЗ-
МЕРНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ**

М.В. Гудков¹, К.А. Шиянова¹, А.А. Аносов¹, С.А. Бедин², А.Я. Горенберг¹, В.С. Коваль¹,
В.П. Мельников¹

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химической
физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук, ул. Косыгина 4, Москва, Россия

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования «Московский педагогический государственный университет»
gudkovmv@gmail.com

Полимерные композиционные материалы, обладающие свойством электропроводности, в настоящее время, являются одними из наиболее перспективных материалов, разработке которых посвящено внушительное количество публикаций в тематических изданиях. Данные материалы имеют огромное количество потенциальных применений, начиная от элементов изделий, позволяющих снимать статическое электричество, заканчивая гибкой электроникой и электрохимическими устройствами нового поколения. Одними из наиболее перспективных наполнителей, для придания полимерному материалу электропроводящих свойств, являются углеродные наноматериалы, такие как углеродные нанотрубки, графен (как правило, восстановленный оксид графена) и наноглобулярный углерод (высоко электропроводящие сажи). В нашей работе предложены подходы к получению полимерных композиционных материалов с высокой электропроводностью, в качестве наполнителей в которых используются бинарные углерод/углеродные смеси, позволяющие придать материалам уникальные свойства при низком содержании наполнителей в объеме полимерной матрицы. Исследованы системы, наполнитель в которых распределен равномерно по всему объему полимерной матрицы, а также с заведомо неравномерным распределением наполнителей, приводящему к существенно более низкому порогу перколяции.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛЕНОК АСФАЛЬТЕНОВ ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ КАМЕННОУГОЛЬНОГО ПЕКА

С.А. Краснов

Кемеровский государственный университет, Красная ул., 6, Кемерово, Россия
serkrit25@mail.ru

В настоящей работе исследованы процессы структурирования макромолекул гексан-нерастворимых асфальтенов каменноугольного пека с целью получения наноструктурированных углеродных материалов. Асфальтены (β -фракции) гранулированного среднетемпературного каменноугольного пека получали по методике избирательно растворимых групп. Выделенную фракцию гексан-нерастворимых асфальтенов в виде толуольного раствора использовали для получения пленок. Для анализа полученных пленок использовали группу методов: электронную микроскопию (сканирующую (СЭМ) и просвечивающую (ПЭМ)), атомно-силовую микроскопию, эмиссионную спектрометрию, ИК-спектроскопию, термический анализ. Согласно данным ПЭМ в полученных пленках наблюдаются области с упорядоченными слоями аренов. Рентгенофазовый анализ образцов, нагретых до температуры 800 °С, показал, что исследуемые образцы асфальтенов обладают графитоподобной структурой. В дальнейшем планируется на основе пленок асфальтенов получать 2D слои графита.

**ИМПУЛЬСНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ РЕЗИСТИВНЫХ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЙ В КОМПОЗИТНЫХ
МАТЕРИАЛАХ НА ОСНОВЕ ФТОРИРОВАННОГО ГРАФЕНА**

А.И. Иванов¹, И.В. Антонова^{1,2}

¹Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, пр. Лаверентьева 13,
Новосибирск, Россия

²Новосибирский государственный Технический Университет, пр. К.Маркса 20,
Новосибирск, Россия,
aiivanov@isp.nsc.ru

Фторированный графен (ФГ) является наиболее стабильным производным графена, а его уникальные свойства позволяют использовать материал для создания структур на жестких и гибких подложках при комнатной температуре.

В настоящей работе мы рассмотрели резистивные переключения, наблюдаемые для двух типов структур на основе частично фторированного графена: с поливиниловым спиртом (PVA) или наночастиц VO_x (в основном V_2O_5). Были проведены импульсные измерения образцов, установлено, что переключения наблюдаются при длительностях импульсов до 30 нс., а число переключений достигает 10^6 раз (рис.1). Изготовленные структуры показывают, что материалы на основе фторированного графена являются перспективными для создания элементов энергонезависимой памяти в области гибкой и 2D печатной электроники.

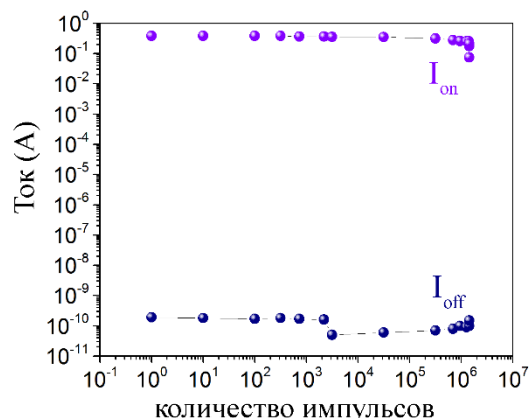


Рис.1. Зависимость эффекта резистивных переключений наблюдаемых для структуры Ag/FG+VO_x/Ag от количества поданных импульсов.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЗОФАЗНОГО ХИМИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ МНОГОСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

В.Л. Кузнецов¹, С.И. Мосеенков¹, А.В. Заворин^{1,2}, Цог-Очир Цэндсүрэн²

¹Институт катализа СО РАН, г. Новосибирск

²Новосибирский государственный университет
zavorin_alexey@mail.ru

Многослойные углеродные нанотрубки (МУНТ) являются одним из основных материалов развивающихся нанотехнологий за счет своих уникальных физико-химических свойств. Основная область применения нанотрубок-композиционные и функциональные материалы (на основе полимерных, оксидных и металлических матриц), которые могут быть использованы в различных областях жизнедеятельности человека, в электрохимических приложениях (производство анодов li-ion аккумуляторов, применение в биоэлектронике – биосенсоры и др.), а также и в качестве адсорбционных материалов.

Одним из возможных практических применений МУНТ является их использование в электрохимических источниках тока. Наиболее перспективными материалами в данной области являются композиты на основе МУНТ с использованием кремния, т.к. ввиду особенностей строения предлагаемых композитов, формируются контакты между каждой частицей кремния и углеродной нанотрубкой, что приводит к увеличению электропроводности и механической прочности композита за счет формирования прочных интерфейсов между индивидуальной частицей кремния и МУНТ, что позволит улучшить эксплуатационные свойства анодного материала: максимально допустимые токи заряда-разряда, емкость и срок службы литий-ионных источников тока.

Целью данной работы являлось исследование процессов газофазной функционализации поверхности МУНТ силаном, в реакторе с псевдооживленным слоем, для формирования композитов МУНТ-Si, МУНТ-Si-C и МУНТ-SiC (получаемых путем термической обработки композитов МУНТ-Si). Такой подход позволяет обеспечить равномерное распределение частиц кремния по поверхности углеродных нанотрубок. В ходе работы варьировали время нанесения силана на различные типы МУНТ. С использованием ИК-спектроскопии диффузного отражения, ПЭМ, РЭМ, РФА и КР-спектроскопии была исследована поверхность и структура получаемых композитов с МУНТ.

ГИБРИДНЫЙ МАТЕРИАЛ УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ/ПОРИСТЫЙ УГЛЕРОД ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ

Е.В. Лобяк¹, В.Р. Кузнецова^{1,2}, Л.Г. Булушева^{1,3}, А.В. Окотруб^{1,3}

¹*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, пр. Лаврентьева, 3, г. Новосибирск, Россия*

²*Новосибирский государственный технический университет, пр. Карла Маркса, 20, г. Новосибирск, Россия*

³*Новосибирский государственный университет, ул. Пирогова, 1, г. Новосибирск, Россия*

Для успешного применения углеродного материала в суперконденсаторах или литий-ионных аккумуляторах материал электрода должен обладать достаточно развитой площадью поверхности с хорошей электропроводностью, доступной для ионов электролита. Использование гибридного материала из пористого углерода, обладающего высокой площадью поверхности, и углеродных нанотрубок (УНТ) с высокой электропроводностью в качестве электродов повышает их электрохимические характеристики. Гибридные материалы были получены двумя методами. Один из них заключается в CCVD-синтезе гибридного материала при динамическом температурном профиле в потоке метан/водород/ацетонитрил. Второй – создание механической смеси из (УНТ) и пористого углерода с разным соотношением компонентов. Гибридные материалы были использованы в качестве электродов для суперконденсаторов, литиевых и натриевых батареек. В работе показано влияние компонентов гибридного материала и количества инкорпорированного азота в структуре материалов на электрохимические свойства электродов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-33-01053.

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УГЛЕРОДНЫХ ТОЧЕК ПОЛУЧЕННЫХ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫМ МЕТОДОМ

А.Е. Томская, М.Н. Егорова, С.А. Смагулова

Северо-Восточный федеральный университет, Якутск

ae.tomskaya@s-vfu.ru

Углеродные точки (УТ) - это частицы нанометрового размера, которые имеют толщину из 1-4 графеновых слоев и обладают функциональными группами на поверхности и на краях. УТ демонстрируют уникальную фотолюминесценцию, которую можно контролировать несколькими путями. Во-первых, спектр излучения фотолюминесценции зависит от размера частиц и от преобладания частиц с конкретным размером. Во-вторых, легирование поверхности N-, B-, S- и Fe- атомами влияет не только на область излучения, но и повышает интенсивность излучения.

В работе продемонстрирован простой синтез двух типов УТ легированных азотом и бором с помощью метода гидротермальной обработки. Дается представление о влиянии прекурсоров синтеза на оптические свойства УТ с помощью исследования спектров поглощения, люминесценции и комбинационного рассеяния (КР). При синтезе УТ были легированы азотом и бором, атомы азота способствуют инжекции электронов, а атомы бора инжектируют дырки в углеродную кристаллическую структуру, изменяя таким образом электронные и транспортные свойства УТ. Полученные УТ имеют кристаллическую структуру с функциональными группами на поверхности и демонстрируют яркую фотолюминесценцию в фиолетово-зеленой области спектра. Анализ спектров КР указывает на то, что полученные УТ имеют структуру неупорядоченного углерода, но также могут быть отнесены к нанокристаллическому графиту.

Полученные результаты полезны для понимания формирования структуры УТ для дальнейшего применения в различных приложениях оптоэлектроники.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ТРАНСПОРТА В ИНДИВИДУАЛЬНЫХ МНОГОСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБКАХ МЕТОДОМ ПРОВОДЯЩЕЙ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

Д.В. Соколов¹, Н.А. Давлеткильдеев^{1,2}, В.В. Болотов^{1,2}, Е.Ю. Мосур^{1,2}

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Омский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, пр. Карла Маркса, 15, Омск, Россия

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, пр. Мира, 55а, Омск, Россия

classicsub-zero@mail.ru

Метод проводящей атомно-силовой микроскопии (П-АСМ) широко применяется для исследования электрической проводимости индивидуальных нанобъектов. Использование П-АСМ для изучения поперечной проводимости углеродных нанотрубок (УНТ) описано в литературе применительно к одностенным УНТ [1]. В настоящей работе представлены результаты измерения с помощью П-АСМ поперечного сопротивления индивидуальных многостенных УНТ, имеющих различную величину проводимости благодаря легированию донорной примесью азота.

Многостенные УНТ, нелегированные и легированные азотом синтезировались методом CVD в результате пиролиза толуола и ацетонитрила, соответственно. Измерения ВАХ индивидуальных нанотрубок (по пять нанотрубок каждого вида с диаметрами от 18 до 39 нм) проводились методом П-АСМ в диапазоне напряжений – 50 до + 50 мВ и при силе прижатия зонда 20 нН. На основе полученных линейных ВАХ определялось поперечное электрическое сопротивление и рассчитывалось удельное сопротивление индивидуальных УНТ. Среднее значение поперечного сопротивления легированных азотом УНТ получилось почти в 1,7 раза меньше его значения для нелегированных нанотрубок. Однако средние значения удельного поперечного сопротивления для обоих типов УНТ оказались практически равны. Более низкое сопротивление легированных УНТ обусловлено ростом концентрации свободных электронов, поставляемых в зону проводимости атомами азота, что подтверждается меньшей величиной работы выхода электронов из легированных азотом нанотрубок по сравнению с нелегированными [2]. Близость значений удельного сопротивления нелегированных и легированных УНТ объясняется краткостью пути протекания тока в поперечном направлении нанотрубки.

[1] Baldacchini C., Cannistraro S. Conductive atomic force microscopy investigation of transverse current across metallic and semiconducting single-walled carbon nanotubes, Appl. Phys. Lett. 91, 122103 (2007).

[2] Davletkildееv N.A., Stetsko D.V., Bolotov V.V., Stenkin Y.A., Korusenko P.M., Nesov S.N. Determination of work function in the individual carbon nanotubes using electrostatic force microscopy, Material Letters. 161, 534 (2015).

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ПОРИСТЫХ НАНОУГЛЕРОДНЫХ СТРУКТУР, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ SLS-ПЕЧАТИ

Г.В. Горохов¹, Д.С. Быченко¹, П.П. Кужир¹, J. Macutkevici², H. Xia³, M. Lavorgna⁴

¹НИИ Ядерных проблем БГУ, ул. Бобруйская 11, Минск, Беларусь

²Вильнюсский университет, Вильнюс, Литва

³State Key Laboratory of Polymer Materials and Engineering, Sichuan University, Chengdu, China

⁴Institute of Polymer, Composites and Biomedical Materials, IPCB-CNR, Naples, Italy

glebgorokhov@yandex.ru

Композиционные материалы на основе наноуглеродных включений перспективны в качестве поглотителей электромагнитного излучения¹, однако процесс получения таких материалов и изделий на их основе характеризуется высокой технологической сложностью². Промышленное же производство требует применения существующих легко масштабируемых методик обработки. В данном исследовании рассматриваются электромагнитные свойства пористых углеродных наноструктур, полученных с помощью 3D-печати методом SLS (Selective laser

sintering, выборочное лазерное спекание). В качестве материала для печати использовался композит на основе многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ) и графеновых нанопластинок (ГНП). Демонстрируется эффективность полученных структур в качестве поглотителей электромагнитного излучения микроволнового диапазона.

[1] Bychanok, D. et al. Prog. Electromagn. Res. M 53, 9–16 (2017).

[2] Zhan, Y. et al. Chem. Eng. J. 344, 184–193 (2018).

ГИБРИДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ MoS_2 /ПЕРФОРИРОВАННЫЙ ГРАФЕН ДЛЯ ЭФФЕКТИВНЫХ Li-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

С.Г. Столярова¹, В.О. Коротеев², А.В. Окотруб^{1,3}, Л.Г. Булушева^{1,3}

¹Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, г. Новосибирск

²CIC nanoGUNE, г. Сан-Себастьян, Испания

³Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск

stolyarova@niic.nsc.ru

Композиты MoS_2/C являются наиболее перспективными в качестве анодного материала для литий-ионных аккумуляторов (ЛИА) из-за высокой ёмкости сульфидной компоненты и его стабилизации на поверхности проводящей углеродной компоненты (С). Стабильность работы электрода MoS_2/C сильно зависит от межфазного контакта в композите. Для обеспечения взаимодействия между углеродной и MoS_2 компонентами был использован перфорированный графен (HG) с активными атомами на краях дефектов для формирования MoS_2 и прикладывания внешней нагрузки, температуры и давления, во время синтеза гибрида. На первом этапе было проведено осаждение MoS_3 на поверхность HG, и далее гибрид отжигали в лабораторном прессе при приложении усилия. Приложение давления способствует формированию малослойного MoS_2 , по сравнению с образцами, синтезированными без давления. Испытания композитов в литий-ионных полуячейках выявили более высокие значения удельной ёмкости до 900 мАч/г при плотности тока 0.1 А г⁻¹ гибридов MoS_2/HG , синтезированных под давлением. Морфология композита предотвращает разрушение MoS_2 во время разрядки зарядки электродов. Долговременное тестирование композита в ЛИА продемонстрировало стабильность работы материала до 1000 циклов.

Работа была выполнена при поддержке РФФ (Грант 16-13-00016).

КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ МАТРИЦЫ ПОЛИБЕНЗИМИДАЗОЛА С НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫМИ УГЛЕРОДНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ: ЭЛЕКТРОННЫЙ ТРАНСПОРТ И ТЕНЗОРЕЗИСТИВНЫЙ ЭФФЕКТ

В.А. Кузнецов¹, Б.Ч. Холхоев², В.Г. Макотченко¹, А.А. Федоров³, А.И. Романенко¹,

Е.Ю. Герасимов⁴, В.Ф. Бурдуковский², В.Е. Федоров¹

¹Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, пр. Лаврентьева, 3, Новосибирск

²Байкальский институт природопользования СО РАН, ул. Сахьяновой, 6, г. Улан-Удэ

³Новосибирский государственный технический университет, пр. К. Марска, 20, Новосибирск

⁴Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, пр. Лаврентьева, 5, Новосибирск, Россия
vitalii.a.kuznetsov@gmail.com

Развитие электроники неразрывно связано с исследованиями физических принципов создания новых и совершенствования традиционных преобразователей физических величин – сенсоров. В последнее время всё больший интерес исследователей привлекают полимерные композиционные материалы (ПКМ), как перспективные чувствительные элементы датчиков механических величин в области гибкой электроники. Интерес к ПКМ обусловлен тем, что в области гибкой электроники классические полупроводники и металлы уже не могут быть использованы. Среди прочих полимеров по механическим и температурным характеристикам выделяется полибензимидазол. В рамках данной работы изучены композиты на

основе диэлектрической матрицы полибензимидазола с углеродными наноструктурированными наполнителями – графитовыми нанопластинами и малослойным графеном. Исследование электронного транспорта показало, что основной вклад в электросопротивление образцов вносят диэлектрические полимерные прослойки, а механизм проводимости – туннелирование между полуметаллическими частицами наполнителя. Физическая природа наблюдаемого тензорезистивного эффекта заключается в изменении электросопротивления туннельных контактов при деформации образцов.

