

N* Новосибирский
государственный
университет
*НАСТОЯЩАЯ НАУКА



ВТОРАЯ РОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

ГРАФЕН

МОЛЕКУЛА И 2D-КРИСТАЛЛ
7 - 11 АВГУСТА 2017 ГОДА



O **C** Si Al

carbon
nanomaterials
for the global
industry



INTECH

INTERTECH Corporation



Г. НОВОСИБИРСК

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»

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

Программа и сборник тезисов докладов

7-11 августа 2017 года

Новосибирск, 2017

УДК 546.26+54.052+544.22

Программа и тезисы докладов Второй российской конференции «Графен: молекула и 2D-кристалл» / Ответственный за выпуск А.В. Окотруб. Новосибирск: ИНХ СО РАН, 2017, 168 с.

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

Программный комитет:

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

Секретариат конференции:

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

**ПРОГРАММА
ВТОРОЙ РОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ГРАФЕН: МОЛЕКУЛА И 2D КРИСТАЛЛ»**

	7 августа понедельник	8 августа вторник	9 августа среда	10 августа четверг	11 августа пятница	
9:00 - 9:30		Чувилин	Чернозатонский	Кибис	Першин	
9:30 - 10:00		Галашев	Предтеченский	Сорокин	Пенцак	
10:00 - 10:30		Алексеев	Елецкий	Рожков	Толстой	
10:30 - 11:00		<i>Кофе-брейк</i>				
11:00 - 11:20		Подъячева	Чебочаков	Квашнин	Красавин	
11:20 - 11:40		Пономарев	Сысоев	Катков	Небогатикова	
11:40 - 12:00		Федоров	Аникеева	Терентьев	Дмитриев	
12:00 - 12:20	Регистрация		Бобринецкий	Решетняк	Седельникова	
12:20 - 14:00			<i>Обед</i>		Закрытие	
14:00 - 14:30	Горбачев	Вялых	Илькевич Костоград Чичкань Цапенко Пудиков Иванов	Насибулин	<i>Экскурсии в Институты и НГУ</i>	
14:30 - 15:00	Смирнов	Батраков		Тарасов		
15:00 - 15:30	Кретинин	Ткачев		Качоровский		
15:30 - 16:00		<i>Кофе-брейк</i>				
16:00 - 16:20	Шульга	Сорокина	Лобяк Гудков Кузнецов Копылова Яковлев Архипов	Булушев		
16:20 - 16:40	Антонова	Баскаков		Баимова		
16:40 - 17:00	Шавелкина	Смагулова		Тренихин		
17:00 - 17:20	Асанов	Макотченко		Булушева		
17:20 - 17:40	Неудачина	Рабчинский		Коротеев		
	<i>Фуршет</i>	Стендовая сессия		Компании		
				<i>Банкет</i>		

НАУЧНАЯ ПРОГРАММА

Второй российской конференции «ГРАФЕН: МОЛЕКУЛА И 2D-КРИСТАЛЛ»

7 августа 2017 года, понедельник

- 13:50-14:00 **ОТКРЫТИЕ КОНФЕРЕНЦИИ**
Окотруб А.В.
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск
Губин С.П.
Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова
Федин В.П.
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск
Федорук М.П.
Новосибирский государственный университет, Новосибирск
- 14:00-14:30 **NEW MATERIALS FOR VAN DER WAALS HETEROSTRUCTURES**
Горбачев Р.В.
University of Manchester, UK
- 14:30-15:00 **НЕПРЕРЫВНЫЙ РОСТ МОНОКРИСТАЛЛОВ 2D-МАТЕРИАЛОВ**
Власюк И., Смирнов С.
Oak Ridge National Laboratory, USA
New Mexico State University, USA
- 15:00-15:30 **ШУНТИРУЮЩИЕ КРАЕВЫЕ СОСТОЯНИЯ В ГРАФЕНЕ С ЩЕЛЬЮ**
Кретинин А.В., Горбачев Р.В., Жу М.-Д., Витерс Ф., Томпсон М.Д.,
Бандурин Д.А., Ху Ш., Юу Г.-Л., Биркбёрк Дж., Мищенко А.,
Вера-Марун И.И., Ватанабе К., Танигучи М., Полини М., Пранс Дж. Р.,
Новосёлов К.С., Гейм А.К., Бен Шалом М.
Манчестерский Университет, Манчестер
Национальный Институт Графена, Манчестер, Великобритания
- 16:00-16:20 **ПЕЧАТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ**
Шульга Ю.М., Баскаков С.А., Лобач А.С., Кабачков Е.Н., Нефедкин С.И.
Институт проблем химической физики РАН, Черноголовка
- 16:20-16:40 **МАТЕРИАЛЫ И СТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА ДЛЯ 2D ПЕЧАТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**
Антонова И.В.
Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Новосибирск
Новосибирский государственный технический университет
Новосибирский государственный университет

- 16:40-17:00 **НЕПРЕРЫВНЫЙ СИНТЕЗ ГИДРИРОВАННЫХ ГРАФЕНОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЫ**
Шавелкина М.Б., Амиров Р.Х., Алиханов М-Р., Вахитов И.Р., Шаталова Т.Б.
Объединенный институт высоких температур РАН, Москва
- 17:00-17:20 **ФОРМИРОВАНИЕ УГЛЕРОДНЫХ СЛОЕВ НА ПОВЕРХНОСТИ НАНОВОЛОКОН ОКСИДА АЛЮМИНИЯ**
Солодовниченко В.С., Шиверский А.В., Симунин М.М., Лебедев Д.В., Быканова В.В., Рыжков И.И.
Институт вычислительного моделирования СО РАН - обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск
- 17:20-17:40 **СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ФТОРИДОВ ГРАФЕНА СОСТАВА CF И C_2F**
Асанов И.П., Макотченко В.Г., Даниленко А.М., Корольков И.В., Подлипская Т.Ю.
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск

8 августа 2017 года, вторник

- 9:00-9:30 **КИНЕТИКА АТОМНЫХ ПЕРЕСТРОЕК НА ПРИМЕРЕ ГРАФЕНА**
Чувилин А.Л.
CIS nanoGUNE, San-Sebastian, Spain
- 9:30-10:00 **КОМПЬЮТЕРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ГРАФЕНОВОЙ И ГРАФИТОВОЙ ПОДДЕРЖКИ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ СИЛИЦЕНА**
Галашев А.Е., Рахманова О.Р., Иваничкина К.А.
Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН, Екатеринбург
- 10:00-10:30 **ГРАФЕНОВЫЕ ЭЛЕКТРОДЫ ДЛЯ МИКРОАКТЮАТОРОВ БИОМИМЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**
Алексеев Н.И., А.П. Бройко, Т.П. Дьячкова, А.В. Корляков, И. К. Хмельницкий, В. Е. Калёнов, А. В. Лагош, Б.П.Морозов, А. О. Лившиц
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В. И. Ульянова, С.-Петербург
- 11:00-11:20 **ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАФЕНА ПРИ ПОМОЩИ РФЭС, РАМАНОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ И ПЭМ: ОПЫТ THERMO SCIENTIFIC**
Неудачина В.С.
Intertech Corporation
- 11:20-11:40 **СХОДСТВА И РАЗЛИЧИЯ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК И НАНОВОЛОКОН, ДОПИРОВАННЫХ АЗОТОМ: ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ И СОСТАВА**
Подъячева О.Ю., Субоч А.Н., Черепанова С.В., Шмаков А.Н., Лисицын А.С., Кибис Л.С., Свинцицкий Д.А., Боронин А.И., Стонкус О.А., Романенко А.И., Пузынин А.В., Еременко Н.К., Исмагилов З.Р.
*Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, Новосибирск
Новосибирский государственный университет*
- 11:40-12:00 **НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ И ТЕПЛОВЫЕ СВОЙСТВА ГРАФЕНА**
Пономарев А.Н., Егорушкин В.Е., Мельникова Н.В., Бобенко Н.Г., Белослудцева А.А., Баркалов Л.Д.
*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск
Томский политехнический университет*
- 12:00-12:20 **НАНОСТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА**
Федоров Г.Е.
Московский физико-технический институт, Долгопрудный
- 14:00-14:30 **APPLICATION OF SOLID-STATE NMR FOR CHARACTERIZING CHEMICALLY MODIFIED GRAPHITES**
Вялых А.
Technical University Freiberg, Freiberg, Germany
- 14:30-15:00 **СТИМУЛИРОВАННОЕ ЧЕРЕНКОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ В ГРАФЕНОВЫХ СЭНДВИЧАХ**
Батраков К.Г., Максименко С.А.
Институт ядерных проблем Белорусского государственного университета, Минск

- 15:00-15:30 **ГИБРИДНЫЕ УГЛЕРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ФОРМЫ ГРАФЕНА**
Ткачев А.Г., Мележик А.В., Меметов Н.Р.
Тамбовский государственный технический университет, Тамбов
- 16:00-16:20 **КВАЗИОДНОМЕРНЫЕ ХАЛЬКОГЕНИДЫ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ. СИНТЕЗ, СВОЙСТВА И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДСКАЗАНИЯ**
Сорокина Л.Ю., Liu X., Liu J., Hu J., Yue C., Sanchez A.M., Mao Z., Wei J., Сорокин П.Б.
Технологический институт сверхтвердых и новых углеродных материалов, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва
- 16:20-16:40 **ИЗГОТОВЛЕНИЕ ТОКОСЪЕМНИКОВ МЕТОДОМ 3D-ПЕЧАТИ И ИХ ИСПЫТАНИЕ В СУПЕРКОНДЕНСАТОРЕ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ**
Баскаков С.А., Баскакова Ю.В., Лысков Н.В., Дремова Н.Н., Кабачков Е.Н., Шульга Ю.М.
Институт проблем химической физики РАН, Черноголовка
- 16:40-17:00 **ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ УГЛЕРОДНЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК**
Смагулова С.А., Томская А.Е., Капитонов А.Н.
Северо-Восточный федеральный университет им М.К. Аммосова, Якутск
- 17:00-17:20 **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗМЕРНОГО ФАКТОРА НА СОСТАВЫ И СВОЙСТВА СОЕДИНЕНИЙ ГРАФИТА И ГРАФЕНА**
Макотченко В.Г., Даниленко А.М., Асанов И.П.
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск
- 17:20-17:40 **ПОЛУЧЕНИЕ КАРБОКСИЛИРОВАННОГО ГРАФЕНА ПУТЕМ ФОТОХИМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПЛЕНОК ОКСИДА ГРАФЕНА В ИНЕРТНОЙ АТМОСФЕРЕ**
Рабчинский М.К., Дидейкин А.Т., Шнитов В.В., Байдакова М.В., Кириленко Д.А., Брунов П.Н.
*Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе, Санкт-Петербург
Университет ИТМО, Санкт-Петербург*

17:40-20:00

СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ

- C1 **КОНТРОЛИРУЕМЫЙ ЭЛЕКТРОСИНТЕЗ ПОЛИАНИЛИНА НА РАЗВЕТВЛЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ВОССТАНОВЛЕННОГО ОКСИДА ГРАФЕНА**
Абляева В.В., Баскаков С.А.
ФГБУН Институт проблем химической физики РАН, Черноголовка
- C2 **КОМПОЗИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ВОССТАНОВЛЕННОГО ОКСИДА ГРАФЕНА И ПОЛИАНИЛИНА. СОСТАВ, МОРФОЛОГИЯ, ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА**
Абляева В.В., Баскаков С.А.
ФГБУН Институт проблем химической физики РАН, Черноголовка
- C3 **УПРОЧНЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО АЛЮМИНИЯ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ**
Алексеев А.В., Дубов Д.Ю., Предтеченский М.Р., Хасин А.А.
OCSiAl, Новосибирск
- C4 **АНОМАЛЬНЫЕ КВАНТОВЫЕ ОСЦИЛЛЯЦИИ В ПЕРЕСТРАИВАЕМОМ БИСЛОЕ ГРАФЕНА**
Алисултанов З.З.
Институт физики им. Х.И. Амирханова ДНЦ РАН, Махачкала
- C5 **МАЛОСЛОЙНЫХ ГРАФЕН ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫЙ ИРИДИЕМ**
Асанова Т.И., Губанов А.И., Макотченко В.Г., Герасимов Е.Ю., Булушев Д.А., Асанов И.П.
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск
- C6 **КОМПОЗИТНЫЙ АЭРОГЕЛЬ НА ОСНОВЕ ВОССТАНОВЛЕННОГО ОКСИДА ГРАФЕНА И ПОЛИАНИЛИНА**
Баскаков С.А., Баскакова Ю.В., Шульга Ю.М.
ФГБУН Институт проблем химической физики РАН, Черноголовка
- C7 **КОМПОЗИТ, ОБРАЗУЮЩИЙСЯ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ ОБЛУЧЕНИИ ВОДНОЙ СУСПЕНЗИИ ОКСИД ГРАФИТА – TiO₂**
Баскакова Ю.В., Арбузов А.А., Кабачков Е.Н., Шульга Ю.М.
ФГБУН Институт проблем химической физики РАН, Черноголовка
- C8 **ЭЛЕКТРОННЫЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ГРАФЕНОВЫХ СТРУКТУР**
Валишина А.А., Лысогорский Ю.В., Недопекин О.В., Таюрский Д.А.
Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань
- C9 **СУСПЕНЗИЯ ОКСИДА ГРАФЕНА, СИНТЕЗИРОВАННАЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ, ДЛЯ 2D ПЕЧАТИ**
Васильева Ф.Д., Капитонов А.Н., Антонова И.В., Смагулова С.А.
Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск
- C10 **ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ НА ПРОВОДИМОСТЬ ОКСИДА ГРАФЕНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЛАЖНОСТИ**
Винокуров П.В., Евсеев З.И., Тимофеева Т.Е., Смагулова С.А.
ФГАОУ ВО Северо-Восточный федеральный университет, Якутск

- C11 **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЭРОЗОЛЯ ПРИ ЛЕГИРОВАНИИ ОДНОСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК**
Гольдт А.Е., Цапенко А.П., Насибулин А.Г
Сколковский институт науки и технологий, Сколково
- C12 **ПОЛУЧЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННОГО ГРАФЕНА ДЛЯ ЭЛЕКТРОДОВ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ**
Горенская Е.Н., Холхоев Б.Ч., Макотченко В.Г., Юсин С.И., Очиров, Б.Д., Бурдуковский В.Ф., Федоров В.Е.
Байкальский институт природопользования СО РАН, Улан-Удэ
- C13 **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТОНКИХ МЕМБРАН МИКРОННОГО РАЗМЕРА НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА**
Городецкий Д.В., Попов К.М., Архипов В.Е., Самусов И.А, Окотруб А.В., Першин Ю.В.
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск
- C14 **ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОДНОСЛОЙНЫХ НАНОТРУБОК В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПА ПРОВОДИМОСТИ**
Гурова О.А., Окотруб А.В.
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск
- C15 **ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСУЛЬФИДА МОЛИБДЕНА, ДОПИРОВАННОГО АТОМАМИ Re ИЛИ Nb МЕТОДАМИ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ**
Далматова С.А., Федоренко А.Д., Леднева А.Ю., Асанов И.П., Федоров В.Е., Мазалов Л.Н.
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск
- C16 **ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ УГЛЕРОДНЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК**
Егорова М.Н., Томская А.Е., Капитонов А.Н, Смагулова С.А.
Северо-восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск
- C17 **ЭФФЕКТ РЕЗИСТИВНЫХ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЙ В СЛОИСТЫХ СТРУКТУРАХ ЧАСТИЧНО ФТОРИРОВАННОГО ГРАФЕНА С ПОЛИВИНИЛОВЫМ СПИРТОМ**
Иванов А.И., Небогатикова Н.А., Котин И.А., Антонова И.В.
Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Новосибирск
- C18 **ЭФФЕКТ РЕЗИСТИВНЫХ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЙ В КОМПОЗИТНЫХ ПЛЁНКАХ ЧАСТИЧНО ФТОРИРОВАННОГО ГРАФЕНА С НАНОКРИСТАЛЛАМИ V₂O₅**
Иванов А.И., Небогатикова Н.А., Антонова И.В.
Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Новосибирск
- C19 **МАГНЕТИЗМ И АДСОРБЦИЯ ГРАФЕНА НА MnO(111) С ВАКАНСИЯМИ КИСЛОРОДА В ИНТЕРФЕЙСЕ: АВ ИНИЦИО ИЗУЧЕНИЕ**
Илясов В.В., Попова И.Г., Ершов И.В.
Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону

- C20 **СИНТЕЗ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЗОТДОПИРОВАННОГО «ДЫРЯВОГО» ГРАФИТА**
Кобелева Е.С., Федоровская Е.О., Столярова С.Г., Булушева Л.Г., Окотруб А.В.
Новосибирский государственный университет, Новосибирск
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск
- C21 **ПОЛИХАЛЬКОГЕНИДЫ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ СО СЛОИСТОЙ И ЦЕПОЧЕЧНОЙ СТРУКТУРОЙ КАК ПРЕДШЕСТВЕННИКИ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ**
Козлова М.Н., Федоров В.Е.
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск
Новосибирский государственный университет, Новосибирск
- C22 **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ЛОКАЛЬНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПЛЕНОК ОКСИДА ГРАФЕНА**
Кондрашов В.А., Стручков Н.С., Неволин В.К., Насибулин А.Г.
Сколковский институт науки и технологий, Сколково
- C23 **ПОЛУЧЕНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ПРОДУКТОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДА ГРАФЕНА УЛЬТРАЗВУКОМ В КИСЛОЙ СРЕДЕ ИЛИ ГИДРАЗИНОМ В ВОДНОЙ ЩЕЛОЧИ**
Копылов А.В., Ткаченко Т.Б., Илькевич Л.В., Барнаков Ч.Н.
ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», Кемерово
- C24 **ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА, СОЗДАННЫЕ С ПОМОЩЬЮ 2D ПЕЧАТИ**
Котин И.А., Антонова И.В., Якимчук Е.А., Соотс Р.А.
Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Новосибирск
- C25 **УГЛЕРОДНЫЕ 2D ПОВЕРХНОСТИ В ЗАДАЧАХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ 5G**
Кужир П.П., Поддубская О.Г., Волынец Н.И., Батраков К.Г., Максименко С.А., Каплас Т., Свирко Ю.П.
Институт ядерных проблем Белорусского государственного университета, Минск
- C26 **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРНЫХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФТОРИРОВАННОГО, ГИДРИРОВАННОГО И ОКИСЛЕННОГО ГРАФЕНА**
Куркина И.И., Васильева Ф.Д., Смагулова С.А.
Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск
- C27 **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЛИТИЯ С ОДНОСЛОЙНЫМИ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ МЕТОДАМИ РЕНТГЕНОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ**
Лаптева Л.Л., Федосеева Ю.В., Окотруб А.В., Булушева Л.Г.
Новосибирский государственный университет,
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск
- C28 **ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУМЕРНЫХ ПЛЕНОК ОКСИДА ЖЕЛЕЗА**
Ларионов К.В., Квашнин Д. Г., Сорокин П.Б.
Технологический институт сверхтвердых и новых углеродных материалов, Троицк
Московский физико-технический институт, Долгопрудный

