

**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**

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

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

Программа и сборник тезисов докладов

8–12 сентября 2015 года

Новосибирск, 2015

УДК 546.26 + 54.052 + 544.22

Программа и тезисы докладов Первой российской конференции «Графен: молекула и 2D-кристалл» / Ответственный за выпуск А.В. Окотруб. Новосибирск: ИНХ СО РАН, 2015, 188 с.

ISBN 978-5-901688-33-5

Первая российская конференция «Графен: молекула и 2D- кристалл» призвана освятить последние достижения российских и зарубежных ученых в областях синтеза и характеристики графена, физики и химии графена и его производных, графен в электронике, электрохимии, биомедицине и катализе, перспективы производства графена и вопросы его влияния на окружающую среду.

Организаторы конференции:

Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН

Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН

Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова

Институт общей и неорганической химии им. им. Н.С. Курнакова

Новосибирский государственный университет

Программный комитет:

Окотруб А.В., д.ф.-м.н., профессор, ИНХ СО РАН, Новосибирск – сопредседатель

Губин С.П., д.х.н., профессор, ИОНХ РАН, Москва – сопредседатель

Бухтияров В.И., чл.-к. РАН, ИК СО РАН, Новосибирск

Быков В.А., д.т.н., профессор, ФГУП НИИФП им. Ф.В.Лукина – Гр.компаний НТ-МДТ

Губин С.П., д.х.н., профессор, ИОНХ РАН, Москва

Елецкий А.В., д.ф.-м.н., профессор, Москва

Исмагилов З.Р., чл.-к. РАН, ИУХМ СО РАН, Кемерово

Кузнецов В.Л., к.х.н., ИК СО РАН, Новосибирск

Латышев А.В., чл.-к. РАН, ИФП СО РАН, Новосибирск

Максименко С.А., д.ф.-м.н., профессор, БГУ, Минск

Новоселов К., PhD, Университет Манчестера, Манчестер, Великобритания

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., ИФП СО РАН, Новосибирск

Федин В.П., чл.-к. РАН, ИНХ СО РАН, Новосибирск

Секретариат конференции:

Федосеева Ю.В., к.ф.-м.н., ИНХ СО РАН, Новосибирск

Коротеев В.О., к.х.н., ИНХ СО РАН, Новосибирск

Антонова И.В., д.ф.-м.н., ИФП СО РАН, Новосибирск

Буслаева Е.Ю., д.х.н., ИОНХ РАН, Москва

Грачёв В.И., чл.-к. РАЕН, ИРЭ РАН, Москва

ПРОГРАММА

8 сентября понедельник		9 сентября вторник		10 сентября среда		11 сентября четверг	
9:00 - 9:45 9:45 - 10:00	Регистрация Открытие конференции	9:00 - 9:30 9:30 - 10:00	Чернозатонский Л.А. Першин Ю.В.	9:00 - 9:30 9:30 - 10:00	Елецкий А.В. Принц В.Я.	9:00 - 9:30 9:30 - 10:00	Быков В.А. Федоров В.Е.
10:00 - 10:30 10:30 - 11:00	Образцова Е.Д. Горбачев Р.В.	10:00 - 10:30 10:30 - 11:00	Сорокин П.Б. Беленков Е.А.	10:00 - 10:30 10:30 - 11:00	Образцов А.Н. Климов В.В.	10:00 - 10:30 10:30 - 11:00	Дорожкин П.С. Кузнецов В.Л.
11:00 - 11:30	ЧАЙ/КОФЕ	11:00 - 11:30	ЧАЙ/КОФЕ	11:00 - 11:30	ЧАЙ/КОФЕ	11:00 - 11:30	ЧАЙ/КОФЕ
11:30 - 12:00 12:00 - 12:30	Уваров Н.Ф. Кретинин А.В.	11:30 - 11:50 11:50 - 12:10 12:10 - 12:30	Решетняк А.А. Васильева Г.Ю. Седельникова О.В.	11:30 - 11:50 11:50 - 12:10 12:10 - 12:30	Антонова И.В. Лебедев АА. Мельников В.П.	11:30 - 11:50 11:50 - 12:10 12:10 - 12:30	Подъячева О.Ю. Раздяконова Г.И. Башарин А.Ю.
12:30 - 13:30	ОБЕД	12:30 - 13:30	ОБЕД	12:30 - 13:30	ОБЕД		
13:30 - 14:00 14:00 - 14:30 14:30 - 14:50 14:50 - 15:10 15:10 - 15:30	Белобров П.И. Кужир П.П. Смагулова С.А. Лобач А.С. Мележик А.В.	13:30 - 14:00 14:00 - 14:30 14:30 - 14:50 14:50 - 15:10 15:10 - 15:30	Усачёв Д.Ю. Курмаев Э.З. Ворошнин В.Ю. Коротеев В.О. Михеев А.Н.	13:30 - 14:00 14:00 - 14:20 14:20 - 14:40 14:40 - 15:00 15:00 - 15:20	Григорьев С.А. Кривенко А.Г. Клещ В.И. Тарасов Б.П. Михайлов А.А.	12:40 - 13:10 13:10 - 13:30	Заключительное заседание Губин С.П. Окотруб А.В.
15:30 - 16:00	ЧАЙ/КОФЕ	15:30 - 16:00	ЧАЙ/КОФЕ	15:20 - 15:50	ЧАЙ/КОФЕ	14:00	БАНКЕТ
16:00 - 16:20 16:20 - 16:40 16:40 - 17:00 17:00 - 17:20 17:20 - 17:40	Ткачев С.В. Рыбин М.Г. Пахневич А.А. Пинаков Д.В. Федоровская Е.О.	16:00 - 16:20 16:20 - 16:40 16:40 - 17:00 17:00 - 17:20 17:20 - 17:40	Еняшин А.Н. Дементьев А.П. Пономарёв А.Н. Федоров Г.Е. Тыныштыкбаев К.Б.	15:50 - 16:10 16:10 - 16:30 16:30 - 16:50 16:50 - 17:10 17:10 - 17:30	Рычагов А.Ю. Николаева А.В. Дмитриев А.В. Волкова Я.Б. Комаров А.И.		
17:40 - 18:00	Представление фирм	17:40 - 18:00	Нечаев Ю.С.	17:30 - 18:00	Представление фирм		
18:00	ФУРШЕТ	18:00	СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ 1	18:00	СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ 2		

НАУЧНАЯ ПРОГРАММА

Первой российской конференции «ГРАФЕН: МОЛЕКУЛА И 2D-КРИСТАЛЛ» Новосибирск, 8-12 сентября 2015 г.

8 сентября 2015 года, вторник

9:00 – 9:45 РЕГИСТРАЦИЯ УЧАСТНИКОВ КОНФЕРЕНЦИИ

9:45 – 10:00 ОТКРЫТИЕ КОНФЕРЕНЦИИ
ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО
Проф. С.П. Губин, *ИОНХ РАН, Москва*
ПРИВЕТСТВИЯ
Федин В.П., чл.-к. РАН, *ИНХ СО РАН, Новосибирск*
Латышев А.В. чл.-к. РАН, *ИФП СО РАН, Новосибирск*
Бухтияров В.И., чл.-к. РАН, *ИК СО РАН, Новосибирск*

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

Председатель – Губин С.П.

10:00-10:30 ФОРМИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОМЕРНЫХ ПОЛОСОК
ГРАФЕНА ВНУТРИ ОДНОСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК
Образцова Е.Д., Чернов А.И., Федотов П.В., Образцова Е.А., Белкин А.В.,
Кузнецов В.Л., Чувилин А.Л.
Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН,
Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН,
SIC nanoGUNE Consolider, Сан Себастьян, Испания

10:30-11:00 ВАНДЕРВААЛЬСОВЫ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ
НА ОСНОВЕ РАЗЛИЧНЫХ 2D-КРИСТАЛЛОВ
Горбачев Р.В.
Манчестерский университет, Великобритания

11:30-12:00 ЭЛЕКТРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ
НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА
Уваров Н.Ф., Матейшина Ю.Г., Улихин А.С., Бохонов Б.Б., Ухина А.В.
Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,
Новосибирский государственный технический университет,
Новосибирский государственный университет

12:00-12:30 ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА МАССИВНЫХ
ДИРАКОВСКИХ ФЕРМИОНОВ В ГРАФЕНЕ
Кретинин А.В.
Манчестерский университет, Великобритания

СИНТЕЗ ГРАФЕНОВ И РОДСТВЕННЫХ СТРУКТУР*Председатель – Принц В.Я.*

- 13:30-14:00** ЧИСТО УГЛЕРОДНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА:
ДОКАЗАННЫЕ ВАРИАНТЫ
Белобров П.И., Гордеев С.К.
*Институт физики им. Л.В. Киренского, Институт биофизики СО РАН,
Красноярск; ЦНИИ материалов, С.-Петербург*
- 14:00-14:30** СЭНДВИЧИ ПОЛИМЕР-ГРАФЕН В СВЧ:
ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА CVD ГРАФЕНА НА СПОСОБНОСТЬ
К ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭКРАНИРОВКЕ
Батраков К.Г., Кужир П.П., Максименко С.А., Поддубская О.Г.,
Волынец Н.В., Каплас Т., Свирко Ю.П., Лобет М., Рикенжер Н., Ламбин Ф.
*Институт ядерных проблем Белорусского государственного
университета, Минск, Беларусь; Department of Physics and Mathematics,
University of Eastern Finland, Joensuu; Physics Department, Universite'
de Namur, Belgium*
- 14:30-14:50** СИНТЕЗ СУСПЕНЗИЙ ОКСИДА ГРАФЕНА И ИХ ПРИЛОЖЕНИЯ
Смагулова С.А.
Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск
- 14:50-15:10** ПОЛУЧЕНИЕ 3D-ГИБРИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ГРАФЕН-УНТ
СОЛЮБИЛИЗАЦИЕЙ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК
В ВОДНОЙ СУСПЕНЗИИ ОКСИДА ГРАФЕНА
Лобач А.С., Спицына Н.Г., Казаков В.А.
Институт проблем химической физики РАН, Черноголовка
- 15:10-15:30** ГРАФЕНОВЫЕ НАНОПЛАСТИНКИ: СИНТЕЗ И ПРОИЗВОДСТВО
Мележик А.В., Меметов Н.Р., Ткачев А.Г.
Тамбовский государственный технический университет
- 16:00-16:20** СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ НА ПОВЕРХНОСТИ
ОКСИДА ГРАФЕНА И ГРАФЕНА
Соловьева А.Ю., Иони Ю.В., Буслаева Е.Ю., Ткачев С.В.
Институт неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН
- 16:20-16:40** СИНТЕЗ CVD ГРАФЕНА И ЕГО ЛЕГИРОВАНИЕ
РАЗЛИЧНЫМИ ПРИМЕСЯМИ
Рыбин М.Г., Переяславцев А., Соколов И., Васильева Т., Мясников В.,
Кондрашов И., Образцова Е.Д.
*Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, ВНИИ автоматики
им. Н.Л. Духова, Московский физико-технический институт*
- 16:40-17:00** ЗАКОНОМЕРНОСТИ РОСТА ГРАФЕНОВОЙ ПЛЕНКИ
НА ПОВЕРХНОСТИ ЖИДКОЙ МЕДИ В ПРОЦЕССЕ
ГАЗОФАЗНОГО ОСАЖДЕНИЯ
Пахневич А.А., Голод С.В., Принц В.Я.
Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН

- 17:00-17:20** СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ПОЛИФТОРИДДИУГЛЕРОДА
НА ОСНОВЕ МУЛЬТИСЛОЙНОГО ГРАФЕНА
Пинаков Д.В., Грайфер Е.Д., Макотченко В.Г.,
Логвиненко В.А., Фёдоров В.Е.
*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН,
Новосибирский государственный университет*
- 17:20-17:40** ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРАФЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ
Федоровская Е.О., Булушева Л.Г., Окотруб А.В.
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
- 17:40-18:00** *Представление фирм*

9 сентября 2015 года, среда

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ПРИЛОЖЕНИИ К ГРАФЕНОВЫМ МАТЕРИАЛАМ

Председатель – Булушева Л.Г.

- 9:00–9:30** НАНОСТРУКТУРЫ ИЗ СЛОЕВ ГРАФЕНА, ДИХАЛЬКОГЕНИДОВ
ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ И НИТРИДА БОРА:
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ПРИЛОЖЕНИЯ
Чернозатонский Л.А.
Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва
- 9:30–10:00** ЭЛЕМЕНТЫ ПАМЯТИ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНОВЫХ МЕМБРАН
С ФУНКЦИЕЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ
Першин Ю.В., Traversa F.L., Di Ventura M.
*Department of Physics and Astronomy, University of South Carolina,
Columbia, USA; Department of Physics, University of California,
San Diego, La Jolla, USA*
- 10:00-10:30** ОСОБЕННОСТИ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ НА НАНОУРОВНЕ.
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ НОВЫХ
КВАЗИДВУМЕРНЫХ ПЛЁНОК
Сорокин П.Б., Квашнин А.Г., Чернозатонский Л.А., Томанек Д., Якобсон Б.И.
*Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва;
ТИСНУМ, Троицк; Rice University, Houston, Texas, USA; Michigan State
University, East Lansing, Michigan, USA*
- 10:30-11:00** КЛАССИФИКАЦИЯ СТРУКТУРНЫХ РАЗНОВИДНОСТЕЙ
УГЛЕРОДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ
Беленков Е.А., Грешняков В.А.
Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия
- 11:30-11:50** ТРАНСПОРТНЫЕ И МАГНЕТООПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
2-ХСЛОЙНОГО ГРАФЕНА ВО ВНЕШНИХ ПОЛЯХ В ДВУХ-
И ЧЕТЫРЕХЗОННЫХ КВАНТОВОПОЛЕВЫХ ПРИБЛИЖЕНИЯХ
Гусынин В.П., Решетняк А.А., Шарапов С.Г.
*Институт теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова НАН Украины,
Киев*

11:50-12:10 *Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск*
МАГНЕТОСОПРОТИВЛЕНИЕ ГРАФЕНА:
ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ ФАКТОР И МЕХАНИЗМЫ РАССЕЯНИЯ
Васильева Г.Ю., Смирнов Д., Васильев Ю.Б., Иванов Ю.Л., Хауг Р.
*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН,
Институт физики твердого тела, Ганновер, Германия;
С.-Петербургский государственный политехнический университет*

12:10-12:30 ПЛАЗМОННАЯ СТРУКТУРА РАЗОРИЕНТИРОВАННОГО
ДВУХСЛОЙНОГО ГРАФЕНА
Седельникова О.В., Булушева Л.Г., Чувиллин А.Л., Окотруб А.В.
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН

ДИАГНОСТИКА ГРАФЕНОВ И РОДСТВЕННЫХ СТРУКТУР

Председатель – Окотруб А.В.

13:30-14:00 ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ И КОНТАКТА С ФЕРРОМАГНЕТИКОМ
НА ЭЛЕКТРОННУЮ И СПИНОВУЮ СТРУКТУРУ ГРАФЕНА
Усачёв Д.Ю.
С.-Петербургский государственный университет

14:00-14:30 АТТЕСТАЦИЯ МЕДНОЙ ФОЛЬГИ, ПОКРЫТОЙ ГРАФЕНОМ
ПОСЛЕ ВЫДЕРЖКИ НА ВОЗДУХЕ: XPS, XANES, РАМАН
и DFT ИССЛЕДОВАНИЯ
Курмаев Э.З.
Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, Екатеринбург

14:30-14:50 ЭЛЕКТРОННАЯ И СПИНОВАЯ СТРУКТУРЫ ГРАФЕНА
НА РЕНИИ С ИНТЕРКАЛИРОВАННЫМИ АТОМАМИ ЗОЛОТА
Ворошнин В.Ю.
С.-Петербургский государственный университет

14:50-15:10 НАНОЧАСТИЦЫ MoS₂ НА УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛАХ:
ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА
Коротеев В.О., Булушев Д.А., Чувиллин А.Л., Булушева Л.Г., Окотруб А.В.
*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН,
Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, CIC nanoGUNE Consolider,
Сан Себастьян, Испания*

15:10-15:30 ПОЛУЧЕНИЕ МУЛЬТИСЛОЙНОГО ГРАФЕНА
ИЗ ИНТЕРКАЛИРОВАННЫХ СОЕДИНЕНИЙ ФТОРИРОВАННОГО
ГРАФИТА МЕТОДОМ МИКРОВОЛНОВОЙ АКТИВАЦИИ
Михеев А.Н., Макотченко В.Г.
*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
Новосибирский государственный университет*

16:00-16:20 ЛИНЕЙНЫЕ ДЕФЕКТЫ В МОНОСЛОЯХ ДИХАЛЬКОГЕНИДОВ:
СТРУКТУРА, ПРОИСХОЖДЕНИЕ, СВОЙСТВА
Еняшин А.Н.
Институт химии твердого тела УрО РАН, Екатеринбург

- 16:20-16:40** ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАСЕЛЕННОСТИ ПИ ЗОН В ВЕРХНИХ СЛОЯХ ГРАФИТА МЕТОДОМ N(E) С KVV ОЖЕ СПЕКТРОСКОПИЕЙ
Дементьев А.П., Иванов К.Е., Рыжков А.В.
НИИЦ “Курчатовский институт”, Москва
- 16:40-17:00** ВЛИЯНИЕ БЛИЖНЕГО ПОРЯДКА НА ПЛОТНОСТЬ ЭЛЕКТРОННЫХ СОСТОЯНИЙ ЭПИТАКСИАЛЬНОГО ГРАФЕНА
Пономарёв А.Н., Егорушкин В.Е., Мельникова Н.В., Бобенко Н.Г.
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томский государственный университет
- 17:00-17:20** ОТКЛИК НЕСИММЕТРИЧНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА НА ТЕРАГЕРЦОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ
Федоров Г.Е., И.А. Гайдученко И.А., Рыбин М.Г., Воронов Б.М., Гольцман Г.Н.
Московский государственный педагогический университет, Московский физико-технический институт, НИЦ «Курчатовский Институт», Институт общей физики РАН, Москва
- 17:20-17:40** АКУСТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРАФЕНА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПАВ И ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ
Инсепов З.А., Кононенко О.В., Рошупкин Д.В., Тыныштыкбаев К.Б.
Центр НУРИС Назарбаев университета, Астана, Казахстан; Институт проблем технологии микроэлектроники и особо чистых веществ, Черноголовка
- 17:40-18:00** ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И АТОМНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ГИДРИРОВАНИЯ-ДЕГИДРИРОВАНИЯ ГРАФЕНОВЫХ СТРУКТУР
Нечаев Ю.С., Филиппова В.П.
Институт металловедения и физики металлов им. Г.В. Курдюмова ЦНИИчермет им. И.П. Бардина, Москва

СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ 1

1. ПОДБОР УСЛОВИЙ СИНТЕЗА ОКСИДА ГРАФЕНА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ ТУШИТЕЛЯ В БИОСЕНСОРНЫХ СИСТЕМАХ
Капитонов А.Н., Александров Г.Н., Васильева Ф.Д., Смагулова С.А., Тимофеев В.Б., Максимова Н.Р., Кузнецов А.А.
Северо-Восточный федеральный университет, Якутск
2. РАСЧЁТ ФАСЕТИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ КАРБИДА КРЕМНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО ГРАФЕНА С НЕНУЛЕВОЙ ЗАПРЕЩЁННОЙ ЗОНОЙ
Алексеев Н.И., Лучинин В.В.
С.-Петербургский электротехнический университет «ЛЭТИ»
3. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУР НА ОСНОВЕ ДИХАЛЬКОГЕНИДОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ
Антипина Л.Ю., Сорокин П.Б., Чернозатонский Л.А. ИБХФ им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва; ТИСНУМ, Троицк

4. ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСЕЙ НА ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА ОДНОСЛОЙНОГО MoS₂: ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ
Антипина Л.Ю., Сорокин П.Б.
Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва; ТИСНУМ, Троицк
5. ДЫРОЧНОЕ ДОПИРОВАНИЕ ГРАФЕНА СЛОЯМИ ВОДЫ
Антипина Л.Ю., Сорокин П.Б.
ИБХФ им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва; ТИСНУМ, Троицк
6. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕНОСА НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В ГРАФЕНОВОЙ НАНОЛЕНТЕ НА ОСНОВЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО КВАНТОМЕХАНИЧЕСКОГО ПОДХОДА
Стемпичский В.Р., Багманов А.Т., Козлова О.А.
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск
7. РОСТ ГИБРИДНЫХ ЛЕНТ ИЗ ЖИДКОГО УГЛЕРОДА
Башарин А.Ю., Дождиков В.С.
Объединенный институт высоких температур РАН, Москва
8. СТРУКТУРА sp - sp^2 СЛОЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ, ПОЛУЧАЮЩИХСЯ ИЗ ГРАФЕНОВЫХ СЛОЕВ L₄₋₈, L₃₋₁₂ и L₄₋₆₋₁₂
Беленкова Т.Е., Мавринский В.В., Чернов В.М., Беленков Е.А.
*Челябинский государственный университет,
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова*
9. РАСЧЁТ КВАНТОВО-РАЗМЕРНЫХ ЭФФЕКТОВ В НАНОУГЛЕРОДЕ
Денисов И.А., Зимин А.А., Белобров П.И.
*Институт физики им. Л.В. Киренского, Институт биофизики СО РАН,
Лаб. МОЛПИТ Сибирского федерального университета,
Лаб. нелинейной оптики и спектроскопии СФУ, Красноярск*
10. НИЗКОРАЗМЕРНЫЙ ПИРОУГЛЕРОД В КОМПОЗИТАХ С АЛМАЗОМ
Белобров П.И., Денисов И.А., Зимин А.А., Гордеев С.К.
*Институт физики им. Л.В. Киренского, Институт биофизики СО РАН, Красноярск;
Лаб. МОЛПИТ Сибирского федерального университета, Красноярск; Лаб. нелинейной
оптики и спектроскопии СФУ, Красноярск; ЦНИИ материалов, С.-Петербург*
11. ГРАФЕНОПОДОБНЫЙ MoS₂: НАНОХИМИЯ, ДИАГНОСТИКА, ПРИМЕНЕНИЕ
Васильева И.Г., Асанов И.П., Куликов Л.М.
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
12. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГРАФЕНСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ НА СВОЙСТВА И СТРУКТУРУ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА
Васильева Ф.Д., Александров Г.Н., Охлопкова А.А., Слепцова С.А.
Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск
13. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОВОДИМОСТИ ПЛЕНОК ОКСИДА ГРАФЕНА, ВОССТАНОВЛЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
Винокуров П.В., Смагулова С.А.
Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск
14. СИНТЕЗ И ПРИМЕНЕНИЯ ГРАФЕНА В ИНДУСТРИАЛЬНЫХ МАСШТАБАХ
Власюк И.В., Смирнов С.Н.
*Национальная лаборатория ОакРидж, США;
Университет штата Нью Мексико, США*

15. ЭЛЕКТРОН-ФОНОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В СИСТЕМЕ Li/GRAPHENE/Si-Co
Вопилов А.С., Усачев Д.Ю.
С.-Петербургский государственный университет
16. ГИБРИДНЫЕ ПРОЗРАЧНЫЕ ЭЛЕКТРОДЫ
НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИИ МЕТАЛЛ-ГРАФЕН
Воронин А.С., Иванченко Ф.С., Фадеев Ю.В., Хартов С.В.
*Сибирский федеральный университет, ООО «ФанНано», Красноярск;
Красноярский научный центр СО РАН*
17. СВОЙСТВА ВЫСОКОСИММЕТРИЧНЫХ ДВУМЕРНЫХ
КВАНТОВЫХ ТОЧЕК ГРАФЕНА
Воронцов А.В., Чернозатонский Л.А.
*Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, Новосибирск;
Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва*
18. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРЕВА
ТОНКИХ ПЛЕНОК НИКЕЛЯ НА ГРАФЕНЕ
Галашев А.Е., Рахманова О.Р.
Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН, Екатеринбург
19. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОЧИСТКИ ГРАФЕНА
ОТ МЕДИ И СВИНЦА
Галашев А.Е., Рахманова О.Р.
Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН, Екатеринбург
20. КОМПЬЮТЕРНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ОЧИСТКИ ГРАФЕНА ОТ РТУТИ
Галашев А.Е., Рахманова О.Р.
Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН, Екатеринбург
21. АНАЛОГИ ФУЛЛЕРЕНОВ КАК ИНСТРУМЕНТ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ
Градов О.В.
Институт энергетических проблем химической физики им. В.Л. Тальрозе РАН, Москва
22. ДВУХСЛОЙНЫЙ ГРАФЕН КАК АГЕНТНЫЙ МЕМБРАНОМИМЕТИК
Градов О.В.
Институт энергетических проблем химической физики им. В.Л. Тальрозе РАН, Москва
23. ИНТЕРКАЛЯЦИЯ БИСЛОЯ ГРАФЕН-МоS₂ АТОМАМИ РЕНИЯ
Демин В.А., Чернозатонский Л.А.
Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва
24. ТОНКАЯ СТРУКТУРА КОКСА ИЗ ОКИСЛЕННОГО ПЕКА
Дмитриев А.В., Шанина О.М., Кульницкий Б.А.
Челябинский государственный университет, ТИСНУМ, Троицк
25. СПИН-ПОЛЯРИЗОВАННЫЕ СОСТОЯНИЯ В ЭЛЕКТРОННОЙ СТРУКТУРЕ
СТРОГО ОРИЕНТИРОВАННОГО ГРАФЕНА НА ПОВЕРХНОСТИ Co(0001).
Ерофеевская А.В., Усачев Д.Ю.
С.-Петербургский государственный университет
26. МАТРИЧНЫЕ ОСТРИЙНЫЕ АВТОЭМИССИОННЫЕ КАТОДЫ
НА ОСНОВЕ ПЛЕНОК ГРАФЕНА НА SiCo
Агеев О.А., Светличный А.М., Коломийцев А.С., Житяев И.И.
*Институт нанотехнологий, электроники и приборостроения Южного федерального
университета, Таганрог*

27. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РОСТА ГРАФЕНА НА МЕДНОЙ ПОДЛОЖКЕ МЕТОДОМ CVD
Зайцев Е.В., Куркина Е.С.
Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева, Москва
28. МОДЕЛИ ПОДВИЖНОСТИ, НАСЫЩЕНИЯ И ВОЛЬТАМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРАФЕНОВЫХ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ
Зебрев Г.И., Земцов К.С., Шостаченко С.А.
Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва
29. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СПИНТРОНИКИ: УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ СТРУКТУРОЙ И МАГНЕТИЗМОМ В БИСЛОЕ НАНОЛЕНТ ГРАФЕНА
Илясов В.В., Нгуен В.Ч.
Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону
30. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ И СТРУКТУРНЫХ СВОЙСТВ МНОГОСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ПРИ ИОННЫХ И ТЕРМИЧЕСКИХ ОБРАБОТКАХ
Болотов В.В., Кан В.Е., Макушенко Р.К., Паномарёва И.В.
Омский научный центр СО РАН
31. АНИЗОТРОПИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБ, ОРИЕНТИРОВАННЫХ В МАТРИЦЕ
Каныгин М.А., Арутюнян Н.Р., Саушин А.С., Михеев Г.М., Образцова Е.Д., Булушева Л.Г., Окотруб А.В.
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирский государственный университет, Институт общей физики им. А.М. Прохорова, Москва, Институт механики УрО РАН, Ижевск
32. ПОЛУЧЕНИЕ ТЕРМОРАСШИРЕННОГО ГРАФИТА И ЕГО СОРБЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ
Катанова А.Г., Александров Г.Н., Капитонов А.Н.
Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск
33. ТРАНСПОРТНЫЕ И СЕНСОРНЫЕ СВОЙСТВА ФТОРИРОВАННОГО ГРАФЕНА
Катков М.В., Сысоев В.И., Гусельников А.В., Булушева Л.Г., Окотруб А.В.
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
34. ГРАФЕНОПОДОБНЫЕ МАТЕРИАЛЫ КАК ПЕРСПЕКТИВНАЯ ОСНОВА БИОТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
Василов Р.Г., Кашин В.В., Колесов В.В., Решетилов А.Н.
Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Москва; Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрыбина РАН, Пушкино
35. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕТЕРОСТРУКТУР НА ОСНОВЕ ДИСУЛЬФИДА МОЛИБДЕНА, ДЕКОРИРОВАННОГО МОЛЕКУЛАМИ ФуЛЛЕРЕНОВ
Квашнин А.Г., Артюх А.А., Сорокин П.Б., Чернозатонский Л.А.
ТИСНУМ, Троицк; Московский физико-технический институт, Долгопрудный; Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва

36. МОДЕЛЬ СВЕРХТВЕРДОГО УГЛЕРОДНОГО НАНОКОМПОЗИТА
Квашнина Ю.А., Квашнин А.Г., Чернозатонский Л.А., Сорокин П.Б.
*ТИСНУМ, Троицк; Московский физико-технический институт, Долгопрудный;
Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва*
37. VN-ГРАФЕН И ГРАФЕН-ГРАФЕН СЛОИСТЫЕ НАНОСТРУКТУРЫ.
АТОМНАЯ СТРУКТУРА И ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА
Квашнин Д.Г., Антипина Л.Ю., Сорокин П.Б., Чернозатонский Л.А.
Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва
38. ИССЛЕДОВАНИЕ КАТАЛИЗАТОРОВ Pt-МАЛОСЛОЙНЫЙ ГРАФЕН
И Pt-N-МАЛОСЛОЙНЫЙ ГРАФЕН МЕТОДАМИ ФОТОЭЛЕКТРОННОЙ
СПЕКТРОСКОПИИ И ПЭМ
Кибис Л.С., Грайфер Е.Д., Стонокус О.А., Славинская Е.М., Федоров В.Е., Боронин А.И.
*Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН; Новосибирский государственный
университет; Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН*
39. КОЛЛОИДНЫЕ ДИСПЕРСИИ ДИСУЛЬФИДА МОЛИБДЕНА
Козлова М.Н., Небогатикова Н.А., Подлипская Т.Ю., Грайфер Е.Д., Фёдоров В.Е.
*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН,
Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН*
40. НАНОЧАСТИЦЫ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ НА ПОВЕРХНОСТИ
РАСЩЕПЛЕННЫХ ДИХАЛЬКОГЕНИДОВ МОЛИБДЕНА
Козлова М.Н., Грайфер Е.Д., Фёдоров В.Е.
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
41. СИНТЕЗ ГРАФЕНА МЕТОДОМ ГАЗОФАЗНОГО ОСАЖДЕНИЯ НА МЕДИ.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ФОРМИРОВАНИЕ ГРАФЕНА
Костогруд И.А., Смовж Д.В.
*Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН,
Новосибирский государственный университет*
42. ТРАНЗИСТОРНЫЕ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА
И ХИМИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННОГО МУЛЬТИГРАФЕНА
Котин И.А., Антонова И.В., Принц В.Я.
Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Новосибирск
43. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЗАХВАТА НОСИТЕЛЕЙ В МДП-СТРУКТУРАХ
НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА И ЕГО ПРОИЗВОДНЫХ
Котин И.А., Антонова И.В., Смагулова С.А., Принц В.Я.
Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Новосибирск
44. КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПОЛИМОРФОВ ГРАФЕНА
Коченгин А.Е., Беленков Е.А.
Челябинский государственный университет
45. С-СОДЕРЖАЩИЕ НАНОКОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ КОБАЛЬТА,
НИКЕЛЯ, МОЛИБДЕНА И ВОЛЬФРАМА
Трусова Е.А., Коцарева К.В., Кириченко А.Н.
Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН; ТИСНУМ, Троицк

10 сентября 2015 года, четверг

МАТЕРИАЛЫ И УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА И РОДСТВЕННЫХ СТРУКТУР

Председатель – Грачев Д.В.

- 9:00-9:30** ГРАФЕН КАК ИСТОЧНИК ХОЛОДНОЙ ПОЛЕВОЙ ЭМИССИИ ЭЛЕКТРОНОВ
Бочаров Г.С., Елецкий А.В., Квашнин Д.Г., Чернозатонский Л.А.
Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт», НИЦ «Курчатовский институт», Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН
- 9:30-10:00** ФИЗИКА ПРИБОРОВ И СТРУКТУР НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА
Принц В.Я.
Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН
- 10:00-10:30** ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ АВТОЭЛЕКТРОННОЙ ЭМИССИИ ИЗ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА
Образцов А.Н., Клещ В.И., Свирко Ю.П.
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Физический факультет
- 10:30-11:00** ОТРИЦАТЕЛЬНОЕ ПРЕЛОМЛЕНИЕ ВОЛН МАТЕРИИ НА ПРИМЕРЕ ЭЛЕКТРОНОВ В ГРАФЕНЕ
Климов В.В.
ВНИИ автоматики им. Н.Л. Духова, Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН
- 11:30-11:50** ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЛОЕВ ФТОРОГРАФЕНА С КВАНТОВЫМИ ТОЧКАМИ ГРАФЕНА
Антонова И.В., Небогатикова Н.А., Принц В.Я.
Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН
- 11:50-12:10** ГРАФЕН НА ОСНОВЕ SiC: ПОЛУЧЕНИЕ, ИССЛЕДОВАНИЕ И ВОЗМОЖНЫЕ ПРИБОРНЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ
Лебедев А.А., Агринская Н.В., Березовец В.А., Лебедев С.П., Смирнов А.Н., Макаров Ю.Н., Новиков С.В.
Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН, ГК «Нитридные кристаллы», С.-Петербург; Университет Аалто, Espoo, Finland
- 12:10-12:30** ВЗРЫВНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ОКСИДА ГРАФИТА ПАРАМИ ГИДРАЗИНА
Мельников В.П., Гудков М.В.
Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, Москва

Председатель – Кузнецов В.Л.

- 13:30-14:00** ЭЛЕКТРОКАТАЛИТИЧЕСКИЕ СЛОИ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНОПОДОБНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ТВЕРДЫМ ПОЛИМЕРНЫМ ЭЛЕКТРОЛИТОМ
Григорьев С.А., Пушкарев А.С., Марусева И.В.,
Калиниченко В.Н., Фатеев В.Н.
Национальный исследовательский университет «МЭИ»,
Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»,
Научно-производственная фирма «Делтарус», Долгопрудный
- 14:00-14:20** ЭЛЕКТРОХИМИЯ НАНОФОРМ УГЛЕРОДА.
ПОИСК ОПРЕДЕЛЁННОСТИ
Кривенко А.Г.
Институт проблем химической физики РАН, Черноголовка
- 14:20-14:40** КРАЕВАЯ АВТОЭЛЕКТРОННАЯ ЭМИССИЯ
ИЗ ПЛЕНОК ГРАФЕНА БОЛЬШОЙ ПЛОЩАДИ
Клещ В.И., Бандурин Д.А., Образцов А.Н., Туякова Ф.Т.
*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
Московский государственный университет информационных
технологий, радиотехники и электроники (МИРЭА)*
- 14:40-15:00** КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНОПОДОБНЫХ СТРУКТУР
Арбузов А.А., Куш С.Д., Куюнко Н.С., Володин А.А.,
Можжухин С.А., Тарасов Б.П.
Институт проблем химической физики РАН, Черноголовка
- 15:00-15:20** КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ
И СУЛЬФИДОВ НЕПЕРЕХОДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ВОССТАНОВ-
ЛЕННОГО ОКСИДА ГРАФЕНА – АНОДЫ
ДЛЯ Li- И Na-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ
Михайлов А.А., Медведев А.Г., Гришанов Д.А., Трипольская Т.А.,
Приходченко П.В., Лев О.
*Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН,
Еврейский Иерусалимский университет*
- 15:50-16:10** ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ОКСИДА ГРАФЕНА
ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКАХ ТОКА
Рычагов А.Ю., Губин С.П., Чупров П.Н., Корнилов Д.Ю., Алмазова А.С.,
Краснова Е.С., Воронов В.А., Грызлов Д.Ю., Давыдова Е.С.
*Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН,
ООО "АкКо Лаб", Москва*
- 16:10-16:30** ПРИМЕНЕНИЕ СУСПЕНЗИЙ ГРАФЕНОВЫХ ЧАСТИЦ
В КАЧЕСТВЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩЕЙ ДОБАВКИ
В КАТОДАХ ЛИТИЕВЫХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА
Пуцылов И.А., Смирнов С.Е., Николаева А.В., Самойлов В.М.
*Национальный исследовательский университет "МЭИ", НИИГрафит,
Москва*

- 16:30-16:50** ИНТЕГРАЛЬНЫЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ЛИСТОЧКОВ ТЕРМОРАСШИРЕННОГО ГРАФИТА
Дмитриев А.В.
Челябинский государственный университет
- 16:50-17:10** ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ ИЗ МОНОСЛОЙНОГО И МУЛЬТИСЛОЙНОГО CVD ГРАФЕНА
Волкова Я.Б., Князев М.А., Матвеев В.Н., Волков В.Т., Кононенко О.В.
Институт проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН, Черноголовка; Институт новых материалов и нанотехнологий Национального исследовательского технологического университета "МИСиС", Москва
- 17:10-17:30** О РОЛИ ГРАФЕНОПОДОБНОГО УГЛЕРОДА В СТРУКТУРООБРАЗОВАНИИ ОКСИДОКЕРАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НА СИЛУМИНАХ
Витязь П.А., Комаров А.И., Комарова В.И., Золотая П.С.
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск, Беларусь
- 17:30-18:00** *Представление фирм*

СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ 2

1. ИНТЕНСИФИЦИРОВАНИЕ МИКРОПЛАЗМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ШУНГИТОВОГО НАНОУГЛЕРОДА В ПРОЦЕССЕ ФОРМИРОВАНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НА СПЛАВАХ АЛЮМИНИЯ
Комаров А.И., Комарова В.И., Рожкова Н.Н., Золотая П.С.
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск; Институт геологии Карельского НЦ РАН, Петрозаводск
2. СИНТЕЗ ГРАФЕНА НА ПОДЛОЖКАХ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ЛАНТАНГАЛЛИЕВОГО ТАНТАЛАТА
Матвеев В.Н., Кононенко О.В., Панин Г.Н., Рошупкин Д.В.
Институт проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН, Черноголовка
3. АНОДНЫЙ СИНТЕЗ БИСУЛЬФАТА ГРАФИТА С ВЫСОКОЙ СТЕПЕНЬЮ ТЕРМОРАСШИРЕНИЯ
Кузнецова Н.Ю., Финаенов А.И., Краснов В.В., Тимофеева Н.В.
Энгельсский технологический институт (филиал) Саратовского государственного университета им. Ю.А. Гагарина
4. ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ ОБРАЗЦОВ ОКСИДА ГРАФЕНА, ВОССТАНОВЛЕННОГО ОГ И ГИБРИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ИХ ОСНОВЕ МЕТОДОМ КР-СПЕКТРОСКОПИИ
Казаков В.А., Сигалаев С.К., Лобач А.С.
ГНЦ «Центр Келдыша», Москва; Институт проблем химической физики РАН, Черноголовка

5. ВЛИЯНИЕ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОЧАСТИЦ Co/Mo, Ni/Mo, Fe/Mo НА СТРУКТУРУ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЗОТДОПИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК
Лобяк Е.В., Булушева Л.Г., Федоровская Е.О., Шубин Ю.В., Плюснин П. Е., Шляхова Е.В., Lonchambon P., Flahaut E., Окотруб А.В.
Институт неорганической химии СО РАН, Новосибирск
6. ГИБРИДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИЗ УГЛЕРОДНЫХ АТОМОВ В ДВУХ- И ТРЕХКООРДИНИРОВАННЫХ СОСТОЯНИЯХ
Мавринский В.В., Беленкова Т.Е., Чернов В.М., Беленков Е.А.
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Челябинский государственный университет
7. НАБЛЮДЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ШИРИНЫ ЗАПРЕЩЁННОЙ ЗОНЫ МНОГОСЛОЙНОГО ГРАФЕНА В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ МЕТОДОМ СВЕРХВЫСОКОВАКУУМНОЙ ТУННЕЛЬНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ.
Масалов С.А., Дидейкин А.Т., Евтихийев В.П.
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, С.-Петербург
8. ФОРМИРОВАНИЕ ПЛОТНОУПАКОВАННЫХ ГРАФЕНОВЫХ СЛОЕВ ВОКРУГ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОСФЕР, ВСТРОЕННЫХ В УГЛЕРОДНУЮ МАТРИЦУ, В ПРОЦЕССЕ КОНВЕРСИИ МЕТАНА
Мартыненко Е.С., Кряжев Ю.Г., Тренихин М.В., Семенова О.Н., Солодовниченко В.С., Лихолобов В.А.
Институт проблем переработки углеводородов СО РАН, Омск
9. СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ОКСИФТОРИДА МУЛЬТИСЛОЙНОГО ГРАФЕНА
Асанов И.П., Макотченко В.Г., Логвиненко В.А., Гевко П.Н., Подлипская Т.Ю., Булавченко А.И., Максимовский Е.А., Корольков И.В., Зайковский В.И.
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН
10. СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ОКИСИ МУЛЬТИСЛОЙНОГО ГРАФЕНА
Асанов И.П., Макотченко В.Г.
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
11. ДИСПЕРГИРОВАНИЕ РАСШИРЕННЫХ СОЕДИНЕНИЙ ГРАФИТА В РОТОРНО-ИМПУЛЬСНОМ АППАРАТЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГРАФЕНОВЫХ НАНОПЛАСТИНОК
Мележик А.В., Меметов Н.Р., Ткачев А.Г.
Тамбовский государственный технический университет
12. СИНТЕЗ ГРАФЕНОВЫХ ПЛЕНОК МЕТОДОМ ХИМИЧЕСКОГО ГАЗОФАЗНОГО ОСАЖДЕНИЯ И ИХ ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ
Николаев Д.В., Тимофеев В.Б., Попов В.И.
Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск
13. ПЛЕНКИ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНОВОЙ СУСПЕНЗИИ, ПОДВЕРГНУТОЙ ХИМИЧЕСКОЙ МОДИФИКАЦИИ В ВОДНОМ РАСТВОРЕ ПЛАВИКОВОЙ КИСЛОТЫ
Небогатикова Н.А., Антонова И.В., Принц В.Я.
Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Новосибирский государственный университет

14. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ТЕРМОВОССТАНОВЛЕННОГО ОКСИДА ГРАФЕНА
Неустроев Е.П., Ноговицына М.В., Соловьева Ю.С., Александров Г.Н., Бурцева Е.К.
Северо-Восточный Федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск
15. О ФИЗИКЕ ИНТЕРКАЛЯЦИИ ВОДОРОДНОЙ НАНОФАЗЫ ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ В ГИДРИРОВАННЫХ ГРАФИТОВЫХ НАНОСТРУКТУРАХ
Нечаев Ю.С., Филиппова В.П.
Институт металловедения и физики металлов им. Г.В. Курдюмова ЦНИИчермет им. И.П. Бардина, Москва
16. ВЛИЯНИЕ ИСХОДНОГО ГРАФИТА НА СТРОЕНИЕ ГРАФЕНОВЫХ ЧАСТИЦ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ЖИДКОФАЗНОЙ ЭКСФОЛИАЦИИ
Николаева А.В., Данилов Е.А., Самойлов В.М., Абрамчук С.С.
НИИГрафит, Москва; Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН
17. КОЛЛОИДНЫЕ РАСТВОРЫ, КОМПОЗИТЫ И ПЛЕНКИ ТРИСУЛЬФИДА ТАНТАЛА TaS₃
Полтарак П.А., Артемкина С.Б., Федоров В.Е.
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
18. ГРАФЕНОПОДОБНЫЕ СТРУКТУРЫ НА ПОВЕРХНОСТИ АЛМАЗНЫХ ПЛЁНОК, СИНТЕЗИРОВАННЫХ МЕТОДОМ MW PE CVD
Поляков О.В., Каньгин М.А., Асанов И.П., Городецкий Д.В., Чувиллин А.Л., Булушева Л.Г., Окотруб А.В.
*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
CIC nanoGUNE Consolider, Сан Себастьян, Испания*
19. ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ МУЛЬТИГРАФЕНОВОЙ ПЛЕНКИ С МЕДНЫМИ КОНТАКТАМИ
Попов В.И., Тимофеев В.Б., Тимофеева Т.Е., Смагулова С.А.
Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск
20. ПЛЕНОЧНЫЕ ЭЛЕКТРОДЫ ИЗ НЕОРИЕНТИРОВАННЫХ МНОГОСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ДЛЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ
Попов К.М., Федоровская Е.О., Архипов В.Е., Куреня А.Г., Каньгин М.А., Гусельников А.В., Булушева Л.Г., Окотруб А.В.
Институт неорганической химии СО РАН, Новосибирск, Россия
21. ВЛИЯНИЕ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ АППРОКСИМАЦИИ НА ПЕРЕХОД ЗАРЯДА В СИСТЕМЕ АДАТОМ – ОДНОЛИСТНЫЙ ГРАФЕН
Давыдов С.Ю., Лебедев А.А., Посредник О.В.
*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН;
С.-Петербургский электротехнический университет (ЛЭТИ)*
22. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ ПЭМВР СТРУКТУРНЫХ И МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ТРАНСФОРМАЦИЙ ГЛОБУЛЯРНОГО УГЛЕРОДА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ЭЛЕКТРОННЫМИ ПУЧКАМИ
Павлюченко П.Е., Тренихин М.В., Арбузов А.Б., Иващенко О.В., Дроздов В.А., Толочко Б.П.
Центр коллективного пользования СО РАН, Омск

23. ПРИМЕНЕНИЕ МУЛЬТИСЛОЙНОГО ГРАФЕНА В ИНЖЕНЕРНОЙ ЭКОЛОГИИ
Пинаков Д.В., Грайфер Е.Д., Макотченко В.Г., Макотченко Е.В., Федоров В.Е.
*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН,
Новосибирский государственный университет*
24. НАНОСТРУКТУРЫ ШУНГИТОВОГО УГЛЕРОДА В ПРИРОДЕ И ДИСПЕРСИЯХ
Рожкова Н.Н., Михайлина А.А., Рожков С.С.
*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии
Карельского научного центра РАН*
25. ТЕКСТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ
НАНОПОРИСТЫХ УГЛЕРОДНЫХ СОРБЕНТОВ
Сагидуллин А.К., Левченко Л.М., Шемякин В.В.
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
26. СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОКСИДА ГРАФЕНА, ПОЛУЧЕННОГО
ИЗ ТЕРМОРАСШИРЕННОГО ГРАФИТА
Самаров А.В., Ткаченко Т.Б., Илькевич Л.В., Созинов С.А., Барнаков Ч.Н.
*Институт углеродной и химического материаловедения СО РАН, Кемерово;
Кемеровский государственный университет, Кемеровский научный центр СО РАН*
27. РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ПЕРЕНОСА И НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЯ ГРАФЕНА
С ПОМОЩЬЮ ШТАМПОВОЙ НАНОЛИТОГРАФИИ
Селезнев В.А., Принц В.Я., Соотс Р.А., Комонов А.И., Корнеев А.И., Голод С.В.
Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН
28. ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ МЕДИ
НА МОРФОЛОГИЮ ВЫРАЩЕННОГО ГРАФЕНА
Сергеев М.А., Голод С.В., Володин В.А., Комонов А.И., Соотс Р.А., Принц В.Я.
Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Новосибирск
29. ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ПОЛИРОВКИ МЕДНОЙ ФОЛЬГИ
НА КАЧЕСТВО ВЫРАЩЕННОГО ГРАФЕНА
Сергеев М.А., Голод С.В., Володин В.А., Комонов А.И., Принц В.Я.
Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН
30. ВОССТАНОВЛЕННЫЙ ФТОРИД ГРАФИТА В КАЧЕСТВЕ ГАЗОВОГО СЕНСОРА
Сысоев В.И., Катков М.В., Гусельников А.В., Булушева Л.Г., Окотруб А.В.
*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН,
Новосибирский государственный университет*
31. ГИБРИДНЫЕ УГЛЕРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
ИЗ sp^2 И sp^3 ГИБРИДИЗИРОВАННЫХ АТОМОВ
Тиньгаев М.И., Беленков Е.А.
Челябинский государственный университет
32. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА
В УЛЬТРАТОНКОЙ УГЛЕРОДНОЙ ПЛЕНКЕ
Тимофеева Т.Е., Винокуров П.В., Тимофеев В.Б., Смагулова С.А.
Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск
33. ГРАФЕН, ПОЛУЧЕННЫЙ ВОССТАНОВЛЕНИЕМ ОГ
СВЕРХКРИТИЧЕСКИМ ПРОПАНОЛОМ
Ткачев С.В., Буслаева Е.Ю.
ВНИИАЛМАЗ, АкКоЛаб, Москва

34. ПОСЛОЙНАЯ ХИМИЧЕСКАЯ СБОРКА НАНОКОМПОЗИТОВ
ОКСИДА ГРАФЕНА И ОКСИДОВ ТИТАНА ИЛИ ОЛОВА
Кодинцев И.А., Толстой В.П.
Институт химии С.-Петербургского государственного университета
35. ПАРАМАГНИТНЫЕ ЦЕНТРЫ В ОКСИДЕ ГРАФЕНА
Фионов А.В., Тополюк Ю.А., Щапин И.Ю., Нехаев А.И., Максимов А.Л., Лунин В.В.
МГУ им. М.В. Ломоносова, Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН, РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва
36. ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫЕ ГРАФЕНСОДЕРЖАЩИЕ МЕЗОПОРИСТЫЕ
МАТЕРИАЛЫ КАК КАТАЛИЗАТОРЫ КИСЛОТНО-ОСНОВНЫХ РЕАКЦИЙ
Тополюк Ю.А., Дуйсембаев Д.М., Нехаев А.И., Максимов А.Л.
Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН, РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва
37. ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ОКСИДА ГРАФЕНА
Томская А.Е., Капитонов А.Н., Смагулова С.А., Алексеев А.А., Васильева Ф.Д.
Северо-Восточный Федеральный Университет, Якутск
38. МОДЕЛЬ АДСОРБЦИИ НА АМОРФНОМ ГРАФЕНЕ
Давыдов С.Ю., Трошин С.В.
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербургский электротехнический университет (ЛЭТИ)
39. НОВЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ
ВОССТАНОВЛЕННОЙ ОКИСИ ГРАФЕНА И СВЕРХСШИТОГО ПОЛИСТИРОЛА
Червонобродов С.П.
Отдел наноуглеродных материалов НИЦ «Курчатовский институт», ООО «Карбонлайт», Долгопрудный
40. ПЛАЗМОСТРУЙНЫЙ СИНТЕЗ ГРАФЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИХ СВОЙСТВА
Амиров Р.Х., Атаманюк И.Н., Воробьева Н.А., Тюфтяев А.С., Шавелкина М.Б., Школьников Е.И.
Объединенный институт высоких температур РАН, Москва; МГУ им. М.В. Ломоносова
41. ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАФЕНОВОЙ ПРОВОДЯЩЕЙ ФАЗЫ
В КЕРАМИЧЕСКОМ РЕЗИСТИВНОМ МАТЕРИАЛЕ
Шаронов И.А., Разяпов Э.Р., Самойлов В.М., Николаева А.В.
НИИГрафит, Москва
42. ВЛИЯНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ СТРУКТУРЫ МЕЗОПОРИСТОГО УГЛЕРОДА,
ПОЛУЧЕННОГО ИЗ РАЗНЫХ ИСТОЧНИКОВ УГЛЕРОДА,
НА ЕГО ЕМКОСТНЫЕ СВОЙСТВА
Е.В. Шляхова, Ю.В. Федосеева, Е.О. Федоровская, Л.Г. Булушева, А.В. Окотруб
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирский государственный университет
43. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАНОСТРУКТУР И БИОСИСТЕМ
Шмыгин Д.С., Глухова О.Е., Слепченков М.М., Колесникова А.С., Савостьянов Г.В.
Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского

44. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТРАНЗИСТОРА
С КАНАЛОМ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА
Миннебаев С.В., Захарченко Р.В., Шостаченко С.А., Маслов М.М., Катин К.П., Зебрев Г.И., Земцов К.С., Каргин Н.И.
Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва
45. МОДЕЛИРОВАНИЕ МОЛЕКУЛЯРНЫХ СИСТЕМ, СОДЕРЖАЩИХ ГРАФЕН
Ченцов А.В.
Институт проблем механики РАН, Москва

11 сентября 2015 года, пятница

ГИБРИДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОЧАСТИЦ

Председатель – Антонова И.В.

- 9:00–9:30** ИННОВАЦИИ В СЗМ И ИССЛЕДОВАНИЕ
УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ
Быков В.А.
Компания «Нанотехнология МДТ», Зеленоград
- 9:30-10:00** РЕНЕССАНС НИЗКОРАЗМЕРНЫХ НЕОРГАНИЧЕСКИХ
МАТЕРИАЛОВ: ОТ ГРАФЕНА
К ДРУГИМ СЛОИСТЫМ СТРУКТУРАМ
Артемкина С.Б., Козлова М.Н., Полтарак П.А., Леднева А.Ю.,
Миронов Ю.В., Грайфер Е.Д., Федоров В.Е.
*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН,
Новосибирский государственный университет*
- 10:00-10:30** МЕТОДЫ TERS ("НАНО-РАМАН") И ИНФРАКРАСНОЙ
МИКРОСКОПИИ ВЫСОКОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО
РАЗРЕШЕНИЯ ДЛЯ ХАРАКТЕРИЗАЦИИ УГЛЕРОДНЫХ
НАНОМАТЕРИАЛОВ
Дорожкин П.С.
Компания «Нанотехнология МДТ», Зеленоград
- 10:30-11:00** СТРОЕНИЕ РЕАЛЬНЫХ КАТАЛИТИЧЕСКИХ
МНОГОСЛОЙНЫХ НАНОТРУБОК
Кузнецов В.Л., Красников Д.В., Казакова М.А., Мосеенков С.И.,
Романенко А.И., Ткачев Е.Н., Образцова Е.Д., Бокова-Сирош С.Н.
*Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, Новосибирский
государственный университет, Институт неорганической химии им.
А.В. Николаева СО РАН, Институт общей физики им. А.М. Прохорова
РАН*

11:30-11:50 ПОЛУЧЕНИЕ АЗОТСОДЕРЖАЩИХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОВОЛОКОН И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В КАЧЕСТВЕ НОСИТЕЛЯ КАТАЛИЗАТОРОВ
Подъячева О.Ю., Булушев Д.А., Шмаков А.Н., Боронин А.И., Лисицын А.С., Стонкус О.А., Чесалов Ю.А., Романенко А.И., Исмагилов З.Р.
Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Институт углехимии и химического материаловедения СО РАН, Кемерово

11:50-12:10 ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ САМОРАЗЛОЖЕНИЯ ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА НА ПОВЕРХНОСТИ ДИСПЕРСНОГО УГЛЕРОДА
Раздьяконова Г.И., Кохановская О.А., Лихолобов В.А.
Институт проблем переработки углеводородов СО РАН, Омск; Омский государственный технический университет

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

Председатель – Окотруб А.В.

12:40-13:10 ГРАФЕН – БЛАГАЯ ВЕСТЬ ДЛЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ 21 ВЕКА
Губин С.П.
Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, Москва

13:10-13:30 ИТОГИ КОНФЕРЕНЦИИ
Окотруб А.В.
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск

8 СЕНТЯБРЯ

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

СИНТЕЗ ГРАФЕНОВ И РОДСТВЕННЫХ СТРУКТУР

ФОРМИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОМЕРНЫХ ПОЛОСОК ГРАФЕНА ВНУТРИ ОДНОСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Е.Д. Образцова¹, А.И. Чернов¹, П.В. Федотов¹, Е.А. Образцова¹, А.В. Белкин¹,
В.Л. Кузнецов², А.Л. Чувиллин³

¹Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва, Россия
e-mail:elobr@mail.ru

²Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, Новосибирск, Россия
³CIC nanoGUNE Consolider, Сан Себастьян, Испания

Уникальные электрофизические свойства графена могут быть дополнены размерно-зависимыми оптическими свойствами, появляющимися из-за открытия запрещенной зоны в узких (0.5- 20 нм толщиной) полосках графена. Такие полосы имеют большой потенциал для применения в оптоэлектронике. Существует несколько методов их формирования. Одним из наиболее надежных методов является газофазное заполнение одностенных углеродных нанотрубок молекулами коронена (C₂₄H₁₂) при нагреве при температурах выше 450°C [1].

В данной работе кинетика процессов заполнения нанотрубок молекулами C₂₄H₁₂, их упорядочения в стопки (Рис. 1а) и преобразования в полоски (Рис. 1б) промоделирована и исследована методами просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения (Рис. 1в, 1г) и оптической спектроскопии. Зарегистрирована размерно-зависимая фотолуминесценция нанополос графена [1]. В спектрах комбинационного рассеяния света и фотолуминесценции выявлены полосы, характерные для каждой из формирующихся фаз [2].

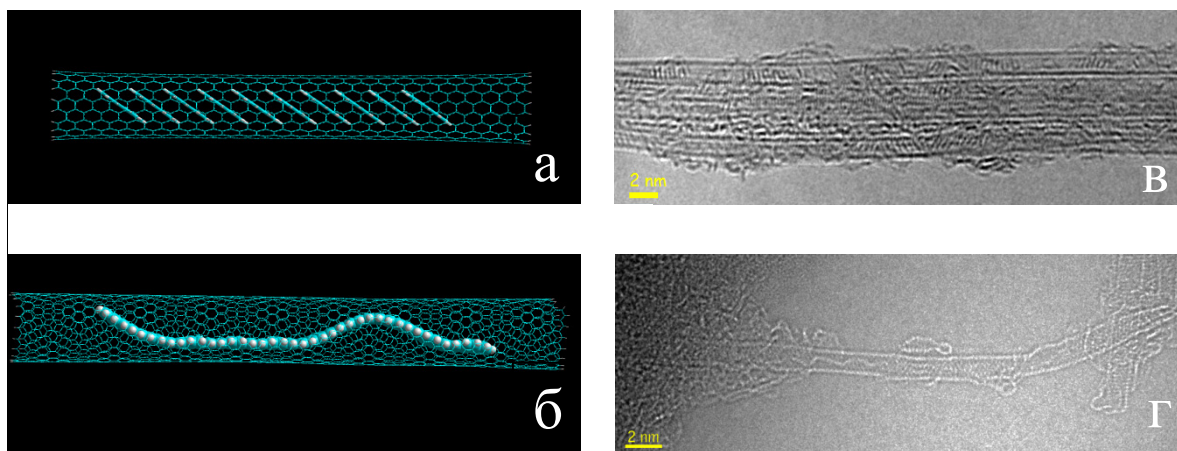


Рис. 1. Рассчитанные модели стопки молекул коронена (Рис. 1а) и полоски графена (Рис. 1б) внутри одностенной углеродной нанотрубки, и изображения реальных структур, полученные методом просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения (Рис. 1в и 1г)

Работа была поддержана проектами РФФИ 15-32-20941, 14-02-00777 и 14-02-31498.