СВЕРХКОРОТКИЙ ЦИКЛ СИНТЕЗА ГРАФЕНА МЕТОДОМ CVD

Е.А. Губерна¹, М.Г. Рыбин^{1,2}, Е.Д. Образцова^{1,2}

¹МФТИ, Институтский пер., 9, Долгопрудный, Московская обл., Россия

²ИОФ РАН, ул. Вавилова, д. 38, к. 5, Москва, Россия

gubik123@gmail.com

Проведены эксперименты по синтезу методом химического газофазного осаждения (CVD) графена на медной фольге в камере с холодными стенками, и выявлена повторяемая зависимость качества пленки от параметров синтеза. Критериями оценки качества являются: поверхностное сопротивление, однородность пленки, КРС-спектр и размер зерна. Наиболее важными параметрами при синтезе CVD-графена являются: температура, концентрация прекурсора и время синтеза. Выявлены параметры синтеза, при которых происходит образование моно-зерен графена, срастание их в единую пленку и образование второго слоя. Подобраны параметры, позволяющие проводить полный цикл синтеза за 7 минут, получая при этом монослой графена высокого качества.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-32-60203 мол_а_дк

[1] High Quality Monolayer Graphene Synthesized by Resistive Heating Cold Wall Chemical Vapor Deposition *Advanced Materials* 11-12 (2015).

[2] Chemical Vapor Deposition of Graphene Single Crystals *Acc. Chem. Res.* 47, 1327–1337 (2014).

[3] Rapid CVD growth of millimetre-sized single crystal graphene using a cold-wall reactor *2D Mater.* 2, 014006 (2015).

КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ, УПРОЧНЕННЫЙ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ

А.А. Леонов, В.Д. Пайгин, Х. Лю, Ц. Ли

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, пр. Ленина 30, г. Томск, Россия

laa91@tpu.ru

В настоящей работе исследуются керамические композиты на основе тетрагонального (3YSZ) и кубического (8YSZ) диоксида циркония, упрочненные одностенными углеродными нанотрубками (ОУНТ) «Tuball» (OCSiAl, Россия). Композиты получены электроимпульсным плазменным спеканием (spark plasma sintering). Относительное содержание ОУНТ в композитах составляло 0,1; 0,5 и 1,0 мас.%. В настоящей работе анализировались физико-механические свойства (относительная плотность (ρ), микротвердость (H_V) и трещиностойкость (K_{IC})) полученных композиционных образцов (табл. 1). Из таблицы 1 видно, что увеличение относительного содержания ОУНТ в композитах приводит к снижению, как относительной плотности, так и микротвердости. Объясняется это тем, что при более высокой концентрации ОУНТ, сохраняются пучки/агломераты нанотрубок, которые препятствуют уплотнению и, которые представляют собой области в объеме материала с потенциально низкой твердостью. Однако с максимальным содержанием ОУНТ (1 мас.%) наблюдается увеличение трещино-

стойкости на 22 % и на 38 % для композитов 3YSZ и 8YSZ, соответственно. В таких структурах реализуются различные механизмы упрочнения, включая разрыв и вытягивание нанотрубок, соединение трещин в композите «мостиками».

Содержание ОУНТ, мас. %	ρ , %		H_V , ГПа		K_{IC} , МПа*м ^{1/2}	
	3YSZ	8YSZ	3YSZ	8YSZ	3YSZ	8YSZ
0	98,26	99,01	14,10	14,27	6,32	2,49
0,1	99,92	98,20	13,80	14,00	6,42	2,73
0,5	99,17	98,01	13,25	12,95	7,13	2,94
1,0	95,50	97,95	11,61	11,99	7,73	3,44

ФОТОЭЛЕКТРОННАЯ ДИФРАКЦИЯ И ГОЛОГРАФИЯ ИНТЕРФЕЙСОВ С 2D МАТЕРИАЛАМИ

А.В. Тарасов, Д.Ю. Усачев

Санкт-Петербургский государственный университет, Университетская набережная 7–9, Санкт-Петербург, Россия
artem.tarasov@spbu.ru

Рентгеновская фотоэлектронная дифракция (РФД) и голография (РФГ) в настоящее время представляют собой интенсивно развивающиеся спектроскопические методики структурного анализа поверхности твердых тел. Их ключевым преимуществом перед классическими микроскопическими методиками является то, что, помимо исследования структуры верхнего атомарного слоя поверхности, они также дают возможность изучения строения и взаимного расположения более глубоких слоев монокристаллов. Так, например, методы РФД и РФГ оказываются весьма эффективными для структурного анализа интерфейсов с 2D материалами [1].

В данной работе продемонстрировано применение нового прецизионного подхода в рамках метода РФГ на примере структурного анализа интерфейсов в системах графен/Co(0001), графен/Ni(111) и h-BN/Co(0001). Также методы РФД и РФГ были использованы для комплексного анализа систем с графеном, легированным бором: В-графен/Co(0001) и В-графен/Ni(111). Определенные структурные параметры находятся в хорошем согласии с результатами расчетов, проведенных методом функционала плотности. Кроме того, доказано преимущественное допирование бором одной из двух подрешеток графена на подложках кобальта и никеля.

Полученные результаты важны для дальнейшей разработки способов применения графена и h-BN на подложках магнитных металлов в спинтронике. Разработанный в рамках данной работы новый прецизионный подход РФГ может быть также использован для анализа широкого круга интерфейсов в различных системах.

Работа выполнена при поддержке СПбГУ (грант 11.65.42.2017) и РФФ (18-73-00197)

[1] M.V. Kuznetsov et al. // J. Phys. Soc. Jpn. 87, 6 (2018).

СТАБИЛИЗАЦИЯ ЖИДКИХ МИКРО- И НАНОКАПЕЛЬ ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ НА ПОВЕРХНОСТИ ФОСФОР-ДОПИРОВАННОГО ВОССТАНОВЛЕННОГО ОКСИДА ГРАФЕНА

А.С. Галушко, Е.Г. Гордеев, В.П. Анаников

Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН, Москва, Россия
galushkoas@ioc.ac.ru

Впервые продемонстрирован способ одностадийного получения стабильных микро- и наночастиц фосфорной кислоты на поверхности фосфор-допированного восстановленного оксида графена (P-Gr). Исходным реагентом выступает фосфоргетероциклическое соединение – 1,2,3,4,5-пентафенилфосфол оксид, который при действии СВЧ-излучения в течение

3-х минут претерпевает параллельно 2 типа превращения: полное окисление с образованием высших оксидов и частичное окисление-сшивание с образованием P-Gr. Микрофотографии капель, размазанных иглой наноманипулятора, показаны на рисунке 1.

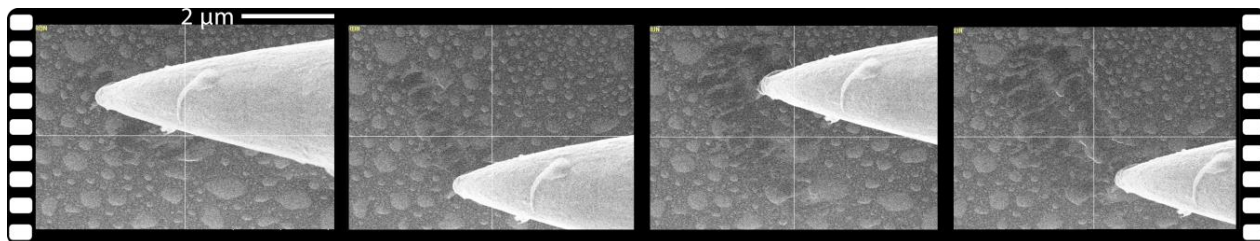


Рис. 1. Микрофотографии стабильных микро- и нанокapель фосфорной кислоты на поверхности фосфор-допированного восстановленного оксида графена при физическом воздействии иглой наноманипулятора.

[1] Galushko A. S., Gordeev E. G., Ananikov V. P., "High-Performance Synthesis of Phosphorus-Doped Graphene Materials and Stabilization of Phosphoric Micro- and Nanodroplets", *Langmuir* 34, 15739-15748 (2018).

ПОДВИЖНОСТЬ АТОМОВ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ В ГРАФЕНОВЫХ СИСТЕМАХ С ГЕОМЕТРИЧЕСКИМИ ОГРАНИЧЕНИЯМИ

Р.Д. Ямалетдинов

Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, пр. Лаврентьева 3, Новосибирск, Россия

yamaletdinov@niic.nsc.ru

Одним из факторов, лимитирующих скорость зарядки/разрядки литий-ионных батарей и схожих систем, является низкая подвижность атомов щелочных металлов в анодном материале. Использование высокоразвитых графеновых структур в качестве анода позволяет улучшить эту и ряд других характеристик. Подвижность атомов в графеновых или иных интеркалатах определяется рядом характеристик, связанных с колебанием кристаллической решетки. В случае же высокоразвитых графеновых материалов, матрицей выступают небольшие малослойные структуры, многие из которых имеют высокую степень деформации.

Данная работа посвящена теоретическому изучению влияния искажения геометрии на подвижность атомов щелочных металлов в графеновых структурах. Методом молекулярной динамики были определены характеристики диффузии лития и натрия для ряда одно- и двухслойных структур с различными геометрическими ограничениями. В зависимости от характера ограничения наблюдалось изменение спектра колебаний решетки, что для двухслойных структур приводило к значительной анизотропии подвижности атомов. Данный результат может быть полезен для разработки усовершенствованных батарей и схожих систем.

ГАШЕНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ГРАФЕНОВОЙ СУСПЕНЗИИ В РЕЗУЛЬТАТЕ АДСОРБЦИИ УГЛЕВОДОРОДОВ

Ф.К. Шабиев¹, Р.Ф. Сафаргалиев^{1,2}, Ю.В. Пахаруков^{1,2}

¹ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет», ул. Володарского, д.6, г. Тюмень

²ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», ул. Володарского, д.38, г. Тюмень
faridshab@mail.ru

Тонкие пленки на границе раздела могут быть получены на основе амфифильных соединений. Так, в монослое Гиббса наблюдается фазовые переходы в разных жидкостях [1]. В работе [2] такой фазовой границей выступает графеновая суспензия – n-октан (C₈H₁₈). В случае формирования пленки на границе графеновой суспензии и предельных углеводородов, на ее структуру будут влиять большое количество факторов. В частности, благодаря сомоассоциации и гидратации на поверхности раздела ожидается формирование различных наноструктур. При этом, наиболее ожидаемая планарная ориентация комплексов углеводородов

будет неравномерная, так как агрегаты будут подстраиваться под распределения π -электронной плотности дефектных молекул графена.

Сформированная пленка молекул углеводородов и графена может менять поверхностные свойства графеновой суспензии с распределением локальной плотности молекул в монослое. По сути, это динамический процесс с изменяющейся морфологией. Известно, что де-

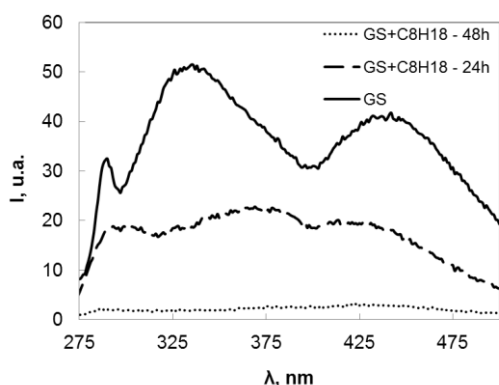


Рис. 1 Фотолюминесценция графеновой суспензии GS (при возбуждении 270 нм)

фекты в молекулах графена вызывают фотолюминесценцию в УФ диапазоне [3]. Однако, взаимодействие углеводородных молекул с донорно-акцепторными парами дефектов графена, может перевести излучательную фотолюминесценцию в безызлучательную, что приведет к гашению люминесценции. В данной работе рассматривается гашение люминесценции графеновой суспензии (GS) при структурировании межфазной границы с предельным углеводородом на примере *n*-октана (C_8H_{18}). На рисунке 1 приведены спектры излучения графеновой суспензии при возбуждении УФ излучением 270 нм. На рисунке 1 наблюдается гашение люминесценции при взаимодействии GS с *n*-октаном.

[1] А.М.Тихонов. Письма в ЖЭТФ 106(11), 706 – 711 (2017).

[2] Ю.В. Пахаруков, Ф.К. Шабиев, Б.В. Григорьев, Р.Ф. Сафаргалиев, И.Р. Поточняк. ПМТФ 60(1), 37–40 (2019).

[3] B. D. Pan, J. Zhang, Z. Li, M. Wu. Adv. Mater. 22, 734–738 (2010).

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА ГРАФЕН/ПОЛУМЕТАЛЛИЧЕСКИЙ СПЛАВ ГЕЙСЛЕРА

К.В. Ларионов¹, S. Li², З.И. Попов¹, Т. Watanabe², Y. Yamada², К. Amemiya³, S. Entani², П.В. Аврамов^{2,4}, Y. Sakuraba⁵, Н. Naramoto², П.Б. Сорокин¹, S. Sakai²

¹Национальный исследовательский технологический университет МИСиС, Ленинский проспект, 4, Москва, Россия

²National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology, 1233 Watanuki, Takasaki, Japan

³Institute of Materials Structure Science, High Energy Accelerator Research Organization, 1-1 Oho, Tsukuba, Japan

⁴College of Natural Sciences, Kyungpook National University, Daegu, Republic of Korea

⁵National Institute for Materials Science, 1-2-1 Sengen, Tsukuba, Japan

konstantin.larionov@phystech.edu

В настоящее время в мире ведутся активные поиски и исследования перспективных 2D наноматериалов для использования в спинтронных устройствах. При этом основным компонентом таких устройств, в частности, может стать многослойная структура, состоящая, из чередующихся ферромагнитных и немагнитных проводящих 2D пленок [1].

В настоящей работе представлено комплексное исследование структуры и свойств гетеросоединения на основе монослоя графена (SLG) на поверхности полуметаллического ферромагнитного сплава Гейслера $Co_2FeGe_{1/2}Ga_{1/2}$ (CFGG), впервые синтезированного в группе проф. S. Sakai (Такасаки, Япония). Так, при помощи оптимизированного CVD метода и технологии магнетронного распыления удалось получить монослой графена высокого качества на монокристаллической подложке CFGG.

Проведенные XAS измерения показали слабую величину связывания графена с подложкой, что свидетельствует о потенциальном сохранении его электронных свойств в отсутствие структурных дефектов. Также XMCD измерения продемонстрировали незначительное изменение магнитных свойств на поверхности ферромагнитного CFGG в сравнение с кристаллом. Дальнейшие детальные расчеты и анализ структуры и свойств границы раздела SLG/CFGG с помощью первопринципных методов подтвердили большую перспективу использования

данного гетеросоединения в качестве элемента наноустройств, работающих по принципу спиновых фильтров. В частности, из анализа спин-разрешенной плотности электронных состояний были продемонстрированы высокое значение спиновой поляризации вблизи уровня Ферми на границе раздела, а также сохранение конуса Дирака для монослоя графена, что позволит наблюдать эффект гигантского магнетосопротивления в соединениях вида C₂FGG/SLG/CFGG.

[1] Chen J.-J. et al. Layer-by-layer assembly of vertically conducting graphene devices // Nature Communications 4(1), 1921 (2013).

НАБЛЮДЕНИЕ И ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗМЕНЕНИЯ АТОМНОЙ СТРУКТУРЫ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ПРИ РАСТЯЖЕНИИ И ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

С.В. Ерохин¹, D.M. Tang^{2,3}, Д.Г. Квашнин^{1,4}, O. Cretu², Y. Nemoto⁵, F. Uesugi⁵, M. Takeguchi⁵, X. Zhou², F.C. Hsia², C. Liu³, N. Kawamoto², M. Mitome², H.M. Cheng³, Y. Bando^{2,7}, П.Б. Сорокин^{1,4}, Д.В. Гольберг^{1,2,6}

¹Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва

²International Center for Materials Nanoarchitectonics (MANA), National Institute for Materials Science (NIMS), Tsukuba, Japan

³Shenyang National Laboratory for Materials Science (SYNL), Institute of Metal Research (IMR), Chinese Academy of Sciences (CAS), Shenyang, China

⁴Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, г. Москва, Россия

⁵Transmission Electron Microscopy Station, National Institute for Materials Science (NIMS), Tsukuba, Japan

⁶Queensland University of Technology (QUT), Brisbane, Australia

⁷University of Wollongong, Wollongong, Australia
sverohin@tisnum.ru

Углеродные нанотрубки (УНТ) с момента открытия привлекли внимание исследователей своими уникальными электронными и механическими свойствами, зависящими от структуры УНТ. Одной из интересных и до сих пор не решённых задач, возникших при исследовании этих объектов, является контроль их атомной геометрии.