- C29 **МЕТОДЫ ПРИМЕНЕНИЯ МАЛОСЛОЙНЫХ ГРАФЕНОВ И ФТОРИДОВ ГРАФИТА ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ ПРОЛИВОВ ЖИДКИХ РАКЕТНЫХ ТОПЛИВ**
Мако́тченко В.Г., Кручинин Н.А.
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск
- C30 **ФИЗИКА ИНТЕРКАЛЯЦИИ H₂ В ГРАФЕНОВЫЕ СТРУКТУРЫ**
Нечаев Ю.С., Мако́тченко В.Г.
ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», ИМиФМ им. Г.В. Курдюмова, Москва
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск
- C31 **ВОЗДЕЙСТВИЕ ПЛАЗМЫ SF₆ НА СВОЙСТВА ГРАФЕНА И ОКСИДА ГРАФЕНА**
Неустроев Е.П., Ноговицына М.В., Соловьев Б.Д., Куркина И.И., Николаев Д.В.
Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск
- C32 **ПОЛУЧЕНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ПРОДУКТОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДА ГРАФЕНА УЛЬТРАЗВУКОМ ИЛИ ГИДРАЗИНОМ В ЩЕЛОЧНОЙ СРЕДЕ**
Никифоров В.Е., Ткаченко Т.Б., Илькевич Л.В., Барнаков Ч.Н.
ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», Кемерово
- C33 **ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ ПРОЗРАЧНЫХ ПРОВОДЯЩИХ ПЛЕНОК ИЗ CVD-ГРАФЕНА, ПЕРЕНЕСЕННЫХ МЕТОДОМ ЛАМИНИРОВАНИЯ**
Тимофеев В.Б., Попов В.И., Николаев Д.В., Тимофеева Т.Е., Смагулова С.А.
Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск
- C34 **СИНТЕЗ, ХАРАКТЕРИСТИКА И ПРИМЕНЕНИЕ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ СЕРЕБРЯНЫХ НАНОЧАСТИЦ И ГРАФЕНОВ**
Ноговицына М.В., Неустроев Е.П., Куркина И.И.
Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск
- C35 **КВАНТОВАЯ ЯМА НОВОГО ТИПА НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА С РАЗНЫМИ СКОРОСТЯМИ ФЕРМИ**
Пех П.Л., Силин А.П.
Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва
- C36 **НАНОЛИСТЫ ОКСИДА ГРАФИТА И ГЕКСАГОНАЛЬНОГО НИТРИДА БОРА ДОПИРОВАННЫЕ ОКТАЭДРИЧЕСКИМИ КЛАСТЕРНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ МОЛИБДЕНА**
Плотникова Е.Е., Козлова М.Н., Шестопапов М.А.
Новосибирский государственный университет,
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск
- C37 **НОВЫЙ ПОДХОД К СИНТЕЗУ ГЕРМАНАНА**
Полтарак А.А., Артемкина С.Б., Федоров В.Е.
Новосибирский государственный университет,
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск
- C38 **ЖИДКОФАЗНАЯ ИНТЕРКАЛЯЦИЯ НАТРИЕМ ТРИСУЛЬФИДОВ ТИТАНА И ЦИРКОНИЯ**
Полтарак П.А., Артемкина С.Б., Федоров В.Е.
Новосибирский государственный университет,
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск

- C39 **СТРУКТУРА ГРАФЕНОВЫХ ПЛЁНОК В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ CVD-СИНТЕЗА И РАЗМЕРА КРИСТАЛЛИТОВ МЕДНОЙ ФОЛЬГИ**
Попов К.М., Архипов В.Е., Гусельников А.В., Гевко П.Н., Максимовский Е.А., Колесов Б.А., Булушева Л.Г., Окотруб А.В.
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск
- C40 **АУКСЕТИЧНОСТЬ УГЛЕРОДНЫХ АЛМАЗОПОДОБНЫХ ФАЗ**
Рысаева Л.Х., Баимова Ю.А.
Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, Уфа
- C41 **КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ПЕРФОРИРОВАННОГО ГРАФИТА И MoS₂, SnS₂ КАК КАТОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ LI-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ**
Столярова С.Г., Коротеев В. О., Окотруб А.В., Булушева Л.Г.
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск
- C42 **ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА ОКСИДА ГРАФЕНА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТУШЕНИЯ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ФЛУОРЕСЦЕНТНО МЕЧЕННЫХ ДНК**
Тимофеева Т.Е., Александров Г.Н., Кузнецов А.В., Смагулова С.А.
Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск
- C43 **СИНТЕЗ УГЛЕРОДНЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК С НАСТРАИВАЕМОЙ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЕЙ**
Томская А.Е., Егорова М.Н., Капитонов А.Н., Смагулова С.А.
Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова, Якутск
- C44 **ГИБРИДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА И ПОЛИАНИЛИНА ДЛЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ**
Федоровская Е.О., Булушева Л.Г., Окотруб А.В.
*Новосибирский государственный университет
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск*
- C45 **СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СТРОЕНИЯ И СВОЙСТ ЛЕГИРОВАННЫХ БОРОМ И АЗОТОМ МНОГОСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК И ПОЛИЭДРОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОДУГОВОГО ИСПАРЕНИЯ ГРАФИТА**
Федосеева Ю.В., Седелникова О.В., Плющ А.О., Кужир П.П., Булушева Л.Г., Окотруб А.В.
*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск
Новосибирский государственный университет*
- C46 **ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ БИОСОВМЕСТИМЫХ ПОЛИМЕРОВ И ГРАФЕНА**
Холхоев Б.Ч., Макотченко В.Г., Федоров В.Е., Бурдуковский В.Ф.
*Бурятский государственный университет,
Байкальский институт природопользования СО РАН, Улан-Удэ*

- C47 **СИНТЕЗ И ДИЗАЙН ГИБРИДНЫХ НАНОЧАСТИЦ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА**
Трусова Е.А., Чипкин П.И., Коцарева К.В., Кириченко А.Н.
ФГБУН Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов», Москва
- C48 **СИНТЕЗ ГРАФИТОВЫХ СЛОЕВ НА ПОВЕРХНОСТИ САПФИРА ПРИ ПИРОЛИЗЕ ЭТАНОЛА**
Шиверский А.В., Симунин М.М., Солодовниченко В.С., Лебедев Д.В., Воронин А.С., Фадеев Ю.В., Хартов С.В., Рыжков И.И.
Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр СО РАН» ФИЦ Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск
- C49 **ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГИБРИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУР И ПОЛИПИРРОЛА**
Юрченкова А.А., Попов К.М., Федоровская Е.О., Булушева Л.Г., Окотруб А.В.
*Новосибирский государственный университет
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск*
- C50 **2D ГРАФЕНОВЫЕ НАПЕЧАТАННЫЕ ПРОВОДЯЩИЕ СЛОИ С ВЫСОКОЙ ПОДВИЖНОСТЬЮ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА**
Якимчук Е.А., Соотс Р.А., Котин И.А., Антонова И.В.
Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова, Новосибирск
- C51 **ЭЛЕКТРОННОЕ СТРОЕНИЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА СЛОИСТЫХ ДИХАЛЬКОГЕНИДОВ ХРОМА-МЕДИ, ДОПИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗОМ**
Перегудова Н.Н., Лаврухина С.А., Мазалов Л.Н., Диков Ю.П., Соколов В.В., Федоренко А.Д.
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск
- C52 **АДСОРБЦИЯ ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ФОЛАТ-АНИОНА И НЕКОТОРЫХ КРАСИТЕЛЕЙ НА НАНОАЛМАЗЕ**
Вострецова Е.Н., Скорик Н.А.
Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск

9 августа 2017 года, среда

- 9:00-9:30 **БИСЛОЙНЫЕ ГРАФЕНОПОДОБНЫЕ НАНОСТРУКТУРЫ: РЕАЛЬНОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ**
Чернозатонский Л.А., Артюх А.А., Демин В.А., Квашнин Д.Г.
Институт биохимической физики имени Н. М. Эмануэля РАН, Москва
- 9:30-10:00 **УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ – НОВЫЕ ВЫЗОВЫ**
Предтеченский М.Р.
OCSiAl, Новосибирск
- 10:00-10:30 **НЕОМИЧЕСКАЯ ПРОВОДИМОСТЬ ЧАСТИЧНО ВОССТАНОВЛЕННОГО ОКСИДА ГРАФЕНА**
Бочаров Г.С., Елецкий А.В.
Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва
- 11:00-11:20 **УПРОЧНЕНИЕ СЛОИСТЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СТЕКЛО- И УГЛЕВОЛОКНА С ПОМОЩЬЮ ОДНОСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК TUBALL**
Ильин Е.С., Чебоचाков Д.С., Предтеченский М.Р.
OCSiAl, Новосибирск
- 11:20-11:40 **ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОВОДИМОСТЬ И СЕНСОРНЫЕ СВОЙСТВА ФУНКЦИАЛИЗИРОВАННОГО ГРАФЕНА**
Сысоев В.И., Окотруб А.В., Колесник-Грей М., Крстич В., Булушева Л.Г.
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск
- 11:40-12:00 **ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОВ ПОГЛОЩЕНИЯ: МОДЕЛЬ ОДНОРОДНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ГАЗА ДЛЯ ОБМЕННО-КОРРЕЛЯЦИОННОГО ЯДРА С УЧЕТОМ ШИРИНЫ ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЫ**
Терентьев А.
Donostia International Physics Center (DIPC), E-20018 Donostia, Basque Country
- 12:00-12:20 **ФОТОФИЗИЧЕСКИЕ И ФОТОХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СВЕРХКОРОТКОГО ОПТИЧЕСКОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ**
Бобринецкий И.И., Емельянов А.В.
Национальный исследовательский университет "Московский институт электронной техники", Зеленоград
- 14:00-14:15 **ПОЛУЧЕНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ДОПИРОВАННОГО АЗОТОМ ОКСИДА ГРАФЕНА**
Илькевич Л.В., Ткаченко Т.Б., Барнаков Ч.Н.
Институт углеродной и химического материаловедения ФИЦ угля и углеродной химии СО РАН, Кемерово
- 14:15-14:30 **СРАВНЕНИЕ МЕТОДИК ПЕРЕНОСА CVD ГРАФЕНА С МЕДНОЙ ПОДЛОЖКИ НА ПОЛИМЕРЫ ПЭТ/ЭВА И ПММА**
Костоград И.А., Бойко Е.В., Смовж Д.В.
Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск

- 14:30-14:45 **СИНТЕЗ КОМПОЗИТА C-MgO**
Чичкань А.С., Чесноков В.В., Бедило А.Ф., Шуваракова Е.И., Володин А.М.,
Зайковский В.И.
Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, Новосибирск
Институт углеродной и химического материаловедения ФИЦ УУХ СО РАН,
Кемерово
- 14:45-15:00 **ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛЕГИРОВАНИЯ ДЛЯ
УЛУЧШЕНИЯ ОПТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПЛЁНОК НА ОСНОВЕ ОДНОСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ
НАНОТРУБОК**
Цапенко А.П., Гольдт А.Е., Насибулин А.Г.
Сколковский институт науки и технологий, Сколково
- 15:00-15:15 **ДЕФОРМИРОВАНИЕ И РАЗРУШЕНИЕ ГРАФЕНОВОГО ЛИСТА С
ТРЕЩИНОЙ**
Кочнев А.С., Овидько И.А., Севастьянов Я.А., Семенов Б.Н.
Санкт-Петербургский государственный университет, С.-Петербург
- 15:15-15:30 **СИНТЕЗ ГРАФЕНА НА ОСНОВЕ ПРОЦЕССА СЕГРЕГАЦИИ НА
ПЛЕНКАХ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ, НАНЕСЕННЫХ НА
УГЛЕРОДНУЮ ПОДЛОЖКУ**
Пудиков Д.А., Жижин Е.В., Рыбкин А.Г., Шикин А.М.
Санкт-Петербургский государственный университет, С.-Петербург
- 16:00-16:15 **ССVD СИНТЕЗ АЗОТ-СОДЕРЖАЩИХ УГЛЕРОДНЫХ
ДВУХСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК И ИХ
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА**
Лобяк Е.В., Булушева Л.Г., Lonchambon P., Flahaut E., Окотруб А.В.
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск
- 16:15-16:30 **ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИЕ ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ
СЕГРЕГИРОВАННОЙ СТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ
ВОССТАНОВЛЕННОГО ОКСИДА ГРАФЕНА И УНТ**
Гудков М.В., Рывкина Н.Г., Горенберг А.Я., Мельников В.П.
Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, Москва
- 16:30-16:45 **ТЕНЗОРЕЗИСТИВНЫЙ ЭФФЕКТ В КОМПОЗИТАХ
МАЛОСЛОЙНЫЙ ГРАФЕН – ПОЛИБЕНЗИМИДАЗОЛ**
Кузнецов В.А., Холхоев Б.Ч., Стефанюк А.Я., Макотчченко В.Г., Бердинский
А.С., Романенко А.И., Бурдуковский В.Ф., Федоров В.Е.
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск
Новосибирский государственный технический университет
- 16:45-17:00 **МОДИФИКАЦИЯ ПЛЕНОК ОДНОСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ
НАНОТРУБОК ДЛЯ УСИЛЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ
БОЛОМЕТРА В СРЕДНЕМ ИК ДИАПАЗОНЕ**
Копылова Д.С., Афиногенов Б.И., Болдырев Н.Ю., Гладуш Ю.Г., Насибулин А.Г.
Сколковский институт науки и технологий, Сколково
- 17:00-17:15 **ЛАЗЕРНАЯ ОКИСЛЕНИЯ ЧАСТИЦ КАТАЛИЗАТОРА В
ОДНОСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОКАХ**
Яковлев В.Я., Михеев Г.К., Склюева Ю.А., Гильмуудинов Ф.З., Михеев Г.М.,
Насибулин А.Г.
Институт науки и технологий "Сколково", Сколково

17:15-17:30 **СИНТЕЗ ДОПИРОВАННОГО ГРАФЕНА CVD-МЕТОДОМ**
Архипов В.Е., Попов К. М., Гусельников А.В., Гевко П.Н., Булушева Л.Г.,
Окотруб А.В.
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск

10 августа 2017 года, четверг

- 9:00-9:30 **ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ДРЕССИНГ ГРАФЕНА**
Кибис О.В.
Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск
- 9:30-10:00 **НОВОЕ СЕМЕЙСТВО ДВУМЕРНЫХ ПЛЁНОК НА ОСНОВЕ
ОКСИДОВ МЕТАЛЛОВ: ТЕОРЕТИКО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ
АНАЛИЗ**
Сорокин П.Б., Квашнин Д.Г., Ларионов К.В., Капо Е., Sakai S.,
Чернозатонский Л.А., Hashimoto A.
*Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»
Технологический институт сверхтвёрдых и новых углеродных материалов
Институт биохимической физики им. Н. М. Эмануэля РАН, Москва*
- 10:00-10:30 **ЭЛЕКТРОННАЯ ЩЕЛЬ В ПОДВЕРНУТОМ ДВУСЛОЙНОМ
ГРАФЕНЕ**
Рожков А.В., Сбойчаков А.О., Рахманов А.Л.
Институт теоретической и прикладной электродинамики РАН, Москва
- 11:00-11:20 **ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ В
ДВУХСЛОЙНОМ ГРАФЕНЕ. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ПРЕДСКАЗАНИЕ И
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ НАБЛЮДЕНИЕ**
Квашнин Д.Г., Антипина Л. Ю., Капо Е., Hashimoto A., Sakai S.,
Чернозатонский Л. А., Сорокин П.Б.
*Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,
Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва*
- 11:20-11:40 **ПЛОСКИЙ ТУННЕЛЬНЫЙ ПОЛЕВОЙ ТРАНЗИСТОР НА ОСНОВЕ
ГРАФЕНА**
Катков В.Л., Глебов А.А. Осипов В.А.
*Лаборатория теоретической физики им. Боголюбова, Объединенный
институт ядерных исследований, Дубна*
- 11:40-12:00 **ОСОБЕННОСТИ МЕЖСЛОЕВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И
ПЛАЗМОННЫХ СВОЙСТВ МУАРОВЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ
БИСЛОЕВ ГРАФЕНА**
Седельникова О.В., Чувилин А.Л., Окотруб А.В., Булушева Л.Г.
*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск
Новосибирский государственный университет*
- 12:00-12:20 **TRANSPORT PROPERTIES OF BILAYER GRAPHENE IN EXTERNAL
ELECTRIC AND MAGNETIC FIELDS WITH BROKEN SYMMETRY
STATES**
Решетняк А.А., Мищук Б.Р.
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск
- 14:00-14:30 **УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ: ОТ СИНТЕЗА К ПРИМЕНЕНИЯМ**
Насибулин А.Г.
Сколковский институт науки и технологий, Москва