1. A. I. Chernov, P. V. Fedotov, et al., *ACS Nano* 7 (2013) 6346.
2. E.D. Obraztsova, A.L. Chuvilin et al., *Phys. Stat Solidi B* (2015) (submitted).

VAN DER WAALS HETEROSTRUCTURES BASED ON VARIOUS 2D CRYSTALS

Р.В. Горбачев

Манчестерский университет, Великобритания

Graphene is one atomic layer of carbon atoms arranged in a honeycomb lattice. It is the thinnest, strongest material known, which is also chemically inert, flexible, transparent and an excellent conductor of electricity and heat. Probably the most important benefit of graphene's discovery is the attention it has brought to many other two-dimensional (2D) layered materials. Using similar strategies to those applied to graphene one can extract single atomic layers from other bulk crystals. For example, graphene's 'sister' material hexagonal boron nitride has similar mechanical properties but on the contrary is an insulator.

In the last couple of years, a novel field has emerged which deals with structures and devices assembled layer-by-layer from various atomically-thin crystals. These new multilayer structures have proved to be extremely versatile, showing exceptional electronic and optical properties, new physics and new functionality. In particular, we have overcome the band gap problem by producing tunnelling transistors of two layers of graphene separated by a few atoms thick layer of molybdenum disulphide.

In this talk I will review recent progress in this field and present important milestones in its development. Specific attention will be paid to fabrication of such structures and their chemical stability as well as charge transport experiments demonstrating various proof-of-concept functionalities.

ЭЛЕКТРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА: ОГРАНИЧЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Н.Ф. Уваров^{1,2,3}, Ю.Г. Матейшина^{1,2,3}, А.С. Улихин^{1,2}, Б.Б. Бохонов¹, А.В. Ухина¹

¹*Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск, Россия*

²*Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия*

³*Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия*

uvarov@solid.nsc.ru

Графен и материалы на его основе рассматриваются в качестве перспективных систем для создания активных электродных материалов электрохимических суперконденсаторов. Благодаря высокому значению удельной поверхности, удельной поверхностной емкости двойного слоя и электропроводности, монослойный графен должен превосходить по величине удельной емкости двойного слоя (560 Ф/г) все известные в настоящее время электродные материалы [1]. Однако, несмотря на многочисленные попытки приблизиться к предельно возможному значению, достигнутые значения удельной емкости графеновых материалов не превышают 200-220 Ф/г. Этот факт, по-видимому, связан с необычайной легкостью агрегации графена с образованием полиграфена, – агрегата параллельно уложенных графеновых листов, отличающегося от графита случайной ориентацией графеновых слоев. В данной работе представлены результаты по исследованию свойств полиграфена, полученного различными способами. Для увеличения удельной поверхности были использованы различные методы, включающие ультразвуковую обработку, интенсивное перемешивание, механическую обработку в планетарных мельницах в различных средах. Все эти методы в разной мере приводят к росту удельной поверхности полиграфена, что позволило достигнуть значений его удельной емкости около 200 Ф/г.

Работа проведена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса на 2014-2020 годы», соглашение № 14.604.21.0013.

[1] J. Li, X. Cheng, A. Shashurin, M. Keidar / Review of Electrochemical Capacitors Based on Carbon Nanotubes and Graphene / Graphene, 2012. V.1. P. 1-13.

ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА МАССИВНЫХ ДИРАКОВСКИХ ФЕРМИОНОВ В ГРАФЕНЕ

А.В. Кретинин

Манчестерский университет, Великобритания

Открытие графена инициировало поиск других двумерных материалов, которые смогли бы дополнить его уникальные свойства. В результате этих поисков удалось выделить и изучить множество различных атомарно тонких двумерных кристаллов с диэлектрическими, полупроводниковыми и сверхпроводниковыми свойствами [1]. Недавно было продемонстрировано что атомарно-тонкие слои различных материалов могут быть составными элементами так называемых гетероструктур ван дер Ваальса [2], которые, в свою очередь, предоставляют возможность для построения новых электронных и опто-электронных устройств.

Одним из наиболее важных материалов используемых в подобного рода гетероструктурах является гексагональный аллотроп нитрида бора (hBN), обладающий диэлектрическими свойствами. Инкапсуляция графена гексагональным нитридом бора (гетероструктура hBN/графен/hBN) не только улучшает его транспортные свойства, но также может привести к существенным изменениям в его электронном спектре. Выравнивание кристаллографических осей графена и инкапсулирующего hBN приводит к возникновению внешнего периодического потенциала (т. н. муарной сверхрешетки) обусловленного небольшой разницей в их постоянных решетки. Наличие данной сверхрешетки нарушает подрешеточную симметрию графена и является причиной открытия щели в точке Дирака с параболическим электронным спектром вблизи неё [3, 4].

Наши эксперименты по изучению электронной проводимости подобного рода массивных Дираковских систем выявили сильные нелокальные сигналы вблизи щели при нулевом магнитном поле. Возникновение этих нелокальных сигналов объясняется как следствие долиного эффекта Холла вызванного существованием кривизны Берри в Дираковском спектре с энергетической щелью [5].

Ненулевая кривизна Берри есть общее свойство массивных дираковских фермионов в присутствии щели, поэтому нам удалось зарегистрировать присутствие долинных токов в нулевом магнитном поле также и в двуслойном графене. В этом случае электронный спектр изначально параболический, а энергетическая щель может быть плавно открыта путем приложения внешнего электрического поля.

Несмотря на то, что наши эксперименты явно продемонстрировали наличие долинного эффекта Холла детали механизма протекания тока остаются до конца неизученными. В частности, не ясно протекают ли долинные токи по всему объему или носят краевой характер, как в случае с Квантовым эффектом Холла.

1. K. S. Novoselov et al., P. Natl. Acad. Sci. USA 102 (2005).
2. A. K. Geim, and I. V. Grigorieva, Nature 499 (2013).
3. B. Hunt et al., Science 340 (2013).
4. C. R. Woods et al., Nat Phys 10 (2014).
5. R. V. Gorbachev et al., Science 346 (2014).

НИЗКОРАЗМЕРНЫЙ ПИРОУГЛЕРОД В КОМПОЗИТАХ С АЛМАЗОМ

П.И. Белобров^{1,2}, И.А. Денисов², А.А. Зимин³, С.К. Гордеев⁴

¹Институт физики им. Киренского и Институт биофизики СО РАН, Красноярск, Россия

²МОЛПИТ, Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

³Лаб.нелинейной оптики и спектроскопии СФУ, Красноярск, Россия

⁴ЦНИИ Материалов, Санкт-Петербург, Россия

peter.belobrov@gmail.com

Модели Китаева и 2D компасов [1] вместе с новой концепцией топологических материалов Андо [2] позволяют рассмотреть низкоразмерный пироуглерод в композитах с алмазными шарами ~ 5 нм (NDC). Расчеты коллективных электронных состояний Тамма и подповерхностных локализованных состояний в наноалмазах [3] вместе с представлениями о графеновых и графановых структурах размерностью от 1 до 2 позволили предложить модель 3D алмазного компаса (DC) в пироуглероде,

Результаты экспериментальных исследований NDC, особенно его поведение при облучении нейтронами, показывают, что пироуглерод (смесь графеновых и графановых чешуек) [4-7] образуют скелетон с фрактальной размерностью ~ 2 , в котором располагаются алмазные шары. NDC является чисто углеродным твердым магнитным полупроводником с пористой структурой. Его электропроводность, зонная структура, рентгеновская дифракция, КР, ИК и Оже спектры, XPS и другие свойства зависят от соотношения фаз sp^2/sp^3 . Модель DC позволяет обсуждать все экспериментальные данные, в частности, магнитные, оптические и транспортные свойства NDC. Сравнение экспериментов [4-7] и теории [1-3], позволяет предполагать, что NDC, в котором $\sim 10^{19}$ DC, является новым членом семейства топологических материалов.

[1] Z Nussinov, J van den Brink. "Rev. Mod. Phys.", **87**, 1 (2015).

[2] Y Ando, L Fu. "arXiv:1501.00531" (3 Jan 2015).

[3] IA Denisov, AA Zimin, LA Bursill, PI Belobrov. "J SibFU Math & Phys.", **7**, 35–45 (2014).

[4] PI Belobrov, SK Gordeev, EA Petrakovskaya et al. "Doklady Physics", **46**, 459 (2001).

[5] SK Gordeev, RF Konopleva, VA Chekanov et al. "Phys Solid State", **55**, 1480 (2013).

[6] NI Kiselev, DA Velikanov, SB Korchagina et al. "Rus J Gen Chem", **83**, 2173 (2013).

[7] SP Belyaev, SK Gordeev, VA Chekanov et al. "Phys Solid State", **56**, 152 (2014).

**GRAPHENE/POLYMER SANDWICHES AT HIGH FREQUENCIES.
INFLUENCE OF CVD GRAPHENE QUALITY
ON THE ELECTROMAGNETIC SHIELDING PERFORMANCE**

K. Batrakov¹, P. Kuzhir¹, S. Maksimenko¹, A. Paddubskaya¹, N. Volynets¹, T. Kaplas²,
Yu. Svirko², M. Lobet³, N. Reckinger³, Ph. Lambin³

*Research Institute for Nuclear Problems, Belarusian State University, Belarus
Department of Physics and Mathematics, University of Eastern Finland, Finland
Physics Department, University of Namur, Belgium*

Microwave is the ultimate range for open space communication. The rapid growth of satellite data transmission in last decades, reinforced by the Internet traffic, makes inevitable the overcrowding of the spectral bands allocated to the different communication channels. In order to solve problem of electromagnetic compatibility, there is a real need for new materials to be used as coatings, shields and filters in future nanoelectronic devices.

Thanks to its high electrical conductivity, graphene presents a good shielding efficiency against GHz radiations [1]. Several graphene planes separated by thin polymer slabs (100 nm – 1 micron) add their conductivities arithmetically, because each of them conserves the intrinsic properties of isolated graphene. Maximum absorption of radiations of normal incidence at 30 GHz for free standing graphene/polymer (PMMA) sandwiches consisting on 4-6 graphene layers is achieved at the level 50%.

Nevertheless for plenty of possible graphene applications, the graphene quality is a topical issue. In this communication, we demonstrate experimentally as proved theoretically [2] that microwave performance of graphene/polymer sandwiches is robust against various graphene defects inherent to the CVD production method, such as microscopic holes, microscopic dots or grain boundaries. The absorption properties remain constant to first order in defect concentration when the heterostructure contains the optimum number of layers.

[1] Batrakov K, Kuzhir P, Maksimenko S, Paddubskaya A, Voronovich S, Lambin Ph, Kaplas T and Svirko Yu 2014 Flexible transparent graphene/polymer multilayers for efficient electromagnetic field absorption *Scient. Rep.* 4 7191. 1–5.

[2] Lobet M, Reckinger N, Henrard L, Lambin Ph, Robust electromagnetic absorption of graphene-polymer heterostructures, submitted to *Nanotechnology*.

СИНТЕЗ СУСПЕНЗИЙ ОКСИДА ГРАФЕНА И ИХ ПРИЛОЖЕНИЯ

С.А. Смагулова

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

Разработка технологий получения графеновых суспензий, пленок, их функционализация, создание тонкопленочных структур, приборов на основе графена и их производных является основным направлением деятельности лаборатории «Графеновые нанотехнологии».

Получены устойчивые оксид графеновые суспензии в разных растворителях с нанолитиками оксида графена с толщиной 1,5–2,0 нм и доведены до коммерциализации. Круг приложений оксид графеновых суспензий охватывает создание графеновых пленок на различных подложках, слоистых структур, защитных покрытий, сенсорных устройств, наполнителей для композитных материалов.

Из суспензий получены и исследованы высокоомные (10^{12} Ом/□) оксид – графеновые пленки, толщина которых варьировалась в широких пределах от 9 нм до нескольких микрометров. Пленки толщиной 9 – 150 нм на стекле имели прозрачность для длин волн 400–700 нм 93–98%, а прозрачность подвешенной пленки площадью 2-3 см² и толщиной 200–400 нм составляла 82–90%. При длительном восстановлении таких пленок в парах гидразина сопротивление уменьшается до 10^4 Ом/□. Предложен новый подход, позволяющий восстанавливать в парах гидразина только верхние слои оксид – графеновой пленки и создавать тонкопленочные структуры, включающие в себя проводящие и диэлектрические слои. Разработан способ лазерной литографии на оксид графеновых пленках, основанный на локальном восстановлении пленок, которые обеспечивают необходимый контраст для получения рисунков.

На основе полученных суспензий разработана биосенсорная тест система ДНК диагностики наследственных заболеваний в основу которой лежит свойство эффективного тушения люминесценции меченых молекул нанолитиками оксида графена. Проводится экспериментальное исследование процесса функционализации графеновых пленок олигонуклеотидами для разработки физико-технологических основ биологических аптасенсоров.

Созданы композитные полимерные и резиновые материалы с наполнителями из суспензий оксида графена, у которых наблюдалось повышение износостойкости в 2-3 раза.

Разработан и изготовлен радиационно-стойкий сенсор влажности на основе графеновой пленки, выращенной методом химического осаждения из газовой фазы (CVD). Он обладает следующими характеристиками: показания датчика влажности не зависят от температуры, обнаружена линейная зависимость сопротивления датчика от влажности окружающей среды, датчик обладает малой инертностью, он имеет высокую надежность, которая позволяет работу датчика после намокания.

ПОЛУЧЕНИЕ 3D ГИБРИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ГРАФЕН-УНТ СОЛЮБИЛИЗАЦИЕЙ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК В ВОДНОЙ СУСПЕНЗИИ ОКСИДА ГРАФЕНА

А.С. Лобач¹, Н.Г. Спицына¹, В.А. Казаков²

¹Институт проблем химической физики РАН, Черноголовка, Россия

²ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша», Москва, Россия

lobach@icp.ac.ru

В настоящее время в мире интенсивно развиваются работы по синтезу трехмерных (3D) гибридных материалов на основе графенов и углеродных нанотрубок. Ожидается, что объединение двумерного (2D) графена и одномерных (1D) нанотрубок в трехмерный (3D) гибридный материал позволит получить материалы с лучшими характеристиками.

Гибридный материал на основе оксида графена и одностенных углеродных нанотрубок (ГМ ОГ-ОУНТ) был получен диспергированием ОУНТ в водной суспензии ОГ, в результате которой образуется суспензия ОУНТ в коллоидном растворе сурфактанта ОГ (эффект Тиндаля). Вычитание спектров поглощения ОГ-ОУНТ и ОГ позволяет выделить спектр суспензии ОУНТ в ОГ, который имеет характеристический спектр ОУНТ (Рис. 1). ГМ ОГ-ОУНТ в виде пленки был получен методом вакуумной микрофльтрации суспензии. ГМ ВОГ-ОУНТ получали термическим восстановлением ОГ-ОУНТ ($T=700$ °С). КР спектры исходных компонентов и гибридных материалов приведены на рис.2. В КР спектре ГМ ВОГ-ОУНТ наблюдались полосы, относящиеся к ОУНТ в области дышащих мод (163 см^{-1}) и полосы в области D мод (1352 см^{-1}) (ОУНТ + ВОГ) и G моды (1592 см^{-1}) ОУНТ на фоне широкого пика G моды (1596 см^{-1}) ВОГ.

В докладе также приведен сравнительный анализ положения, полуширины и отношение интегральных интенсивностей D и G полос в спектрах КР, размеров графеновых кристаллитов в базисной плоскости и электрической проводимости синтезированных гибридных материалов и исходных компонентов.

Работа поддержана РФФИ: грант 14-03-00428а.

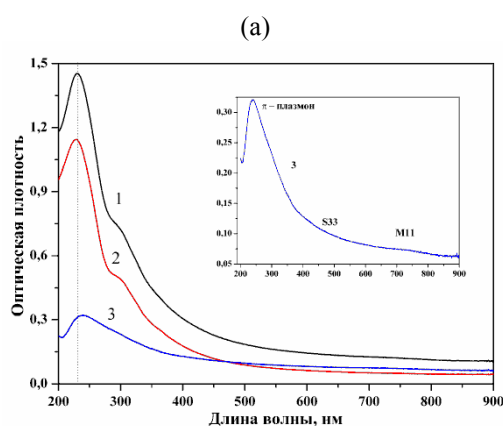


Рис. 1. Спектр поглощения суспензии в воде гибридного материала ОГ-ОУНТ (1), ОГ(2) и ОУНТ в ОГ(3). Вкладка: спектр ОУНТ в ОГ

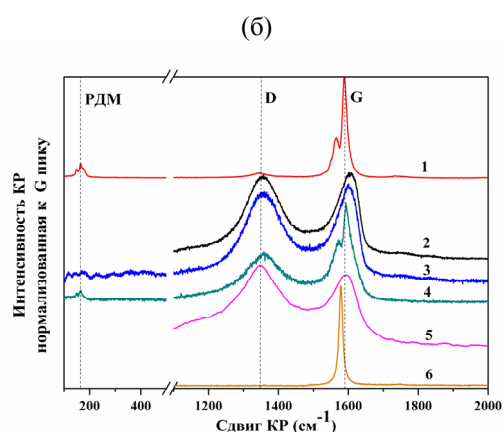


Рис. 2. Спектры КР ОУНТ(1), ОГ(2), ОГ-ОУНТ (3), Г-ОУНТ(4), ВОГ(5) и графита (6)

ГРАФЕНОВЫЕ НАНОПЛАСТИНКИ: СИНТЕЗ И ПРОИЗВОДСТВО

А.В. Мележик, Н.Р. Меметов, А.Г. Ткачев

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
nanotam@yandex.ru

Графеновые нанопластины (ГНП) и нанокomпозиты на их основе находят применение в различных областях техники, например, как добавки в полимеры, электродные материалы химических источников тока, электрохимические сенсоры, адсорбенты, компоненты радиопоглощающих покрытий. В ряде областей ГНП могут заменить углеродные нанотрубки (УНТ) или улучшить эффект от УНТ за счет синергизма при совместном применении этих углеродных наноматериалов.

В настоящее время является актуальной разработка технологии массового производства ГНП. Известны различные подходы к получению ГНП, такие как CVD синтез, восстановление окиси графита, ультразвуковая, механическая или электрохимическая эксфолиация графита и его интеркалированных соединений, эксфолиация графита в сверхкритических средах. Разработан способ получения ГНП, который включает интеркалирование графита, расширение интеркалированного графита при температуре 40-60°C, деинтеркалирование, и ультразвуковую или механохимическую эксфолиацию расширенного соединения графита. В зависимости от метода деинтеркалирования и эксфолиации, получают ГНП, содержащие до 15% поверхностных окисных групп, или же не содержащие окисных групп. В настоящее время в Тамбовском государственном техническом университете и в ООО НаноТехЦентр (Тамбов) проводится отладка промышленной технологии получения различных видов ГНП. В зависимости от условий, получают ГНП с толщиной 2-5 графеновых слоев, стабилизированные поверхностно-активными веществами, или же толщиной 15-25 слоев без стабилизаторов. Разработаны также методы получения модифицированных ГНП и нанокomпозиционных материалов на их основе, в частности:

- ГНП, модифицированные стеаратом титана (образуют стабильные растворы в масле);
- нанокomпозиты полианилин/ГНП, диоксид марганца/ГНП, пористый углерод/ГНП;
- водорастворимые ГНП, модифицированные фенольной смолой.

Разработаны методы введения модифицированных ГНП в эпоксидную смолу.

Показана перспективность применения модифицированных ГНП в качестве добавок в смазочные материалы, как электропроводящих и теплопроводящих добавок в полимеры, в качестве электродных материалов суперконденсаторов. ГНП могут также являться структурообразующими компонентами для создания различных гибридных нанокomпозиционных материалов.

СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ НА ПОВЕРХНОСТИ ОКСИДА ГРАФЕНА И ГРАФЕНА

А.Ю. Соловьева, Ю.В. Иони, Е.Ю. Буслаева, С.В. Ткачев

¹Институт неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН
tkachev_svmsu@mail.ru

Графен, который представляет собой монослой атомов углерода, расположенных в виде гексагональной решетки, привлекает значительное внимание из-за своей уникальной двумерной (2D) структуры и необычных физических и химических свойств [1]. Значительное количество работ уже показали большой потенциал использования графена в различных областях науки и техники, таких как хранение энергии, создание химических и биологических сенсоров, полимерные композиты, катализ и т.д. [2]

Новый класс гибридных материалов на основе графена, а также родственных ему соединений вызвали обширный интерес из-за их синергических и новых свойств, полученных при комбинировании их с различными наноматериалами. К такому типу новых материалов можно отнести различные композиционные материалы на основе графена с наночастицами металлов или оксидов металлов, распределенных на поверхности графена [3].

В данной работе создана новая методика нанесения наночастиц различных типов (магнитных, благородных металлов, оксидов полупроводниковых металлов) на поверхность оксида графена и графена. Данный процесс осуществляется в несколько этапов.

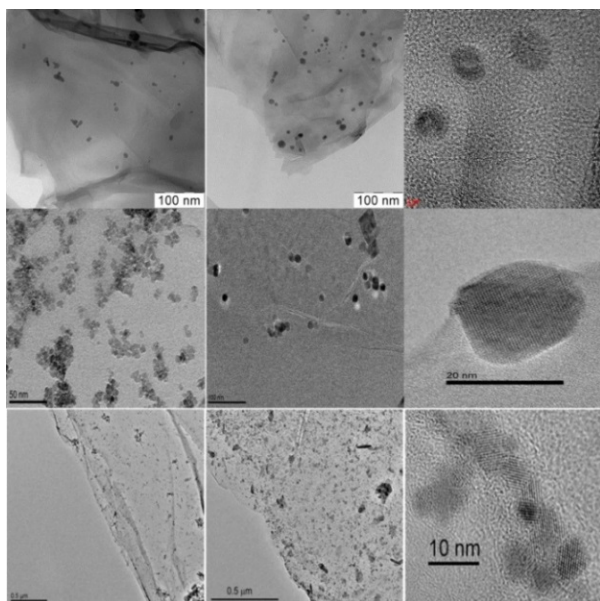


Рис. 1. ПЭМ - изображение наночастиц различных типов (сверху вниз: НЧ Pd, Fe₃O₄, CeO₂) на поверхности оксида графена и графена.

На первой стадии, оксид графена диспергируют под действием ультразвука в растворитель, а затем добавляют соответствующий прекурсор. Далее в систему вводят восстановитель, который подбирается в соответствии с видом, размером и свойствами получаемых наночастиц. Последней стадией является восстановление функциональных кислородсодержащих групп оксида графена, на поверхности которого находятся наночастицы, при помощи сверхкритического изопропанола. Многократно повторяемые серии экспериментов показали, что оксид графена восстанавливается до графена, при этом наночастицы сохраняются на его поверхности.

Полученные наноконкомпозиты охарактеризованы комплексом методов физико-химического анализа, изучены их некоторые спектральные, магнитные и каталитические свойства. Показано, что как оксид графена, так и графен могут выступать в роли носителя для наночастиц различных типов.

1. Geim A., Novoselov K.S. // Nature Mater. 2007. V. 6. P.183.
2. Novoselov K.S., Fal'ko V.I., Colombo L. etc. // Nature. 2012. V. 490. P.192.
3. Иони Ю.В., Любимов С.Е., Даванков В.А., Губин С.П. // Журн. Неорг. Хим. 2013. Т.58. № 4. С. 451.

СИНТЕЗ CVD ГРАФЕНА И ЕГО ЛЕГИРОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫМИ ПРИМЕСЯМИ

М.Г. Рыбин¹, А. Переяславцев², И. Соколов², Т. Васильева³, В. Мясников³,
И. Кондрашов¹, Е.Д. Образцова¹

¹*Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва, Россия*

²*Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова,
Москва, Россия*

³*Московский физико-технический институт, Москва, Россия*
rybmaxim@gmail.com

Во всём мире активно проводится изучение свойств графена и поиск новых применений. Но для исследования любого материала необходимо иметь экспериментальные образцы высокого качества и большой площади (более 10-ти кв.см). В настоящее время наиболее востребованным и перспективным способом изготовления графена является метод химического газофазного осаждения на каталитическую подложку (от англ. chemical vapor deposition – CVD) [1]. В настоящей работе представлены результаты по изготовлению образцов графеновых плёнок различной толщины от одного до 30-ти слоёв на медных и никелевых фольгах. В ходе экспериментов были найдены параметры синтеза образцов площадью более 20 кв. см и высокого качества.

Более того, для более эффективного использования графена необходимо иметь возможность управлять его свойствами. Одним из наиболее перспективных подходов является внедрение примесей (легирование), по аналогии с кремниевой электроникой. Легирование может нарушить симметрию решетки, приводя к появлению запрещенной зоны, а также «сдвинуть» зоны по энергии, изменяя концентрацию носителей заряда на уровне Ферми. Наиболее очевидным кандидатом для создания графена с n-типом проводимости является примесь азота. С другой стороны, для создания двумерного полупроводника с дырочным типом проводимости графен легируют серой, сдвигая уровень Ферми в валентную зону, что приводит к появлению дырочной проводимости в графене.

В настоящей работе представлен эффективный метод легирования графена с помощью обработки образцов плазмой в среде различных газов (аммиака либо элегаза для легирования азотом либо серой соответственно). Полученные образцы были исследованы с помощью спектроскопии комбинационного рассеяния света, рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, спектроскопии оптического поглощения света, а также с помощью атомно-силовой и растровой электронной микроскопии. Таким образом, контролируя концентрацию либо азотной, либо серной примеси в легированном графене, можно добиться получения полупроводника с разным типом проводимости в зависимости от легирующей примеси.

1. Rybin M.G., Pozharov A.S., Obraztsova E.D, PSS C 7 (11–12), 2785–2788 (2010).

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ РОСТА ГРАФЕНОВОЙ ПЛЕНКИ НА ПОВЕРХНОСТИ
ЖИДКОЙ МЕДИ В ПРОЦЕССЕ ГАЗОФАЗНОГО ОСАЖДЕНИЯ**

А.А. Пахневич, С.В. Голод, В.Я. Принц

Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Новосибирск, Россия
pakhnevich@isp.nsc.ru

В последнее пятилетие стремительно развиваются методы получения графена, что обусловлено широкими перспективами его применения в промышленности. Метод газофазного осаждения на меди в атмосфере углеводородных газов привлекает внимание большого числа исследователей как относительно простой и недорогой способ получения качественных графеновых пленок. Отличительной чертой данного метода является использование температур, при которых возможно наличие жидкой фазы (температура плавления меди 1083С). Вопросы влияния жидкой фазы на формирование графеновой пленки в процессе газофазного осаждения остаются не до конца понятыми и потому являются актуальными для изучения.

В данной работе были исследованы механизмы взаимодействия жидкой фазы меди с формирующейся графеновой пленкой в процессе островкового роста. Для этого образцы, представляющие собой кусочки медной фольги высокой степени химической чистоты, были подвергнуты высокотемпературным нагревам в кварцевом реакторе, наполненном аргоно-водородной атмосферой с добавлением метана. Изучение различных стадий островкового роста графена обеспечивалось варьированием длительности нагрева и парциального давления метана. Совокупность образцов, полученных при различных температурных режимах и составах атмосферы в реакторе, была исследована методами атомно-силовой микроскопии и сканирующей электронной микроскопии.

Основные результаты состоят в следующем. Во-первых, установлено, что жидкость выстраивает графеновые островки вдоль линий течения, а волнистость поверхности графеновой пленки вызывает волнистость поверхности меди благодаря смачиванию. Во-вторых, уточнен механизм образования волнистости графеновой пленки. В-третьих, уточнен механизм влияния жидкой фазы на процессы коалесценции графеновых островков и их встраивания в единую пленку.

Полученные данные могут быть полезными для построения модели роста графеновой пленки на поверхности меди и практических применений.

Работа была выполнена при поддержке гранта РФФИ 14-29-10-261.

СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ПОЛИФТОРИДДИУГЛЕРОДА НА ОСНОВЕ МУЛЬТИСЛОЙНОГО ГРАФЕНА

Д.В. Пинаков^{1,2}, Е.Д. Грайфер¹, В.Г. Макотченко¹, В.А. Логвиненко¹, В.Е. Фёдоров¹

¹*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия*
pinakov@niic.nsc.ru

²*Новосибирский Государственный университет, Новосибирск, Россия*

В последнее время активно ведутся работы по синтезу фторированных графенов с целью регулирования величины запрещённой зоны графена. Однако составы соединений, полученных в одних и тех же или близких условиях, с использованием графена отличаются от составов соединений на основе графита. Можно предположить, что на протекание химических реакций начинают оказывать влияние размерные эффекты, т.е. степень расщепления графита вдоль оси «с». Эти эффекты начинают проявляться при размере частиц ≈ 100 нм и особенно характерны при размере частиц менее 10 нм. Очевидно, следует ожидать, что размерные эффекты должны оказывать влияние, как на составы, так и особенно на свойства соединений на основе расширенных графитов по мере увеличения степени их расщепления вдоль оси «с». Однако свойства таких соединений практически не изучались.

Нами было исследовано влияние размерных эффектов на составы и свойства полифториддиуглерода, образующегося при фторировании мультислойных графенов (МСГ), получаемых при деструктивном термическом разложении интеркалированных соединений полифториддиуглерода идеализированного состава $C_2F \cdot xR$, где R – органическое или неорганическое вещество, газообразным трифторидом хлора при комнатной температуре. Показано, что в отличие от графита, который при его фторировании трифторидом хлора образует интеркалированное соединение полифториддиуглерода с трифторидом хлора идеализированного состава $C_2F \cdot xClF_3$, C_2F на основе МСГ не образует устойчивого интеркалированного соединения с трифторидом хлора. Исследование интеркалирующей способности C_2F на основе МСГ показало, что он не способен образовывать интеркалированные соединения с различными классами органических и неорганических веществ аналогичные интеркалированным соединениям C_2F на основе графита. Отсутствие интеркалирующей способности C_2F на основе МСГ может быть объяснено высокой степенью расщепления МСГ вдоль оси «с» (3 – 4 нм), при которой МСГ проявляет свойства двумерной структуры. Размерные эффекты оказали влияние на химические свойства C_2F на основе МСГ и на температуру его разложения, оказавшуюся приблизительно на $350^\circ C$ ниже температуры разложения полифториддиуглерода на основе графита.

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРАФЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Е.О. Федоровская^{1,2}, Л.Г. Булушева^{1,2}, А.В. Окотруб^{1,2}.

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

fedorovskaya-eo@yandex.ru

²*Новосибирский Государственный Университет, Новосибирск, Россия*

В настоящее время графеновые материалы привлекают все большее внимание в качестве материала для суперконденсаторов благодаря своим уникальным физическим свойствам – высокой электропроводности, высокой удельной площади поверхности, химической стабильности. Так же этот материал перспективен в качестве каркаса для синтеза композиционных материалов.

Было проведено исследование электрохимических свойств двух графеновых материалов, полученных ультразвуковой обработкой дисперсии интеркалата графита с бромом в бромной воде (Br-РГ) и быстрым нагревом фторида графита, интеркалированным бромом (F-РГ). Графеновый материал Br-РГ представляет собой плоские частицы со средним размером плоскости в несколько микрон и низкой концентрацией дефектов. F-РГ состоит из больших смятых частиц из 2-6 слоев графена и содержит множество дефектов. Удельная емкость материала составила до 158 Ф/г. Накопление энергии осуществлялось не только за счет процессов в двойном слое, но и химических реакций на поверхности графенового материала.

Гибридные материалы на основе Br-РГ и F-РГ были синтезированы в процессе химической поликонденсации анилина. ПЭМ-исследования показали, что полианилин (ПАНИ) осаждается слоями на поверхности графенового материала и также образует агломераты, не связанные с углеродным носителем. Увеличение концентрации анилина в растворе при его поликонденсации приводит к осаждению большего количества ПАНИ в композиционном материале, что было показано из ИК-спектров материалов. Из данных ИК-, РФЭС- и NEXAFS-спектроскопии следует, что основное количество азота входит в состав фрагмента B-NH+Q, (где B – бензольное кольцо и Q – хиноидное кольцо), соответствующего наиболее проводящей и эффективной для суперконденсаторов форме ПАНИ – эмеральдину. Значительный вклад в электрохимические свойства композиционных материалов из вносит обратимый окислительно-восстановительный процесс, которому соответствуют пики при ~700 мВ на зарядной кривой и ~400 мВ на разрядной кривой. Эти пики связаны с окислением и восстановлением ПАНИ. Увеличение концентрации ПАНИ в композиционном материале приводит к увеличению удельной емкости, достигая максимального значения в 104 Ф/г для композита с Br-РГ и 375 Ф/г для композита с F-РГ, что обусловлено обратимыми электрохимическими реакциями в полианилине.

9 СЕНТЯБРЯ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ПРИЛОЖЕНИИ К ГРАФЕНОВЫМ МАТЕРИАЛАМ

ДИАГНОСТИКА ГРАФЕНОВ И РОДСТВЕННЫХ СТРУКТУР

СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ 1

НАНОСТРУКТУРЫ ИЗ СЛОЕВ ГРАФЕНА, ДИХАЛЬКОГЕНИДОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ И НИТРИДА БОРА: ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ПРИЛОЖЕНИЯ

Л.А. Чернозатонский

Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва, Россия
cherno@sky.chph.ras.ru

В докладе будет дан обзор последних достижений в исследованиях гетероструктур, содержащих графеновые и графеноподобные слои.

1. Введение. Двумерные графеноподобные слои – структуры и свойства.
2. Графен- MX_2 структуры (М - переходный металл - Mo, W, V и др., X – халькоген - S, Se или Te).
 - 2.1. Бислои.
 - 2.2. Структуры с атомами, внедренными между слоями и/или в слоях.
 - 2.3. Бислои с дефектами.
3. Графен-VN структуры.
 - 3.1 Бислои с муровой структурой.
 - 3.2. Бислои с адсорбированными атомами водорода, фтора и кислорода.
 - 3.3. Бислои с сеточной структурой.
4. Многослойные структуры.
5. Устройства на основе рассмотренных выше структур (реальность и перспективы).
 - 5.1. Элементы наноэлектроники.
 - 5.2. Электромеханические элементы.
 - 5.3. Элементы оптики и фотоэлектроники.

Работа выполнена в рамках проекта РНФ № 14-12-01217.

GRAPHENE MEMBRANE BASED MEMCOMPUTINGY.V. Pershin¹, F.L. Traversa², M. Di Ventra²¹*Department of Physics and Astronomy, University of South Carolina, Columbia, SC USA*
pershin@physics.sc.edu²*Department of Physics, University of California, San Diego, La Jolla, CA USA*
ftraversa@physics.ucsd.edu
diventra@physics.ucsd.edu

In our computers, the information is stored in memory such as the Dynamic Random Access Memory (DRAM) and processed by the Central Processing Unit (CPU). As the physical locations of DRAM and CPU are different, this mode of operation involves a significant amount of information transfer at a high energy cost. The finite bandwidth of the data bus (connecting the memory with CPU) slows down the overall computer performance. This limitation was already recognized by John von Neumann in the 40s and is known as the Von Neumann bottleneck [1].

The concept of Dynamic Computing Random Access Memory (DCRAM) recently suggested by us [2] solves the Von Neumann bottleneck problem. DCRAM stores and processes information at the same physical location thus reducing the amount of information exchange between the memory and CPU. In this architecture, the information is stored in the internal states of multi-layer memory capacitive (memcapacitive) systems [3] and processed when small networks of these devices are subjected to pulsed voltages.

In this talk, we present a different realization of the computing memory employing graphene membrane based memcapacitive systems (see Fig. 1). A strained graphene membrane forms an upper plate of capacitor and can be folded up or down. The two equilibrium states of membrane are used for the binary information storage (0 or 1). We have demonstrated [4] that networks of two or three membrane memcapacitive systems perform logic operations “on demand”, namely, the type of the logic operation (such as AND or XOR) depends only on the amplitudes of pulsed voltages applied keeping the same network configuration. We expect that our predictions will motivate future experimental work demonstrating the actual device performance and result in innovative industrial applications.

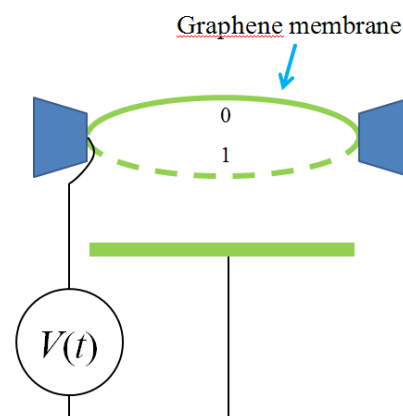


Fig. 1. Schematics of graphene membrane memcapacitive system connected to a voltage source

1. Backus J. // J. Comm. ACM 1978. T. 21. № 8. C. 613.
2. Traversa F. L., Bonani F., Pershin Y. V., Di Ventra M. // Nanotechnology 2014. T. 25. № 28. C. 285201.
3. Di Ventra M., Pershin Y. V., Chua L. O. // Proc. IEEE 2009. T. 97. № 10. C. 1717.
4. Pershin Y. V., Traversa F. L., Di Ventra M. // arXiv:1410.3541 2014.

**ОСОБЕННОСТИ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ НА НАНОУРОВНЕ.
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
НОВЫХ КВАЗИДВУМЕРНЫХ ПЛЁНОК**

П.Б. Сорокин^{1,2,3}, А.Г. Квашнин^{1,2}, Л.А. Чернозатонский¹, Д. Томанек⁴, Б.И. Якобсон⁵

¹ФГБУН Институт Биохимической Физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва, Россия

²ФГБНУ Технологический институт сверхтвёрдых и новых углеродных материалов,
Троицк, Россия

³ФГОАУ ВПО Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,
Москва, Россия

⁴Rice University, Houston, Texas, USA

⁵Michigan State University, East Lansing, Michigan, USA

PBSorokin@gmail.com

Графен не только обладает множеством интереснейших свойств, но также и является основой для новых перспективных квазидвумерных наноструктур. В случае многослойного графена соединение соседних углеродных слоёв, по-видимому, должно привести к образованию сверхтонкой алмазной плёнки (САП). В данной работе мы изучили процесс образования САП из многослойного графена посредством химической адсорбции на поверхность последних атомов, таких как водород или фтор. Мы назвали данный процесс *химически индуцированным фазовым переходом* и показали, что он будет играть определяющую роль для случая плёнок с толщиной до ~15 нм. Проведённый сторонний эксперимент подтвердил предсказанный эффект на примере трансформации антрацита в алмазные нанокластеры с размером до 15 нм.

Кроме сверхтонких плёнок из углерода существует большое количество соединений (ZnO, SiC, NaCl и др.), чьи квазидвумерные плёнки также обладают интересными свойствами. Нами была показана общая тенденция графитизации в сверхтонких плёнках ионного состава, включая структуры типа каменной соли и CsCl. В данной работе определена критическая толщина графитизации для ряда соединений, меньше которой происходит спонтанный переход кубической фазы в слоистую графитоподобную фазу. Процесс графитизации в исследуемых ионных соединениях был исследован более детально на примере сверхтонких слоёв кубического хлорида натрия. Было получено, что в наномасштабе сверхтонкие слои кубического NaCl становятся нестабильными вследствие дипольного момента, дестабилизирующего поверхность, что способствует превращению в графитоподобную фазу. Также была получена критическая толщина, при которой происходит превращение кубической плёнки в графитоподобную. Процесс расслоения кубических плёнок был подтверждён расчетами энергетических барьеров переходов в новую фазу из фазы B1.

Работа была выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (14-12-01217).

1. Kvashnin A.G., Chernozatonskii L.A., Yakobson B.I., Sorokin P.B. // Nano Letters 2014. V.14, P.676

2. Sorokin P.B., Kvashnin A.G., Zhu Z., Tománek D. // Nano Letters 2014, V.14, №12, P.7126.

КЛАССИФИКАЦИЯ СТРУКТУРНЫХ РАЗНОВИДНОСТЕЙ УГЛЕРОДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Е.А. Беленков, В.А. Грешняков

Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия
belenkov@csu.ru

Разнообразие структурных разновидностей углеродных соединений от графена до карбина и алмаза диктует необходимость разработки классификационных схем, которые позволили бы не только описывать уже известные углеродные соединения, но и предсказывать новые. Такая схема классификации была разработана [1,2] и успешно апробирована для описания и теоретического предсказания структуры новых алмазоподобных фаз [3,4]. В настоящее время ведутся аналогичные исследования по исследованию структурных разновидностей графена как со слоевой, так и трехмерной жесткосвязанной структурой (так называемых 3D графитов).

Классификационная схема углеродных соединений базируется на учете типа химических связей в соединении. Углеродные соединения с преимущественно ковалентным типом химических связей отличаются кристаллографической (D_c) и атомной (D_a) размерностями, а также квазиординационными числами (M) определяющими количество атомов в первой координационной сфере с которыми формируются ковалентные связи. Все соединения могут быть отнесены к 12 структурным группам, причем соединения одних структурных групп могут быть получены из соединений других групп [ND_c, M], при помощи модельных операций сшивки, совмещения или разрезания межатомных связей. Графеновые соединения, состоящие из атомов в трехкоординированных состояниях, относятся к четырем структурным группам: [$0D_c, 3$] - фуллереноподобные кластеры, [$1D_c, 3$] - нанотрубки, [$2D_c, 3$] – графеновые слои, [$3D_c, 3$] - 3D графиты и могут быть получены в результате модельных операций сшивки и совмещения из соединений групп [$0D_c, 2$] и [$1D_c, 2$], т.е. карбиновых наноколец и карбиновых цепочек. Простой модельный механизм получения структуры соединений одних групп из соединений других групп позволяет теоретически предсказать полный набор структур, которые могут существовать, если все атомы в этих соединениях находятся в кристаллографически эквивалентных состояниях. Структуру соединений, построенных модельно, необходимо геометрически оптимизировать и затем рассчитать их свойства. В результате исследований, проведенных по описанной выше схеме и расчетов методами теории функционала плотности (DFT), была исследована структура ряда новых графеновых слоев и 3D графитовых фаз, а также определены их электронные свойства.

1. Беленков Е.А., Грешняков В.А. // ФТТ. 2013. Т. 55. № 8. С. 1640.
2. Belenkov E.A., Greshnyakov V.A. // New Carbon Materials, 2013. V. 28. № 4. P. 273.
3. Беленков Е.А., Грешняков В.А. // ФТТ. 2015. Т. 57. № 1. С. 192.
4. Беленков Е.А., Грешняков В.А. // ФТТ. 2015. Т. 57. № 6. С. 1229.

ТРАНСПОРТНЫЕ И МАГНЕТООПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА 2-ХСЛОЙНОГО ГРАФЕНА ВО ВНЕШНИХ ПОЛЯХ В ДВУХ И ЧЕТЫРЕХЗОННЫХ КВАНТОВОПОЛЕВЫХ ПРИБЛИЖЕНИЯХ

В.П. Гусынин¹, А.А. Решетняк², С.Г. Шарапов¹

¹*Институт теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова НАН Украины, Киев, Украина*
vgusynin@bitp.kiev.ua, sharapov@bitp.kiev.ua

²*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия*
reshet@ispms.tsc.ru

Двухслойный графен (билэйер) с момента его открытия [1] является уникальным представителем 2d систем в физике конденсированного состояния вещества обладающими выдающимися механическими и транспортными свойствами. Проблема построения теоретической модели, описывающей энергетический спектр и оптические и магнетооптические проводимости билэйера во внешних электромагнитных полях для ненулевых температур и плотностей заряженных носителей еще полностью не построена.

Представлены результаты теоретического изучения влияния разных видов основного состояния энергии щели в Дираковских К и К' точках в спектре квазичастиц на продольную и поперечную (Холловскую) оптические проводимости билэйера на основе методов КТП в (2+1)-мерном пространстве-времени. Получены точные аналитические выражения для оптических проводимостей в электрическом (определяющем щель порядка 5-20 мэВ) и магнитном (3-10 Тесла) полях с использованием низкоэнергетических 2- и 4-зонных гамильтонианов [2]. Калибровочно-инвариантный относительно U(1) локальной группы гамильтониан Дираковского типа линеен по ковариантным производным, включающим потенциал магнитного поля перпендикулярного к листам графена. Для получения проводимостей выведена точная функция Грина для уравнения Шредингера в виде матричной суммы по уровням Ландау. По ней построена ток-токовая корреляционная функция, из которой по формуле Кубо найдены результирующие проводимости в зависимости от температуры и химического потенциала. Они, аналитически обеспечивают основные оптические переходы с правилом отбора, $\Delta n = 1$, в пренебрежении треугольного искажения спектра носителей, обобщают приближенные результаты, полученные Л.А. Фальковским (L.A. Falkovsky, Magneto-optics of monolayer and bilayer graphene, arXiv:1303.5214). Также 4-зонная модель расширяет результирующие проводимости в область частот, ранее недоступных для 2-зонной модели [3].

Получены предельные случаи проводимостей постоянного тока и важные для оптоэлектроники соотношения (согласованные с экспериментом) между проводимостью Холла и углами Фарадея и Керра в образцах билэйера в электрическом и магнитном полях, при прохождении излучения через листы билэйера. Рассматривается развитие метода.

1. Novoselov K.S., McCann E., Geim A.K. etc. // Nat.Phys. 2006 V. 2, p. 177.

2. McCann E., Abergel D.S.L., Fal'ko V.I. // Solid State Commun. 2007 V.143, P.110.

3. Gorbar E V., Gusynin V.P., Kuzmenko A.B., Sharapov S.G. // Phys. Rev. 2012 B V. 86, 075414.

**МАГНЕТОСОПРОТИВЛЕНИЕ ГРАФЕНА:
ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ ФАКТОР И МЕХАНИЗМЫ РАССЕЯНИЯ**

Г.Ю. Васильева^{1,2,3}, Д. Смирнов², Ю.Б. Васильев^{1,2}, Ю.Л. Иванов¹, Р. Хауг²

¹*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия*
galja_vasileva@mail.ru

²*Институт физики твердого тела, Ганновер, Германия*

³*Санкт-Петербургский Государственный Политехнический Университет,
Санкт-Петербург, Россия*

В докладе представлены результаты экспериментального исследования графена в магнитном поле. Подробно анализируются результаты, в которых проявляются зависимости магнетосопротивления от геометрического размера образцов и механизма рассеяния носителей. Вблизи точки электронейтральности в двухслойном графене обнаружена линейная зависимость сопротивления от магнитного поля. Показано, что линейная зависимость наблюдается только в образцах, ширина которых порядка длины электронно-дырочной рекомбинации. При уменьшении длины рекомбинации (например, с ростом температуры) линейная зависимость переходит в суперлинейную. Эффект линейного магнетосопротивления связан с особенностями электронно-дырочной нейтральной системы в условиях отсутствия холловского напряжения [1]. При смещении уровня Ферми от точки электронейтральности, обнаружено отрицательное магнетосопротивление, величина которого демонстрирует сильную зависимость от ширины образца.

1. Alekseev P.S., Dmitriev A.P. et al// Phys. Rev. Lett. 2015. T. 114. № 15. С. 156601.

ПЛАЗМОННАЯ СТРУКТУРА РАЗОРИЕНТИРОВАННОГО ДВУХСЛОЙНОГО ГРАФЕНА

О.В. Седельникова^{1,2}, Л.Г. Булушева^{1,2}, А.Л. Чувиллин³, А.В. Окотруб^{1,2}

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

²*Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия*

³*CIC nanoGUNE Consolider, Сан Себастьян, Испания*

Двухслойный графен с берналовской укладкой слоев хорошо изучен. Однако оказалось, что поворот одного слоя относительно другого на небольшой угол приводит не только к появлению муарового узора на микрофотографиях, но и к значительным изменениям в электронной структуре, открывая широчайшие возможности для управления функциональными свойствами графеновых материалов.

В данной работе теоретически и экспериментально исследованы электронные, оптические и плазмонные свойства разориентированного двухслойного графена. Разориентация слоев в двухслойной графене приводит к появлению новых особенностей Ван Хофа в электронной плотности состояний, не имеющих аналогов ни в монослое графена, ни в берналовском двухслойном графене. Природа этих сингулярностей связана с особенностями межслоевого взаимодействия, а их энергия определяется углом разориентации. Исследование методами EEL спектроскопии показали, что в образцах разориентированных двухслойных графенов наблюдаются дополнительные резонансы с энергиями ниже энергии π -плазмона графена. Положения новых пиков хорошо воспроизводятся теоретически. Анализ электронной структуры позволяет предположить локальный характер данных возбуждений.

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ И КОНТАКТА С ФЕРРОМАГНИТИКОМ НА ЭЛЕКТРОННУЮ И СПИНОВУЮ СТРУКТУРУ ГРАФЕНА

Д.Ю. Усачёв

Санкт-Петербургский Государственный Университет, Санкт-Петербург, Россия
usachov.d@gmail.com

Промышленное изготовление устройств на основе графена пока остается делом будущего. Причиной этому является фундаментальная проблема синтеза систем на основе графена с заданной структурой и физико-химическими свойствами. Свойства графена подвержены влиянию контакта с другими веществами, а также зависят от присутствующих дефектов и внедренных примесей. Идеальный графен имеет низкую концентрацию носителей заряда, нулевую запрещенную зону и смешанный тип проводимости, тогда как для эффективного использования в электронике и спинтронике необходимо иметь возможность управлять шириной запрещенной зоны, типом и концентрацией носителей заряда, стимулировать спиновое расщепление электронных состояний.

Одним из перспективных подходов к управлению свойствами графена является легирование. Замещение атомов углерода примесями азота или бора позволяет превратить графен в полупроводник n- или p-типа, соответственно. В данной работе продемонстрирован CVD-синтез графена, легированного атомами азота (N-графена) и бора (B-графена), на поверхности большой площади из молекул триамина и карборана, соответственно. Особенностью предложенного способа является возможность получения хорошо ориентированных монослоев N-графена и B-графена, что позволило экспериментально определить влияние примесей на электронную структуру графена с помощью фотоэлектронной спектроскопии с угловым разрешением. Показано, что внедрение золота под слой N-графена позволяет значительно повысить эффективность допирования путем изменения конфигурации химических связей азота в слое графена при повышенной температуре, а также выявлен механизм этого процесса. Показано, что полученный N-графен является полупроводником n-типа с управляемой концентрацией носителей заряда [1]. В случае B-графена определены условия для преимущественного внедрения бора в одну из двух подрешеток графена, что крайне важно для создания запрещенной зоны в легированном графене. Другим способом управления электронной структурой является взаимодействие с подложкой. В работе представлены результаты экспериментального исследования и рассмотрены закономерности формирования спин-поляризованных состояний в интерфейсе графен/ферромагнетик [2], представляющих интерес для спинтроники.

Работа поддержана грантами РФФИ 14-02-31150 и СПбГУ 11.37.634.2013.

1. Usachov D. et al. // Nano Lett. 2014. V. 14. P. 4982.
2. Usachov D. et al. // Nano Lett. 2015. DOI: 10.1021/nl504693u.

CHARACTERIZATION OF GRAPHENE COATED CU-FOIL AFTER EXPOSURE AT AMBIENT ATMOSPHERE: XPS, XANES, RAMAN AND DFT STUDIES

E.Z. Kurmaev

*M.N. Mikheev Institute of Metal Physics, Russian Academy of Sciences:
Ural Division, Yekaterinburg, Russia
ernst.kurmaev@gmail.com*

Basing on X-ray spectroscopic (XPS core levels and valence bands, C *1s* and Cu *2p* XANES) and Raman measurements it is found no evidence of electrochemical corrosion of copper covered by graphene after oxygen exposure at atmospheric pressure from 1 month to 1.5 years. The first-principles density functional theory (DFT) calculations show that oxidation does not occur when the graphene monolayer is defect free due to a high formation energy monovacancies. In the case of carbon vacancies, the interface of graphene/Cu becomes permeable to ingress of oxygen atoms, resulting in metal oxidation. Therefore, perfect graphene monolayer without defects or large grain boundaries can preserve the surface of copper from corrosion in ambient air over a long period of time.

This work is supported by Russian Foundation for Basic Research (Project 14-02-00006).

ЭЛЕКТРОННАЯ И СПИНОВАЯ СТРУКТУРЫ ГРАФЕНА НА РЕНИИ С ИНТЕРКАЛИРОВАННЫМИ АТОМАМИ ЗОЛОТА

В. Ю. Ворошнин, И.И. Климовских, М.В. Русинова, А.М. Шикин

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия
 VI.Voroshnin@yandex.ru

Как известно, графен представляет собой перспективный материал для дальнейшего использования в нанoeлектронике и спинтронике. Рост графена на объемном кристалле является на сегодняшний день одним из самых распространенных методов его получения. Графен является двумерным кристаллом, что делает его электронную структуру крайне чувствительной к взаимодействию с подложкой[1].

Рений – немагнитный металл, но его поверхностные состояния вблизи уровня Ферми расщеплены по спину. Графен на рении, полученный крекингом, является сильно связанным с подложкой и соответственно не обладает линейной дисперсией. В данной работе эта проблема решена путем интеркаляции золота под графен аналогично [2].

Целью настоящей работы является исследование возможности наведения спин-орбитального расщепления пи-состояний графена вблизи уровня Ферми с сохранением линейности дисперсионной зависимости. Мы считаем, что эффект возможен за счет взаимодействия пи-состояний графена с уже расщепленными по спину состояниями рения через слой итеркалированного золота.

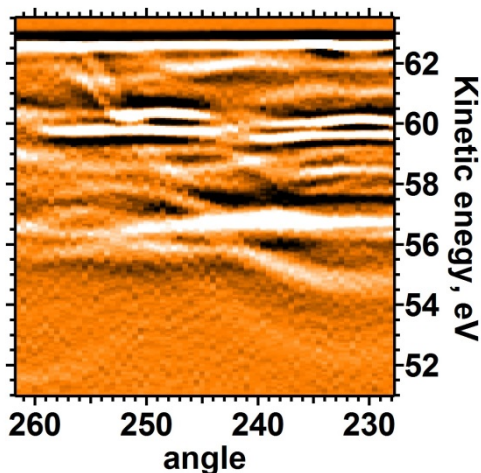


Рис. 1. Дисперсионная зависимость электронных состояний на образце Graphene/Au/Re

Эксперимент проводился с использованием фотоэмиссионной спектроскопии с угловым разрешением для исследования электронной структуры образца и метода дифракции медленных электронов для контроля топологии поверхности.

Нами была измерена электронная и спиновая структуры чистого рения, графена, полученного на монокристалле рения и этой же системы с интеркалированным золотом (Рис 1.).

Важнейшим результатом работы является получение на немагнитном металле квазисвободного графена с линейным законом дисперсии пи-состояний в окрестности точки К границы зоны Бриллюэна вблизи уровня Ферми, которое расщеплено по спину.

1. Попова А.А., Шикин А.М., Рыбкин А.Г. // ФТТ 12, 53 (2011)
2. Paragno M., Moras P. // PHYSICAL REVIEW B 88, 235430 (2013)

НАНОЧАСТИЦЫ MoS_2 НА УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛАХ: ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА

В.О. Коротеев¹, Д.А. Булушев², А.Л. Чувиллин³, Л.Г. Булушева¹, А.В. Окотруб¹

¹*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия*
koroteev@niic.nsc.ru

²*Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, Новосибирск, Россия*

³*CIC nanoGUNE Consolider, Сан Себастьян, Испания*

После открытия графена активизировались исследования других слоистых материалов, в том числе слоистых дихалькогенидов переходных металлов. Подобные дихалькогениды проявляют свойства сильно отличные от свойств графена. Наиболее исследованным и применяемым среди подобных соединений является дисульфид молибдена. Он используется в качестве активного компонента катализаторов[1], в смазках[2] и т.д. Использование графеновых слоёв в качестве подложки способствует росту гексагональных слоёв дисульфида молибдена, не смотря на различные размеры ячеек этих соединений[3]. Сочетание графена и дисульфида молибдена в одном материале позволяет получать свойства, не характерные для отдельных компонент.

В данной работе мы исследовали образование дисульфида молибдена на поверхности различных углеродных материалов путём разложения трисульфида молибдена, осаждённого на поверхности углеродного материала из раствора, либо при помощи гидротермального синтеза.

Изучение свойств, строения и особенностей электронной структуры данных материалов проводилось при помощи рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, оптической спектроскопии поглощения, спектроскопии комбинационного рассеяния света, а также просвечивающей и сканирующей электронной микроскопии.

Измерения каталитической активности полученных образцов в реакции разложения муравьиной кислоты показало, что на образцах с наименьшим размером частиц, синтезированных при наименьшей температуре, разложение кислоты начинается при 100°C и достигает 100% при 250°C. Увеличение температуры синтеза приводит к повышению температуры начала реакции. Данный результат показывает, что увеличение температуры синтеза приводит к повышению кристалличности и увеличению размера частиц в образце.

Данная работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 14-03-31633

1. Z. Li, J. Liu, H. Wang, E. Wang, B. Wang, X. Ma, S. Qin, Q. Sun // Journal of Molecular Catalysis A: Chemical 2013, V. 378, P. 99–108.
2. # L. Rapoport, N. Fleischer, R. Tenne // Journal of Materials Chemistry 2005, V. 15, P. 1782–1788.
3. Y. Shi, W. Zhou, A.-Y. Lu, W. Fang, Y.-H. Lee, A. L. Hsu, S. M. Kim, K. K. Kim, H. Y. Yang, L.-J. Li, et al. // Nano Letters 2012, V. 12, P. 2784–2791.