Возможным способом изменения хиральности УНТ является их деформация при высоких температурах, которая приводит к пластичному растяжению и изменению атомной структуры. Такое поведение было предсказано ранее [1] и впоследствии подтверждено в эксперименте [2,3], однако измерения хиральности нанотрубок в процессе растяжения не проводилось.

В представленной работе приведены результаты экспериментального исследования в ходе которого было показано изменение угла хиральности многослойной нанотрубки при высокой температуре и растяжении. При этом наблюдалась тенденция, противоположная предсказанной в механизме пластичной деформации [1]. Для объяснения такого поведения УНТ была построена новая теория, учитывающая процесс испарения углеродных димеров, вызывающий появление дислокаций, чьё движение по поверхности нанотрубок приводит к наблюдаемой в эксперименте трансформации структур.

[1] Yakobson, B. I. Appl. Phys. Lett. 72, 918–920 (1998).

[2] Huang, J. Y. et al. Nature 439, 281 (2006).

[3] Huang, J. Y. et al. Phys. Rev. Lett. 98, 185501 (2007).

ФОРМИРОВАНИЕ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ПРОИЗВОДНЫХ ГРАФЕНА С ЗАДАНЫМ СОСТАВОМ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ГРУПП

М.К. Рабчинский¹, С.А. Рыжков¹, М.В. Байдакова^{1,2}, Шнитов В.В.¹, Кириленко Д.А.^{1,2}, Павлов С.И.¹, Чумаков Р.Г.³, Беседина Н.А.⁴ и Вуль А.Я.¹

¹ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Политехническая ул., 26, Санкт-Петербург, Россия

²Университет ИТМО, Кронверкский проспект, 49, Санкт-Петербург, Россия

³НИЦ «Курчатовский Институт», пл. Академика Курчатова, 1, Россия

⁴СПБАУ РАН, ул. Хлопина, 8, Санкт-Петербург, Россия

rabchinskii@mail.ioffe.ru

В данной работе нами представлены результаты исследования трех впервые полученных ФГ: Карбоксилированного (К-си), Карбонилированного (К-ни) и Амнированного (Ам) графена, содержащих заданный тип групп [1-3]. Продемонстрировано, что формирование в процессе синтеза в (К-си) и (К-ни) графене сети наноразмерных отверстий, терминированных функциональными группами, приводит к существенному изменению работы выхода и возникновению новых энергетических состояний в валентной зоне. В то же время, переход к (Ам) графену приводит к существенному росту проводимости и подвижности заряда по сравнению с чистым графеном. Дальнейший анализ картин электронной дифракции также продемонстрировал изменение профиля спектра изгибных фононов в зависимости от типа ФГ. В случае (К-ни) графена наблюдается значительное искажения плоской структуры листа, тогда как в случае (К-си) и (Ам) графенов плоская конфигурация слоев сохраняется, несмотря на перфорированную структуру и присутствие sp^3 -гибридизованных участков графена.

Полученные результаты демонстрируют возможность получения ФГ с заданными электрофизическими свойствами, которые далее могут быть использованы для формирования биосенсоров, газовых сенсоров и суперконденсаторов.

Представленная работа поддержана Российским Фондом Фундаментальных Исследований (проект 18-29-19172). Проведенные эксперименты были выполнены с использованием оборудования Центра Коллективного Пользования «Материаловедение и диагностика в передовых технологиях» на базе ФТИ им. А.Ф. Иоффе и Уникальной Научной Установки «Курчатовский центр синхротронного излучения КИСИ»

[1] A. E. Aleksenskii, S. P. Vul', A. T. Dideikin, V. I. Sakharov, I. T. Serenkov, M. K. Rabchinskii, V.V. Afrosimov. *Nanosyst: Phys., Chem., Math.* (2016) 7, 81–86.

[2] M. K. Rabchinskii, V. V. Shnitov, A.T. Dideikin, A. E. Aleksenskii, S. P. Vul', M. V. Baidakova, I. I. Pronin, D. A. Kirilenko, P. N. Brunkov, J. Weise, and S. L. Molodtsov. *J. Phys. Chem. C* (2016) 120, 28261–28269.

[3] M. K. Rabchinskii, A. T. Dideikin, D. A. Kirilenko, M. V. Baidakova, V. V. Shnitov, F. Roth, S.V.Konyakhin, N. A. Besedina, S. I. Pavlov, R. A. Kuricyn, N. M. Lebedeva, P. N. Brunkov and A.I. Ya. Vul'. *Scientific Reports* (2018), 8, 14154.

АЗОТ-СОДЕРЖАЩИЕ УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ В КАЧЕСТВЕ ЭФФЕКТИВНОГО НОСИТЕЛЯ ДЛЯ СИНТЕЗА СТАБИЛЬНЫХ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ

А.Н. Субоч¹, Д.А. Булушев¹, Д.А. Свинцицкий¹, А.С. Лисицын¹, А.Л. Чувилин², В.И. Соболев¹, О.Ю. Подъячева¹

¹*Институт катализа СО РАН, Лаврентьева, 5, 630090 Новосибирск, Россия*

²*CIC nanoGUNE, Donostia - San Sebastian 20018, Spain*

arina@catalysis.ru

Исследована возможность использования углеродных нанотрубок, допированных азотом (N-УНТ), для получения атомарно-диспергированных гетерогенных катализаторов. На примере палладия показано, что при низких концентрациях металла (<0.8 вес.%) вне зависимости от способа нанесения металла (пропитка или осаждение) весь палладий находится в ионном состоянии и стабилен при нагреве в водороде до 500°C. Высокая стабильность Pd²⁺ определяется его взаимодействием с дефектными фрагментами графенового слоя бамбукоподобных N-УНТ. Предложена модель упорядоченных дефектов в графеновом слое N-УНТ, которые состоят из пиридиноподобных азотов и четырех углеродных вакансий. Продемонстрировано изменение каталитических свойств изолированных ионов палладия по сравнению с металлическими наночастицами в отношении адсорбции СО в широком интервале температур, разложения муравьиной кислоты и гидрирования нитробензола.

Работа поддержана грантом РФФ 17-73-30032.

8 АВГУСТА, ЧЕТВЕРГ

- 9:00-9:30 **О. Язев**
ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ ДЕФЕКТЫ В ГРАФЕНЕ И ДРУГИХ ДВУМЕРНЫХ МАТЕРИАЛАХ
Institute of Physics, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Switzerland
- 9:30-9:50 **А.В. Елецкий**
ЭВОЛЮЦИЯ ПЛАЗМОННОГО ВКЛАДА В СПЕКТР НЕУПРУГИХ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОНОВ В ТЕРМИЧЕСКИ ВОССТАНОВЛЕННОМ ОКСИДЕ ГРАФЕНА
Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва
- 9:50-10:10 **А.С. Сафошкин**
ВОЗБУЖДЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ПОЛЯРИТОНА НА ГРАФЕНОВОЙ СТРУКТУРЕ
Рязанский государственный радиотехнический университет, Рязань
- 10:10-10:30 **Н.Г. Бобенко**
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ РАЗУПОРЯДОЧЕННОГО АВ ГРАФЕНА
Институт физики прочности и материаловедения, Томск
- 11:00-11:20 **П.Б. Сорокин**
ОБРАЗОВАНИЕ 2D АЛМАЗА НА НАНОУРОВНЕ. НОВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Технологический институт сверхтвёрдых и новых углеродных материалов, Москва
- 11:20-11:40 **В.Ю. Качоровский**
РЕЗОНАНСНЫЕ "СУПЕРСТОЛКНОВЕНИЯ" И ПЕРЕНОС ТЕПЛА В ГРАФЕНЕ
*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, С.-Петербурга
Институт технологии, Карлсруэ, Германия
Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау, Москва*
- 11:40-11:55 **А.Н. Еняшин**
ОСОБЕННОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ И СВОЙСТВА ЭНДОЭДРАЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ НАНОТРУБОК С РАЗНЫМИ ГАЛОГЕНИДАМИ МЕТАЛЛОВ: МД И DFT МОДЕЛИРОВАНИЕ
Институт химии твёрдого тела УрО РАН, Екатеринбург
- 11:55-12:10 **А.Н. Пономарев**
ЭЛЕКТРОННАЯ СТРУКТУРА МНОГОСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБ, СОДЕРЖАЩИХ ДЕФЕКТЫ И ПРИМЕСИ
Институт физики прочности и материаловедения, Томск
- 12:10-12:25 **Д.Г. Квашнин**
ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЛЕКТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ГАЗОВ В ПОРАХ ДВУХСЛОЙНОГО ГРАФЕНА
Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва

- 14:00-14:20 **А.Е. Галашев**
КОМПЬЮТЕРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ СИЛИЦЕНА В
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ
*Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН,
Екатеринбург*
- 14:20-14:40 **И.В. Антонова**
ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ Bi_2Se_3 НА ГРАФЕНЕ: МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ И
СВОЙСТВА
*Институт физики полупроводников им. М.В. Ржанова СО РАН
Новосибирский государственный университет*
- 14:40-14:55 **Д.В. Красников**
ТЕРМОФОРЕТИЧЕСКОЕ ОСАЖДЕНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК ОДНОСЛОЙ-
НЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК С ЗАДАННОЙ ОРИЕНТАЦИЕЙ
Сколковский институт науки и технологий, Москва
- 14:55-15:10 **В.О. Коротеев**
ХИМИЧЕСКОЕ ОСАЖДЕНИЕ ИЗ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ МОНОСЛОЕВ
ДИСУЛЬФИДА РЕНИЯ
SIC nanoGUNE, Сан-Себастьян, Испания
- 15:10-15:25 **С.И. Мосеенков**
ФОРМИРОВАНИЕ КОМПОЗИТОВ С РЕГУЛИРУЕМЫМ
ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ МНОГОСЛОЙНЫХ
УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК
Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, Новосибирск
- 15:25-15:40 **В.Л. Катков**
ПАРАМЕТРЫ ТУННЕЛЬНОЙ СВЯЗИ В ДВУМЕРНЫХ МАТЕРИАЛАХ
*Лаборатория теоретической физики им. Боголюбова, Объединенный
институт ядерных исследований, Дубна*
- 16:15-16:30 **А.Р. Чолач**
ОСОБЕННОСТИ ПРОТЯЖЕННЫХ СПЕКТРОВ РФЭС МАТЕРИАЛОВ НА
ОСНОВЕ ГРАФИТА
Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, Новосибирск
- 16:30-16:45 **Л.Г. Булушева**
ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФТОРИРОВАННОГО ГРАФИТА
*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН,
Новосибирск*
- 16:45-17:00 **Р.А. Шутилов**
ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИА-
ЛОВ НА ОСНОВЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ ОКСИДОВ, МОДИФИЦИРОВАН-
НЫХ МНОГОСЛОЙНЫМИ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ
Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, Новосибирск
- 17:00-17:15 **М.А. Казакова**
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА НОВЫХ ПОЛИМЕРНЫХ
КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МНОГОСЛОЙНЫХ
УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК, МОДИФИЦИРОВАННЫХ
НАНОЧАСТИЦАМИ КОБАЛЬТА
Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, Новосибирск
- 17:15-17:30 **И.С. Меренков**
ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ И СВОЙСТВА
ДОПИРОВАННЫХ УГЛЕРОДОМ СЛОЕВ h -BN
*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН,
Новосибирск*

ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ ДЕФЕКТЫ В ГРАФЕНЕ И ДРУГИХ ДВУМЕРНЫХ МАТЕРИАЛАХ

О.В. Язев

*Institute of Physics, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), CH-1015 Lausanne, Switzerland**oleg.yazyev@epfl.ch*

В моем докладе я представлю обобщающий обзор теоретических работ по двум обширным классам структурного беспорядка в решетке графена – топологическим и точечным дефектам. Первый класс включает в себя дислокации и межзёренные границы которые неизбежны в любых достаточно больших образцах этого материала. В частности, я расскажу про то как описывать структуру таких дефектов, и каким образом они влияют на электронные транспортные свойства графена [1-4]. Что касается точечных дефектов, наиболее интересными являются вакансии и дефекты хемисорбции, которые реализуют интересный сценарий магнитного упорядочения [5-7]. Если время позволит, я также расскажу о совсем свежей находке магнитного упорядочения в родственном двумерном материале, PtSe₂, как следствие присутствия поверхностных вакансий [8].

[1] O. V. Yazyev and S. G. Louie, Phys. Rev. B 81, 195420 (2010).

[2] Y. Tison *et al.*, Nano Lett. 14, 6382 (2014).

[3] O. V. Yazyev and S. G. Louie, Nature Materials 9, 806 (2010).

[4] O. V. Yazyev and Y. P. Chen, Nature Nanotechnology 9, 755 (2014).

[5] O. V. Yazyev and L. Helm, Phys. Rev. B 75, 125408 (2007).

[6] O. V. Yazyev, Phys. Rev. Lett. 101, 037203 (2008).

[7] O. V. Yazyev, Rep. Prog. Phys. 73, 056501 (2010).

[8] A. Avsar, A. Ciarrocchi, M. Pizzochero, D. Unuchek, O. V. Yazyev, and A. Kis, Nature Nanotechnology, *in press* (2019).

ЭВОЛЮЦИЯ ПЛАЗМОННОГО ВКЛАДА В СПЕКТР НЕУПРУГИХ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОНОВ В ТЕРМИЧЕСКИ ВОССТАНОВЛЕННОМ ОКСИДЕ ГРАФЕНАВ.П. Афанасьев¹, Г.С. Бочаров¹, А.С. Грязев¹, А.В. Елецкий¹, П.С. Капля², О.Ю. Ридзель¹¹НИУ «МЭИ», Москва, Россия²Яндекс, Москва, Россия*eletskii@mail.ru*

Методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) получены и обработаны спектры неупругих потерь электронов в термически восстановленном оксиде графена (ОГ). В качестве исходных образцов использованы бумагоподобные пленки ОГ толщиной 30 – 50 мкм, подвергнутые термообработке при различных температурах. Рост температуры термообработки сопровождается удалением радикалов кислорода и др. с поверхности образцов и увеличением электропроводности материала. Резкий скачок электропроводности (на 5 порядков величины) наблюдается при изменении температуры термообработки в диапазоне между 150 и 170 °С. Анализ спектров РФЭС, выполненный с учетом процессов многократного рассеяния электронов, показывает, что по мере восстановления и увеличения электропроводности образцов ОГ возрастает вклад процессов взаимодействия вторичных электронов с плазмонными колебаниями в решетке ОГ в спектр неупругого рассеяния электронов. Получена и проанализирована зависимость плазмонного вклада от температуры термообработки. Обсуждается возможность использования восстановленного оксида графена в экспериментах по усилению сигнала комбинационного рассеяния света.

Работа выполнена в рамках Госзадания №3.1414.2017/ПЧ и Госзадания № 3.7131.2017/ВУ.

ВОЗБУЖДЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ПОЛЯРИТОНА НА ГРАФЕНОВОЙ СТРУКТУРЕ

А.Б. Дюбуа¹, А.А. Иванова¹, Е.С. Куликова¹, С.И. Кучерявый¹, А.С. Сафошкин¹,
А. Г. Шабаловская¹

¹Рязанский государственный радиотехнический университет, ул. Гагарина, д. 59/1,
Рязань

²Обнинский институт атомной энергетики НИЯУМ МИФИ, Студенческий городок, 1,
Обнинск, Калужская обл.
safoshkin.a.s@rsreu.ru

В работе произведен расчет процесса отражения гауссова пучка с возбуждением поверхностных и объемных электромагнитных полей в структуре, где уже при относительно небольших напряженностях электромагнитного поля нелинейность в диэлектрической проницаемости будет сказываться на процессе отражения от нелинейной структуры. Последняя представляет собой четыре области, характеризующиеся диэлектрическими проницаемостями ϵ_1 - вакуум, $\epsilon_2(\omega)$ - металл, $\epsilon_3(\omega)$ - тонкая графеновая пленка, ϵ_4 - диэлектрик (рис. 1).

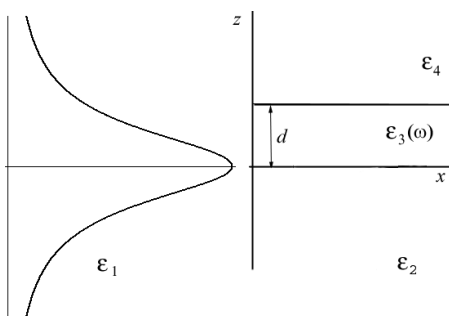


Рис. 1. Схема дифракции при нормальном падении ЭМ волны на графеновую структуру.