- 14:30-15:00 **КОМПОЗИТЫ С 2D-ГРАФЕНОВЫМИ СТРУКТУРАМИ ДЛЯ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И КАТАЛИЗА ПРОЦЕССОВ С УЧАСТИЕМ ВОДОРОДА**
Тарасов Б.П., Арбузов А.А., Можжухин С.А., Володин А.А., Фурсиков П.В.
Институт проблем химической физики РАН, Черноголовка
- 15:00-15:30 **КРИТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МЕМБРАНАХ: ПРИЛОЖЕНИЕ К ГРАФЕНУ**
Качоровский В.Ю.
Физико-технический институт имени А.Ф.Иоффе, С.-Петербург
- 16:00-16:20 **ДОПИРОВАННЫЕ АЗОТОМ УГЛЕРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, КАК НОСИТЕЛИ ДЛЯ КАТАЛИЗАТОРОВ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА ИЗ МУРАВЬИНОЙ КИСЛОТЫ**
Булушев Д.А.
Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, Новосибирск
- 16:20-16:40 **ТРЕХМЕРНЫЕ ГРАФЕНЫ КАК СРЕДА ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ И ХРАНЕНИЯ ВОДОРОДА**
Баимова Ю.А.
Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, Уфа
- 16:40-17:00 **ФАЗОВЫЕ ТРАНСФОРМАЦИИ ГЛОБУЛЯРНОГО ТУРБОСТРАТНОГО УГЛЕРОДА В ГРАФИТ И АЛМАЗ В ПРОЦЕССЕ ТЕРМОБАРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**
Тренихин М.В., Павлюченко П.Е., Арбузов А.Б., Дроздов В.А., Филоненко В.П., Зибров И.П.
Институт проблем переработки углеводородов СО РАН, ОНЦ СО РАН, Омск
- 17:00-17:20 **ВЛИЯНИЕ АЗОТНЫХ И ВАКАНСИОННЫХ ДЕФЕКТОВ НА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРАФИТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЛИТИЙ-ИОННЫХ ИСТОЧНИКАХ ТОКА**
Булушева Л.Г., Столярова С.Г., Федосеева Ю.В., Каныгин М.А., Окотруб А.В.
*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск
Новосибирский государственный университет*
- 17:20-17:40 **ГИБРИДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИЗ ДИСУЛЬФИДА МОЛИБДЕНА И УГЛЕРОДА В ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКАХ ТОКА**
Коротеев В.О., Булушев Д.А., Чувиллин А.Л., Булушева Л.Г., Окотруб А.В.
*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
Новосибирский государственный университет, Новосибирск*
- 17:40-18:00 **ВЫСТУПЛЕНИЕ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ КОМПАНИЙ**

11 августа 2017 года, пятница

- 9:00-9:30 **DYNAMICS OF GRAPHENE NANOSTRUCTURES: FUNDAMENTAL ASPECTS AND APPLICATIONS**
Першин Ю.В.
Department of Physics and Astronomy, University of South Carolina, Columbia, USA
- 9:30-10:00 **НАНОЧАСТИЦЫ МЕТАЛЛОВ КАК ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И МОДИФИКАЦИИ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ**
Пенцак Е.О., Анаников В.П.
Института органической химии им. Н. Д. Зелинского РАН, Москва
- 10:00-10:30 **2D НАНОКРИСТАЛЛЫ ОКСИДОВ И ГИДРОКСИДОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ И ИХ КОМПОЗИТЫ С ГРАФЕНОМ**
Толстой В.П., Лобинский А.А., Кодинцев И.А.
Институт химии Санкт-Петербургского государственного университета, С.-Петербург
- 11:00-11:20 **ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ГРАФЕНА**
Красавин С.Е., Осипов В.А.
Объединённый институт ядерных исследований, Лаборатория теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова, Дубна
- 11:20-11:40 **МОДИФИКАЦИЯ СВОЙСТВ И НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЕ ПЛЕНОК ГРАФЕНА И МУЛЬТИГРАФЕНА ПУТЕМ ОБЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧНЫМИ ИОНАМИ**
Небогатикова Н.А., Антонова И.В.
Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Новосибирск
- 11:40-12:00 **РОЛЬ СИЛ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ В ОБРАЗОВАНИИ ГРАФЕНОВОЙ ПЛЕНКИ НА МЕДИ В ПРОЦЕССЕ ГАЗОФАЗНОГО ОСАЖДЕНИЯ**
Пахневич А.А., Принц В.Я.
Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Новосибирск
- 12:00-12:20 **ГРАФЕНОПОДОБНОЕ СТРУКТУРИРОВАНИЕ АРОМАТИЧЕСКИХ МОЛЕКУЛ В ОКИСЛЕННОМ КАМЕННОУГОЛЬНОМ ПЕКЕ**
Дмитриев А.В., Кульницкий Б.А.
Челябинский государственный университет, Челябинск
- 12:20-12:40 **ЗАКРЫТИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ КОФЕРЕНЦИИ**

7 АВГУСТА

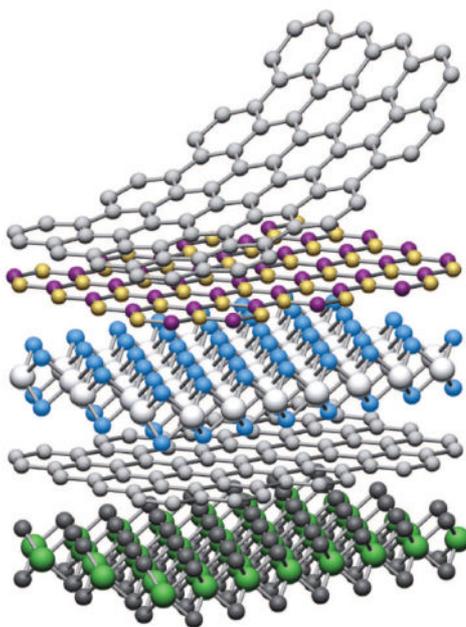
NEW MATERIALS FOR VAN DER WAALS HETEROSTRUCTURES

Gorbachev R.V.

University of Manchester, UK
e-mail: roman@manchester.ac.uk

In the last three years, a novel field has emerged which deals with structures and devices assembled layer-by-layer from various atomically-thin crystals. These new multi-layer structures have proved to be extremely versatile, showing exceptional electronic and optical properties, new physics and new functionality. This is mostly due to the fact that each atomic layer can be chosen among many different materials including metals, semiconductors, superconductors or even topological insulators.

In this talk I will review recent progress and discuss new additions to the 2D material family, their fabrication and transport properties. I will present our newest results on atomically thin crystals of InSe – material that has not been sufficiently studied before and now shows outstanding physical and electronic properties. Other materials, such as black phosphorus, niobium diselenide and gallium selenide will be discussed with specific attention paid to fabrication and their chemical stability.



НЕПРЕРЫВНЫЙ РОСТ МОНОКРИСТАЛЛОВ 2D-МАТЕРИАЛОВ

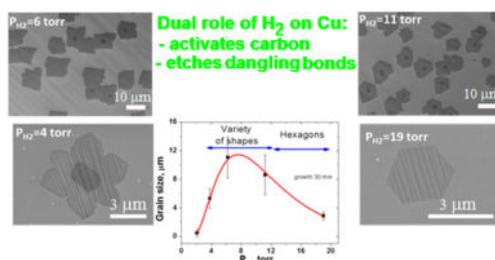
Власюк И.¹, Смирнов С.^{2*}

¹*Oak Ridge National Laboratory, USA*

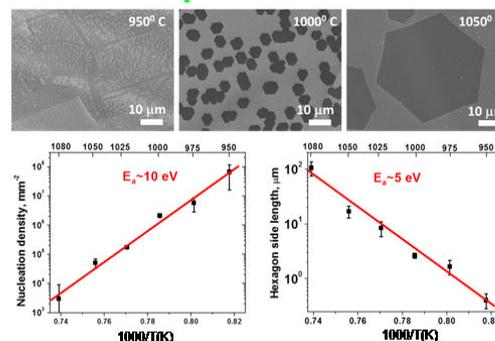
²*New Mexico State University, USA*

**e-mail: snsms@nmsu.edu*

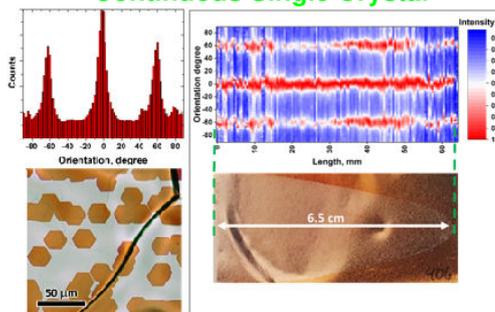
Детальное понимание процессов ответственных за химическое осаждение из газа при атмосферном давлении (APCVD) графена и других 2D-материалов высокого качества на металлических катализаторах позволило получать материалы с заданными свойствами, например, были получены одно- и многослойные пленки с качеством, близким к монокристаллу на подложках большого размера. Мы показали, важную решающую роль температуры, металлической подложки, и ее кристаллографической ориентации, сокатализатора (H₂), и источника углерода на свойства материала. Эти результаты позволили разработать новый способ изготовления непрерывной пленки 2D-монокристаллов и продемонстрировать его с помощью графена. Метод основан на локально контролируемом химическом осаждении из газовой фазы (LC-CVD), монокристаллический графен потенциально поликристаллических подложках. Используя предложенный подход, мы синтезировали монокристаллы графена до фута длиной со скоростью до 2,5 см/ч. Применение высококачественного графена и h-BN в композиционных и специальных материалах также обсуждается.



Temperature effects



Continuous Single Crystal



который дает непрерывный неограниченных размеров на

1. I. Vlassiuk, et al. *Disorder Effect on Electrical and Thermal Conductivity of Low Temperature CVD Graphene*, *Nanotechnology*, 22 (2011) 275716.
2. I. Vlassiuk, et al. *Role of Hydrogen in CVD Growth of Large Single Crystal Graphene*, *ACS Nano*, 5 (2011) 6069–6076
3. I. Vlassiuk, et al. *Large Scale Atmospheric Pressure Chemical Vapor Deposition of Graphene*, *Carbon*, 54 (2013) 58-67
4. I. Vlassiuk, et al. *Graphene Nucleation Density on Copper: Fundamental Role of Background Pressure.*, *J. Phys. Chem. C*, 117 (2013) 18919 – 18926
5. Y. P. Shan, et al. *Surface Modification of Graphene Nanopores for Protein Translocation*. *Nanotechnology*, 24 (2013) 495102
6. S.P. Surwade, et al. *Water Desalination using Nanoporous Single-Layer Graphene*. *Nature Nanotechnology*, 10 (2015) 459-464
7. I.V. Vlassiuk, et al. *Strong and Electrically Conductive Graphene Based Composite Fibers and Laminates*. *ACS Appl. Mat. Interfaces*, 7 (2015) 10702-10709
8. Y. Stehle, et al. *Synthesis of Hexagonal Boron Nitride Monolayer: Control of Nucleation and Crystal Morphology*. *Chem. Mat.*, 27 (2015) 8041-8047
9. I. Vlassiuk, et al. *Continuous Single Crystal Growth of Graphene*, in press

ШУНТИРУЮЩИЕ КРАЕВЫЕ СОСТОЯНИЯ В ГРАФЕНЕ С ЩЕЛЬЮ

Кретинин А.В.^{1,2*}, Горбачев Р.В.^{1,2}, Жу М.-Д.¹, Витерс Ф.^{1,2}, Томпсон М.Д.³, Бандурин Д.А.¹, Ху Ш.¹, Юу Г.-Л.¹, Биркбёрк Дж.^{1,2}, Мищенко А.¹, Вера-Марун И.И.¹, Ватанабе К.⁴, Танигучи М.⁴, Полини М.⁵, Пранс Дж.Р.³, Новосёлов К.С.^{1,2}, Гейм А.К.^{1,2}, Бен Шалом М.^{1,2}

¹Манчестерский Университет, Манчестер, Великобритания

²Национальный Институт Графена, Манчестер, Великобритания

³Ланкастерский Университет, Ланкастер, Великобритания

⁴Институт Материаловедения, Тсукуба, Япония

⁵Итальянский Институт Технологии, Генуя, Италия

*e-mail: andrey.kretinin@manchester.ac.uk

Теоретические и экспериментальные исследования показали, что щель в электронном спектре графена может быть открыта путем снятия вырождения подрешеточной симметрии [1]. На практике щель в однослойном графене открывается под воздействием внешнего периодического потенциала (т. н. муарной сверхрешетки), а в двуслойном графене, при приложении внешнего электрического поля. Несмотря на то, что ширина щели в двухслойном графене может достигать 0.2 эВ, такие системы редко демонстрируют изолирующие свойства даже при низких температурах. Обычно, такое поведение объясняется наличием неоднородности в распределении носителей заряда [2].

В нашей работе мы исследовали пространственное распределение тока, протекающего через графен с щелью, посредством Фурье-реконструкции интерференции Джозефсоновских токов [3]. По мере открытия щели в двуслойном графене, сверхпроводящий ток в точке Дирака не исчезает, а перераспределяется, концентрируясь в узких полосах вдоль краев графена. Схожее распределение тока обнаружено в однослойном графене с муарной сверхрешеткой. В дополнение к изучению протекания Джозефсоновских токов мы обнаружили, что удельное сопротивление графена с щелью в «бескраевой» геометрии Корбино экспоненциально увеличивается при понижении температуры. Это резко контрастирует со случаем Холловской геометрии, где удельное сопротивление насыщается на величине заметно равной кванту сопротивления. На основании экспериментальных результатов мы пришли к выводу что изолирующее состояние графена с щелью шунтируются металлическими краевыми состояниями. Природа данных краевых состояний, по-видимому, связана с нетривиальной топологией Дираковского спектра [4].

- [1] E. McCann, PRB **74**, 161403 (2006); T. Ohta *et al.* Science **313**, 951-954 (2006); C. R. Woods *et al.* Nat. Phys. **10**, 451 (2014);
- [2] Y. Zhang *et al.* Nature **459**, 820 (2009); J. B. Oostinga *et al.* Nat. Mat. **7**, 151 (2008); K. Zou & J. Zhu, PRB **82**, 081407 (2010); J. Yan & M. S. Fuhrer, Nano Lett. **10**, 4521 (2010).
- [3] R. C. Dynes & T. A. Fulton, PRB **3**, 3015 (1971); M. T. Allen *et al.* Nat. Phys. **12**, 128 (2015).
- [4] J. A. Li *et al.* Nat. Phys. **7**, 38 (2011); Y. D. Lensky *et al.* PRL **114**, 256601 (2015); G. Kirczenow, PRB **92**, 125425 (2015).

ПЕЧАТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ

Шульга Ю.М*, Баскаков С.А., Лобач А.С., Кабачков Е.Н., Нефедкин С.И.

*Институт проблем химической физики Российской Академии наук 142432,
Московская область, Черноголовка, просп. Академика Семенова, 1*

**e-mail: yshulga@gmail.com*

Одним из наиболее перспективных вариантов автономных устройств хранения энергии являются суперконденсаторы (СК). В настоящее время они применяются в ряде электроприборов в качестве основных и резервных источников питания. Кроме того, благодаря своим свойствам СК являются идеальным накопителем электроэнергии для систем рекуперации.

В работе [1] было впервые показано, что пленка глубоко окисленного оксида графена (ОГ) может быть использована в качестве сепаратора суперконденсатора. Далее, в работе [2] были опубликованы данные о работе СК с электродами из оксида графита, восстановленного в процессе микроволновой эксфолиации (МВЭ-ОГ), и сепаратором из оксида графена. Далее возникла задача изготовления токосъемника из материала, который бы не корродировал в кислотном электролите. Анализ литературы показал, что такая задача может быть решена за счет использования полимерных композитов с углеродными наноматериалами.

В настоящем докладе мы демонстрируем возможность изготовления токосъемника СК методом послойного наплавления с помощью 3D-принтера. Описана также методика получения чернил для 2D печати на основе расслоенного ультразвуком графита (РУГ). Установлено, что проводимость пленки, полученной путем микрофльтрации таких чернил, составляет 26.4 См/см. Приводятся также сведения о морфологии и составе пленки РУГ и их сравнение с аналогичными данными для пленки из восстановленного оксида графена (ВОГ). Показано также, что механическое уплотнение приводит к увеличению проводимости покрытий на основе ВОГ при давлении более 10 атмосфер. Для СК, собранного из элементов, изготовленных печатными технологиями, проведены электрохимические испытания, в том числе протестирована его циклическая устойчивость вплоть до 1000 циклов.

Авторы выражают благодарность РНФ (проект 15-13-00166) за финансовую поддержку.

1. Shulga Y.M., Baskakov S.A., Smirnov V.A., Shulga N.Y., Belay K.G., Gutsev G.L. // J. Power Sources. 2014. V. 245. P. 33.

2. Shulga Y.M., Baskakov S.A., Baskakova Y.V., Volkovich Y.M., Shulga N.Y., Skryleva E.A., Parkhomenko Y.N., Belay K.G., Gutsev G.L., Rychagov A.Y., Sosenkin V.E., Kovalev I.D. // J. Power Sources. 2015. V. 279. P. 722.

МАТЕРИАЛЫ И СТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА ДЛЯ 2D ПЕЧАТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Антонова И.В.¹⁻³

¹*Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН*

²*Новосибирский государственный технический университет*

³*Новосибирский государственный университет*

e-mail: antonova@isp.nsc.ru

В настоящее время 2D печатные технологии создания электронных устройств являются одним из приоритетных направлений развития современной электроники и фотоники. Привлекательными чертами данного направления являются низкая стоимость получаемых устройств, гибридный подход (использование разных материалов) и возможность создавать приборные устройства на гибких подложках. Однако свойства созданных устройств ограничены качеством используемых материалов. Так использование органических материалов значительно ограничивает стабильность, надежность и долговечность получаемых приборов. Появление графена и других 2D материалов с их уникальными свойствами даже в виде суспензий дает надежду на существенное улучшение качества материалов, используемых для печати, на появление новых важных и перспективных материалов, и на значительное улучшение свойств и расширение спектра приложений печатаемых приборных устройств современной электроники и фотоники.

В данном докладе будут представлены основные достижения нашей группы по созданию материалов на основе графена для печатных технологий. Будут рассмотрены методы получения суспензий графена, фторированного графена, функционализированного графена для проводящих и изолирующих слоев. Найдены условия увеличения такого важного для приложений параметра, как подвижность носителей в тонких проводящих пленках, полученных из суспензии графена. Обнаружена возможность наблюдать отрицательное дифференциальное сопротивление (резонансное туннелирование) на вольт – амперных характеристиках для пленок, полученных из суспензии частично фторированного графена. Определены условия наблюдения резистивных переключений в пленках, полученных из композитной суспензии фторированного графена. Созданы и исследованы вертикальные гибридные структуры из CVD выращенного графена и напечатанных слоев фторографена и оксида графена на гибких и твердых подложках.