ПОЛУЧЕНИЕ МУЛЬТИСЛОЙНОГО ГРАФЕНА ИЗ ИНТЕРКАЛИРОВАННЫХ СОЕДИНЕНИЙ ФТОРИРОВАННОГО ГРАФИТА МЕТОДОМ МИКРОВОЛНОВОЙ АКТИВАЦИИ

А.Н. Михеев^{1,2}, В.Г. Макотченко¹

¹Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия
man@niic.nsc.ru

²Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

Способность полифториддиуглерода интеркалировать в межслоевое пространство соединения с различными физико-химическими характеристиками в результате достаточно простых обменных реакций позволяет получать соединения с широким спектром диэлектрических характеристик. Это крайне важно при использовании методов микроволновой активации, т.к. обеспечивается возможность селективного микроволнового воздействия на отдельные области исследуемых материалов. Было показано, что для интеркалированных соединений полифториддиуглерода с бензолом и четыреххлористым углеродом подъем температуры исходных образцов при микроволновом нагреве характеризуется невысокой скоростью, и процесс разложения этих соединений с образованием мультислойного графена происходит при более высоких температурах (рис. 1). Для интеркалированных соединений полифториддиуглерода с ацетоном и ацетонитрилом при микроволновом нагреве характерен быстрый рост температуры вещества, который сопровождается образованием (мультислойного графена) (рис. 1). Значения температур разложения исследованных интеркалированных соединений с образованием мультислойного графена при традиционном и микроволновом нагреве приведены в таблице 1.

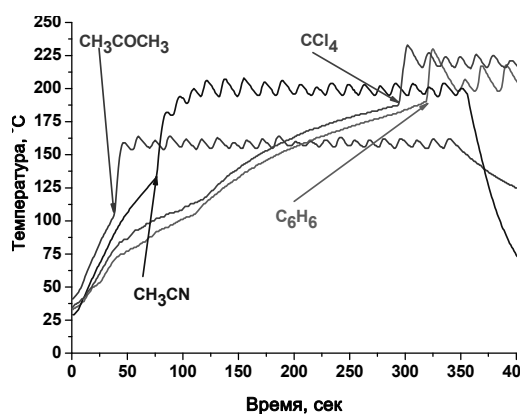


Рис 1. Зависимость поверхностной температуры образца от времени при микроволновом нагреве интеркалированных соединений полифториддиуглерода с органическими соединениями: CH_3COCH_3 – ацетон, CH_3CN – ацетонитрил, CCl_4 – четыреххлористый углерод, C_6H_6 – бензол

Таблица 1.

Образец	MW – нагрев, T °C	Традиционный нагрев, T °C
$\text{C}_2\text{F} \cdot \text{ClF}_3$	270 - 280	590-600
$\text{C}_2\text{F} \cdot \text{C}_6\text{H}_6$	180 - 190	275-285
$\text{C}_2\text{F} \cdot \text{CCl}_4$	190 - 200	405-415
$\text{C}_2\text{F} \cdot \text{CH}_3\text{COCH}_3$	90 - 100	175-185
$\text{C}_2\text{F} \cdot \text{CH}_3\text{CN}$	115 - 125	190-200

ЛИНЕЙНЫЕ ДЕФЕКТЫ В МОНОСЛОЯХ ДИХАЛЬКОГЕНИДОВ: СТРУКТУРА, ПРОИСХОЖДЕНИЕ, СВОЙСТВА

А.Н. Еняшин

Институт химии твердого тела УрО РАН, Екатеринбург, Россия
enyashin@ihim.uran.ru

Слои дихалькогенидов металлов MX_2 встречаются в одной из двух аллотропных форм, характеризующихся призматической (1Н) или октаэдрической (1Т) координацией атомов М с сохранением альтернантности связей М—Х. В новейшее время в поликристаллических монослоях дисульфидов методами электронной микроскопии были открыты разные типы межзёренных границ, демонстрирующих нарушение альтернантности связей и, тем не менее, имеющих регулярную структуру (обзор [1]). В данной работе на примере MoS_2 с использованием DFT методов предлагается модель переходного состояния между 1Н и 1Т аллотропами. Модель выявляет общность происхождения всех наблюдавшихся экспериментально границ раздела, как линейных дефектов, возникающих в процессе релаксации переходного состояния. Представлены результаты молекулярно-динамического DFTB моделирования устойчивости ряда гомоатомных линейных дефектов (Рис. 1), рассматривается их влияние на электронные и транспортные свойства полупроводникового MoS_2 .

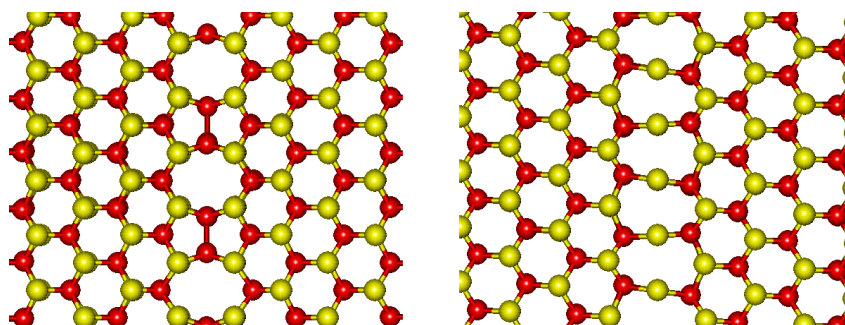


Рис. 1. Структуры гомоатомных линейных дефектов в монослое MoS_2 : ряды димеров Мо-Мо (слева) и пар мостиковых атомов серы (справа) (Мо и S показаны красным и жёлтым)

Работа поддержана Российским Фондом Фундаментальных Исследований (проект № 13-03-00272-а).

1. Enyashin A.N., Seifert G. // *Nanosystems* 2014. V. 5. № 4. P. 517.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАСЕЛЕННОСТИ π -ЗОН В ВЕРХНИХ СЛОЯХ ГРАФИТА МЕТОДОМ $N(E)$ С KVV ОЖЕ-СПЕКТРОСКОПИЕЙ

А.П. Дементьев, К.Е. Иванов, А.В. Рыжков

НИИЦ “Курчатовский институт”, Москва, Россия
demcarbon@yandex.ru

Ohta и др. [1] исследовали методом Фотоэлектронной спектроскопии с угловым разрешением структуру π -зон в зависимости от числа взаимодействующих графенов. В образце, состоящем из 4-х слоев графенов, π -зона была аналогичной π -зоне HOPG. Основываясь на этих данных, можно предположить, что на поверхности образца HOPG после удаления верхнего слоя должны наблюдаться различные состояния π -зон в четырех верхних слоях. Для того чтобы проверить это предположение необходим метод, который бы позволил идентифицировать состояния π -зон по глубине образца. По нашим оценкам такую информацию можно получить с использованием $N(E)$ с KVV Оже-спектров.

Данная работа выполнена на спектрометре Quantera SXI с использованием монохроматического Al K_{α} излучения. Оже- и фотоэлектронные спектры записывались одновременно в каждом эксперименте. Анализ состояний π -зон проводился по Оже-спектрам.

$N(E)$ с KVV Оже спектры состоят из суммы сверток состояний в валентной зоне $V = \sigma_s \sigma_p \pi$ [2]. Экспериментальные спектры описываются уравнением

$$I(KVV) = \sigma_p * \sigma_p + 2\sigma_p * \pi + \pi * \pi = Y + Y_n$$

$Y = \sigma_p * \sigma_p$ – эмиссия электронов из графенов, $= 2\sigma_p * \pi + \pi * \pi$ – эмиссия электронов из пространства между графенами, n – номер слоя. $\sigma_p = (p_x^1 p_y^1 p_z^1)$. $Y_n = I(KVV) - Y$.

Анализ по глубине осуществлен изменением углов сбора электронов в диапазоне $15^\circ - 90^\circ$ ($d = 3\lambda \sin \alpha$), что позволило наблюдать изменения π -зон у каждого из 1-6 слоев графенов.

Заселенность π -зон изменялась от 0 у верхнего слоя до заселенности эквивалентной графиту у 5 и 6 слоев.

Предполагается следующий механизм для объяснения наблюдаемых изменений в π -зонах. **1.** Взаимодействие графенов в bulk HOPG осуществляется посредством p_z -электронов соседних слоев. В результате этого взаимодействия имеют место переходы $p_z \rightarrow \pi$ с образованием стационарного состояния p^{1-n}_z / π^n между слоями графенов, где n – часть p_z -электронов перешедших в π -зону. **2.** После расщепления HOPG происходит изменение заселенности π^n в 1-4 слоях графенов за счет обратных $\pi^n \rightarrow p^{1-n}_z$ переходов с образованием нового стационарного π^{ni} у каждого из 5-ти верхних слоев.

Проведен анализ образцов графита после фторирования в FCl_3 . Состояние атомов углерода определялась по C1s спектрам. При соотношении CF/C ≈ 1 π -зона в Оже-спектрах не наблюдалась. Спектр соответствовал свертке $Y = \sigma_p * \sigma_p$. При CF/C ≈ 3 интенсивность π -зоны в Оже-спектрах приблизительно равнялась интенсивности в чистом графите у 3-го слоя.

Для анализа состояний π -зоны в графите необходимо использовать Рентгеновское возбуждение Оже-эмиссии. Возбуждение Оже-эмиссии электронами значительно изменяет состояние π -зон.

1. T. Ohta, A. Bostwick, J. L. McChesney, T. Seyller, K. Horn, and E. Rotenberg. Phys. Rev. Lett. 2007, 98, 206802.
2. J.S. Murday, B. I. Danlap, F.L. Hutson, P. Oelhafen Phys. Rev. 1981, B24, 4764.

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНОГО БЛИЖНЕГО ПОРЯДКА НА ПЛОТНОСТЬ ЭЛЕКТРОННЫХ СОСТОЯНИЙ ЭПИТАКСИАЛЬНОГО ГРАФЕНА

А. Н. Пономарёв¹, В. Е. Егорушкин¹, Н. В. Мельникова², Н. Г. Бобенко¹

¹Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия
alex@ispms.tsc.ru

²Томский государственный университет, Томск, Россия
phdmelnikova@gmail.com

Низкотемпературные особенности ПЭС графена были описаны в рамках метода температурных функции Грина. Расчет вклада в ПЭС проводился в приближении времени релаксации с учетом многократного упругого рассеяния электронов на примесях и структурных неоднородностях типа ближнего порядка. В рамках предлагаемой теории следующее выражение для времени релаксации было получено:

$$\frac{1}{2\tau} = \frac{1}{2\tau_{imp}} \left[1 + \frac{1-c}{N} \sum_{i=0}^N \alpha_i BT \right]. \quad (1)$$

Здесь $B = \pi \hbar^{-2} k R^2 m \approx 0.1 \text{ K}^{-1}$, R – радиус первой координационной сферы, m – масса электрона, c – концентрация примеси, N – число атомов структурной неоднородности, $\sum \alpha_i$ – сумма параметров ближнего порядка, $\tau_{imp}^{-1} = 2 \cdot 10^{15} \text{ c}^{-1}$ – обратное время релаксации электронов на примеси.

Результирующее выражения вклада в ПЭС разупорядоченного графена включает 2 слагаемых и имеет следующий вид:

$$\Delta \nu = \frac{1}{\hbar^2 \nu_F^2} \left[\frac{\hbar}{2\tau} \ln \left(1 + \frac{p_0 \nu_F (p_0 \nu_F - 2\varepsilon)}{\varepsilon^2 + (\hbar/2\tau)^2} \right) + 2\varepsilon \operatorname{arctg} \left(\frac{p_0 \nu_F (\hbar/2\tau)}{(\hbar/2\tau)^2 + (\varepsilon - p_0 \nu_F) \varepsilon} \right) \right], \quad (2)$$

где p_0 – импульс электронов, $\varepsilon = \hbar k \nu_F$ – электронный спектр в идеальном графене вблизи энергии Ферми и $\nu_F \approx 10^6 \text{ м/с}$.

Проанализировано влияние знака суммы параметров ближнего порядка на вклад в ПЭС при фиксированной температуре вблизи уровня Ферми:

1. Знак суммы параметров ближнего порядка меняется с отрицательного на положительный при допировании или дегазации графена.
2. Изменение дефектности структуры графена приводит к металлизации, которая имеет место при увеличении вклада в ПЭС на уровне Ферми, что связано с изменением структуры графена (при этом $\sum \alpha > 0$).
3. Глубина минимума ПЭС зависит от температуры. С ростом температуры минимум возрастает в графене без примесей (металлизация) и уменьшается в графене, насыщенном газом, что подтверждается экспериментальными данными.

Таким образом, учет вклада в ПЭС от рассеяния электронов на дефектах структуры графена позволил описать особенности поведения ПЭС вблизи ε_F :

ОТКЛИК НЕСИММЕТРИЧНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА НА ТЕРАГЕРЦОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Г.Е. Федоров^{1,2}, И.А. Гайдученко^{1,3}, М.Г. Рыбин⁴, Б.М. Воронов¹, Г.Н. Гольцман¹.

¹Московский педагогический государственный университет, Москва, Россия

²Московский физико-технический институт, Долгопрудный, Россия

³НИЦ «Курчатовский Институт», Москва, Россия

⁴Институт общей физики РАН, Москва, Россия

Терагерцовое излучение имеет применение в различных областях: в медицине, в безопасности, в астрономии и пр. Тем не менее, следует констатировать, что детекторы терагерцового излучения, работающие при комнатной температуре, доступные в настоящее время, обладают различными недостатками. Речь идет либо о низкой чувствительности, либо о большой инерционности и т.д. Использование нанобъектов позволяет предложить новые перспективные решения этой проблемы. Недавние исследования продемонстрировали перспективность использования графена в качестве основы чувствительного элемента детекторов ТГц излучения, работающих при комнатной температуре [1,2].

В данной работе мы исследуем асимметричные структуры на основе графена, полученного методом химического осаждения из газовой фазы, что является более предпочтительным подходом в контексте возможных применений. Мы использовали структуры в конфигурации полевого транзистора с графеном в качестве канала. В структурах первого типа излучение было согласовано при помощи антенны с затворным электродом и стоком, а в структурах второго типа – с стоком и истоком, выполненными из разных металлов. Отклик наших структур был исследован при различных температурах и частотах излучения. Полученные результаты позволяют идентифицировать вклад различных физических механизмов в отклик на излучение с тем, чтобы оптимизировать конфигурацию детектора.

*Работа поддержана Министерством науки и образования Российской Федерации;
Соглашение No. 14.586.21.0003 идентификационный номер проекта RFMEFI58614X0003*

1. Xinghan Cai, Andrei B. Sushkov, Ryan J. Suess, Mohammad M. Jadidi, Gregory S. Jenkins, Luke O. Nyakiti, Rachael L. Myers-Ward, Shanshan Li, Jun Yan, D. Kurt Gaskill, Thomas E. Murphy, H. Dennis Drew & Michael S. Fuhrer, Sensitive room-temperature terahertz detection via the photothermoelectric effect in graphene, Nature Nanotechnology 9, 814–819 (2014).
2. Vicarelli L., et al. Graphene field-effect transistors as room-temperature terahertz detectors. Nature Mater. 11, 865–871 (2012).

АКУСТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРАФЕНА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПАВ И ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

З.А. Инсепов¹, О.В. Кононенко², Д.В. Рошчупкин², К.Б. Тыныштыкбаев¹

¹Назарбаев университет, НУРИС, 010000 Астана, ул. Кабанбай батыра, Казахстан
ktynyshtykbayev@nu.edu.kz, kt011@mail.ru

²Институт проблем технологии микроэлектроники и особо чистых веществ,
Москва, Россия
dmitry.roshchupkin@iptm.ru

По результатам измерения наведенного в графене акустоэлектрического тока I_{AEC} под действием поверхностной акустической волны (ПАВ) установлен флуктуационный характер акустоэлектрического тока при малых напряжениях смещения V_{bias} . Флуктуационный характер I_{AEC} проявляется во всех случаях измерения в зависимости от действия ПАВ и приложения внешнего электрического поля около точки электронейтральности. Устойчивый флуктуационный характер электрического и акустоэлектрического токов вблизи точки электронейтральности обусловлен флуктуацией электрического потенциала электронов и дырок в графене. Большие напряжения смещения V_{bias} внешнего электрического поля, прикладываемого на графен, эффективно подавляет возникновение флуктуационного потенциала электронов и дырок, и при больших величинах V_{bias} наблюдается строгая линейная зависимость I_{AEC} от V_{bias} . Параболическая зависимость наведенного акустоэлектрического тока I_{AEC} в графене от тока усиления I_{saw} мощности ПАВ объясняется характером релаксации акустических фононов пьезокристаллической подложки, которая является доминирующей в процессах электрон-фононного рассеяния в графене и наведения акустоэлектрического тока в нем. Знак и величина индуцированного в графене акустоэлектрического тока, при воздействии ПАВ и наложении внешнего напряжения смещения электрического поля, обусловлен величиной и направлением электромагнитных полей, индуцированных ПАВ и внешним электрическим полем. При совпадении направления ПАВ и напряженности внешнего электрического поля происходит усиление процесса наведения акустоэлектрического тока, при противоположном направлении - торможение I_{AEC} приложенным напряжением смещения V_{bias} и процессами взаимодействия этих полей между собой [1]. Показано, что изменение амплитуды ПАВ позволяет управлять величиной и направлением тока в графене на поверхности пьезоэлектрических кристаллов [2] и создать ПАВ-приборы с графеновыми покрытиями [3].

1. Z.Insepov et al. Surface acoustic wave amplification by direct current-voltage supplied to graphene film. JAPL, 106,023505, 2015.
2. Dmitry Roshchupkin et al. Surface acoustic wave propagation in graphene film. JAP 2015 in press.
3. Е.Е.Емелин и др. Способ усиления поверхностной акустической волны. Инновационный патент РК, № 584/14 от 31.01.2015г., заявка № 2014/0431.1 от 04.04.2014.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И АТОМНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ГИДРИРОВАНИЯ - ДЕГИДРИРОВАНИЯ ГРАФЕНОВЫХ НАНОСТРУКТУР

Ю.С. Нечаев, В.П. Филиппова

ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», Москва, Россия

Институт металловедения и физики металлов им. Г.В. Курдюмова, Москва, Россия

yuri1939@inbox.ru

Представлены результаты [1-3] изучения (методами термодинамического анализа ряда наиболее цитируемых теоретических и экспериментальных данных) характеристик термостабильности гидрированных мембранных и эпитаксиальных графенов, а также атомных механизмов процессов их гидрирования и дегидрирования.

Показано несоответствие некоторых теоретических данных для графана с результатами термодинамической «поверки».

Процессы хемосорбции атомарного водорода графеновыми мембранами описываются при помощи уравнения Поляни — Вигнера для реакций первого порядка.

Аналогичные процессы для эпитаксиальных графенов лимитируются диффузией водорода и описываются (в рамках диффузионного приближения) как реакции первого порядка; процессы дегидрирования лимитируются диффузией водорода из хемосорбционных «центров», локализованных на внутренней стороне графеновых слоев, к внешним краям образцов.

Между графеновым слоем и подложкой имеет место диссоциативно-ассоциативная хемосорбция молекулярного водорода, характерная для межзеренных и/или свободных поверхностей в графитовых наноматериалах.

Атомы водорода (при плазменной обработке образцов эпитаксиального графена) проникают в межфазную область образцов (между графеновым слоем и подложкой) только через дефекты в графеновом слое (границы зерен, их тройные узлы и др.). Это может привести к образованию графеновых наноблистеров (Рис. 1), заполненных интеркалированным газообразным молекулярным водородом высокой плотности [1-3].

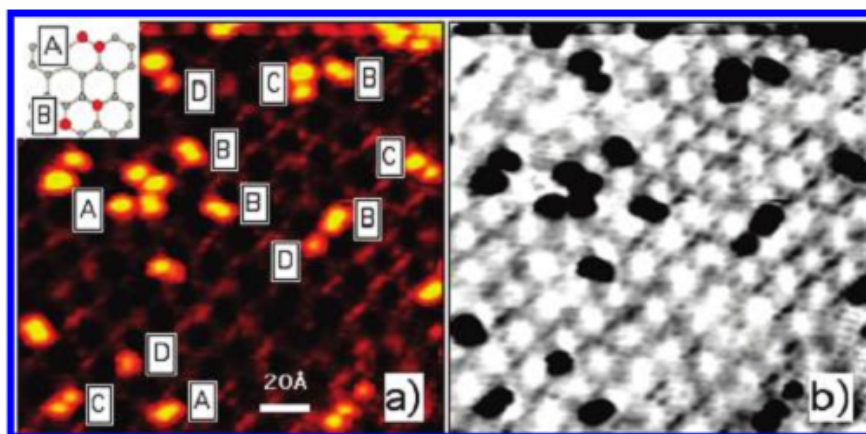


Рис. 1. (a) STM image of hydrogenated graphene/SiC {Balog et al. (2009)}. (b) Same image as in (a) with inverted color scheme, giving emphasis to preferential hydrogen adsorption on the SiC surface. Hydrogen dose at $T_{\text{(beam)}} = 1600 \text{ K}$, $t = 5 \text{ s}$, $F = 10^{12} - 10^{13} \text{ atoms/cm}^2\text{s}$ ($P_{\text{(Hgas)}} \approx 0.1 \text{ mPa}$).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 14-08-91376).

1. Nechaev Yu.S., Yurum A., Tekin A., Yavuz N.K., Yurum Yu., Veziroglu T.N. // American Journal of Analytical Chemistry, 2014, Vol. 5, P. 1151.
2. Nechaev Yu.S., Fillipova V.P., Yurum A., Yurum Yu., Veziroglu T.N. // Journal of Chemical Engineering and Chemical Research, 2015, Vol. 2, # 1.
3. Nechaev Yu.S., Veziroglu T.N. // Intern. Journal of Physical Sciences, 2015, Vol. 10, # 2. .

10 СЕНТЯБРЯ

МАТЕРИАЛЫ И УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА И РОДСТВЕННЫХ СТРУКТУР

СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ 2

ГРАФЕН КАК ИСТОЧНИК ХОЛОДНОЙ ПОЛЕВОЙ ЭМИССИИ ЭЛЕКТРОНОВГ.С. Бочаров¹, А.В. Елецкий², Д.Г. Квашнин³, Л.А. Чернозатонский³*¹Национальный исследовательский университет**«Московский энергетический институт», Москва, Россия**²Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, Россия**³Институт Биохимии РАН, Москва, Россия*

eletskaa@mail.ru

Методом DFT вычислены значения работы выхода электрона для фрагментов графена различной структуры, а также для фрагментов графена, функционализированных по границе атомами водорода. Полученные результаты используются для вычисления вольтамперных характеристик холодного полевого эмиттера на основе вертикально ориентированного прямоугольного листа графена. Результаты расчетов пространственного распределения электрического потенциала в окрестности графенового листа указывают на существенно неоднородное распределение коэффициента усиления электрического поля вдоль кромки листа, так что максимумы распределения приходятся на области вблизи его вершин. Такая неоднородность приводит к сильно неоднородному распределению плотности тока эмиссии вдоль кромки графенового листа. В результате реализуется два режима эмиссии, в одном из которых (при относительно низких полях) основной вклад в эмиссию вносят области вблизи вершин листа, в то время как в другом режиме (в области высоких полей) преобладающим является вклад в эмиссию центральной области листа. Существование двух режимов проявляется в характерном изломе вольт-амперной характеристики графена, представленной в координатах Фаулера-Нордгейма, который наблюдался в недавнем эксперименте. Обсуждается возможность снижения степени неоднородности распределения плотности тока эмиссии вдоль кромки графенового листа в результате придания его вершинам закругленной формы.

ФИЗИКА ПРИБОРОВ И СТРУКТУР НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА

В.Я. Принц

*Институт физики полупроводников СО РАН им. академика А.В. Ржанова,
Новосибирск, Россия
prinz@isp.nsc.ru*

В докладе представлены физические основы и механизмы работы приборов и базовых элементов на основе графена и его производных. Уникальные свойства графена – линейная дисперсия, двумерность, возможность электростатически изменять проводимость и тип проводимости, изменяя положение уровня Ферми в системах, а также электрические, фотоэлектрические, механические, оптические свойства открывают возможность формирования новых приборов. В докладе рассмотрены приборы электроники: полевые транзисторы, интегральные схемы, элементы памяти, логические элементы, новые вертикальные и планарные приборы, в том числе туннельные транзисторы и транзисторы на горячих электронах, полевые эмиттеры, приборы графеновой спинтроники, приборы плазмоники и другие квантовые приборы. Рассмотрены приборы графеновой фотоники, нанофотоники, оптоэлектроники, в том числе фотоприемники, модуляторы. Уделено внимание плазмонным биосенсорам и перспективным квантовым приборам.

Рассмотрены преимущества и физические ограничения графеновых приборов. Обсуждаются перспективы широкого практического применения графеновых и гибридных приборов.

**ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ
АВТОЭЛЕКТРОННОЙ ЭМИССИИ ИЗ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА**

А.Н. Образцов, В.И. Клещ, Ю.П. Свирко

Физический факультет, МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия
obraz@polly.phys.msu.ru

Высокое аспектное отношение, хорошая электрическая проводимость, а также рекордная прочность межатомных связей в графеновых наноструктурах создают условия для их использования в качестве высокоэффективных автоэмиссионных источников электронов (автокатодов). При этом особенности атомной структуры и электронных свойств наноматериалов на основе графена приводят к ряду эффектов, представляющих интерес как с точки зрения фундаментальной науки, так и для различных практических применений. Общие и специфические фундаментальные свойства и возможности практического применения автоэлектронной эмиссии анализируются в сравнении для различных материалов на основе графена.

Работа поддержана грантом РФФИ 14-12-00511.

1. Obraztsov A.N., Kleshch V.I., Smolnikova E.A. // Beilstein J. Nanotechnol. 2013, 4, 493–500.

**ОТРИЦАТЕЛЬНОЕ ПРЕЛОМЛЕНИЕ ВОЛН МАТЕРИИ
НА ПРИМЕРЕ ЭЛЕКТРОНОВ В ГРАФЕНЕ**

В.В. Климов

ВНИИ автоматики им. Н.Л. Духова, Москва, Россия
Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия

Материалы будут представлены во время устного сообщения.

V.V. Klimov, *et al*, “Comparative focusing of Maxwell and Dirac fields by negative-refraction half-space” // *EPL* **94** 20006 (2011).

ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЛОЕВ ФТОРОГРАФЕНА С КВАНТОВЫМИ ТОЧКАМИ ГРАФЕНА

И.В. Антонова¹, Н.А. Небогатикова¹, В.Я. Принц¹

¹*Институт физики полупроводников им. А.В.Ржанова СО РАН, Новосибирск, Россия*
antonova@isp.nsc.ru

Графен и целый ряд диэлектриков на его основе представляет интерес для создания квантовых структур методами локальной функционализации материалов. Системы с квантовыми точками (КТ) являются одними из перспективных типов структур для широкого спектра возможных приложений (оптоэлектронные приборы, сенсоры, элементы памяти, био- и медицинские приложения и др). Массивы квантовых точек в непроводящей матрице также являются наиболее интересными объектами для исследования эффектов связанных с квантованием энергии, взаимодействием КТ и процессами переноса заряда между КТ внутри массива.

В данной работе демонстрируются закономерности формирования и результаты исследования структурных и электронных свойств массивов КТ, встроенных в диэлектрическую матрицу фторографена. Способ получения КТ графена и мультиграфена основан на эффектах самоорганизации во время химической функционализации графена в водном растворе (или парах) плавиковой кислоты (разработанная нами оригинальная методика фторирования). В данном докладе обсуждаются особенности формирования массивов КТ графена и мультиграфена, их структурные и электронные свойства и перспективы использования. Простота процесса функционализации, отсутствие агрессивной среды и высоких температур, а также возможность управляемо менять их параметры и свойства выгодно отличают данный способ создания массива КТ. Кроме того, стабильность матрицы фторографена обеспечивает стабильность свойств получаемых пленок с массивами КТ.

Рассмотрены этапы формирования и структурные изменения, происходящие при увеличении времени фторирования пленок графена и мультиграфена. Для изучения изменений в пленках графена в ходе фторирования одновременно применялся сканирование рельефа поверхности методом АСМ и режим измерения латеральных сил. Это позволило визуализировать КТ и фторированную часть поверхности и оценить размеры и плотность КТ. В результате экспериментов были созданы проводящие островки (квантовые точки) графена и мультиграфена диаметром от 400 до 10 нм и плотностью от 6×10^8 до 6×10^{10} см⁻² в матрице фторографена.

Исследованы транспорт и процесс релаксации неравновесного заряда, захваченного на квантовые точки графена размером от 70 нм и менее в пленках фторированного графена и мультиграфена без и в условиях подсветки (дневной свет, 10^{17} – 10^{18} фотонов/см²с). Без подсветки методом зарядовой спектроскопии Q-DLTS наблюдались энергии активации с уровней размерного квантования в КТ (0.14, 0.21 и 0.30 эВ). Было обнаружено, что время релаксации неравновесного заряда экспоненциально зависит температуры и от толщины слоев с КТ. Показано, что уменьшение время релаксации неравновесного заряда с увеличением толщины пленок связано с изменением высоты и структуры барьеров из фторографена. В случае подсветки вместо уровней размерного квантования КТ обнаружена система мелких уровней (энергии активации от 0 до 0.16 эВ). Время релаксации заряда при этом падает от миллисекунд до микросекунд и уже не зависит от толщины пленок. Это позволяет предположить, что из-за неоднородного фторирования барьеры, разделяющие КТ, имеют сложное строение с флуктуациями потенциала. Определены значения активационных барьеров для протекания тока и изучена их электронная структура в пленках с квантовыми точками разных размеров.

Среди возможных приложений пленок с КТ в матрице фторографена рассмотрены перспективны их использования в элементах флеш и резистивной памяти.

ГРАФЕН НА ОСНОВЕ SiC: ПОЛУЧЕНИЕ, ИССЛЕДОВАНИЕ И ВОЗМОЖНЫЕ ПРИБОРНЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ.

А.А. Лебедев¹, Н.В. Агринская¹, В.А. Березовец¹, С.П. Лебедев¹, А.Н. Смирнов¹,
Ю.Н. Макаров², С.В. Новиков³

¹ФТИ им. А.Ф.Иоффе РАН. Политехническая 26, 194021, С.-Петербург, Россия
shura.lebe@mail.ioffe.ru

²ГК «Нитридные кристаллы», 194156, пр. Энгельса, д. 27, С.-Петербург, Россия
yuri.makarov@nitride-crystals.com

³Aalto University, Tietotie 3, 02015, Espoo, Finland
sergey.novikov@aalto.fi

Разработана технология формирования плёнок графена методом термодеструкции поверхности SiC как в вакууме [1], так и в атмосфере инертного газа [2]. Рост проводился на основе полуизолирующих подложек 6H и 4H SiC. Полученные плёнки были исследованы методом Рамановской спектроскопии (Рис 1), оже-спектроскопией и RHEED. Для проведения электрофизических измерений на поверхности образцов формировались тестовые структуры в геометрии Холловского моста (Hall-bar). Измерения вольтамперных характеристик и эффекта Холла проводились в диапазоне температур 2–300 К. Были обнаружены осцилляции Шубникова де Гааза, свойственные однослойному графену. На основе полученных плёнок графена были изготовлены прототипы газовых сенсоров с рекордной чувствительностью к молекулам NO₂ (Рис. 2)

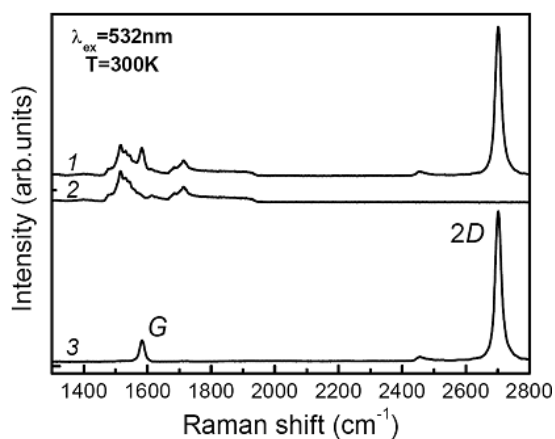


Рис. 1.

- 1 – рамановский спектр слоя графена, выращенного на подложке 6H-SiC;
- 2 – рамановский спектр второго порядка подложки 6H-SiC;
- 3 – разностный спектр, полученный вычитанием из спектра 1 спектра 2

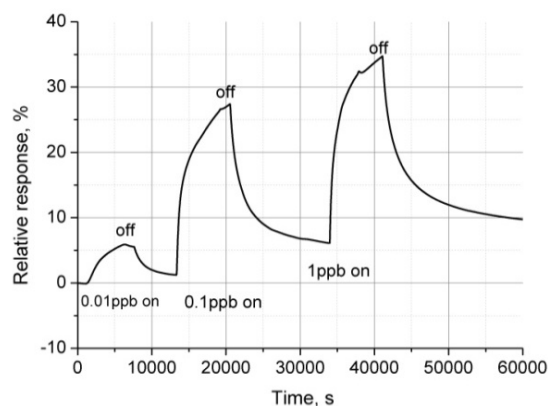


Рис 2.

Зависимость отклика газового сенсора на основе монослойного графена от концентрации NO₂ в газовой смеси при температуре 100 °C

1. Агринская Н.В., Березовец В.А., Козуб В.И., Котоусова И.С., Лебедев А.А., Лебедев С.П., Ситникова А.А. // ФТП. 2013. Т. 47, № 2, С. 267.
2. Novikov S, Satrapinski A., Lebedeva N., Iisakka// IEEE transaction on Instrumentation and Measurement. 2013. Т. 62. № 6. С. 1859.

ВЗРЫВНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ОКСИДА ГРАФИТА ПАРАМИ ГИДРАЗИНА

В.П. Мельников, М.В. Гудков

Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, Москва, Россия
melnikov@chph.ras.ru

Интерес к окисленному графиту, резко возросший в последнее десятилетие после открытия уникальных свойств графена, обусловлен поиском приемлемых способов его массового производства. Восстановление окисленного графита, т.е. удаление кислородсодержащих функциональных групп термическим отжигом или химическим воздействием, позволяет получать графеноподобный материал, уступающий графену по свойствам, но способный заменить его во многих практических применениях. К настоящему времени предложено большое количество методов восстановления оксида графита с использованием различных химических реагентов [1]. Термическое восстановление, осуществляемое при высокой скорости повышения температуры (термоудар), когда в результате экзотермических реакций происходит бурное выделения газообразных продуктов, восстановление и расслоение частиц, позволяет получить графеноподобный материал с высокой, до 800 м²/г, удельной поверхностью [2].

Нами было обнаружено, что подобное взрывное восстановление оксида графита может происходить при контакте с парами гидразина при комнатной температуре. В докладе представлены результаты экспериментального исследования как термически, так и химически стимулированного взрывного восстановления оксида графита. Определены условия, при которых восстановление парами гидразина носит взрывной характер. Методом кинетической газовой волюмометрии определен количественный и качественный состав газообразных продуктов, выделяющихся в обоих случаях. Анализ газообразных продуктов отжига полученных материалов при ступенчатом повышении температуры до 1000°C позволяет судить о термической устойчивости остаточных функциональных групп и их количестве. Материалы охарактеризованы методами элементного анализа, колебательной спектроскопии (ИК-Фурье и КР), рентгенофазового анализа и электронной микроскопии.

1. Chua C. K., Pumera M. // Chem. Soc. Rev. 2014 - pubs.rsc.org
2. Krishnan D., Kim F. // Nano Today. 2012. 7, 137.

**ЭЛЕКТРОКАТАЛИТИЧЕСКИЕ СЛОИ НА ОСНОВЕ
ГРАФЕНО-ПОДОБНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ
СИСТЕМ С ТВЕРДЫМ ПОЛИМЕРНЫМ ЭЛЕКТРОЛИТОМ**

С.А. Григорьев¹, А.С. Пушкарев², И.В. Марусева², В.Н. Калиниченко³, В.Н. Фатеев²

¹Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия

²Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, Россия

³Научно-производственная фирма «Делтарус», Долгопрудный, Россия

sergey.grigoriev@outlook.com

В рамках данного доклада рассмотрены аспекты применения восстановленного оксида графена (ВОГ), углеродных нановолокон (УНВ) и других наноуглеродных материалов в качестве носителей или компонентов электрокатализаторов и электрокатали- тических слоев электрохимических систем с твердым полимерным электролитом (ТПЭ). В частности, синтезирован и исследован ВОГ с удельной поверхностью около 600 м²/г. Синтез наночастиц платиновых металлов на его основе проводился методом магнетронно- ионного распыления в импульсном режиме. Изготовлена и испытана серия мембранно- электродных блоков (МЭБ), в которых в состав электрокаталитических композиций добавлялся ВОГ в количестве 0-10% от массы электрокатализатора Pt/Vulcan XC-72. Установлено, что оптимальное содержание ВОГ в активном слое топливного элемента составляет от 1 до 5% масс. в зависимости от состава и параметров работы МЭБ. УНВ синтезированы методом химического восстановления их газовой фазы. Показано, что в высокотемпературном топливном элементе, использующем в качестве ТПЭ допированную фосфорной кислотой полибензимидазольную мембрану, катализатор Pt/УНВ более стабилен, чем Pt/Vulcan XC-72.

Разработка метода синтеза ВОГ, УНВ и их структурные исследования проведены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-29-04071 офи_м. Синтез наноструктурных электрокатализаторов методом магнетронно-ионного распыления и их структурные и электрохимические исследования выполнены за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-29-00111). Испытания МЭБ проведены при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках базовой части государственного задания № 2014/123.

ЭЛЕКТРОХИМИЯ НАНОФОРМ УГЛЕРОДА. ПОИСК ОПРЕДЕЛЁННОСТИ

А.Г. Кривенко

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

Исследование наночастиц углерода электрохимическими методами можно условно разделить на три этапа: изучение фуллеренов началось в 1990 г, нанотрубок и родственных им структур в 1996 г. и, наконец, «графена», под которым, как правило, понимаются графеноподобные структуры с 2005 г. При этом начало каждого этапа сопровождалось декларациями об уникальных свойствах исследуемых объектов и, как следствие, ещё более уникально широким спектром их потенциального применения. Большинство работ, так или иначе, позиционируется с возможным использованием наночастиц углерода в электрохимических конденсаторах, литиевых батареях, топливных элементах, электрохимических сенсорах и в качестве электродов с электрокаталитическими свойствами. Однако практической реализации заявленных позиций явно не просматривается. Возникает вопрос – с чем же связан неослабевающий интерес исследователей к данной проблематике? Это дань моде, возможность получения приоритетного финансирования или надежда на выявление принципиально новых закономерностей при протекании электродных процессов на наноструктурированном интерфейсе. Однозначного ответа, по-видимому, не существует. Однако огромный массив полученных данных и изрядная временная протяженность исследований позволяют прийти к более-менее объективным выводам относительно направлений и тенденций развития этой области физической химии и тех рубежей, которые достигнуты в ней к настоящему времени. Можно констатировать, что наибольшая определённость достигнута при изучении электрохимии фуллеренов, что, по-видимому, связано как с «классической» растворимостью этих молекул в ряде электролитов, так и, самое главное, с эквивалентностью объектов исследования во всех лабораториях. По этой причине результаты разных авторов практически совпадают и большинство принципиальных вопросов электрохимии этих наночастиц удалось разрешить. Существенно более неоднозначная ситуация складывается при оценке состояния исследований электрохимии нанотрубок и «графена». Хотя число работ продолжает расти и достигает 3–4 тысяч в год, их анализ не позволяет определённо ответить на основной вопрос – в чём специфика протекания электродных реакций на наноразмерных структурных элементах по сравнению с «гладким» электродом. Проявлением такой специфики можно считать часто встречающиеся принципиальные противоречия между экспериментальными данными, приводимыми различными авторами для фактически одинаково охарактеризованных материалов. Это означает, что детали строения наноструктурированной поверхности, ускользающие от исследователей даже при использовании самых современных методик, существенным образом влияют на кинетику электродных процессов. Кроме этого, часто выпускается из виду, что погружение в раствор и тем более наложение потенциала само по себе производит модификацию электрода – например, сканирование потенциала даже при отсутствии фарадеевских токов может менять степень гидрофобности наноструктурированного электрода.

В итоге, можно предположить, что поиск определённости в понимании фундаментальных характеристик нанотрубных, графеновых и графеноподобных электродов будет продолжен, и по мере неизбежного угасания конъюнктурных аспектов мотивации этих исследований вероятность успеха будет возрастать.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №13-03-00548.

**КРАЕВАЯ АВТОЭЛЕКТРОННАЯ ЭМИССИЯ
ИЗ ПЛЕНОК ГРАФЕНА БОЛЬШОЙ ПЛОЩАДИ**

В.И. Клещ¹, Д.А. Бандурин¹, Ф.Т. Туякова², А.Н. Образцов¹

¹*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*
klesch@polly.phys.msu.ru

²*Московский государственный университет информационных технологий,
радиотехники и электроники, Москва, Россия*

Исследована автоэлектронная эмиссия из края графеновых пленок большой площади ($\sim 1 \times 1 \text{ см}^2$), изготовленных методом газофазного химического осаждения и перенесенных на кварцевые подложки. За счет высокого аспектного отношения, которое обеспечивалось макроскопически большими латеральными размерами пленки и сверхмалым поперечным размером графена в один атом, было достигнуто значительное усиление электрического поля на краю пленки. Это позволило получить стабильную низковольтную эмиссию электронов с линейной плотностью тока до $0,5 \text{ мА/см}$. На вольт-амперных характеристиках наблюдался ярко выраженный эффект гистерезиса, а также резкое ступенчатое возрастание тока при увеличении напряжения. Данные эффекты были объяснены локальным отщеплением края графеновой пленки от кварцевой подложки под действием пондеромоторных сил, возникающих в процессе эмиссии. Полученные автоэмиссионные характеристики графеновых пленок большой площади, открывают ряд новых возможных применений эмиттеров на основе графена в качестве эффективных источников плоских пучков электронов, а также элементов микроэлектромеханических систем.

КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНОПОДОБНЫХ СТРУКТУР

А.А. Арбузов, С.Д. Куш, Н.С. Куюнко, А.А. Володин, С.А. Можжухин, Б.П. Тарасов

Институт проблем химической физики РАН, Черноголовка, Россия
tarasov@icp.ac.ru

В докладе обсуждены способы приготовления и свойства композитов на основе графеноподобных структур – перспективных материалов для водородной энергетики.

Графеноподобные материалы (ГПМ) с соотношением C/O > 40 получали термическим восстановлением оксида графита (C/O = 1.46). На их поверхности осаждали наночастицы Pt со средним размером ~2 нм из водного раствора $H_2PtCl_6 \cdot xH_2O$ в присутствии пиридина. Полученный композит Pt/ГПМ исследовали в качестве катализаторов гидрирования нитробензола и децена-1. Наиболее высокую активность проявлял катализатор, полученный на восстановленном при 1000°C в течение 3 ч оксиде графита (ОГ).

Формирование композитов NiO/ГПМ проводили из смесей ОГ и солей никеля гидротермальным методом. Получающиеся при этом частицы NiO имели диаметр 40-60 нм. При пропускании C_2H_4 или CH_4 через композит NiO/ГПМ при температурах 500-700°C образовывались частицы Ni, на которых начинался рост углеродных наноструктур (УНС) – нановолокон или нанотрубок. Композиты УНС/ГПМ также получали обработкой смеси ОГ с $Ni(CH_3COO)_2$ этиленом или метаном при температурах 600-900°C. Оказалось, что время синтеза влияет на длину УНС, температура – на тип структуры, а метод формирования прекурсора катализатора – на диаметр и распределение УНВ на поверхности ГПМ. С использованием прекурсора, полученного гидротермальным методом, образуются УНВ диаметром около 100 нм. При восстановлении ОГ и Ni^{2+} непосредственно в процессе CVD-синтеза получают УНВ диаметром 8-20 нм, равномерно распределенные на поверхности ГПМ. Рассмотрены перспективы использования композитов УНС/ГПМ в качестве носителей катализаторов.

Путем обработки NiO/ГПМ водородом получали Ni/ГПМ, которые исследовали в качестве катализатора гидрирования магния. Такой композит проявляет существенно более высокую активность, чем Ni и ГПМ. Рассмотрены механизм синергетического действия Ni/ГПМ-катализатора на обратимое гидрирование Mg и перспективы использования системы Ni/ГПМ-Mg в качестве металлгидридного аккумулятора водорода.

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ И СУЛЬФИДОВ НЕПЕРЕХОДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ВОССТАНОВЛЕННОГО ОКСИДА ГРАФЕНА - АНОДЫ ДЛЯ Li- И Na-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

А.А. Михайлов¹, А.Г. Медведев¹, Д.А. Гришанов¹, Т.А. Трипольская¹,
О. Лев², П.В. Приходченко¹

¹*Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, Москва, Россия*
mikhaylov.alex.chem@gmail.com

²*Еврейский Иерусалимский университет, Иерусалим, Израиль*

Разработанный нами "пероксидный" метод получения тонких пленок на основе оксидов и сульфидов олова, сурьмы, германия и теллура позволяет получать композиты, в которых наночастицы соответствующих оксидов или сульфидов образуют сплошное покрытие на поверхности частиц оксида графена. Дальнейшая термообработка в вакууме приводит к кристаллизации неорганического покрытия и восстановлению оксида графена. Полученные в данной работе из пероксосоединений р-элементов композиционные материалы на основе оксида графена могут быть использованы в качестве анодных материалов в составе литий- и натрий-ионных аккумуляторов. Материалы обладают хорошими скоростными характеристиками и высокими значениями удельной электрохимической емкости. Например, анодный материал «Sb₂S₃-rGO» в ходе циклирования в натрий-ионном аккумуляторе показал высокие значения удельной емкостью (до 730 мАч/г при токе разряда 50 мА/г), хорошую стабильность при циклировании (коэффициент обратимости емкости более 95% после первых 50 циклов), а также отличные скоростные характеристики: при увеличении тока разряда в 60 раз (3000 мА/г) значение разрядной емкости указанного материала составляет более 70% доступной при низких скоростях разряда (50 мА/г). Хорошие электрохимические характеристики данных материалов обусловлены особенностями состава и морфологии неорганического покрытия на углеродной подложке. Восстановленный оксид графена выполняет роль подложки, обладающей высокой механической прочностью, удельной поверхностью, электрической и ионной проводимостью, а наночастицы соединений непереходных элементов образуют тонкие пленки с хорошей адаптивностью к изменениям объема в ходе циклов заряда/разряда и высокой удельной электрохимической емкостью.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (14-29-04074 офи_м), Совета по грантам президента Российской Федерации (МК-5847.2014.3, СП-995.2015.1).

1. Yu D.Y.W., Prikhodchenko P.V., Mason C.W., Batabyal S.K., Gun J., Sladkevich S., Medvedev A.G., Lev O. // Nature Communication. 2013. V. 4. P. 2922.
2. Prikhodchenko P.V., Yu D.Y.W., Batabyal S.K., Uvarov V., Gun J., Sladkevich S., Mikhaylov A.A., Medvedev A.G., Lev O. // J. Mat. Chem. A. 2014. Vol. 2, Iss. 22. P. 8431.

**ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ (ЭХВ)
ОКСИДА ГРАФЕНА (ОГ) ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
В ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКАХ ТОКА (ХИТ)**

Рычагов А.Ю.¹, Губин С.П.², Чупров П.Н.², Корнилов Д.Ю.², Алмазова А.С.²,
Краснова Е.С.², Воронов В.А.², Грызлов Д.Ю.¹, Давыдова Е.С.¹

¹*Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, Москва, Россия*

Rychagov69@mail.ru

²*ООО "АкКо Лаб", www.akkolab.ru, Москва, Россия*

Известно, что восстановленный оксид графена является перспективным электродным материалом для создания высокоэффективных накопителей энергии. Среди методов восстановления ОГ наиболее распространены термический и химический [1]. Однако, полученный таким образом материал требует изготовления электродов, что усложняет технологический процесс и приводит к снижению удельных характеристик. С этой точки зрения ЭХВ ОГ является перспективным направлением в технологии ХИТ. Кроме этого ЭХВ ОГ, существенно отличается от других методов восстановления.

В результате проведенных исследований было показано, что ЭХВ эффективно протекает в протонных (водных) электролитах при взаимодействии с активным водородом. ЭХВ ОГ приводит к росту поляризационной емкости на два-три порядка, достигая 100÷150 Ф/г (ОГ) или 200÷300 Ф/г (углерода). Показано, что ОГ обладает ионной (протонной) проводимостью, сильно зависящей от влажности ОГ. Для тонких пленок имеется вклад индуцированной электронно-дырочной проводимости, зависящей от напряжения и природы контакта ОГ - проводник. Количество электричества, расходуемое на восстановление ОГ, находится в интервале от 1500 до 2000 Кл/г, что примерно в два раза ниже теоретически ожидаемого. Данный факт может говорить о восстановлении ОГ до некоторой промежуточной структуры (возможно с заменой эпокси-групп на фенольные). Кроме непосредственно электрохимического восстановления была показана возможность электровосстановления пленок ОГ без участия электролита. В данном случае механизм восстановления оказывается близок ЭХВ, при этом источником активного водорода является вода, адсорбированная в структуре ОГ, а роль электролита выполняют протонообменные группы ОГ.

Показано, что восстановление ОГ непосредственно в ХИТ позволяет повысить емкостные характеристики электродов, а электровосстановление пленок ОГ позволяет создавать сверхтонкие «сэндвич» - структуры для суперконденсаторов.

1. Губин С.П., Ткачев С.В. Графен и родственные наноформы углерода. Изд. 4-е, доп. - М.: ЛЕНАНД, 2015. - 112 с.

ПРИМЕНЕНИЕ СУСПЕНЗИЙ ГРАФЕНОВЫХ ЧАСТИЦ В КАЧЕСТВЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩЕЙ ДОБАВКИ В КАТОДАХ ЛИТИЕВЫХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

И.А. Пуцылов¹, С.Е. Смирнов¹, А.В. Николаева², В.М. Самойлов²

¹НИУ “МЭИ”, Москва, Россия

putsylov@ya.ru

²АО “НИИГрафит”, Москва, Россия

anikolaeva@niigrafit.org

В качестве исходного материала для получения суспензий графеновых частиц использовался естественный графит (ЕГ), подвергнутый газотермической очистке и имеющий зольность менее 0,01 масс.%. Суспензии, содержащие до 92 % малослойных графеновых частиц получали диспергированием 300 мг ЕГ в 50 мл воды (6 мг/мл) ультразвуком с частотой 22,5 кГц на установке «Мэлфиз» МЭФ 391 с акустической мощностью 200 Вт. Время обработки суспензий ультразвуком составляло 6 часов. Исследование полученных суспензий проведено методами рентгеновского дифракционного анализа, ПЭМ и Рамановской спектроскопии.

Тонкопленочные твердофазные диоксид марганцевые катоды готовили по оригинальной методике, в соответствии с которой 80 масс.% порошка диоксида марганца фирмы Frandaizer M (Бельгия) перемешивали с 10 масс.% электропроводящей добавки и компонентами твердополимерного электролита (ТПЭ) – 2 масс.% перхлората лития и 8 масс. % модифицированного полисульфона в диметилацетомиде. В качестве электропроводящей добавки были использованы исходный ЕГ и высушенная суспензия графеновых частиц.

Катод, содержащий в качестве электропроводящей добавки исходный ЕГ имел наибольшее внутренне сопротивление и минимальную удельную емкость всего 2,0 мА*ч/г, что указывает на невозможность обеспечения эффективного электронного транспорта при использовании в структуре тонкопленочного катода данного материала. Замена ЕГ на малослойный графен приводит к существенному снижению внутреннего сопротивления электрода и увеличению его удельной емкости до 145 мА*ч/г. Полученный результат можно объяснить минимизацией размера частиц электропроводящей добавки, по сравнению с активным веществом, и, как следствие, возможностью более равномерного распределения компонентов в структуре тонкопленочного катода, позволяющего обеспечить эффективный перенос электрона в зону электрохимической реакции.

С другой стороны, на повышение энергетических параметров тонкопленочного катода могли повлиять и индивидуальные свойства графена, к которым относится его электропроводность и возможность интеркаляции иона лития.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 14-08-31254.

ИНТЕГРАЛЬНЫЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ЛИСТОЧКОВ ТЕРМОРАСШИРЕННОГО ГРАФИТА

А.В. Дмитриев

Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия
admitriev@csu.ru

Червеобразные частицы терморасширенного графита (ТРГ) имеют сотовую структуру. Листочки сот являются стенками пузырьков, слои стенок в соседних пузырьках не совпадают. Это приводит к различию в толщине стенок, и для определения усредненной толщины необходимо проводить достаточно большое число замеров для получения усредненного результата. Измерения осуществляют с разрушением частиц ТРГ, что приводит к дополнительному расщеплению стенок и слипанию выделенных листочков. Избежать это позволяет применение интегрального метода. Он основан на измерении размера утолщенных листочков ТРГ. Для утолщения стенок использовали каменноугольный пек. Расплав пека распределяется тонкими слоями равной толщины по поверхности листочков ТРГ самопроизвольно. Пек отверждали окислением кислородом воздуха [1]. Сжатие стенок осуществлялось при размоле окисленного шихтового материала в шаровой мельнице и при прессовании заготовок. После обжига и графитации заготовок механические свойства листочков ТРГ и слоев пека выровнялись, и при разрушении частиц ТРГ поперек слоев образовалась ровная поверхность разлома с четко различимой слоистостью, см. рис. 1.

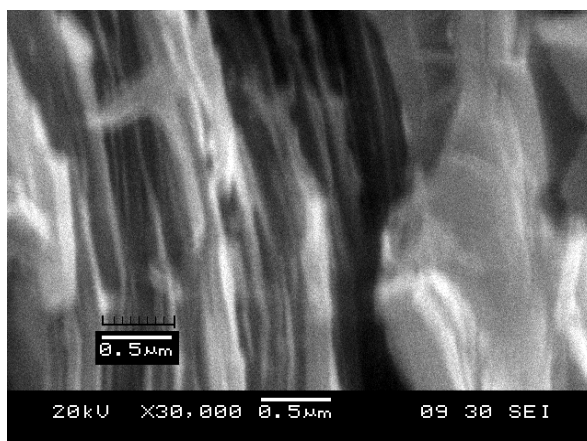


Рис. 1. Измерение толщины пакета листочков ТРГ, прослоенных пековым коксом

Для вычисления средней толщины листочков ТРГ использовали формулу:

$$H_{\text{ЛТРГ}} = \frac{H_{\text{слоя}} d_{\text{к}} \gamma}{d_{\text{кТРГ}} \eta},$$

где: $H_{\text{ЛТРГ}}$ и $H_{\text{слоя}}$ - толщина листочков ТРГ и слоя пека и листочка, $d_{\text{к}}$ и $d_{\text{кТРГ}}$ - удельные веса фаз, $\eta = \eta_{\text{ок}} \times \eta_{\text{обж}}$, где $\eta_{\text{ок}}$ и $\eta_{\text{обж}}$ - выхода при окислительной и термической обработке шихты, γ - доля ТРГ в шихте. Толщина листочков ТРГ в образце составила 4,7 нм при погрешности менее 0,5%.

1. Дмитриев А.В. ХТТ. 2013. Т. 47. № 6. С. 54.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ ИЗ МОНОСЛОЙНОГО И МУЛЬТИСЛОЙНОГО CVD ГРАФЕНА

Я.Б. Волкова^{1,2}, М.А. Князев¹, В.Н. Матвеев¹, В.Т. Волков¹, О.В. Кононенко¹

¹*Институт проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов, РАН
VolkovaYB@gmail.com; oleg@iptm.ru*

²*Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС",
кафедра «Материаловедения полупроводников и диэлектриков»,
«Институт новых материалов и нанотехнологий»*

Графен, из-за своих уникальных электрических характеристик [1], является одним из наиболее перспективных материалов для создания новых приборов наноэлектроники. На основе графена уже реализованы такие приборы как транзистор, резонансно-туннельный диод, элемент памяти с замороженной фотопроводимостью, диод Шоттки с управляемым барьером. Характеристики полученных структур пока далеки от желаемых, но далеко не все возможности их улучшения исчерпаны.

В настоящее время CVD метод имеет хорошие перспективы для разработки на его основе технологии синтеза графена приборного качества на большой площади. Такие технологии могут быть интегрированы с технологиями микро- и наноэлектроники.

В данной работе графен, синтезированный методом однократного напуска ацетилен на пленках никеля [2], был перенесен на чипы из оксидированного кремния. Пленки графена на чипах были исследованы методом картирования в рамановском микроскопе SENTERRA фирмы Bruker с длиной волны возбуждающего лазера 488 нм. Транзисторные структуры были сформированы в выбранных областях чипа с помощью электронной литографии и травления в кислородной плазме. Толщина графена в канале сформированных транзисторов была равна одному или нескольким монослоям. Подложка низкоомного кремния служила затвором транзисторов.

Характеристики транзисторов были измерены с помощью источников-измерителей Keithley 2635 и Keithley 2400.

1. Novoselov K. S., Geim A. K., Morozov S. V., Jiang D., Katsnelson M. I., Grigorieva I. V., Dubonos S. V., Firsov A. A. // Nature. 2005. V.438. P.197
2. Kononenko O.V., Matveev V.N., Field D.P., Matveev D.V., Bozhko S.I., Roshchupkin D.V., Vdovin E.E., Baranov A.N. // NANOSYSTEMS: PHYSICS, CHEMISTRY, MATHEMATICS. 2014. V.5 (1). P. 117.

О РОЛИ ГРАФЕНОПОДОБНОГО УГЛЕРОДА В СТРУКТУРООБРАЗОВАНИИ ОКСИДОКЕРАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НА СИЛУМИНАХ

П.А. Витязь, А.И. Комаров, В.И. Комарова, П.С. Золотая

*Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск, Беларусь
komarova@inmash.bas-net.by*

Разработаны физико-химические принципы повышения эффективности процесса микродугового оксидирования (МДО) путем разработки методологии введения в силикатно-щелочные электролиты (СЩЭ) графеноподобного углерода (ГУ). ГУ представляет собой криорасширенный графит (рис. 1, *а*), полученный в НТЦ по материаловедению НАН Беларуси в результате обработки в растворе аммиака с натрием.