Уравнения Максвелла $i\omega\mathbf{H} = \text{rot}\mathbf{E}$ и $i\omega\epsilon_l(\omega)\mathbf{E} = -\text{rot}\mathbf{H}$ в декартовой системе в совокупности с гармоническим характером распространения каждой моды вдоль оси X $\{\mathbf{H}(x,z), \mathbf{E}(x,z)\} = \{\mathbf{H}(z), \mathbf{E}(z)\} \exp(ik_x x)$ связывают компоненты мод ТМ — поляризованного излучения (E_x, E_z, H_y) [1]. Огибающие моды $H(z)$, а также волновое число k_x определяются из волнового уравнения и граничных условий. Волновое уравнение вытекает из уравнений Максвелла и дает зависимость поля $H_y(z)$ для каждого из квадрантов: с граничными условиями, которые полностью определяют структуру каждой моды при $x < 0$ и $x > 0$.

[1] Бухенский К.В., Дюбуа А.Б., Конюхов А.Н., Кучерявый С.И., Машнина С.Н., Сафошкин А.С. — Особенности решения интегро-дифференциальных уравнений Максвелла и возбуждения поверхностного поляритона на планарной структуре, Журнал Средневолжского математического общества 19 (3), 73–81 (2017).

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ТЕПЛОЕМОСТЬ РАЗУПОРЯДОЧЕННОГО АВ ГРАФЕНА

Н.Г. Бобенко¹, В.Е. Егорушкин¹, Н.В. Мельникова², А.Н. Пономарев¹, А.А. Белослудцева^{1,2},
Л.Д. Баркалов¹

¹ИФПМ СО РАН, Академический 2/4, Томск, Россия

²СФТИ ТГУ, Пл. Новособорная, 1 Томск, Россия

³ТУСУР пр. Ленина, 40, Томск, Россия

⁴ИТМО, пр. Кронверкский, д. 49, Санкт-Петербург, Россия
nlitvin86@mail.ru

Теплоемкость разупорядоченного двухслойного АВ графена была исследована в рамках модели разупорядоченных материалов (с ближним порядком). С использованием методов квантовой теории поля (метод температурных функций Грина) в приближении электронного времени релаксации было получено аналитическое выражение для вклада в теплоемкость от многократного упругого рассеяния электронов на областях ближнего порядка в области низких температур (до 100К). Полученное выражение включает в себя зависимости от температуры, концентрации и конфигурации примеси. При этом атомы примеси могут располагаться как в верхнем слое, так и над слоем или между двумя слоями графена. Проведенное исследование позволило предсказать низкотемпературное поведение электронного вклада в теплоемкость двухслойного АВ графена и проанализировать, каким образом концентрация примеси, местоположение и тип конфигурации дефектов в структуре двухслойного АВ графена влияют на эту зависимость.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и администрации Томской области в рамках научного проекта № 18-42-703019 p_мол_а, а также в рамках проекта ИФПМ СО РАН III.23.2.8.

ОБРАЗОВАНИЕ 2D АЛМАЗА НА НАНОУРОВНЕ. НОВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

П.Б. Сорокин^{1,2}, С.В. Ерохин^{1,2}, Б.И. Якобсон³

¹Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва

²Технологический институт сверхтвёрдых и новых углеродных материалов, г. Москва

³Rice University, Houston, Texas, USA

pbsorokin@misis.ru

Контроль структуры сверхтонких плёнок на атомном уровне является одной из наиболее интересных задач быстроразвивающейся области квазидвумерных наноструктур. Одним из интересных объектов данной области являются сверхтонкие алмазные плёнки или диаманты, которые могут быть получены путём соединения слоёв многослойного графена. Ранее мы изучили процесс образования диаманта из графеновой плёнки посредством химической адсорбции на её поверхность сторонних атомов, таких как водород или фтор. Мы назвали это химически индуцированным фазовым переходом [1]. Несмотря на успешное экспериментальное подтверждение наших предсказаний [2–5], многие вопросы остаются без ответа, например: «почему образование алмазной наноплёнки наблюдалось только для случая бислоя?», «Какой механизм фазового перехода графен-диамант?», «Какая окончательная структура получаемой алмазной плёнки и как она зависит от внешних условий?». Все они требуют расширения во многом упрощённой теории и описания процесса зарождения алмазной фазы.

В данном докладе я представлю наши последние результаты в области теории образования сверхтонких алмазных плёнок [6]. Мы описали процесс алмазообразования на наномасштабе и оценили барьер нуклеации новой фазы. Мы показали, что алмазообразование в значительной степени зависит от количества графеновых слоёв, их упаковки, типа и расположения адатомов, а также от внешних параметров, что может быть полезно для проведения соответствующих экспериментов.

[1] Kvashnin A.G. et al. Phase diagram of quasi-two-dimensional carbon // *Nano Lett.* 14(2), 676–681 (2014).

[2] Martins L.G.P. et al. Raman evidence for pressure-induced formation of diamondene // *Nat. Commun.* 8(1), 96 (2017).

[3] Barboza A.P.M. et al. Compression-Induced Modification of Boron Nitride Layers: A Conductive Two-Dimensional BN Compound // *ACS Nano.* 12(6), 5866–5872 (2018).

[4] Gao Y. et al. Ultrahard carbon film from epitaxial two-layer graphene // *Nat. Nanotechnol.* 13, 133–138 (2018).

[5] Bakharev P.V. et al. Chemically Induced Transformation of CVD-Grown Bilayer Graphene into Single Layer Diamond // *ArXiv190102131 Cond-Mat.* (2019).

[6] Erohin S.V. et al. Nanothermodynamics of diamond films with atomic thickness // *послано в печать.* 2019.

РЕЗОНАНСНЫЕ "СУПЕРСТОЛКНОВЕНИЯ" И ПЕРЕНОС ТЕПЛА В ГРАФЕНЕК.С. Тихонов^{1,2}, И.В. Горный^{1,2,3}, В.Ю. Качоровский^{1,2,3}, А.Д. Мирлин^{1,2}¹*Институт технологии г. Карлсруэ, 76021 Карлсруэ, Германия*²*Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау, Москва, Россия*³*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия**kachor.valentin@gmail.com*

Графен – очень хороший проводник и перспективный материал, обладающий необычными свойствами. В настоящее время научились изготавливать уникально чистые образцы графена, которые содержат всего несколько примесей. Эти примеси можно непосредственно обнаружить, так как из-за них происходит локальное нагревание материала. Недавно были опубликованы результаты сверхточных экспериментальных измерений [1], где удалось измерить локальный нагрев, обусловленный оставшимися примесями. В настоящей работе мы теоретически описали этот эффект. Было изучено влияние сильных (резонансных) примесей на распределение температуры в связанной электрон-фононной системе в неупорядоченном графене. Представлен подробный анализ электрон-фононного теплообмена с помощью таких примесей за счет так называемых резонансных «суперстолкновений», т.е. комбинированных столкновений, в которых одновременно задействованы примеси и фононы. Оказывается, что именно в процессе таких комбинированных столкновений электрон отдает очень большую энергию кристаллической решетке, из-за чего и происходит разогрев образца. Именно потому, что такое столкновение чрезвычайно эффективно в смысле отдачи энергии, оно и называется суперстолкновением». Мы нашли пространственные профили температуры фононов и электронов вокруг рассеивателя при возбуждении электрическим полем. Наши результаты хорошо согласуются с экспериментальными данными, представленными в [1].

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекте 17-02-00217 А) и Фонда Фонда развития теоретической физики и математики «БАЗИС»

[1] Halbertal D., Ben Shalom M., Uri A., Bagani K., Meltzer A.Y., Marcus I., Myasoedov Y., Birkbeck J., Levitov L.S., Geim A.K., Zeldov E. «Imaging resonant dissipation from individual atomic defects in graphene» *Science*, 358, 1303-1306 (2017)

ОСОБЕННОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ И СВОЙСТВА ЭНДОЭДРАЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ НАНОТРУБОК С РАЗНЫМИ ГАЛОГЕНИДАМИ МЕТАЛЛОВ: МД И DFT МОДЕЛИРОВАНИЕА.Н. Еняшин¹, F.L. Deepak², P.M.F.J. Costa³¹*Институт химии твердого тела УрО РАН, ул. Первомайская, 91, г. Екатеринбург*²*International Iberian Nanotechnology Laboratory, Avenida Mestre Jose Veiga, Braga 4715-330, Portugal*³*King Abdullah University of Science and Technology, Thuwal 23955-6900, Saudi Arabia*
enyashin@ihim.uran.ru

Характеризуясь двумя типами поверхности, углеродные нанотрубки (УНТ) являются перспективными компонентами композитных материалов, как экзо-, так и эндоэдрального типа. Полости УНТ могут служить реакторами для образования новых морфологий известных соединений или стабилизировать структуры соединений с необычной стехиометрией в составе эндоэдрального композита. В презентации даётся сравнительный обзор характеристик капиллярного наполнения одностенных УНТ расплавами PbI_2 , $TiCl_4$, $BiCl_3$ и GdI_3 , изучавшихся методами классического молекулярно-динамического моделирования, устанавливается их связь со структурой расплава. Приводятся данные трансмиссионной электронной микроскопии, свидетельствующие об изменениях и сложности фазового состава композитов УНТ с GdI_3 , устойчивость и электронные свойства которых предсказываются с помощью DFT расчётов.

ЭЛЕКТРОННАЯ СТРУКТУРА МНОГОСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБ, СОДЕРЖАЩИХ ДЕФЕКТЫ И ПРИМЕСИ

А.Н. Пономарев¹, П.М. Корусенко², С.Н. Несов², Н.Г. Бобенко¹, В.Е. Егорушкин¹, Н.В. Мельникова³

¹ ИФПМ СО РАН, Академический 2/4, Томск, Россия

² ОНЦ СО РАН, пр. Карла Маркса, 15, Омск, Россия

³ СФТИ ТГУ, Пл. Новособорная 1, Томск, Россия

alex@ispms.ru

Исследовано изменение плотности электронных состояний (ПЭС) вблизи уровня Ферми при легировании, ионной и термической обработках. На основании экспериментальных данных о плотности электронных состояний вблизи уровня Ферми построена модель зонной структуры для МУНТ содержащих различные виды дефектов. В рамках метода температурных функций Грина получено выражение для вклада в ПЭС вблизи уровня Ферми для УНТ большого диаметра с примесями и структурными дефектами (типа ближнего порядка). В рамках теории ближнего порядка и метода температурных функций Грина обнаруженные особенности плотности электронных состояний объясняются изменением типа ближнего порядка, связанного с перестройкой типа упорядочение-расслоение вследствие легирования, ионных и термических обработок. В случае легирования МУНТ азотом наблюдается расслоение, то есть атомы примеси будут расположены во второй координационной сфере (замещение). Облучение N-МУНТ ионами аргона приводит к появлению дополнительных функциональных групп, то есть происходит упорядочение (атомы примеси располагаются в первой координационной зоне).

Исследование выполнено в рамках проекта ИФПМ СО РАН III.23.2.8.

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЛЕКТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ГАЗОВ В ПОРАХ ДВУХСЛОЙНОГО ГРАФЕНА

Д.Г. Квашнин^{1,3}, Е.В. Суханова², П.Б. Сорокин^{2,3}

¹ Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, ул. Косыгина 4, Москва

² Технологический институт сверхтвердых и новых углеродных материалов, ул. Центральная 7а, Москва, Троицк

³ Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Ленинский проспект 4, Москва

dgkvashnin@phystech.edu

Важными проблемами в современном мире являются загрязнение воздуха и дефицит пресной воды. Основными загрязняющими веществами являются нефтепродукты, фенолы, легкоокисляемые органические вещества, азот, фосфор, а также соли тяжелых металлов, которые представляют немалую угрозу особенно в случае сильного падения уровня воды, а также в случае выброса в воздух.

В связи с чем, поиск и создание новых эффективных фильтров и очистительных сооружений имеет первоочередную важность. Большое количество научных исследований, посвященное контролируемому созданию отверстий в графене говорит о важности потенциального применения таких наноструктур.

Двухслойный графен с нанопорами, таким образом, является многообещающим материалом для применения в качестве селективных фильтрующих элементов.

В представленной работе разработана теоретическая модель для всестороннего исследования двухслойного графена с нанопорами в качестве фильтрующего элемента для селективного пропускания молекул газа.

Модель включает в себя многоуровневое описание взаимодействий между нанопорой двухслойного графена и полярными молекулами, в которой впервые учтено взаимодействие между флексоэлектрическими дипольными моментами на искривленных границах нанопор и полярными молекулами. Проведено многомасштабное моделирование прохождения молекул углекислого CO₂, угарного газа СО и паров воды Н₂О через нанопоры двухслойного графена.

Оценена проникающая способность. Показано значительное влияние флексоэлектрических дипольных моментов на проникающую способность полярных молекул.
Работа была выполнена при поддержке гранта РФФИ №17-02-01095.

КОМПЬЮТЕРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ СИЛИЦЕНА В ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ

А.Е. Галашев, К.А. Иваничкина

*Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН, Екатеринбург, Россия
galashev@ihte.uran.ru*

Способность кремния удерживать большое количество лития ставит силицен в ряд наиболее перспективных материалов для анода литий-ионной батареи (ЛИБ). Увеличение скорости движения ионов лития через силицен достигается созданием в нем вакансионных дефектов. Методом молекулярной динамики исследовано влияние таких дефектов на заполнение плоского силицевого канала литием и на процесс деинтеркаляции лития. Канал из силицевых листов, параллельных плоскости xy , размещался на подложках Ag(111), Cu(111), Ni(111) и Al(111). Наибольшее число интеркалированных ионов Li^+ в случаях совершенного силицена и силицена с моновакансиями получено при размещении канала на подложке Ni(111). Подложка Cu(111) более предпочтительна, если стенки силицевого канала имеют бивакансии.

Рассчитаны коэффициенты самодиффузии атомов Li в ходе заполнения каналов литием и при его деинтеркаляции. Структура лития в канале изучалась методом статистической геометрии. Частичное упорядочение в упаковке лития достигалось из-за расположения части атомов Li напротив центров гексагональных Si-ячеек. Заполнение канала литием дает наибольшее растягивающее напряжение σ_{zx} в листах силицена на медной подложке. Напряжение σ_{zz} не уступает по величине растягивающим напряжениям σ_{zx} и σ_{zy} . Для однослойного силицена, не связанного с подложкой, модуль, характеризующий сопротивление силицена сдвигающей силе, составляет порядка 0.01 модуля Юнга.

Для получения механически прочного силицевого анода ЛИБ дефекты в силицене должны быть представлены моно- или в крайнем случае бивакансиями. Одной из лучших металлических подложек для силицевого анода ЛИБ является подложка Ni(111).

ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ Bi_2Se_3 НА ГРАФЕНЕ: МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ И СВОЙСТВА

И.В. Антонова^{1,2,3}, Н.А. Небогатикова^{1,2}, Р.А. Сотс¹, И.А.Котин¹, М.Г.Рыбин^{4,5},
Е.Д. Образцова^{4,5}, К. А. Кох^{2,6}

¹ *Институт физики полупроводников им. М.В. Ржанова СО РАН, Новосибирск, Россия*

² *Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия*

³ *Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия*

⁴ *Институт Общей Физики РАН, Москва, ул. Вавилова д.38, Россия*

⁵ *Московский Физико-технический Институт (ГосУниверситет), Москва, Россия*

⁶ *Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск, Россия*

antonova@isp.nsc.ru

Двумерные пленки Bi_2Se_3 и гетероструктуры с их участием привлекают большое внимание благодаря сильному спин-орбитальному взаимодействию в данном материале, что приводит к возможности создавать гибкие устройства спинтроники. В данной работе представлены результаты роста методом газотранспортного осаждения тонких пленок Bi_2Se_3 на графене (G) для получения гетероструктур $Bi_2Se_3/G/SiO_2$. Показано, что структура получаемых пленок Bi_2Se_3 зависит от типа подложки (например, G/SiO₂, SiO₂ или G/Cu, Cu) и позволяет получать от монослойных пленок (толщина 1 нм), до слоев толщиной несколько десятков или сотен нанометров, а также структуры с наностолбиками и вискерами Bi_2Se_3 . Для сравнения путем электрохимического отслоения тонких пленок (минимальная толщина пленок Bi_2Se_3 - 4 нм) от монокристалла Bi_2Se_3 и переноса их на структуры G/SiO₂ были созданы ван-дер-Ваальсовы гетероструктуры $Bi_2Se_3/G/SiO_2$. Во всех случаях исследована структура полученных пле-

нок, их проводимость и подвижность носителей в зависимости от толщины слоя Bi_2Se_3 . Обнаружено увеличение проводимости и подвижности носителей в структурах по сравнению с этими параметрами в отдельных слоях графена и Bi_2Se_3 , а также появление для гетероструктур характеристик с отрицательным дифференциальным сопротивлением.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-29-12094.