НЕПРЕРЫВНЫЙ СИНТЕЗ ГИДРИРОВАННЫХ ГРАФЕНОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЫ

Шавелкина М.Б.^{1*}, Амиров Р.Х.¹, Алиханов М-Р.², Вахитов И.Р.³, Шаталова Т.Б.⁴

¹*Объединенный институт высоких температур РАН,*

²*Дагестанский государственный университет,*

³*Институт физики Казанского (Привожского) федерального университета,*

⁴*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова*

**e-mail: mshavelkina@gmail.com*

Для дополнения отличных проводящих свойств графена представляет интерес изолирующие свойства графана, что открывает новые перспективы для разработки графеновой наноэлектроники и водородного топлива.

В данной работе показана возможность безкаталитического синтеза различных углеродных наноструктур (от нанотрубок, онионов до графенов и графанов) при разложении газообразных углеводородов (пропан-бутановой смеси, метана и ацетилена) при их вводе одновременно с плазмообразующим газом в плазмотрон постоянного тока мощностью до 40 кВт. Полученный углеродный пар при охлаждении и нуклеации в плазмоструйном реакторе образовывал на металлических мишенях твердые продукты плазмохимического синтеза. В качестве плазмообразующего газа использовался азот, аргон или гелий при давлении в реакторе от 65 до 710 Торр. Варьируя род и скорости расхода плазмообразующего газа, скорости расхода углеводородов, силу тока дугового разряда и мощность плазмотрона получены оптимальные условия синтеза для каждой морфологии и структуры графеновых материалов. Синтезированные структуры охарактеризованы методами сканирующей электронной микроскопии, термического анализа, спектроскопией комбинационного рассеяния света и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопией. Результаты исследований согласуются с данными экспериментов по прямому гидрированию графенов, которые предварительно получали различными методами: микромеханическим отшелушиванием слоёв от ВОПГ, химическим осаждением из газовой фазы с разложением углеводородов на поверхности; термическим разложением SiC [1].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (15-08-00165 и 16-08-00145).

[1] M. Pumera, C. Hong An Wong Graphane and hydrogenated graphene // Chem. Soc. Rev. 2013. V.42. P. 5987.

ФОРМИРОВАНИЕ УГЛЕРОДНЫХ СЛОЕВ НА ПОВЕРХНОСТИ НАНОВОЛОКОН ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

Солодовниченко В.С.^{1*}, Шиверский А.В.¹, Симунин М.М.^{1,2}, Лебедев Д.В.¹,
Быканова В.В.¹, Рыжков И.И.¹

¹*ИВМ СО РАН, Красноярск, Россия*

²*Национальный исследовательский университет «МИЭТ», Москва, Россия*

**e-mail: vsolodovnichenko@gmail.com*

Данная работа посвящена изучению возможности формирования углеродных слоев на поверхности мембран на основе оксида алюминия с целью придания им электропроводящих и ионоселективных свойств. В качестве исходного материала используются нановолокна Al₂O₃ - Nafen (ANF Technologies), синтез мембран осуществляется вакуумной фильтрацией коллоидного раствора нановолокон с последующей термообработкой. Для формирования углеродного слоя выбран перспективный для получения однослойного и многослойного графена метод некаталитического химического осаждения из газовой фазы (CVD) [1].

Исследование методами электронной микроскопии подтверждает возможность использования данного подхода для получения многослойных углеродных слоев без использования дополнительных катализаторов [2]. В результате CVD на волокнах Nafen формируются 2–5 углеродных слоев общей толщиной до 4 нм, при этом электропроводность мембран возрастает в 109 раз.

Результаты ИК, КР и РФ спектроскопии показывают, что варьирование условий CVD синтеза (Т, Р, прекурсор углерода) позволяет изменять количество углеродных слоев и состав функциональных групп получаемых покрытий, что дает возможность управления ионоселективными свойствами мембран. Нанесение углеродного слоя на мембраны из волокон Nafen позволяет получить анион–селективные мембраны с числами переноса до 0.94 для аниона и 0.06 для катиона (для KCl). Полученные мембраны могут быть применены в области ультрафильтрации и разделения заряженных компонентов, а также в качестве материалов с управляемой ионной селективностью.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда 15–19–10017. Физико–химический анализ материалов проводился в ЦКП КНЦ СО РАН.

Литература

1. J. Pang, et al. J Mater Sci. 2016. V. 51. P. 640–667.
2. I. Hussainova, et al. Carbon. 2015. V. 88. P. 157–164.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ФТОРИДОВ ГРАФЕНА СОСТАВА CF и C₂F

Асанов И.П.*, Макотченко В.Г., Даниленко А.М., Корольков И.В, Подлипская Т.Ю.

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

**e-mail: asan@niic.nsc.ru*

Химическая модификация графеновых слоев имеет большое значение для разработки новых материалов на основе малослойного графена с улучшенными свойствами. Фториды графена привлекают интерес с точки зрения получения гетероструктур с контролируемой шириной запрещенной зоны, что может иметь большое значение для производства фотодетекторов или устройств хранения информации.

В работе проведено сравнительное исследование структуры, электронного строения и свойств малослойных фторидов графена и фторидов графита состава CF и C₂F. Для синтеза фторидов графена использовался малослойный графен (МСГ) толщиной 3-4 нм, полученный термическим разложением интеркалированных соединений фторида графита. Малослойные фториды графена получены из МСГ либо обработкой BrF₃ при комнатной температуре для составов C₂F, либо газообразным фтором при 4000С для CF.

Методом рентгеновской дифракции и малоуглового нейтронного рассеяния исследованы закономерности изменения структуры МСГ и фторидов МСГ. Показано, что межслоевое расстояние вдоль оси c в МСГ составляет 3.44 Å по сравнению с кристаллическим графитом 3,35 Å. Для малослойного фторидов межслоевое расстояние составляет ~6,34 Å, по сравнению с 5,78 Å для объемного CF. Данные ИК и рамановской спектроскопии обнаруживают колебания связи C-F и сопряженной C=C связи. Методами РФЭС, спектроскопии рентгеновского поглощения и спектроскопии потерь энергии электронов определены параметры электронной структуры фторидов МСГ. Так, потолок валентной зоны и ширина запрещенной зоны составляют 1,5 эВ и 2,3 эВ для C₂F и ~5 эВ и 5,4 эВ для CF. Исследованы спектральные особенности в зависимости от окружения атомов во фторидах МСГ. Большое практическое значение имеет образование дисперсий фторидов МСГ в органических растворителях. Показано, что дефектность графеновых слоев МСГ оказывает существенное влияние на изменение химико-физических свойств фторидов МСГ по сравнению с объемными фторидами графита.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-03-00048 а.

8 АВГУСТА

APPLICATION OF SOLID-STATE NMR FOR CHARACTERIZING CHEMICALLY MODIFIED GRAPHITES

Vyalikh A.

Technical University Freiberg, Freiberg, Germany

Solid-state NMR has been used to study structural modifications of the ^{13}C enriched carbon exposed to high-temperature high-pressure and room-temperature halogen vapors treatments. As ^{13}C NMR isotropic chemical shift seems extremely sensitive to the carbon bonding character, graphite functionalization as well as bending of the graphitic layers resulting in partial carbon atom rehybridization become apparent in the NMR spectra. It has been found that recrystallization of fine-grained graphite led to a more pronounced rehybridization effect, whereas room-temperature halogen vapors treatment resulted in improved graphitic arrangement and defect removal.

By combination of solid state ^{19}F MAS NMR with DFT calculations, fluorine decoration patterns in room-temperature synthesized graphite fluorides C_2F_x have been investigated. We demonstrate the co-existence of isolated, end chain, midchain, cyclic and branched CF groups as well as infinite CF arrays and peripheral CF_2 defects irrespective of the fluorination degree. In room-temperature fluorographites an evolution of fluorine patterns was proposed, involving CF chain formation and propagation towards the increasing chain length.

КОМПЬЮТЕРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ГРАФЕНОВОЙ И ГРАФИТОВОЙ ПОДДЕРЖКИ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ СИЛИЦЕНА

Галашев А.Е.* , Рахманова О.Р., Иваничкина К.А.

Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН

*e-mail: galashev@ihte.uran.ru

Методом молекулярной динамики изучено взаимодействие перемещающегося в электрическом поле иона лития с плоским силицен-графеновым каналом, образованным как листами совершенного силицена, так и силицена с вакансионными дефектами (рис.1). Сильные локальные флуктуации напряжения σ_{zy} в силицене обусловлены действием сил, лежащих в плоскости силиценовых листов и перпендикулярных вектору напряженности приложенного электрического поля. Установлены оптимальные параметры для движения иона Li^+ по каналу: напряженность электрического поля и зазор между листами силицена, формирующими канал. Проподимость канала снижается при последовательном увеличении размера дефектов. Моно-, би- и тривакансии в силиценовых стенках канала с движущимся ионом Li^+ подвержены разрушению вследствие образования пятизвенных колец из атомов кремния. Форма функции радиального распределения подтверждает кристаллический характер упорядочения атомов в такой системе.

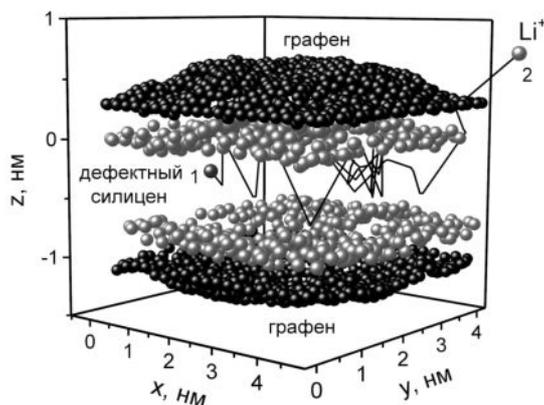


Рис. 1. Движение иона лития через силиценовый канал, поддерживаемый с обеих сторон графеновыми листами. 1 и 2 – начальная и конечная точки траектории соответственно.

Было исследовано перенесение тонких пленок кремния на графит. Нахождение двухслойного силицена на графите энергетически более выгодно, чем присутствие на графитовой подложке пятислойной пленки Si (001). Как пленка Si (001) с алмазоподобной структурой, так и силиценовая пленка не значительно трансформировалась в горизонтальных направлениях: в основном искажения коснулись нижнего слоя. Усиление вертикальных перемещений атомов в силицене привело к большему сцеплению его слоев и увеличению шероховатости.

Таким образом, механические свойства силицена, в том числе содержащего поливакансии, при наличии графенового покрытия позволяют использовать этот материал в конструкциях анода литий-ионных батарей. Структура Si пленок сохраняется при их перенесении на графитовую подложку.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ, проект № 16-13-00061.

ГРАФЕНОВЫЕ ЭЛЕКТРОДЫ ДЛЯ МИКРОАКТЮАТОРОВ БИОМИМЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Алексеев Н.И.^{1*}, Бройко А.П.¹, Дьячкова Т.П.², Корляков А.В.¹,
Хмельницкий И.К.¹, Калёнов В.Е.¹, Лагош А.В.¹, Морозов Б.П.¹, Лившиц А.О.¹

¹С.-Петербургский Государственный Электротехнический Университет
«ЛЭТИ», С.-Петербург, Россия

²ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»,
Тамбов, Россия

*e-mail: NIAlekseyev@yandex.ru

Биомиметические системы имитируют движение биообъектов. Энергия химических реакций преобразуется актюаторами таких систем в механическое движение. Актюатор включают два гибких электрода и электролит, наполняющий ионный электроактивный полимер (IPMC). Гибкий электрод включает высокопроводящий слой частиц благородных металлов, частично внедрённый в полимер. Приложенное к электродам напряжение вызывает изгиб и разгибание IPMC.

Такое направление развивается в Университете ЛЭТИ и доведено до стадии демонстрационной модели, работающей в водной среде.

Заменой электродов на основе благородных металлов могут быть графеновые электроды из чешуек восстановленного графен-оксида RGO. Однако в электродах на основе RGO подвижность носителей тока недостаточна, а графен плохо сочетается с мембраной – носителем электролита.

В докладе обсуждаются наши результаты на пути решения этих проблем. Так, проводимость электродного композита может быть повышена на порядки при использовании нанокластеров серебра. При этом графен защищает частицы серебра от окисления, а серебро в среде графена обеспечивает рост проводимости. Плёночный композит Ag-Gr, оптимизированный экспериментально и теоретически (DFT, метод неравновесных гриновских функций), высаженной на кварцевую подложку, показывают проводимость ~1000 S/cm.

Следующий шаг – отработка технология осаждения электрода на нафтионовую мембрану. Проблема совместимости одноимённых зарядов функциональных групп на RGO и поверхностей мембраны решалась двумя путями: первый – замена карбоксильных групп GO на аминокгруппы одновременно с нуклеацией кластеров серебра. В результате оптимизированного процесса удалось достичь проводимости ~ 100 S/cm. Второй путь состоит в нанесении промышленного нанокompозита графеновые nanoplatelets-PANI (Тамбов). Проводимость электродов активатора, модифицированных нанокластерами серебра, в этом случае оказалась ниже и составила примерно 20 S/cm.

В настоящее время разрабатывается технология максимизации числа рабочих циклов для структур с обоими типами электродов.

Работа выполняется при финансовой поддержке Российского научного фонда (16-19-00107).

ЭФФЕКТЫ ЭЛЕКТРОН-ЭЛЕКТРОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ПОДКРУЧЕННОМ ДВУСЛОЙНОМ ГРАФЕНЕ

Сбойчаков А.О.*, Рожков А.В., Рахманов А.Л.

Институт теоретической и прикладной электродинамики РАН

**e-mail: sboycha@mail.ru*

В подкрученном двухслойном графене кристаллические оси слоев не параллельны друг другу, а образуют некоторый угол θ , который может существенно отличаться для различных образцов. Подкрутка слоев приводит к возникновению муарового узора и сверхструктуры, что в свою очередь влияет на электронные свойства двухслойки. Анализ в одноэлектронном приближении показывает [1], что можно выделить три области углов подкрутки с качественно различной низко-энергетической физикой. При больших углах ($\theta > \sim 15^\circ$), спектр электронов на малых энергиях отличается от дираковского и может характеризоваться энергетической щелью, величина которой нетривиальным образом зависит от угла подкрутки [2,3]. При меньших углах щель оказывается малой, и электроны обладают дираковским спектром. Скорость Ферми, однако, монотонно уменьшается при уменьшении θ . Наконец при $\theta < \theta_c \sim 1-2^\circ$, спектр на низких энергиях характеризуется плоскими зонами, а плотность состояний имеет пик на уровне Ферми.

Несмотря на прогресс в понимании электронных свойств подкрученного графена, многие вопросы остаются до сих пор не проработанными. Это касается прежде всего многочастичных эффектов, поскольку в подавляющем большинстве случаев теоретики ограничиваются одно-электронным приближением. В нашей работе мы рассматриваем эффекты электрон-электронного взаимодействия в пределе, как больших, так и малых углов. В первом случае, мы конструируем эффективный Гамильтониан системы, справедливый вблизи точки Дирака. На следующем шаге, мы учитываем кулоновское взаимодействие электронов. Расчет в приближении хаотических фаз, приводит к перенормировке щели согласно формуле

$$\Delta \propto \Delta_0 \ln(E_\Lambda / \Delta_0),$$

где Δ_0 – затравочная щель, а E_Λ - энергетический параметр, по порядку величины равный ширине зоны проводимости графена. Мы также исследуем возможность возникновения спонтанной экситонной щели, возникающей за счет кулоновского взаимодействия электронов. При малых углах подкрутки мы тестируем волну спиновой плотности в качестве основного состояния подкрученной двухслойки. Расчет производится численно в рамках многозонной модели Хаббарда (число зон равно удвоенному числу атомов в сверхячейке ~ 1000) в приближении среднего поля. Анализируется величина и пространственное распределение параметра порядка.

1. A.V. Rozhkov, et al., Phys. Rep. **648**, 1 (2016).
2. A. O. Sboychakov, et al., Phys. Rev. B **92**, 075402 (2015).
3. A.V. Rozhkov et al., Phys. Rev. B **95**, 045119 (2017).

СХОДСТВА И РАЗЛИЧИЯ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК И НАНОВОЛОКОН, ДОПИРОВАННЫХ АЗОТОМ: ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ И СОСТАВА

Подъячева О.Ю.^{1,2,3*}, Субоч А.Н.^{1,2}, Черепанова С.В.^{1,2}, Шмаков А.Н.^{1,2}, Лисицын А.С.¹, Кибис Л.С.^{1,2}, Свинцицкий Д.А.^{1,2,3}, Боронин А.И.^{1,2}, Стонкус О.А.^{1,2}, Романенко А.И.⁴, Пузынин А.В.³, Еременко Н.К.³, Исмагилов З.Р.^{1,3}

¹Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН

²Новосибирский Государственный Университет

³Институт углехимии и химического материаловедения СО РАН

⁴Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН

*e-mail: pod@catalysis.ru

Углеродные наноматериалы, допированные азотом, благодаря своим специфическим физико-химическим свойствам являются перспективными объектами для использования в качестве катализаторов, носителей катализаторов, электрокатализаторов, электродов суперконденсаторов, компонентов новых композитов и т.д. [1].

В работе проведено комплексное исследование углеродных нанотрубок и нановолокон, допированных азотом, (N-УНТ и N-УНВ), различающихся по способу упаковки графитовых слоев и синтезированных стандартным методом разложения этилен-аммиачных смесей на металлических катализаторах. В N-УНТ обнаружено равномерное распределение азота и формирование упорядоченных дефектов, которые, согласно проведенному моделированию, состоят из четырех углеродных вакансий и пиридиноподобного азота. В N-УНВ, характеризующихся неравномерным распределением азота, дефекты не упорядочены и также включают пиридиноподобный азот. Полученные результаты объяснены различием в механизмах формирования N-УНТ и N-УНВ на основании данных РФА *in situ* катализаторов роста.