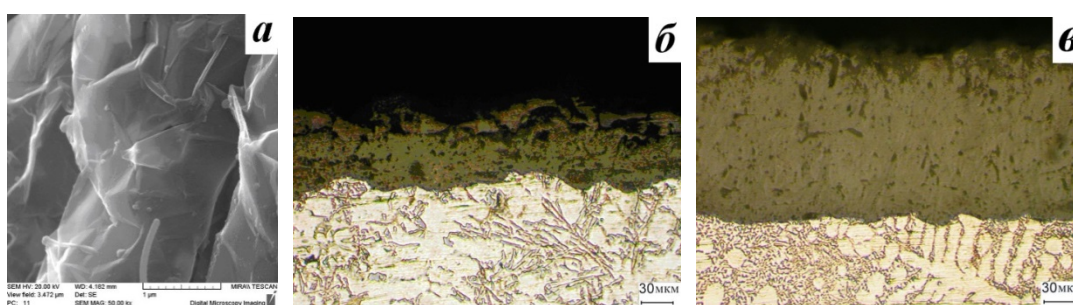


Рис. 1. Морфология ГУ (*а*), структура покрытия без добавки ГУ (*б*) и с добавкой (750 мг/л) (*в*)

На рис. 1, *б*, *в* приведены сравнительные данные по структуре керамических покрытий (КП), полученных на поверхности эвтектического силумина АК12М2МгН без добавок и с добавкой ГУ в СЩЭ с концентрацией $C = 750$ мг/л. Видно, что участие ШУ в МДО-процессе интенсифицирует его, что следует из увеличения толщины КП в ~ 3 раза (с 60 до 170 мкм). Подобный результат получен ранее при модифицировании КП наноалмазами детонационного синтеза [1] и нанокремнеземом, синтезированным электролитическим методом [2]. Установлено, что состав покрытия в обоих случаях представлен оксидами $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (корунд), $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, $\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$ (муллит). Показано, что модифицирование покрытия графеноподобным углеродом приводит к увеличению в составе КП корунда в 7–12 раз и, как следствие, обеспечивает достижение уровня микротвердости H_c покрытия, равного 14 ГПа, что в 1,8 раза превышает значения этой величины для покрытия, полученного в традиционных электролитах.

1. Витязь П.А., Жорник В.И., Ильющенко А.Ф., Сенюк В.Т., Комаров А.И. и др. Наноалмазы детонационного синтеза: получение и применение. Минск: Белорусская наука, 2013, 381 с.
2. Витязь П.А., Комаров А.И., Комарова В.И. Роль нанокремнезема в формировании структуры и свойств микродуговых керамических покрытий на сплавах алюминия // Доклады Национальной академии наук Беларуси. 2013, № 5, с. 96–101.

11 СЕНТЯБРЯ

ГИБРИДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОЧАСТИЦ

ИННОВАЦИИ В СКАНИРУЮЩЕЙ ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ И ИССЛЕДОВАНИЕ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В.А. Быков

ФГУП НИИ Физических проблем им. Ф.В.Лукина, Зеленоград, Москва, Россия

Группа компаний НТ-МДТ, Зеленоград, Москва, Россия

Кафедра микроэлектроники ФФКЭ МФТИ

Нанотехнологическое общество России, Зеленоград, Москва, Россия

vbykov@ntmdt.ru

К настоящему времени сканирующая зондовая микроскопия вошла в состав классических методов исследования морфологии и физико-химических свойств наноматериалов и наноструктур. Тем не менее, до сегодняшнего дня СЗМ относится к числу эксклюзивных методов, требующих для получения данных и их интерпретации специальных знаний и навыков, что сдерживает широкое распространение метода.

Начиная с 1972 года (СЗМ Topografiner Рассела Янга) зондовая микроскопия прошла целый ряд инновационных этапов – достижение атомного разрешения, изготовление атомно-силового микроскопа, использование микромеханических АСМ датчиков и оптической системы регистрации, внедрение резонансных методов АСМ. Развитие электронной элементной базы дало возможность применить нерезонансные прерывисто-контактные методы с непрерывным анализом силовых кривых в процессе сканирования. В частности, т.н. Hybrid™ метод АСМ компании НТ-МДТ позволяет одновременно с морфологией поверхности регистрировать механические, электрические и др. свойства.

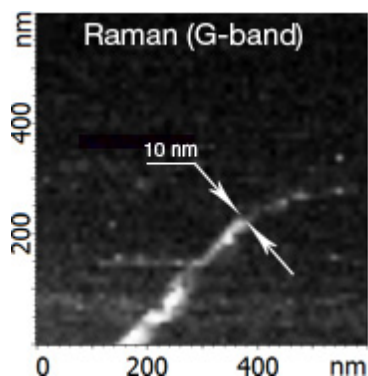


Рис.1. TERS изображение углеродных нанотрубок на поверхности золота

Мощное развитие получили комбайны СЗМ и оптических (в т.ч. КР и ИК) спектрометров, разработки которых были начаты НТ-МДТ (совместно с Токио-инструментс) в 1998 году. Они позволяют проводить высокоразрешающие АСМ измерения свойств поверхностных структур одновременно с получением информации об их химическом составе. Использование концентрации света на кончике АСМ зонда за счет плазмонного резонанса (TERS метод) дало принципиальную возможность регистрации Рамановского рассеяния от единичных молекул.

Последовательное инновационное развитие сканирующих зондовых микроскопов позволило перепозиционировать эти приборы, существенно снизить требования к пользователям от энтузиастов метода, до специалистов в зондовой микроскопии. В настоящее время приборами последних разработок группы компаний НТ-МДТ с успехом могут пользоваться лаборанты и инженеры для контроля технологических процессов, а также специалисты-материаловеды для получения хорошо интерпретируемой информации о физических и физико-химических особенностях объекта.

**РЕНЕССАНС НИЗКОРАЗМЕРНЫХ НЕОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ:
ОТ ГРАФЕНА К ДРУГИМ СЛОИСТЫМ СТРУКТУРАМ**

С.Б. Артемкина^{1,2}, М.Н. Козлова^{1,2}, П.А. Полтарак^{1,2}, А.Ю. Леднева¹,
Ю.В. Миронов¹, Е.Д. Грайфер¹, В.Е. Федоров^{1,2}

¹*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия*
fed@niic.nsc.ru

²*Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия*

Разработка новых устройств для твердотельной микро- и наноэлектроники во многом зависит от технологического уровня производства различных слоистых структур с толщиной от нескольких нанометров до десятков микрометров. Подобные слоистые структуры применяются в акустических, микроволновых, оптоэлектронных приборах и в других областях. Зачастую важнейшие функциональные свойства материалов сильно зависят от их размеров и структурных особенностей. Так, например, было обнаружено, что графен, лист углерода толщиной в один атом, обладает уникальными свойствами по сравнению с графитом - объемным трехмерным материалом.

С открытием графена возросло внимание к другим родственным слоистым материалам - гексагональному нитриду бора h-BN, халькогенидам висмута Bi_2Q_3 , дихалькогенидам переходных металлов MQ_2 ($\text{M} = \text{Ti}, \text{Zr}, \text{Nb}, \text{Ta}, \text{Mo}, \text{W}$, $\text{Q} = \text{S}, \text{Se}, \text{Te}$), сложным оксидам типа $\text{M}'_x\text{MO}_2$ и другим соединениям со слоистой структурой. Хотя многие из этих соединений были тщательно изучены ранее, сегодня интерес к подобным слоистым системам обусловлен общим интересом к наноматериалам и нанотехнологиям: замечательные электронные, механические, тепловые, химические свойства слоистых материалов теперь исследуются на наноструктурированных образцах с целью их использования в качестве фотокатализаторов, оптоэлектронных датчиков, электродных материалов химических источников тока (батарей и аккумуляторов, в том числе преобразователей солнечной энергии), твердых смазочных материалов и т.д.

В данном сообщении рассматриваются литературные данные и собственные экспериментальные результаты по кристаллической и электронной структуре и свойствам важнейших представителей неорганических слоистых материалов, включая последние достижения в получении тонких пленок из коллоидных дисперсий высокорасщепленных слоистых структур.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 14-13-00674).

МЕТОДЫ TERS ("НАНО-РАМАН") И ИНФРАКРАСНОЙ МИКРОСКОПИИ ВЫСОКОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ ДЛЯ ХАРАКТЕРИЗАЦИИ УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ

П.С. Дорожкин¹, А.В. Шелаев¹, Д.В. Казанцев², С.В. Тимофеев¹,
И.Г. Арьков¹, В.А. Быков¹

¹ИТ-МДТ, Москва, Зеленоград, Россия

²Институт теоретической и экспериментальной физики, Москва, Россия

В последнее время, интенсивно развиваются экспериментальные методики и инструментальные решения, интегрирующие сканирующую зондовую микроскопию с различными методами оптической микроскопии и спектроскопии.

Использование зонда сканирующего зондового микроскопа в качестве оптической наноантенны (устройства, трансформирующего свободно распространяющуюся электромагнитную волну в локализованную в нанометровой области состояния и обратно) позволяет получать оптические карты / изображения объектов с разрешением вплоть до 10 нм – более чем 25 раз выше, чем дифракционный предел.

В работе будет дан обзор методик Tip Enhanced Raman Scattering (TERS / нано-Раман / гигантское комбинационное рассеяние на кончике зонда) и nano-IR imaging (нано-ИК / инфракрасная микроскопия и спектроскопия нанометрового пространственного разрешения). Будут продемонстрированы нано-Раман и нано-ИК изображения различных углеродных наноматериалов с субдифракционным пространственным разрешением.

Также будут продемонстрированы результаты комплексных физико-химических исследований свойств графена и других углеродных материалов методами зондовой микроскопии совмещенной с методиками классической (дифракционно ограниченной) оптической микро- и спектроскопии.

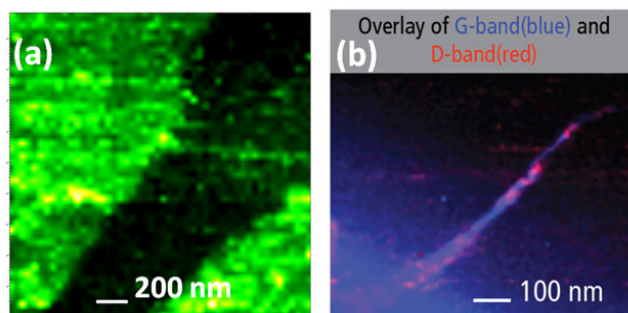


Рис. 1. КР (Раман) карты, полученные методом Tip Enhanced Raman Scattering. Пространственное разрешение изображений ~10-30 нм. (а) Оксид графена, (б) углеродные нанотрубки

STRUCTURE OF REAL CATALYTIC CVD MWCNTS

V.L. Kuznetsov^{1,2,3}, D.V. Krasnikov^{1,2}, M.A. Kazakova^{1,2}, S.I. Moseenkov¹,
A.I. Romanenko⁴, E.N. Tkachev⁴, E.D. Obraztsova⁵, S.N. Bokova-Sirosh⁵

¹*Boreskov Institute of Catalysis, SB RAS, Novosibirsk, Russia*

²*Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia*

³*National Tomsk State University, Tomsk, Russia*

⁴*Nikolaev Institute of Inorganic Chemistry, SB RAS, Novosibirsk, Russia*

⁵*Prokhorov General Physics Institute, RAS, Moscow, Russia*

The correlation of carbon nanotube properties with their bulk or surface structures remains one of the most important topics of research. In this paper we discuss the results of comparative study of MWCNT with variable mean diameters produced using different type of catalysts and post synthetic high temperature treatments. MWCNTs were characterized using HR TEM, Raman spectroscopy, measurements of temperature dependence of conductivity $\sigma(T)$, magnetoresistance $\sigma(B)$ and mechanical properties. The discussion is carried out considering curved graphene fragments as building blocks of carbon nanotubes. So, the size of graphene fragments may be considered as one of the most important characteristics of nanotube structural disorder. A ratio of intensities of 2D and D bands demonstrates almost a linear dependence on the mean diameter of MWCNTs produced with two different types of catalysts. It should be mentioned that each type of catalyst provides the linear dependence with its own specific slope. According to our results, the average size of graphene fragments for two types of MWCNTs produced with different catalysts increases with MWCNT diameter. The decrease of graphene fragment size in MWCNTs of smaller diameter estimated by Raman technique correlates with the decrease of electron coherence length estimated from electrophysical data. However the conclusions based on Raman data and measurements of $\sigma(T)$ and $\sigma(B)$ contradict with observations of the elastic modulus increase of MWCNTs with the decrease of their diameters. To explain this contradiction we propose that graphene fragments in MWCNT walls form the mosaic graphene sheets with the different orientation of single graphene fragments and grain boundaries containing covalent C–C bonds. Mechanism of the formation of mosaic structure of MWCNT walls was proposed.

ПОЛУЧЕНИЕ АЗОТСОДЕРЖАЩИХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОВОЛОКОН И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В КАЧЕСТВЕ НОСИТЕЛЯ КАТАЛИЗАТОРОВ

О.Ю. Подьячева¹, Д.А. Булушев¹, А.Н. Шмаков¹, А.И. Боронин¹, А.С. Лисицын¹,
О.А. Стонкус¹, Ю.А. Чесалов¹, А.И. Романенко², З.Р. Исмагилов^{1,3}

¹*Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, Новосибирск, Россия*

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

³*Институт углехимии и химического материаловедения СО РАН, Кемерово, Россия*
pod@catalysis.ru

Углеродные нановолокна (УНВ) являются перспективными материалами для использования в качестве компонентов наноэлектроники, композитных наполнителей, сорбентов для хранения газов, носителей катализаторов и т.д. [1]. Введение атомов азота в состав УНВ (N-УНВ) приводит к появлению адсорбционных центров на поверхности углеродных нановолокон, изменяет электропроводящие свойства УНВ и, соответственно, позволяет конструировать новые функциональные материалы различного назначения [2, 3].

В работе изучены закономерности формирования N-УНВ на Ni, Ni-Cu, Fe, Fe-Co, Fe-Ni катализаторах при разложении смесей углеводородов с аммиаком. Исследовано влияние условий процесса (состав катализатора, состав смеси, температура, продолжительность реакции) на выход N-УНВ, морфологию, текстуру и содержание азота (до 8 вес. %) в углеродных нановолокнах. Показано, что максимальный выход N-УНВ (70 гС/г кат-ра) наблюдается при использовании катализатора 65%Ni-25%Cu-10%Al₂O₃. Предложен механизм каталитического роста N-УНВ при разложении этилен-аммиачной смеси с использованием РФА на синхротронном излучении *in situ*. Установлено, что азот в N-УНВ находится в пиридиноподобном, пиррольном и графитоподобном состояниях, при этом условия синтеза определяют соотношение различных азотных форм. Найдено, что введение азота в УНВ приводит к формированию стабильной дефектной структуры и сопровождается уменьшением электрической проводимости N-УНВ.

Перспективность использования N-УНВ в качестве носителя продемонстрирована на примере Pt/N-УНВ катализатора. С помощью методов ПЭМ и РФЭС в 1%Pt/7.5%N-УНВ установлено формирование субнанометровых электрон-дефицитных кластеров платины, проявляющих высокую активность в реакции разложения муравьиной кислоты и инертность в отношении адсорбции СО по сравнению с платиной, нанесенной на УНВ. Предложена модель стабилизации этих кластеров пиридиноподобными азотными центрами, находящимися на торцах графитовых слоев рядом с углеродной вакансией.

1. K.P. De Jong, Geus J.W. // Catal. Rev. – Sci. Eng. 2000. V. 42. P. 481.
2. Ewels C.P., Glerup M. J. // Nanosci. Nanotech. 2005. V. 5. P. 1345.
3. Podyacheva O.Yu., Ismagilov Z.R. // Catal. Today. doi.org/10.1016/j.cattod.2014.10.033.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ САМОРАЗЛОЖЕНИЯ ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА НА ПОВЕРХНОСТИ ДИСПЕРСНОГО УГЛЕРОДА

Г.И. Раздьяконова^{1,2}, О.А. Кохановская¹, В.А. Лихолобов^{1,2}

¹*Институт проблем переработки углеводов СО РАН, Омск, Россия*
rgi@ihcp.ru

²*Омский государственный технический университет, Омск, Россия*

Технический углерод используется как наполнитель полимеров и электродных масс, как пигмент, адсорбент и катализатор. Его синтез протекает при температуре выше 1000 °С, что исключает функционализацию его поверхности термодинамически неустойчивыми кислородсодержащими функциональными группами, особенно карбоксильными и лактонными [1].

Наиболее перспективными его окислителями до температуры 300 °С являются вещества, генерирующие активные формы кислорода: перекись водорода, озон и кислород синглетной модификации [2,3].

Изучено воздействие всех названных реагентов на технический углерод марки N121 и совместное воздействие водного раствора пероксида водорода с газообразными соагентами на функциональный состав и рН технического углерода марки N121. Определено снижение энергии активации реакции саморазложения пероксида водорода в присутствии технического углерода с 87, 2 кДж/моль до 63,8 кДж/моль. Выявлено существенное ускорение снижения рН водной суспензии технического углерода в 2 раза при окислении пероксидом водорода с соагентами, особенно с синглетным кислородом. Методом дифференциального титрования [4] и пирогазовой хроматографии установлено присутствие наиболее сильных карбоксильных групп (рКа~2-3) при использовании соагентом синглетного кислорода.

1. Раздьяконова Г.И. Получение и свойства дисперсного углерода: монография/ Минобрнауки России, ОмГТУ; ИППУ СО РАН.- Омск: Изд-во ОмГТУ, 2014.-236 с.
2. Valdes H., Sanchez-Polo M., Rivera-Utrilla J., Zaror C.A. / *Langmuir*. 2002. №18. P. 2111
3. Новиков А.Н., Маратканова Е.А., Раздьяконова Г.И., Дикина К.В., Novikova A. O. / *Динамика систем, механизмов и машин*. 2014. № 3. С. 315.
4. Новиков А.Н., Маратканова Е.А., Раздьяконова Г.И., М.С.Рybakin // *Динамика систем, механизмов и машин*. 2014. № 3. С. 312.
5. Gorgulho H. F, Mesquita J. P, Gonc F, Pereira M. F. R, Figueiredo J. L. / *Carbon* 2008. V. 46 .№12. P. 1544.

РОСТ АТОМНО-ГЛАДКИХ СЛОЕВ ИЗ УГЛЕРОДНОГО ПАРА ПО МЕХАНИЗМУ ПАР–ЖИДКОСТЬ–КРИСТАЛЛ

А.Ю. Башарин

Объединенный институт высоких температур РАН, Москва, Россия
abasharin@bk.ru

Жидкий углерод является экзотическим состоянием конденсированного углерода. Микрограммы этого вещества получают в уникальных экспериментах [1]. Пар над жидким углеродом с давлением выше тройной точки углерода $p_0 = 10.7$ МПа [1] конденсируется по механизму пар-жидкость-графит (ПЖГ), а пар над графитом с $p < p_0$, по механизму пар-графит (ПГ). Исследование различия этих механизмов важно для понимания наиболее общих закономерностей роста графита и графена из углеродного пара. Было проведено АСМ исследование морфологии вицинальных холмиков, выросших из обратного потока пара на поверхности НОРГ по слоисто-спиральному механизму с зарождением роста на винтовых дислокациях в результате нагрева НОРГ импульсом лазера в изобарных условиях. Сравнивались холмики, см. рис. 1, сформировавшиеся при двух значениях давления гелия $p_1 = 11.2$ МПа и $p_2 = 9$ МПа, выше и ниже p_0 при прочих одинаковых условиях. При кипении жидкого углерода давление гелия в точности соответствует давлению углеродного пара. При p_1 террасы вицинальных холмиков были атомно-гладкими, поскольку их торцы смочены жидким углеродом, а при p_2 шерохо ватыми и покрытыми сетью вторичных вицинальных холмиков. Согласно Чернову А. А. винтовые дислокации, необходимые для зарождения вторичных вициналей, возникают из-за несмыкания встречных слоев при обрастании твердой частицы, сконденсированной на террасе из пара, ростовым фронтом не смоченным жидкостью.

Проведенное исследование показывает новый путь роста бездефектных графита и графена по ПЖГ механизму.

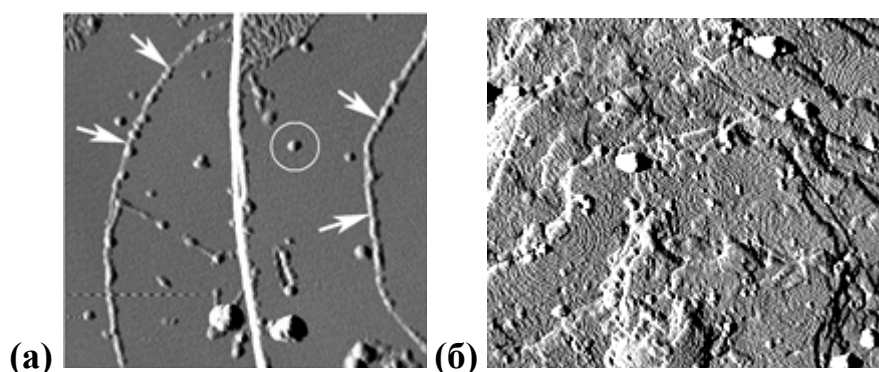


Рис. 1. АСМ изображение фрагментов размером 600×600 нм² вицинальных холмиков роста на поверхности грани (001) НОРГ:

а – с затвердевшей каплей (выделена окружностью) на атомно-гладкой террасе и ступенями, на которых видны затвердевшие капли (показаны стрелками), при давлении гелия $p_1 = 11.2$ МПа;
б – с террасами, растущими посредством вторичных винтовых дислокаций, при давлении $p_2 = 9$ МПа

СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ 1

ПОДБОР УСЛОВИЙ СИНТЕЗА ОКСИДА ГРАФЕНА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ ТУШИТЕЛЯ В БИОСЕНСОРНЫХ СИСТЕМАХ

А.Н. Капитонов, Г.Н. Александров, Ф.Д. Васильева, С.А. Смагулова,
В.Б. Тимофеев, Н.Р. Максимова, А.А Кузнецов

Северо-Восточный федеральный университет, Якутск, Россия
gn.aleksandrov@s-vfu.ru

Исследования последних лет показывают, что оксид графена (ОГ) обладает свойством тушителя флуоресценции и поэтому является ключевым элементом флуоресцентных тест-систем для ДНК-диагностики мутаций на основе методов полимеразной цепной реакции. В этой связи актуальным является вопрос рассмотрения влияния условий синтеза суспензий ОГ на его структуру и свойства для разработки наиболее эффективных биосенсорных тест-систем.

Получение ОГ суспензии проводилось модифицированным методом Хаммерса из графита фирмы Sigma Aldrich. Изменение свойств суспензий ОГ осуществлялось с помощью температуры окисления графита, количества окислителя, времени перемешивания реакционной смеси и количества деионизованной воды при промывании ОГ на фильтре. Концентрация ОГ в суспензиях менялась в пределах $0,66 \div 4,34$ мг/мл. Суспензии ОГ не проявляли признаков седиментации не менее 6 недель, толщина наноллистов с латеральными размерами $0,4 \div 5,7$ мкм была в пределах $1,5 \div 13$ нм.

Исследование образцов пленок ОГ методом ИК-Фурье спектроскопии показало наличие эпоксидных, гидроксильных, карбоксильных кислородных групп на поверхности нанопластин ОГ, интенсивности поглощения которых менялись при изменениях параметров синтеза суспензий, что позволяло подбирать наиболее эффективную биосенсорную тест-систему.

Полученные суспензии ОГ были протестированы в Учебно-научной лаборатории Геномной медицины Клиники Медицинского Института СВФУ. Удельные степени тушения флуоресценции у разных образцов синтезированных суспензий ОГ менялись в пределах от 0,061 до 1,116 мг ОГ/нмоль фДНК. Наилучшая тушащая флуоресценцию способность, равная 0,061 мг ОГ/нмоль фДНК, была получена у ОГ, синтезированного при температуре окисления 75 °С.

Этот результат находится на уровне литературных данных [1] и даже превосходит.

1. He S. A Graphene Nanoprobe for Rapid, Sensitive, and Multicolor Fluorescent DNA Analysis / S. He, B. Song, D. Li [et al.] // Adv. Funct. Mater. - 2012. - Vol. 20. - P. 453–459.

РАСЧЁТ ФАСЕТИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ КАРБИДА КРЕМНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО ГРАФЕНА С НЕНУЛЕВОЙ ЗАПРЕЩЁННОЙ ЗОНОЙ

Н.И. Алексеев, В.В. Лучинин.

С.-Петербургский Электротехнический Университет «ЛЭТИ», С.-Петербург, Россия
NIAlexseyev@yandex.ru

Проблема создания в графене (Gr) запрещённой зоны ΔE_g до сих пор качественно не решена. Ни один из способов создания ΔE_g – графеновые наноленты, растянутый графен, химическая функционализация не являются достаточно эффективными для промышленного производства устройств цифровой электроники на основе графена.

Мы рассматриваем фасетированные поверхности карбида кремния SiC в качестве источника графена. Такие поверхности реально формируются при химическом травлении вицинальных граней SiC. Система ступеней, которая при этом формируется, зависит от технологии приготовления поверхности и должна определяться самосогласованно. Тем не менее, мы изначально формулируем задачу расчёта зонной структуры поверхности, заданной произвольно.

Такой подход позволяет подгонять схему эксперимента под положительный результат расчета, а не расчет – под технологические детали.

Аппаратом аналитического подхода к задаче был выбран метод функций Грина в узельном (нодальном) представлении, когда ищутся матричные элементы гриновских функций в обкладках функций Ванье.

Мы рассматривали два типа фасетированных поверхностей – с резкими и плавными изломами при переходе от одной плоскости фасетирования к соседней с ней.

В первом случае искажение структуры плоского графена целиком сосредоточено в пределах одного ряда ячеек. Во втором случае искажение на сгибе меняется плавно, так, что кривизна огибающей поверхности SiC имеет порядок длины ван-дер-ваальсовой связи.

Результат моделирования в первом случае предсказуем. При малом периоде фасетирования ΔE_g может быть сделана большой, однако реализовать такой период на практике столь же сложно, как и сделать узкую графеновую наноленту. В частности, даже при идеальной периодичности могут существовать «периоды просветления» структуры», когда $\Delta E_g=0$ даже при малой длине периода.

Напротив, задача создания плавных переходов коррелирует на практике с задачей обеспечения достаточно длинного и совершенного периода (не квазипериода) фасетированной структуры. Расчёт показывает, что при достаточно большой длине дуги закругления $\Delta E_g=0$ и достаточно велика независимо от длины периода.

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУР
НА ОСНОВЕ ДИХАЛЬКОГЕНИДОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ**

Л.Ю. Антипина^{1,2}, П.Б. Сорокин^{1,2}, Л.А. Чернозатонский¹

¹*ИБХФ РАН, Москва, Россия*

²*ФГБНУ ТИСНУМ, Москва, Россия*

Проведено исследование электронных свойств структур на основе соединения листов дихалькогенидов переходных металлов WS₂/MoS₂ с числом слоёв до 5. Такое соединение возможно из-за близости атомных параметров WS₂ и MoS₂ (различие в параметрах решётки менее 1). Рассмотрена эволюция электронной структуры при увеличении числа слоев. Только монослой имеют прямую запрещенную зону, более толстые плёнки имеют спектр, близкий к спектру монокристалла в непрямой запрещенной зоной. Эффект перехода «прямая-непрямая запрещенная зона» связан с размерным эффектом, влияющим на положение валентной зоны в Г- и К- точках структуры. Также с увеличением толщины гетероструктуры ширина зон в её электронном спектре увеличивается за счёт появления новых состояний связанных с дополнительными слоями WS₂ или MoS₂ - ширина непрямой запрещённой зоны при этом уменьшается.

Работа выполнена при поддержке РФФ (Проект № 14-12-01217).

**ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСЕЙ НА ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА
ОДНОСЛОЙНОГО MoS_2 : ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ**

Л.Ю. Антипина^{1,2}, П.Б. Сорокин^{1,2}, Л.А. Чернозатонский¹

¹*ИБХФ РАН, Москва, Россия*

²*ФГБНУ ТИСНУМ, Москва, Россия*

Методом DFT-PBE были изучены структура и электронные свойства монослоя MoS_2 с замещением атомов молибдена на никель состава $\text{Mo}_x\text{Ni}_{(1-x)}\text{S}_2$ ($1 \geq x \geq 0$). Показано, что введение даже небольшого количества атомов Ni в ячейку MoS_2 существенно изменяет электронную структуру плёнки – атомы никеля создают минизону в запрещённой зоне MoS_2 ; ширина минизоны увеличивается с увеличением концентрации Ni, стремясь к металлическому состоянию структуры плёнки NiS_2 . Из-за разницы электронных оболочек никеля и молибдена при введении примеси в системе возникает избыток электронов по сравнению с чистым MoS_2 , которые и обеспечивают проводимость системы. Таким образом, изменяя концентрацию примесных атомов в структуре дихалькогенидов переходных металлов можно изменять их электронные свойства с металлических до диэлектрических.

Работа выполнена при поддержке РНФ (Проект № 14-12-01217).

ДЫРОЧНОЕ ДОПИРОВАНИЕ ГРАФЕНА СЛОЯМИ ВОДЫ

Л.Ю. Антипина^{1,2,3}, П.Б. Сорокин^{1,2,3}¹Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва, Россия²Московский физико-технологический институт, Москва, Россия³Технологический институт сверхтвердых и новых углеродных материалов,
Троицк, Россия

lyuantipina@tisnum.ru

Мы изучили электронные свойства графеновых слоев на диэлектрической гидрофильной подложке $\text{CaF}_2(111)$, разделенных несколькими слоями воды (HL) методом MD-DFT-PBE. Мы получили перераспределение заряда, возникающего из-за взаимодействия между HL и графеном. Наши теоретические результаты были сопоставлены с экспериментальными, полученными методами топографии и KPFM для HL разной толщины. Наши наблюдения показывают, передача заряда между HL и графеном изменяет его электронные свойства. 2-3 верхних HL, прилегающих к графену, ответственны за дырочное легирование графена, в то время как остальные слои слабо влияют на его электронные свойства (рис. 1). Данное исследование было выполнено на определенной подложке,

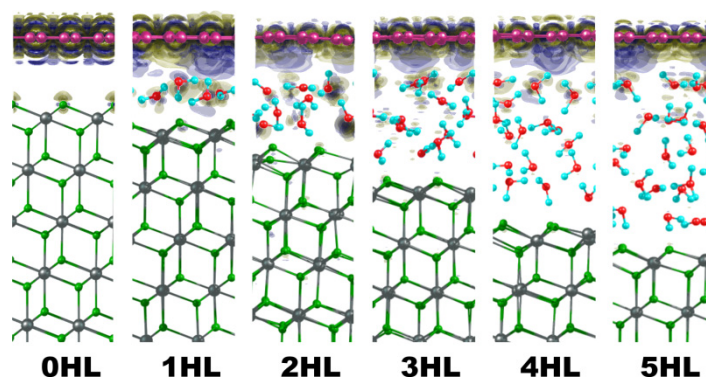


Рис. 1. Распределение электронной плотности в интерфейсе графен- $\text{CaF}_2(111)$ с n количеством слоев воды. Положительная и отрицательная электронная плотность обозначены синим и желтым цветами, соответственно. Атомы углерода, кислорода, водорода, кальция и фтора отмечены фиолетовым, красным, голубым, серым и зеленым цветами, соответственно

а именно $\text{CaF}_2(111)$, однако результаты могут быть обобщены и на другие системы с водой, так как гидрофильная подложка не участвует в электронном переносе. Управляемый механизм подобного допирования, например, путем создание специфических гидрофобных/гидрофильных структур подложки, может быть использован для применения графена в различных электронных устройствах.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕНОСА НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В ГРАФЕНОВОЙ НАНОЛЕНТЕ НА ОСНОВЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО КВАНТОМЕХАНИЧЕСКОГО ПОДХОДА

В.Р. Стемпицкий¹, А.Т. Багманов², О.А. Козлова³

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,

Минск, Беларусь

¹vstem@bsuir.by

²andreytbagmanov@yandex.ru

³olga.bsuir@gmail.com

Ключевым свойством графена, делающим этот материал привлекательным, является его высокая электропроводность. Оценить перспективы использования графена и структур на его основе в качестве конструктивных элементов электронных устройств не представляются возможным без проведения детального анализа их фундаментальных физических характеристик и свойств на основе компьютерного моделирования с использованием квантово-механических методов. В то же время, существующие подходы к описанию механизмов электропроводности как правило являются стационарными. Это связано как со стремлением избавиться от временной зависимости в моделях путём перехода к стационарному уравнению Шрёдингера, так и со сложностью численного анализа нестационарных моделей.

Посредством моделирования движения квантовых волновых пакетов в периодическом внешнем потенциале, соответствующем квазидвумерной гексагональной кристаллической решётке, оценивается влияние внешних постоянных и короткопериодических полей на параметры электропроводности графеновой наноленты. В качестве входных данных для описания внешнего потенциала используются результаты моделирования энергетической диаграммы графенового листа в программе ABINIT.

При детальном квантово-механическом описании электропроводность должна пониматься как процесс. Одной из проблем моделирования этого процесса является необходимость решения многочастичной задачи, которую можно лишь приближённо свести к решению одночастичной. Рассмотрена возможность перехода к решению одночастичной задачи с последующим применением статистического описания в условиях низкой концентрации свободных носителей.

Таким образом, возможность расчета параметров проводимости графеновой наноструктуры, в том числе, определения механизмов влияния геометрических параметров (ширины и краевого профиля) узкой графеновой наноленты может быть обеспечена посредством решения двумерной нестационарной задачи описания движения волновых пакетов во внешнем периодическом потенциале на основе уравнения Шрёдингера и исследования операторных средних полученных реализаций волновых функций, Фурье-спектров средней координаты и импульса.

РОСТ ГИБРИДНЫХ ЛЕНТ ИЗ ЖИДКОГО УГЛЕРОДА

А.Ю. Башарин, В.С. Дождиков

Объединенный институт высоких температур РАН, Москва, Россия

abasharin@bk.ru

По нашим молекулярно-динамическим данным жидкий углерод (ж-С) при давлении $p=1$ ГПа состоит из 51% атомов углерода с sp гибридизацией, 45% с sp^2 и 4% с sp^3 . Этот состав сохраняется и при закалке ж-С в аморфную фазу. С уменьшением p доля sp атомов в а-С непрерывно растет. Изучение механизмов структурообразования при закалке ж-С дает важную информацию для понимания общих закономерностей роста графита и графена из растворов. Предварительно выяснено, что локальное плавление массивного НОРГ вызывает рост исключительно графита, что определяется винтовыми дислокациями. Поэтому ж-С в настоящей работе получали плавлением импульсом лазера в алмазной форме измельченного НОРГ. $p=25$ МПа превышало давление в тройной точке углерода 10.7 МПа. Затвердевший углерод исследован методами ПЭМ ВР и рамановской спектроскопии. Получено, что слой закаленного углерода толщиной 2.5 мкм неоднороден. Вблизи поверхности алмаза присутствует аморфный углерод, чаоит и графитоподобные ленты, а на его внешней поверхности высокоупорядоченный графит. Ленты имеют гигантское по сравнению с графитом значение $d_{002} = 3.57 \text{ \AA}$, см. рис. 1, аморфные (а-С) и фуллереноподобные включения и sp^3 дефекты. Высокое содержание в аморфном углероде sp атомов и находка чаоита позволяют предположить, что отдельные графеновые плоскости в лентах сшиты цепочками sp атомов, входящих в а-С.

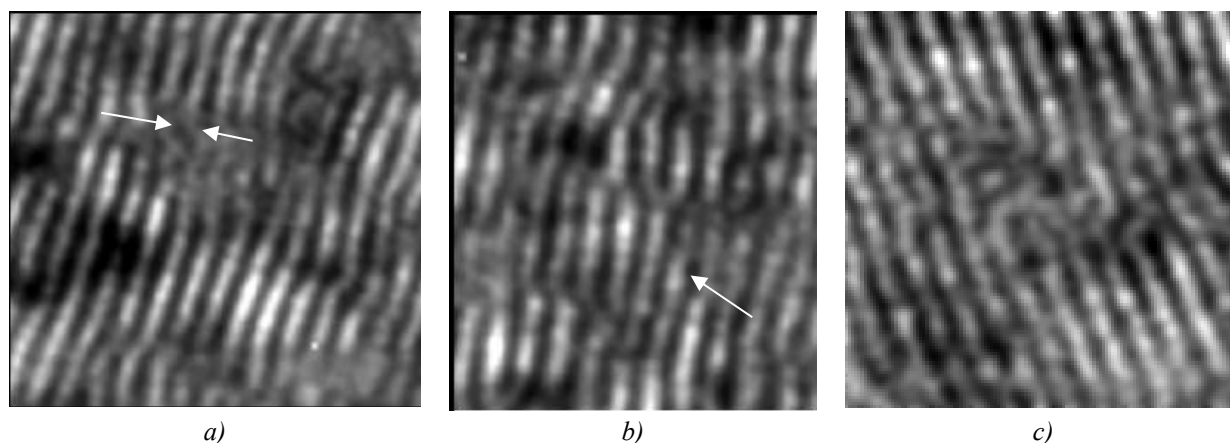


Рис. 1. Основные включения и дефекты в лентах по данным ПЭМ ВР:

а – аморфное включение, стрелками обозначено расстояние d_{002} ;

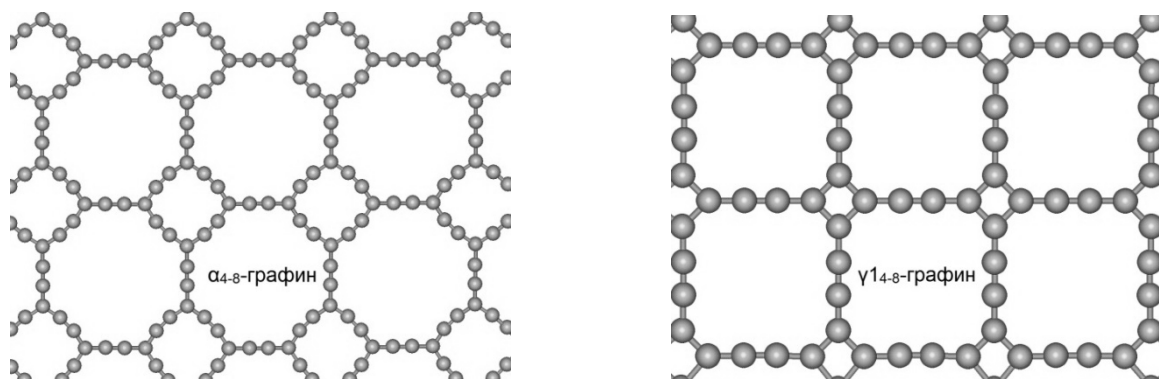
б – стрелка указывает на sp^3 дефект;

с – включение искаженного фуллерена

Таким образом, из ж-С можно получать графито- и графено- подобные ленты с наноточками и особыми дефектами. Это показывает перспективность жидкофазного метода закалки ж-С на алмазе, имеющем рекордную теплопроводность 2.3 кВт/см^3 , для получения чисто углеродных нанокомпозитов. Свойства таких материалов требуют дальнейшего исследования.

СТРУКТУРА $SP+SP^2$ СЛОЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ, ПОЛУЧАЮЩИХСЯ ИЗ ГРАФЕНОВЫХ СЛОЕВ L_{4-8} , L_{3-12} И L_{4-6-12} Т.Е. Беленкова¹, В.В. Мавринский², В.М. Чернов¹, Е.А. Беленков¹¹Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия²Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия
belenkova.te@gmail.com

Слоевые соединения углерода, состоящие из атомов в состояниях sp и sp^2 гибридизации, называемые графинами (graphyne) вызывают значительный интерес потому, что как показывают теоретические расчеты в их электронной структуре должны быть конусы Дирака [1,2]. Возможно существование семи основных структурных разновидностей графиновых слоев, модельно получаемых из слоев гексагонального графена L_6 [3]. В данной работе выполнен теоретический анализ и расчет структуры и электронных свойств основных структурных разновидностей графина, которые можно получить на основе графеновых слоев L_{4-8} , L_{3-12} и L_{4-6-12} .



Модельно слои графина могут быть получены в результате замены части или всех углерод-углеродных связей в графеновых слоях на фрагменты карбиновых цепочек полииновой структуры, содержащих четное число атомов [3]. Основные структурные разновидности α , β , и γ модификаций, получаются в результате замены трех, двух и одной связи у каждого атома на карбиновые цепочки соответственно. Теоретический анализ показал, что из графеновых слоев L_{4-8} , L_{3-12} и L_{4-6-12} могут быть получены ряд новых структурных разновидностей графина. Примеры изображений геометрически оптимизированной структуры двух новых графиновых слоев приведены на рисунке. Геометрическая оптимизация и расчет электронной структуры были выполнены методами теории функционала плотности в рамках градиентного приближения (DFT-GGA). В результате расчета электронных свойств установлено, что часть из новых разновидностей графина должны проявлять металлические свойства, а другие будут полупроводниками.

1. Kim B.G., Choi H.J. // Phys. Rev. B. 2012. V. 86. P. 115435.

2. Malko D., Neiss C., Vines F., Gorling A. // Phys. Rev. B. 2012. V. 86, P. 045443.

3. Беленков Е.А., Мавринский В.В., Беленкова Т.Е., Чернов В.М. // ЖЭТФ. 2015. Т. 147. № 4. С. 712.

РАСЧЁТ КВАНТОВО-РАЗМЕРНЫХ ЭФФЕКТОВ В НАНОУГЛЕРОДЕ

И.А. Денисов^{1,3}, А.А. Зимин^{1,2}, П.И. Белобров^{1,3}¹МОЛПИТ Сибирского федерального университета, Красноярск, Россия²Лаб. нелинейной оптики и спектроскопии СФУ, Красноярск, Россия³Институт физики им. Л.В. Киренского, Институт биофизики СО РАН,

Красноярск, Россия

denisov@molpit.org

Коллективные электронные состояния, несмотря на их важность, редко используются для описания электронной структуры диэлектриков. Природа не связанных с примесями неспаренных спинов, наблюдаемых экспериментально в наноалмазе, всё ещё обсуждается. Мы предлагаем описание их природы в терминах коллективных электронных состояний. Коллективные состояния исследованы точным решением одночастичного одномерного уравнения Шрёдингера в потенциале Кронига–Пенни и первопринципными расчетами волновых функций основных состояний для алмазоидов $C_{78}H_{64}$, $C_{123}H_{100}$ и $C_{211}H_{140}$ методом DFT R-B3LYP/6-31G(d, p). Найдены три различных класса: коллективные связывающие орбитали, соответствующие модулированным решениям для частицы в потенциальной яме; поверхностные несвязывающие проводящие состояния Тамма и подповерхностные связывающие состояния для неоднородно сжатого наноалмаза. Существование неспаренных спинов предположительно объясняется флуктуациями спиновой плотности, значительными для наноразмерных коллективных и протяженных подповерхностных состояний [1].

Результаты расчётов квантово-размерных эффектов позволяют объяснить ряд экспериментов в композитах наноалмаза с низкоразмерным пироуглеродом [2-5].

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда (проект № 15-19-10041).

1. I.A. Denisov, A.A. Zimin, L.A. Bursill, P.I. Belobrov. "J SibFU Math & Phys.", **7**, 35–45 (2014).
2. P.I. Belobrov, S.K. Gordeev, E.A. Petrakovskaya et al. "Doklady Physics", **46**, 459 (2001).
3. S.K. Gordeev, R.F. Konopleva, V.A. Chekanov et al. "Phys Solid State", **55**, 1480 (2013).
4. N.I. Kiselev, D.A. Velikanov, S.B. Korchagina et al. "Rus J Gen Chem", **83**, 2173 (2013).
5. S.P. Belyaev, S.K. Gordeev, V.A. Chekanov et al. "Phys Solid State", **56**, 152 (2014).

НИЗКОРАЗМЕРНЫЙ ПИРОУГЛЕРОД В КОМПОЗИТАХ С АЛМАЗОМ

П.И. Белобров^{1,2}, И.А. Денисов², А.А. Зимин³, С.К. Гордеев⁴

¹Институт физики им. Киренского и Институт биофизики СО РАН, Красноярск, Россия

²МОЛПИТ, Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

³Лаб. нелинейной оптики и спектроскопии СФУ, Красноярск, Россия

⁴ЦНИИ Материалов, Санкт-Петербург, Россия

peter.belobrov@gmail.com

Модели Китаева и 2D компасов [1] вместе с новой концепцией топологических материалов Андо [2] позволяют рассмотреть низкоразмерный пироуглерод в композитах с алмазными шарами ~ 5 нм (NDC). Расчеты коллективных электронных состояний Тамма и подповерхностных локализованных состояний в наноалмазах [3] вместе с представлениями о графеновых и графановых структурах размерностью от 1 до 2 позволили предложить модель 3D алмазного компаса (DC) в пироуглероде,

Результаты экспериментальных исследований NDC, особенно его поведение при облучении нейтронами, показывают, что пироуглерод (смесь графеновых и графановых чешуек) [4-7] образуют скелетон с фрактальной размерностью ~ 2 , в котором располагаются алмазные шары. NDC является чисто углеродным твердым магнитным полупроводником с пористой структурой. Его электропроводность, зонная структура, рентгеновская дифракция, КР, ИК и Оже спектры, XPS и другие свойства зависят от соотношения фаз sp^2/sp^3 . Модель DC позволяет обсуждать все экспериментальные данные, в частности, магнитные, оптические и транспортные свойства NDC. Сравнение экспериментов [4-7] и теории [1-3], позволяет предполагать, что NDC, в котором $\sim 10^{19}$ DC, является новым членом семейства топологических материалов.

1. Z. Nussinov, J. van den Brink. "Rev. Mod. Phys.", **87**, 1 (2015).
2. Y. Ando, L. Fu. "arXiv: 1501.00531" (3 Jan 2015).
3. I.A. Denisov, A.A. Zimin, L.A. Bursill, P.I. Belobrov. "J SibFU Math & Phys.", **7**, 35–45 (2014).
4. P.I. Belobrov, S.K. Gordeev, E.A. Petrakovskaya, et al. "Doklady Physics", **46**, 459 (2001).
5. S.K. Gordeev, R.F. Konopleva, V.A. Chekanov, et al. "Phys Solid State", **55**, 1480 (2013).
6. N.I. Kiselev, D.A. Velikanov, S.B. Korchagina, et al. "Rus J Gen Chem", **83**, 2173 (2013).
7. S.P. Belyaev, S.K. Gordeev, V.A. Chekanov, et al. "Phys Solid State", **56**, 152 (2014).

ГРАФЕНОПОДОБНЫЙ MoS₂: НАНОХИМИЯ, ДИАГНОСТИКА, ПРИМЕНЕНИЕ

И.Г. Васильева¹, И.П. Асанов¹, Л.М. Куликов²

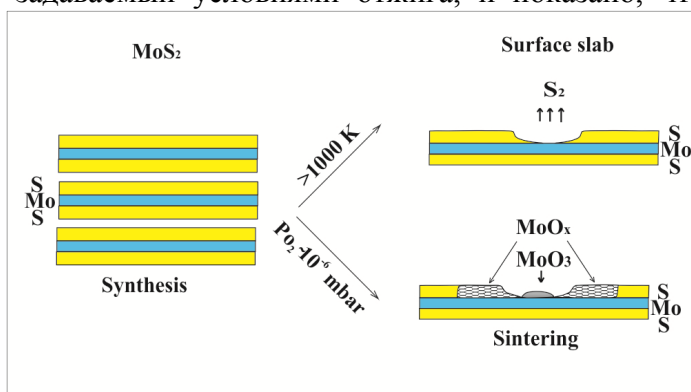
¹Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия
asanov@niic.nsc.ru

²Институт проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАНУ, Киев, Украина
leonid.kulikov@mail.ru

Развит оригинальный метод послойной самосборки графеноподобного 2H-MoS₂ путем химического осаждения из пара и последующего отжига при температурах 1070-1120 К в вакууме $\sim 10^{-6}$ тбар. Синтезированные частицы имели одинаковую толщину в 4-5 слоя, и размер латеральной поверхности, меняющейся в пределах 17-55 нм в зависимости от температуры отжига. Комбинация нескольких методов спектроскопических (КР -, ИК -, с высокой энергией возбуждения РФЭ спектроскопия), микроскопических (СЭМ, АСМ) и стехиографического (дифференцирующее растворение) была применена, чтоб описать морфологию и текстуру наночастиц 2H-MoS₂ и обнаружить нестехиометрию по сере верхних поверхностных слоев S-Mo-S конструкции.

В докладе дается свежий взгляд на поверхностную химию наночастиц 2H-MoS₂ и характер реконструкции их нестехиометрической поверхности за счет процесса, имеющего место в условиях высокотемпературного отжига наночастиц в вакууме. Показано, что контакт с остаточным в вакуумированной ампуле кислородом ведет к модификации состава и строения поверхности, что в свою очередь проецируется на формирование текстуры и, следовательно, становится определяющим фактором макроскопических свойств этого объекта. Две разные реакции участвуют в модификации поверхности. Одна, реакция окисления, базируется на взаимодействии кислорода с открытыми по причине нестехиометрии по сере координационными местами молибдена, и ее детальное изучение привело к пониманию природы интерфейса, образуемого со стороны поверхности, примыкающей к самим частицам. Другая, обменная реакция между серой и кислородом, идущая в самых верхних поверхностных слоях, приводит к образованию оксидных по составу кластеров состава Mo⁶⁺O_x со специфической структурой и с тетраэдрически координированным молибденом. Ее изучение привело к пониманию стратегии формирования разного типа пространственной архитектуры наночастиц 2H-MoS₂ в зависимости от температуры отжига, что демонстрирует представленный рисунок.

Базируясь на имеющиеся термодинамические параметры и вид диаграммы парциальных давлений типа $p_{O_2} - p_{S_2} - T$ тройной системы Mo-S-O, установлен характер взаимодействия этих трех компонентов, задаваемый условиями отжига, и показано, что в контакте с окружающей средой возникающая при отжиге конструкция наночастиц в тандеме с составом становятся определяющими макроскопическое поведение малослойного 2H-MoS₂, также как и его функциональную направленность. Четко очерчена и обсуждается перспектива использования этого объекта в качестве биосенсоров, фотокатализаторов и эффективных сорбентов.



**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГРАФЕНСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ
НА СВОЙСТВА И СТРУКТУРУ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА**

Ф.Д. Васильева, Г.Н. Александров, А.А. Охлопкова, С.А. Слепцова

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия
Dorush21@mail.ru

Постоянно растущие требования к эксплуатационным характеристикам машин и механизмов обуславливают необходимость разработки новых конструкционных самосмазывающихся материалов. Полимерные материалы и композиты на их основе играют прогрессивную роль в развитии машиностроения, и дают не только возможность замены различных металлов и сплавов, но повышают надежность и долговечность деталей машин, и особенно деталей узлов трения.

Целью работы является получение, характеристика оксида графена (ОГ) и терморасширенного графита (ТРГ), и исследование их модифицирующей способности на структуру и свойства ПТФЭ.

ТРГ получали из интеркалированного, очищенного природного графита фирмы «Aldrich» с использованием термоудара при 1000°C [1]. ОГ получали модифицированным методом Хаммерса. Характеризацию ОГ и ТРГ проводили методами рентгеноструктурного анализа, сканирующей электронной микроскопии, комбинационного рассеяния спектров, атомно-силовой микроскопии, акустического анализа и спектрофотометрии.

Исследованы физико-механические и триботехнические характеристики ПТФЭ, содержащего различные концентрации ОГ и ТРГ. У композита, содержащего 2 мас. % активированного ТРГ износостойкость увеличивается в 18 раз, коэффициент трения уменьшается в 2 раза, по сравнению с исходным полимером. В случае композита с ОГ 0,05 мас. % зарегистрировано увеличение износостойкости в 3 раза.

Также проведены структурные исследования полимерных композиционных материалов методами ИК- спектроскопии, рентгеноструктурного анализа, сканирующего электронной микроскопии и дифференциальной сканирующей калориметрии.

Для создания полимерных самосмазывающихся композитов показана эффективность использования ТРГ и ОГ в качестве модификатора полимерной матрицы.

1. Hummers W. S.; Offeman R. E. Preparation of Graphitic Oxide. J. Am. Chem. Soc. 1958, 80, 1339–1339

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОВОДИМОСТИ ПЛЕНОК ОКСИДА ГРАФЕНА, ВОССТАНОВЛЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

П.В. Винокуров, С.А. Смагулова

Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, Якутск, Россия
pv.vinokurov@s-vfu.ru

Графен, привлекая большое внимание ученых со всего мира, продолжает проявлять удивительные эффекты для использования его в очень широком спектре различных приложений. В данное время существует проблема получения большого количества графена и мультиграфена. Альтернативным и более дешевым процессом получения таких структур является восстановление оксида графена (ОГ). Восстановленный оксид графена (ВОГ), на самом деле, уступает по своим свойствам графену и мультислойному графену, но этот материал, имеет и свои достоинства. Он может использоваться при создании конденсаторов большой емкости, которые можно будет применить для ионисторов [1].

В данной работе исследовано восстановление пленки оксида графена с помощью лазерного воздействия (технология LightScribe). Данная технология создавалась для формирования рисунков на компакт дисках со специальным покрытием, которое темнело под действием лазерного излучения [2]. Для получения структур, суспензия ОГ наносилась на поверхность компакт диска и высушивалась при нормальных условиях. Время восстановления ОГ пленок занимало около 30 минут.

Изменения поверхности и структуры полученных образцов были исследованы методами атомно-силовой микроскопии (АСМ), сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и метода комбинационного рассеяния света. После восстановления пленка изменяет свой цвет от коричневого до черного. На рисунке 1 представлены структуры, полученные с помощью лазерного восстановления оксида графена. Черная часть – это ВОГ, а коричневая часть – это ОГ. Исследования поверхности восстановленной пленки оксида графена методом СЭМ показывает, что рельеф пленки становится рыхлым. Это также подтверждается измерениями АСМ. Электрофизические характеристики демонстрируют уменьшение сопротивления на несколько порядков.

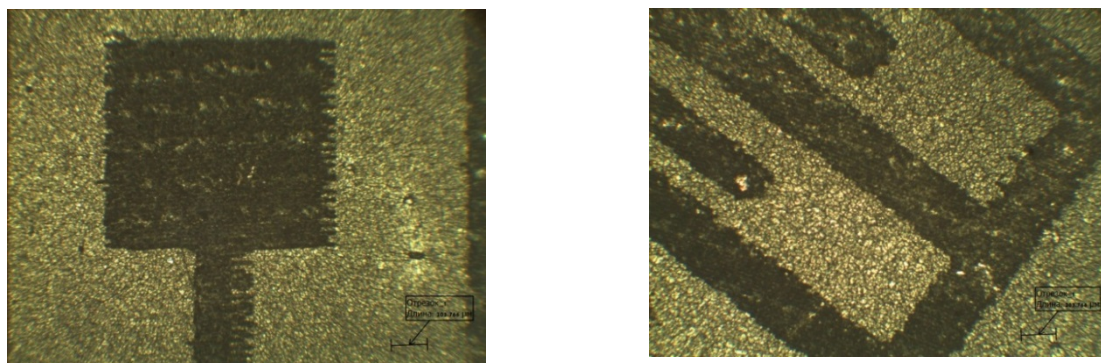


Рис. 1. Оптическое изображение восстановленного оксида графена (темная область) на пленке оксида графена (светлая область)

1. El-Kady M.F. et al., Science, vol. 335, № 6074, pp. 1326-1330
2. He Tian, Yi Yang, Dan Xie, Ya-Long Cui, Wen-Tian Mi, Yuegang Zhang & Tian-Ling Ren, Scientific Reports 4, № 3598

СИНТЕЗ И ПРИМЕНЕНИЯ ГРАФЕНА В ИНДУСТРИАЛЬНЫХ МАСШТАБАХ

И.В. Власюк¹, С.Н. Смирнов²

¹*Национальная Лаборатория Оак Ридж, США*

vlassioukiv@ornl.gov

²*Университет штата Нью Мексико, США*

Синтез. В докладе рассмотрен синтез графена используя химический метод осаждения из газовой фазы на различные катализаторы при атмосферном давлении. Будут показаны влияние состава атмосферы, парциальных и общего давления газов, температуры синтеза, предварительной обработки и кристаллографической ориентации катализатора. Обсуждение «рулонной технологии» производства графена и возможной цены при рулонном производстве.

Характеризация. Будут показаны различные методики характеристики графена полученного при синтезе. Влияние размера домена, концентрации и структуры дефектов, а также морфологии катализатора на различные свойства графена включая проводимость и теплопроводимость. Допирование графена.

Применения. а) Будет рассмотрено возможное применение графена в качестве мембраны для разделения различных компонентов. Графеновые мембраны по опреснению воды, а также протон проводящие мембраны будут показаны в качестве примера. Примеры производства селективных дефектов в графене – кислородная плазма и облучение высокоэнергетическими частицами. б) Проводящие композитные материалы на основе больших листов графена полученных методом химического осаждения из газовой фазы – ламинаты и волокна. Анализ механических свойств композитов.

1. Surwade et al., Water desalination using nanoporous single-layer graphene, *Nature Nanotechnology*, **2015**, ASAP
2. Vlassiouk et al., Graphene nucleation density on copper: Fundamental role of background pressure, *J. Phys. Chem. C.*, *117*, 18919, **2013**
3. Vlassiouk et al., Large scale atmospheric pressure chemical vapor deposition of graphene, *Carbon*, *54*, 58, **2013**
4. Vlassiouk et al., Electrical and thermal conductivity of low temperature CVD graphene: the effect of disorder, *Nanotechnology*, *22*, 275716, **2011**
5. Vlassiouk et al., Role of hydrogen in chemical vapor deposition growth of large single-crystal graphene, *ACS Nano*, *5*, 6069, **2011**

ЭЛЕКТРОН-ФОНОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В СИСТЕМЕ Li/graphene/Si-Co

А.С. Вопилов, Д.Ю. Усачев

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия
antonvop@mail.ru

Актуальной задачей физики графена является наблюдение и изучение сверхпроводимости в однослойном графене. Поэтому предметом пристального внимания данной работы является электрон-фононное (ЭФ) взаимодействие в графене, являющееся одним из механизмов перехода в сверхпроводящее состояние. В недавней работе [1] методами фотоэлектронной спектроскопии с угловым разрешением (ФЭСУР) было выяснено, что при достаточно высоком переносе заряда в графене наблюдается низкоэнергетический фонон, который может привести к возникновению сверхпроводимости. Кроме того, температура перехода в сверхпроводящее состояние тем выше, чем больше перенос заряда, максимальное значение которого было достигнуто при легировании кальцием. В итоге графен, легированный кальцием на поверхности золота, характеризуется значительным ЭФ взаимодействием, которое может привести к появлению сверхпроводимости при температурах до 1.5 К, доступных для прямого наблюдения. Исследование свойств системы, носители заряда которой могут считаться безмассовыми, и, способной переходить в сверхпроводящее состояние, представляет значительный интерес.