ТЕРМОФОРЕТИЧЕСКОЕ ОСАЖДЕНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК ОДНОСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК С ЗАДАННОЙ ОРИЕНТАЦИЕЙ

Д.В. Красников¹, А.Н. Марунченко¹, Э.М. Хабусев¹, С.А. Романов¹, Е.Г. Гильштейн¹, А.Г. Насибулин^{1,2}

¹Сколковский Институт науки и технологий, ул. Нобеля, 3, Москва, Россия

²Университет Аальто, 15100, FI-00076 Эспоо, Финляндия

d.krasnikov@skoltech.ru

В настоящей работе представлена новая и масштабируемая технология для нанесения тонких пленок однослойных углеродных нанотрубок с заданным пространственным распределением. Методика основана на термофоретическом осаждении аэрозоля из углеродных нанотрубок. Такие пленки представляют большой интерес для нано- и оптоэлектроники на основе углеродных нанотрубок, обеспечивая одностадийную, неразрушающую и чистую технологию осаждения по сравнению с методами, разработанными к настоящему моменту: фильтрация суспензий углеродных нанотрубок, ориентация в электрическое поле, CVD-синтез отдельных углеродных нанотрубок на подложке определенной формы и т. д. Мы использовали комплексный набор методов (дифференциальный анализ подвижности аэрозольных частиц, УФ-видимая-ИК-спектроскопия, изученная комбинационная спектроскопия, ПЭМ, РЭМ, измерения проводимости), чтобы выявить общие особенности механизма термофореза нанотрубок, ориентации углеродных нанотрубок в потоке и на поверхности. Показано, что полученные пленки обладают значительной анизотропией и изучены в области применения тонкопленочных электродов и транзисторов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 17-19-01787.

ХИМИЧЕСКОЕ ОСАЖДЕНИЕ ИЗ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ МОНОСЛОЕВ ДИСУЛЬФИДА РЕНИЯ

В.О. Коротеев, М. Knez

CIC nanoGUNE, Сан-Себастьян, Испания

v.koroteev@nanogune.eu

Дихалькогениды переходных металлов активно исследуются в связи возможностью получения атомно тонких слоёв с широким диапазоном заданных свойств, определяемых составом и взаимным расположением атомов в слое. Самым перспективным методом синтеза подобных монослоёв с точки зрения применения и возможностей изменения состава является химическое осаждение из газовой фазы. В последние годы большой прогресс в данной области был достигнут благодаря использованию добавок галогенидов щелочных металлов, повышающих летучесть металлического прекурсора [1]. Данный метод позволяет получать разнообразные дихалькогениды и их комбинации.

Отдельно среди дихалькогенидов переходных металлов выделяется дисульфид рения, в связи с образованием связи Re-Re атомы металла образуют цепочки в слое, что приводит к анизотропии проводимости и зависимости оптических свойств от поляризации падающего света [2].

В данной работе будут показаны возможности метода химического осаждения из газовой фазы применительно к получению монослоёв дисульфида рения и продемонстрирована анизотропия свойств монослоёв.

[1] J. Zhou, et al. A library of atomically thin metal chalcogenides, *Nature* 556(7701), 355 (2018).

[2] M. Rahman, K. Davey and S.-Z. Qiao, Advent of 2D Rhenium Disulfide (ReS_2): Fundamentals to Applications, *Advanced Functional Materials* 27(10), 1606129 (2017).

ФОРМИРОВАНИЕ КОМПОЗИТОВ С РЕГУЛИРУЕМЫМ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ МНОГОСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

С.И. Мосеенков¹, Г.В. Голубцов¹, А.В. Заворин¹, В.Л. Кузнецов¹, Е.Ю. Коровин², К.В. Дорожкин², В.И. Суляев²

¹Институт катализа СО РАН, пр. Лаврентьева 5, Новосибирск, Россия

²Томский государственный университет, пр. Ленина 36, Томск, Россия
moseenkov@gmail.com

Углеродные наноструктурированные материалы, такие как нанотрубки, графен и углерод луковичной структуры, благодаря своим уникальным физико-химическим свойствам, являются одним из самых перспективных направлений развивающихся нанотехнологий. Ключевым свойством этих материалов, и в частности, многослойных углеродных нанотрубок (МУНТ), является высокая электропроводность, благодаря чему на основе полимерных и керамических матрицы возможно получение токопроводящих композитных материалов для использования в различных практических приложениях. Благодаря высокой электропроводности индивидуальных МУНТ, проводимость композитов, получаемых на их основе, как правило, определяется характером распределения нанотрубок в матрице, количеством и типом контактов между индивидуальными нанотрубками. Таким образом, задача получения композитов с регулируемыми электрофизическими свойствами, сводится к формированию оптимального соотношения между агрегатами и индивидуальными МУНТ и обеспечения между ними контактов требуемого типа.

В данной работе проведено исследование влияния условий получения композитов МУНТ/ПММА, получаемых путем коагуляционного соосаждения на структуру распределения индивидуальных нанотрубок и их агрегатов в объеме композита, определены типы контактов, возникающих при этом, и установлено влияние контактов между нанотрубками на механизм электропроводности композитов при нормальных условиях. Проведено определение электрофизических свойств композитов в высокочастотном диапазоне ЭМ излучений.

Работа проведена в рамках выполнения проекта РНФ 17-73-20293.

ПАРАМЕТРЫ ТУННЕЛЬНОЙ СВЯЗИ В ДВУМЕРНЫХ МАТЕРИАЛАХ

В.Л. Катков

Лаборатория теоретической физики им. Боголюбова, Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

В рамках подхода Бардина и с помощью орбитальных волновых функции, полученных с помощью алгоритма Германа-Скиллмана, были вычислены межатомные матричные элементы, характеризующие туннельное взаимодействие, для всех пар атомов из набора В, С, N, Si, P, S, Ti, V, Se, Mo, Te и W. Данный набор является базовым для формирования современных 2D материалов. В широком интервале расстояний эти значения были аппроксимированы простыми функциями с малым набором параметров. Результаты были представлены в соответствующих таблицах. Данные величины крайне важны для описания туннельных явлений в низкоразмерных материалах с использованием приближения сильной связи.

[1] Katkov V.L. and Lobanov D.A., Hopping parameters for tunnel coupling in 2D materials, Journal of Computational Electronics 18(1), 138-145 (2018).

ОСОБЕННОСТИ ПРОТЯЖЕННЫХ СПЕКТРОВ РФЭС МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ГРАФИТА

А.Р. Чолач¹, И.П. Асанов^{2,3}, А.А. Брылякова¹, А.В. Калинин¹, М.Ю. Смирнов¹

¹ИК СО РАН, пр. Лаврентьева 5, Новосибирск, Россия

²ИНХ СО РАН, пр. Лаврентьева 3, Новосибирск, Россия

³Новосибирский государственный университет, ул. Пирогова 2, Новосибирск, Россия
cholach@catalysis.ru

Методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) исследованы образцы: высоко-ориентированный пиролитический графит (ВОПГ), фторированный ВОПГ (C_2F) и интеркалят C_2F+Br_2 состава $C_2FBr_{0.15}$. В рамках теории функционала плотности проведены встречные расчеты плотности состояний в элементарных ячейках с разной конфигурацией C_{24} , $C_{24}F_{12}$ и $C_{24}F_{12}Br_2$. Потери энергии в спектрах РФЭС всех образцов интерпретированы расчетными shake-up и shake-off переходами валентных электронов. Спектр $Br3d$ $C_2FBr_{0.15}$ согласуется с теорией при наличии двух состояний внедренного брома – молекулярного и в виде цепочки. Геометрические параметры ячеек близки к литературным структурным данным, полученным для аналогичных образцов. Расчетные переходы попадают в область потерь энергии $C1s$ и $F1s$ фотоэлектронов, вне зависимости от расположения атомов F в ячейках $C_{24}F_{12}Br_2$ [1]. Аналогичные исследования Ag фольги и ячейки Ag_{20} показали, что протяженный спектр $Ag3d$ отвечает переходам электронов в валентной зоне, а обработка Ag фольги в NO_2 при $250^\circ C$ не приводит к ее окислению. Протяженный спектр РФЭС, в сочетании с расчетами плотности состояний в аналогичной элементарной ячейке, является источником дополнительной информации о геометрии, порядке и характере связей между атомами образца.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант №17-03-00049), ЦКП Сибирский Суперкомпьютерный Центр ИВМиМГ СО РАН и в рамках государственного задания ИК СО РАН (проект №АААА-А17-117041710078-1).

[1] Cholach A.R., Asanov I.P., Bryliakova A.A., Okotrub A.V. Phys. Chem. Chem. Phys. 19, 15842 (2017).

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФТОРИРОВАННОГО ГРАФИТА

Л.Г. Булушева, Д.В. Пинаков, Г.Н. Чехова, И.П. Асанов, А.В. Окотруб

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт неорганической химии им. А.В. Николаева, пр. Лаврентьева, 3, г. Новосибирск, РФ
bul@niic.nsc.ru

Методы низкотемпературного фторирования графита позволяют получать окрашенные соединения состава C_2F_x ($0.5 \leq x \leq 1$). В этом случае в слоях фторграфитовой матрицы сохраняются участки изолированных сопряженных областей различной формы и размеров, которые обладают высокой люминесцентной способностью. Варьируя степень фторирования можно изменять электронные и оптические свойства этих слоистых соединений.

В настоящей работе мы представляем исследование электронной структуры и оптических свойств фторированного графита C_2F_x с $x=0.7, 0.8, 0.9$. Методы рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии и рентгеновской спектроскопии поглощения выявили наличие в слоях соединений графеновых участков, изолированных друг от друга цепочками атомов фтора. Обнаружено, что повышение степени фторирования графита приводит к возрастанию интенсивности люминесценции и сдвигу оптических полос в сторону больших энергий. Из сопоставления экспериментальных спектров со спектрами, рассчитанными методом DFT, сделано заключение, что полосы в длинноволновой части оптического спектра соответствуют большим областям π -электронной системы.

Работа проводилась при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект №18-29-19073.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ ОКСИДОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ МНОГОСЛОЙНЫМИ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИР.А. Шутилов¹, В.Л. Кузнецов^{1,2}, С.И. Мосеенков¹, Г.П. Карагедов³¹Институт катализа СО РАН, пр. Лаврентьева 5, Новосибирск, Россия²Новосибирский государственный университет, ул. Пирогова 1, Новосибирск, Россия³ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, ул. Кутателадзе 18, Новосибирск, Россия

shutilov@catalysis.ru

Анализ современного состояния исследований показал, что создание прочных, электропроводящих и вакуумноплотных керамических материалов на основе оксидов, модифицированных многослойными углеродными нанотрубками (МУНТ) является актуальной задачей. В данной работе представлены результаты по разработке подходов для создания вакуумноплотной токопроводящей керамики на основе Al_2O_3 , модифицированной МУНТ. Керамики такого типа представляют интерес для разработки элементов и устройств для вакуумной электроники, а также перспективны для создания компонентов новых функциональных материалов для различного рода специальных приложений, где требуется более высокая электрическая проводимость [1-3]. Для успешного решения поставленной задачи в работе использовали высокодисперсные порошки $\alpha-Al_2O_3$ с узким распределением размеров исходных частиц (~100 нм). Кроме этого использовали подходы, позволяющие избежать агломерации вводимых МУНТ при их распределении по поверхности наноразмерных частиц оксида алюминия, что достигалось за счет размола МУНТ, функционализации и их диспергирования и стабилизации с использованием ПАВ. На основании подробного анализа литературы были выбраны два наиболее перспективных типа ПАВ: ионогенный - додецилсульфат натрия (ДДС) и неионогенный – Triton X-100 (ТХ-100). Установлено, что при консолидации смесей нанодисперсного порошка $\alpha-Al_2O_3$ и МУНТ, стабилизированных с помощью ПАВ, методами холодного изостатического прессования с последующим спеканием методом горячего изостатического прессования удается получать композиты с высокой плотностью (~ 99 %) и со значениями проводимости в широком диапазоне от 10^{-12} до 10^{-1} См/м. Показано, что практически во всех исследуемых образцах композитов МУНТ- Al_2O_3 , полученных смешением суспензий МУНТ, стабилизированных ПАВ, и порошка $\alpha-Al_2O_3$ наблюдается достаточно равномерное распределение углеродных нанотрубок по поверхности частиц Al_2O_3 . При прочих равных условиях композиты, полученные смешением порошка $\alpha-Al_2O_3$ и МУНТ с ТХ-100 в водном растворе, демонстрируют наиболее высокую проводимость. Показано, что наиболее высокими показателями вакуумной плотности обладают композиционные керамические материалы, полученные при использовании ПАВ и МУНТ с оптимальными геометрическими и морфологическими параметрами, в которых достигается наибольшая дисперсность углеродных нанотрубок, стабилизированных ПАВ, что обусловлено высокой степенью использования МУНТ и снижением количества и размеров агломератов.

[1]Huttel E. Materials for accelerator vacuum systems // Cern Accelerator School Vacuum Technology, Proceedings. 99 (5), 237-253 (1999).

[2] Saito Y., Naito F., Kubota C., Meigo S., Fujimori H., Ogiwara N., Kamiya J., Kinsho M., Kabeya Z., Kubo T., Shimamoto M., Sato Y., Takeda Y., Uota M., Hori Y. Material and surface processing in J-PARC vacuum system // Vacuum. 86(7), 817-821 (2012).

[3] Lamba O. S., Nangru S. C., Joshi L. M., Sharma A., Singh V. V. P., Gupta N. C. Choice of alumina ceramics for 5MW pulsed power klystron // Indian Journal of Engineering and Materials Sciences. 7(5-6), 443-445 (2000).

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА НОВЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МНОГОСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК, МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОЧАСТИЦАМИ КОБАЛЬТА

М.А. Казакова^{1,2}, Е.Ю. Коровин³, Н.В. Семиколонова¹, В.А. Журавлев³, В.Л. Кузнецов¹, М.А. Мацько¹, В.И. Захаров¹, В.И. Суслев³

¹*Институт катализа СО РАН, Новосибирск, Россия*

²*Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия*

³*Томский государственный университет, Томск, Россия*

mas@catalysis.ru

Разработка новых композитных материалов на основе широко используемых полимеров и многослойных углеродных нанотрубок (МУНТ) является одним из перспективных направлений современного материаловедения. 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. 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. Создание подобных «тройных композитов», открывает целый спектр возможностей по получению легких и эластичных материалов, эффективно взаимодействующих с электромагнитным излучением в диапазоне частот 4-16 ГГц в зависимости от состава и толщины образца.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-32-60046 мол_а_дж

ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ДОПИРОВАННЫХ УГЛЕРОДОМ СЛОЕВ h-BN

И.С. Меренков, М.Л. Косинова

Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск,

пр. Лаврентьева 3, Россия

merenkov@niic.nsc.ru

Размерность, ориентация и химическая модификация нанослоев гексагонального нитрида бора (h-BN) являются перспективными инструментами по созданию и управлению их уникальными свойствами для различных приложений. Однако реализация низкотемпературного синтеза нанослоев h-BN с контролируемой ориентацией и составом до сих пор является нерешенной проблемой. В этом докладе будет представлен подход, позволяющий реализовать низкотемпературный синтез допированных углеродом наностенок h-BN (БННСт) с различной ориентацией, морфологией и составом. Данный подход объединяет плазменную активацию и борорганические соединения как исходные вещества в процессах химического осаждения из газовой фазы. БННСт могут быть получены как с лабиринтной, так и с волнистой морфологиями. Простой и эффективный контроль морфологического типа БННСт может быть осуществлен с помощью температуры осаждения. Концентрация атомов углерода, образующих графеновые домены в решетке h-BN, успешно контролировалась соотношением борорганического соединения и аммиака в исходной газовой смеси. Будет представлен предполагаемый механизм роста наностенок h-BN, демонстрирующий влияние атомов углерода и объясняющий разницу в морфологии и структуре наностенок. Будет продемонстрировано влияние структуры и состава БННСт на термическую стабильность, люминесценцию и цитотоксические свойства. Будут также обсуждаться перспективы дальнейших исследований и применения допированных углеродом наностенок h-BN.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Новосибирской области в рамках научного проекта № 18-43-543003 р_мол_а.