Показано, что увеличение количества азота в N-УНТ и, как следствие, количества упорядоченных дефектов приводит к монотонному уменьшению проводимости. В N-УНВ, в которых есть протяженные области без дефектов, зависимость проводимости от количества азота имеет экстремальный характер. Электрохимические свойства N-УНТ и N-УНВ не зависят от дефектности структуры и наблюдаемое одинаковое увеличение емкости электродов на их основе с повышением содержания азота в материалах определяется улучшением смачиваемости их поверхности.

Проведен сравнительный анализ использования N-УНТ и N-УНВ в качестве носителей палладиевого катализатора в реакции гидрирования нитробензола.

1. Podyacheva O.Yu., Ismagilov Z.R. // Catal. Today 249 (2015) 12.

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ И ТЕПЛОВЫЕ СВОЙСТВА ГРАФЕНА

Пономарёв А.Н.^{1,2*}, Егорушкин В.Е.¹, Мельникова Н.В.³, Бобенко Н.Г.^{1,2}, Белослудцева А.А.², Баркалов Л.Д.²

¹*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН*

²*Томский политехнический университет*

³*Томский государственный университет*

*e-mail: alex@ispms.tsc.ru

Низкотемпературные электронные и тепловые свойства эпитаксиального графена были исследованы в рамках метода температурных функции Грина. Расчеты проводились в приближении времени релаксации с учетом многократного упругого рассеяния электронов на примесях и структурных неоднородностях типа ближнего порядка. Принципиальным в нашем подходе является учет наличия в графеновом слое ближнеупорядоченных структур, возникающих в процессе синтеза графена, а также последующей сорбции газов на его поверхности. Проведенное теоретическое исследование электронных свойств металлизированного эпитаксиального графена с примесями и структурными областями типа ближнего порядка позволило получить выражения для плотности электронных состояний (ПЭС), электросопротивления, электронной теплопроводности и теплоемкости, которые включают в себя зависимости в явном виде от следующих величин: температуры, концентрации дефектов и типов ближнего порядка (структурной неоднородности). Анализ полученных выражений позволил сделать следующие выводы:

- Размер суперячейки определяет величину и температурную зависимость всех исследованных низкотемпературных электронных свойства графена.
- Открытие или закрытие щели в плотности электронных состояний определяется типом упорядочения чужеродных атомов.
- Глубина минимума ПЭС зависит от температуры.
- Смена знака суммы параметров ближнего порядка приводит к изменению вида температурного поведения проводимости с металлического на полупроводниковый.
- Изменение концентрации примесей не приводит к смене характера температурной зависимости проводимости, теплопроводности, теплоемкости, времени релаксации, ПЭС, а лишь меняет их величину.
- Электронный вклад в теплоемкость и теплопроводность неидеального графена может быть определяющим в области температур до ~50К.

Рассчитанные температурные зависимости и величины проводимости, теплопроводности, теплоемкости, времени релаксации, ПЭС, с учетом рассеяния электронов на структурах ближнего порядка, совпадают с экспериментальными данными. Что позволяет сделать вывод о том, что данный механизм рассеяния является определяющим при формировании вышеуказанных физических свойств.

НАНОСТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА

Федоров Г.Е.

Московский физико-технический институт, Долгопрудный

В последнее время наблюдается повышенный интерес к так называемому терагерцовому диапазону электромагнитного излучения (от 1011 до 1013 Гц). Это связано, прежде всего, с появлением новых подходов к созданию, как источников, так и детекторов этого излучения. При этом проводятся исследования, которые ставят задачи как получения новых научных данных, так и создания более эффективных источников (оптоэлектронных приборов) и детекторов излучения терагерцового диапазона. Актуальной задачей остается детектирование ТГц излучения. Увеличение чувствительности детекторов излучения ТГц диапазона может быть достигнуто за счет уменьшения размера чувствительного элемента. При этом практически идеальным материалом для создания наноразмерных структур, пригодных для этой цели является графен и его «производные»: углеродные нанотрубки (УНТ), графеновые наноленты (ГНЛ) и др. Одним из главных преимуществ графена является высокая подвижность носителей и связанная с этим большая длина когерентности, благодаря чему зонная структура определяется размерным квантованием и может контролироваться заданием геометрических размеров структуры.

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

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

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

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

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

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

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

КИНЕТИКА АТОМНЫХ ПЕРЕСТРОЕК НА ПРИМЕРЕ ГРАФЕНА

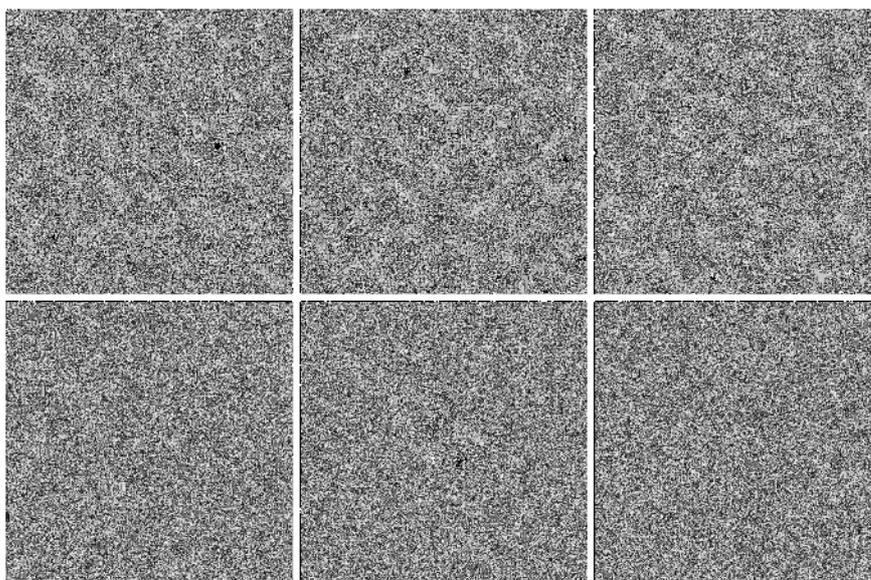
Чувилин А.Л.

CIC nanoGUNE, Tolosa Hiribidea 76, 20018 Donostia-San Sebastian, Spain
IKERBASQUE Basque Foundation for Science, Maria Diaz de Haro 3, E-48013 Bilbao, Spain

e-mail: a.chuvilin@nanogune.eu

Развитие нанотехнологий и связанных с ними научных дисциплин определило замещение «объемных» структурных методов исследования типа рентгеновской дифрактометрии локальными методами, способными характеризовать структуру и свойства индивидуальных нанообъектов на уровне отдельных атомов. Аналогичный сдвиг парадигмы назревает и в химии – химические процессы, определяющие свойства и структуру наноразмерных и низкоразмерных материалов, зачастую затрагивают ничтожную часть общего объема, и таким образом оказываются недоступными для изучения классическими методами экспериментальной химической кинетики. Возможной альтернативой могут быть методы стохастической химкинеки в применении к прямым наблюдениям динамики индивидуальных атомов.

В своей работе мы исследуем перспективы использования данных электронной микроскопии для количественного определения параметров кинетических уравнений элементарных химических реакций. При определенном выборе экспериментальных условий и адекватной статистической обработке результатов оказывается возможным определить пороговые энергии для ряда радиационно стимулированных процессов. Наша работа посвящена оптимизации условий эксперимента и поиску методов статистической обработки данных.



Последовательность электронно микроскопических изображений, показывающих обратимую реакцию поворота связи в графене. Верхний ряд – необработанные изображения, полученные с интервалом в 1 сек. Нижний ряд – те же изображения с отфильтрованной решеткой графена.

Применение этой методики будет продемонстрировано на примере простейшей реакции, протекающей на графене: образование и аннигилирование дефекта Стоуна-Вельса (см. рис). Несмотря на то, что эта реакция является ключевой в процессах эволюции дефектов в графене, ее кинетические параметры до настоящего времени могли быть получены только теоретически. Наблюдение статистически значимого количества элементарных событий при вариации экспериментальных условий позволяет получить кинетические параметры для прямой и обратной радиационно активированных реакций. Мы также впервые показываем, что при определенных условиях методика позволяет исследовать не только радиационные процессы, но и измерять энергии активации температурно-активированных (химических) маршрутов реакции.

Я благодарен моим друзьям и коллегам из университетов Ноттингема и Вены, KAUSTa, ИХ СО РАН и Grafenea Co. за совместную работу по этой тематике.

СТИМУЛИРОВАННОЕ ЧЕРЕНКОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ В ГРАФЕНОВЫХ СЭНДВИЧАХ

Батраков К.Г.* , Максименко С.А.

Институт ядерных проблем Белорусского государственного университета

**e-mail: kgbatnikov@gmail.com*

Нанотрубки и графен могут существенно, в 50-100 раз, замедлить электромагнитную волну, что важно при создании мономолекулярного лазера черенковского типа [1]. Работа посвящена стимулированному излучению электронного пучка, распространяющегося над поверхностью графеновой сэндвич-структуры, состоящей из слоев графена, разделенных слоями ПММА толщиной 100-500 нм. В этом случае электронный пучок не подвержен столкновениям и все электроны участвуют в процессе лазерной генерации. В работе показано, что в системе могут возбуждаться оптические и акустические моды. Для акустической моды замедление волны и частота генерации регулируются расстоянием между слоями графена и степенью допирования слоев. Для оптической моды эффективная поверхностная проводимость равна сумме проводимостей слоев в сэндвиче, таким образом общая проводимость (α , значит, резонансная частота генерации) определяется количеством слоев графена и их степенью допирования. Это открывает возможность плавной (путем электростатического допирования графена) и дискретной (путем изменения количества слоев в сэндвиче) перестройки частоты генерации (см. рис.1).

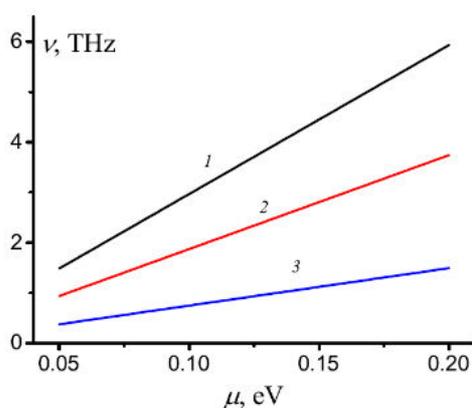


Рис.1. Зависимость резонансной черенковской частоты от химического потенциала μ для разных значений энергии пучка energy 4 KeV (1), 10 KeV (2), 60 KeV (3). Химический потенциал можно изменять плавно путем электростатического допирования и дискретно путем изменения количества слоев.

В работе выведены дисперсионные уравнения, описывающие черенковскую неустойчивость электронного пучка, выполнен их анализ и получены инкременты неустойчивости, определяющие темп развития процесса.

Работа выполнена при поддержке U.S. Air Force under Agreement FA9550-15-D-0003.

[1] Batnikov, K.G., Maksimenko, S.A., Kuzhir, P.P., Thomsen, C., Phys.Rev.B 79(12), 125408.

ГИБРИДНЫЕ УГЛЕРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ФОРМЫ ГРАФЕНА

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

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

*e-mail: nanotam@yandex.ru

Углеродные гибридные материалы (УГМ) содержат более чем одну структурную форму углерода, а также функциональные наноразмерные компоненты. Как правило, в таких материалах проявляется синергизм. Разработан механохимический способ получения графеновых нанопластинок и композитов типа ГНП/УНТ, ГНП/технический углерод, пригодных для введения в полимеры. Показано, что смесь графеновых нанопластинок (ГНП), углеродных нанотрубок (УНТ) и технического углерода в различных сочетаниях обеспечивает хорошую электропроводность при введении в полимеры. Разработана технология получения композиционного электропроводящего материала для 3D печати.

Сконструированы и построены реакторы для непрерывного высокопроизводительного CVD синтеза углеродных нанотрубок различных видов.

Путем щелочной активации углеродных материалов получен мезопористый углерод с удельной поверхностью по БЭТ 2600-5300 м²/г. Показано, что мезопористый углерод, синтезированный в присутствии ГНП или УНТ, имеет более развитую пористую структуру (удельный объем и размер пор), чем синтезированный без добавок. Синтезированы УГМ на основе мезопористого углерода и УНТ, обладающие удельной поверхностью по БЭТ 3500 м²/г, удельным объемом пор 4,5 см³/г и размером пор в диапазоне 2-12 нм. Сконструирована и построена опытная установка для щелочной активации углеродных материалов.

Исследован процесс поликонденсации гексаметилентетрамина (ГМТА), в результате которого получают растворимые и нерастворимые вещества предположительно кумуленового строения. Растворимый продукт с техническим названием аминокумулен является эффективным реакционноспособным ПАВ, которое может применяться для эксфолиации графита и получения концентрированных водных дисперсий углеродных нанотрубок и графена, а также пленок на подложках. Нерастворимый углеродоподобный продукт поликонденсации ГМТА, содержащий функциональные группы и УНТ или ГНП в качестве текстурообразующих компонентов, является эффективным адсорбентом ионов тяжелых металлов, а также может применяться в качестве сырья для получения мезопористого углерода.

КВАЗИОДНОМЕРНЫЕ ХАЛЬКОГЕНИДЫ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ. СИНТЕЗ, СВОЙСТВА И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДСКАЗАНИЯ

Сорокина Л.Ю.^{1,2*}, Liu X.³, Liu J.³, Hu J.³, Yue C.³, Sanchez A.M.⁴,
Mao Z.³, Wei J.³, Сорокин П.Б.^{1,2}

¹*Технологический институт сверхтвёрдых и новых углеродных материалов, Троицк, Москва, Россия*

²*Научный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва, Россия*

³*Department of Physics and Engineering Physics, Tulane University, New Orleans, Louisiana 70118, United States*

⁴*Department of Physics, University of Warwick, Coventry, CV4 7AL, United Kingdom*
**e-mail: antipinalyu@gmail.com*

Применение метода микромеханического отщепления к кристаллам, состоящим из слабосвязанных атомных слоёв привело к получению и исследованию множества новых 2D структур. Применение этого метода в случае кристаллов, состоящих из слабосвязанных 1D наноструктур также потенциально может привести к основанию новой обширной области материаловедения наноструктур. В данной работе экспериментальными и теоретическими методами мы изучили новые наноструктуры состава Ta-Pd-Se (TPS) полученные методом микромеханического отщепления. Данные материалы принадлежат семейству селенидов состава $M_2A_3Se_8$ ($M = Ta$ или Nb , $A = Pd$ или Pt).

Кристаллическая структура материала может быть представлена как соединение одномерных лент, направленных вдоль оси c . Слабое взаимодействие между нанолентами в кристалле делает возможным получение отдельных нанолент нанометровой ширины, что позволит получить одномерный материал с фиксированной толщиной и, следовательно, с predetermined свойствами.

Мы показали, что TPS наноструктуры имеют перспективные электронные свойства: полученные $Ta_2Pd_3Se_8$ нанопровода являются полупроводниками n -типа, в то время как изоструктурные нанопровода $Ta_2Pt_3Se_8$ являются полупроводниками p -типа [1].

Работа была выполнена при финансовой поддержке РФФ 17-12-01137.

Список литературы

1. Liu X. et al. Direct fabrication of functional ultrathin single-crystal nanowires from quasi-one-dimensional Van der Waals crystals // Nano Lett. 2016. Vol. 16, № 10. P. 6188–6195.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ТОКОСЪЕМНИКОВ МЕТОДОМ 3D-ПЕЧАТИ И ИХ ИСПЫТАНИЕ В СУПЕРКОНДЕНСАТОРЕ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Баскаков С.А.*, Баскакова Ю.В., Лысков Н.В., Дремова Н.Н., Кабачков Е.Н., Шульга Ю.М.

ФГБУН Институт проблем химической физики РАН, 142432, Московская обл., г. Черноголовка, пр. Академика Семенова, 1, Россия,
*e-mail: sabaskakov@gmail.com

Были разработаны и напечатаны с помощью 3D-принтера методом послойного наплавления (FDM) прототипы корпуса и токосъемников плоского суперконденсатора (СК). Корпус был изготовлен из гибкого нейлона Black Magic 3D Scorpion (Flexible) Nylon. Токосъемники были напечатаны из проводящего филамента Black Magic 3D Conductive Graphene Filament на основе полилактона. На напечатанные токосъемники методом микрокапельного напыления был нанесен слой электроактивного материала – СВЧ-восстановленного оксида графена. В качестве сепаратора использовали мембрану из оксида графена толщиной 15 мкм (рис.1). Таким образом, полученный прототип суперконденсатора выполнен из полимерных и углеродных материалов без использования каких-либо металлов, что позволило применить 1М раствор серной кислоты в качестве электролита.

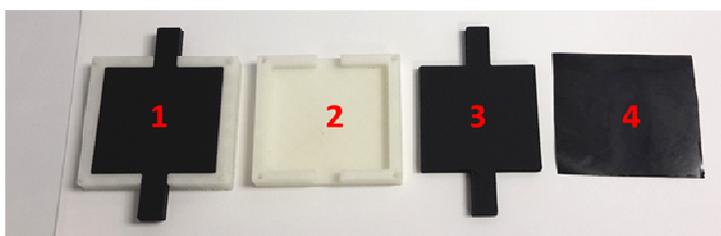


Рис. 1. Функциональные элементы суперконденсатора: 1- токосъемник, помещенный в корпус; 2 - вторая половина корпуса; 3 - второй токосъемник; 4 – сепаратор (ОГ-мембрана).

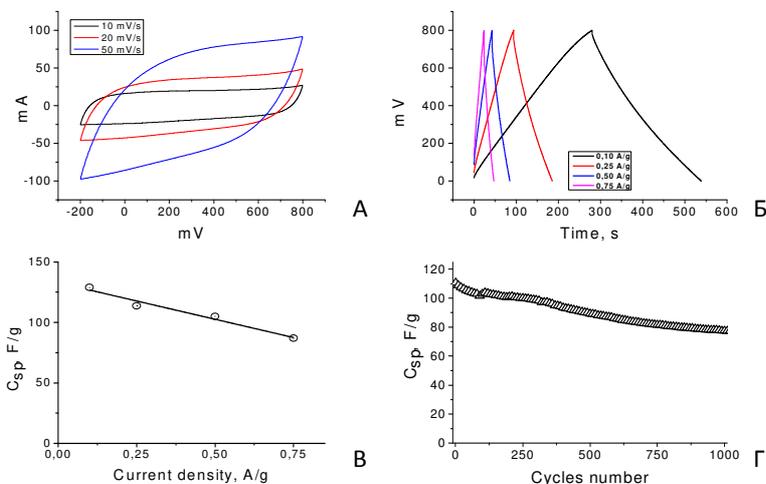


Рис.2. Данные электрохимических испытаний полученного СК

На рис.2 представлены результаты электрохимических испытаний полученного СК:

А - кривые ЦВА при разных скоростях развертки потенциала;

Б - заряд-разрядные кривые при разной плотности тока;

В - зависимость удельной емкости от плотности тока;

Г - зависимость удельной емкости от числа циклов заряд-разряд.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 15-13-00166).

ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ УГЛЕРОДНЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК

Смагулова С.А.*, Томская А.Е., Капитонов А.Н.

Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова, Якутск
**e-mail: smagulova@mail.ru*

Химически синтезированный оксид графена (ОГ) обладает люминесцентными свойствами из-за наличия кислородных функциональных групп, которые образуются во время химического расслоения графита. Существуют методы модификации структуры ОГ, которые меняют спектр фотолюминесценции и приводят к появлению электролюминесценции, например, в работе [1] авторы связывают появление электролюминесценции с формированием квантовых точек ОГ. Изменение длины волны излучения ОГ в зависимости от энергии фотовозбуждения имеет большой потенциал для светодиодных люминофоров, так как современные люминофоры могут излучать только конкретную длину волны излучения. Но получение электролюминесценции ОГ вызывает трудности из-за структурных дефектов ОГ на плоскости и по краям, которые мешают эффективному транспорту зарядов. Актуальным является синтез нового углеродного материала, который бы имел люминесцентные свойства ОГ и при этом обладал бездефектностью.

В настоящей работе проведен синтез углеродных квантовых точек (CQDs) методом гидротермальной обработки смеси углеродного прекурсора в водном растворе аммиака. В синтезированной суспензии CQDs сохраняются кислородные группы, которые участвуют в механизме люминесценции ОГ. С помощью специального метода гидротермальной обработки были получены CQDs, латеральный размер которых лежит в диапазоне ~30-100 нм. С уменьшением латерального размера чешуек и при окислении меняются люминесцентные свойства CQDs: полоса излучения сужается и сдвигается в синюю сторону. Спектр фотолюминесценции CQDs зависит от длины волны возбуждения: при увеличении длины волны возбуждения спектр излучения смещается в красную сторону. Проведен анализ роста CQDs при вариации времени обработки, концентрации исходного раствора и температуры для подбора CQDs с оптимальными люминесцентными характеристиками.

[1] J.K. Kim, S. Bae, Y. Yi, M. J. Park, S.J. Kim, N. Myoung, C.-L. Lee, B.H. Hong & J.H. Park, Scientific Reports, 2015, 5:11032.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗМЕРНОГО ФАКТОРА НА СОСТАВЫ И СВОЙСТВА СОЕДИНЕНИЙ ГРАФИТА И ГРАФЕНА

Макотченко В.Г.*, Даниленко А.М., Асанов И.П.

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

**e-mail: mwg@niic.nsc.ru*

Известно, что размерные эффекты присущи всем твердым веществам и приводят к существенному изменению как физических, так и химических свойств веществ. Эти эффекты начинают проявляться при размере частиц ~100 нм и особенно характерны при размере частиц менее 10 нм.

Нами было исследовано влияние размерного эффекта, т.е. степени расщепления графита вдоль оси «с» на составы и свойства фторидов (CF, C₂F), оксидов, аминофторидов и оксифторидов на основе графита, терморасширенных графитов малослойных графенов и графена.

В ходе исследований было установлено:

а) наиболее характерно размерный эффект начинает проявляться при средней толщине стопок графеновых слоев 3 – 4 нм, причем размер частиц в плоскости а–b не влияет на свойства соединений;

б) Термическая устойчивость соединений уменьшается с уменьшением числа слоев. Например, если полифториддиуглерод на основе графита разлагается при 450 °С, то полифториддиуглерод на основе малослойного графена и графена начинает разлагаться при 120 – 130 °С;

в) имеется критическое число слоев, при которых соединения теряют интеркаляционную способность. Это критическое число слоев зависит от взаимодействий в системе «гость – хозяин»;

г) термическая устойчивость интеркалированных соединений уменьшается с уменьшением числа слоев;

д) с уменьшением числа слоев увеличивается ароматичность системы. Так составы и свойства окиси малослойного графена отличаются от составов и свойств окиси графита. Причем при синтезе окиси малослойного графена образуются одновременно, по крайней мере, три различных соединения.

Работа поддержана грантами РФФИ № 16-03-00048 и 16-29-06440.

ГИБРИДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИЗ ДИСУЛЬФИДА МОЛИБДЕНА И УГЛЕРОДА В ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКАХ ТОКА

Коротеев В.О.^{1,2*}, Булушев Д.А.^{2,3}, Чувилин А.Л.^{4,5}, Булушева Л.Г.^{1,2},
Окотруб А.В.^{1,2}

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

²Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск

³Институт катализа им. Борескова СО РАН, г. Новосибирск

⁴CIC nanoGUNE, Donostia – San Sebastian, Spain

⁵IKERBASQUE, Basque Foundation for Science, Bilbao, Spain

*e-mail: koroteev@niic.nsc.ru

Не смотря на активные исследования и коммерческие продукты с использованием дисульфида молибдена в области химических источников тока в 1980-годах, с открытием графена и повышением активности исследований в области композитных материалов, была проделана огромная работа по исследованию композитных электродов содержащих дисульфид молибдена и различные формы углеродных материалов. Особенностью дисульфида молибдена является способность обратимо взаимодействовать с литием до достижения ёмкости в 1290 мАч/г, тогда как углерод обычно играет роль токопроводящей добавки.

Было исследовано 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 строения и особенностей электронной структуры материалов проводилось при помощи рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, оптической спектроскопии поглощения, спектроскопии комбинационного рассеяния света, а также просвечивающей и сканирующей электронной микроскопии. Структура образцов определяется морфологией исходного углеродного материала, так, в случае использования нанотруб образуются сферические частицы MoS₂, по типу бус, тогда как в случае использования слоёв графена MoS₂ укладывается параллельно, образуя слоистые структуры.

Полученные материалы были протестированы в качестве электродов литий-ионных батарей и суперконденсаторов, а так же в качестве катализаторов в реакции разложения муравьиной кислоты. Измерения показали существенное увеличение ёмкости в случае использования гибридных материалов в качестве электродов суперконденсаторов и литий-ионных батарей в сравнении исходными углеродными материалами. Образцы показывают высокую активность в реакции разложения муравьиной кислоты, зависящую от условий получения и, соответственно, размеров частиц дисульфида молибдена.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского Научного Фонда 16-13-00016.

СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ

КОНТРОЛИРУЕМЫЙ ЭЛЕКТРОСИНТЕЗ ПОЛИАНИЛИНА НА РАЗВЕТВЛЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ВОССТАНОВЛЕННОГО ОКСИДА ГРАФЕНА

Абалева В.В.*, Баскаков С.А.

ФГБУН Институт проблем химической физики РАН, 142432, Московская обл.,
г. Черноголовка, пр. Академика Семенова, 1, Россия,
*e-mail: avva@icp.ac.ru

Целью настоящей работы было выяснение взаимосвязи весового состава композитного материала (КМ) с его электрохимическими характеристиками. Конечной целью является подбор оптимального весового состава восстановленных наноллистов оксида графена – полианилина (ВНЛОГ-ПАни).

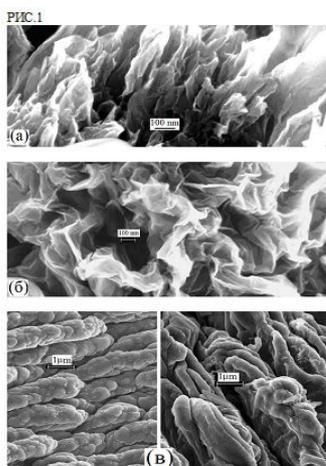


Рис.1 СЭМ изображения полученных покрытий (а, б) ВНЛОГ с временем электроосаждения ВНЛОГ (а) 500 сек, (б) 1000 сек; (в) ПАни на СУ электроде.

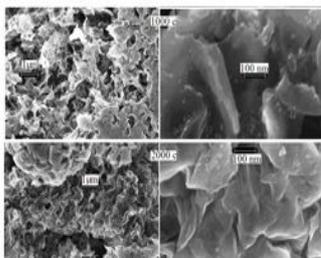
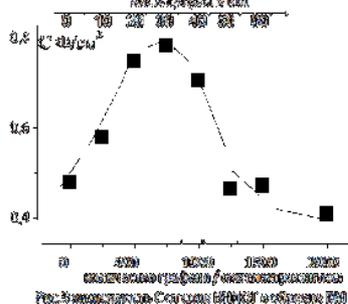


Рис.2 СЭМ фотографии КМ, полученных при ЭС 30 циклов ПАни на указанных по времени электроосаждения слоев ВНЛОГ.



этого одинаковые слои ПАни были посажены на разные по величине слои ВНЛОГ (рис.1,2). Полученные материалы были исследованы с помощью сканирующей электронной микроскопии, рентгеновской дифракции, ИК-спектроскопии и проведения цикловольтамперных и зарядно-разрядных экспериментов. Из данных элементного анализа и расчета на основе полученных данных электрохимических характеристик КМ был предложен оптимальный состав КМ (рис.3). При электросинтезе (ЭС) ПАни на поверхности ВНЛОГ конкурируют два пути ЭС – на внутренних поверхностях, расположенных хаотично наноллистов и на внешних гораздо более доступных поверхностях. При увеличении слоя ВНЛОГ происходит диффузионная нехватка мономера внутри слоя, и начинает с большей скоростью идти процесс полимеризации на внешних более близких к основному электролиту наноллистах. Но 30 циклов ЭС ПАни, вероятно, недостаточно, чтобы закрыть сплошной пленкой все внешние слои ВНЛОГ. Если бы проводить дальнейший ЭС ПАни, площадь для его образования постепенно бы уменьшалась, и вся сложная структура ВНЛОГ была бы покрыта сплошной пленкой ПАни. Уменьшение скорости ЭС ПАни говорит именно в пользу такого направления образования КМ. Интервал весового состава КМ, при котором достигаются максимальные значения C, согласно полученным данным лежит в пределах весовых соотношений ПАни:ВНЛОГ (70-50)-(20-40).

КОМПОЗИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ВОССТАНОВЛЕННОГО ОКСИДА ГРАФЕНА И ПОЛИАНИЛИНА. СОСТАВ, МОРФОЛОГИЯ, ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Абалева В.В.*, Баскаков С.А.,

ФГБУН Институт проблем химической физики РАН, 142432, Московская обл.,
г. Черноголовка, пр. Академика Семенова, 1, Россия

*e-mail: avva@icp.ac.ru

В настоящей работе на одинаковые слои восстановленных наноллистов оксида графена (ВНЛОГ) наносились разные весовые слои проводящего полимера полианилина (ПАни). Из рис.1 видно, как увеличивается толщина нанопластин ВНЛОГ, нарастающими слоями ПАни, а, начиная с 80 цикла, практически весь слой образующегося полимера становится сплошной пленкой, окончательно замыкаясь на 100 слое. В течение первых 40-60 циклов структура наноллистов и ПАни, остается рыхлой и доступной для проникновения к их поверхности электролита. С момента образования сплошной пленки затрудняется доступ электролита во внутренние слои

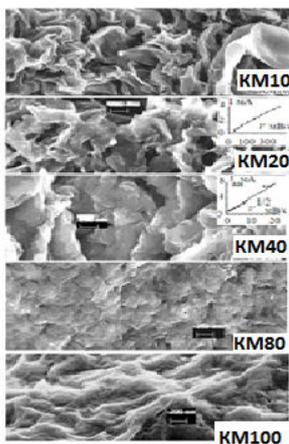


Рис.1 СЭМ образцов с разным количеством слоев ПАни во время ЭС (10,20,40,80,100)

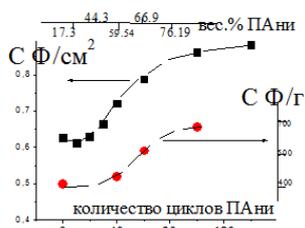


Рис.2 Удельные электрохимические емкости и весовое содержание ПАни в КМ в зависимости от количества циклов при ЭС ПАни на ВНЛОГ.

КМ, что проявляется в изменении многих электрохимических характеристик. В образцах КМ, где слои ПАни достаточно тонкие (KM10, KM20) зависимость $i_{ан}$ от v носит прямолинейный характер, что говорит об отсутствии диффузионных ограничений в происходящих процессах. На рис.1 также видно, что далее, по мере увеличения количества осаждаемого ПАни, происходит уменьшение внутренних расстояний и, наконец, смыкание поверхностной пленки в сплошной конгломерат. Начиная с 40 цикла, т.е. с KM40, указанная зависимость прямолинейна в координатах $i_{ан} - v^{1/2}$. Этот факт говорит о том, что для данных покрытий ПАни на ВНЛОГ начинают проявляться диффузионные ограничения при обмене с электролитом. Как видно из рис.2, резкое изменение величины удельной электрохимической емкости (C) в КМ наблюдается в интервале соотношения ПАни 30 - 75 % вес.(приблизительно до 60 циклов электросинтеза (ЭС) ПАни). После этого увеличение C замедляется и параллельно наблюдается полное заполнение поверхности ВНЛОГ. Поэтому важное значение имеет установление количества осаждаемого ПАни, которое позволит сохранить развитую поверхность КМ.

УПРОЧНЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО АЛЮМИНИЯ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ

Алексеев А.В., Дубов Д.Ю., Предтеченский М.Р., Хасин А.А.

OCSiAl, Новосибирск

Добавки углеродных нанотрубок позволяют значительно улучшить прочностные свойства алюминия и его сплавов [1–3]. На сегодняшний день для получения алюминиевого композита, упрочненного углеродными нанотрубками (УНТ), в большинстве работ используются методы порошковой металлургии, поскольку введение УНТ в алюминиевый расплав затруднительно по причине плохой смачиваемости углеродных нанотрубок алюминиевым расплавом, а также существенной разнице в плотности УНТ и жидкого алюминия.

Одним из перспективных методов введения УНТ в алюминиевый расплав является совместный помол порошков нанотрубок и алюминия в высокоэнергетичных шаровых планетарных мельницах. В процессе помола углеродные нанотрубки внедряются в поверхность частиц алюминиевого порошка и покрываются металлом. За счет этого поверхность УНТ приобретает способность смачиваться расплавом алюминия.

В нашей работе с помощью введения в алюминиевый расплав порошковых смесей Al+УНТ были получены композитные материалы на основе технического алюминия содержащие 0,01-0,1% одностенных углеродных нанотрубок производства OCSiAl. Добавки УНТ позволили увеличить предел текучести алюминия на 10-30%.

1. Hansang Kwon, Dae Hoon Park, Jean Francois Silvain, Akira Kawasaki. Investigation of Carbon Nanotube Reinforced Aluminum Matrix Composite Materials // Composites Science and Technology. 2010. Vol. 70. Iss. 3. P. 546–550.
2. Bakshi S. R., Agarwal A. An Analysis of the Factors Affecting Strengthening in Carbon Nanotube Reinforced Aluminum Composites // Carbon. 2011. Vol. 49. Iss. 2. P. 533–544
3. Choi H. J., Shin J. H., Bae D. H. Grain Size Effect on the Strengthening Behavior of Aluminum-Based Composites Containing Multi-Walled Carbon Nanotubes // Composites Science and Technology 2011. Vol. 71. P. 1699–1705

АНОМАЛЬНЫЕ КВАНТОВЫЕ ОСЦИЛЛЯЦИИ В ПЕРЕСТРАИВАЕМОМ БИСЛОЕ ГРАФЕНА

Алисултанов З.З.

Институт физики им. Х.И. Амирханова ДНЦ РАН, Махачкала
e-mail: zaur0102@gmail.com

В настоящей работе мы исследуем квантовые осцилляции плотности состояний в слабо-допированном бислое графена в присутствии электрического напряжения на затворе. Последнее деформирует энергетический спектр бислоя к т.н. форме "mexican hat" (рис. 1b). Такая форма спектра приводит к аномальным осцилляциям при слабом допировании. Именно, появляются дополнительные пики осцилляций, отсутствующие в металлах и других электронных системах с прямой зонной структурой, в том числе и бислое графена без напряжения на затворе. В конце мы демонстрируем, что предсказанные недавно квантовые осцилляции в топологических изоляторах возможны и в недопированном бислое графена при наличии напряжения на затворе. Последний, в отличие от топологических изоляторов является чистым диэлектриком.

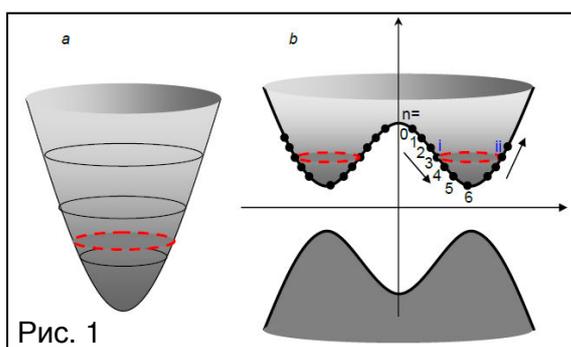


Рис. 1

В отличие от металлов (рис. 1a) в случае бислоя графена в присутствии напряжения на затворе один и тот же уровень Ландау пересекается с химическим потенциалом дважды (точки i и ii на рис. 1b). Соответственно, каждый уровень Ландау даст по две осцилляции, что скажется на общем осцилляционном спектре (рис. 2).