Для более глубокого понимания ЭФ взаимодействия нами проведены исследования графена на другой подложке, а именно на силициде кобальта. Во-первых, было продемонстрировано, что электронная энергетическая структура графена на силициде кобальта близка к линейной дисперсии свободного графена [2]. Во-вторых, легирование системы атомами лития привело к существенному переносу заряда (0,165 эл. на элементарную ячейку) даже большему, чем в случае кальция (0,135 эл./эл.яч). Данное обстоятельство обнаруживает важную роль подложки в механизме переноса заряда. В-третьих, одноэлектронная дисперсия данной системы имеет характерные изломы (кинки) близи уровня Ферми, свидетельствующие о многочастичном взаимодействии. Детальный анализ ФЭСУР данных позволил изучить фононный спектр, который включает в себя необходимый для возникновения сверхпроводимости низкоэнергетический фонон. Оценки температуры перехода к сверхпроводимости показали, что ожидаемая критическая температура существенно выше, чем в легированном графене на поверхности золота, и может достигать нескольких Кельвин. Это делает рассматриваемую систему перспективной для обнаружения и изучения сверхпроводимости в однослойном графене.

Работа поддержана грантами СПбГУ 11.37.634.2013 и РФФИ 14-02-31150.

1. Fedorov A. V. et al. // Nature Commun. 2014. V. 5. P. 3257

2. Усачев Д.Ю. и др. // ФТТ. 2015. Т. 57. С. 1024

ГИБРИДНЫЕ ПРОЗРАЧНЫЕ ЭЛЕКТРОДЫ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИИ МЕТАЛЛ- ГРАФЕН

А.С. Воронин^{1,2,3}, Ф.С. Иванченко^{1,2}, Ю.В. Фадеев², С.В. Хартов^{2,3}

¹Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

²ООО «ФанНано», Красноярск, Россия

³Красноярский научный центр СО РАН, Красноярск, Россия

a.voronin1988@mail.ru

Прозрачные электроды на основе пленок металлических наностержней и металлических сеток, полученных различными методами литографии [1], можно рассматривать как наиболее перспективный класс прозрачных электродов в силу сочетания низкого поверхностного сопротивления, высокой оптической прозрачности и гибкости. Однако электроды обладают низкой стабильностью и неприменимы для работы в агрессивных условиях (электрохромные покрытия, прозрачные ИК- нагреватели).

В настоящей работе предлагается методика формирования гибридных прозрачных электродов на основе системы металлическая микросетка- графен (рис. 1). Графен обеспечивает защиту металлической микросетки и увеличивает однородность по сопротивлению.

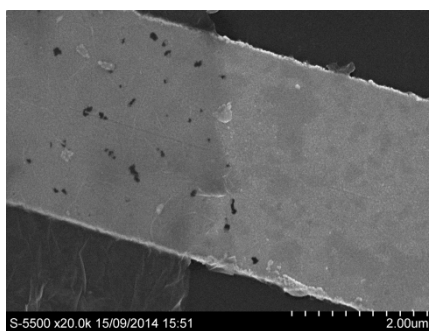


Рис. 1. Гибридная система металл- графен

Металлическая микросетка формируется посредством напыления серебра на самоорганизованный шаблон, полученный в результате квазиупорядоченного растрескивания пленки кремнезема, получаемой золь-гель методом. Методика позволяет варьировать параметры растрескивания в широком диапазоне, посредством вариации pH золя, что дает возможность управлять параметрами электродов. В ходе работы получены покрытия с прозрачностью более 85% и поверхностным сопротивлением менее 10 Ом/□. На сетчатый электрод при помощи стержня Мейера, наносилась спиртовая дисперсия оксида графена (0.1%). После нанесения пленка сушилась на воздухе. Затем оксид графена восстанавливался в водном растворе NaBH₄. Полученная система тестировалась в качестве электродов в полимерном электрохромном сэндвиче. Покрытия выдерживали 500 циклов переключения с деградацией проводимости менее 10%, в то время как система без защиты не способна даже на один цикл переключения.

1. Hu L., Wu H., Cui Y. // Mater. Res. Soc. Bull. 2011. V. 36. P. 760.

СВОЙСТВА ВЫСОКОСИММЕТРИЧНЫХ ДВУМЕРНЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК ГРАФЕНА

А.В. Воронцов¹, Л.А. Чернозатонский²

¹Институт катализа им. Г.К. Борескова, Новосибирск, Россия
voronts@catalysis.ru

²Институт биохимической физики, Москва, Россия
chernob@sky.chph.ras.ru

Квантовые точки графена (КТГ) представляют собой фрагменты графена с размером менее 10 нм. КТГ привлекают к себе в последнее время всё больший интерес в связи с их выдающимися электронными, люминесцентными и каталитическими свойствами [1]. При этом их свойства и детали проявления квантоворазмерного эффекта остаются выясненными не полностью. В данной работе мы представляем результаты исследований КТГ точечной группы симметрии D_{6h} , у которых край имеет структуру либо только зигзага, либо только кресла. Краевые атомы углерода пассивированы атомами водорода, либо оставлены валентно ненасыщенными. Размер КТГ варьировался от 0,7 до 6,2 нм. Измеряемыми свойствами были энтальпия образования самих квантовых точек и вклад в нее двух типов краев, энергия валентной, запрещенной и зоны проводимости, уровень Ферми, а также критический размер переключения длин связей от наноточек к бесконечному полотну графену.

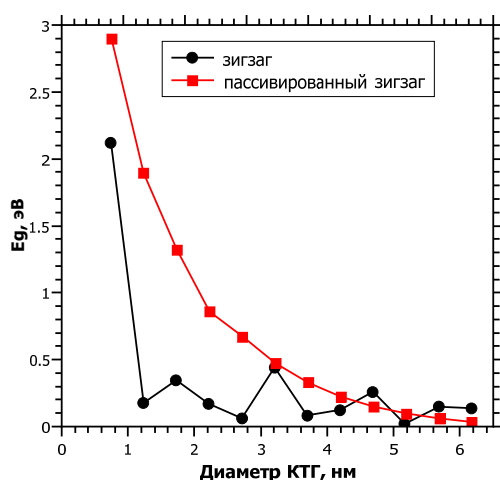


Рис. 1. Ширина запрещенной зоны КТГ с пассивированным и непассивированным краем типа зигзаг

На Рис. 1 показана зависимость ширины запрещенной зоны E_g от диаметра КТГ. Можно видеть, что для пассивированных наночастиц E_g монотонно убывает и частицы начинают проявлять металлический тип проводимости ($E_g \sim 0.03$ эВ) только для размера выше 6 нм. Непассивированные КТГ обладают максимумами E_g при размерах 1.7, 3.2, 4.7 нм, а металлическая проводимость наблюдается для размера 5.2 и 6.2 нм. Результаты подтверждают тезис о необходимости пассивирования края КТГ для получения когерентных и воспроизводимых электронных свойств. В докладе подробно обсуждаются остальные упомянутые свойства наночастиц моно-слоистого графена, в том числе с пассивированным и непассивированным краем типа кресла.

1. Miao P., Han K., Tang Y., Wang B., Lin T., Cheng W. // *Nanoscale*. 2015. Т. 7. С. 1586.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРЕВА ТОНКИХ ПЛЕНОК НИКЕЛЯ НА ГРАФЕНЕ

А.Е. Галашев, О.Р. Рахманова

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

Исследованы физические свойства одно и двухслойных пленок никеля, осажденных на одно и двухслойный графен в температурном диапазоне $300 \leq T \leq 3300$ К. Первоначально формирующаяся плоская капля металла с ростом температуры приобретает объем и не испытывает сильной тенденции к испарению атомов металла.

Существенным отличием в поведении атомов Ni на двухслойном графене при высоких температурах от их динамики на однослойном графене является более высокая вертикальная подвижность, которая с ростом температуры увеличивается волнообразно. Соответственно, спектр индивидуальных колебаний атомов Ni на двухслойном графене имеет значительно большую интенсивность в области низких частот, чем в случае однослойного графена. Двухслойный графен даже при температуре 3300 К не имеет дефектов, через которые могут мигрировать атомы Ni. Два первых пика функции радиального распределения пленки Ni на двухслойном графене лучше разрешены, чем аналогичные пики функции $g(r)$ для пленки металла на однослойном графене. В обоих случаях нахождения пленок Ni на графене наибольшими значениями характеризуются компоненты тензора напряжений σ_{xx} , σ_{yy} и σ_{zz} . Напряжения, действующие в плоскости металлической пленки, в случае двухстороннего покрытия графена никелем имеют заметно большую величину по сравнению с соответствующими напряжениями, создаваемыми при одностороннем покрытии графена пленкой металла. Присутствие второго слоя графена оказывает стабилизирующую роль, позволяя сохранять структуру контактирующего с металлом листа графена до высоких температур. В результате исследования выявлены отличия в кинетических, механических свойствах и структуре графена и пленок никеля, осажденных на двухслойный и однослойный графен.

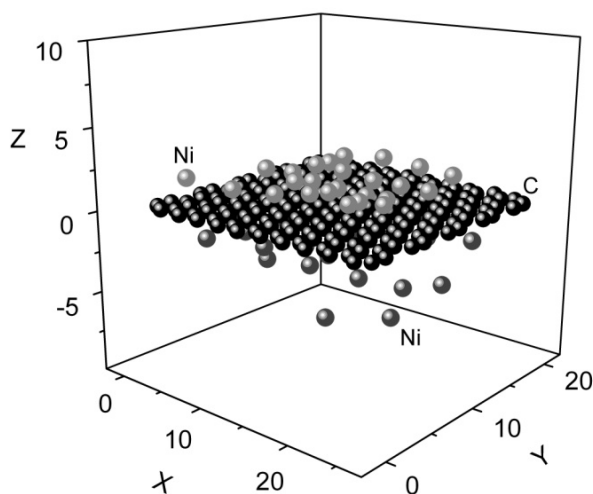


Рис. 1. Конфигурация системы графен–никель при двухстороннем размещении Ni на листе графена при 1300 К. Координаты атомов представлены в ангстремах

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОЧИСТКИ ГРАФЕНА ОТ МЕДИ И СВИНЦА

А.Е. Галашев, О.Р. Рахманова

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

Применение графена в качестве адсорбирующего материала фильтров эффективно только при его многократном использовании. В связи с этим возникает вопрос очистки графена от осажденных на него веществ. Бомбардировка кластерным пучком является одним из наиболее действенных методов очистки графена. Для бомбардировки пленок Cu и Pb на графене нами использованы икосаэдрические кластеры Ag_{13} и Xe_{13} .

Наилучший эффект очистки графена от меди был достигнут при углах падения кластеров Ag_{13} 45° и 90° (на «бреющем полете», рис. 1) и энергиях пучка 20 и 30 эВ. Пучок малой энергии (5 эВ) вместо удаления производил уплотнение пленки Cu. В случае очистки графена от Pb эффективными оказались бомбардировки с углами падения $\theta = 0^\circ$ и 60° , когда отделение пленки от графена происходило уже при энергии пучка 10 эВ. Не удалось очистить графен от атомов Pb при угле падения 90° даже с энергиями пучка 20 и 30 эВ. Анализ получаемых конфигураций однозначно указывает на преимущественно одноатомный характер выбивания атомов Cu и на присутствие коллективного механизма отделения пленки Pb от графена. Связь графена с атомами Pb более слабая, чем с атомами Cu. Под ударами кластеров «островок» пленки постепенно отделяется от графена. Удалившись на несколько межатомных расстояний и перестав взаимодействовать с графеном, плоский фрагмент начинает постепенно принимать форму сферы, т.е. приобретать наименьшую поверхность. Вид распределений напряжений в графене указывает на отсутствие усиления напряженного состояния в ходе бомбардировки. Бомбардировка с углами падения кластеров меньшими 75° приводит к значительному увеличению шероховатости графена. Гидрирование краев графенового листа позволяет снизить риск их повреждения при бомбардировке.

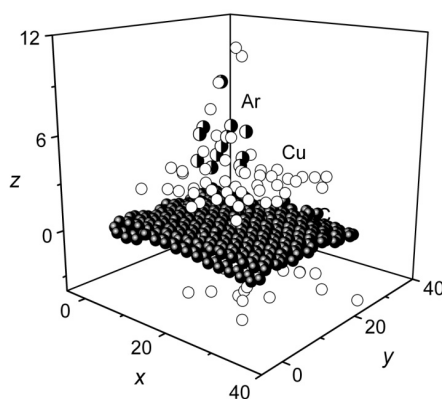


Рис. 1. Кластерная бомбардировка мишени на «бреющем полете».
Координаты атомов представлены в ангстремах

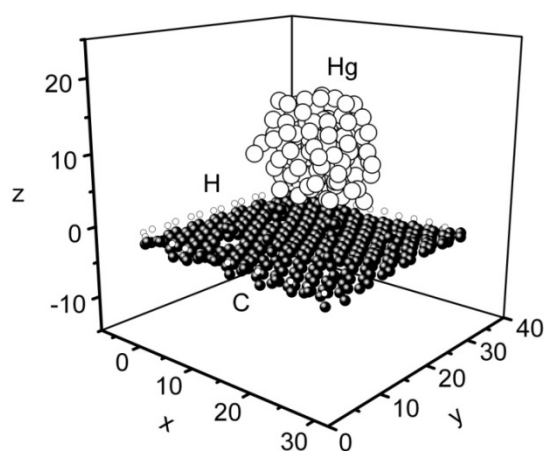
КОМПЬЮТЕРНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ОЧИСТКИ ГРАФЕНА ОТ РТУТИ

А.Е. Галашев, О.Р. Рахманова

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

Методом молекулярной динамики выполнено моделирование облучения мишени пучком кластеров с энергиями 5–30 эВ и углами падения 0° – 60° , преследующее цель снятия пленки ртути с частично гидрированного несовершенного графена. Графен полностью очищается от ртути при углах падения 45° и 60° с энергиями кластеров $E_{He} \geq 15$ эВ и 10 эВ соответственно. Установлена тенденция пленки ртути скатываться в каплю. Отделение ртути от графеновой пленки происходит в виде распыления одиночных атомов и отрыва капли. Энергия взаимодействия ртути с графеном мала и слабо зависит от энергии бомбардируемого пучка. Напряжения в графене, обусловленные силами, перпендикулярными плоскости листа, заметно превосходят напряжения от сил, действующих в его плоскости. Бомбардировка с углом падения 45° и приводит к меньшей шероховатости графена, чем облучение кластерными пучками с углами падения 0° и 60° .

Ртуть может быть удалена с графена также путем нагрева. В компьютерной модели проведен быстрый нагрев пленки ртути на графене, содержащем дефекты Стоуна–Уэйлса и имеющим гидрированные края. По мере сворачивания пленки в каплю горизонтальная компонента коэффициента самодиффузии атомов Hg монотонно уменьшалась, а вертикальная компонента проходила через глубокий минимум, отражающий начало поднятия капли над подложкой. Формирование капли проявило себя в идущем вверх уширении вертикального профиля плотности и увеличении числа пиков в нем. При этом существенно сократилась протяженность функции радиального распределения ртути, выросла интенсивность ее первого пика. Формирование капли из пленки приводит к уменьшению тупого краевого угла смачивания. Температурные изменения в графене выразились в росте интенсивности дополнительных пиков углового распределения ближайших соседей, колебательном характере напряжений, действующих в его плоскости, и почти линейном росте шероховатости.



*Рис. 1. Капля Hg, отделившаяся от дефектного графена при 600 К.
Координаты атомов представлены в ангстремах*

АНАЛОГИ ФУЛЛЕРЕНОВ КАК ИНСТРУМЕНТ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ

О.В. Градов.

*Институт Энергетических Проблем Химической Физики им. В.Л. Тальрозе РАН,
Москва, Россия
o.v.gradov@gmail.com*

Активное использование графена в инструментарии масс-спектрометрии [1] является новейшим трендом последних лет. В области MALDI для нужд анализа биомакромолекул используют кремний с графеновым покрытием [2] либо оксид графена [3, 4] либо композит графен + оксид титана [5]. Общеизвестна взаимосвязь между графеном и фуллеренами и нанотрубками: возможность получения углеродных нанотрубок на основе сворачиваемого графена [6], «прямая трансформация» графена в фуллерен [7], а также синтез графена из фуллереновых структур [8]. Поэтому логично систематизировать поведение указанных фуллереновых и фуллереноподобных структур с целью иллюстрации возможности новой масс-спектрометрической техники, сопряженной со структурными переходами графена, с их использованием. Нами было инициировано создание базы данных по использованию фуллерена и его аналогов, а также графена и его аналогов (таких как силицен, германен) в масс-спектрометрии. Также было инициировано построение диаграммы связей с целью классификации отличной от фолксонии по представляемым авторам ключевым словам и названию статьи. На основе существенно модернизированного нами морфологического анализа Цвикки для использования совместно с QSPR и CALPHAD был предположен ряд потенциальных трендов применения углеродных структур в масс-спектрометрии. Исходя из опыта использования C60 в SIMS [9] и FTICR-MS [10] и принципа химических аналогий был сделан вывод о возможности использования неорганических аналогов фуллеренов на базе кремния, германия, бора в масс-спектрометрии.

1. Kong X., Huang Y. // Journ. Nanosci. Nanotech., 2014, Vol.14, No. 7, pp. 4719-4732.
2. Nasser A.H., Wu B.S., Wu H.F. // Talanta, 2014, Vol. 126, pp. 27-37.
3. Kim Y.K., Min D.H. // Chemistry, 2015, Vol. 21, No. 19, pp. 7217-7223.
4. Liu Q., Cheng M., Wang J., Jiang G. // Chemistry, 2015, Vol. 21, No. 14, pp. 5594-5599.
5. Shen Q., Yang M., Li L., Cheung H.Y. // Anal. Chim. Acta, 2014, Vol. 852, pp. 153-161.
6. Yu D., Liu F. // Nano Lett., 2007, Vol. 7, No. 10, pp. 3046-3050.
7. Chuvilin A., Kaiser U., Bichoutskaia E., Besley N.A., Khlobystov A.N. // Nat. Chem., 2010, Vol. 2, No. 6, pp. 450-453.
8. Tiwari R.N., Ishihara M., Tiwari J. N., Yoshimura M. // Chem. Com., 2012, Vol. 48, No. 24, pp. 3003-3005.
9. Sisco E., Demoranville L.T., Gillen G. // For. Sci. Int., 2013, Vol. 231, No. 1-3, pp. 263-269.
10. Smith D.F., Robinson E.W., Tolmachev A.V., Heeren R.M., Paša-Tolić L. // Anal Chem., 2011, Vol. 83, No. 24, pp. 9552-9556.

ДВУХСЛОЙНЫЙ ГРАФЕН КАК АГЕНТНЫЙ МЕМБРАНОМИМЕТИК

О.В. Градов

*Институт Энергетических Проблем Химической Физики им. В.Л. Тальрозе РАН,
Москва, Россия
o.v.gradov@gmail.com*

Начиная с пионерских работ основателя мембраномиметической химии (“membrane mimetic chemistry”) Фендлера [1, 2] известно, что некоторые атомные или молекулярные (в том числе наноразмерные) кластеры и пленки способны имитировать функции мембран. Мембраномиметиками могут быть как частично упорядоченные среды (“soft matter”), так и твердофазные носители, в том числе – в иммобилизованном состоянии [3]. Известно, что мембраномиметические характеристики могут обнаруживать как пленочные проводники, в том числе – обладающие магнитными свойствами, так и полупроводники [4-6]. Это имеет аналогии в химии полупроницаемых светочувствительных бислойных мембран [7]. Если представить агентный обмен на мембранах в операторном виде, то химизм мембран или их миметиков, равно как различие между атомными и молекулярными кластерами или же слоями, перестают иметь значение, вследствие чего мембраномиметика мезоструктур [8] и наноструктур существенно не отличаются друг от друга в агентном приближении. Нами, исходя из данных о мембранной применимости графена [9,10], разработана бета-версия программного обеспечения для реализации агентных мембраномиметических симуляций, в которых двухслойный графен интерпретируется как аналог двухслойных биомембран, а многослойный графен срабатывает как аналог многослойных липосомальных структур. В данном продукте учтены также критерии проводимости мембраномиметиков (см.: [4, 5]).

1. Fendler J.H. // Chem. Rev., 1987, Vol. 87, No. 5, pp 877–899.
2. Fendler J.H. Membrane-Mimetic Approach to Nanotechnology // In: “Advances in the Applications of Membrane-Mimetic Chemistry”, Springer, 1994, pp. 1-15
3. Pidgeon C. // Enz. Micr. Tech., 1990, Vol. 12, No. 2, pp. 149-150.
4. Fendler J.H. // Adv. Polym. Sci., 1994, Vol. 113, pp. 118-159
5. Fendler J.H. // Adv. Polym. Sci., 1994, Vol. 113, pp. 159-171.
6. Fendler J.H. // Adv. Polym. Sci., 1994, Vol. 113, pp. 172-1821
7. Tien H.T. Semiconducting Photoactive Bilayer Lipid Membranes // In: "Solution Behavior of Surfactants", 1982, pp. 229-240.
8. Yen T.F. Meso-Scaled Structure and Membrane Mimetic Chemistry // In: “Advances in the Applications of Membrane-Mimetic Chemistry”, 1994, pp. 255-279.
9. Nair R.R. et al. // Science, 2012, Vol 335, No. 6067, pp. 442-444.
10. O’Hern S.C. // ACS Nano, 2012, Vol. 6, No. 11, pp. 10130–10138.

ИНТЕРКАЛЯЦИЯ БИСЛОЯ ГРАФЕН-MoS₂ АТОМАМИ РЕНИЯ

В.А. Демин, Л.А. Чернозатонский

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

Двумерные материалы являются перспективными для прикладного применения, поскольку обладают уникальными свойствами. Типичный представитель – полупроводящий слой MoS₂, обладающий шириной запрещенной зоны $E_g=1.8$ эВ. Возможно изменение его электронных свойств путем допирования другими атомами [0] или комбинирования дисульфид молибденового слоя с другими двумерными материалами, такими как графен, BN, другие дихалькогениды переходных металлов [0].

Мы предлагаем новые металлические энергетически устойчивые конфигурации в системе из слоев графена и дисульфида молибдена с их интеркаляцией атомами рения [0]. Методом DFT были рассчитаны суперячейки, состоящие из графена, дисульфида молибдена и атомов рения. Атом рения помещался между слоями или замещал один из атомов молибдена. Также было рассмотрено влияние поворота слоя графена относительно слоя MoS₂. Атом рения, введенный между слоями или замещающий молибден, определяет металлические свойства таких структур. Может оказаться важным применение подобных бислоев в качестве металлических элементов в переходных областях от металлического слоя к полупроводниковому слою MoS₂ в нанoeлектронных схемах, а также в фотовольтаических элементах.

Работа выполнена в рамках проекта РФФ №14-12-01217. Расчеты были проведены с использованием ресурсов межведомственного суперкомпьютерного центра РАН.

1. B. Sachs, L. Britnell, T. O. Wehling, A. Eckmann, R. Jalil, B.D. Belle, A.I. Lichtenstein, M.I. Katsnelson, K.S. Novoselov // Appl. Phys. Lett. 2013. 103. 251607.
2. A.K. Geim, I.V. Grigorieva // Nature. 2013. 499. 419.
3. Демин В.А., Чернозатонский Л.А. // Письма в ЖЭТФ. 2015. Т. 101. Вып. 2. С. 107.

ТОНКАЯ СТРУКТУРА КОКСА ИЗ ОКИСЛЕННОГО ПЕКА

А.В. Дмитриев¹, О.М. Шанина², Б.А. Кульницкий³

¹Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия
admitriev@csu.ru

²Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия
oksa_88@mail.ru

³Технологический институт сверхтвердых и новых углеродных материалов,
Москва, Россия
bkool@rambler.ru

Для получения углеродного материала смешивали пух терморасширенного графита (ТРГ) и расплав среднетемпературного каменноугольного пека, который самопроизвольно распределялся по поверхности графитовых листочков толщиной 5 нм. Содержание пека в шихте и соответственно толщина пековых пленок на порядок больше толщины листочков ТРГ. Пленки отверждали окислением кислородом воздуха при нагреве в интервале 250⁰С–300⁰С [1, 2]. Из подготовленной шихты пресовали заготовки, их обжигали и графитировали в промышленных условиях электродного производства. По данным рентгеноструктурного анализа и электронной сканирующей микроскопии обожженный и графитированный материалы двухфазные, слои пекового кокса не графитируются. На снимках, полученных с использованием электронного просвечивающего микроскопа JEM 2010 видно, что структура обожженного кокса из окисленного пека подобна стеклоуглероду. Наблюдаются плотно упакованные искривленные единичные слои, образующие замкнутые гранулы до 10 нм, и фуллереноподобные структуры. На поверхности листочков ТРГ выделены цепочки образований с многослойной луковичной структурой (см. рис. 1).

Ароматические молекулы в составе тонких пленок окисленного пека сохранили способность размягчаться при нагреве в ходе коксования. При деструкции они соединяются химическими связями с молекулами из соседних слоев с образованием искривленных и замкнутых структур. Одностороннее искривление слоев на поверхности листочков ТРГ обеспечивает образование луковичных структур в компактном материале, что аналогично перестройке структуры графита при синтезе алмазов [3].

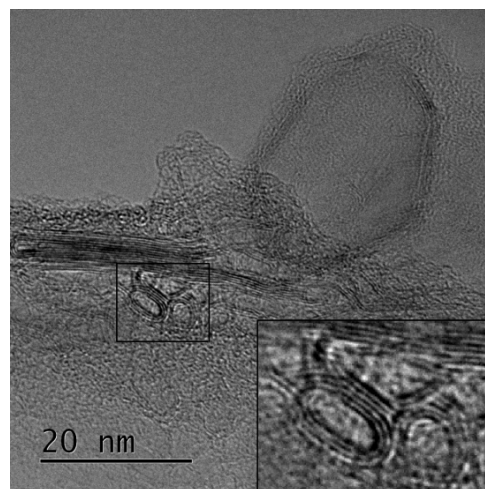


Рис. 1. Луковичные структуры на поверхности фрагмента листочка ТРГ

1. Дмитриев А.В. Патент РФ 2134656 // Бюл. Изобр. 1999. № 23. С. 314.

2. Дмитриев А.В. // ХТТ. 2013. Т. 47. №6. С. 54.

3. Blank V.D., Kulnitskiy B.A., Perezhugin I.A. // Scripta materialia. 2009. V. 60. P. 407.

СПИН-ПОЛЯРИЗОВАННЫЕ СОСТОЯНИЯ В ЭЛЕКТРОННОЙ СТРУКТУРЕ СТРОГО ОРИЕНТИРОВАННОГО ГРАФЕНА НА ПОВЕРХНОСТИ Co(0001)

А.В. Ерофеевская, Д.Ю. Усачев

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия
anna.erofeevskaya@gmail.com

Исследование электронной структуры графена, синтезированного на поверхности металла, представляет интерес потому, что при использовании графена в любых электронных устройствах неизбежно возникает графен-металлический контакт, что может сильно изменить электронные характеристики графена. Одним из металлов, представляющих особый интерес, является кобальт, так как постоянные решеток графена и кобальта хорошо совпадают, а также кобальт является ферромагнетиком и может служить источником спин-поляризованных электронов в устройствах спинтроники [1].

В данной работе графен был синтезирован на поверхности монокристалла Co(0001) и его кристаллическая структура была исследована с помощью дифракции медленных электронов и сканирующей туннельной микроскопии. В результате было получено, что графен строго ориентирован на поверхности кобальта, кроме того была обнаружена неэквивалентность подрешеток графена.

Для исследования электронной структуры системы были использована фотоэлектронная спектроскопия с угловым и спиновым разрешением. В результате в электронной структуре была обнаружена коническая спин-поляризованная особенность на уровне Ферми, образованная электронными состояниями, локализованными на интерфейсе графен-кобальт [2]. Так как для разориентированного графена на поверхности кобальта данное состояние в электронной структуре отсутствует, был сделан вывод, что данное состояние характерно только для определенной конфигурации графена на кобальте. Для получения информации о том, какой конфигурации графена на поверхности кобальта соответствует существование данной особенности, проведено моделирование электронной структуры такой системы на основе метода сильной связи вблизи уровня Ферми и К-точек зоны Бриллюэна. Согласие модельной электронной структуры с экспериментальными данными и расчетом из первых принципов для top-hollow конфигурации позволило сделать вывод об обоснованности используемой модели и предположить, что именно такая конфигурация была реализована в эксперименте.

Работа поддержана грантами СПбГУ 11.37.634.2013 и РФФИ 14-02-31150.

1. Han W. et al. // Appl. Phys. Lett.. 2009. V. 94. № 222109.
2. Usachov D.Yu. et al. // Nano Lett. 2015. V. 15. P. 2396.

МАТРИЧНЫЕ ОСТРИЙНЫЕ АВТОЭМИССИОННЫЕ КАТОДЫ НА ОСНОВЕ ПЛЕНОК ГРАФЕНА НА SiC

О.А. Агеев, А.М. Светличный, А.С. Коломийцев, И.Л. Житяев

*Институт нанотехнологий, электроники и приборостроения
Южного федерального университета, Таганрог, Россия
jityaev.igor@gmail.com*

Одним из основных требований, предъявляемых к автоэмиссионным катодам, является высокая стабильность эмиссионных характеристик. Считается, что карбид кремния с пленкой графена на острие эмиттеров отвечает этим требованиям. Однако влияние конструктивных параметров остриев эмиттеров на эмиссионные характеристики матричных автоэмиссионных катодов еще недостаточно изучены.

Для повышения рабочих токов в автокатадах применяют матричные автоэмиссионные катоды в форме острия. Важный фактор, влияющий на эмиссионный ток в матричных автокатадах, – плотность упаковки единичных эмиттеров. Максимальное число единичных автокатодов на единицу площади должно выбираться с учетом эффекта экранирования.

Целью работы является определение влияния конструктивных параметров матричных остриев эмиттеров с пленкой графена на поверхности SiC на распределение напряженности поля в межэлектродном пространстве. Для этого было проведено трехмерное моделирование при следующих параметрах единичного автокатада, которые выбирались на основе ранее проведенных нами экспериментальных и теоретических исследований: высота автоэмиссионного катода – 50 нм - 3 мкм, радиус закругления вершины автоэмиссионного катода – 10 нм, полуугол раствора конуса, образующего катод $\alpha = 10^\circ$, межэлектродное расстояние – 10 - 50 нм, расстояние между вершинами автоэмиссионных катодов – 50 - 500 нм, разность потенциалов – 4 В [1, 2]. Широкий диапазон величин межэлектродного расстояния, высоты автоэмиссионных катодов и расстояния между вершинами автокатодов позволил определить оптимальные параметры матричного остриев автокатада. Для устранения влияния эффекта экранирования достаточно, чтобы значение межэлектродного расстояния было в пять раз меньше чем высота и расстояние между вершинами автокатодов.

Результаты работы были получены с использованием оборудования Центра коллективного пользования и научно-образовательного центра «Нанотехнологии» Южного федерального университета.

Исследование выполнено в рамках проектной части государственного задания в сфере научной деятельности (Задание №16.1154.2014/К).

1. Охрименко О.Б., Конакова Р.В., Светличный А.М. и др. // Nanosystems, Nanomaterials, Nanotechnologies. 2012. Vol. 10. № 2. P. 335-342.
2. Svetlichnyi A.M., Ageev O.A., Volkov E.Yu., et. al. // Applied Mechanics and Materials. 2015. Vol. 752-753. P. 163-167.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РОСТА ГРАФЕНА НА МЕДНОЙ ПОДЛОЖКЕ МЕТОДОМ CVD

Е.В. Зайцев, Е.С. Куркина

Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева, Москва, Россия
gliese3@gmail.com

Графен поистине можно считать одним из материалов XXI века за уникальное сочетание свойств: химическая инертность, высочайшая подвижность носителей заряда, высокая теплопроводность, самое большое значение модуля Юнга среди известных на сегодня материалов и др. [1]. Однако, максимальные значения вышеуказанных свойств достигаются только в графене с правильной структурой, поэтому проблема выращивания графена приемлемого для применения качества стоит очень остро.

Метод механического отшелушивания Гейма и Новоселова — *эксфолиация* — графитовых чешуек является непревзойденным способом получения бездефектного графена, но он не применим в промышленных масштабах.

Одним из наиболее перспективных методов в этом свете видится процесс химического осаждения из газовой фазы на поверхность подложки углеродсодержащих частиц (метод CVD). Данный способ включает в себя огромное количество конкретных методик получения графена [2], но всех их объединяет недостаток понимания физико-химических процессов, происходящих при формировании графена на поверхности.

В настоящей работе газовой фазы сделана попытка устранить этот пробел. На основе [3] была разработана кинетическая схема роста графена на медной фольге, отобраны атомарные структуры и элементарные реакции, построены макроскопическая и микро-скопическая стохастическая модели этого процесса. В основе макроскопической модели лежит система ОДУ относительно концентраций углеродных структур. Решеточная микро-скопическая модель рассчитывается методом Монте-Карло. Проведены расчеты и параметрический анализ моделей. Выявлены факторы, влияющие на качество графена.

1. Губин С.П., Ткаченко С.В. // Наносистемы. 2010. Т. 2, № 1-2. С. 99-137.
2. Frank O., Kalbac M. // Graphene. 2014. P. 27-49.
3. Whitesides R., Frenklach M. // Physical Chemistry. 2010. V. 114. N 2. P. 689-703.

**МОДЕЛИ ПОДВИЖНОСТИ, НАСЫЩЕНИЯ И ВОЛЬТАМПЕРНЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК ГРАФЕНОВЫХ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ**

Г.И. Зебрев, К.С. Земцов, С.А. Шостаченко

Национальный Исследовательский Ядерный Университет МИФИ, Москва, Россия
gizebrev@mephi.ru

Одним из наиболее вероятных применений графена в электронике являются высокочастотные графеновые полевые транзисторы (ПГТ) для использования в системах высокопроизводительной связи. Для использования таких транзисторов в составе высокочастотных усилителей необходимо наличие в их вольтамперных характеристиках участка насыщения тока. В докладе будут обсуждаться два механизма насыщения тока: электростатическое запираение и насыщение дрейфовой скорости носителей. Насыщение дрейфовой скорости в графене возникает при определенных условиях за счет рассеяния на оптических фонах, которые также влияют на подвижность и быстродействие прибора. С другой стороны, запираение тока является приборным эффектом, связанный с электростатической конфигурацией полевого транзистора. В бесщелевом графене этот эффект подавляется за счет квантовой генерации электронно-дырочных пар в сильных тянущих полях канала ПГТ. Эффекты влияния рассеяния на краях ПГТ на подвижность носителей и баллистические эффекты будут также учтены в предложенной модели подвижности и вольтамперной характеристики графеновых полевых транзисторов.

**МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СПИНТРОНИКИ:
УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ СТРУКТУРОЙ И МАГНИТИЗМОМ
В БИСЛОЕ НАНОЛЕНТ ГРАФЕНА**

В.В. Илясов, В.Ч. Нгуен

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия
viily@mail.ru

Двухслойные графеновые наноленты типа зигзаг BZGNRs, наряду с однослойными, являются важнейшей углеродной одномерной наноструктурой для создания электронных устройств, сенсоров, солнечных элементов и накопления энергии и содержат в себе разнообразие удивительных физических и химических свойств, благодаря их особым краевым состояниям и размерным эффектам. В докладе представлены результаты *ab initio* изучения модуляции электронной структуры и краевого магнетизма в полупроводниковой гетероструктуре AF-8-BZGNR/h-BN(0001) с помощью электрического поля и наномеханического сжатия, выполненного в рамках теории функционала плотности с использованием схемы Гримме DFT(PBE)-D2. Впервые для гетероструктуры AF-8-BZGNR/h-BN(0001) с антиферромагнитным упорядочением установлены критические значения поперечного электрического поля и межслоевого расстояния в бислое, обеспечивающих фазовый переход полупроводник–полуметалл–металл для одной из спиновых электронных конфигураций [1]. Открыт эффект сохранения локального магнитного момента ($0.3 \mu_B$) на крайних атомах углерода нижней (буферной) наноленты графена при наномеханическом одноосном сжатии (или растяжении) полупроводниковой гетероструктуры AF-8-ZGNR/h-BN(0001). Показано [1], что магнитные свойства полупроводниковой гетероструктуры AF-8-ZGNR/h-BN(0001) могут управляться электрическим полем. В частности, при критическом значении положительного потенциала величина локального магнитного момента на крайних атомах углерода уменьшается на 10%. Нами установлено [1], что локальные магнитные моменты и полосы запрещенных энергий могут быть изменены в широких пределах наномеханическим одноосным сжатием и поперечным электрическим полем, что делает полупроводниковую гетероструктуру AF-8-ZGNR/h-BN(0001) потенциально перспективной для использования в наносенсорах, спин-фильтрующих устройствах, спинтронике.

1. V.V. Ilyasov, B.C. Meshi, V.C. Ngyen et al. Solid State Com. Vol. 199 (2014) 1-10.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ И СТРУКТУРНЫХ СВОЙСТВ МНОГОСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ПРИ ИОННЫХ И ТЕРМИЧЕСКИХ ОБРАБОТКАХ

В.В. Болотов, В.Е. Кан, Р.К. Макушенко, И.В. Пономарёва

Омский научный центр СО РАН, Омск, Россия
kan@obisp.oscsbras.ru

Для практического применения многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ) в микроэлектронике необходимо получение нанотрубок с заданными электронными свойствами, поэтому необходима разработка методов управления электронными свойствами и структурой МУНТ. Целью настоящей работы являлось изучение структуры и электронных свойств МУНТ методами спектроскопии КРС и ЭПР при облучении ионами аргона и последующих термообработках.

Спектроскопия КРС показывает, что обработка ионами аргона, независимо от энергии и дозы, приводит к аморфизации стенок МУНТ. После отжига при $T=900\text{ }^{\circ}\text{C}$ наблюдается спектр КРС, характерный для разупорядоченных графитов – присутствуют широкие, но различимые D- и G-полосы (см. Рис. 1, [1]).

После облучения слоев МУНТ ионами аргона общее количество спинов (площадь под интегральным сигналом ЭПР) снижается по отношению к исходному образцу. При термообработках наблюдается частичное восстановление числа спиновых центров в образцах.

Результаты проведенных исследований показывают, что введение структурных дефектов ионами аргона с энергиями 5-15 кэВ приводит к значительной деградации структуры МУНТ. Внедренные структурные дефекты, вероятно, действуют как ловушки и тем самым снижают концентрацию свободных носителей. Термоотжиги при температурах выше $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ активируют перестройку структурных дефектов, благодаря чему растёт среднее расстояние между дефектами в графеновых стенках МУНТ. При температурах отжига около $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ происходит частичная графитизация аморфизированных МУНТ и рост концентрации электронов проводимости. Сочетание ионных обработок и термоотжигов в инертной атмосфере имеет перспективы для управления электронными и структурными свойствами МУНТ.

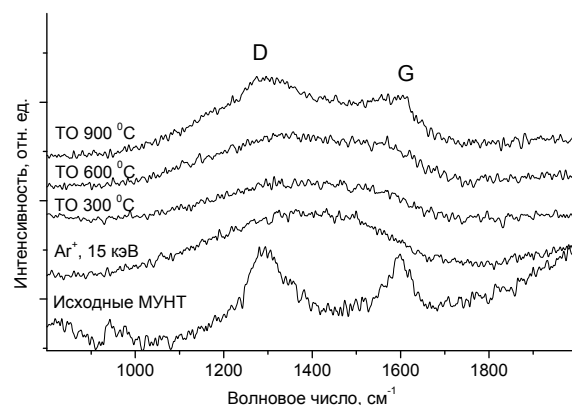


Рис. 1. Спектры КРС МУНТ при ионных и термических обработках

Работа выполнена при частичной поддержке грантов РФФИ № 14-08-31448-мол_a и № 15-48-04134-р_Сибирь.

1. Krashennnikov A. V., Nordlund K. // J. Appl. Phys. 2010. V. 107. 071301.

АНИЗОТРОПИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБ, ОРИЕНТИРОВАННЫХ В МАТРИЦЕ

М.А. Каныгин^{1,2}, Н.Р. Арутюнян³, А.С. Саушин⁴, Г.М. Михеев⁴,
Е.Д. Образцова³, Л.Г. Булушева^{1,2}, А.В. Окотруб^{1,2}

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

²*Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия*

³*Институт общей физики им. А.М. Прохорова, Москва, Россия*

⁴*Институт механики УрО РАН, Ижевск, Россия*

mkanygin@gmail.com

Композиционные материалы на основе диэлектрических матриц полимеров и углеродных наполнителей зарекомендовали себя в качестве материалов, эффективно взаимодействующих с электромагнитным излучением в широком спектральном диапазоне. Такие материалы характеризуются высокими поглощающими характеристиками. Использование в качестве наполнителя углеродных нанотрубок и их упорядочение в матрице позволяет добиться эффективного взаимодействия материала с электромагнитным излучением, что перспективно для ряда оптических приложений.

Ранее было показано, что метод многократного механического вальцевания позволяет получить композиционные материалы с достаточно однородным распределением наночастиц наполнителя в полистирольной матрице с их преимущественной ориентацией в образце в плоскости вальцевания [1, 2]. Исследование оптических свойств анизотропных композиционных материалов проводилось на для лазерного излучения с длиной волны $\lambda=1064$ нм. Анализ полученных экспериментальных данных показал наличие анизотропии пропускания и рассеяния излучения в зависимости от взаимной ориентации УНТ относительно плоскости поляризации лазерного излучения. При этом максимум поглощения излучения соответствует ориентации образца, при котором направление вальцевания совпадает с направлением поляризации излучения. Отсутствие анизотропии пропускания и рассеяния ИК излучения полимерной матрицей свидетельствует о том, что наблюдаемый эффект связан с процессами рассеяния излучения УНТ. В рамках Гауссова распределения УНТ по направлениям было проведено сопоставление экспериментальных данных пропускания ИК излучения с результатами моделирования, что позволило провести численную оценку средней разориентации УНТ в плоскости образца. Аналогичная величина разориентации была получена из экспериментальных данных поляризационной КР-спектроскопии.

1. Kanygin M.A., Sedelnikova O.V., Bulusheva L.G., Okotrub A.V. // Int. J. of Nanotechnology 2015. V. 12, No. 3/4, p. 182–191.

2. Kanygin M.A., Selyutin A.G., Okotrub A.V., Bulusheva L.G. // Fuller. Nanotub. Car. N. 2012. V. 20, p. 523–526.

ПОЛУЧЕНИЕ ТЕРМОРАСШИРЕННОГО ГРАФИТА И ЕГО СОРБЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ

А.Г. Катанова, Г.Н. Александров, А.Н. Капитонов

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова
Anna-nyurova@mail.ru

Уникальные свойства терморасширенного графита позволяют в мире активно развиваться направлениям, связанным с разработкой сорбентов и уплотнителей нового поколения на его основе для предприятий нефтепереработки, нефтетранспорта, нефтехимии, химии, экологии, автомобилестроения и других отраслей [1].

Целью работы является исследование сорбционной способности терморасширенного графита (ТРГ), полученного на основе ноу-хау лаборатории «Графеновые нанотехнологии» СВФУ.

Подготовка пробы проводилась путем интеркалирования очищенного графита фирмы Aldrich в кислой среде и последующим действием, так называемого термического удара интеркалированного графита, т.е. резкого подъема температуры со скоростью 400-600°C в секунду до почти 1000°C. Термоудар проводился в трубчатой печи Nabertherm RS 80/300/11. При этом наблюдалось увеличение объема графита в 43 раза вследствие взрывного разложения внедренной в межслоевое пространство кислоты с выделением газообразных продуктов распада.

Характеризацию свойств ТРГ проводили методами рентгеноструктурного анализа, рН-метрии, сорбтометрии при разных температурах и измерениями его плавучести.

Сравнение рентгенограмм исходного графита и ТРГ, полученных на порошковом рентгеновском дифрактометре ARLX'Tra фирмы ThermoFisherScientific (Швейцария), показало уменьшение у ТРГ интенсивности пика, соответствующего межслоевому расстоянию 0,3 нм по причине появления областей с увеличенными межслоевыми расстояниями в результате термоудара.

Проверка водородного показателя взвеси ТРГ в пресной и соленой воде показала величины 7,17 и 6,47 соответственно, что свидетельствует о достаточно полном удалении продуктов распада кислоты из графита под действием термоудара.

Плавучесть ТРГ в пресной и соленой воде составила не менее 400 дней, в то время, как ЗАО «Газтурбо» декларирует 100 дней.

Измерения поглотительной способности полученного терморасширенного графита показали те же весовые коэффициенты поглощения что и у СТРГ, промышленного аналога ЗАО «Газтурбо». Полученный терморасширенный графит предлагается использовать в качестве сорбирующего материала с широким спектром действия с коэффициентом поглощения 50 г/г.

1. М.Ю. Белова. Графит, ИГ и ТРГ (краткий обзор), <http://www.twirpx.com/file/1391361/>

ТРАНСПОРТНЫЕ И СЕНСОРНЫЕ СВОЙСТВА ФТОРИРОВАННОГО ГРАФЕНА

М.В. Катков^{1,2}, В.И. Сысоев¹, А.В. Гусельников¹, Л.Г. Булушева^{1,2}, А.В. Окотруб^{1,2}

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

²*Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия*

katkovmi@gmail.com

Графен представляет собой двумерный материал, состоящий из одного слоя графита. Его уникальные электронные свойства вызывают большой интерес как с фундаментальной, так и с практической точек зрения. Тем не менее, отсутствие энергетической щели в зонной структуре графена и химическая инертность его поверхности могут существенно ограничивать использование этого материала в электронике. Функционализация является эффективным механизмом изменения электрических свойств графена, который позволяет создавать настраиваемую запрещённую зону, барьер в местах функционализации и т.д. Кроме того, активные центры на поверхности, такие как дефекты и функциональных группы, значительно увеличивают сенсорные свойства графена.

В данной работе мы используем фторирование как способ функционализации графена. Высоко ориентированный пиролитический графит (ВОПГ) и природный графит были фторированы посредством агента BrF_3 . Фторированные чешуйки графена были отделены механической эксфолиацией, подвержены последующей обработке ультразвуком в толуоле и нанесены на подложку SiO_2/Si . Содержание фтора контролировалось либо временем воздействия и концентрацией BrF_3 в растворе Br_2 , либо посредством степени восстановления фторида графита C_2F . Используя метод Ван-дер-Пау, мы измеряли сопротивление образцов в зависимости от содержания фтора, который показывает минимум в области разрыва сопряженной связи. Мониторинг степени восстановления фторированного графена и определение электрического отклика на воздействии аммиака проводилось посредством измерения удельного сопротивления. Нами было экспериментально показано, что сенсорные свойства графена существенным образом зависят от степени фторирования, также обнаружена корреляция энергии адсорбции аммиака с числом атомов фтора посредством использованием квантово-химических расчетов.

1. K.S. Novoselov, A.K. Geim, S.V. Morozov, D. Jiang, Y. Zhang, S.V. Dubonos, I.V. Grigorieva, A.A. Firsov, *Science* (2004) 306, 666.
2. F. Schedin, A. K. Geim, S. V. Morozov, E. W. Hill, P. Blake, M. I. Katsnelson and K. S. Novoselov, *Nat. Mater* (2007) 6, 652.
3. Okotrub A.V., Babin K.S., Gusel'nikov A.V., Asanov I.P., Bulusheva L.G, *Phys. Status Solidi B* (2010) 247, 3039.
4. A.V. Okotrub, I.P. Asanov, N. F. Yudanov, K.S. Babin, A.V. Gusel'nikov, T.I. Nedoseikina, P.N. Gevko, L.G. Bulusheva, Z. Osváth, and L.P. Biró, *Phys. Status Solidi B* (2009) 246, 2545.

ГРАФЕНОПОДОБНЫЕ МАТЕРИАЛЫ КАК ПЕРСПЕКТИВНАЯ ОСНОВА БИОТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Р.Г. Василов¹, В.В. Кашин², В.В. Колесов², А.Н. Решетилов³

¹Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт", Москва, Россия
vasilov@nrcki.ru

²ФГБУН Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,
Москва, Россия
vvkashin@cplire.ru, kvv@cplire.ru

³ФГБУН Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрыбина РАН,
Пушино, Россия
anatol@ibpm.pushchino.ru

Одним из новейших на сегодняшний день направлений поиска способов генерации электрической энергии является разработка технологии микробных топливных ячеек. В них биоматериал – бактериальные клетки, их мембранные фракции или ферменты – окисляют неорганику (газообразный водород) или органику (глюкоза, спирт), продуцируя электрический потенциал. Выбор бактерий для разработки биотопливных элементов (БТЭ) связан с возможностью безмедиаторного транспорта электронов. Для разработки БТЭ на основе иммобилизованных микроорганизмов чрезвычайно важен выбор материала электрода, который должен удовлетворять целому ряду требований. Он должен обеспечивать хорошую электропроводность, химическую стойкость, биосовместимость, высокую удельную поверхность и возможность дальнейшей технологической обработки, армирование или введение в композитные материалы. Перспективными в этом отношении являются нанокремниевые материалы, такие, как графен и терморасширенный графит (ТРГ). На основе ТРГ создан листовой материал для биоанода топливного элемента на основе мембранных фракций бактерий *G. oxydans*, иммобилизованных на поверхности электродов, исследовались нагрузочные характеристики. В работе проведен анализ существующих подходов к созданию БТЭ, выполнено сравнение использования микроорганизмов и ферментов в качестве биоматериала БТЭ, дана оценка использования графеноподобных материалов как перспективных электродов БТЭ.

1. Решетилов А.Н., О.Н. Пономарева, Т.А. Решетилова, В.А. Богдановская. Генерация электрической энергии в биотопливном элементе на основе клеток микроорганизмов. Вестник биотехнологии и физико-химической биологии им. Ю.А.Овчинникова. 2005. Т. 1(2). С. 54-62.
2. Алферов С.В., Л.Г. Томашевская, О. Н.Пономарева, В.А. Богдановская, А.Н. Решетилов. Анод биотопливного элемента на основе бактериальных клеток *Glucanobacter oxydans* и медиатора электронного транспорта 2,6-дихлорфенолиндофенола. Электрохимия. 2006. Т. 42. № 4. С. 456-457.
3. Кашин В.В., Колесов В.В., Крупенин С.В., Паршинцев А.А., Решетилов А.Н., Солдатов Е.С. Разработка и исследование молекулярного нанобиосенсора на основе фермента глюкозооксидазы, РЭНСИТ, 2013, Т. 5, № 2, С 45-61.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕТЕРОСТРУКТУР НА ОСНОВЕ ДИСУЛЬФИДА МОЛИБДЕНА, ДЕКОРИРОВАННОГО МОЛЕКУЛАМИ ФУЛЛЕРЕНОВ

А.Г. Квашнин^{1,2,3}, А.А. Артюх³, П.Б. Сорокин^{1,2,3}, Л.А. Чернозатонский³

¹Технологический институт сверхтвердых и новых углеродных материалов, ²Московский физико-технический институт (государственный университет)

³Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН

В настоящее время возрос интерес к композитным материалам с новыми физическими свойствами, отличными от свойств участвующих в них компонент. Это фуллерены внутри углеродных наноструктур, таких как нанотрубы (“пиподы” $C_{60}@CNT$ [1]) или между графеновыми слоями [2,3], фуллерены C_{60} с нанотрубками, функционализированными карбоксильными группами [4], или образование «шубы» из плотно-упакованных фуллеренов “приклеенных” к поверхности УНТ силами Ван-дер-Ваальса [5].

Важность экспериментального и теоретического получения различных модификаций материалов на основе фуллеренов C_{60} и нанотрубок MoS_2 диктуется, прежде всего, широкой перспективой их применения в фотовольтаике. Известно, что фуллерены являются акцепторами электронов и хорошо возбуждаются светом. Даже если между фуллереном C_{60} и нанотрубкой MoS_2 нет химической связи, то фотоэлектроны, захваченные фуллеренами, легко переносятся на нанотрубку, что повышает энергетику преобразования света в электричество [6].

В данной работе рассмотрены новые молекулярные структуры на основе нанотрубок и монослоя MoS_2 и молекул фуллеренов C_{60} , состоящие из слоя плотноупакованных фуллеренов, декорирующих нанотрубку или монослой MoS_2 .

Расчет геометрии и полных энергий структур проводился методом классической молекулярной механики с использованием программного пакета LAMMPS. [7]

Особый интерес был уделен наноструктуре, состоящей из монослоя MoS_2 с молекулами C_{60} на поверхности. Был построен энергетический спектр $E(k)$ для квазидвумерной системы MoS_2/C_{60} , который говорит о том, что молекулярное взаимодействие фуллеренов со слоем приводит к образованию минизон из большого числа ветвей, связанных со снятием вырождения уровней C_{60} . Этот факт дает перспективу применения этой системы в фотовольтаике.

Работа выполнена при поддержке российского научного фонда №14-12-01217.

1. O’connell MJ, editor. Carbon nanotubes: Properties and application. FL, USA: CRC Press; 2006.
2. Ishikawa M., Kamiya S., Yoshimoto S., Suzuki M., Kuwahara D., Sasaki N., Miura K. // J. Nanomat. 2010. V. 2010. P. 891517.
3. Saito S., Oshiyama A. // Phys. Rev. B. 1994. V. 49. P. 17413.
4. Li C., Chen Y., Wang Y., Iqbal Z., Chhowalla M., Mitra S. // J. Mat. Chem. 2007. V. 17. P. 2406-2411.
5. Чернозатонский Л.А., Артюх А.А., Демин В.А.// Письма в ЖЭТФ, 2013, том 97, вып. 2, с. 119–126.
6. Sariciftci N.S., Braun D., Zhang C., Srdanov V.I., Heeger A.J., Stucky G., Wudl F. // Appl. Phys. Lett. 1993. V. 62. P. 585.
7. Plimpton S. // J. Comp. Phys. 1995. V. 117. N. 1. P. 1-19

МОДЕЛЬ СВЕРХТВЕРДОГО УГЛЕРОДНОГО НАНОКОМПОЗИТА

Ю.А. Квашнина^{1,2}, А.Г. Квашнин^{1,2}, Л.А. Чернозатонский³, П.Б. Сорокин^{1,2,3}

¹Технологический институт сверхтвердых и углеродных материалов,
Троицк, Москва, Россия
jakvashnina@tisnum.ru

²Московский физико-технический институт, Долгопрудный, Россия

³Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля, Москва, Россия

Ожидается, что материалы на основе производных графена, например, фуллеренов, будут проявлять сверхвысокую твердость. Так в экспериментальных работах [1, 2] была получена сверхтвердая фаза 3D-полимеризованного C₆₀, названная «тиснумит» с твердостью и объемным модулем упругости значительно превышающие упругие характеристики алмаза. В зависимости от условий синтеза объемный модуль «тиснумита» колебался от 540 до 1360 ГПа [1, 2], а твердость составляла около 150 ГПа. Однако атомная структура полученного материала окончательно не была установлена. Ранее был проведен теоретический анализ полученного материала [3] и предложена модель полимеризованного фуллерита [3], которая хорошо согласовалась с экспериментальной картиной рентгеновской дифракции [1, 2]. Полученные данные позволили сделать предположение, что увеличение жесткости полимеризованного фуллерита происходит в результате механического напряжения, вызванного окружающим углеродом, например, алмазом.

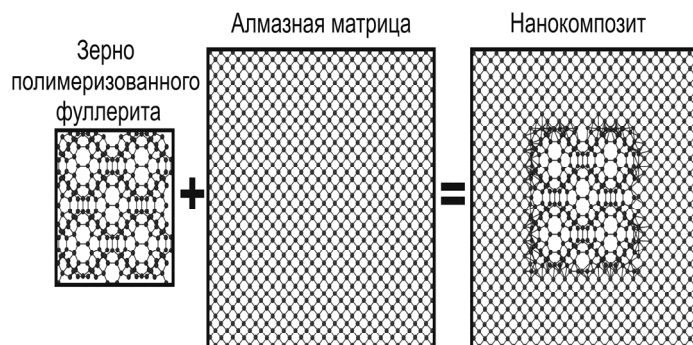


Рис. 1. Атомная структура предложенной модели ультратвердого углеродного наноккомпозита

В данной работе предложена модель нового углеродного наноккомпозита, состоящего из сжатого полимеризованного фуллеритового зерна [4], окруженного монокристаллической алмазной матрицей (Рис. 1). В работе детально исследована атомная структура наноккомпозита и получено хорошее согласие с экспериментальными данными. Рассчитан объемный модуль упругости наноккомпозита в зависимости от размера фуллеритового зерна и толщины окружающей алмазной матрицы. Получено большое увеличение объемного модуля упругости от 590.45 ГПа до 1712.12 ГПа, которое находится в хорошем согласии с экспериментальными данными [1, 2]. В работе также изучена природа ультратвердости этого уникального материала, анализируя его атомную структуру, и построено распределение локального объемного модуля наноккомпозита. Полученные данные показали, что сжатое зерно полимеризованного фуллерита в алмазной матрице значительно превышает значение объемного модуля по отношению к объемному модулю алмаза.

- Blank V., Buga S., Serebryanaya N., Denisov V., Dubitsky G., Ivlev A., Mavrin B., Popov M. // *Physics Letters A*. 1995. V. 205. N. 2-3. P. 208-216.
- Blank V., Buga S., Serebryanaya N., Dubitsky G., Mavrin B., Popov M., Bagramov R., Prokhorov V., Sulyanov S., Kulnitskiy B., Tatyaniin Y. // *Carbon*. 1998. V. 36. N. 5-6. P. 665-670.
- Chernozatonskii L., Serebryanaya N., Mavrin B. // *Chemical Physics Letters*. 1999. V. 316. N. 3-4. P. 199-204.
- M. O'Keeffe // *Nature*. 1991. V. 352. P. 674.