9 АВГУСТА, ПЯТНИЦА

- 9:10-9:30 **О.В. Кибис**
ОПТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ЭЛЕКТРОННЫХ СОСТОЯНИЙ
В 3D ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ИЗОЛЯТОРАХ
*Новосибирский государственный технический университет,
Новосибирск*
- 9:30-10:00 **В.А. Быков**
ИССЛЕДОВАНИЕ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДАМИ
СКАНИРУЮЩЕЙ ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ И СПЕКТРОСКОПИИ
ВЫСОКОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ
Группа компаний НТ-МДТ Спектрум Инструментс, Москва
- 10:00-10:30 **А.Т. Дидейкин**
ОКСИД ГРАФЕНА И ЕГО МЕСТО В СЕМЕЙСТВЕ ГРАФЕНОВЫХ
МАТЕРИАЛОВ
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, С.-Петербурга
- 11:00-11:20 **G.E. Fedorov**
TUNABLE GRAPHENE BASED PLASMONIC INTERFEROMETER
AS A TERAHERTZ RADIATION DETECTOR
Moscow Institute of Physics and Technology (State University), Moscow
- 11:20-11:40 **О.Е. Терещенко**
ГРАФЕНОПОДОБНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
*Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН,
Новосибирск*
- 11:40-12:00 **H. Song**
GRAPHENE-WRAPPED NATURAL SPHERICAL GRAPHITE AS ANODE
MATERIAL FOR LITHIUM-ION BATTERIES
*State Key Laboratory of Chemical Resources Engineering, Beijing Key
Laboratory of Electrochemical Process and Technology for Materials, Beijing
University of Chemical Technology, Beijing 100029, P. R. China*
- 12:00-12:20 **И.П. Асанов**
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРОЕНИЯ И ЭЛЕКТРОННОЙ СТРУКТУРЫ
МАЛОСЛОЙНЫХ ФТОРИДОВ ГРАФЕНА
*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН,
Новосибирск*
- 14:00-14:20 **Б.П. Тарасов**
ГРАФЕНОПОДОБНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ВОДОРОДНОГО
АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ
Институт проблем химической физики РАН, Черноголовка
- 14:20-14:40 **Д.А. Булушев**
СТАБИЛИЗАЦИЯ ЗОЛОТА НА ПОРИСТОМ УГЛЕРОДЕ, ПРИМЕНЕНИЕ В
КАТАЛИЗЕ
Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, Новосибирск

- 14:40-14:55 **В.Н. Калиниченко**
КАТОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ГИБРИДНЫХ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ
НА ОСНОВЕ ОЗОНИРОВАННОЙ ВОССТАНОВЛЕННОЙ ОКИСИ
ГРАФЕНА
*Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН
Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, ООО "Конгран",
Москва*
- 14:55-15:10 **И.А. Комаров**
СВЯЗЫВАНИЕ КОРОТКИХ ДНК-ОЛИГОНУКЛЕОТИДОВ С
ПОВЕРХНОСТЬЮ ВОССТАНОВЛЕННОГО ОКСИДА ГРАФЕНА ДЛЯ
СОЗДАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ
*Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана, Москва*
- 15:10-15:25 **В.И. Сысоев**
ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СЕНСОРНОГО ОТКЛИКА ПЛЕНОК
ФТОРИРОВАННОГО ГРАФЕНА ОТ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТАВА
*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН,
Новосибирск, Россия
Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия*
- 15:25-15:40 **А.А. Володин**
УГЛЕРОД-МЕТАЛЛОГИДРИДНЫЕ И УГЛЕРОД-ГИДРОКСИДНЫЕ
КОМПОЗИТЫ ДЛЯ Ni-MH ИСТОЧНИКОВ ТОКА
Институт проблем химической физики РАН, г. Черноголовка, Россия
- 15:40-15:55 **С. Н. Смирнов**
ПРОТОН СЕЛЕКТИВНЫЕ МЕМБРАНЫ НА ОСНОВЕ 2D-МАТЕРИАЛОВ
New Mexico State University, USA
- 15:55-16:15 **ЗАКРЫТИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ КОФЕРЕНЦИИ**

ОПТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ЭЛЕКТРОННЫХ СОСТОЯНИЙ В 3D ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ИЗОЛЯТОРАХ

О.В. Кибис

*Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия
oleg.kibis@nstu.ru*

На основе недавно разработанной модели оптико-электронных характеристик трехмерных (3D) топологических изоляторов [1–3] развита теория, описывающая оптический контроль (Floquet engineering) электронных состояний на их поверхности. Из проведенного анализа следует, в частности, что облучение поверхности бесщелевых полупроводниковых материалов электромагнитной волной приводит к появлению топологических электронных состояний, возникающих из-за перемешивания состояний валентной зоны и зоны проводимости полем волны. Эти состояния лежат вблизи центра зоны Бриллюэна и имеют дираковскую линейную дисперсию, характерную для топологических состояний. Помимо этого, то же самое облучение создает энергетическую щель (запрещенную зону) между валентной зоной и зоной проводимости бесщелевого полупроводника. Как следствие, возникает топологический фазовый переход бесщелевого полупроводника в состояние топологического изолятора, индуцированный светом. Показано, что порожденные светом топологические электронные состояния качественно отличаются от обычных поверхностных состояний, существующих в бесщелевом полупроводнике в отсутствие облучения. Структура найденных электронных состояний изучена аналитическими и численными методами в широком диапазоне их параметров. Исследовано также влияние света на спиновую динамику топологических электронных состояний. В частности, показано, что облучение приводит к подавлению спинового тока через поверхностные топологические состояния, что может найти применение в спинтронике.

[1] O. Kyriienko, O. V. Kibis, I. A. Shelykh, Phys. Rev. B 99, 115411 (2019).

[2] O. V. Kibis, O. Kyriineko, I. A. Shelykh, New J. Phys. 21, in press (2019).

[3] D. Yudin, O. V. Kibis, I. A. Shelykh, New J. Phys. 18, 103014 (2016).

ИССЛЕДОВАНИЕ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДАМИ СКАНИРУЮЩЕЙ ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ И СПЕКТРОСКОПИИ ВЫСОКОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ

В.А. Быков

Группа компаний НТ-МДТ Спектрум Инструментс, Москва

Быков Виктор Александрович - профессор, доктор технических наук, основатель бренда НТ-МДТ и почетный президент компании "НТ-МДТ Спектрум Инструментс", президент Нанотехнологического общества России

Материалы доклада будут представлены во время конференции.

ОКСИД ГРАФЕНА И ЕГО МЕСТО В СЕМЕЙСТВЕ ГРАФЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.Т. Дидейкин, А.Я. Вуль

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, С.-Петербург

Оксид графена является полезным и перспективным исходным материалом для применения на основе графена в электронике, оптике, химии, аккумулировании энергии и биологии. В начале он рассматривался как первый шаг простого и дешевого способа получения однослойных и многослойных графеновых пленок и объемных структур. Дальнейшие исследования выявили, однако, существенное несовершенство структуры графена, получаемого восстановлением из оксида, связанное с дефектами исходного графита и неполнотой восстановления. Кроме того, размер графеновых листов, полученных путем восстановления пленок оксида графена, не может превышать нескольких сотен микрон, что также связано с целостностью слоев графена внутри исходного графита.

Тем не менее результаты недавних исследований продемонстрировали большое количество уникальных химических, оптических и электронных свойств оксида графена, которые позволяют рассматривать его как самостоятельный наноматериал, с широчайшей областью применения. В целом он представляет собой гигантскую органическую молекулу, содержащую двумерную углеродную сетку. В отличие от обычного графена он предоставляет широкий спектр химических методов для присоединения различных функциональных групп к его поверхности и управления его оптической прозрачностью, электрической и теплопроводностью.

Разумеется, восстановленный оксид графена не может в некоторых областях заменить графен, получаемый CVD методом или разложением поверхности карбида кремния. Поэтому наиболее перспективные направления использования оксида графена связаны с его принципиальным отличием от графена. Частицы химически модифицированного оксида графена легко образуют устойчивые суспензии в множестве растворителей и могут быть введены в структуру полимерных композитных материалов с управляемыми механическими, электрическими и оптическими свойствами. Разработанные в последнее время методы получения производных оксида графена, насыщенных карбоксильными группами, открывают новые особенно привлекательные области применения в дружественных к окружающей среде технологиях, включая хранение энергии и утилизацию ядерных отходов.

TUNABLE GRAPHENE BASED PLASMONIC INTERFEROMETER AS A TERAHERTZ RADIATION DETECTOR

G.E.Fedorov¹, D. Svintsov¹, D. Bandurin^{1,2}, I. Gayduchenko³, G. Goltsman³

¹*Moscow Institute of Physics and Technology (State University), Russia*

²*School of Physics, University of Manchester, United Kingdom*

³*Physics Department, Moscow State University of Education (MSPU), Russian Federation*
gefedorov@mail.ru

Plasmons, collective oscillations of electron systems, can efficiently couple light and electric current, and thus facilitate developing many optoelectronic devices. Despite considerable effort, it has proven challenging to implement plasmonic devices operating at terahertz frequencies. With lowering the operation frequency down to the THz domain, momentum relaxation rate has to be below the plasmon frequency, which, in turn, requires ultra-high electron mobility. The material capable to meet this challenge is graphene that has been proved to support long-lived electrically tunable plasmons.

Here we report on plasmon-assisted resonant detection of terahertz radiation by antenna-coupled graphene transistors that act as both plasmonic Fabry-Perot cavities and rectifying elements. We demonstrate this long-sought resonant regime [1] using field effect transistors (FETs) based on high-quality van der Waals heterostructures. In particular, we employ graphene encapsulated between hexagonal boron nitride (hBN) crystals which have been shown to provide the cleanest environment for long-lived graphene plasmons [2-4]. Exploiting the gate-tunability of plasmon velocity,

we switch our detectors between more than 10 resonant modes, and use this functionality to measure plasmon wavelength and lifetime [5].

- [1] Dyakonov, M. & Shur, M. Detection, mixing, and frequency multiplication of terahertz radiation by two-dimensional electronic fluid. *IEEE Trans. Electron Devices* 43, 380–387 (1996).
- [2] Woessner, A. et al. Highly confined low-loss plasmons in graphene-boron nitride heterostructures. *Nat. Mater.* 14, 421–425 (2015).
- [3] Alonso-González, P. et al. Acoustic terahertz graphene plasmons revealed by photocurrent nanoscopy. *Nat. Nanotechnol.* 12, 31–36 (2016).
- [4] Ni, G. et al. Fundamental limits to graphene plasmonics. *Nature* 557, 530–533 (2018).
- [5] D. Bandurin, *et al.*, Resonant Terahertz Detection Using Graphene Plasmons, *Nature Communications*, 9, 5392 (2018)

ГРАФЕНОПОДОБНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В.А. Голяшов^{1,2}, О.Е.Терещенко^{1,2}

¹ИФП СО РАН, пр. Лаврентьева, 13, Новосибирск, Россия

²НГУ, ул. Пирогова, 2, Новосибирск, Россия

teresh@isp.nsc.ru

В последние годы наблюдается возрастающий интерес к исследованиям двумерных и квазидвумерных электронных систем с заданными и управляемыми свойствами. В литературе имеется большое число работ, посвященных исследованию особенностей электронной и спиновой структуры графена в области точки Дирака, и созданию электронных наноприборов. При этом возможность использования графена в спинтронике до сих пор остается под вопросом ввиду малой величины спин-орбитального расщепления электронных состояний. Альтернативным подходом является создание графеноподобных систем из атомов с большим атомным номером и, следовательно, сильным спин-орбитальным взаимодействием. Достаточно детально изучены свойства монослоя бора (борофен), кремния (силицен) и германия (германен), однако спин-орбитальное взаимодействие в этих системах также мало. Наиболее перспективным элементом для наблюдения обсуждаемых эффектов является висмут, который, как было предсказано расчетами из первых принципов, может проявлять и свойства двумерного топологического изолятора.

В работе изучена электронная и спиновая структура интерфейса Bi/InAs(111)A методом фотоэмиссии с угловым и спиновым разрешением (SARPES). Монослой висмута осаждался на поверхность InAs(111)A-(2x2) при комнатной и повышенных температурах. Осаждение Bi при комнатной температуре приводит к эпитаксиальному росту с образованием упорядоченной гексагональной фазы (1x1) и формированию спин-поляризованных состояний на уровне Ферми. Наличие Bi-индуцированных состояний в щели InAs с линейной дисперсией аналогично графену с двумя важными отличиями: состояния спин-поляризованы и расположены в точке Г зоны Бриллюэна. При осаждении Bi при повышенной температуре подложки формируется структура InAs(111)A-(2√3x3)-Bi. Электронная структура поверхности InAs(111)A-(2√3x3)-Bi представляет собой набор поляризованных конусов в Г и К точках зоны Бриллюэна, содержащих щель 50-70 мэВ. Наблюдаемую дисперсию можно интерпретировать как графен-подобное состояние Дирака с щелью, что может означать наличие защищенных краевых состояний, т.е. случай 2D топологического изолятора. Полученные результаты сравниваются с другими графеноподобными материалами.

GRAPHENE-WRAPPED NATURAL SPHERICAL GRAPHITE AS ANODE MATERIAL FOR LITHIUM-ION BATTERIESYing Niu, Xuewei Liu, Yue Dong, Xiaohong Chen, Zhaokun Ma, Huaihe Song**State Key Laboratory of Chemical Resources Engineering, Beijing Key Laboratory of Electrochemical Process and Technology for Materials, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, P. R. China*

*songhh@mail.buct.edu.cn

Natural graphite has been considered to be the most important anode material for commercial lithium-ion batteries due to its low voltage platform and high reversible capacity¹. However, natural graphite anode suffers from high sensitivity to electrolytes and easily exfoliation, resulting in low initial coulombic efficiency, poor cycling stability and rate capability². Thus modifications including doping³, and/or surface coating⁴ are necessary to improve the electrochemical performance of natural graphite. Herein, we prepare graphene-wrapped natural spherical graphite (G/SG) using an encapsulation and carbonization approach. The in-situ preparation and encapsulation process fully utilize the flexibility of graphene, which can cover the surface of SG. Thus graphene acts as both conductive component and coating material in G/SG composites. The morphology and structure of the composites are characterized by scanning electron microscope and X-ray diffraction. The electrochemical performances of the composites with different graphene content as anode materials for Lithium-ion batteries were investigated by a variety of electrochemical testing techniques. It was found that, without the addition of conductive carbon black, the G/SG composites exhibit not only high specific capacities with higher first-cycle coulombic efficiencies but also good cycle stability as well as high rate performance. When 5 wt.% of conductive carbon black was added, the reversible capacity and rate performance of G/SG electrodes were significantly enhanced from 383.1 mA h g⁻¹ to 407.8 mA h g⁻¹ after 50 cycles at 50 mA g⁻¹, and from 82.5 mA h g⁻¹ to 101.9 mA h g⁻¹ at 1 A g⁻¹, respectively, suggesting that the conductive carbon black is still beneficial for G/SG electrodes. Carbon black particles connect to G/SG particles through the form of point contact and fill into the gaps between G/SG. A more effective conductive network is formed by graphene and acetylene black synergistically.

This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (U1610252 and 51911530126).

[1] Zaghbi, X., Song, X., Guerfi, A., Rioux, R., *Journal of Power Sources* 119, 8-15 (2003)

[2] Choi, W.C., Byun, D., Lee, J.K., Cho, B.W., *Electrochimica Acta* 50, 523-529 (2004)

[3] Han, Y.J., Kim, J., Yeo, J.S., An, J.C., *Carbon* 94, 432-438 (2015)

[4] Zhang, S., Li, Y.T., Kang, Y., Dong, Y., Song, H. et al., *Carbon* 108, 461-470 (2016)

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРОЕНИЯ И ЭЛЕКТРОННОЙ СТРУКТУРЫ МАЛОСЛОЙНЫХ ФТОРИДОВ ГРАФЕНА

И.П. Асанов, В.Г. Макотченко, А.М. Даниленко, С.А. Громилов

¹ИНХ СО РАН, пр. Лаврентьева, 3, Новосибирск, Россия

asan@niic.nsc.ru

Химическое модифицирование графена представляют интерес как с точки зрения улучшения его физико-химических характеристик, так и для получения новых материалов на основе соединений графена для применения в электронике, энергетике, катализе, биологии и медицине. В ИНХ СО РАН разработана оригинальная методика синтеза соединений малослойного графена различного состава с различным числом слоев на основе единого источника - интеркалированных соединений фторида графита.

Результаты наших исследований показывают, что химические свойства фторидов графита и графена различаются и зависят от числа слоев в соединениях. Для выяснения причин изменения свойств в работе было проведено детальное исследование локальной и электронной структуры фторидов графита и графена составов C₂F и CF.

На основании совместного применения метода спектроскопии рентгеновского поглощения XAFS и моделирования функции радиального распределения электронной плотности изучены особенности строения соединений. Исследована локальная атомная структура и показано, что основные отличия между объемными фторидами графита и фторидов графена возникают на расстояниях более 5 Å. Представлены результаты по исследованию электронной структуры методами РФЭС, XANES, ИК и рамановской спектроскопии. Проанализировано влияние изменения атомной и электронной структуры на химико-физические свойства фторидов графена.

ГРАФЕНОПОДОБНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ВОДОРОДНОГО АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Б.П. Тарасов, А.А. Арбузов, С.А. Можжухин, А.А. Володин, П.В. Фурсиков
Институт проблем химической физики РАН, г. Черноголовка, Россия
tarasov@icp.ac.ru

При водородном аккумулировании электроэнергии электролизом воды производится водород, который обратимо хранится в связанном состоянии, а при недостатке электроэнергии окисляется в топливном элементе с выработкой электрического тока.

В качестве водород-аккумулирующих материалов нами предложено использовать композиты гидридообразующих металлических и органических соединений с теплопроводящими графеноподобными материалами (ГПМ) и металл-графеновыми катализаторами. Оказалось, что добавка 2–5 мас.% графеноподобных материалов к металлическим порошкам улучшает теплообменные процессы при гидрировании и дегидрировании [1]. Установлено, что металл-графеновые композиты, в которых наночастицы металла (Pd, Pt, Ni) размером 2–5 нм равномерно распределены на поверхности графеноподобных материалов, являются эффективными катализаторами гидрирования металлов и органических соединений [2, 3]. Выявлены оптимальные условия получения металл-графеновых катализаторов и водород-аккумулирующих материалов [4]. Установлен механизм обратимого гидрирования магния, покрытого Ni-графеновым композитом [5]. Разложением углеводородов на М/ГПМ сформированы высокоразвитые трехмерные структуры М/УНВ/ГПМ и М/УНТ/ГПМ (М – Pd, Pt, Ni; УНВ и УНТ – углеродные нановолокна и нанотрубки), перспективные в качестве сорбентов газов и катализаторов [6].

Работа поддержана Минобрнауки РФ (проект №05.574.21.0209, RFMEFI57418X0209). А.А.Арбузов и С.А.Можжухин благодарят РФФИ (грант № 16-29-06197_офи-м).

[1] Тарасов Б.П. и др. Патент РФ 167781 U1, 2017, Бюл. № 1.

[2] Тарасов Б.П. и др. Патент РФ 2551673 C1, 2015, Бюл. № 15.

[3] Тарасов Б.П. и др. Патент РФ 2660232 C1, 2018, Бюл. № 19.

[4] Тарасов Б.П. и др. Патент РФ 2675882 C1, 2018, Бюл. № 36.

[5] Tarasov B.P. et al. J. Hydrogen Energy, in press (2019).

[6] Тарасов Б.П. и др. Ж. структурной химии 59(4), 867 (2018).

СТАБИЛИЗАЦИЯ ЗОЛОТА НА ПОРИСТОМ УГЛЕРОДЕ, ПРИМЕНЕНИЕ В КАТАЛИЗЕ

Д.А. Булушев¹, В.И. Соболев¹, А.Л. Чувиллин², И.П. Асанов³, А.В. Окотруб³,
Л.Г. Булушева³

¹*Институт катализа им. Г.К. Борескова, Новосибирск, Россия*

²*CIC nanoGUNE Consolider, San Sebastian, Spain*

³*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева, Новосибирск, Россия*
dmitri.bulushev@catalysis.ru

С конца XX века нанесённое Au привлекает внимание исследователей в качестве катализатора для различных реакций. В настоящей работе Au (<2%) наносили на пористые углеродные материалы, допированные азотом и без азота, а также на SiO₂ и Al₂O₃. Полученные ка-

катализаторы исследовали методами РФЭС и ПЭМ высокого разрешения. В качестве каталитической реакции использовали реакцию получения водорода разложением муравьиной кислоты. Было показано, что на поверхности углеродных носителей Au существует в виде атомов, и в виде наночастиц. При этом на углеродном носителе с азотом, SiO₂ и Al₂O₃ средний размер Au наночастиц был близок к 2 нм, в то время как на носителе без азота - около 10 нм. Катализаторы Au/N-C проявили самую высокую каталитическую активность на массу Au. Квантово-химические расчеты показали, что пиридиновый азот, внедренный в углеродную структуру, может участвовать в активации муравьиной кислоты для последующего взаимодействия с Au, и это, возможно, является причиной высокой каталитической активности.
Работа поддержана РФФ (грант 17-73-30032).

КАТОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ГИБРИДНЫХ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ НА ОСНОВЕ ОЗОНИРОВАННОЙ ВОССТАНОВЛЕННОЙ ОКСИДИ ГРАФЕНА

Член-корр. РАН С.Д. Варфоломеев^{1,2}, В.Н. Калиниченко^{1,3,4}, С.П. Червонобродов⁴, С.Б. Бибииков¹, С.Д. Разумовский¹, В.В. Подмастерьев¹, А.А. Мальцев¹, Д.Ю. Грызлов^{4,5}, В.П. Мельников³

¹*Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской Академии наук, г. Москва, Россия.*

²*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия.*

³*Институт химической физики им. Н.Н. Семенова Российской Академии наук, Москва, Россия.*

⁴*ООО "Конгран", г. Москва, Россия.*

⁵*Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской Академии наук, г. Москва, Россия.*

kalinval47@mail.ru

Методом озонирования термически восстановленной окиси графена получен углеродный материал, способный к обратимому электрохимическому окислению-восстановлению с сохранением относительно высокой электропроводности. Показано, что удельная плотность энергии разряда для таких материалов в составе катодов литий-ионных электрохимических ячеек с неводными электролитами (LP-71) может достигать 540 Вт·ч/кг при токе 40 мА/г, а средняя удельная мощность разряда – 11,5 кВт/кг при токе 5 А/г. Уровень удельного заряда после 2500 циклов заряда–разряда при токе 5 А/г составил 93% от начальной величины. Полученные материалы представляются перспективными для разработки новых систем накопления и хранения электрической энергии.

СВЯЗЫВАНИЕ КОРОТКИХ ДНК-ОЛИГОНУКЛЕОТИДОВ С ПОВЕРХНОСТЬЮ ВОССТАНОВЛЕННОГО ОКСИДА ГРАФЕНА ДЛЯ СОЗДАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ

И.А. Комаров¹, О.М. Антипова², Н.С. Стручков³, А.Н. Калинин¹

¹*МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, Москва, Российская Федерация*

²*МГУ им. М.В. Ломоносова, Ленинские горы, д. 1, Москва, Российская Федерация*

³*Национальный исследовательский университет «МИЭТ», Пл. Шокина, д. 1, Зеленоград, Российская Федерация*

ikomarov@emtc.ru

Одним из бурно развивающихся направлений в здравоохранении сегодня, является персонализированная медицина и разработка различных устройств для мониторинга параметров здоровья, в частности биосенсоров, позволяющих обнаруживать различные патогены. В качестве чувствительного слоя обычно используются различные биомолекулы, такие как антитела, ферменты, аптамеры и другие, иммобилизованные на поверхности трансдьюсера, преобразующего биологический сигнал в электрический. Восстановленный оксид графена явля-

ется одним из перспективных материалов для создания трансдьюсеров, благодаря относительной простоте формирования проводящих слоёв, содержащих активные функциональные группы для ковалентного связывания с чувствительными агентами.

В работе исследовались особенности взаимодействия аптамеров с поверхностью восстановленного оксида графена. Пленки оксида графена на гибкой полимерной подложке были восстановлены фототермически с помощью модулированного лазерного излучения при различных параметрах.

Пленки оксида графена, обладающие различной степенью восстановления, в результате варьирования флюенса в диапазоне от 15 до 59,4 Дж/см², использовались для дальнейшей иммобилизации аптамеров. Исследование связывания аптамеров с пленками оксида графена показало, что для успешного связывания требуется добавление этанола к реакционной смеси, улучшающего качество иммобилизации.

Показано, что оптимальная степень восстановления оксида графена достигается при использовании флюенса в пределах 15-20 мДж/см², что обеспечивает как достаточную проводимость, так и наличие функциональных групп.

Таким образом, показано, что за счет изменения параметров восстановления, возможно регулировать степень связывания аптамеров с поверхностью оксида графена, что определяет возможность создания бионанокompозитных материалов в качестве основы сенсоров нового поколения.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Министерства образования и науки Российской Федерации № 14.574.21.0182 (уникальный идентификатор RFMEFI57417X0182).

ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СЕНСОРНОГО ОТКЛИКА ПЛЕНОК ФТОРИРОВАННОГО ГРАФЕНА ОТ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТАВА

В.И. Сысоев^{1,2}, М.О. Булавский², Д.В. Пинаков¹, Л.Г. Булушева^{1,2}, А.В. Окотруб^{1,2}

¹*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, пр. Лаврентьева, 3, Новосибирск, Россия*

²*Новосибирский государственный университет, ул. Пирогова, 2, Новосибирск, Россия*
sysoev@niic.nsc.ru

Исследование чувствительных материалов для детектирования низких концентраций токсичных газов имеет важное значение для мониторинга окружающей среды. Использование традиционных материалов, таких как оксиды металлов позволяют детектировать широкий круг веществ в воздухе при температурах 130-500 °С. Высокие рабочие температуры детекторов приводят к деградации материала за счет перестроения кристаллической решетки и взаимодействия с анализируемым газом. Графен и его производные имеют настраиваемую проводимость, высокую удельную поверхность, а также чувствительность к изменению зарядового состояния на поверхности, что делает его превосходным компонентом для сенсорных элементов, работающих при комнатной температуре. В настоящей работе были исследованы сенсорные свойства фторированных производных графена по отношению к воздействию низких концентраций диоксида азота. Функциональный состав пленок фторированного графена был исследован методами рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, спектроскопии комбинационного рассеяния света, которые подтверждают наличие атомов фтора ковалентно связанного с графеновой плоскостью. Наличие фтора приводит к изменению проводимости материала и формированию адсорбционных центров на поверхности графена, которые в свою очередь влияют на отклик и регенерацию сенсора и энергию взаимодействия адсорбент-адсорбат.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ №18-33-00760

УГЛЕРОД-МЕТАЛЛОГИДРИДНЫЕ И УГЛЕРОД-ГИДРОКСИДНЫЕ КОМПОЗИТЫ ДЛЯ Ni-MH ИСТОЧНИКОВ ТОКА

А.А. Володин¹, А.В. Слепцов^{1,2}, А.А. Арбузов¹, Б.П. Тарасов¹

¹Институт проблем химической физики РАН, г. Черноголовка, Россия

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия
alexvol@icp.ac.ru

Обобщены результаты по формированию и исследованию углерод-металлогидридных и углерод-гидроксидных композитов для Ni-MH источников тока. Рассмотрена перспектива применения углеродных наноструктур для увеличения эффективности работы электродов. Сформированы композиты Ni(OH)₂ и гидридов интерметаллических соединений с различными углеродными материалами—графитом, углеродными нанотрубками (УНТ), углеродными нановолокнами (УНВ) и графеноподобным материалом (ГПМ). Показано, что удельная электропроводность гидроксида никеля с углеродными наноструктурами (3 масс.%) на четыре порядка превышает электропроводность гидроксида с графитом. Установлено, что использование углерод-металлогидридных композитов увеличивает удельную емкость электродов на 10–20%. Полученные композиты использованы для изготовления электродов Ni-MH ячеек. Изучены их электрохимические характеристики и показана высокая эффективность работы таких электродов в составе Ni-MH химических источников тока. Установлена эффективность использования комбинированных Ni/ГПМ/Ni(OH)₂ и Ni/ГПМ/МН композитных электродов для достижения максимальной производительности Ni-MH источников тока. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (Грант № 19-03-01069) в рамках Госзадания № 0089-2019-0007.

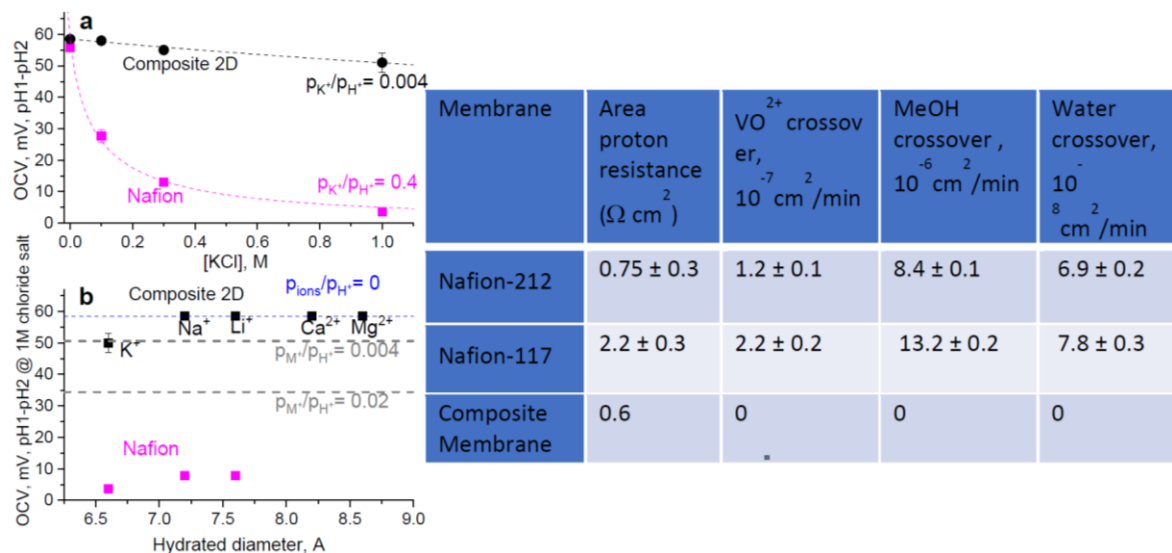
ПРОТОН СЕЛЕКТИВНЫЕ МЕМБРАНЫ НА ОСНОВЕ 2D-МАТЕРИАЛОВ

С. Смирнов¹, Д. Шинде¹, П. Чатурведи¹, И. Власюк²

¹New Mexico State University, USA

²Oak Ridge National Laboratory, USA

Два подхода в использовании 2D материалов рассмотрены для применения в протон-проводящих мембранах с подавленным кроссовером других ионов и молекул. В одном из них, улучшенная протонная проводимость в высококачественном CVD графене достигается за счет приготовления специальных дефектов при облучении ионами, в другом – слоистые композиты из восстановленного оксида графена (rGO) и полимеров позволяют получить стабильную исключительно протонную проводимость через полимер по механизму Гротгуса при механической поддержке от rGO. Оба варианта имеют свои преимущества. Например, при правильном подборе полимера и восстановителя для GO, слоистые композиты полностью приостанавливают кроссовер воды, метанола и практически всех ионов (смотри Таблицу). Даже самый маленький гидратированный ион, K⁺, имеет не более 4% пропускания по сравнению с протонами, а остальные полностью подавлены, как видно из зависимости pH градиентного потенциала от концентрации солей на рисунке. Эти свойства заметно превышают таковые для нафiona, в настоящее время обычно используемого материала для мембран, что позволило на порядок улучшить время работы проточных батарей на основе солей ванадия.



[1] D. Shinde, et al. Exclusively Proton Conductive Membranes Based on Reduced Graphene Oxide Polymer Composites, in press.