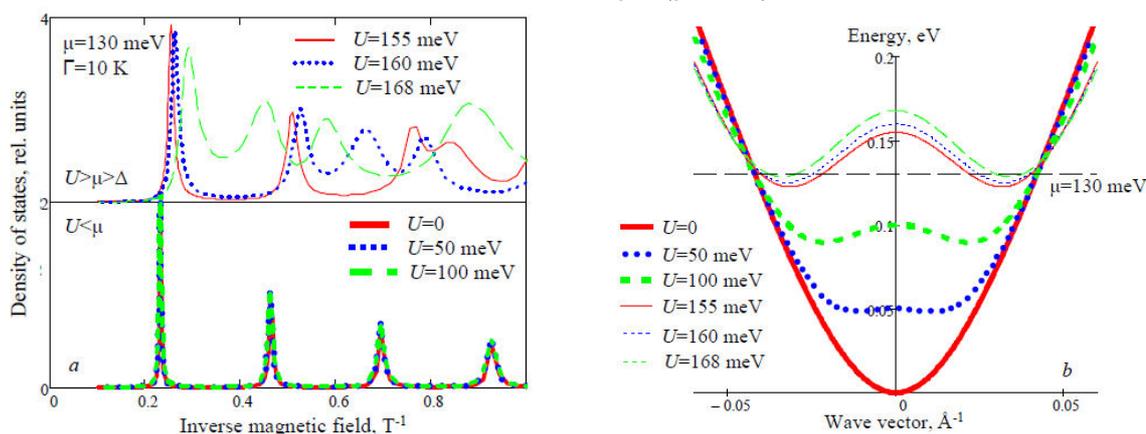


Рис. 2. а) Квантовые осцилляции плотности состояний. Для наглядности квантовые осцилляции при $U > \mu > \Delta$ сдвинуты на две единицы вверх. б) энергетический спектр бислоя графена при различных значениях U . Энергетические спектры приведены для демонстрации того, что число дополнительных пиков тем больше, чем ближе химический потенциал к Δ .

МАЛОСЛОЙНЫХ ГРАФЕН ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫЙ ИРИДИЕМ

Асанова Т.И.^{1*}, Губанов А.И.¹, Макотченко В.Г.¹, Герасимов Е.Ю.², Булушев Д.А.², Асанов И.П.²

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

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

*e-mail: nti@niic.nsc.ru

Научный интерес к графену, являющемуся частью семейства материалов - малослойный графен (МСГ), продолжает расти, что обусловлено его уникальными механическими, оптическими, электрическими, тепловыми свойствами и их использованием в прикладных целях в электронике, оптоэлектронике, в устройствах хранения энергии, сенсорах, в катализе и т.д. Однако, показано, что для создания перечисленных устройств на основе графена необходимо преодолеть ряд проблем, в частности, связанных с нулевой запрещенной зоной, быстрой потерей энергоёмкости и невысокой сенсорной чувствительностью и др. Оказалось, что химическая функционализация углеродного слоя – введение гетероатомов, химических группировок, создание дефектов в графеновом слое, электронное допирование - значительно модифицирует химические и физические свойства МСГ-материалов.

В настоящей работе, МСГ, полученный термическим расширением фторида графита, функционализирован присоединением иридиевых наночастиц. Используя два типа пропитки МСГ предшественником иридия и две концентрации металла - 3 и 13 масс. %, были получены композитные материалы и изучены их свойства в качестве катализаторов для разложения муравьиной кислоты. В зависимости от количества нанесенного иридия на МСГ размер частиц варьируется в интервале 1-3 нм (Рис.1). Методом рентгено-фотоэлектронной спектроскопии показано, что наночастицы Ir активно взаимодействуют с атомами углерода графеновых слоев. Исследование каталитических свойств обнаружило для композитов с наибольшим нанесением Ir уменьшение температуры разложения муравьиной кислоты по сравнению с металлическим Ir и композитами с наименьшим нанесением металла.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-03-00048 а.

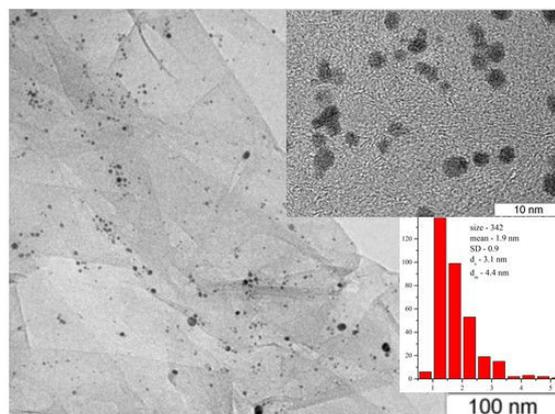


Рис.1. Наночастицами иридия на МСГ.

КОМПОЗИТНЫЙ АЭРОГЕЛЬ НА ОСНОВЕ ВОССТАНОВЛЕННОГО ОКСИДА ГРАФЕНА И ПОЛИАНИЛИНА

Баскаков С.А.*, Баскакова Ю.В., Шульга Ю.М.

ФГБУН Институт проблем химической физики РАН, 142432, Московская обл.,
г. Черноголовка, пр. Академика Семенова, 1, Россия

*e-mail: sabaskakov@gmail.com

Повышение плотности энергии суперконденсаторов (СК) при сохранении их высокой плотности мощности и долговечности есть ключевой вопрос в разработке будущих систем преобразования и хранения энергии. Большая площадь удельной поверхности и хорошая электропроводность - два критических требования к высокой производительности СК. Для получения таких материалов на основе графена ведется разработка структур с трехмерной архитектурой. Классическим примером такого материала является аэрогель. Аэрогель представляет собой гель, жидкая фаза которого заменена на газовую. В данной работе был получен графеновый композитный аэрогель с проводящим полимером – полианилином состава ПАНИ:ВОГ 50:50 вес.%. Полученный аэрогель был охарактеризован физико-химическими и электрохимическими методами.

Отличительной особенностью данной работы является то, что полимеризация анилина осуществлялась *in situ*, т.е. непосредственно в порах уже готового аэрогеля из восстановленного оксида графена. Растворы мономера (анилина) и окислителя (пероксодисульфата аммония) были изготовлены отдельно, и после смешивания ими был пропитан аэрогель. Объем реакционной смеси рассчитывался исходя из объемов необходимых на его полную пропитку. После полимеризации аэрогель (ПАНИ-АГ) отмывали от остатков мономера и побочных продуктов и сушили. На рис.1 представлены микрофотографии образца ПАНИ-АГ. Видно, что образец имеет высокоразвитую пористую структуру и при более высоком разрешении можно наблюдать, что вся поверхность графеновых листов покрыта

сплошным тонким слоем полимера.

Гальваностатические измерения показали, что ПАНИ-АГ обладает высокой удельной емкостью, которая при плотности тока 1А/г почти достигает значения в 500 Ф/г. Емкость графенового аэрогеля имеет более скромные значения в пределах 80-50 Ф/г. Аэрогель ПАНИ-ОГ оказывается более чувствительным к длительному циклированию и увеличению плотности тока, чем его основа - графеновый аэрогель. Но, не смотря на это, емкость композита все равно остается существенно выше, чем у темплейта.

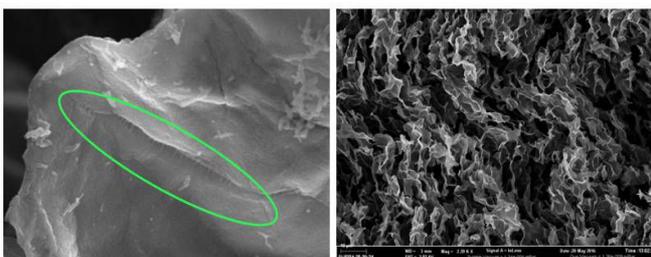


Рис.1. СЭМ-изображения ПАНИ-АГ

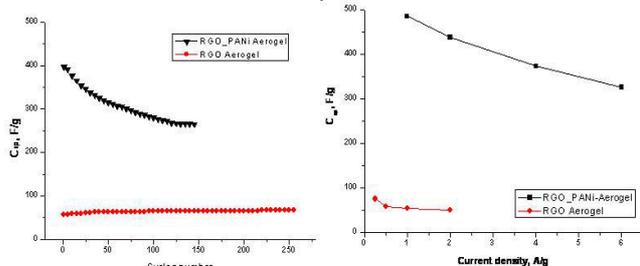


Рис.2. Зависимость емкости от плотности тока и количества циклов заряд-разряд для графенового и композитного аэрогелей

Работа выполнена в соответствии с госзаданием ФАНО № 0089-2014-0025

КОМПОЗИТ, ОБРАЗУЮЩИЙСЯ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ ОБЛУЧЕНИИ ВОДНОЙ СУСПЕНЗИИ ОКСИД ГРАФИТА – TiO₂

Баскакова Ю.В.*, Баскаков С.А., Арбузов А.А., Кабачков Е.Н., Шульга Ю.М.

ФГБУН Институт проблем химической физики РАН, 142432, Московская обл.,
г. Черноголовка, пр. Академика Семенова, 1, Россия

*e-mail: yuvl@icp.ac.ru

Диоксид титана (TiO₂) – наиболее известный и широко используемый фотокатализатор (ФК). Однако он поглощает свет только в УФ диапазоне, на долю которого приходится лишь небольшая часть солнечного спектра. По этой причине большинство последних исследований в этой области было направлено на поиск ФК, которые способны поглощать свет также в видимом и инфракрасном диапазонах. Полагают, что эту проблему можно решить с помощью новых наноматериалов, таких как графен.

Цель настоящей работы – создание трехмерной структуры на основе наночастиц TiO₂, покрытых оксидом графена (ОГ), с высокой удельной поверхностью, а также всестороннее исследование такого материала. В работе использовали промышленный TiO₂ марки Hombifine N, который обладает высокой удельной поверхностью (320 м²/г согласно нашим измерениям). Композит был получен с помощью ультразвуковой обработки смеси ОГ и TiO₂.

Известно, что удельная поверхность (S_{уд}) ОГ, как правило, невысока и оставляет около 20 м²/г при измерении методом БЭТ по азоту. Связано это с тем, что наноллисты ОГ при осаждении и сушке сближаются так, что азот из газовой фазы не может проникнуть между этими листами. Присутствие частиц TiO₂ в водной суспензии препятствует такой упаковке. Действительно, для смеси отдельно осажденных оксидов с соотношением масс 50:50 значение S_{уд} было бы равно 185 м²/г. В случае нашего композита мы получили S_{уд}=348 м²/г. Следовательно, на долю ОГ приходится как минимум 170 м²/г. Для графена теоретическое значение удельной поверхности равно 2620 м²/г. Для монослойного ОГ оно должно быть примерно в ~2 раза меньше, поскольку масса листа ОГ в ~2 раза больше массы листа графена такого же размера. Если бы наш композит состоял из монослойных листов ОГ, то для него можно было бы ожидать S_{уд} ≈ 900 м²/г. Из этих данных легко посчитать, что в нашем композите оксид графита представляется в среднем как четырехслойный ОГ. Установлено также, что зависимость значения S_{уд} композита от температуры предварительного отжига в инертной атмосфере проходит через максимум при ~200°C.

Таблица 1. Удельная поверхность композита в зависимости от температуры предварительного отжига в гелии

T, °C	t, ч	S _{уд} , м ² /г
110	2	169
200	2	348
300	4	202

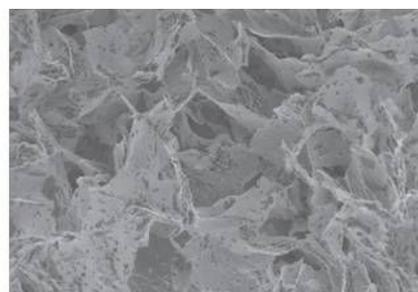


Рис. 1. СЭМ-изображение композита ОГ-TiO₂

Работа выполнена при поддержке программы РАН №1П (проект №0089-2015-0238)

ЭЛЕКТРОННЫЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ГРАФЕНОВЫХ СТРУКТУР

Валишина А.А.* , Лысогорский Ю.В., Недопекин О.В., Таюрский Д.А.

Казанский (Приволжский) федеральный университет

*e-mail: valishinalina@gmail.com

Возможная высокотемпературная сверхпроводимость графеновых структур вызывает интерес на протяжении полувека [1]. В теоретических работах [2] предполагается, что гранулярная сверхпроводимость обусловлена наличием плоских зон вблизи уровня Ферми, поскольку на данное значение энергии приходится бесконечное число состояний, что также благоприятно для возникновения зонного ферромагнетизма. Источником таких зон могут служить одномерные топологические дефекты, межзеренные границы [3]. Кроме того, электронные состояния графеновых нанолент существенным образом зависят от формы края и размера структуры.

Ранее методом *ab initio* моделирования в рамках теории функционала плотности (код VASP, интегрированный в программный пакет MedeA® [4]) были исследованы электронные свойства графеновых структур с одномерными топологическими дефектами, а также проанализировано влияние деформаций типа сжатие/растяжение на стабильность плоской зоны [5]. В данной работе исследуется взаимодействие топологических дефектов и формы краев графеновых нанолент, а также их влияние на электронные и магнитные свойства графена. Изучается взаимодействие графеновых нанолент и адсорбированных элементов, в качестве которых выступали H, H⁺, OH⁻, H₂O, H₃O⁺ и C₆H₁₄. Обнаружено, что насыщение оборванных связей водородосодержащими комплексами на границах графеновых нанолент, имеющих вид «зигзаг», приводит к уменьшению полного магнитного момента системы, а имеющих вид «кресло», приводит к его увеличению.

- [1] Hannay N. B., Superconductivity in graphitic compounds / N. B. Hannay, T. H. Geballe, B. T. Matthias et al. // Physical Review Letters – 1965. – V. 14, no.7. – P.25-226
- [2] Heikkilä T. T. , Flat bands in topological media /T. T. Heikkilä, N. B. Kopnin, G. E. Volovik // JETP Letters. – 2011. – V. 94, no. 3, P. 252–258
- [3] Feng L., Flat bands near Fermi level of topological line defects on graphite / L. Feng, L. Xianqing, L. Meng et al. // Appl. Phys. Lett.. – 2012. – V.101, P. 113113
- [4] Materials Design 2014 MedeA Version 2.16 (Angel Fire, NM: Materials Design).
- [5] Valishina A. A., Ab Initio Study of Deformation Influence on the Electronic Properties of Graphene Structures Containing One-Dimensional Topological Defects/ A.A.Valishina,Y.V. Lysogorskiy, O.V. Nedopekin, D.A. Tayurskii //Journal of Low Temperature Physics., 2016., T. 185., №. 5-6., С. 712-716

СУСПЕНЗИЯ ОКСИДА ГРАФЕНА, СИНТЕЗИРОВАННАЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ, ДЛЯ 2D ПЕЧАТИ

Васильева Ф.Д.^{1*}, Капитонов А.Н.¹, Антонова И.В.², Смагулова С.А.¹

¹*Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова*

²*Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова*

*e-mail: dorush21@mail.ru

2D печать на основе графена- одно из перспективных направлений в развитии современной электроники и фотоники. В отличие от аналогичных методов, 2D печать отличается низкой стоимостью технологического процесса, возможностью печати на разных подложках, включая гибкие [1]. В отличие от графена, оксид графена образует стабильную водную суспензию, что не требует замены растворителя перед печатью. Органические растворители, в которых стабилен графен, сильно ухудшают проводимость материала и требует относительно высоких температур отжига для их удаления, что не приемлемо в гибкой электронике.

Одним из новых подходов является получение слабо окисленной суспензии графена. Этот подход сочетает в себе, с одной стороны, возможность получать достаточно тонкие частицы и, с другой стороны, невысокую степень окисления, которая влияет на температуру восстановления графена. Так, в случае электрохимического расслоения графита в водных растворах неорганических солей в зависимости от используемого электролита, можно получать разную степень окисления или вообще неокисленный графен [2,3].

В работе показано, что в результате электрохимического расслоения графитового электрода в водном растворе сульфата аммония с концентрацией 0.15M можно получить частицы слабо окисленного графена с отношением кислорода к углероду 0.20%. Данный раствор дает относительно высокий выход суспензии и низкое сопротивление пленок. При термическом восстановлении (до 300°C) пленки из электрохимически расслоенного графита толщиной около 100 нм имеют сопротивление ~1 кОм/□.

1. Антонова И.В. Успехи физических наук, **187**, 2 (2017)
2. Parvez K., et al, J. Am. Chem. Soc. **136** 6083 (2014).
3. Low C.T.J., et al, Carbon **54** 1 (2013).

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ НА ПРОВОДИМОСТЬ ОКСИДА ГРАФЕНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЛАЖНОСТИ

Винокуров П.В.*, Евсеев З.И., Тимофеева Т.Е., Смагулова С.А.

ФГАОУ ВО Северо-Восточный федеральный университет, Якутск, Россия

*e-mail: pv.vinokurov@s-vfu.ru

Известно, что проводимость оксида графена (ОГ) увеличивается с ростом влажности воздуха. У графена, выращенного методом химического газофазного осаждения (CVD), наоборот, наблюдается уменьшение проводимости с ростом степени влажности. Влияние способа и степени восстановления на проводимость ОГ в условиях изменения влажности является областью, в которой ведутся активные исследования.

В данной работе проведено исследование проводимости пленок ОГ в зависимости от степени восстановления ОГ термическим способом в условиях изменения влажности воздуха. Для проведения измерений зависимости сопротивления от влажности были изготовлены структуры из ОГ на стеклотекстолитовой подложке. Восстановление проводилось термическим способом при 150°C в вакууме. Измеренное значение сопротивления невосстановленного ОГ с атомным содержанием кислорода ~40% составило 100 МОм, тогда как у восстановленного ОГ, сопротивление равнялось 1 МОм. Атомное содержание кислорода у ВОГ составляло ~20%. Полученные результаты представлены на рис. 1.

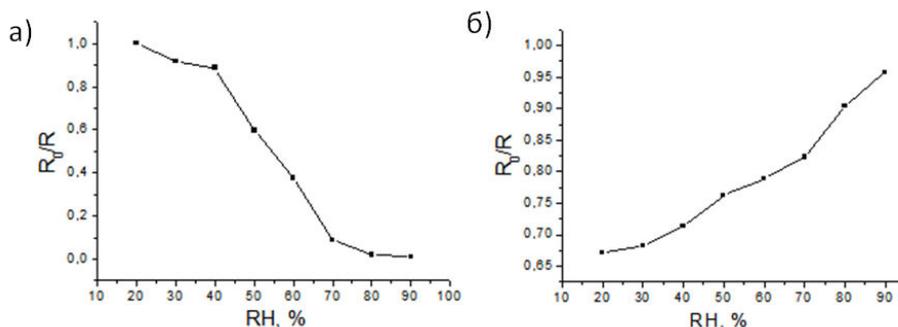


Рис. 1 – Зависимость сопротивления образцов от значения относительной влажности. а) контрольный образец невосстановленного ОГ; б) ОГ восстановленный при 150°C

Как видно из рис. 1, обнаружены принципиально разные характеры изменения сопротивления от относительной влажности для исследованных образцов. Предложена модель, объясняющая полученные зависимости. В данной работе наблюдается уменьшение проводимости у термически восстановленного ОГ с увеличением влажности, как у CVD графена.