BN-ГРАФЕН И ГРАФЕН-ГРАФЕН СЛОИСТЫЕ НАНОСТРУКТУРЫ. АТОМНАЯ СТРУКТУРА И ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА

Д.Г. Квашнин¹, Л.Ю. Антипина², П.Б. Сорокин^{1,2}, Л.А. Чернозатонский¹

¹*Институт биохимической физики им. Н. М. Эмануэля РАН, Москва, Россия*
dgkvashnin@gmail.com

²*Технологический институт сверхтвердых и новых углеродных материалов, Троицк, Москва, Россия*

В настоящее время основной темой для обсуждения научным сообществом является двумерный материал графен, а также слоистые структуры на его основе. В силу уникальных механических, электронных и оптических свойств графен является перспективной основой для создания слоистых структур и гетероструктур для использования в качестве элементов наноэлектронных устройств. Однако стоит отметить, что основным недостатком графена для применения в полупроводниковой наноэлектронике является его полуметаллическая проводимость и отсутствие запрещенной зоны. Возможными способами получения запрещенной зоны в графене могут являться использование двухслойного графена и создание слоистых гетероструктур на основе графена и двумерных аналогов, таких как гексагональный нитрид бора (*h*-BN).

В данной работе было проведено исследование двухслойных гетероструктур на основе графена и *h*-BN и наноструктур на основе двухслойного графена с периодически расположенными гексагональными дырками. Показана возможность получения подобных объектов и изучены их электронные свойства. Получена сильная зависимость электронных свойств от геометрических параметров структур – от полупроводниковых до металлических.

Часть результатов, полученных в ходе данных исследований, опубликованы в журналах *Physical Chemistry Chemical Physics* [1] и *Nano Research* [2].

Работа выполнена при поддержке российского научного фонда №14-12-01217. Все вычисления, проведенные в работе, выполнены с использованием ресурсов межведомственного суперкомпьютерного центра Академии наук и суперкомпьютерного комплекса МГУ «Ломоносов».

1. Kvashnin D.G., Bellucci S., Chernozatonskii L.A. // *Phys. Chem. Chem. Phys.* 2015. Т. 17. С. 4354.

2. Kvashnin D.G., Vancsó P., Antipina L.Yu., Márk G.I., Biró L.P., Sorokin P.B., Chernozatonskii L.A. // *Nano Research*, (Accepted 2015).

ИССЛЕДОВАНИЕ КАТАЛИЗАТОРОВ Pt/МАЛОСЛОЙНЫЙ ГРАФЕН И Pt/N-МАЛОСЛОЙНЫЙ ГРАФЕН МЕТОДАМИ ФОТОЭЛЕКТРОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ И ПЭМ

Л.С. Кибис^{1,2}, Е.Д. Грайфер³, О.А. Стонкус^{1,2}, Е.М. Славинская^{1,2},
В.Е. Федоров^{2,3}, А.И. Боронин^{1,2}

¹ *Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, Новосибирск, Россия*
kibis@catalysis.ru

² *Новосибирский Государственный Университет, Новосибирск, Россия*

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

Композиты, представляющие собой частицы металлов, нанесенных на материалы на основе графена, активно исследуются на протяжении последних 10 лет как потенциальные катализаторы для многих важнейших каталитических реакций. В нашей работе, с привлечением методов просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) и фотоэлектронной спектроскопии (ФЭС) с использованием синхротронного излучения (СИ), было проведено исследование систем на основе наночастиц платины, закрепленных на малослойном графене (МСГ) и МСГ, модифицированном азотом (N-МСГ). Каталитическая активность образцов была изучена на примере реакции окисления СО.

Результаты исследования показали, что как для Pt/МСГ, так и для Pt/N-МСГ систем в каталитической реакции наблюдались автоколебания скорости окисления СО в температурном диапазоне выше 200⁰С, однако их природа была различной. Катализаторы, нанесенные на не модифицированный носитель, характеризовались колебаниями с большей амплитудой и частотой. Активный компонент (АК) представлял собой частицы порядка 2 нм, образующие агломераты. После реакции агломераты спекались с образованием дефектных частиц размером ~ 50 нм. Согласно данным ФЭС исходные частицы платины находились в металлическом состоянии ($E_{св}(Pt4f) \sim 71.2-71.4$ эВ). После реакции в режиме осцилляций в спектрах Pt4f появлялась дополнительная компонента, соответствующая окисленным формам платины PtO_x ($E_{св}(Pt4f) \sim 72-73$ эВ). Исследования ФЭС с привлечением СИ показали, что окисленные структуры платины формируются только на поверхности, образуя тонкую пленку толщиной в несколько монослоев. Эти данные указывают, что для образцов Pt/МСГ осцилляции связаны с обратимым переходом Pt⁰ ↔ PtO_x. В случае образцов, содержащих азот, образование подобной тонкой пленки PtO_x не наблюдалось. Более того, интенсивность сигнала платины Pt4f после реакции увеличивалась, свидетельствуя о росте дисперсности частиц АК, либо об их выходе на поверхность.

Таким образом, модификация носителя азотом приводит к изменению свойств материала, что находит отражение в различном каталитическом поведении образцов.

Синтез катализаторов был выполнен в рамках гранта Российского научного фонда (№ 14-13-00674). Физико-химические и каталитические исследования поддержаны проектом базового бюджетного финансирования № V.44.1.16 программы СО РАН V.44.1.

КОЛЛОИДНЫЕ ДИСПЕРСИИ ДИСУЛЬФИДА МОЛИБДЕНА

М.Н. Козлова¹, Н.А. Небогатикова², Т.Ю. Подлипская¹, Е.Д. Грайфер¹, В.Е. Фёдоров¹

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

²Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Новосибирск, Россия
kozlovamariia@list.ru

В связи с открытием уникальных свойств графена в последнее время повышенное внимание уделяется родственным низкоразмерным материалам. Типичным представителем слоистых соединений является дисульфид молибдена 2H-MoS₂, слоистая структура которого позволяет провести расщепление объемного материала до наноразмерных образцов посредством ультразвуковой обработки в различных растворителях. В процессе такой обработки образуются коллоидные дисперсии. Основными характеристиками таких дисперсий являются средние размеры и ширина распределения размеров частиц, т.к. от этих параметров во многом зависят свойства дисперсий.

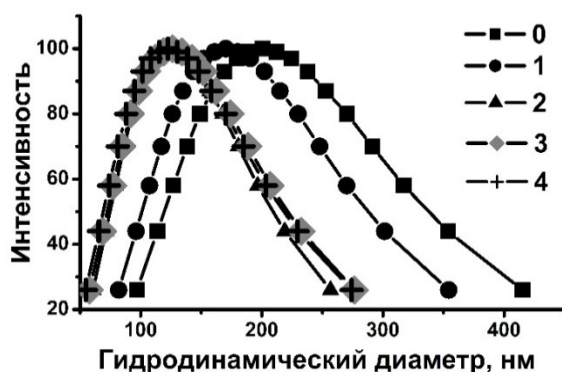


Рис. 1. Распределение гидродинамического диаметра в зависимости от условий центрифугирования

В данной работе свойства коллоидных дисперсий MoS₂ в диметилформамиде изучены набором физико-химических методов: спектроскопией электронного поглощения, атомно-силовой микроскопией, просвечивающей электронной микроскопией, фотон-корреляционной спектроскопией. Твердые фазы коллоидных дисперсий изучены с помощью КР-спектроскопии, энергодисперсионного рентгеновского анализа и порошковой дифрактометрии. Полученные данные подтверждают высокую степень расщепления дисульфида молибдена – вплоть до наноллистов толщиной в несколько слоев. Исследовано влияние некоторых экспериментальных условий на стабильность коллоидных дисперсий и их концентрацию. Определено влияние условий центрифугирования на распределение размеров частиц. Показано, что при последовательном центрифугировании дисперсий на каждой стадии центрифугирования уменьшаются средние размеры частиц в дисперсии. Так, в серии экспериментов 0-4 (см. Рис. 1) при увеличении числа стадий и скорости центрифугирования средние гидродинамические диаметры уменьшаются от 200 нм до 120 нм, а логнормальное распределение становится в 1,5 раза более узким.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 14-13-00674).

**НАНОЧАСТИЦЫ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ НА ПОВЕРХНОСТИ
РАСЩЕПЛЕННЫХ ДИХАЛЬКОГЕНИДОВ МОЛИБДЕНА**

М.Н. Козлова, Е.Д. Грайфер, В.Е. Фёдоров

Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия
kozlovamariia@list.ru

В последнее время в связи с общим интересом к низкоразмерным материалам проявляется повышенное внимание исследователей к слоистым халькогенидам переходных металлов, обладающих рядом замечательных свойств - электрофизических, оптических, каталитических и др. Нанесение наночастиц различных типов на поверхность наноллистов, получаемых путем расщепления дихалькогенидов, представляет собой эффективный путь функционализации материала и придания ему новых или улучшенных функциональных свойств. Композиционные материалы на основе наноллистов дихалькогенидов молибдена (MoS_2 , MoSe_2), в которых слоистый компонент выполняет роль матрицы, а другим компонентом служат наночастицы благородных металлов (Ag, Au, Pt, Pd), могут применяться в катализе, в качестве сенсоров, для поверхностно-усиленной спектроскопии комбинационного рассеяния, в электрохимии и пр.

Данная работа посвящена синтезу и изучению свойств композитов на основе наноллистов дисульфида и диселенида молибдена с наночастицами серебра, золота, платины и палладия. Наноллисты дихалькогенидов получены с использованием химических методов расслаивания через образование коллоидных дисперсий. Согласно данным высокоразрешающей просвечивающей микроскопии, халькогенидная матрица имеет высокую степень расщепления - вплоть до наноллистов толщиной в несколько слоев. Наночастицы благородных металлов формировались путем восстановления солей-предшественников благородных металлов в присутствии дисперсий дихалькогенидов. Показано, что размеры осажденных частиц составляют от 5 до 20 нм в зависимости от типа системы и экспериментальных условий.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект 15-53-45041).

СИНТЕЗА ГРАФЕНА МЕТОДОМ ГАЗОФАЗНОГО ОСАЖДЕНИЯ НА МЕДИ, ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЛИЯЮЩИХ НА ФОРМИРОВАНИЕ ГРАФЕНА.

И.А. Костогруд^{1,2}, Д.В. Смовж¹

¹Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск, Россия
ikostogrud@gmail.com

²Новосибирский Государственный Университет, Новосибирск, Россия
dsmovzh@gmail.com

Перспективным, относительно недорогим и доступным методом для получения графена высокого качества является химическое газофазное осаждение (CVD) на поверхности таких переходных металлов как Ni, Pd, Ru, Ir, Cu и др. Преимуществом данного метода является масштабируемость получаемых образцов. Трудности этого метода связаны с контролем роста единичного слоя и наличием дефектов в получаемом материале.

В данной работе проведено экспериментальное исследование параметров, определяющих кинетику синтеза графена, полученного CVD методом на меди.

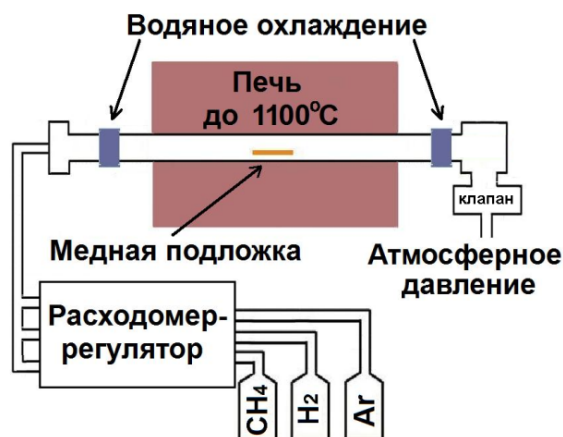


Рис. 1. Схематичное изображение установки для CVD синтеза

Синтез графена осуществлен в термическом реакторе, изображенном на рис.1, при атмосферном давлении на медных подложках. В качестве газа прекурсора использовался метан, в качестве подложек использовалась медная фольга AlfaAesar толщиной 25 мкм. Эксперименты проведены при различных температурах (860 – 1070 °C), составах газовой смеси (Ar+H₂+CH₄), временах экспозиции (5 – 30 мин.), различных скоростях охлаждения образцов. Анализ синтезированных пленок проводился методами оптической микроскопии, спектроскопии комбинационного рассеяния, сканирующей электронной микроскопии.

Получены образцы однослойного и многослойного графена с различной степенью покрытия поверхности. Показано, что определяющими параметрами синтеза являются температура синтеза, концентрация метана и динамика охлаждения образцов.

**ТРАНЗИСТОРНЫЕ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА
И ХИМИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННОГО МУЛЬТИГРАФЕНА**

И.А. Котин, И.В. Антонова, В.Я. Принц

Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Новосибирск, Россия
kotin@isp.nsc.ru

Как известно, графен обладает огромной собственной подвижностью носителей заряда (теоретический предел при комнатной температуре $200\,000\text{ см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$ [1]). Но для того, чтобы получить такую подвижность, необходимы специальные подложки, которые должны быть выполнены из непроводящего материала и должны не взаимодействовать с графеном. Реально же, подложки сильно влияют на свойства графена, приводя к деградации подвижности. Подвижность носителей в графене, лежащем на SiO_2 , наиболее часто используемой подложке для графена, составляет всего около $10\,000\text{ см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$ [2]. Если подвесить графен для уменьшения взаимодействия с подложкой, то значение наблюдаемой подвижности при низкой температуре составляет около $230\,000\text{ см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$ [3]. Однако, такой метод не подходит для создания массивов структур. Наиболее подходящей подложкой для графена считается гексагональный нитрид бора (h-BN). Подвижность в графене на h-BN около $60\,000\text{ см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$ [4], но это относится к образцам очень малой площади, полученных методом механического расслоения. Поэтому для того, чтобы реализовать высокую подвижность в сочетании с возможностью создания большого массива структур, необходимы альтернативные подложки, поиск которых ведется до сих пор.

Ранее нами был разработан метод создания высокоомных гибридных подложек на основе мультиграфена, обеспечивающих высокую подвижность носителей заряда в графене ($16\,000\text{--}42\,000\text{ см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$) и модуляцию тока 3-4 порядка при приложении поперечного электрического поля [5]. В основе данного метода лежит интеркаляция органического растворителя N-метилпирролидона (NMP) в межслойное пространство мультиграфена и последующего отжига при температурах $100\text{--}180^\circ\text{C}$. В результате химической реакции между графеном и NMP сопротивление гибридной структуры возрастает на 6-7 порядков. Далее идет очистка верхнего монослоя графена и восстановление его проводимости.

На основе этого метода в данной работе показана технология создания целого массива транзисторных гетероструктур с использованием мультиграфена, выращенного методом осаждения из газовой фазы (CVD) на медной фольге. В созданных транзисторных гетероструктурах наблюдается высокая подвижность носителей и модуляция тока напряжением на затворе. Описанная технология не имеет ограничений по площади и является перспективной для создания различных электронных устройств.

1. Chen J.H., Jang C. // Nat. Nanotechnol. 2008, Vol. 3, p. 206.
2. Nagashio K., Yamashita T. // J. Appl. Phys. 2011, Vol. 110, 024513.
3. Bolotin K.I., Sikes K.J. // Solid State Commun. 2008, Vol. 146, p. 351.
4. Dean C. R., Young A.F. // Nat. Nanotechnol. 2010, Vol. 5, p. 722.
5. Kotin I.A., Antonova I.V. // J. Phys. D: Appl. Phys. 2013, Vol. 46, 285303.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЗАХВАТА НОСИТЕЛЕЙ В МДП-СТРУКТУРАХ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА И ЕГО ПРОИЗВОДНЫХ

И.А. Котин¹, И.В. Антонова¹, С.А. Смагулова², В.Я. Принц¹

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

²Северо-Восточный Федеральный Университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия
kotin@isp.nsc.ru

Количество ячеек памяти так же, как и количество транзисторов на кристалле, постоянно увеличивается в соответствии с законом Мура. Однако, дальнейшая миниатюризация становится все сложнее. Стоит вопрос о необходимости замены традиционно используемого в качестве плавающего затвора поликремния на новый материал. Одним из кандидатов на роль материала для плавающего затвора является графен и его производные.

Применение графена в качестве плавающего затвора может дать следующие преимущества. Во-первых, графен обладает большой плотностью состояний, что дает возможность захватывать большой заряд, соответственно, окно памяти будет больше. Во-вторых, графен обладает большой работой выхода около 4.5 эВ [1]. Чем больше работа выхода, тем выше потенциальный барьер, который необходимо преодолеть, чтобы произошла разрядка. Таким образом большая работа выхода обеспечивает более длительное хранение информации. В-третьих – графен является двумерным материалом (толщина один атом), что позволяет получать более высокий коэффициент связи элементов памяти. И четвертое – графен является термостабильным до температур 1500°C, что делает его совместимым с современными технологическими операциями по изготовлению энергонезависимой памяти (высокотемпературный отжиг после ионной имплантации для формирования областей стока и истока). Было продемонстрировано успешное применение монослоя графена [2] и мультиграфена [3] в качестве затвора в структурах флэш-памяти.

Кроме самого графена в качестве плавающего затвора может эффективно применяться оксид графена, так как он способен захватывать заряд на ловушки. Считается, что оксид графена по своей структуре неоднороден, и состоит из чередующихся участков чистого нетронутого графена и участков окисленного графена, содержащего гидроксильные, карбонильные и эпоксидные связи [4]. Участки окисленного графена являются изолятором и окружают участки чистого графена. Именно на эти участки и происходит захват носителей. Так же носители могут захватываться на сами связи, гидроксильные и эпоксидные. Еще одно преимущество применения оксида графена – это снижение стоимости, так как технология получения оксида графена очень проста, обладает большим процентом выхода и низкой стоимостью. Поэтому оксид графена также является потенциальным кандидатом на роль плавающего затвора для флэш памяти.

Нами были созданы МДП-структуры с плавающим затвором на основе 4 различных материалов в качестве плавающего затвора (графен, оксид графена, восстановленный оксид графена и фторграфен) и исследованы процессы захвата носителей заряда в них. В каждом материале были определены параметры энергетических уровней, на которых происходит захват носителей. Информация об этих уровнях является важной для понимания процессов, происходящих при захвате и выбросе носителей в элементах флэш-памяти на основе данных материалов, и для разработки дизайна таких элементов.

1. Xu K., Zeng C. // NanoLett. 2013, Vol. 13, p. 131.

2. Hong A.J., Song E.B. // ACS Nano 2011, Vol.5, No.10, p. 7812.

3. Mishra A., Janardanan A. // IEEE Electron Device Letters 2013, Vol. 34, No. 9, p. 1136.

4. Wang S., Pu J. // Appl. Phys. Lett. 2010, Vol. 96, 143109.

КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПОЛИМОРФОВ ГРАФЕНА

А.Е. Коченгин, Е.А. Беленков

Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия
kochengin.ae@gmail.com

Графеновыми слоями, как правило, называют слои гексагонального графена L_6 , однако из трехкоординированных углеродных атомов в состоянии sp^2 -гибридизации возможно формирование ряда других структурных разновидностей графена. Основные полиморфы графена состоят из атомов в одинаковых кристаллографических позициях – это слои L_6 , L_{4-8} , L_{3-12} , L_{4-6-12} . Монослой обычного гексагонального графена L_6 в природе можно обнаружить только как структурные единицы кристаллов графита. Вероятно, что и другие полиморфные разновидности графеновых слоев проще всего сначала синтезировать в виде кристаллов, представляющих собой стопки графеновых слоев соответствующих разновидностей. В данной работе, методом теории функционала плотности в градиентном приближении, выполнен расчет структуры кристаллов четырех основных полиморфных разновидностей графена и их электронных свойств.

В результате расчетов найдены значения параметров элементарных ячеек графеновых слоев и трехмерных кристаллов, сформированных из слоев L_6 , L_{4-8} , L_{3-12} , L_{4-6-12} , рассчитаны координаты атомов в элементарных ячейках [1,2]. Также были вычислены удельные энергии межслоевых связей, энергии сублимации, плотности электронных состояний, а также рассчитана зонная структура, трехмерных кристаллов графена четырех основных структурных разновидностей [3]. Все полиморфы графена должны обладать металлической проводимостью. Структуры слоев L_{4-8} , L_{3-12} , L_{4-6-12} можно рассматривать как деформированные по сравнению со структурой слоя гексагонального графена L_6 . Установлено наличие зависимости энергии сублимации кристаллов графена от степени деформации их структуры, характеризуемой численными значениями параметров Def и Str – чем сильнее деформирована структура, тем меньше энергия сублимации. Наименее деформированная структура и максимальная энергия сублимации у кристаллов L_{4-8} (за исключением полиморфа L_6). Эта полиморфная разновидность, по-видимому, должна быть наиболее устойчива при нормальных условиях и именно ее необходимо пытаться экспериментально получить в первую очередь. Синтезировать новые полиморфы графена можно в результате полимеризации молекулярных соединений, имеющих структуру углеродного каркаса подобную структуре фрагментов слоев L_{4-8} , L_{3-12} , L_{4-6-12} .

1. Коченгин А.Е., Беленкова Т.Е. // Хим. физ. и мезоскопия. 2013. Т.15. № 2. С. 270.
2. Коченгин А.Е., Беленкова Т.Е., Чернов В.М., Беленков Е.А. // Вестн. Челяб. гос. ун-та. Физика. 2013. Т. 25. № 316. С. 40.
3. Беленков Е.А., Коченгин А.Е. // Физ.-хим. аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. 2014. Т. 6. С. 48.

**С-СОДЕРЖАЩИЕ НАНОКОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ
КОБАЛЬТА, НИКЕЛЯ, МОЛИБДЕНА И ВОЛЬФРАМА**Е.А. Трусова¹, К.В. Коцарева¹, А.Н. Кириченко^{1,2}¹*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Москва, Россия*²*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Технологический институт сверхтвердых и новых углеродных материалов, Троицк, Москва, Россия
kotsareva.k@gmail.com*

В последнее десятилетие наблюдается большой интерес исследователей и разработчиков к композитам, содержащим графен или родственные наноформы углерода [1]. Известно, что добавки графена улучшают прочностные, электрические и тепловые свойства композитных материалов. Путем сочетания модифицированного золь-гель синтеза оксидов металлов (ОМ) и методов сонохимии были получены нанокompозиты, предназначенные для материалов электродов Li-батарей. Нитраты кобальта и никеля, паравольфрамат и парамолибдат аммония использовали в качестве источников металлов, N,N-диметилоктиламин - в качестве стабилизатора металл-содержащего золя и суспензии графена. Полученные нанокompозиты исследовали с помощью элементного анализа, ПЭМ, рентгеновской дифракции, КРС- и ИК-спектроскопии. Содержание наноуглерода в композитах составляло 1-12 вес.%. По данным ПЭМ, полученные композиты состояли из кристаллитов ОМ с размером 30-200 нм, покрытых нанометровым полупрозрачным для электронного пучка слоем углерода. Анализ данных КРС-спектроскопии показал наличие в композитах нанографита и отсутствие монокристаллического графита.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, гранты №№ 13-03-00350_a, 14-02-00517_a и 14-03-31007 мол_a.

1. С.П. Губин, С.В. Ткачев, Графен и родственные наноформы углерода: URSS, Москва, 2012. 104 с.

О ФИЗИКЕ ИНТЕРКАЛЯЦИИ ВОДОРОДНОЙ НАНОФАЗЫ ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ В ГИДРИРОВАННЫХ ГРАФИТОВЫХ НАНОСТРУКТУРАХ

Ю.С. Нечаев, В.П. Филиппова

ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», Москва, Россия

Институт металловедения и физики металлов им. Г.В. Курдюмова, Москва, Россия

yuri1939@inbox.ru

Представлены результаты [1, 2] изучения (методами термодинамического анализа ряда часто цитируемых экспериментальных данных) физики интеркаляции нанопазы молекулярного водорода высокой плотности в графитовые наноструктуры (Рис. 1, Рис. 2).

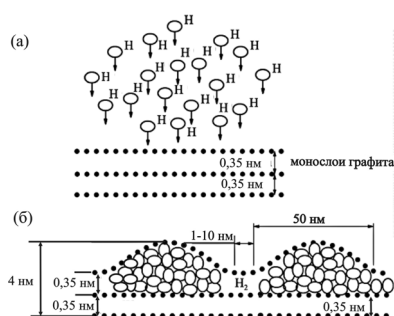


Рис. 1. Модель (Waqar (2007), STM-AFM data) интеркаляции водорода в высоко ориентированном пиролитическом графите посредством образования поверхностных графеновых наноблистеров.

(а) – Начальная стадия процесса, т.е. до воздействия атомарного водорода (H) на поверхностный слой графита.

(б) – Конечная стадия процесса, т.е. после воздействия атомарного водорода (с давлением $P_{H(газ)} \sim 10^{-4}$ Па) на поверхностный слой графита, приводящего к образованию поверхностных графеновых наноблистеров, заполненных интеркалированным газообразным молекулярным водородом с плотностью ~ 0.045 г/см³ (при 300 К), отвечающей сжатию молекулярного водорода до $P_{H_2(газ)} \sim 10^8$ Па ($\sim 10^3$ бар) (за счет энергии ассоциации атомарного водорода в графеновых наноблистерах [1, 2]).

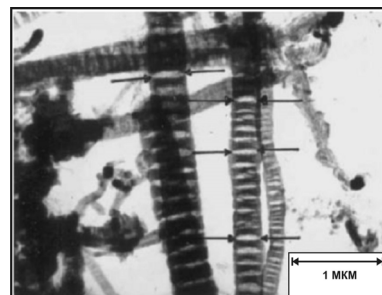


Рис. 2. Микрофотография (Gupta et al. (2004)) гидрированных графитовых нановолокон, состоящих из чередующихся графитовых (полиграфеновых) нанофрагментов (темные полосы на снимке) и разделяющих их щелевидных линзообразных нанополостей (светлые полосы, в т.ч. отмеченные стрелками).

В щелевидных нанополостях, согласно анализу [1, 2], находился интеркалированный твердый молекулярный водород (~ 17 масс. % H₂) высокой плотности (~ 0.5 г/см³), отвечающей «мегабарному» сжатию при 300 К (за счет энергии ассоциации атомарного водорода в закрытых щелевидных нанополостях). Наблюдаемая на микрофотографии линзообразная форма щелевидных нанополостей указывает на наличие остаточной деформации полиграфеновых нанофрагментов, возможной только при высоком поверхностном давлении [1, 2].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 14-08-91376).

1. Nechaev Yu.S., Veziroglu T.N. // International Journal of Physical Sciences, 2015, Vol. 10, Iss. , P. 54-89.
2. Nechaev Yu.S., Philippova V.P., Yurum A., Yurum Yu., Veziroglu T.N. // Journal of Chemical Engineering and Chemical Research, 2015, Vol. 2, Iss. 1, P. 421-457.

СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ 2

ИНТЕНСИФИЦИРОВАНИЕ МИКРОПЛАЗМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ШУНГИТОВОГО НАНОУГЛЕРОДА В ПРОЦЕССЕ ФОРМИРОВАНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НА СПЛАВАХ АЛЮМИНИЯ

А.И. Комаров¹, В.И. Комарова, Н.Н. Рожкова², П.С. Золотая¹

¹Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск, Беларусь
komarova@inmash.bas-net.by

²ФГБУН Институт геологии КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия

В [1] показано, что повышение скорости образования износостойких высокотвердых керамических покрытий (КП), формируемых на сплавах алюминия микродуговым оксидированием (МДО) и их свойств, достигается модифицированием КП в процессе его получения наноалмазами детонационного синтеза и нанокремнеземом, синтезированным электроразрядной обработкой углеводородных жидкостей. В данной работе приведены результаты исследования структурообразования и свойств КП, создаваемых на силумине АК9 под воздействием шунгитового нанокремнезема (ШУ), характеризующегося многоуровневой фрактальной структурой [2]. Это стало возможным благодаря разработанным научным принципам обеспечения седиментационной и агрегативной устойчивости ШУ в электролите. На рис. 1 приведены сравнительные данные по структуре КП, полученных на поверхности силумина АК9 без добавок и с добавками ШУ с концентрацией $C=250-750$ мг/л. Видно, что участие ШУ в МДО-процессе интенсифицирует его, что следует из роста толщины δ с 85 мкм (без добавок ШУ) до 155 мкм (~в 1,8 раз с его добавкой). Установлено, что состав покрытия в обоих случаях представлен оксидами $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (корунд), $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, $\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$ (муллит). Показано, что модифицирование шунгитом приводит к увеличению в составе КП корунда в 7–12 раз и, как следствие, микротвердости покрытия в 1,1–1,4 раза в зависимости от концентрации ШУ.

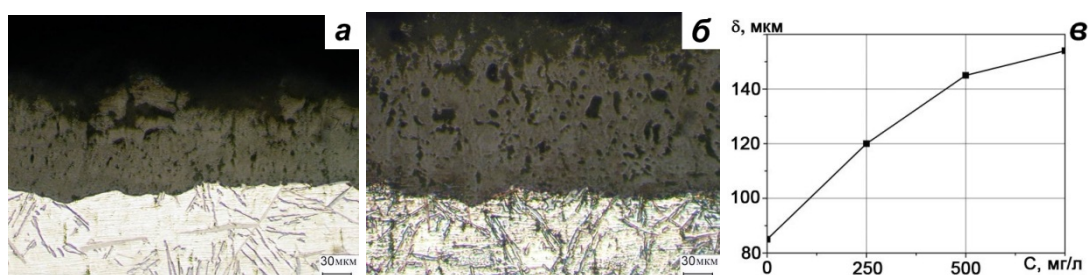


Рис. 1. Микроструктура КП на сплаве АК9, полученного в базовом электролите (а) и с добавкой ШУ 750 мг/л (б); зависимость толщины покрытия от концентрации ШУ в электролите (в)

1. Витязь П.А., Жорник В.И. Ильюшенко, А.Ф., Сеньют В.Т., Комаров А.И. и др. Наноалмазы детонационного синтеза: получение и применение. -Минск: Белорусская наука, 2013, 381 с.
2. Рожкова Н.Н. Нанокремнезем шунгитов. –Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2011, 100 с.

СИНТЕЗ ГРАФЕНА НА ПОДЛОЖКАХ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ЛАНТАНГАЛЛИЕВОГО ТАНТАЛАТА

В.Н. Матвеев¹, О.В. Кононенко¹, Г.Н. Панин^{1,2}, Д.В. Рощупкин

¹*Институт проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН,
Черноголовка, Россия*

oleg@iptm.ru

²*Department of Physics, Quantum-functional Semiconductor Research Center, Dongguk University,
Seoul 100-715, Republic of Korea*

Большое внимание в последнее время уделяется проблеме роста графена на диэлектрических подложках. Для этой цели были предложены два подхода. Первый – это формирование слоев графена на интерфейсе диэлектрическая подложка-металлический катализатор. Другой подход – это рост графена непосредственно на диэлектрической подложке. Были продемонстрированы успешные попытки синтеза графена CVD методом на подложках монокристаллического оксида магния [1] и методом молекулярно лучевой эпитаксии на подложках слюды [2]. В работе [3] была показана возможность синтеза графена непосредственно на подложках аморфного нитрида кремния

В настоящей работе графен был выращен методом однократного напуска ацетилена [4] на подложках монокристаллического лантангаллиевого танталата (лангатат (ЛГТ)). Лангатат представляет собой пьезоэлектрический кристалл, который обладает уникальным сочетанием физических свойств, обеспечивающим применение его в пьезотехнике. Пленки графена на подложках ЛГТ были исследованы методом картирования в рамановском микроскопе SENTERRA фирмы Bruker с длиной волны возбуждающего лазера 488 нм, методом рентгеновской дифрактометрии, а также методом наведенного тока. Исследования показали высокое совершенство пленок графена на подложках ЛГТ, что позволяет использовать их для разработки новых приборов нано- и пьезоэлектроники.

1. Kamoі S., Kim J-G., Hasuіke N., Kisoda K., Harіma H. // Jap. J. Appl. Phys. 2014. V.53. P.05FD06
2. Lippert G., Dabrowski J., Yamamoto Y., Herziger F., Maultzsch J., Lemme M. C., Mehr W., Lupina G. // Carbon. 2013. V.52. P. 40.
3. Chen J., Guo Y., Wen Y., Huang L., Xue Y., Geng D., Wu B., Luo B., Yu G., Liu Y. // Adv. Mater. 2013. V.25. P.992.
4. Матвеев В.Н., Кононенко О.В., Левашов В.И., Волков В.Т., Капитанова О.О. // Патент РФ №2500616.

АНОДНЫЙ СИНТЕЗ БИСУЛЬФАТА ГРАФИТА С ВЫСОКОЙ СТЕПЕНЬЮ ТЕРМОРАСШИРЕНИЯ

Н.Ю. Кузнецова, А.И. Финаенов, Н.В. Тимофеева, В.В. Краснов

*Энгельсский технологический институт(филиал) Саратовского государственного
университета им. Гагарина Ю.А., Энгельс, Россия*
kuz.net.sovaNaTa@yandex.ru

В настоящее время одним из перспективных направлений в области углеродных материалов, является получение графена и графеновых препаратов. Графен как материал обладает высокой электропроводностью, теплопроводностью, механической прочностью. Данные свойства позволяют использовать его для создания новых электронных приборов, наносенсоров, сверхпроводников, суперконденсаторов и др [1].

Известен ряд способов получения графеновых препаратов [2], одним из них является получение высокотерморасщепленных соединений графита (ВТРГ), который характеризуется пониженной насыпной плотностью пенографита ($\leq 1 \text{ г/дм}^3$) [3]. Химическим способом данный материал получают в несколько стадий с использованием концентрированных кислот и сильных окислителей [3]. Альтернативным способ является анодное интеркалирование графита с использованием концентрированных серных кислот с сообщением высокой удельной емкости графиту. Таким образом, возможно получать соединения, которые при терморасширении обладают насыпной плотностью (0,8-1 г/дм³).

Многочисленными экспериментами, нами показано, возможность получения соединений с пониженной насыпной плотностью ТРГ (табл.).

**Таблица. Потенциостатическое получение бисульфата графита
и насыпная плотность ВТРГ на его основе**

Электролит	Е, В	Удельная емкость, мА*ч/г	Насыпная плотность, г/дм ³
H ₂ SO ₄ (94%)	1,8	308	1,0
	2,4	150	0,9
H ₂ SO ₄ (80%)	1,9	500	0,8
H ₂ SO ₄ (60%)	1,7	440	1,0
	1,7	530	0,9

Таким образом, варьируя потенциал анодной обработки, сообщенную удельную емкость и концентрацию серной кислоты возможно получение бисульфата графита с высокой степенью терморасширения – то есть ВТРГ.

1. Novoselov K.S., Geim A.K. // Nature Materials. 2007. № 6. P. 183-191
2. Золотухин И.В., Голев И.Ш., Нефедов А.В., Усков А.В. // Перспективные материалы. 2010. № 6. С. 5-11.
3. Назаров А.С., Грайфер Е.Д., Федоров В.Е., Назаров А.С. и др.//Углерод: фундаментальные проблемы науки, материаловедения, технологии. Матер. 7-й межд. конф.-Владимир. 2010. С. 220-224.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ ОБРАЗЦОВ ОКСИДА ГРАФЕНА, ВОССТАНОВЛЕННОГО ОГ И ГИБРИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ИХ ОСНОВЕ МЕТОДОМ КР СПЕКТРОСКОПИИ.

В.А. Казаков¹, С.К. Сигалаев¹, А.С. Лобач²

¹ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша», Москва, Россия
cossac@mail.ru

²Институт проблем химической физики РАН, Черноголовка, Россия
lobach@icp.ac.ru

КР спектроскопия является неразрушающим, быстрым и наиболее чувствительным методом для идентификации и характеристики углеродных материалов и изучения разупорядоченности в наноструктурированных sp^2 углеродных системах с наличием пиков индуцируемых дефектами.

Объектами исследования были пленки (толщиной 10-30 мкм) оксида графена (ОГ), восстановленного различными методами ОГ (ВОГ), гибридные материалы на основе ОГ и ВОГ с исходными и функционализированными УНТ (МУНТ, ОУНТ), гуминовой кислотой и полимерами (КМЦ, ПЭИ) [1-3]. Пленки необходимой толщины формировали методом вакуумной микрофльтрации суспензии с использованием фильтров на основе трековых мембран с диаметром пор 0.4 мкм с последующей сушкой в форвакууме и термическим отжигом.

Спектры КР света регистрировали с помощью прибора T64000 (Horiba Jobin Yvon) с $\lambda = 514.5, 532$ и 785 нм, $100\times$ объективом и мощностью излучения на образце 0.1-1.0 мВт, чтобы исключить влияние локального нагрева образца. Для определения положения и значения полуширины пиков в КР спектрах в области D, G и 2D мод использовали аппроксимацию функциями Лоренца. Размеры графеновых кристаллитов в базисной плоскости (L_a) рассчитывали по уравнению: $L_a = (2,4 \times 10^{-10}) \lambda^4_{\text{лазер}} (I_D/I_G)^{-1}$, где λ – длина волны возбуждающего лазера в нм, I_D и I_G интегральные интенсивности КР D и G полос, соответственно.

В докладе приведены сравнительный анализ влияния длины и мощности возбуждающего лазерного излучения на положение, полуширины и отношение интегральных интенсивностей D, G и 2D полос в спектрах КР, размеров графеновых кристаллитов в базисной плоскости и картирование КР спектров исследованных углеродных наноматериалов.

Работа поддержана РФФИ: грант 14-03-00428а.

1. Ю. М. Шульга и др. // ХВЭ. 2013. Т. 47. № 6. С. 481.
2. С. Mou et al. // Appl. Phys. Lett. 2015. V. 106. P. 061106.
3. С.А. Баскаков и др. // ХВЭ, 2015, Т. 49. В печати.

ВЛИЯНИЕ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОЧАСТИЦ Co/Mo, Ni/Mo, Fe/Mo НА СТРУКТУРУ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЗОТДОПИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Е.В. Лобяк¹, Л.Г. Булушева^{1,2}, Е.О. Федоровская^{1,2}, Ю.В. Шубин^{1,2}, П.Е. Плюснин^{1,2},
Е.В. Шляхова^{1,2}, Р. Lonchambon³, Е. Flahaut³, А.В. Окотруб^{1,2}

¹Институт неорганической химии СО РАН, Новосибирск, Россия

²Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

³Университет Поля Сабатье, Тулуза, Франция

lobiakev@niic.sbras.ru

Природа катализатора является определяющим фактором контроля свойств углеродных нанотрубок (УНТ). Катализатор оказывает влияние на изменение морфологии и структуры УНТ. Также контролировать свойства углеродных наноматериалов позволяет замена атома углерода на гетероатом, например, атом азота.

Азотдопированные углеродные нанотрубки (N-УНТ) синтезируют с использованием азотсодержащего прекурсора во время синтеза или последующей обработкой УНТ азотсодержащими молекулами при высокой температуре. Обычно азот встраивается в структуру УНТ в виде трёх основных форм, таких как графитоподобной, пиридиноподобной и пиррольной. Температура является ключевым параметром контроля содержания азота и его форм.

В работе были использованы полимолибдаты $\text{Mo}_{12}\text{O}_{28}(\mu_2\text{-OH})_{12}\{\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_3\}_4$, $\text{Mo}_{12}\text{O}_{28}(\mu_2\text{-OH})_{12}\{\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_3\}_4$ и $[\text{H}_4\text{Mo}_{72}\text{Fe}_{30}\text{O}_{254}(\text{CH}_3\text{COO})_{10}\{\text{Mo}_2\text{O}_7(\text{H}_2\text{O})\} \times \{\text{H}_2\text{Mo}_2\text{O}_8(\text{H}_2\text{O})\}_3(\text{H}_2\text{O})_{87}] \cdot 80\text{H}_2\text{O}$ в качестве прекурсора каталитических наночастиц роста N-УНТ. Исследования с помощью ПЭМ показали, что полученный углеродный материал состоит из смеси индивидуальных нанотрубок и пористого углерода. По данным энергодисперсионного рентгеновского анализа биметаллические частицы Co_2Mo_3 , NiMo и FeMo являются катализаторами роста N-УНТ. С помощью РФЭС было установлено влияние состава катализатора на концентрацию и природу форм азота. Ожидается, что полученные углеродные материалы продемонстрируют улучшенные свойства в качестве электродного материала.

Работа была поддержана РФФИ (грант 14-03-32089).

ГИБРИДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИЗ УГЛЕРОДНЫХ АТОМОВ В ДВУХ- И ТРЕХКООРДИНИРОВАННЫХ СОСТОЯНИЯХ

В.В. Мавринский¹, Т.Е. Беленкова², В.М. Чернов², Е.А. Беленков²

¹Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова,
Магнитогорск, Россия
mavrinskyvv@gmail.com

²Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия
belenkov@csu.ru

Способность атомов углерода в соединениях находится в состояниях с различной координацией и, как следствие, гибридизацией, обуславливает значительные отличия в структуре и свойствах углеродных материалов. Гибридные углеродные материалы состоят из углеродных атомов в состояниях с различной гибридизацией. Существует четыре класса таких соединений: $sp+sp^2$, $sp+sp^3$, sp^2+sp^3 и $sp+sp^2+sp^3$ [1]. Интерес к гибридным углеродным материалам вызван тем, что, изменяя соотношение атомов углерода в различных состояниях, можно менять свойства материала. Особый интерес представляют исследования гибридных соединений из $sp+sp^2$ гибридизированных углеродных атомов, названных графинами (graphyne), в которых атомы находятся в двух и трех координированных состояниях [2, 3]. Такие материалы включают фрагменты карбиновых (carbune) цепочек полиинового (polyune) типа и имеют слоевую структуру, подобную слоевой структуре графена. Актуальность исследований $sp+sp^2$ гибридных углеродных материалов вызвана тем, что недавно были экспериментально получены графдиеновые слои и графдиеновые нанотрубки [4, 5]. Несмотря на достигнутые успехи, до сих пор остается неясным какова возможная структура полиморфных разновидностей графина.

В данной работе была разработана схема классификации и модельного получения графиновых соединений, которая позволила описать не только уже изученные разновидности графинов, но и предсказать новые. Анализ, выполненный на основе классификационной схемы позволил установить возможность существования семи основных структурных разновидностей графина (α , β_1 , β_2 , β_3 , γ_1 , γ_2 , γ_3), модельно получаемых из гексагонального графена, два из которых (β_3 , γ_3) описаны впервые. Основные структурные разновидности состоят из углеродных атомов всего в двух кристаллографически эквивалентных позициях, соответствующих двух- и трехкоординированным состояниям атомов. Кроме основных разновидностей можно получить множество других структурных форм графина путем изменения длины карбиновых цепочек или в результате комбинации семи основных структурных разновидностей. Расчеты геометрически оптимизированной структуры изученных в работе графиновых соединений были выполнены методами MNDO, AM1, PM3 и первопринципными расчетами в базисе STO6-31G, также были определены значения структурных параметров и энергий сублимации графиновых слоев. В результате установлено, что энергии сублимации всех изученных графиновых структур меньше, чем у гексагонального графена, однако они превышают энергию сублимации синтезированного фуллерена C₂₀, который устойчиво существует при нормальных условиях. Это свидетельствует в пользу возможности устойчивого существования всех изученных разновидностей графина при нормальных условиях. Максимальная энергия сублимации наблюдается для γ_2 -графина. Эта структурная разновидность должна быть наиболее устойчивой и именно ее необходимо пытаться синтезировать в первую очередь. Возможным механизмом синтеза графиновых слоев может быть полимеризация и карбонизация молекул, имеющих структуру углеродного каркаса близкую к структуре элементов, из которых формируются слои графина соответствующей структурной разновидности.

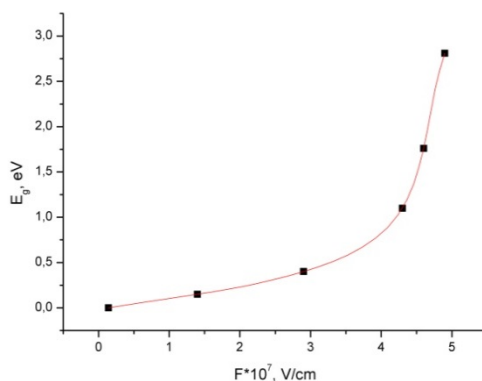
1. Е.А. Беленков, В.А. Грешняков, ФТТ 55, 1640 (2013).
2. R.H. Vaughan, D.S. Galvgo, Ch. Cui, et. al., Chem. Phys. Lett. 204, 8 (1993).
3. Е.А. Беленков, В.В. Мавринский, Т.Е. Беленкова, В.М. Чернов, ЖЭТФ 147, 712 (2015)
4. G. Li, Y. Li, H. Liu, et al., Chem. Commun. 46, 3256 (2010).
5. G. Luo, X. Qian, H. Liu, et al., Phys Rev B 84, 075439 (2011).

НАБЛЮДЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ШИРИНЫ ЗАПРЕЩЁННОЙ ЗОНЫ МНОГОСЛОЙНОГО ГРАФЕНА В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ МЕТОДОМ СВЕРХВЫСОКОВАКУУМНОЙ ТУННЕЛЬНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

С.А. Масалов, А.Т. Дидейкин, В.П. Евтихийев

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия
sergeym@mail.com

Создание структур из графена, состоящих из нескольких слоев позволяет получить энергетическую щель в спектре его электронных состояний [1, 2], Наличие энергетической щели наблюдается также и в окисленном графене [3]. Нами была исследована плотность электронных состояний на поверхности многослойного частично восстановленного оксида графена методом высоковакуумной туннельной спектроскопии [4]. Исследуемая структура располагалась на поверхности окисленного кремния. Была обнаружена отчетливая нелинейная зависимость величины энергетической щели в восстановленном графене от перпендикулярного его поверхности, внешнего электрического поля. Возможность управления шириной энергетической щели внешним электрическим полем открывает пути использования многослойного графена в качестве нелинейной среды для оптического излучения.



1. E. McCann, Phys. Rev. B 74, 161403(R) (2006).
2. A. Bostwick et al., New J. Phys. 9, 385 (2007).
3. J.O. Sofo et al., Phys. Rev. B 75, 153401 (2007).
4. M. Morgenstern "Scanning tunneling spectroscopy" Hamburg, Germany (2005).

ФОРМИРОВАНИЕ ПЛОТНОУПАКОВАННЫХ ГРАФЕНОВЫХ СЛОЕВ ВОКРУГ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОСФЕР, ВСТРОЕННЫХ В УГЛЕРОДНУЮ МАТРИЦУ, В ПРОЦЕССЕ КОНВЕРСИИ МЕТАНА

Е.С. Мартыненко, Ю.Г. Кряжев, М.В. Тренихин, О.Н. Семенова,

В.С. Солодовниченко, В.А. Лихолобов

Институт проблем переработки углеводородов СО РАН, Омск, Россия

e.s.martynenko@chemomsu.ru

Ранее сообщалось [1] о возможности низкотемпературного формирования углеродных структур (УС) на основе реакционноспособных полимеров с системой сопряжения (ПСС) – полихлорвиниленов, получаемых дегидрохлорировании карбоцепных хлорполимеров, содержащих более 60% масс Cl, под действием оснований. УС из таких ПСС образуются уже при 200-400 °С. Использование аминов в качестве дегидрохлорирующих агентов позволяет получить азотсодержащие УС (до 10 % масс. N). Наличие азота в образующихся ПСС способствует образованию аддуктов полимерного прекурсора УС с переходными металлами. Так, при введении нитратов никеля, железа и кобальта в реакционную среду в процессе дегидрохлорирования хлорполимеров были выделены металло-полимерные композиты, содержащие до 5 % масс. металла. Их карбонизация при 400 °С позволила получить металлуглеродные композиты (МУК) с содержанием металлов до 10 % масс. Представляло интерес исследовать каталитическую активность полученных МУК в процессе конверсии метана, которая, как известно, протекает на катализаторах на основе переходных металлов, нанесенных на различные подложки, и приводит к образованию нанотрубок и нановолокон. Одномерный рост УС, отлагающихся на металлических частицах, в этом случае объясняется коаксиальной или коаксиально-угловой ориентацией формирующихся графеновых слоев. Можно было ожидать, что одномерный рост УС на металлических частицах, встроенных в углеродную матрицу, будет затруднен по стерическим причинам. Для проверки этого предположения полученные МУК выдерживали в токе водорода при 550-650 °С для восстановления металла, а затем в токе метана до температуры макс. 850 °С с хроматографическим контролем разложения метана с выделением водорода, подтвердившим протекание конверсии метана. Исследования методом ПЭМ полученных МУК однозначно показали, что рост углеродных отложений в данном случае протекает с образованием вокруг металлических частиц диаметром 20-40 нм структур типа «ядро-оболочка» с плотноупакованными вокруг металлических частиц графеновыми слоями с межслоевым расстоянием 0,34 - 0,35 нм.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 14-33-00018.

1. Кряжев Ю.Г., Солодовниченко В.С. Низкотемпературный синтез sp^2 - углеродных структур с использованием полихлорвиниленов – реакционноспособных полимеров с системой сопряжения // Химия твердого топлива, 2012, № 5. С. 54-61.

СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ОКСИФТРИДА МУЛЬТИСЛОЙНОГО ГРАФЕНА

И.П. Асанов¹, В.Г. Макотченко¹, В.А. Логвиненко¹, П.Н. Гевко¹,
Т.Ю. Подлипская¹, А.И. Булавченко¹, Е.А. Максимовский¹,
И.В. Корольков¹, В.И. Зайковский²

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

²*Институт катализа им. Борескова, Новосибирск, Россия*

asan@niic.nsc.ru

В последнее время активно ведутся работы по синтезу фторидов и оксифторидов графенов с целью регулирования величины запрещенной зоны графена и получения новых неуглеродных квантовых точек.

Оксифториды графита получают фторированием окиси графита элементарным фтором или сильными фторокислителями (ClF₃, BrF₃).

Оксифторид мультислойного графена был синтезирован нами фторированием РГ, полученного из окиси графита газообразным трифторидом хлора при комнатной температуре.

По данным элементного анализа РГ содержал масс. %: 84,78 С, 15,13 О и 0,43 Н, полученный оксифторид мультислойного графена содержит масс. %: 39,25 С, 43,82 F, 6,93 О и 0,11 Н.

В ИК-спектре оксифторида мультислойного графена присутствуют интенсивные пики 1123 см⁻¹ и 1190 см⁻¹, которые близки к пикам С–F связи в полифториддиуглероде (1100 см⁻¹ и 1220 см⁻¹), а также пики, которые можно отнести к пикам окиси графита (1613 см⁻¹, 1742 см⁻¹, 3674 см⁻¹). Хотя содержание кислорода в оксифториде мультислойного графена составляет 6,93 масс. %, а фтора 43,82 масс. %, он проявляет интеркалирирующую способность, свойственную оксиду графита, т.е. образует неустойчивые интеркалирированные соединения первой ступени с спиртами и некоторыми другими органическими соединениями (ацетонитрилом, диметилформамидом, пиридином).

Содержание в составе оксифторида мультислойного графена кислородных групп придает ему гидрофильные свойства. Поэтому он образует коллоидные дисперсии не только в диметилформамиде, в котором диспергируются фториды мультислойного графена, но и в спиртах, ацетонитриле и пиридине.

СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ОКСИ МУЛЬТИСЛОЙНОГО ГРАФЕНА

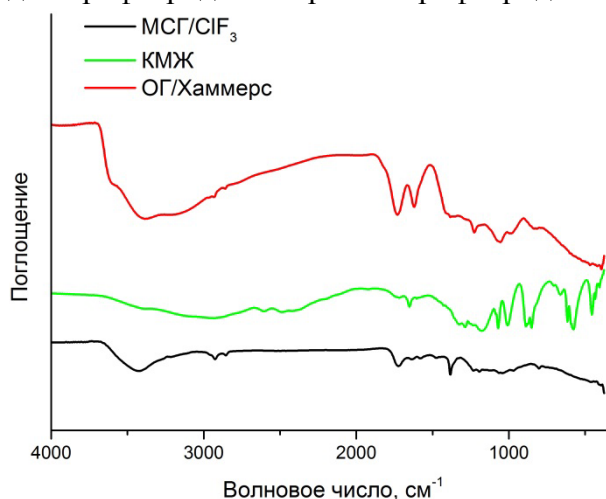
И.П. Асанов, В.Г. Макотченко

*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН Новосибирск, Россия
asan@niic.nsc.ru*

Ранее нами было показано влияние размерных эффектов на реакционную способность, интеркаляционные свойства и термическую устойчивость полифторид-диуглерода на основе мультислойного графена (МСГ).

Поэтому нами было исследовано влияние размерных эффектов на составы и свойства окиси мультислойного графена. В работе использовали МСГ со средней степенью расщепления ~ 3 нм, образующийся при деструктивном термическом разложении интеркалированных соединений полифториддиуглерода с трифторидом хлора или трифторидом брома.

Нам не удалось получить окись МСГ по методу Хаммерса, т.к. при добавлении перекиси водорода для окисления диоксида марганца МСГ полностью окисляется до CO/CO_2 , т.е. происходит “холодное горение” МСГ. При изменении порядка операций возможно получение малоокисленной окиси МСГ, с содержанием кислорода менее 25 масс. %. При увеличении времени взаимодействия весь МСГ окисляется до CO/CO_2 .



Окись МСГ получили по методу Штауденмаейра при нагревании реакционной смеси до $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 10–12 часов. По данным элементного анализа окись МСГ содержала, масс. %: С – 62,83, О – 37,16 и Н – 0,32. На рентгенограмме окиси МСГ присутствует два уширенных дублетных рефлекса при $12,7\text{ \AA}$, $14,34\text{ \AA}$ и $20,88\text{ \AA}$ и $25,05\text{ \AA}$. ИК-спектр окиси МСГ заметно отличается от ИК-спектра окиси графита. Так в ИК-спектре окиси МСГ появляются несколько новых пиков и особенно интенсивный пик при 1384 см^{-1} , который может быть отнесен к эпоксидной С–О–С связи, а также интенсивный пик при 3424 см^{-1} , который может быть отнесен к гидроксильным О–Н группам от интеркалированной воды.

Кроме окиси МСГ в процессе синтеза образуется, по крайней мере, два органических соединения. Так при отстаивании фильтрата после водной промывки образуется маслянистая жидкость зеленого цвета, а после промывки окиси МСГ ацетоном после испарения ацетона остается коричневая маслянистая жидкость (КМЖ), ИК-спектр которой приведен на рисунке.

ДИСПЕРГИРОВАНИЕ РАСШИРЕННЫХ СОЕДИНЕНИЙ ГРАФИТА В РОТОРНО-ИМПУЛЬСНОМ АППАРАТЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГРАФЕНОВЫХ НАНОПЛАСТИНОК

А.В. Мележик, Н.Р. Меметов, А.Г. Ткачев

ФГБОУ ВПО «ТГТУ», Тамбов, Россия
mnr979@gmail.com

В роторно-импульсных аппаратах (РИА) за счет специальной конфигурации ротора создаются импульсы давления и разрежения в прокачиваемой жидкости. В определенных режимах аппарат может генерировать в жидкости мощную кавитацию. Данный эффект целесообразно использовать для эксфолиации расширенного соединения графита (РСГ) с целью получения графеновых нанопластинок ГНП.

РСГ суспендировали в дистиллированной воде, перемешивали, и полученную суспензию загружали в РИА и обрабатывали в течение заданного времени. Полученный продукт отфильтровывали, получали пасту графенового материала с массовым содержанием сухого вещества 4-7%.

Для сравнения эффективности РИА аналогичную обработку суспензии РСГ проводили с помощью промышленной проточной ультразвуковой установки мощностью 4 кВт.

Установлено, что одинаковая эффективность эксфолиации РСГ достигается при 4,5-часовой обработке 1,5 л суспензии в лабораторной УЗ установке или при 4-часовой обработке 20 л суспензии в РИА.

Для УЗ обработки затрачиваемая на диспергирование энергия составляет порядка 6 кВт-час/литр, а для РИА – 2,25 кВт-час/литр.

Однако, следует отметить, что при использовании УЗ обработки более длительное время получаемые в результате ГНП обладают меньшим количеством слоев (порядка 3-5 при использовании ПАВ), а увеличение времени диспергирования в РИА не приводит к уменьшению числа слоев в получаемых ГНП, а остается на уровне 15-25 слоев.

Таким образом, для получения ГНП толщины 15-25 слоев целесообразно использовать диспергирование проводить в РИА, а при необходимости получения более тонких ГНП, дообрабатывать их в УЗ диспергаторах.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ТЕРМОВОССТАНОВЛЕННОГО ОКСИДА ГРАФЕНА

Е.П. Неустроев, М.В. Ноговицына, Ю.С. Соловьева, Г.Н. Александров, Е.К. Бурцева

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

Оксида графена (ОГ) представляет интерес для многих приложений таких как, прозрачные электроды, суперконденсаторы, сенсоры и т.д. [1]. ОГ имеет низкую электропроводность и для ее повышения используются восстановительные процессы. Одним из таких процессов является термообработка. При создании приборов первостепенное значение имеют электрофизические свойства материала.

Таким образом, целью данной работы было исследование электропроводности термовосстановленного оксида графена. Оксид графена был получен модифицированным методом Хаммерса [2]. Суспензия ОГ была нанесена на поверхность SiO₂ и высушена при комнатной температуре. Исходная толщина пленок ОГ на поверхности подложки составляла от 10 до 40 нм. Восстановление проводилось при температурах до 650 К длительностью до нескольких часов в атмосфере аргона. Для исследований привлечены методы атомно-силовой и электронной микроскопии, спектроскопия комбинационного рассеяния. Измерения электрофизических параметров выполнены четырехзондовым методом с помощью установки HMS5000/AMP55T Esoria в диапазоне температур 77- 450 К.

В работе определены температурные зависимости концентрации носителей заряда, подвижностей и сопротивления образцов. Установлена зависимость проводимости образцов от времени восстановления. Выявлено наличие двух областей с различными механизмами проводимости. При $T > 200$ К и выше преобладает активационный механизм. В области $T < 200$ К преобладает прыжковый механизм с переменной длиной прыжка. Проведена оценка размеров областей локализованных состояний носителей заряда, длины прыжка между ними и энергии активации процесса.