[2] P. Chaturvedi, et al. Ionic Conductance through CVD Graphene: Can it Work as Proton Selective Membrane?, in press

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Amemiya K. 74
Bando Y. 75
Bandurin D. 96
Chen X. 98
Cheng H.M. 75
Costa P.M.F.J. 84
Cretu O. 75
Deepak F.L. 84
Dong Y. 98
Entani S. 74
Fedorov G.E. **96**
Fisher T.S. 63
Gayduchenko I. 96
Goltsman G. 96
Hsia F.C. 75
Kawamoto N. 75
Knez M. 87
Lavorgna M. 69
Li S. 74
Liu X. 98
Liu C. 75
Ma Z. 98
Macutkevic J. 69
Mitome M. 75
Naramoto H. 74
Nemoto Y. 75
Niu Y. 98
Nori F. 48, 49
Paul R. 63
Sakai S. 74
Sakuraba Y. 74
Song H. 53, **98**
Svintsov D. 96
Takeguchi M. 75
Tang D.M. 75
Uesugi F. 75
Voevodin A.A. 63
Watanabe T. 74
Xia H. 69
Yamada Y. 74
Zakharov D.N. 63
Zemlyanov D.Y. **63**
Zhou X. 75
- Аврамов П.В. 74
Азарова Е.С. **65**
Александров Г.Н. 45, 53
Алексеев А.А. 32, 44
Алексеев Н.П. 11
Алфёрова Н.И. 46
Амиров Р.Х. 17
Анаников В.П. 73
Аносов А.А. 66
- Антипова О.М. **24**, 100
Антонова И.В. 22, 23, 39, 58, 67, **86**
Арбузов А.А. **19**, 99, 102
Аржанников А.В. 42
Артюх А.А. 31
Архипов В.Е. 47
Асанов И.П. 23, 46, 89, **98**, 99
Афанасьев В.П. 81
- Бабкин А.В. 17
Багрец В.С. 11
Байдакова М.В. 76
Баннов А.Г. **21**
Барабашко М.С. 47
Бардакова К.Н. 21
Баркалов Л.Д. 26, 82
Барняков А.М. 42
Баскакова К.И. **25**
Басова Т.В. 50
Батраков К.Г. **10**
Бауман Ю.И. **19**
Бедин С.А. 66
Белослудцева А.А. **26**, 82
Беседина Н.А. 76
Бибиков С.Б. 100
Бланк В.Д. 9
Бобенко Н.Г. 26, **82**, 85
Бойко Е.В. 39
Бокай К.А. 65
Болотов В.В. 69
Бочаров Г.С. 81
Боякинов Е.Ф. 33
Бройко А.П. **11**
Брылякова А.А. 89
Буга С.Г. **9**
Буинов А.С. 21
Булавский М.О. **26**, 101
Булусhev Д.А. **77**, **99**
Булусheva Л.Г. 26, 30, 31, 40, 45, 46, 47,
50, 54, 55, 56, 68, 70, **89**,
99, 101
- Бураков А.Е. 17
Буракова И.В. 17
Бурганова Р.М. 27
Бурдов В.А. 65
Бурдуковский В.Ф. 21, 70
Бучельников А.С. 48
Быков В.А. **95**
Быченoк Д.С. 69
- Валишина А.А. **27**
Вартанян М.А. 35
Варфоломеев С.Д. 100

Васильева Ф.Д. **27**
Ватутина Ю.В. 36
Ведягин А.А. 19
Вилков О.Ю. 65
Винокуров П.В. **28**, 33
Владимилова Н.И. 16
Власюк И.102
Возняковский А.А. **19**
Возняковский А.П. 19
Володин А.А. 20, 99, **102**
Вуль А.Я. 76, 96
Вялых Д.В. 65

Галашев А.Е. **86**
Галушко А.С. **73**
Ганичев С.Д. 7
Гевко П.Н. 47
Герасимов Е.Ю. 70
Гильштейн Е.Г. 87
Глазкова Д. 33
Глазов М.М. 7
Глухова О.Е. 36
Голубцов Г.В. **28**, 88
Гольберг Д.В. 75
Гольдт А.Е. 54
Голяшов В.А. 97
Гордеев Е.Г. 73
Горенберг А.Я. 66
Горный И.В. 84
Городецкий Д.В. **29**, 47, 50
Горохов Г.В. **69**
Гребёнкина М.А. **30**
Грибанова С.А. **30**, 53
Громилов С.А. 98
Грызлов Д.Ю. 100
Грязев А.С. 81
Губерна Е.А. **71**
Губин С.П. 38
Гудков М.В. 66
Гулина Л.Б. 16
Гуляев Р.В. 50
Гуренко В.Е. 16
Гурова О.А. **31**, 50
Гусельников А.В. 29, 30, 47,50

Давлеткильдеев Н.А. 69
Даниленко А.М. **23**, 98
Демин В.А. **31**, 63
Дидейкин А.Т. 96
Дорожкин К.В. 88
Драчев А.И. 17
Дурнев М.В. 7
Дюбуа А.Б. 82

Евсеев З.И. **32**, 44

Егорова М.Н. **32**, 68
Егорушкин В.Е. 26, 82, 85
Елецкий А.В. **81**
Елисеев Н.Н. 9
Еняшин А.Н. **84**
Ерохин С.В. **75**, 83
Естюнин Д.А. **33**

Жукова Е.А. 64
Журавлев В.А. 91

Забелич Б.Ю. 24
Заворин А.В. **67**, 88
Заремба О.Т. 56
Захаркина Е.И. 28, **33**
Захаров В.А. 34, 91
Зданович А.А. 19, **34**
Зеленин А.Д. 43
Зорин М.Ю. **35**

Иваничкина К.А. 86
Иванов А.И. 23, **67**
Иванова А.А. 82
Илатовский Д.А. **36**
Ильичев М.В. 17
Исламова В.Р. 35
Ищенко А.В. 28

Казаков М.О. 36
Казакова М.А. 28, **36**, **91**
Казеннов Н.В. 64
Калёнов В.Е. 11
Калиниченко В.Н. **100**
Калинкин А.В. 89
Калинников А.Н. 100
Канева М.В. 16
Капитонов А.Н. 27, 32
Капля П.С. 81
Карагедов Г.Р. 90
Караева А.Р. 64
Катков В.Л. **88**
Качоровский В.Ю. **84**
Квашнин А.Г. 63
Квашнин Д.Г. 63, 75, **85**
Кибис О.В. **95**
Кидалов С.В. 19
Кириленко Д.А. 76
Кириченко А.Н. 35
Климов О.В. 36
Климовских И.И. 33
Кобец А.А. **37**, 54
Коваль В.С. 66
Колодяжная Ю.В. 56
Комаров И.А. 24, **100**
Кондрашов И.И. 37

Кононенко О.В. **18**
 Коровин Е.Ю. 88, 91
 Королев В.В. **38**
 Корляков А.В. 11
 Коротеев В.О. 40, 70, **87**
 Корусенко П.М. 85
 Косинова М.Л. 91
 Костогруд И.А. 39
 Котин И.А. **39**, 58, 86
 Кох К.А. 33, 86
 Коцун А.А. 40
 Красников Д.В. 24, 36, 56, **87**
 Краснов С.А. **66**
 Кужир П.П. 69
 Кузнецов В.А. **70**
 Кузнецов В.Л. **15**, 28, 34, 67, 88, 90, 91
 Кузнецова В.Р. **40**, 68
 Куликова Е.С. 82
 Кульбачинский В.А. 9
 Куркина И.И. **22**
 Кустов Д.А. 41
 Кучерявый С.И. 82

Ларионов К.В. **74**
 Лаубшат К. 65
 Левашов В.И. 18
 Леднева А.Ю. 30
 Леонов А.А. **71**
 Ли Ц. 71
 Лисицын А.С. 77
 Лобинский А.А. 16
 Лобяк Е.В. 40, **68**
 Лучинин В.В. 11
 Львова Н.А. 9
 Лю Х. 71

Мазалов Л.Н. 30, 50, 53
 Майти М. 9
 Макарова А.А. 54, **65**
 Макотченко В.Г. 18, 21, 23, **42**, 44, 70, 98
 Максимова Г.М. 65
 Максимовский Е.А. 21, 46, 47
 Мальцев А.А. 100
 Марунченко А.Н. 87
 Матвеев В.Н. 18
 Маточкин П.Е. 39
 Мацько М.А. 19, 34, 91
 Медведев А.Э. **42**
 Мележик А.В.(2) **17**, **43**
 Мельгунов М.С. 56
 Мельгунова Е.А. 56
 Мельников В.П. 66, 100
 Мельникова Н.В. 26, 82, 85
 Меметов Н.Р. 17
 Меренков И.С. **91**
 Мирлин А.Д. 84

Михеев А.Н. 18
 Мишаков И.В. 19
 Мищук Б.Р. 10
 Можжухин С.А. 99
 Мордкович В.З. **64**
 Мосеенков С.И. 67, **88**, 90
 Мосур Е.Ю. 69

Насибулин А.Г. 24, 36, 56, 87
 Нго Ж.Х. 43
 Нгуен Х.Ч. 43
 Небогатикова Н.А. **23**, 41, 86
 Недопекин О.В. 27
 Несов С.Н. 85
 Неустроев Е.П. 32, **44**, 50
 Нечаев Ю.С. 44
 Никитёнок О.В. 21
 Николаев Д.В. 51
 Нищакова А.Д. **45**
 Носков А.С. 36

Образцова Е.Д. 37, 71, 86
 Окотруб А.В. 25, 26, 29, 30, 31, 40, 45, 46,
 47, 50, 54, 55, 56, 68, 70, 89,
 99, 101

Олейничак А. 23
 Ортега Х.Э. 65
 Осипов В.А. **8**

Павлов С.И. 76
 Пайгин В.Д. 71
 Пахаруков Ю.В. 74
 Перегудова Н.Н. 53
 Першин Ю.В. 29
 Пинаев П.А. 42
 Пинаков Д.В. **46**, 89, 101
 Планк Х. 7
 Подмастерьев В.В. 100
 Подъячева О.Ю. 77
 Поликарпов К.В. 35
 Пономарев А.Н. 26, 47, 82, **85**
 Попов В.И. 32, 44
 Попов З.И. 74
 Попов К.М. **47**
 Предтеченский М.Р. **15**

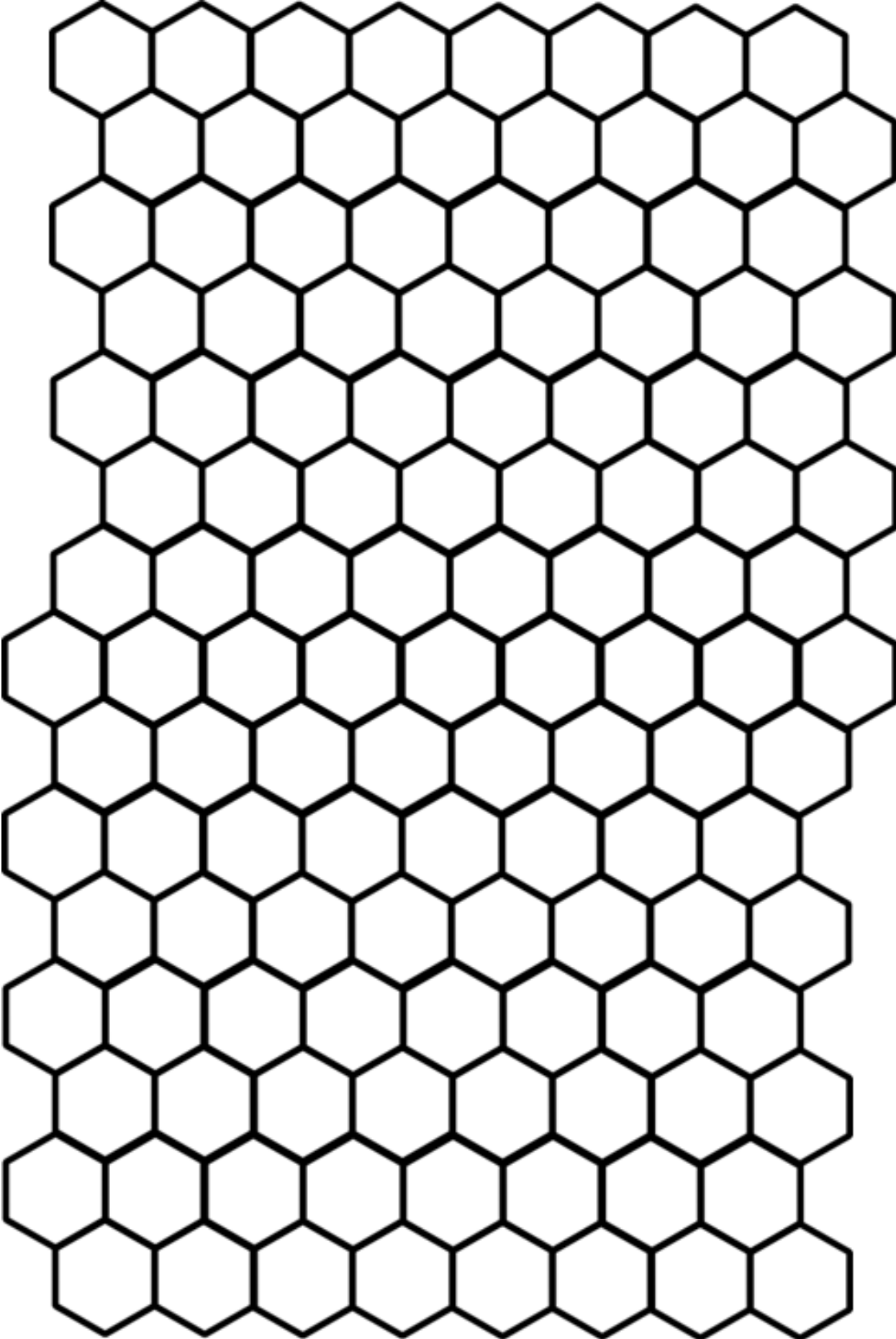
Рабчинский М.К. 24, **76**
 Разумовский С.Д. 100
 Рахманов А.Л. 48, 49
 Резванова А.Е. **47**
 Решетняк А.А. 10
 Ридзель О.Ю. 81
 Рожков А.В. **48**, 49
 Романенко А.И. 70
 Романов С.А. 87
 Руднева Ю.В. 19

- Рыбин М.Г. 37, 71, 86
 Рыжков С.А. 76
- Сало В.А. **48**
 Сапрыкин А.И. **18**, 42
 Сафаргалиев Р.Ф. **74**
 Сафошкин А.С. 82
 Сбойчаков А.О. 48, **49**
 Свинцицкий Д.А. 77
 Седельникова О.В. 25, 31, **50**
 Семенова А.А. 28, 33
 Семиколенова Н.В. 91
 Семушкина Г.И. **50**, 53
 Серебряная Н.Р. 9
 Скуратов В.А. 23
 Слепцов А.В. 102
 Слепцов В.С. 44
 Смагулова С.А. **16**, 22, 27, 28, 32, 33, 45, 53, 68
- Смирнов Д.А. 65
 Смирнов М.Ю. 89
 Смирнов С. **102**
 Смовж Д.В. 39
 Смольский Г.В. 43
 Смотлаха Я. **9**
 Соболев В.И. 77, 99
 Соколов Д.В. **69**
 Соловьев Н.О. **51**
 Сорокин П.Б. 63, 74, 75, **83**, 85
 Сотс Р.А. 86
 Столярова С.Г. 30, 40, 55, **70**
 Стручков Н.С. 24, 100
 Субоч А.Н. **77**
 Суслаяев В.И. 88, 91
 Суханова Е.В. 85
 Сысоев В.И. 26, 31, 55, **101**
- Тарасенко С.А. **7**
 Тарасов Б.П. 20, **99**, 102
 Таюрский Д.А. 27
 Терещенко О.Е. 33, **97**
 Тимашев П.С. 21
 Тимофеев В.Б. 44, 51
 Тимофеева Т.Е. **51**, **53**
 Титов Д.Д. 35
 Тихова В.Д. 46
 Тихонов К.С. 84
 Ткачев А.Г. 17, 43
 Толстой В.П. 16
 Томская А.Е. **52**, 58, **68**
 Трусова Е.А. 35
- Уйгуров Д.М. 44
 Урванов С.А. 64
 Усачев Д.Ю. 65, 72
 Ухина А.В. 21
- Фадеева В.П. 46
 Федоренко А.Д. 30, **53**
 Федоров А.А. 70
 Федоров А.В. 65
 Федоров В.Е. 21, 30, 70
 Федоровская Е.О. 37, 51, **54**, 56, 57
 Федосеева Ю.В. **54**
 Федосова А.А. **55**
 Фернандез Л. 65
 Фильнов С.О. 33
 Фурсиков П.В. 99
- Хабушев Э.М. 24, 56, 87
 Хмельницкий И.К. 11
 Хоанг Т.А. 43
 Ходос И.И. 18
 Холхоев Б.Ч. **21**, 70
 Хоробрых Ф.С. 64
- Цапенко А.П. 36, 56
 Цог-Очир Цэндсүрэн 67
- Чан К.М. 43
 Чан С.В. 43
 Чан Т.Б.Т. 43
 Чатурведи П. 102
 Червонобродов С.П. 100
 Чернозатонский Л.А. 31, **63**
 Чесноков В.В. 20
 Чехова Г.Н. 46, 89
 Чичкань А.С. **20**
 Чолач А.Р. **89**
 Чувилин А.Л. 77, 99
 Чумаков Р.Г. 76
- Шабаловская А.Г. 82
 Шабиев Ф.К. 74
 Шавелкина М.Б. 17, 23
 Шаталова Т.Б. 17
 Шевченко С.Н. 29
 Шикин А.М. **8**, 33
 Шиллер Ф. 65
 Шинде Д. 102
 Шиянова К.А. 66
 Шляхова Е.В. 45, **56**
 Шнитов В.В. 76
 Шавелкина М.Б. 17, 23
 Шаталова Т.Б. 17
 Шевченко С.Н. 29
 Шикин А.М. **8**, 33
 Шиллер Ф. 65
 Шубин Ю.В. 46
 Шутилов Р.А. **90**
- Юрченкова А.А. 54, **57**
 Юшина И.В. 46

Язев О. **81**
Якимчук Е.А. 39, 41, 52, **58**
Якобсон Б.И. 83

Ямалетдинов Р.Д. **73**
Яровая О.В. 35

Мероприятие проведено (проводится) при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 19-03-20019



Научное издание

**Третья российская конференция
«ГРАФЕН: МОЛЕКУЛА И 2D-КРИСТАЛЛ»**

Программа и сборник тезисов докладов

5-9 августа 2019 года

**Ответственный за выпуск
Д.ф.-м.н. Окотруб Александр Владимирович**

Техническое редактирование и верстка
Перегудова Н.Н.

Подписано к печати и в свет 11.06.2019.
Формат 60×84/8.
Гарнитура «Arial». Печ. л. 13,5. Уч.-изд. л. 14,0.
Тираж 155 экз. Заказ № 158.

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