1. Songfeng Pei, Hui-Ming Cheng. //Carbon, 2012, v. 50, No 9, p. 3210–3228.

2. Александров Г.Н., Смагулова С.А., Капитонов А.Н., Васильева Ф.Д., Куркина И.И., Винокуров П.В., Тимофеев В.Б., Антонова И.В.// Российские нанотехнологии, 2014. - Т. 9. - № 5-6. - с. 18-22.

СИНТЕЗ ГРАФЕНОВЫХ ПЛЕНОК МЕТОДОМ ХИМИЧЕСКОГО ГАЗОФАЗНОГО ОСАЖДЕНИЯ И ИХ ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ

Николаев Д.В., Тимофеев В.Б., Попов В.И.

Физико-технический институт СВФУ им. М.К.Аммосова
dv.nikolaev@s-vfu.ru

Химическое газозофазное осаждение (Chemical Vapor Deposition) углерода получило широкое распространение для метод получения графена большой площади, совместимого с индустрией микро- и наноэлектроники. Несмотря на достигнутые успехи, проблема получения однородных и бездефектных слоев графена сохраняет свою актуальность.

Проведена серия ряд экспериментов по синтезу графена методом химического газозофазного осаждения с использованием метана в качестве источника углерода и медной фольги в качестве катализирующей подложки. Результаты показали, что оптимальными условиями для роста пленок графена на медной подложке являются предварительный отжиг фольги при температуре 950-970 °С в атмосфере смеси аргона с водородом в течение 0,5 ч, подача метана со скоростью 50-100 см³/мин в течение 5-7 мин и последующее охлаждение в атмосфере смеси аргона и водорода. Выращенные пленки переносились на подложки SiO₂ различными способами. Характеризация полученных образцов проводилась с помощью

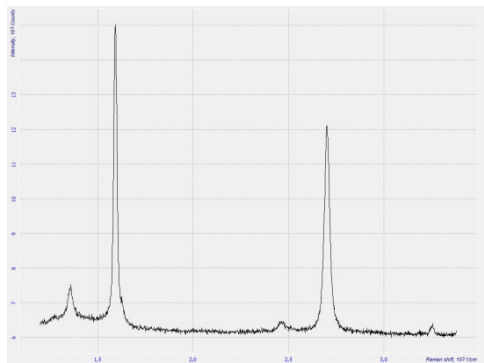


Рис. 1. Спектр КРС графена, полученного методом CVD

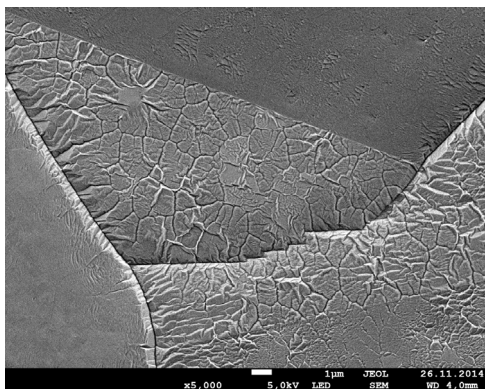


Рис.2. Поверхность образца медной фольги, покрытой графеновой пленкой

оптической микроскопии, атомно-силовой микроскопии, спектроскопии комбинационного рассеяния света (КРС), сканирующей электронной микроскопии и рентгено-спектрального элементного анализа.

Оптическая микроскопия показала, что графеновая пленка вырастает по всей площади образцов медной фольги площадью 10-15 см². Анализ спектров КРС графеновых пленок, один из которых представлен на рис. 1, показал, что выращенные образцы представляют собой пленки многослойного графена – мультиграфена, но вместе с тем встречаются участки с пленкой толщиной в 1-2 слоя, что говорит о неоднородности осажденных пленок. По данным атомно-силовой микроскопии, толщина перенесенных пленок составляет 10 и более нм. Сканирующая электронная микроскопия подтвердила синтез пленок мультиграфена. На рис.2 показан участок медной фольги с осажденной мультиграфеновой пленкой. Видно, что степень однородности мультиграфена сильно отличается на различных доменах меди. Возможно, это связано с различной ориентацией кристаллов меди в доменах. Спектральный анализ позволил определить элементный состав образцов – углерод (~56 ат.%), медь (~31 ат.%) и кислород (~13 ат.%). Количественное содержание меди позволяет оценить относительную толщину мультиграфеновой пленки на различных участках.

ПЛЕНКИ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНОВОЙ СУСПЕНЗИИ, ПОДВЕРГНУТОЙ ХИМИЧЕСКОЙ МОДИФИКАЦИИ В ВОДНОМ РАСТВОРЕ ПЛАВИКОВОЙ КИСЛОТЫ

Н.А. Небогатикова¹, И.В. Антонова^{1,2}, В.Я. Принц¹

¹Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Новосибирск, Россия
nadonebo@gmail.com, antonova@isp.nsc.ru, prinz@isp.nsc.ru

²Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

Вопросы изучения графена, его производных материалов, создание латеральных и вертикальных гетероструктур, управление степенью химической модификации составляющих их материалов активно изучаются в течение последних десяти лет. Целью нашего исследования является значительная модификация графеновой суспензии и создание тонких пленок на ее основе. Функционализация суспензии производилась с использованием оригинальной методики получения фторографена в водном растворе плавиковой кислоты [1].

В ходе работы были созданы и исследованы тонкие пленки фторографена из графеновой суспензии с разной степенью фторирования. Были выявлены закономерности уменьшения размеров частиц в графеновой суспензии с увеличением времени фторирования, определены структурные и электрические характеристики пленок.

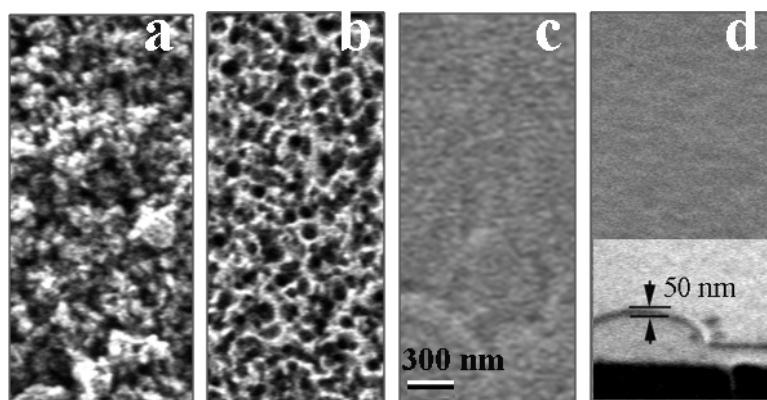


Рис. 1. СЭМ-изображения поверхности пленок после разного времени фторирования суспензии:
а – исходная суспензия, б – 2 дня, с – 10 дней, d – 40 дней обработки.
Масштаб для всех рисунков один

Было обнаружено уменьшение толщины (до 1-4 монослоев) и размеров частиц в суспензии (до 2 порядков) с увеличением времени фторирования с одновременным переходом пленок из проводящего в изолирующее состояние. Показано, что пленки из фторированной суспензии имеют высокие пробивные напряжения (более 1.2×10^6 В/см) и имеют крайне низкие заряды в пленке и на границе с кремнием в структурах металл – диэлектрик – полупроводник (величина постоянного заряда в пленке и плотность поверхностных состояний $\sim (1-5) \times 10^{10}$ см⁻²), что перспективно для практических приложений.

1. Н.А. Небогатикова, И.В. Антонова, В.Я. Принц, Способ формирования тонких пленок фторографена, Патент РФ на изобретение № 2511613, дата регистрации патента 7 февраля 2014.

ВЛИЯНИЕ ИСХОДНОГО ГРАФИТА НА СТРОЕНИЕ ГРАФЕНОВЫХ ЧАСТИЦ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ЖИДКОФАЗНОЙ ЭКСФОЛИАЦИИ

А.В. Николаева¹, Е.А. Данилов¹, В.М. Самойлов¹, С.С. Абрамчук²

¹АО “НИИграфит”, Москва, Россия
anikolaeva@niigrafit.org

Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН, Москва, Россия
abr@polly.phys.msu.ru

Широко известно, что условия получения графитов во многом определяют особенности их структуры (размеры кристаллитов, концентрацию дефектов). Логично предположить, что названные особенности структуры могут оказывать прямое влияние на выход и свойства продуктов эксфолиации этих материалов.

Исследования проводили методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) на суспензиях, полученных из естественного графита (ЕГ), искусственного графита (ИГ) и высокоориентированного пирографита (ВОПГ) после 4 часов обработки ультразвуком в присутствии фторсодержащего ПАВ с брутто-формулой $C_{26}H_{34}O_{11}F_{20}$ (ФПАВ).

Сравнение микрофотографий, полученных методом ПЭМ показывает, что именно ЕГ, обладающий большими размерами исходных кристаллитов в сочетании с низкой концентрацией внутрислоевых дефектов, позволяет получать суспензии с высоким содержанием графеновых частиц с размером 1-2 мкм, имеющих одновременно низкую контрастность и чёткие рефлексы гексагональной структуры.

Напротив, для суспензий ИГ и ВОПГ наблюдались дифрактограммы, соответствующие нахождению в растворе множества мелких разориентированных кристаллитов. По-видимому, для этих материалов процессы разрушения отдельных частиц по границам кристаллитов преобладают над процессами эксфолиации. Вероятно, это связано с различной дефектностью исходных материалов: в ИГ, например, несмотря на большие размеры зерна (около 100 мкм), разрушение происходит в первую очередь по границе матрица-наполнитель. Образование множества мелких кристаллитов может быть связано с отслоением от зерна и разрушением поликристаллического углерода связующего. Наполнителем для данного графита служил кокс с изотропной структурой, который даже после графитации состоит из сильно искривлённых углеродных слоёв. При длительном измельчении возможно и разрушение зерна по внутренним границам составляющих его структурных элементов, что также приведёт к появлению множества поликристаллов.

В ВОПГ дефектность имеет другой характер и обусловлена наличием дислокаций, расположенных по образующей конусов роста. Видимо, при длительном измельчении ультразвуком, разрушение пирографита проходит по границам дислокаций, что также приводит к появлению множества мелких поликристаллических частиц.

**КОЛЛОИДНЫЕ РАСТВОРЫ, КОМПОЗИТЫ
И ПЛЕНКИ ТРИСУЛЬФИДА ТАНТАЛА TaS₃**

П.А. Полтарак^{1,2}, С.Б. Артемкина^{1,2}, В.Е. Федоров^{1,2}

¹*Новосибирский национальный исследовательский государственный университет,
Новосибирск, Россия*

²*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева, Новосибирск, Россия
poltarak_pa@mail.ru*

В настоящее время значительный интерес исследователей уделяется наноматериалам и особенно способам их приготовления. Одним из интересных подходов является диспергационный метод, в основе которого лежит раздробление твердых или жидких тел в инертной среде. Примерами диспергационных методов могут служить механическое растирание, микромеханическое расщепление (скотч-метод), обработка ультразвуком. В нашей работе мы использовали последний метод для получения коллоидных растворов TaS₃. Так же перспективным направлением является получение нанокомпозитов, с их помощью можно комбинировать свойства различных веществ, получая при этом материалы с новыми характеристиками.

В данной работе объектом исследования был выбран трисульфид тантала, являющийся квазиодномерным соединением. Его структура включает цепочки атомов тантала, находящихся в тригонально-призматическом окружении из атомов серы. При охлаждении до температуры 270K для ромбической модификации и до 212K и 161K для моноклинной модификации рассматриваемое соединение претерпевает пайерлсовский переход, приводящий к образованию волн зарядовой плотности. Вследствие этого резко изменяются температурные зависимости электропроводности и теплопроводности. Компактный трисульфид тантала представляет собой кристаллы в виде длинных нитей или тонких игл, которые являются не технологичными. Поэтому для их дальнейшего использования необходимо научиться преобразовывать TaS₃ в структуры с контролируемой формой и размерами, в частности, получать тонкие пленки вещества. Удобным способом в этом отношении является получение коллоидного раствора путем диспергирования с применением ультразвука. Преимуществом данного метода диспергирования перед другими является то, что для его осуществления не требуется дорогих реактивов и устройств.

В данной работе была изучена способность трисульфида тантала к диспергированию в различных органических средах под действием ультразвука. Подобраны оптимальное время, подходящие дисперсионные среды. Для полученных золь изучены кинетическая устойчивость, форма и размеры частиц, спектроскопические характеристики. Для пленок, полученных из коллоидных растворов, подтверждена кристаллическая структура и спектроскопические характеристики. Коллоидные дисперсии TaS₃ были использованы в качестве субстрата для получения композитов с наночастицами переходных металлов.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (грант РФФИ 15-53-45041)

1. П.А. Полтарак, С.Б. Артемкина, А.И. Булавченко, Т.Ю. Подлипская, В.Е. Федоров // Известия АН Сер. Хим. 2015. №7 (в печати).

ГРАФЕНОПОДОБНЫЕ СТРУКТУРЫ НА ПОВЕРХНОСТИ АЛМАЗНЫХ ПЛЁНОК, СИНТЕЗИРОВАННЫХ МЕТОДОМ MW PE CVD

О.В. Поляков¹, М.А. Каныгин¹, И.П. Асанов¹, Д.В. Городецкий¹, А.Л. Чувилин²,
Л.Г. Булушева¹, А.В. Окотруб¹

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

²*CIC nanoGUNE Consolider, Сан Себастьян, Испания*

spectrum@niic.nsc.ru

Формирование sp^2 -графеновых структур на алмазных подложках могло бы оказать существенное влияние на развитие углеродной электроники. Модификация алмазной поверхности пленок можно попытаться провести в процессе синтеза, например, в методе химического газофазного осаждения (CVD). Химические связи объемной sp^3 -структуры алмазной фазы при переходе к поверхности насыщенные функциональными группами, либо остаются оборванными. В таком случае компенсация оборванных связей должна произойти за счет их рекомбинации, которая происходит строго между ближайшими соседями с образованием sp^2 -структур.

Алмазные пленки синтезированы из водородно-метановой и водородно-ацетоновой плазмы методом MW PE CVD. Для исследования электронной структурой поверхностного слоя толщиной 1 нм и объемного слоя на глубину до 10 нм измерены СК-края спектра поглощения алмазных пленок на кремнии. Одновременно измерены спектры поглощения методами внутреннего фототока и выхода Оже-электронов.

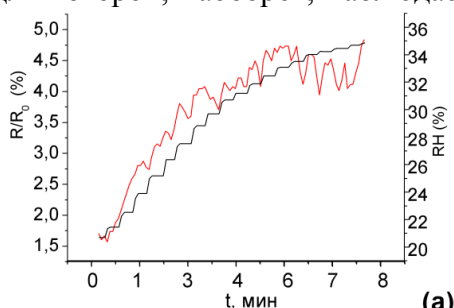
Спектр поверхности соответствует увеличению доли sp^2 -углеродных атомов по сравнению с объемным образцом. Результаты анализа $C1s$ спектров указывают на наличие C-H связей и графеновой фазы на поверхности алмазных пленок. Результаты квантово-химических расчетов в кластерном приближении, выполненных для интерпретации полученных спектров, согласуются с экспериментальными данными. Таким образом, продемонстрирована потенциальная возможность формирования двумерных графеновых структур на поверхности алмазной подложки непосредственно в процессе формирования алмазной пленки в условиях газофазного плазмохимического осаждения.

ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ МУЛЬТИГРАФЕНОВОЙ ПЛЕНКИ С МЕДНЫМИ КОНТАКТАМИ

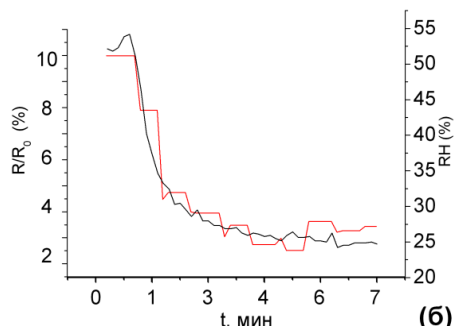
В.И. Попов, В.Б. Тимофеев, Т.Е. Тимофеева, С.А. Смагулова

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

Известно, что проводимость графена и оксида графена зависят от влажности. В последние годы ведутся исследования оксида графена с целью разработки сенсоров влажности. В данном сообщении изучено влияние влажности на сопротивление мультиграфеновой пленки с медными контактами. Измерены сопротивления и ёмкость образцов мультиграфеновых пленок, синтезированных методом химического газофазного осаждения (методом CVD) и перенесенных на подложку SiO₂/Si при разных значениях влажности воздуха. Результаты измерения на одном из образцов с латеральными размерами 2,2 x 3,3 мм представлен на рис. 1 с сопротивлением около 1,5 кОм. Толщина пленки по данным измерения атомно силовым микроскопом (АСМ) составляла около 10 нм. С ростом влажности сопротивление пленки мультиграфена растет в отличие от пленки оксида графена, для которой, наоборот, наблюдается уменьшение сопротивления [1]. Изменение влажности



(а)



(б)

Рис. 1. Динамика изменения сопротивления образца (черная кривая), в зависимости от относительной влажности воздуха, красной кривой показаны данные измерения влажности промышленным датчиком НН400

воздуха во время эксперимента контролировалось ёмкостным датчиком влажности НН4000. Время реакции измеряемых образцов на изменение влажности составляет несколько секунд. Начальное сопротивление образца R₀ измерялось в климатической камере при температуре t₀ = 23°C и при относительной влажности воздуха 15%. Из данных рис. 1 следует, что изменение сопротивления составляет примерно 5 % от начального значения при изменении относительной влажности на 15%.

Измерением постоянной Холла установлено, что носителями тока в пленке являются дырки. Холловская подвижность дырок при низких значениях магнитного поля V=0,5 Тл-0,55Тл варьирует от 1000 В/см²с до нескольких 100 В/см²с в зависимости от толщины и качества графеновой пленки. Измерение постоянной Холла проводилось на установке Есоріа HMS-5500. Мы предполагаем, что в изменении сопротивления участвуют только верхние слои мультиграфеновой пленки. Покрытие пленки мультиграфена адсорбированными молекулами воды из газовой фазы вызывает легирование р-типа [2]. С увеличением влажности число адсорбированных молекул воды растет, что приводит к росту количества носителей заряда р-типа в поверхностном слое мультиграфена. Графен под медью имеет п-тип проводимости [3]. Таким образом, с ростом влажности начинает формироваться п-р-п графеновая структура. Сперва возникают

отдельные островки с р-типом проводимости, которые начинают сливаться с увеличением влажности. В итоге возникает закрытая транзисторная п-р-п структура в поверхностном слое мультиграфена и вклад верхних слоев мультиграфена в проводимость уменьшается.

1. Yao Yao and et al. //Nanoscale Res.Let. 201. 7. P.363.
2. Schedin, F. and et al. // Nat. Mater. 2007. V. 6, P. 652.
3. Giovannetti G. and et al. //Phys. Rev. Let. 2008. V.101. P.026803.

ПЛЕНОЧНЫЕ ЭЛЕКТРОДЫ ИЗ НЕОРИЕНТИРОВАННЫХ МНОГОСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ДЛЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ

К.М. Попов, Е.О. Федоровская, В.Е. Архипов, А.Г. Куреня, М.А. Каныгин,
А.В. Гусельников, Л.Г. Булушева, А.В. Окотруб

Институт неорганической химии СО РАН, Новосибирск, Россия
popov@niic.nsc.ru

Ёмкость и стабильность работы электродов являются определяющими факторами при работе суперконденсатора. Ёмкость плёночных электродов из неориентированных многослойных углеродных нанотрубок (МУНТ) зависит от удельной площади, дефектности и функционализации поверхности МУНТ.

Массивы МУНТ были синтезированы в проточном реакторе методом каталитического химического осаждения из газовой фазы (CCVD – catalytic chemical vapor deposition). В качестве источника углерода был выбран толуол, а катализатора – ферроцен. Температура синтеза составила 720 и 800°C, за счет чего были получены нанотрубки с разной дефектностью.

Пленки из МУНТ были приготовлены фильтрованием суспензии нанотрубок, предварительного обработанных смесью кислот HNO₃/H₂SO₄. Из данных ИК-спектроскопии было показано, что МУНТ, синтезированные при более низкой температуре, имеют большую функционализацию углеродной поверхности, что может быть связано с большей дефектностью образца, что подтверждено с спектрами комбинационного рассеяния света. Электрохимические свойства МУНТ были изучены методом циклической вольтамперометрии. Было показано, что удельная ёмкость больше у плёнки из неориентированных МУНТ, синтезированных при более низкой температуре, что связано с большей площадью поверхности МУНТ. Однако при долговременном циклировании первоначальная удельная ёмкость образцов уменьшается на ~ 15-30%.

ВЛИЯНИЕ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ АППРОКСИМАЦИИ НА ПЕРЕХОД ЗАРЯДА В СИСТЕМЕ АДАТОМ – ОДНОЛИСТНЫЙ ГРАФЕН

С.Ю. Давыдов^{1,2}, А.А. Лебедев^{1,2}, О.В. Посредник²

¹Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия
Sergei_Davydov@mail.ru

²С.-Петербургский государственный электротехнический университет (ЛЭТИ),
Санкт-Петербург, Россия

Изучение адсорбционных свойств однослойного графена представляет повышенный интерес, так как любое его взаимодействие с посторонним атомом можно рассматривать как акт адсорбции. В теоретических работах часто используется низко-энергетическое приближение, когда реальный закон дисперсии электронов $\varepsilon(\mathbf{k})$ заменяется линейной зависимостью $\varepsilon_{\pm}(q) = \pm(3ta/2)|\mathbf{q}|$, где волновой вектор \mathbf{q} отсчитывается от точки Дирака, энергия которой $\varepsilon_D = 0$, t – интеграл перехода между ближайшими соседями, находящимися на расстоянии a друг от друга, знаки «+» и «-» относятся к зоне проводимости и валентной зоне соответственно.

Схемы оценки параметров задачи описаны в [1]. В табл. 1 и 2 приведены результаты расчетов числа зонного n_b и локального n_l вкладов в заряды адатомов $Z_a = 1 - n_b - n_l$ для щелочных металлов и $Z_a = -n_b - n_l$ для галогенов в сопоставлении с результатами работы [1], где использовалась модель, учитывающая весь электронный спектр, а не только линейную часть.

Таблица 1. Адсорбция щелочных металлов на графене

Adsorbate	Li	Na	K	Rb	Cs
n_b	0.06	0.04	0.06	0.06	0.05
n_b [1]	0.11	0.08	0.04	0.04	0.03
n_l	0.11	0.07	0.01	0	0
n_l [1]	0	0	0	0	0
Z_a	0.83	0.89	0.93	0.94	0.95
Z_a [1]	0.89	0.92	0.96	0.96	0.97

Таблица 2. Адсорбция галогенов на графене

Adsorbate	F	Cl	Br	I
n_b	0	0.02	0.02	0.03
n_b [1]	0.06	0.17	0.24	0.32
n_l	0.51	0.49	0.47	0.43
n_l [1]	0.47	0.37	0.28	0.11
Z_a	-0.51	-0.51	-0.49	-0.46
Z_a [1]	-0.53	-0.54	-0.52	-0.43

Таким образом, для зарядов Z_a соответствие вполне удовлетворительное, однако «удельные веса» вкладов зонных и локальных состояний претерпевают существенные изменения.

1. С.Ю. Давыдов, Г.И. Сабирова. Письма в ЖТФ **37** (11), 51 (2011).

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ ПЭМВР СТРУКТУРНЫХ И МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ТРАНСФОРМАЦИЙ ГЛОБУЛЯРНОГО УГЛЕРОДА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ЭЛЕКТРОННЫМИ ПУЧКАМИ

П.Е. Павлюченко¹, М.В. Тренихин^{1,3}, А.Б. Арбузов¹, О.В. Иващенко¹,
В.А. Дроздов^{1,3}, Б.П. Толочко²

¹Институт проблем переработки углеводородов СО РАН, Омск, Россия

²Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, Новосибирск, Россия

³Омский научный центр СО РАН, Омск, Россия

polina.pavluchenko@mail.ru

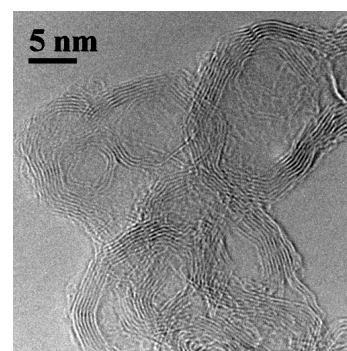
Появившиеся в последние годы работы по изучению структурных и морфологических преобразований глобулярного углерода облученного высокоэнергетическими пучками свидетельствует об актуальности данных исследований. Получаемые при этом углеродные наноструктуры представляют интерес для применения в науке и технике.

В работе объектами исследования являлись исходный и облученный электронным пучком низкодисперсный технический углерод (НДТУ) марки Т-900 и высокодисперсный технический углерод (ВДТУ) марки П-267Э. Для облучения непрерывным электронным пучком углеродных порошков использовался ускоритель непрерывного действия ЭЛВ-6 с энергией 1.4 МэВ. Время воздействия составляло 7-10 мин. при мощности пучка 11.2 кВт.

Исследование структуры и морфологии образцов технического углерода (ТУ) проводили с помощью просвечивающего электронного микроскопа высокого разрешения JEM-2100 «JEOL» (ускоряющее напряжение 200 кВ, разрешение 0.145 нм). КР-спектры получены на спектрометре DXR Smart Raman.

Диаметр исходных глобул для НДТУ и ВДТУ составлял 100-300 нм и 15-30 нм, параметр d_{002} - 0.38 нм и 0.37 нм, соответственно. После облучения электронным пучком были обнаружены структурные и морфологические преобразования образцов. Для исследуемых образцов ТУ установлено преобладание нанокapsул с диаметром первичных частиц 10-50 нм. Оболочка нанокapsул состоит из 5-20 графеновых слоев. Межплоскостные расстояния d_{002} , измеренные по электронограммам составляли 0.350 нм в случае НДТУ и 0.365 нм в случае ВДТУ. Также следует отметить образование в образцах стопок графеновых листов длиной более 100 нм и толщиной 6-8 нм.

В КР-спектрах НДТУ и ВДТУ регистрируются типичные полосы рассеяния: D-полоса (1333 см^{-1}) и G полоса (1592 см^{-1}). Отношение интенсивностей полос рассеяния $I_D/I_G > 1$, что указывает на аморфную кристаллическую структуру. В спектре образцов, полученных после облучения НДТУ и ВДТУ, G-полоса смещается на 14 см^{-1} в низкочастотную область. Появляется дополнительная 2D-полоса (спектральная область $2500-3000 \text{ см}^{-1}$). Отношение интенсивностей полос в случае НДТУ составляет $I_D/I_G = 0.41$, для ВДТУ $I_D/I_G = 0.80$. Полученные данные указывают на то, что в процессе облучения углеродных материалов происходит трансформация sp^3 -связанных углеродных структур (содержащихся в исходном ТУ в концентрации $\sim 20\%$) в структуры, построенные из sp^2 -гибридизованных состояний углерода. Следовательно, протекают процессы, приводящие к упорядочению структуры графеновых слоев.



ПРИМЕНЕНИЕ МУЛЬТИСЛОЙНОГО ГРАФЕНА В ИНЖЕНЕРНОЙ ЭКОЛОГИИ

Д.В. Пинаков^{1,2}, Е.Д. Грайфер¹, В.Г. Макотченко¹, Е.В. Макотченко¹, В.Е. Фёдоров¹

¹*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия*
pinakov@niic.nsc.ru

²*Новосибирский Государственный университет, Новосибирск, Россия*

В 90-е годы прошлого столетия в качестве перспективных сорбентов токсикантов начали активно исследоваться фуллерены, углеродные нанотрубки, фуллереновые сажи и терморасширенные графиты (ТРГ), образующиеся при термическом деструктивном разложении гидролизованных кислых солей графита. Сорбционная емкость ТРГ существенно выше, чем у обычных сорбентов и достигает 30–40 г жидкого токсиканта на 1 г ТРГ, а по нефти 60–70 г/г. В настоящее время ТРГ выпускается уже в промышленных масштабах в США, Японии, Китае, Российской Федерации, в том числе и в качестве сорбента.

Однако применение сорбционных методов, во-первых, связано с необходимостью хранения и последующей доставки к месту аварии больших объемов малоплотного сорбента.

Во-вторых, при длительном хранении сорбенты "стареют", т.е. теряют свои сорбционные свойства, что затрудняет создание складов длительного хранения сорбентов.

В-третьих, сорбционные методы, за исключением дорогостоящих хемосорбентов, не могут быть применены для ликвидации проливов летучих или ядовитых токсикантов.

Поэтому актуальными являются задачи по разработке новых сорбентов с повышенной сорбционной емкостью, а также по разработке новых технологий по локализации и детоксикации проливов техногенных токсикантов.

В данной работе рассмотрены перспективы применения интеркалированных соединений полифториддиуглерода и мультислойных графенов (МСГ), образующихся при деструктивном термическом разложении интеркалированных соединений полифториддиуглерода, а также нанокompозитов МСГ – реагент-детоксикант для локализации, ликвидации и детоксикации проливов и газовых выбросов техногенных токсикантов.

НАНОСТРУКТУРЫ ШУНГИТОВОГО УГЛЕРОДА В ПРИРОДЕ И ДИСПЕРСИЯХ

Н.Н. Рожкова, А.А. Михайлина, С.С. Рожков

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии
Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия
rozhkova@krc.karelia.ru*

Разработка новых методов синтеза графена и его коллоидных дисперсий, позволяющих обеспечить большие объемы графеновых материалов, является первостепенной практической задачей [1]. В этом плане представляет интерес шунгитовый углерод (ШУ), образовавшийся в водной среде при последовательной агрегации фрагментов восстановленного оксида графена (ВОГ) менее 1 нм. Из графеновых фрагментов формируются стопки толщиной ~ 1.5 нм и глобулы ~ 6 нм, которые определяют вторичные и третичные структуры ШУ, и участвуют в образовании глобулярных агрегатов размером десятки - сотни нм [2].

В природе ШУ характеризуется многообразием морфологических форм, анализ которых позволил выделить несколько типов углерода: глобулярный, пачечный, чешуйчатый и пленочный [3]. Для глобулярного углерода исследованы физико-химические свойства, определены условия выделения и стабилизации наночастиц в форме водной дисперсии [4]. Замена воды в дисперсии наночастиц ШУ на органические растворители: изопропиловый спирт, четыреххлористый углерод, хлороформ, толуол и бензол позволяет получить все типы морфологических структур, описанных в природных образцах. Структурные перестройки в ШУ определяет графеновый фрагмент [4]. Проведены структурно-динамические исследования образования кластеров и агрегатов ШУ при вариации концентраций и физико-химических свойств дисперсионной среды. Эллипсоидные кластеры и цепочечные агрегаты получены в пленках из дисперсий изопропилового спирта и наночастиц ШУ, в бензоле наночастицы формируют пачки, пленочные структуры характерны для хлороформенных дисперсий.

Работа поддержана грантами ОНЗ РАН-5 и РФФИ 13-03-00422

1. Singh V., Joung D., Zhai L., et al. // Prog. Mat. Sci. 2011. Vol. 56. P. 1178-1271.
2. Sheka, E. F., Rozhkova, N.N. // Int Journ Smart Nano Mat. 2014. Vol. 5. P. 1-16.
3. Ковалевский В. В. // Ж. Неорг. хим. 1994. Т. 39, № 1. С. 31.
4. Рожкова Н. Н. Наноглерод шунгитов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. 100 с.
5. Рожкова Н. Н. // Экологическая химия. 2012. № 4. С. 240.

ТЕКСТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОПОРИСТЫХ УГЛЕРОДНЫХ СОРБЕНТОВ

А.К. Сагидуллин, Л.М. Левченко, В.В. Шемякин

*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия
luda@niic.nsc.ru*

Ранее нами на основании спектроскопических и дифракционных данных было показано, что основные черты строения нанопористых углеродных модифицированных сорбентов (НУМС) подобны сажам и активированному углю, состоящим из sp^2 -гибридизованных атомов углерода, имеющих определенную упорядоченность расположения атомов в пространстве (протяженные сетки или микрокристаллиты). Размеры микрокристаллитов НУМС могут изменяться (по литературным и нашим данным) в пределах $L_a = 0.7-10$ нм и $L_c = 0.9-6.0$ нм, в зависимости от условий их получения и модификации. Однако микрокристаллы углерода ориентированы на поверхности случайным образом, что приводит к образованию турбостратных структур, для которых характерна высокая степень дефектности базисных слоев, где предположительно в процессе окисления и возникают кислородсодержащие функциональные группы, ответственные в дальнейшем за сорбционные свойства получаемых материалов.

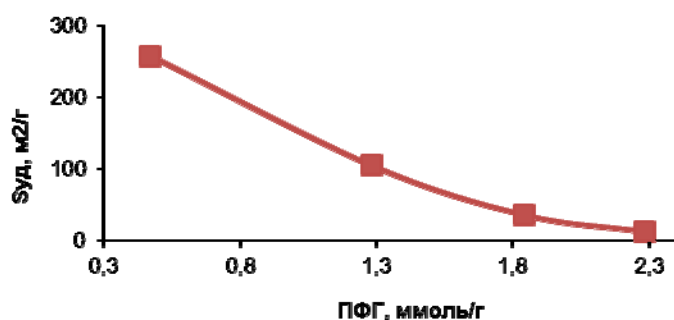


Рис. 1. Зависимость удельной поверхности от количества функциональных групп при модификации НУМС гуминовыми кислотами

Текстульные характеристики (удельная поверхность; распределение объема мезопор по диаметрам; суммарный объем пор) для НУМС рассчитывали из изотерм низкотемпературной адсорбции азота (при 77К, СОРБОМЕТР-М) с погрешностью измерения величин адсорбции не более 3%. Определено, что характерной особенностью НУМС является тип мезопористой (нанопористой) структуры с характерным распределением пор, максимум которых приходится на размер 4 нм. Показано, что при увеличении температуры и времени окисления углеродных материалов, в образцах НУМС происходит постепенное увеличение объема свободных пор с размером более 10 нм, возрастает количество поверхностно-функциональных кислородсодержащих групп и соответственно статическая емкость, но при этом величина удельной поверхности уменьшается.

При модифицировании окисленного НУМС гуминовыми кислотами, резко возрастает количество ПФГ и также падает при этом удельная поверхность, что свидетельствует о взаимодействии углеродной поверхности с гуминовыми кислотами.

**СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОКСИДА ГРАФЕНА,
ПОЛУЧЕННОГО ИЗ ТЕРМОРАСШИРЕННОГО ГРАФИТА**

А.В. Самаров¹, Т.Б. Ткаченко², Л.В. Илькевич², С.А. Созинов³, Ч.Н. Барнаков¹

¹*Институт углеродной и химического материаловедения СО РАН, Кемерово, Россия
sav335@yandex.ru*

²*Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия
dt_kem@mail.ru*

³*Кемеровский научный центр СО РАН, Кемерово, Россия
sozinov71@mail.ru*

Оксид графена (ОГ) является одним из перспективных углеродных материалов, который может найти применение в таких областях как оптоэлектроника, суперконденсаторы, запоминающие устройства, композитные материалы, медицина [1–3]. Для определения возможности применения данного материала в том или ином приложении необходимо изучение изменения структуры и морфологии оксида графена в зависимости от условий получения (исходные углеродные вещества, окислители, условия выделения и очистки).

В данной работе оксид графена синтезировали, используя жесткое окисление пенографита по модифицированному методу Хаммерса [4], применяя KMnO_4 и смесь концентрированных кислот ($\text{H}_2\text{SO}_4/\text{H}_3\text{PO}_4$). Для удаления воды использовали эксикаторную (при комнатной температуре) и вакуумную сушку (при 60°C). Вакуумная сушка приводила к слипанию образца (рис 1, б), после чего диспергировать его не удавалось, в отличие от образца, высушенного в эксикаторе при нормальных условиях (рис 1, а).

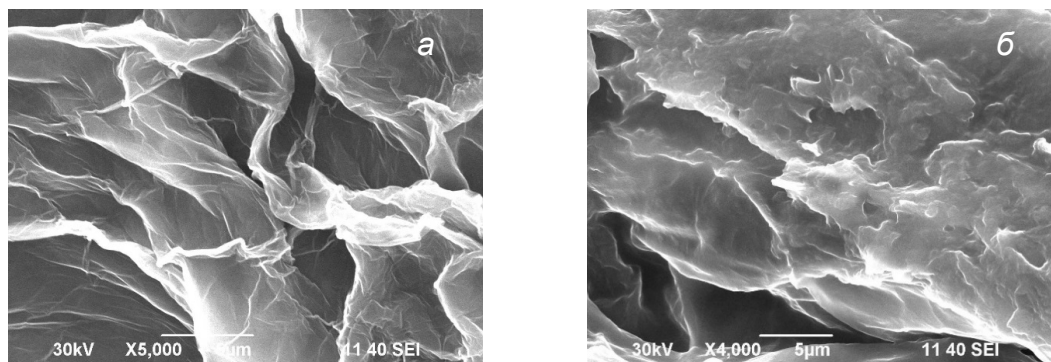


Рис. 1. Микрофотографии образцов оксида графена, высушенных при различных условиях (а – при нормальных условиях, б – вакуумная сушка при 60°C)

1. Wang G, Sun X, Li C, Lian J. // Appl. Phys. Lett. - 2011. - V. 99. – P. 053114:1-053114:3.
2. Krishnamoorthy K, Mohan R, Kim S-J. // Appl Phys Lett. - 2011. - V. 98. – P. 244101:1-244101:3.
3. Cheng Q, Tang J, Ma J, Zhang H, Shinya N, Qin L-C. // Carbon. - 2011. - V. 49. – P. 2917–2925.
4. Daniela C. Marcano, Dmitry V. Kosynkin, Jacob M. Berlin, Alexander Sinitskii, Zhengzong Sun // JACS 2010. - V. 4, N. 8 P. 4806-4814.

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ПЕРЕНОСА И НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЯ ГРАФЕНА С ПОМОЩЬЮ ШТАМПОВОЙ НАНОЛИТОГРАФИИ

В.А. Селезнев, В.Я. Принц, Р.А. Соотс, И.А. Комонов,
А.И. Корнеев, С.В. Голод

*Институт физики полупроводников СО РАН им. академика А.В. Ржанова,
Новосибирск, Россия
seleznev@isp.nsc.ru*

Уникальные физические свойства графена [1, 2] делают его перспективным для создания приборов нанoeлектроники и наномеханики [2, 3].

В настоящее время для создания графена наиболее широко развит метод химического выращивания графена из газовой фазы на медных подложках, например, [4]. Необходимо решить проблему наноструктурирования и однородного переноса графена больших площадей на различные подложки без существенного изменения его свойств [5].

Выполнен сравнительный анализ известных экспериментальных методов переноса графена и его структурирования с использованием методов штамповой нанолитографии.

В настоящей работе нами предложен улучшенный метод переноса графена больших площадей на гладкие и наноструктурированные подложки с минимальными его деформациями и загрязнениями. Метод включает следующие основные шаги: а) покрытие подложки с графеном высокоинертным полимерным слоем, обеспечивающим закрепление слоя графена и предотвращение его от деформаций; б) отделение слоя графена с полимером с помощью селективного жидкостного или электрохимического травления подложки; в) перенос слоя графена с полимером из жидкости на поверхность гладкой или структурированной подложки; г) прикладывание давления к полученному стеклу с помощью установки штамповой нанолитографии; д) удаление слоя полимера в парах растворителя при заданном давлении и температуре, исключающие возможность капиллярной конденсации и образовании капель на поверхности. В результате данных технологических операций сформирован слой графена повторяющий его морфологию на исходной подложке.

Ключевым моментом, в описанном выше методе, является подбор необходимого полимера и растворителя, а также условий удаления полимера. В работе приводятся оптимальные полимер и растворитель.

Изготовлены массивы графеновых нанополос шириной 100 нм методом штамповой нанолитографии и осуществлен их перенос на полимерную подложку большой площади предложенным методом.

Метод переноса графена перспективен для разработки технологий массового изготовления графеновых наноструктурированных слоев на различных подложках.

Работа поддержана грантом РФФИ офи_м № 14-29-10261.

1. Novoselov, K. S. et al., Science, 306, 666–669, 2004.
2. Bolotin K. I. et al., Solid State Comm. 146, 351, 2008.
3. Bunch J. S. et al., Science 315, 490, 2007.
4. M. Losurdo et al., J. Phys. Chem. C 115, 2011, 21804
5. J. Song et al. Nature Nanotechnology, DOI: 10.1038/NNANO.2013.63.

ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ МЕДИ НА МОРФОЛОГИЮ ВЫРАЩЕННОГО ГРАФЕНА

М.А. Сергеев, С.В. Голод, В.А. Володин, А.И. Комонов, Р.А. Соотс, В.Я. Принц

Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Новосибирск, Россия
mikhail_sergeev@isp.nsc.ru

Одним из перспективных методов получения графена является химическое осаждение из газовой фазы на поверхности меди. В качестве ростовых подложек наиболее широко используется медная фольга производства фирмы Alfa Aesar с высокой степенью чистоты 99,9995%. Основным недостатком данной фольги является значительный исходный рельеф поверхности, который частично удаётся уменьшить с помощью высокотемпературного отжига. Однако в процессе отжига на поверхности фольги образуются дополнительные точечные дефекты и канавки вдоль границ зёрен поликристаллов меди, что препятствует выращиванию совершенных плёнок графена [1].

В данной работе было исследовано влияние химической подготовки поверхности меди и параметров высокотемпературного отжига на морфологию поверхности медной фольги. Показано, что химическая подготовка обеспечивает однородное выравнивание поверхности меди в ходе последующего высокотемпературного отжига. Было изучено влияние наноразмерных островков меди на поверхности фольги на формирование дефектов в плёнках графена. Методом атомно-силовой микроскопии установлено, что увеличение времени отжига и повышение давления в реакторе приводит к уменьшению шероховатости поверхности до уровня 0,2 нм на площади 10 мкм². Об удовлетворительном структурном совершенстве выращенной графеновой плёнки можно судить по отсутствию пика D (рисунок 1) на спектре комбинационного рассеяния света (КРС), который обусловлен нарушением кристаллической структуры на границах зёрен графена. Отношение пиков $I_{2D}/I_G > 1$, а полная ширина 2D-пика на полувысоте ~ 30 см⁻¹, что свидетельствует о выращивании монослойных плёнок графена [2]. В работе показано, что подбор условий химической обработки и высокотемпературных отжигов позволяет сформировать гладкую поверхность меди, пригодную для выращивания высококачественных плёнок графена с низким содержанием дефектов.

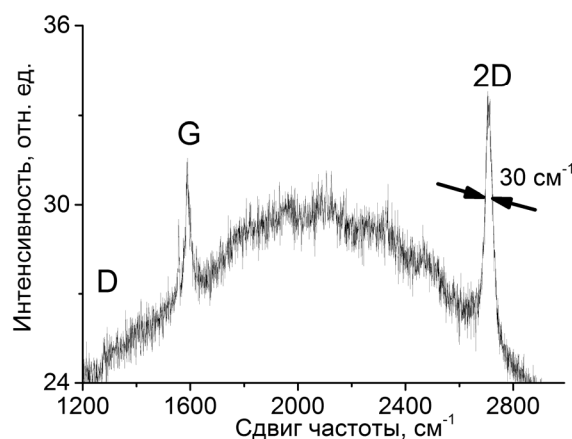


Рис. 1. КРС-спектр графеновой плёнки, выращенной при 1000°C и давлении 10 Торр на Cu-фольге Alfa Aesar

1. A.W. Tsen et al. // Accounts of chemical research, 2013, 46 (10), 2286.
2. B. Tang, et al. // Applied spectroscopy reviews, 2010, 45 (5), 369.

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ПОЛИРОВКИ МЕДНОЙ ФОЛЬГИ НА КАЧЕСТВО ВЫРАЩЕННОГО ГРАФЕНА

М.А. Сергеев, С.В. Голод, В.А. Володин, А.И. Комонов, В.Я. Принц

Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Новосибирск, Россия
mikhail_sergeev@isp.nsc.ru

Морфология поверхности меди существенным образом влияет на процессы зародышеобразования и роста графеновых островков [1]. Как правило, подготовка поверхности медной фольги включает в себя предварительное химическое удаление естественных окислов и предварительный высокотемпературный отжиг при температуре $\sim 1000^\circ\text{C}$ в инертной атмосфере с водородом. Однако данная технология подготовки поверхности не позволяет в течение короткого промежутка времени убрать на медной подложке неровности микронных размеров, связанные с механической прокаткой медной фольги. По этой причине актуальной задачей является развитие метода электрохимического полирования (ЭХП) медных подложек, который позволяет просто и эффективно уменьшать микрорельеф поверхности.

В данной работе было исследовано влияние ЭХП на морфологию поверхности медной фольги до и после высокотемпературного отжига. Методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) показано, что при использовании оптимальных условий ЭХП среднеквадратичная шероховатость поверхности медной фольги уменьшается в ~ 10 раз до уровня 12-14 нм на площади $35 \times 35 \text{ мкм}^2$. Показано, что после высокотемпературного отжига электрополированной фольги средние размеры зёрен меди (60-80 мкм) в 2 раза больше, чем на фольге, не подвергавшейся ЭХП. Для изучения влияния морфологии медной поверхности на качество графеновой плёнки химическим осаждением из газовой фазы был выполнен рост графена одновременно на фольге, прошедшей ЭХП, и исходной фольге. Методом комбинационного рассеяния света было показано, что полная ширина на полувысоте 2D-пика для графена, выращенного на ЭХП фольге меди, 45 см^{-1} , а для неполированной фольги - 60 см^{-1} . Также отношение пиков I_G/I_{2D} меньше у фольги, прошедшей ЭХП. Таким образом, использование ЭХП позволяет увеличить размер зёрен меди и уменьшить среднеквадратичную шероховатость поверхности, что приводит к уменьшению толщины и дефектности растущей плёнки графена [2].

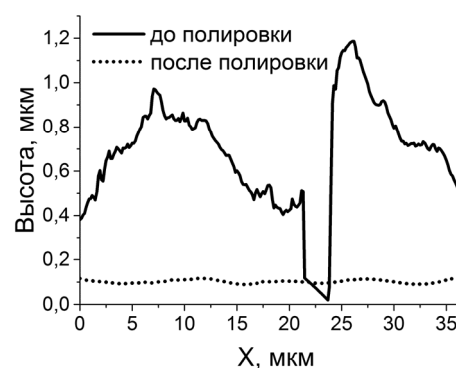


Рис. 1. АСМ профиль поверхности медной фольги до и после ЭХП

1. W. Liu et al. // Carbon, 2011, 49, 4122-4130.
2. B. Tang, et al. // Applied spectroscopy reviews, 2010, 45 (5), 369.

ВОССТАНОВЛЕННЫЙ ФТОРИД ГРАФИТА В КАЧЕСТВЕ ГАЗОВОГО СЕНСОРА

В.И. Сысоев¹, М.В. Катков^{1,2}, А.В. Гусельников¹, Л.Г. Булушева^{1,2}, А.В. Окотруб^{1,2}

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

²*Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия*

sysoev@niic.nsc.ru

Графен является перспективным материалом для газовых сенсоров благодаря своим уникальным физическим свойствам. Было показано, что взаимодействие поверхности графена с полярными молекулами в газовой фазе приводит к изменению его электронного состояния. При адсорбции полярных молекул на поверхности происходит перенос заряда от молекулы к графеновой плоскости (в случае донорных молекул), или от графеновой плоскости к молекуле (в случае акцепторных молекул). Модификация графена приводит к образованию дополнительных адсорбционных центров на поверхности и таким образом может значительно увеличить сенсорные свойства материала.

В настоящей работе показана возможность использования частично восстановленного фторида графита (rFG) для создания газового сенсора на воздействие диоксида азота (NO₂) и аммиака (NH₃). Было показано, что пластинки восстановленного фторированного высоко ориентированного пиролитического графита чувствительны к воздействию молекул NH₃ и NO₂ при комнатной температуре. С дальнейшим увеличением степени восстановления чувствительность сенсора к анализатам уменьшается. Была предложена модель адсорбции молекулы на фрагменте восстановленного фторида графена. Также предложена методика приготовления дисперсии и изготовления пленок rFG. Отклик сенсоров рассчитывался по формуле $(R_g - R_a)/R_a$, где R_a – сопротивление при воздействии чистого аргона, R_g – сопротивление при воздействии аргона, содержащего анализируемый газ. Сенсор на основе пленок rFG показал существенно больший отклик (на 3 порядка) на воздействие NO₂ и NH₃ по сравнению с пластинками rFG, а также меньшие (в 1,5-2 раза) времена отклика и регенерации сенсора. Таким образом, пленки на основе графена, модифицированные фторидными группами, показывают высокую чувствительность при комнатной температуре и регенерируют при простом продуве аргоном, что делает данный материал подходящим для создания датчиков для определения низких концентраций загрязнителей в воздухе.

ГИБРИДНЫЕ УГЛЕРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИЗ sp^2 И sp^3 ГИБРИДИЗИРОВАННЫХ АТОМОВ

М.И. Тиньгаев, Е.А. Беленков

Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия
max_50@mail.ru

Гибридные углеродные материалы, состоящие из sp^2 и sp^3 гибридных атомов, по структуре и свойствам должны занимать промежуточное положение между графитом и алмазом, которые состоят из sp^2 - и sp^3 -гибридных атомов соответственно [1-3]. Ряд таких материалов (полимеризованные фуллерены, углеродные пены и др.) получен экспериментально. Теоретически предсказана возможность устойчивого существования еще большего числа гибридных sp^2+sp^3 материалов. Данная работа посвящена теоретическому анализу возможной структуры гибридных фаз из sp^2 и sp^3 атомов, которые можно получить из графеновых слоев и углеродных нанотрубок.

Гибридные фазы пытались модельно получить в результате частичной сшивки графеновых слоев L_6 и L_{4-8} . Из слоев L_6 получилось девять исходных соединений, в которых атомы sp^2 и атомы sp^3 находятся в кристаллографически эквивалентных позициях, из L_{4-8} получилось четыре исходных соединения. Однако последующая геометрическая оптимизация этих структур методом DFT-GGA привела к их трансформации в алмазоподобные фазы или стопки отдельных графеновых слоев. Таким образом, получить гибридные фазы из графеновых слоев не удалось. Sp^2+sp^3 фазы удалось получить в результате совмещения креслообразных и зигзагообразных углеродных нанотрубок. Всего возможно существование 16 таких фаз. Изображение геометрически оптимизированной структуры одной из них приведено на рис. 1. Для построенных фаз методом DFT-GGA была найдена геометрически оптимизированная структура, значения структурных параметров, рассчитана зонная структура, плотности электронных состояний и энергии сублимации.

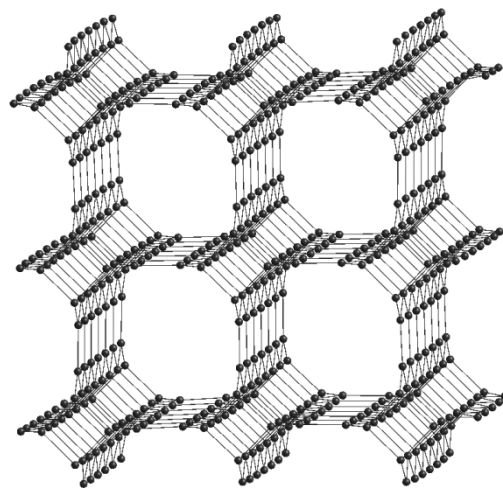


Рис. 1. Структура гибридной фазы $T_{(4,4)}b_{G4}$

1. Беленков Е.А., Ивановская В.В., Ивановский А.Л. Наноалмазы и родственные углеродные наноматериалы. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 169 с.
2. Belenkov E.A., Greshnyakov V.A. // *New Carbon Materials*, 2013. V. 28, № 4, P. 273.
3. Беленков Е.А., Тиньгаев М.И. // *Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов*. 2014. Т. 6. С. 42.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО
ТРАНСПОРТА В УЛЬТРАТОНКОЙ УГЛЕРОДНОЙ ПЛЕНКЕ**

Т.Е. Тимофеева, П.В. Винокуров, В.Б. Тимофеев, С.А. Смагулова

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

В последние годы с применением графена в качестве электродов проводились исследования электрического транспорта в многослойных пленках графена [1], частности, проводились измерения температурной зависимости сопротивления пленок трех- и четырехслойного графена [2]. В них был установлен неметаллический характер электропроводности и безактивационный прыжковый механизм проводимости. Нами сообщается об экспериментальном исследовании электрического транспорта в макроскопической пленке ультратонкого слоя углеродной пленки. Образцы углеродной пленки синтезировались методом химического газофазного осаждения (методом CVD) на медной фольге и переносились на подложки SiO₂/Si. Для измерения вольтамперных характеристик образцов изготавливались устройства с двумя медными контактами. Измерения проводились на пленках с латеральными размерами в несколько мм и толщинами d , варьирующими от нескольких нм до 300 нм по данным атомно силового микроскопа (АСМ) Net Solver NT MDT. Измерения температурной зависимости сопротивления образцов проводились в двухконтактной конфигурации, а измерения Холловской подвижности, магнетосопротивления, постоянной Холла – в конфигурации Ван-дер Пау на установке Esoria HMS-5500. Измерения проводились в температурном диапазоне 80 К–300 К.

Установлено, что образцы плёнок чувствительны к высокой влажности. При увеличении влажности проводимость образцов углеродной пленки возрастает в отличие от пленок оксида графена. Результат измерений показан для одного из образцов (рис. 1). Измерением постоянной Холла установлено, что носителями тока в пленке являются дырки. Холловская подвижность дырок варьирует от 400 В/см²с до 80 В/см²с в магнитном поле $B = 0,54$ Тл в зависимости от толщины. Больше значение подвижности соответствует монослойной пленке с островками высотой 8 нм. Установлен неметаллический характер электропроводности.

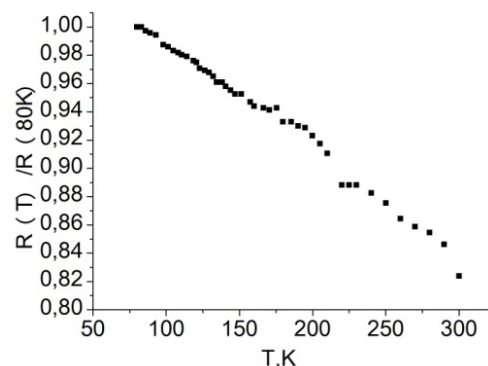


Рис. 1. Температурная зависимость относительного сопротивления неоднородной тонкой углеродной пленки ($d \sim 5$ -300 нм) с размерами 2x4 мм

1. Russo S. and et al.// <http://www.intechopen.com/books/graphene-synthesis-characterization-properties-and-applications/electronic-transport-properties-of-few-layer-graphene-materials>.
2. Liu Y. and et al.// *Nanoscale Res. Lett.* 2013. V. 8. P. 335.

ГРАФЕН, ПОЛУЧЕННЫЙ ВОССТАНОВЛЕНИЕМ ОГ СВЕРХКРИТИЧЕСКИМ ПРОПАНОЛОМ

С.В. Ткачев^{1,2}, Е.Ю. Буслаева²

¹ВНИИАЛМАЗ, Москва, Россия

^{1,2}ООО «АкКо Лаб», Москва, Россия

tkachev_svmsu@mail.ru

Графен обладает уникальным сочетанием электрических, оптических, тепловых, механических свойств [1]. Такого сочетания свойств нет ни у одного другого вещества или материала, это и делает графен поистине выдающимся. Графен – это слой углерода толщиной в один атом, состоящий из конденсированных шестичленных колец, атомы в которых соединены sp^2 связями в гексагональную двумерную решетку. Графен уже начинает находить свое применение в различных отраслях индустрии: литий-ионные аккумуляторы, суперконденсаторы, солнечные батареи, принтерная электроника, ЖК-дисплеи. Однако, следует отметить, что вопрос получения графена в необходимых промышленных количествах еще не решен.

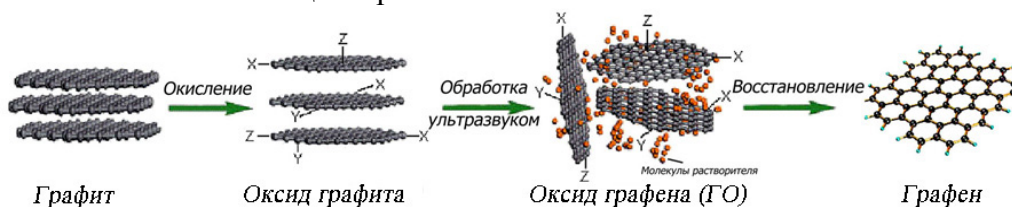


Рис. 1. Схема получения графена через промежуточное образование оксида графита (где X, Y, Z – кислородсодержащие группы)

В данной работе разработан уникальный метод получения графена в ощутимых количествах (граммы) посредством восстановления оксида графена изопропанолом, находящимся в сверхкритическом состоянии [2]. Оксид графена синтезировали по известной методике Хаммера, заключающейся в следующем: природный графит окисляли в течение нескольких часов сильными окислителями до оксида графита, далее, под действием мощной ультразвуковой обработки получали оксид графена из оксида графита [3]. Ниже представлена краткая схема получения восстановленного оксида графена.

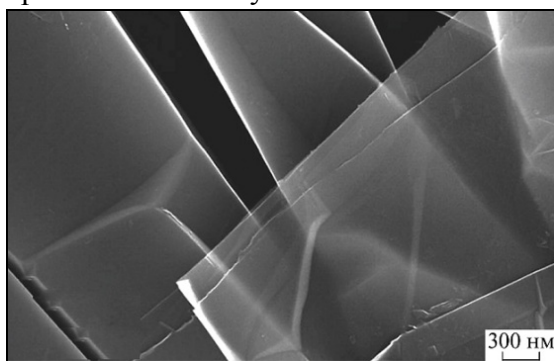


Рис. 2. Изображение СЭМ чешуек графена из его дисперсии в хлороформе

Основным результатом проведенной работы стала разработка методики получения графена в граммовых количествах в автоклаве в присутствии сверхкритического изопропанола. Синтез не требует использования токсичных реагентов и жестких условий проведения реакции. Также предложены методики получения дисперсий графена и оксида графена в различных растворителях. Все образцы охарактеризованы комплексом методов физико-химического анализа и изучены.

1. Губин С.П., Ткачев С.В. // М.: ЛЕНАНД. 2015. изд. 4- доп. 112 с.

2. Ткачев С.В., Буслаева Е.Ю., Наумкин А.В., Котова С.Л., Лауре И.В., Губин С.П. // Неорган. материалы. 2012. Т. 48. № 8. С.909-915.

3. Tian L., Wang X., Cao L. Meziani M. J., Kong C. Y., Lu F., Sun Y.-P. // J. Nanomaterials. 2010. V. 2010. Article ID 742167. 5 p.

**ПОСЛОЙНАЯ ХИМИЧЕСКАЯ СБОРКА НАНОКОМПОЗИТОВ
ОКСИДА ГРАФЕНА И ОКСИДОВ ТИТАНА ИЛИ ОЛОВА**И.А. Кодинцев, В.П. Толстой

*Институт химии Санкт-Петербургского государственного университета,
Санкт-Петербург, Россия
vptol@yandex.ru*

Послойная (Layer-by-Layer) химическая сборка мультислоев на поверхности блочных и дисперсных подложек с использованием растворов реагентов в настоящее время является одним из перспективных способов получения новых материалов, в частности мембран, катализаторов, сорбентов, электродов электрохимических устройств и т.д., а также различного типа так называемых многофункциональных материалов. В течение последних 5-ти лет повышенное внимание уделяется послойному синтезу нанокomпозитов, содержащих различные производные графена. Так, согласно одной из международных баз данных в 2009 году было опубликовано 9 статей на эту тему, в 2012 – 94, а в 2014 – уже 150.

В настоящей работе был впервые выполнен послойный синтез нанокomпозитов оксида графена и гидратированных оксидов титана или олова. При выборе оптимальных условий синтеза варьировали рН, концентрацию и составы растворов реагентов, время обработки ими и промывными жидкостями, а также число циклов обработки. Исследование слоев проведено методами СЭМ, рентгеноспектрального микроанализа, ИК-Фурье спектроскопии и дифракции рентгеновских лучей. Как следует из полученных результатов, синтезированные слои состоят из нанолитков ГО и наночастиц соответствующих гидратированных оксидов размером 5-10 нм.

В результате выполненных исследований были найдены условия, при которых на поверхности подложки образуется слои с толщиной закономерно возрастающей с увеличением числа циклов наслаивания. Для объяснения полученных экспериментальных результатов построены схемы последовательных химических реакций, протекающих на поверхности подложки в процессе синтеза.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 15-03-08253-а.

1. Толстой В.П. // *Рос. Хим. Журн.*, 2013, Т. 57, № 6, С. 21.

ПАРАМАГНИТНЫЕ ЦЕНТРЫ В ОКСИДЕ ГРАФЕНА

А.В. Фионов¹, Ю.А. Тополок^{2,3}, И.Ю. Шапин^{2,4}, А.И. Нехаев²,
А.Л. Максимов^{1,2}, В.В. Лунин¹

¹Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
fionov@mail.ru

²Институт нефтехимического синтеза им. А.В.Топчиева РАН, Москва, Россия

³РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, Москва, Россия

⁴Российский Химико-Технологический Университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия

Методом ЭПР изучены углеродные материалы: детонационный наноалмаз, оксид графена, полученный окислением графита и оксид графена, подвергнутый восстановительной обработке боргидридом натрия. Показано, что спектр ЭПР оксида графена (рисунок 1) представляет собой суперпозицию двух спектров – узкого и широкого, соответствующих двум типам парамагнитных дефектов. При увеличении микроволновой мощности узкий спектр испытывает заметное СВЧ-насыщение, в отличие от широкого спектра. Это свидетельствует о существенном различии времен релаксации соответствующих парамагнитных дефектов. Широкий спектр ЭПР оксида графена похож по ширине на аналогичный спектр углеродных дефектов в детонационном наноалмазе, для которого СВЧ-насыщение практически не наблюдается. Полученные спектры согласуются с литературными [1, 2]. Восстановление оксида графена боргидридом натрия приводит к практически полному исчезновению парамагнитных дефектов. Остается лишь малоинтенсивный узкий спектр ЭПР. Широкого спектра ЭПР не наблюдается. Интересно, что восстановительная обработка детонационного наноалмаза в аналогичных условиях практически не меняет интенсивности и вида спектра ЭПР. Это означает, что парамагнитные дефекты в оксиде графена характеризуются высокой реакционной способностью, в отличие от парамагнитных дефектов в наноалмазе. Спектр ЭПР оксида графена частично уширяется в присутствии газообразного кислорода, что также подтверждает доступность парамагнитных дефектов в этом материале. Для детонационного наноалмаза кислородный эффект не характерен.



Рис. 1. Спектры ЭПР исследованных образцов

1. С. V. Pham, M. Krueger, M. Eck, et al. // Appl. Phys. Lett. 2014. V. 104. P. 132102.
2. A. V. Fionov, A. Lund, W. Chen, et al. // Chem. Phys. Lett. 2010. V. 493. P. 319.

ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫЕ ГРАФЕН-СОДЕРЖАЩИЕ МЕЗОПОРИСТЫЕ МАТЕРИАЛЫ КАК КАТАЛИЗАТОРЫ КИСЛОТНО-ОСНОВНЫХ РЕАКЦИЙ

Ю.А. Тополуок^{1,2}, Д.М. Дуйсембаев^{1,2}, А.И. Нехаев¹, А.Л. Максимов^{1,3}

¹Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН, Москва, Россия
topolyuk@ips.ac.ru

²РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, Москва, Россия

³Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Гибридные композиты на основе наноразмерных форм углерода успешно заменяют традиционные материалы, применяемые в микро- и нанoeлектронике, оптике и фотокатализе [1]. Графен, один из наиболее изучаемых в настоящее время материалов, отличается исключительными физико-химическими свойствами, что делает его перспективным кандидатом для создания новых функциональных материалов, пригодных для использования в катализе [2].

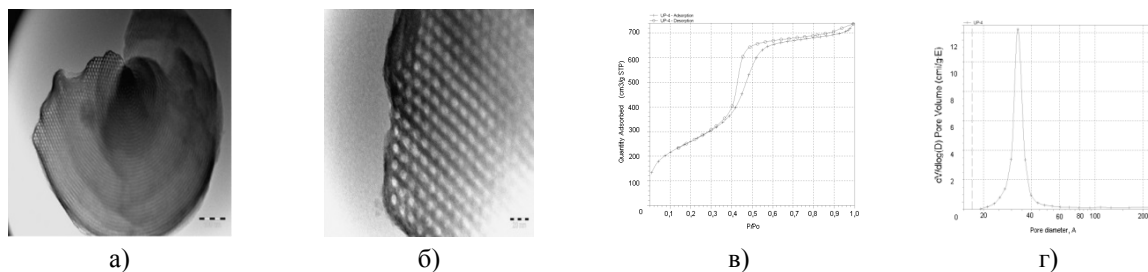


Рис. 1. Микрофотографии образца SBA-15-оксид графена (а,б).
Изотермы адсорбции-десорбции N₂ (в).
Кривая распределения пор по диаметру в SBA-15-оксид графена (г)

В данной работе мы показали возможность получения графен-содержащих мезопористых материалов с высокоупорядоченной гексагональной структурой типа SBA-15 в процессе гидротермального синтеза с использованием оксида графена и функционализованного оксида графена в качестве источника графена и тетраэтилортосиликата (ТЭОС) как прекурсора оксида кремния. Были получены образцы с высокой удельной поверхностью Суд (по BET) – до 956 м²г⁻¹ и общим объемом пор V_s до 1.1 см³ г⁻¹.

Функционализация поверхности полученных графен-содержащих мезопористых силикатов в присутствии льюисовских и бренстедовских кислот позволила создать ряд материалов, активных в кислотном катализе. Изучение каталитической активности образцов проводилось в тестовых реакциях олигомеризации 1-децена, дегидратации *n*-бутанола и этерификации фурфуролового спирта.

1. Cancan Huang, Chun Li and Gaoquan Shi.//Energy Environ. Sci., 2012, V.5, P.8848.
2. Zhong-Shuai Wu, Yi Sun, Yuan-Zhi Tan, Shubin Yang, Xinliang Feng and Klaus Müllen// J. Am. Chem. Soc. 2012, V. 134, P. 19532–19535.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ОКСИДА ГРАФЕНА

А.Е. Томская, А.Н. Капитонов, С.А. Смагулова, А.А. Алексеев, Ф.Д. Васильева

Северо-Восточный Федеральный Университет, Якутск, Россия

Alexndra23@mail.ru

Как известно, графен имеет нулевую запрещенную зону. Получающийся при окислении графена оксид графена (ОГ), в результате появления на поверхности графена функциональных кислородных групп атомов, имеет запрещенную зону. ОГ люминесцирует в видимой, ультрафиолетовой и ближней инфракрасной области. В данной работе проведено исследование спектров флуоресценции суспензий графита в смеси N-метилпирролидон + изопропиловый спирт, водных суспензий ОГ, пленок ОГ на различных подложках и термически восстановленных пленок ОГ на стекле. Все исследованные образцы суспензий получены из графита фирмы Aldrich (США), использовался ультразвук. Ширина запрещенной зоны ОГ колеблется в пределах от 1,81 до 2,29 эВ. На рис. 1 приведены спектры флуоресценции суспензии графита в смеси N-метилпирролидон+ изопропиловый спирт, водной суспензии ОГ, пленок ОГ на стекле и термически восстановленного ОГ на стекле, и, в качестве фона, спектров воды, стекла и смеси N-метилпирролидон+ изопропиловый спирт при длине волны возбуждения 400 нм (рис.1). Максимум краевой люминесценции ОГ приходится на 482 нм.

В процессе исследования выявилось большое разнообразие наблюдаемых зависимостей. Обнаружено сходство между флуоресценцией пленок ОГ на стекле и водных суспензий ОГ, т.е. нанопластины ОГ ведут себя одинаково в различном окружении: и в полярном растворителе (вода) и на стеклянной подложке. По полученным данным построены энергетические диаграммы оксида графена. В области примесной люминесценции (565-635нм) присутствует пик (617 нм), который появляется при длине волны возбуждения 373 нм, и исчезает при длине волны возбуждения 410 нм.



Рис. 1. Спектры флуоресценции при длине волны возбуждения 400 нм: 1 – суспензия графита в смеси N-метилпирролидон + изопропиловый спирт, 2 – термически восстановленный ОГ на стекле, 3- водная суспензия ОГ, 4- ОГ на стекле, 5- стекло, 6 – N-метилпирролидон + изопропиловый спирт, 7 – вода. На вставке показаны пики краевой люминесценции

Величина ширины запрещённой зоны имеет важное значение при генерации света в светодиодах и полупроводниковых лазерах, поскольку именно она определяет энергию испускаемых фотонов [1]. ОГ может быть полезным фотонным материалом при внесении в твердотельные устройства. Большая наблюдаемая ширина запрещенной зоны создает возможность для пространственной модуляции зонной структуры в пределах одного графенового листа контролем окисления.

1. Scott K. Cushing. Origin of Strong Excitation Wavelength Dependent Fluorescence of Graphene Oxide / Scott K. Cushing, Ming Li [et al.] // *Acsnano*. - 2014. - № 1. - P.1012–1013.

МОДЕЛЬ АДсорбЦИИ НА АМОРФНОМ ГРАФЕНЕ

С.Ю. Давыдов^{1,2}, С.В. Трошин²¹Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН

Sergei_Davydov@mail.ru

²Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет (ЛЭТИ),
Санкт-Петербург, Россия

Для однослойного графена, в том числе вызывающего все больший интерес аморфного графена (АГ) [1], любой акт взаимодействия с посторонним атомом можно рассматривать как адсорбцию. В настоящей работе предлагается простой подход к описанию адсорбции на АГ, плотность состояний которого описывается следующим выражением [2]:

$$\rho_{ag}(\omega) = \begin{cases} \frac{\sqrt{\omega^2 + \Delta^2}}{C}, & |\omega| \leq \xi, \\ 0, & |\omega| > \xi, \end{cases}$$

$$C = \frac{1}{2} \left(\xi \sqrt{\xi^2 + \Delta^2} + \Delta^2 \ln \frac{\xi + \sqrt{\xi^2 + \Delta^2}}{\Delta} \right).$$

Здесь ω – энергетическая переменная, ξ – характерная энергия, связанная с использованием низкоэнергетического приближения для электронного спектра идеального графена (ИГ) и пропорциональная интегралу перехода t между соседними атомами углерода в графене, $\delta = \Delta / \xi$ – параметр аморфности. За нуль энергии принята энергия центра плотности состояний, совпадающая, по предположению, с точкой Дирака ε_D .

Оценки, сделанные для адсорбции атомарного водорода и атомов щелочных металлов, показывают, что заряды атомов, адсорбированных на АГ, меньше зарядов тех же атомов, но адсорбированных на ИГ. Полученный результат легко понять: плотность состояний АГ при малых энергиях не обращается в нуль как у ИГ, а большей плотности состояний соответствует, естественно, большее число заполнения и меньший заряд. Отсюда следует, что переход электронов между адатомом и подложкой для ИГ больше чем для АГ. Здесь, однако, следует сделать одно замечание. В настоящей работе плотности состояний АГ и ИГ рассматривались лишь для области малых энергий, что в теории графена соответствует низкоэнергетическому приближению.

1. D.V. Tuan, A. Kumar, S. Roche, F. Ortman, M.F. Thorpe, P. Ordejon. Phys. Rev. B **86**, 121408(R) (2012).2. С.Ю. Давыдов. ФТП **49** (5), 628 (2015).

НОВЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ВОССТАНОВЛЕННОЙ ОКИСИ ГРАФЕНА И СВЕРХСШИТОГО ПОЛИСТИРОЛА

М.П. Цурюпа¹, З.К. Блинникова¹, В.А. Даванков¹, А.В. Наумкин¹, В.Н. Калиниченко²,
С.Б. Бибииков², А.А. Мальцев², В.П. Мельников³, С.П. Червонобродов⁴

¹Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН, Москва, Россия

²Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва, Россия
kalinval47@mail.ru

³Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, Москва, Россия

⁴ООО «Конгран», Москва, Россия

Композиционные материалы на основе полимеров и графеноподобных наноматериалов (КМ) являются перспективными для использования в многочисленных технологических приложениях. Их уникальность заключается в сочетании особенных характеристик составляющих их компонентов. Нами синтезирован КМ, компонентами которого являются сверхсшитый полистирол (СПС) и восстановленная окись графена (ВОГ) в соотношении 1/0,7. Удельная поверхность полученного КМ, определенная согласно БЭТ по сорбции аргона, составила 800 м²/г, что более характерно для СПС, чем ВОГ. В отличие от компонентов, синтезированный гидрофобный электропроводный КМ способен удерживать необычно большое количество воды (более 8 мл/г). Согласно данным ПЭМ (Рис. 1), морфология КМ значительно отличается от морфологии его компонентов.

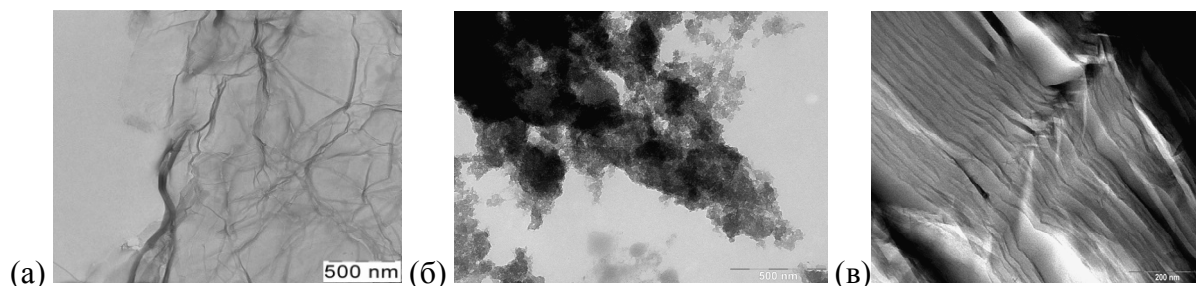


Рис. 1. (а) ВОГ, (б) СПС, (в) КМ

Проведены исследования полученного КМ в качестве электродного материала суперконденсаторов, адсорбента водных загрязнений, радиопоглощающего материала.

Установлены зависимости удельной проводимости, диэлектрической проницаемости, пористости, смачиваемости материалов, полученных на основе модифицированных КМ, от концентрации компонентов. Методом РФЭС проведен анализ химического состояния атомов в полученном материале, определены относительные концентрации различных групп С_О_х.

ПЛАЗМОСТРУЙНЫЙ СИНТЕЗ ГРАФЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИХ СВОЙСТВА

Р.Х. Амиров¹, И.Н. Атаманюк¹, Н.А. Воробьева², А.С. Тюфтяев¹,
М.Б. Шавелкина¹, Е.И. Школьников¹

¹*Объединенный институт высоких температур РАН, Москва; МГУ им. М.В. Ломоносова,
Москва, Россия*

mshavelkina@gmail.com

²*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

natali.vorobyeva@gmail.com

Поиск новых, менее трудоемких и более эффективных методов синтеза графена до настоящего времени является актуальной задачей. Процесс формирования графеновых материалов в низкотемпературной плазме происходит за короткое время, является непрерывным, простым и может быть применен для массового производства [1]. Суть предлагаемого нами подхода заключается в одновременном вводе исходных носителей углерода и рабочего газа (аргон, гелий) в оригинальной конструкции плазмотрон постоянного тока мощностью до 40 кВт, затем происходит их испарение в плазменной струе с дальнейшим резким охлаждением образованного углеродного пара с выделением твердого углерода как в газовом объеме, так и на металлических поверхностях.

Согласно исследованиям синтезированных образцов методами электронной микроскопии, комбинационного рассеяния, методами термического и рентгенофазового анализа при плазмоструйном разложении углеводородов (пропан-бутана, метана, ацетилена) образуются малослойные графеновые материалы (до 5 слоев) в виде чешуек с интенсивным окислением в интервале температур 500-6000С. В исследуемых образцах содержание графеновых структур составляет 50-95 масс. %. Наибольшим поперечным размером обладают образцы, формирующиеся при разложении метана (до 1,5 мкм). Исследования поверхностных характеристик адсорбционным методом «Лимитированного Испарения» показали мезопористую структуру полученных материалов. По данным метода БЭТ наименьшей удельной поверхностью обладают образцы, полученные при разложении ацетилена (250 м²/г).

В целом, установлена взаимосвязь структурных, морфологических и поверхностных свойств графеновых материалов, получаемых плазмоструйным разложением углеводородов, с условиями их синтеза. Определены области режимных параметров, соответствующие образованию графеновых структур с заданными характеристиками.

1. R. Amirov, E. Isakaev, M. Shavelkina, T. Shatalova // Journal of Physics: Conference Series. 2014. V. 550. 012023.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАФЕНОВОЙ ПРОВОДЯЩЕЙ ФАЗЫ В КЕРАМИЧЕСКОМ РЕЗИСТИВНОМ МАТЕРИАЛЕ

И.А. Шаронов, Э.Р. Разяпов, В.М. Самойлов, А.В. Николаева

АО «НИИГрафит», Москва, Россия
iljasharonov@rambler.ru

Исследуемые образцы керамических резисторов были получены на основе электрокорунда со средним размером частиц 50 мкм. В качестве связующего вещества использовалась каолиновая глина (от 15 до 20 % масс.) и жидкое натриевое стекло (9-10 % от общей массы сухой смеси). В качестве проводящих наполнителей использовали углеродные материалы с различной структурой, формой и размерами частиц, такие как естественный графит (ЕГ), сажа, искусственный графит (далее РБМК), суспензии графеновых частиц (далее графен).

На рис. 1 представлены зависимости удельного электросопротивления образцов от процентного содержания различных наполнителей. Полученные зависимости имеют вид, характерный для случая перколяционной проводимости в системе «проводник–изолятор». В зависимости от типа наполнителя наблюдали различные значения порогов протекания. Например, видно, что у образцов с углеродным наполнителем на основе суспензии графеновых частиц (рис. 10, б) порог протекания начинается уже с 0,1% содержания данного наполнителя. Это объясняется тем, что данный тип наполнителя имеет минимальный размер частиц и высокий коэффициент анизотропии (отношение длины L частицы к её диаметру D). Напротив, (см рис. 10, а.) удельное электросопротивление образцов, содержащих ИГ, ЕГ и сажу, начинает резко падать только при концентрации в несколько процентов (3%, 5% и 4% соответственно). Причина более высоких порогов протекания кроется в большем размере частиц наполнителей. Хорошо известно, что чем меньше размер частиц, тем большее количество контактов у каждой частицы, причем рост количества контактов, при уменьшении размера частицы происходит по экспоненте. Таким образом, можно рекомендовать суспензии малослойных графеновых частиц в качестве перспективного проводящего наполнителя резистивной корунд-углеродной керамики.

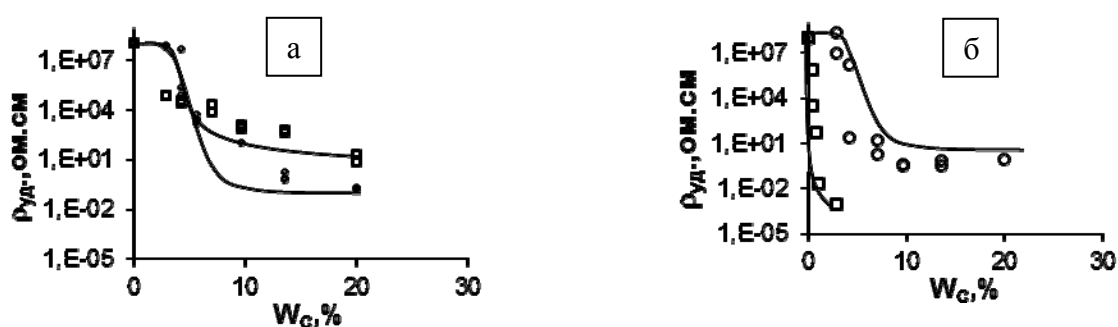


Рис. 1. Зависимости удельного электросопротивления образцов от содержания наполнителей:
а – РБМК (○), сажи (□), в - ЕГ (○), графена (□).

1. Шаронов И.А., Разяпов Э.Р., Самойлов В.М. //Проводящая углеродная керамика, содержащая углеродные наполнители разных типов / Троицк, 2012г. – С. 586-589

ВЛИЯНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ СТРУКТУРЫ МЕЗОПОРИСТОГО УГЛЕРОДА, ПОЛУЧЕННОГО ИЗ РАЗНЫХ ИСТОЧНИКОВ УГЛЕРОДА, НА ЕГО ЕМКОСТНЫЕ СВОЙСТВА

Е.В. Шляхова^{1,2}, Ю.В. Федосеева^{1,2}, Е.О. Федоровская^{1,2},
Л.Г. Булушева^{1,2}, А.В. Окотруб^{1,2}

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

²Новосибирский Государственный Университет, Новосибирск, Россия
shlyakhova@gmail.com

Пористые материалы были синтезированы при температуре 800⁰С путем химического осаждения углеродсодержащих молекул на продукты термолитического разложения тартара кальция способом, описанным в [1]. В качестве исходных соединений были использованы этанол, толуол и ацетонитрил. Углеродный материал, полученный из толуола, представляет собой капсульные структуры в стенках которых наблюдается до 20 углеродных слоев. В остальных случаях материал представляет собой «смятые», «дырявые» малослойные графитовые слои (рис. 1). Наибольшей величиной удельной поверхности характеризуется азот-допированный углерод-

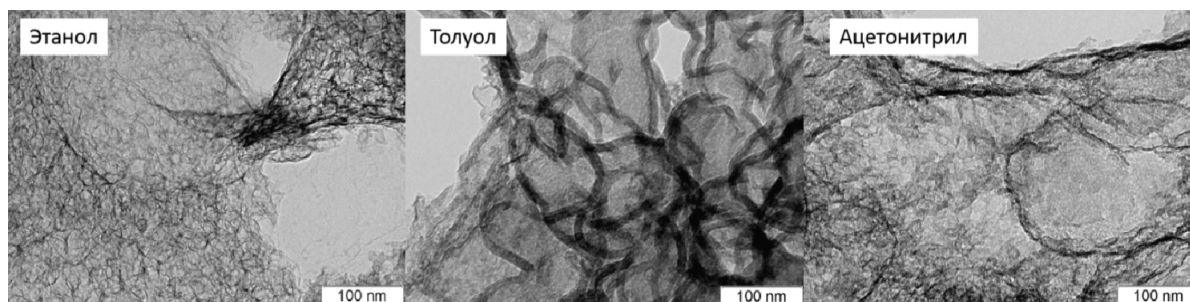


Рис. 1. ПЭМ изображение исследованных материалов

ный материал. Сравнение электронного состояния атомов, составляющих структуру полученных материалов, было проведено спектроскопическими методами анализа. Установлено, что на поверхности пористого углеродного материал, полученного из спирта, располагается наименьшее количество функциональных кислородсодержащих групп, а его структура наиболее графитизирована. Полученные материалы были протестированы в качестве электродных материалов суперконденсаторов и литий-ионных батареек. Были проанализированы и выявлены особенности структурного строения, отвечающие за получение наилучших результатов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 13-03-00884)

1. E.V. Shlyakhova, L.G. Bulusheva, M.A. Kanygin, P.E. Plyusnin, K.A. Kovalenko, B.V. Senkovskiy, A.V. Okotrub// Physica status solidi (b) 251. 2014. Issue 12. С. 2607.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАНОСТРУКТУР И БИОСИСТЕМ

Д.С. Шмыгин, О.Е. Глухова, М.М. Слепченков, А.С. Колесникова, Г.В. Савостьянов

*Научно-исследовательский Саратовский государственный университет
им. Н.Г. Чернышевского, Саратов, Россия
shmygin.dmitriy@gmail.com*

Математическое моделирование как дополнительный инструмент для изучения базовых физических принципов построения и функционирования наносистем является в настоящее время одним из самых актуальных направлений в научных исследованиях.

В программном пакете KVAZAR, разработанном на базе Саратовского государственного университета, реализованы такие методы молекулярного моделирования, как метод Бреннера (REBO — reactive empirical bond order) [1], метод сильной связи (TB — tight binding) [2,3], силовое поле MARTINI [4] для крупнозернистого моделирования и т. д. Также программный пакет имеет графический интерфейс для создания и модификации исследуемых моделей.

Возможности программного пакета были использованы для расчета энергетической стабильности новых материалов на основе углеродных нанотрубок и графена, а также их механических и электронных свойств (пример представлен на рис. 1).

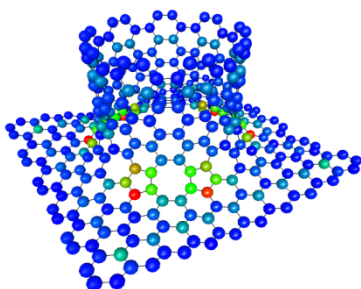


Рис. 1. Поле локальных напряжений для элемента композита

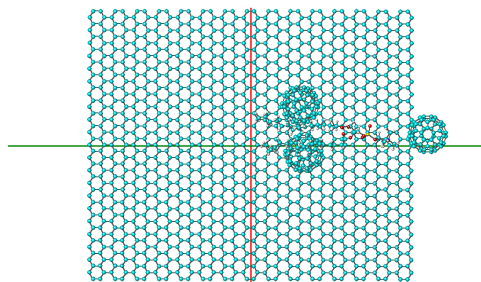


Рис. 2. Фосфолипид с фуллеренами C60 на поверхности графенового листа

Также, программный пакет был использован для исследования возможности управления перемещением биологических молекул (фосфолипида) вдоль поверхности подложки, представляющей собой графеновый лист. Было обнаружено, что при использовании трех заряженных фуллеренов C60, связанных с молекулой фосфолипида силой Ван-дер-Ваальса, можно управлять движением этой молекулы с помощью внешнего электрического поля (рис. 2).

1. Brenner D. W. // Phys. Rev. B. 1990. Vol. 42. № 15. P. 9458-9471.
2. Глухова О.Е., Кириллова И.В., Салий И.Н. и др. // Вестник СамГУ. - Естественнонаучная серия. 2012. № 9(100). С. 88-98.
3. Глухова О.Е., Жбанов А.И. // ФТТ. 2003. Т. 45. Вып. 1. С. 189-196.
4. Siewert J. Marrink, H. Jelger Risselada, Serge Yefimov, D. Peter Tieleman, and Alex H. de Vries // J. Phys. Chem. B. 2007. 111. P. 7812-7824.

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТРАНЗИСТОРА С КАНАЛОМ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА

С.В. Миннебаев, Р.В. Захарченко, Н.В. Сиглова, С.А. Шостаченко,
М.М. Маслов, К.П. Катин, Г.И. Зебрев, К.С. Земцов, Н.И. Каргин

Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва, Россия
SAShostachenko@mephi.ru

Открытый в 2004 г. [1] 2-D материал – графен продемонстрировал огромные возможности для перспективных приложений в электронике [1, 2] и фотонике [1] в связи с его уникальными свойствами, такими как высокая подвижность носителей заряда ($200000 \frac{cm^2}{Vs}$ [1, 3]), идеальная электронно-дырочная симметрия и линейно пересекающиеся зоны на Ферми уровне, определяющие безмассовое поведение электронов [1]. Применение графена в качестве канала в транзисторе позволяет достичь терагерцового диапазона [4–6], так как пороговая частота пропорциональна подвижности носителей. Различными исследователями были получены обнадеживающие результаты: 100 ГГц в 2010 [7], 427 ГГц в 2013 [8].

В ходе работ был реализован транзистор с каналом на основе графена. Графен был получен методом химического осаждения из газовой фазы, в роли катализатора была использована медь. Затем графен был перенесён на оксид кремния на кремнии. Для контактов стока и истока была использована система Ti/Al (50/300). Аналогичная система была использована для затвора, ширина которого составила 1 мкм. После нанесения контактов была измерена вольт-амперная характеристика. При U_{ds} в 1В ток I_d составил 1.9 мА. Полученные параметры соответствуют мировым аналогам [9].

Работа выполнена при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки России, уникальный идентификатор научных исследований (проекта) RFMEFI58414X0001.

1. Novoselov K. // Nature. 2005. V. 438. P. 197.
2. Chen Z. // Physica E. 2007. V. 40. P. 228.
3. Novoselov K. // Science. 2004. V. 306. P. 666.
4. Novoselov K. // Nature. 2012. V. 490. P. 190.
5. Kawano Y. // Nanotechnology. 2013. V. 24. P. 1.
6. Lin Y.-M. // Science. 2010. V. 327. P. 662.
7. Schwierz F. // Proceedings of the IEEE. 2013. V. 101. P. 1567.
8. Cheng R. // PNAS. 2012. V. 109. P. 1.
9. Kang H.-C. // Solid-State Electronics. 2010. V. 54. P. 1071.

ВЫСОКОПОРИСТЫЕ УГЛЕРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ

А.В. Самаров, Ч.Н. Барнаков, А.П. Козлов, З.Р. Исмагилов

Институт углеродной и химического материаловедения СО РАН, Кемерово, Россия
sav335@yandex.ru

На сегодняшний день пористые углеродные материалы (ПУМ) получили широкое распространение в качестве электродов высокоэффективных энергонакопительных устройств – суперконденсаторов [1, 2]. Структурные особенности (удельная поверхность, соотношение микро и мезопор) и химия поверхности ПУМ (функциональные группы) являются главными факторами, которые определяют механизмы емкостного накопления. Учет и оптимизация данных факторов позволяют синтезировать углеродные материалы с заданными электрохимическими свойствами.

В данной работе комплексом физико-химических методов анализа (рентгенофазовый анализ, КР-спектроскопия, ПЭМ- и СЭМ-микроскопия, низкотемпературная адсорбция азота) с акцентом на электрохимические свойства (циклическая вольтамперометрия) изучен ряд образцов ПУМ, синтезированных щелочной карбонизацией различных ароматических предшественников [3, 4].

Для образцов ПУМ с развитой микро-/мезопористостью интервал значений удельной емкости, полученных на щелочном (6М КОН) и кислотном электролитах (H₂SO₄), составил 75-325 Ф/г (емкость рассчитывалась на массу двух электродов). Характер вольт-амперных кривых интерпретирован с позиции формирования двойного электрического слоя и протеканием окислительно-восстановительных реакций на поверхности ПУМ.

Установлены зависимости влияния текстуры и химии поверхности ПУМ на их емкостные свойства. При этом в качестве перспективного углеродного материала для создания электродов двойнослойных суперконденсаторов рекомендован ПУМ с развитой мезопористостью.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (соглашение № 15-13-10043).

1. Mateyshina Yu., Ulihin A., Samarov A., Barnakov Ch., Uvarov N., Nanoporous carbon-based electrode materials for supercapacitors, Solid State Ionics. 2013. V. 251. N.15. Pages 59-61.
2. Barbieri O, Hahn M, Nerzog A, Kötzt R. Capacitance limits of high surface area activated carbons for double layer capacitors // Carbon. -2005. – V. 43. – P. 1303-1310.
3. Барнаков Ч.Н., Самаров А.В., Шикина Н.В., Якубик Д.Г. Структурные особенности мезопористых углеродных материалов, синтезированных щелочной карбонизацией смесей фенол-фурфурол и гидрохинон-фурфурол // Химия в интересах устойчивого развития. - 2015. - Т. 23, вып. 2. - С. 219-223.
4. Патент РФ № 2206394 Способ получения наноструктурированного углеродного материала. Барнаков Ч.Н., Сеит-Аблаева С.К., Козлов А.П. и др. Опубл. 20.06.2003. Бюл. № 17.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Абрамчук С.С.	153				Бурцева Е.К.	150			
Агеев О.А.	115				Буслаева Е.Ю.	34	169		
Агринская Н.В.	66				Быков В.А.	81	83		
Александров Г.Н.	91	101	121	150	Василов Р.Г.	123			
Алексеев А.А.	174				Васильев Ю.Б.	46			
Алексеев Н.И.	92				Васильева Г.Ю.	46			
Алмазова А.С.	73				Васильева И.Г.	100			
Амиров Р.Х.	177				Васильева Т.	35			
Антипина Л.Ю.	93	94	126		Васильева Ф.Д.	91	101	174	
Антонова И.В.	65	131	132	152	Винокуров П.В.	102	169		
Арбузов А.А.	71				Витязь П.А.	77			
Арбузов А.Б.	159				Власюк И.В.	103			
Артемкина С.Б.	82	154			Волков В.Т.	76			
Артюх А.А.	124				Волкова Я.Б.	76			
Арутюнян Н.Р.	120				Володин А.А.	71			
Архипов В.Е.	156				Володин В.А.	165	165		
Арьков И.Г.	83				Волынец Н.В.	30			
Асанов И.П.	100	147	148	155	Вопилов А.С.	104			
Атаманюк И.Н.	177				Воробьева Н.А.	177			
Багманов А.Т.	95				Воронин А.С.	105			
Бандурин Д.А.	70				Воронов Б.М.	56			
Барнаков Ч.Н.	163				Воронов В.А.	73			
Батраков К.Г.	30				Воронцов А.В.	106			
Башарин А.Ю.	87	96			Ворошнин В.Ю.	50			
Беленков Е.А.	44	97	133	144	Гайдученко И.А.	56			
	168				Галашев А.Е.	107	108	109	
Беленкова Т.Е.	97	144			Гевко П.Н.	147			
Белкин А.В.	25				Глухова О.Е.	180			
Белобров П.И.	29	98	99		Голод С.В.	36	164	165	166
Березовец В.А.	66				Гольцман Г.Н.	56			
Бибиков С.Б.	176				Горбачев Р.В.	26			
Блинникова З.К.	176				Гордеев С.К.	29	99		
Бобенко Н.Г.	55				Городецкий Д.В.	155			
Бокова-Сирош С.Н.	84				Градов О.В.	110	111		
Болотов В.В.	119				Грайфер Е.Д.	37	82	127	128
Боронин А.И.	127					129	160		
Бохонов Б.Б.	27				Грешняков В.А.	44			
Бочаров Г.С.	61				Григорьев С.А.	68			
Булавченко А.И.	147				Гришанов Д.А.	72			
Булушев Д.А.	51	85			Грызлов Д.Ю.	73			
Булушева Л.Г.	38	47	51	120	Губин С.П.	73			
	122	143	155	157	Гудков М.В.	67			
			167	179	Гусельников А.В.	122	157	167	

Гусынин В.П.	45			Кашин В.В.	123		
Даванко В.А.	176			Квашнин А.Г.	43	124	125
Давыдов С.Ю.	158	175		Квашнин Д.Г.	61	126	
Давыдова Е.С.	73			Квашнина Ю.А.	125		
Данилов Е.А.	153			Кибис Л.С.	127		
Дементьев А.П.	54			Кириченко А.Н.	134		
Демин В.А.	112			Клещ В.И.	63	70	
Денисов И.А.	29	98	99	Климов В.В.	64		
Дидейкин А.Т.	145			Климовских В.В.	50		
Дмитриев А.В.	75	113		Князев М.А.	76		
Дождиков В.С.	96			Кодинцев И.А.	171		
Дорожкин П.С.	83			Козлов А.П.	182		
Дроздов В.А.	159			Козлова М.Н.	82	128	129
Дуйсембаев Д.М.	173			Козлова О.А.	95		
Евтихийев В.П.	145			Колесникова А.С.	180		
Егорушкин В.Е.	55			Колесов В.В.	123		
Елецкий А.В.	61			Коломийцев А.С.	115		
Еняшин А.Н.	53			Комаров А.И.	77	139	
Ерофеевская А.В.	114			Комарова В.И.	88		
Житяев И.И.	115			Комонов И.А.	164	165	166
Зайковский В.И.	147			Кондрашов И.	35		
Зайцев Е.В.	116			Конonenко О.В.	57	76	140
Захарченко Р.В.	181			Корнеев А.И.	164		
Зебрев Г.И.	117	181		Корнилов Д.Ю.	73		
Земцов К.С.	117	181		Корольков И.В.	147		
Зимин А.А.	29	98	99	Коротеев В.О.	51		
Золотая П.С.	77	139		Костогруд И.А.	130		
Иванов К.Е.	54			Котин И.А.	131	132	
Иванов Ю.Л.	46			Кохановская О.А.	86		
Иванченко Ф.С.	105			Коцарева К.В.	134		
Иващенко О.В.	159			Коченгин А.Е.	133		
Илькевич Л.В.	163			Красников Д.В.	84		
Илясов В.В.	118			Краснов В.В.	141		
Инсепов З.А.	57			Краснова Е.С.	73		
Иони Ю.В.	34			Кретинин А.В.	28		
Исмагилов З.Р.	85			Кривенко А.Г.	69		
Казаков В.А.	32	142		Кряжев Ю.Г.	146		
Казакова М.А.	84			Кужир П.П.	30		
Казанцев Д.В.	83			Кузнецов А.А.	91		
Калиниченко В.Н.	68	176		Кузнецов В.Л.	25	84	
Кан В.Е.	119			Кузнецова Н.Ю.	141		
Каныгин М.А.	120	154	157	Куликов Л.М.	100		
Капитонов А.Н.	91	121	174	Кульницкий Б.А.	113		
Каплас Т.	30			Куреня А.Г.	157		
Каргин Н.И.	181			Куркина Е.С.	116		
Катанова А.Г.	121			Курмаев Э.З.	49		
Катков М.В.	122	167		Куш С.Д.	71		

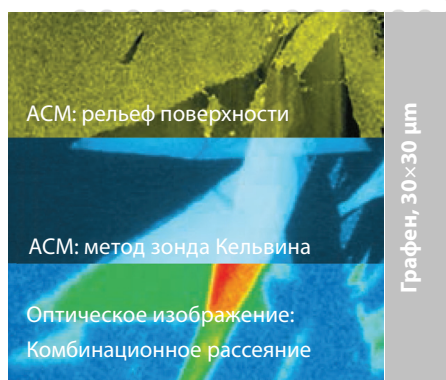
Куюнко Н.С.	71				Неустроев Е.П.	150			
Ламбин Ф.	30				Нехаев А.И.	172	173		
Лебедев АА.	66	158			Нечаев Ю.С.	58	135		
Лебедев С.П.	66				Николаев Д.В.	151			
Лев О.	72				Николаева А.В.	74	153	176	
Левченко Л.М.	162				Новиков С.В.	66			
Леднева А.Ю.	82				Ноговицына М.В.	150			
Лисицын А.С.	85				Образцов А.Н.	63	70		
Лихолобов В.А.	86				Образцова Е.А.	25			
Лобач А.С.	32	142			Образцова Е.Д	25	35	84	120
Лобет М.	30				Окотруб А.В	38	47	51	120
Лобяк Е.В.	143					122	143	155	157
Логвиненко В.А.	37	147				167	179		
Лунин В.В.	172				Охлопкова А.А.	101			
Лучинин В.В.	92				Павлюченко П.Е.	159			
Мавринский В.В.	97	144			Панин Г.Н.	140			
Макаров Ю.Н.	66				Пахневич А.А.	36			
Макотченко В.Г.	37	52	147	148	Переяславцев А.	35			
	160				Першин Ю.В.	42			
Макотченко Е.В.	160				Пинаков Д.В.	37			
Максименко С.А.	30				Плюснин П. Е.	143			
Максимов А.Л.	172	173			Поддубская О.Г.	30			
Максимова Н.Р.	91				Подлипская Т.Ю.	128	147		
Максимовский Е.А.	147				Подъячева О.Ю.	85			
Макушенко Р.К.	119				Полтарак П.А.	82	154		
Мальцев А.А.	176				Поляков О.В.	155			
Мартыненко Е.С.	146				Пономарёв А.Н.	55			
Марусева И.В.	68				Пономарёва И.В.	119			
Масалов С.А.	145				Попов В.И.	151	156		
Маслов М.М.	181				Попов К.М.	157			
Матвеев В.Н.	76	140			Посредник О.В.	158			
Матейшина Ю.Г.	27				Принц В.Я.	36	62	65	131
Медведев А.Г.	72					132	152	164	165
Мележик А.В.	33	149				166			
Мельников В.П.	67	176			Приходченко П.В.	72			
Мельникова Н.В.	55				Пуцьолов И.А.	74			
Меметов Н.Р.	33	149			Пушкарев А.С.	68			
Миннебаев С.В.	181				Раздьяконова Г.И.	86			
Миронов Ю.В.	82				Разяпов Э.Р.	178			
Михайлина А.А.	72	161			Рахманова О.Р.	107	108	109	
Михеев А.Н.	52				Рожкова Н.Н.	139	161		
Михеев Г.М.	120				Романенко А.И.	84	85		
Можжухин С.А.	71				Рощупкин Д.В.	57	140		
Мосеенков С.И.	84				Русинова М.В.	50			
Мясников В.	35				Рыбин М.Г.	35	56		
Наумкин А.В.	176				Рыжков А.В.	54			
Нгуен В.Ч.	118				Рычагов А.Ю.	73			
Небогатикова Н.А.	65	128	152		Савостьянов Г.В.	180			

Сагидуллин А.К.	162				Томская А.Е.	174			
Самаров А.В.	163	182			Тополнок Ю.А.	172	173		
Самойлов В.М.	74	153	178		Тренихин М.В.	146	159		
Саушин А.С.	120				Трипольская Т.А.	72			
Светличный А.М.	115				Трошин С.В.	175			
Свирко Ю.П.	30	63			Трусова Е.А.	134			
Седельникова О.В.	47				Туякова Ф.Т.	70			
Селезнев В.А.	164				Тыныштыкбаев К.Б.	57			
Семенова О.Н.	146				Тюфтязев А.С.	177			
Сергеев М.А.	165	166			Уваров Н.Ф.	27			
Сигалаев С.К.	142				Улихин А.С.	27			
Сигловая Н.В.	181				Усачев Д.Ю.	104			
Славинская Е.М.	127				Усачёв Д.Ю.	48	114		
Слепцова С.А.	101				Ухина А.В.	27			
Слепченков М.М.	180				Фадеев Ю.В.	105			
Смагулова С.А.	31	91	102	132	Фатеев В.Н.	68			
	156	169	174		Федоров В.Е.	37	82	129	
Смирнов А.Н.	66				Федоров Г.Е.	56			
Смирнов Д.	46				Федоровская Е.О.	38	143		
Смирнов С.Е.	74				Федосеева Ю.В.	179			
Смирнов С.Н.	103				Федотов П.В.	25			
Смовж Д.В.	130				Филиппова В.П.	58	135		
Созинов С.А.	163				Финаенов А.И.	141			
Соколов И.	35				Фионов А.В.	172			
Соловьева А.Ю.	34				Хартов С.В.	105			
Соловьева Ю.С.	150				Хауг Р.	46			
Солодовниченко В.С.	146				Цурюпа М.П.	176			
Соотс Р.А.	164	165			Червонобродов С.П.	176			
Сорокин П.Б.	43	93	94	124	Чернов А.И.	25			
	125	126			Чернов В.М.	97	144		
Спицына Н.Г.	32				Чернозатонский Л.А.	41	43	61	93
Стемпицкий В.Р.	95					106	112	124	125
Стонкус О.А.	85	127				126			
Сысоев В.И.	122				Чесалов Ю.А.	85			
Тарасов Б.П.	71				Чувиллин А.Л.	25	47	51	155
Тимофеев В.Б.	91	151	156	169	Чупров П.Н.	73			
Тимофеев С.В.	83				Шавелкина М.Б.	177			
Тимофеева Н.В.	141				Шанина О.М.	113			
Тимофеева Т.Е.	156	169			Шарапов С.Г.	45			
Тиньгаев М.И.	168				Шаронов И.А.	178			
Ткачев А.Г.	33	149			Шелаев А.В.	83			
Ткачев Е.Н.	84				Шемякин В.В.	162			
Ткачев С.В.	34	170			Шикин А.М.	50			
Ткаченко Т.Б.	163				Школьников Е.И.	177			
Толочко Б.П.	159				Шляхова Е.В.	143	179		
Толстой В.П.	171				Шмаков А.Н.	85			
Томанек Д.	43				Шмыгин Д.С.	180			

Шостаченко С.А.	117	181	Di Ventura M.	42
Шубин Ю.В.	143		Flahaut E.	143
Щапин И.Ю.	172		Lonchambon P.	143
Якобсон Б.И.	43		Traversa F.L.	42

ИНТЕГРА Спектра

Интегрированная система для проведения
одновременных измерений



Атомно-силовая микроскопия (> 30 методик)

Конфокальная КР / Флуоресцентная микроскопия*

Сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия

*Зондово-усиленная КР/флуоресцентная спектроскопия (TERS, TEFS)***

* КР — комбинационное рассеяние

** TERS — Tip-Enhanced Raman Spectroscopy,
TEFS — Tip-Enhanced Fluorescent Spectroscopy





Семейное предприятие **VACOM Vakuum Komponenten & Messtechnik GmbH** уже 23 года принадлежит к ведущим европейским производителям вакуумной техники. Мы предъявляем высокие требования к нашей работе и к качеству наших продуктов.

Основные направления деятельности нашего предприятия для продуктов, использующихся в областях от высокого до сверхвысокого вакуума:

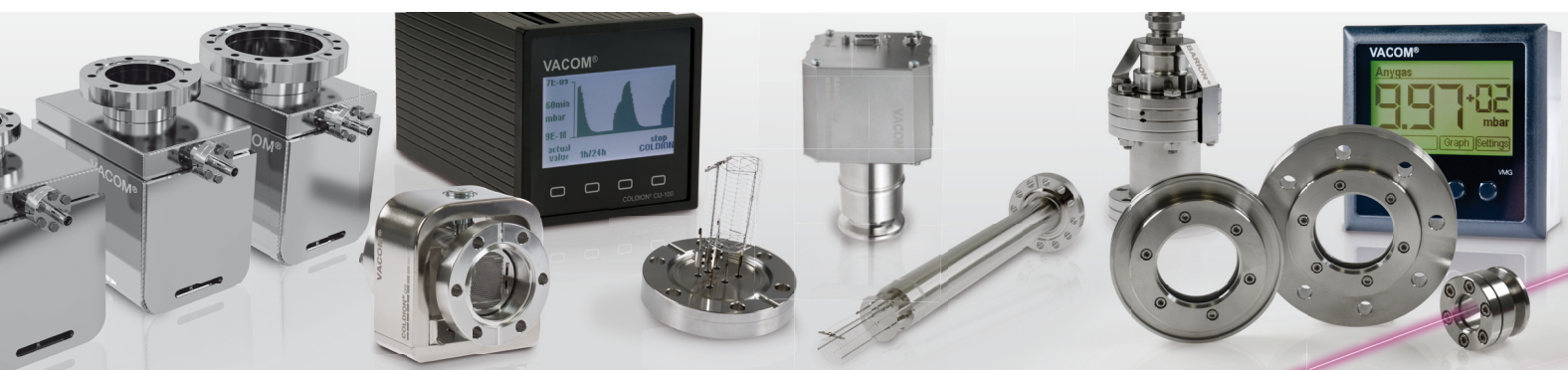
- вакуумная механика
- вакуумная измерительная техника
- вакуумная оптика
- электрические вводы
- геттерно-ионные насосы

Разработка инновативных технологий обработки поверхностей с высочайшими требованиями к чистоте, уровню остаточного газовыделения и количеству остаточных частиц позволяет нам сотрудничать с партнёрами и клиентами, работающими в области высоких технологий: техники полупроводников, оптики, электроники и ускорителей частиц. Специальная продукция **VACOM** применяется в развивающихся областях EUV литографии и медицинских ускорителях.

Наше преимущество - полный процесс изготовления в наших руках- от конструирования до упаковки.

VACOM предлагает:

- Вакуумные компоненты и камеры из легированной стали по спецификации
- Вакуумные компоненты и камеры из алюминия, соответствующие стандарту ConFlat для UHV и XHV
- Биметаллические CF-фланцы, объединяющие в себе высокую прочность легированной стали и преимущества алюминиевых сплавов
- Ионизационные вакуумметры с холодным катодом из серии **COLDION®**
- Широкодиапазонные комбинированные вакуумметры **BARION® atm**
- Ионизационные вакуумметры с горячим катодом серии **BARION®**
- Геттерно-ионные насосы серии **REVISION®**
- Широкий выбор вакуумных смотровых окон и оптоволоконных вводов





НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ
«ГРАФЕНОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ»

НПО Графеновые материалы является производителем фторированного графена, сочетающего уникальные свойства графена и фторопласта.

Благодаря наличию фтора фторграфен имеет гидрофобные свойства, великолепно смешивается с органическими жидкостями и создает устойчивые масштабируемые дисперсии. Это позволяет придавать материалам необычные свойства: электропроводность, прочность, термостойкость, снижение износа и трения, а также многое другое.

КОМПОЗИТНЫЕ И ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

МАСЛА, СМАЗКИ,
ФРИКЦИОННЫЕ
КОМПОЗИТЫ

ХИМИЧЕСКИЕ
ИСТОЧНИКИ
ТОКА

МЕДИЦИНСКИЕ
ПРИЛОЖЕНИЯ



Придайте Вашим материалам уникальные свойства!

www.smart-graphene.ru

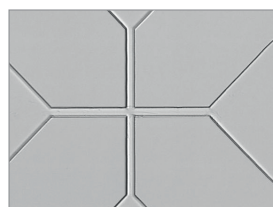
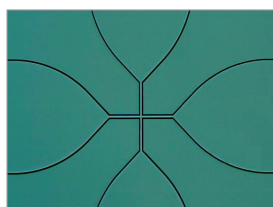
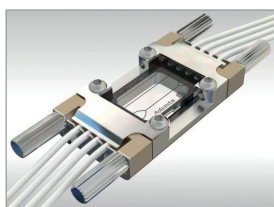
195030 г. Санкт-Петербург, Выборгское шоссе, д. 34. Тел: (812) 922 74 60



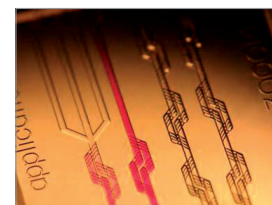
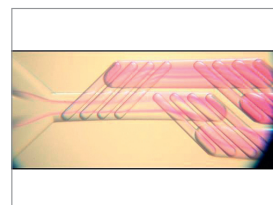
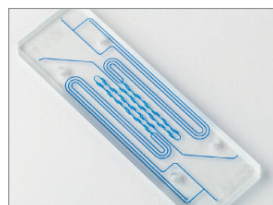
Микрофлюидика Dolomite



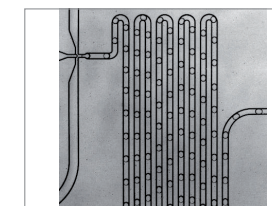
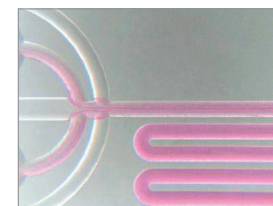
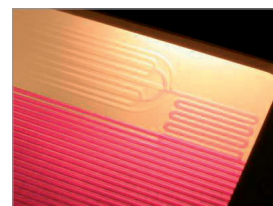
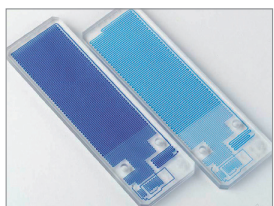
Микрофлюидика **Dolomite** позволяет работать с очень малыми количествами жидкостей, газов, частицами, каплями, клетками животного, растительного и бактериального происхождения с возможностью наблюдать, управлять и контролировать процессы. Это дает возможность проводить «традиционные» исследования в миниатюрном формате, а также проводить исследования, которые ранее были невозможны.



- **интенсивное смешивание** компонентов в чипах-микромиксерах, где за счет сложной геометрии каналов происходит многократное последовательное разделение и объединение ламинарных потоков смешиваемых веществ, что увеличивает площадь соприкосновения потоков и взаимную диффузию реагентов;
- управление микропотоками жидкости и газа: разделение, объединение и перемешивание потоков (с перепадами давления при изменении диаметра каналов);
- **получение градиентов** смешиваемых веществ в чипах-градиентаторах, в которых вещества диффундируют между двумя соприкасающимися ламинарными потоками, последовательно разделяемыми на большое количество каналов с градиентом концентраций смешиваемых веществ;



- **фильтрация взвесей** от фазы-носителя (продукта химического синтеза, растворителя и т.д.);
- **металлонапыление** (Au, Pt, Ag, Cu) для получения микроэлектродов в каналах чипов (для подведения напряжения при капиллярном электрофорезе, для получения нагревательных микроэлементов и температурных микротермопар, для измерения электрического импеданса – подсчет частиц, жизнеспособность клеток и т.д.);
- получение газовых микропузырьков для изучения физико-химических **свойств коллоидных систем**, получения вспененных композитов и полимеров;



- **прецизионный химический синтез** на проточных микрореакторах с высокой скоростью за счет устранения диффузионных ограничений, имеющих в «классических» реакторах;
- **изучение кинетики** (“stopped-flow”) при смешивании реагентов с детекцией продуктов вдоль протяженного канала (вдоль координаты реакции);
- **получение наночастиц** как в ходе химического синтеза, так и в ходе кристаллизации или полимеризации (для получения флуоресцентных красителей “квантовых точек”, пористых сорбентов с заданными свойствами, микроносителей для прикрепления клеток, магнитных микрочастиц для изучения сложных молекулярных и клеточных взаимодействий);
- газовая и жидкостная **хроматография** в канале чипа, соединенного с детектором;

Подробный каталог «Микрофлюидика, Dolomite» вы можете скачать на сайте www.dia-m.ru или запросить у специалистов тел./факс: (495) 745-0508; sales@dia-m.ru

Журнал поддерживает и популяризирует оригинальные работы отечественных и русскоязычных зарубежных специалистов, знакомит читателей с перспективами развития новых направлений нанотехнологий и наноматериалов, освещает вопросы производства, экономики и бизнеса в области nanoиндустрии

**Взгляд
в будущее**

www.nanoindustry.su

NANOINDUSTRY

НАНОИНДУСТРИЯ



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издается с 2007 года

Периодичность – 6 номеров в год,

с 2012 года – 8 номеров в год

Выпускается при содействии Роспрома

Издатель: ЗАО «РИЦ «Техносфера»

Главный редактор:

Петр Павлович Мальцев

Реклама и статьи принимаются по

адресу: atsaplin@technosphaera.ru

Тел.: +7 (495) 234-01-10

АККОЛАВ

ООО «АкКо Лаб» – научно-производственная компания, специализирующаяся на разработке и изготовлении уникальных инновационных материалов. Кадровый состав нашей компании – высококвалифицированный персонал, в который входят доктора и кандидаты наук, имеющие большой опыт в реализации высокотехнологичных и наукоемких проектов от идеи до опытно-промышленного образца. Техническое обеспечение и возможности нашей компании позволяют решить любую научно-техническую задачу в области создания уникальных материалов и устройств хранения энергии на их основе.



В настоящий момент компания ведет работы по следующим направлениям:

1. Разработка высокоэнергоемкого литий-ионного аккумулятора;
2. Разработка полностью углеродного суперконденсатора;
3. Разработка технологии изготовления элементов микросистемных устройств методом струйной 2D печати чернилами, содержащими графен и функциональные наночастицы.

Сотрудники нашей компании готовы оказать консультационную поддержку по вопросам разработки, применения и производства материалов/компонентов литий-ионных аккумуляторов и суперконденсаторов следующего поколения.



По техническому заданию заказчика ООО «АкКо Лаб» готово выполнить услуги по разработке и изготовлению опытных образцов инновационных литий-ионных аккумуляторов и суперконденсаторов.



В лаборатории ООО «АкКо Лаб» разработаны уникальные, экономически выгодные методы получения следующих катодных материалов:

- LiCoO_2 (рабочее напряжение 2,5 – 4,2В);
- LiMn_2O_4 (рабочее напряжение 2,5 – 4,2В);
- $\text{Li}_{1+a}\text{Ni}_b\text{Mn}_c\text{Co}_d\text{O}_2$ (рабочее напряжение 2,5 – 4,8В).

Научное издание

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

ПРОГРАММА И СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ

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

Техническое редактирование и верстка
Седельникова О.В., Миронова Г.Н., Коротеев В.О.

Подписано к печати и в свет 14.08.2015.

Формат 60×84/8.

Гарнитура «Times New Roman». Печ. л. 25,2. Уч.-изд. л. 25,5.

Тираж 160 экз. Заказ № 143.

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