Работа проведена при поддержке гранта РФФИ №15-08-01977

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЭРОЗОЛЯ ПРИ ЛЕГИРОВАНИИ ОДНОСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Гольдт А.Е.*, Цапенко А.П., Насибулин А.Г

Сколковский институт науки и технологий

**e-mail: a.goldt@skoltech.ru*

Однослойные углеродные нанотрубки (ОУНТ) уникальный материал с высокими электрическими, теплопроводными, механическими и прочностными характеристиками.

Благодаря возможности получения ОУНТ, обладающих как металлическими, так и полупроводниковыми свойствами, становится возможным их использование при изготовлении пассивных и активных элементов современной электроники. К другому применению УНТ можно отнести замену проводящих покрытий на основе оксида индия легированного оловом (ИТО) при создании гибких и эластичных устройств.

К сожалению, оптоэлектронные свойства пленок на основе однослойных углеродных нанотрубок, на сегодняшний день, еще не достигли оптимальных значений, для повышения их характеристик используют различные приемы легирования различными соединениями.

В нашей работе были использованы аэрозольные приёмы легирования ОУНТ пленок, полученных аэрозольным методом химического осаждения из газовой фазы, соединениями на основе золота для подстройки их оптоэлектронных свойств.

Была установлена четкая корреляция между временем обработки пленок и концентрацией аэрозоля с размером капель от 0,5 – 1 мкм, генерированного с помощью пьезоэлемента (частота 1.7 МГц). Необходимо отметить, что аэрозольное легирование наиболее эффективно для свободностоящих пленок, поскольку не разрушает их целостность, как в случае использования спин-коутинга и прикапывания раствора, содержащего легирующее соединение золота.

ПОЛУЧЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННОГО ГРАФЕНА ДЛЯ ЭЛЕКТРОДОВ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ

Горенская Е.Н.^{1*}, Холхоев Б.Ч.¹, Макотченко В.Г.², Юсин С.И.³, Очиров Б.Д.¹, Бурдуковский В.Ф.¹, Федоров В.Е.²

¹Байкальский институт природопользования СО РАН, Улан-Удэ, Россия

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

³Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск, Россия

*e-mail: gorenskaia.elena@mail.ru

В связи с всеобщей потребностью в новых технологиях сохранения и преобразования энергии суперконденсаторы благодаря высокой плотности мощности, высокой скорости зарядки, длительного времени эксплуатации и безопасность являются наиболее востребованными. Одним из революционных материалов для электродов суперконденсаторов позволяющим значительно улучшить эксплуатационные характеристики является графен функционализированный redox-активными молекулами [1].

В настоящей работе описывается способ получения на поверхности графена redox-активных бензимидазольных циклов. Такие циклы образуются в результате взаимодействия 3,3',4,4'-тетраааминодифеноксида (ТАДФО) с карбоксильными группами ОГ в водной среде в автоклаве при 180°C в течение 12 часов в атмосфере аргона. Образование бензимидазольных циклов подтверждено данными ИК-, КР-спектроскопии, ТГА и РФА. Количественное содержание бензимидазольных циклов оценивали по содержанию азота в продукте реакции, которое составляло 13-16%. Полученные материалы показали высокие значения емкости (до 353 Ф/г), что демонстрирует их перспективность.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (№ проекта 16-33-00218 мол_а).

1. Ai W., Zhou W., Du Zh. et al.// J. Mater. Chem. 2012. V. 22, P. 23439.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТОНКИХ МЕМБРАН МИКРОННОГО РАЗМЕРА НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА

Городецкий Д.В.* , Попов К.М., Архипов В.Е., Самусов И.А, Окотруб А.В.,
Першин Ю.В.

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

**e-mail: gorodetskiy@niic.nsc.ru*

Мембраны на основе графена являются перспективными материалами для создания микроэлектромеханических (МЕМ) ячеек памяти. Подобные ячейки рассматриваются в качестве новых перспективных элементов электроники, сочетающих в себе как вычислительную функцию, так и функцию хранения информации (памяти). Основная идея заключается в использовании напряженной (выгнутой) мембраны на основе графена в качестве обкладки конденсатора. В таком конденсаторе с памятью, два возможных положения выгиба служат для хранения бита информации. Запись информации обеспечивается приложенным к конденсатору напряжением, которое управляет положением мембраны.

Графен для мембран был получен CVD методом в горизонтальном трубчатом реакторе. В качестве подложки использовалась химически полированная медная фольга размером 1 см². Отжиг подложек проводился в атмосфере водорода. Синтез графена происходил в результате термолиза газовой смеси метана и водорода при пониженном давлении. Температура синтеза графена составляла 1050 °С.

Для создания мембран свободную пленку графена, покрытую слоем ПММА, переносили на кремниевую подложку с сформированной заранее щелью около 10 мкм. Размер щели контролировался с помощью пьезоподвижек с шагом 25 нм. Над мембраной размещался медный электрод. Расстояние от электрода до мембраны варьировалось с помощью микроподвижки. Максимально возможный потенциал на электроде составлял 500 вольт. При подаче электрического поля мембрана на основе графена отклонялась в сторону электрода. Варьирование напряженности электрического поля позволяет изменять степень прогиба мембраны.

Таким образом, показана возможность создания тонкой «свободной» мембраны на основе графена для создания устройств с памятью, таких как МЕМ-конденсаторы.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОДНОСЛОЙНЫХ НАНОТРУБОК В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПА ПРОВОДИМОСТИ

Гурова О. А.^{1,2*}, Окотруб А. В.^{1,2}

¹Институт неорганической химии им. А.В. Николаева, пр-т Лаврентьева 3

²Новосибирский государственный университет

*e-mail: olga.gurov@gmail.com

Одностенные углеродные нанотрубки (ОУНТ) обладают замечательными оптическими, электронными, термическими и механическими свойствами для различных областей применения. Однако, получаемые при синтезе ОУНТ обычно содержат смесь металлических и полупроводниковых нанотрубок, что может ограничивать их применение в различных областях. Существует несколько методов по разделению ОУНТ по типу проводимости, такие как диэлектрофорез, селективное окисление, ультрацентрифугирование и т. п. В данной работе мы использовали метод водно-полимерных фаз для разделения ОУНТ по типу проводимости.

Цели данной работы – получение ОУНТ с различным типом проводимости и исследование их физикохимических свойств.

В данной работе использовались ОУНТ синтезированные методом дугового разряда и приобретенные в компании OCSiAl. Для уменьшения агломерации ОУНТ были укорочены. Укорочение ОУНТ проводили двумя способами. Первый из них – окисление смесью концентрированных серной и азотной кислот ($H_2SO_4:HNO_3$ в соотношении 1:3). Второй подход – фторирование/дефторирование нанотрубок. Фторирование осуществляли в парах BrF_3+Br_2 в течении одной недели. Дефторирование ОУНТ проводили быстрым нагреванием фторированного образца при температуре $400^\circ C$ в атмосфере аргона. Для получения стабильных водных суспензий были использованы поверхностно-активные вещества (ПАВ). Полученные суспензии смешивали с двумя полимерами: полиэтиленгликолем и декстраном, и двумя ПАВ: додецилсульфатом натрия и холатом натрия в определенной концентрации.

Структура нанотрубок характеризовалась сканирующей электронной микроскопией, инфракрасной, оптической спектроскопией, и спектроскопией комбинационного рассеяния света. Из данных образцов были получены пленки ОУНТ и была исследована их проводимость.

По результатам показано, что длина однослойных углеродных нанотрубок влияет на их разделение по типу проводимости в полимерах. Также показана зависимость изменения концентрации полимеров и ПАВ на выделения нанотрубок определенного типа проводимости.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСУЛЬФИДА МОЛИБДЕНА, ДОПИРОВАННОГО АТОМАМИ Re ИЛИ Nb МЕТОДАМИ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Далматова С.А.^{1,2*}, Федоренко А.Д.¹, Леднева А.Ю.¹, Асанов И.П.¹, Федоров В.Е.¹, Мазалов Л.Н.^{1,2}

¹ИНХ СО РАН, пр. Лаврентьева, 3, Новосибирск, 630090.

²НГУ, ул. Пирогова 2, Новосибирск 630090

*e-mail: dalmatova.s@yandex.ru

В настоящее время в научном сообществе большое внимание привлекают 2D-материалы, такие, как графен, дисульфид молибдена и др. Благодаря своим электрическим свойствам MoS₂ может применяться в фотокатализе, в качестве катодного материала и в других областях. Модифицируя MoS₂ с помощью допирующих примесей можно получить материалы с необходимыми электронными свойствами.

В данной работе исследовались твердые растворы на основе MoS₂, допированные неизовалентными атомами металла (электронно-избыточным Re и электронно-дефицитным Nb по сравнению с Mo) методами рентгеновской фотоэлектронной (РФЭС) и рентгеновской эмиссионной спектроскопии (РЭС). Эти методы позволяют детально изучить изменение электронной структуры в результате введения атомов допанта в структуру.

Получены РФЭС C1s, O1s, Mo3d, S2p, Re4f, Nb3d и РЭС Mo L α и S K α спектры серий Mo_{1-x}Re_xS₂ (x=0.05, 0.1, 0.15) и Mo_{1-x}Nb_xS₂ (x=0.05, 0.1). В РФЭС Mo3d и S2p спектрах появляется дополнительная низкоэнергетическая компонента при допировании MoS₂ атомами Re, при повышении концентрации допанта интенсивность данной компоненты увеличивается. Полученные результаты согласуются с предположением о том, что атомы Re замещают атомы Mo; при этом происходит делокализация электронной плотности с атомов Re на близлежащие атомы Mo и S. Из анализа РФЭС Re4f_{7/2} спектров образцов Mo_{1-x}Re_xS₂ следует, что при малых концентрациях Re наблюдается одна компонента. При концентрации Re 15% появляется дополнительная высокоэнергетическая компонента, которая может быть связана с формированием металлокластеров с участием атомов рения.

Работа поддержана грантом РФФ 14-13-00674.

ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ УГЛЕРОДНЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК

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

Северо-восточный федеральный университет им.М.К.Аммосова

*e-mail: marfa.egorova@mail.ru

Полупроводниковые квантовые точки (КТ) представляют большой интерес в области оптоэлектроники, биомедицины и детектирования в связи с их высоким квантовым выходом, но их более широкое применение до недавнего времени было затруднено высокой токсичностью и низкой биосовместимостью, стоимостью, а также низкой стабильностью. КТ на основе углерода и графеновые КТ обладают яркой флуоресценцией и превосходят традиционные полупроводниковые КТ по биологической безопасности, хорошей химической инертности и растворимости. [1]

В данной работе приведены результаты получения углеродных КТ гидротермальным методом [2] из двух углеродсодержащих материалов: глюкозы и сажи березовой коры. Все реакции протекали в автоклаве при постоянном давлении и температуре 180 °С. В ходе эксперимента, варьировалось количество содержания продуктов и время протекания реакции. Результаты исследований представлены на рис.1 и 2.

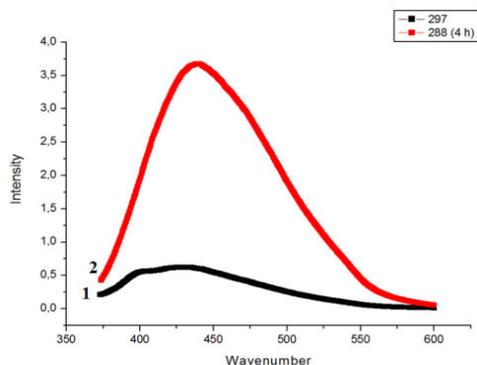


Рис.1 Спектры фотолюминесценции растворов: 1-сажи и 2-глюкозы

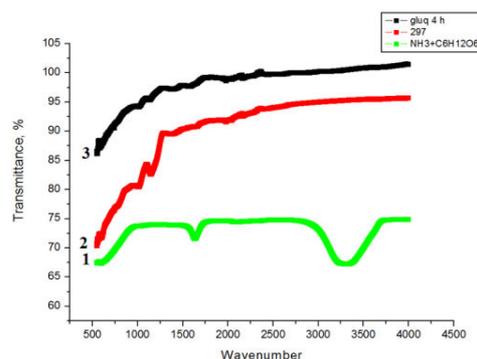


Рис.2. ИК-спектры 1 – исходного раствора, 2 – сажи, 3 – глюкозы

При возбуждении длиной волны 350 нм максимальная интенсивность фотолюминесценции наблюдается у глюкозы при 440 нм, для сажи 400 нм. В выбранных условиях эксперимента интенсивность фотолюминесценции КТ из сажи значительно ниже, чем у КТ из глюкозы.

Тезисы написаны при поддержке гранта РФФИ №15-08-01977.

Использованная литература

1. Yan Du, Shaojun Guo, Nanoscale, 2015, DOI: 10.1039/C5NR07579C
2. Dengyu Pan, Jingchun Zhang, Zhen Li, and Minghong Wu, Adv. Mater. 2010, 22, 734–738

ЭФФЕКТ РЕЗИСТИВНЫХ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЙ В СЛОИСТЫХ СТРУКТУРАХ ЧАСТИЧНО ФТОРИРОВАННОГО ГРАФЕНА С ПОЛИВИНИЛОВЫМ СПИРТТОМ

Иванов А.И. *, Небогатикова Н.А., Котин И.А., Антонова И.В.

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

*e-mail: aiivanov@isp.nsc.ru

На сегодняшний день для изготовления мемристоров используется широкий спектр материалов. Совсем недавно вышла работа по исследованию электрических характеристик фторированного графена, и оказалось, что на вольт-амперных характеристиках для плёнок этого материала наблюдаются резистивные переключения [1]. Фторографен (FG) является наиболее стабильным соединением на основе графена, что делает его перспективным диэлектрическим материалом для изготовления мемристоров. В ИФП СО РАН разработана оригинальная методика получения фторографена в водном растворе плавиковой кислоты [2], который был использован для получения фторированной суспензии. В работе были исследованы двухслойные печатные плёнки, состоящие из слоя поливинилового спирта (PVA) и слоя частично фторированного графена, рис.1а,б. Вольт-амперные характеристики данных структур приведены на рис.1.в, наблюдался стабильный эффект резистивных переключений величиной до одного порядка. Исследуется механизм переключений, путем изучения транспорта в двойных пленках.

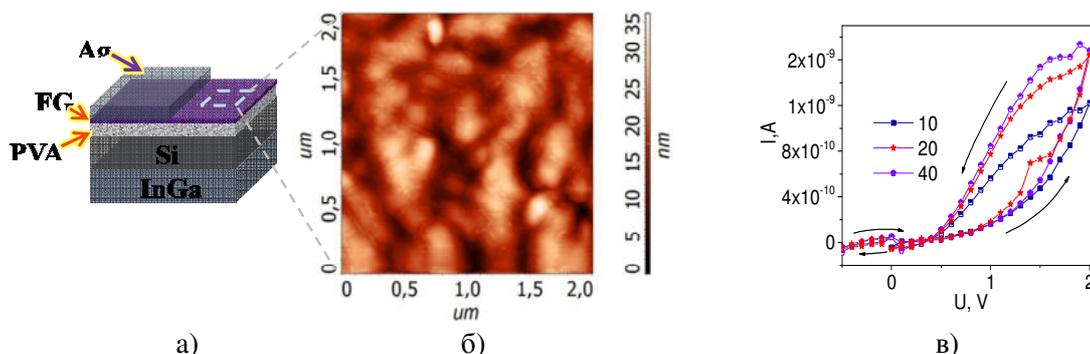


Рис. 1. Двухслойная плёнка Фторированного графена с Поливиниловым спиртом:

а) схематичное изображение структуры, б) изображение поверхности полученное с использованием атомно-силового микроскопа, в) вольт-амперная характеристика плёнки, эффект резистивных переключений величиной до одного порядка.

[1] Kurkina I.I., Antonova I. V., Nebogatikova N. A., Kapitonov A. N., Smagulova S. A.// J.Phys. D: Appl. Phys. 2016. № 49. P. 095303.

[2] Nebogatikova N. A., Antonova I. V., Prinz V. Ya., Volodin V. A., Zatsepin D. A., urmaev E. Z., Zhidkov I. S., Cholakh S. O.// Nanotechnol. Russ. 2014. № 9. P. 51.

ЭФФЕКТ РЕЗИСТИВНЫХ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЙ В КОМПОЗИТНЫХ ПЛЁНКАХ ЧАСТИЧНО ФТОРИРОВАННОГО ГРАФЕНА С НАНОКРИСТАЛЛАМИ V_2O_5

Иванов А.И.*, Небогатикова Н.А., Антонова И.В.

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

*e-mail: aiiivanov@isp.nsc.ru

Фторированный графен (ФГ) является наиболее стабильным соединением на основе графена, что делает его перспективным материалом для изготовления мемристоров. Не так давно, нами была разработана технология фторирования графена в растворах плавиковой кислоты, позволившая изготавливать фторированный графен в объёмах, достаточных для создания приборных структур. Совсем недавно вышла работа по исследованию электрических характеристик фторированного графена, и оказалось, что на вольт-амперных характеристиках для плёнок этого материала наблюдаются резистивные переключения [1]. Преимуществом резистивной памяти на основе плёнок фторированного графена являются стабильность данного материала и возможность создания плёнок на твёрдых и гибких подложках, при комнатной температуре [2].

В работе были исследованы композитные плёнки, состоящие из частично фторированного графена с добавлением нанокристаллов (НК) V_2O_5 , рис.1а,б. Стабильный эффект резистивных переключений величиной до одного порядка, наблюдаемый для данных структур, показан на вольт-амперных характеристиках, рис.1.в. Для понимания роли НК в резистивных переключениях, варьируется их концентрация в плёнках ФГ.

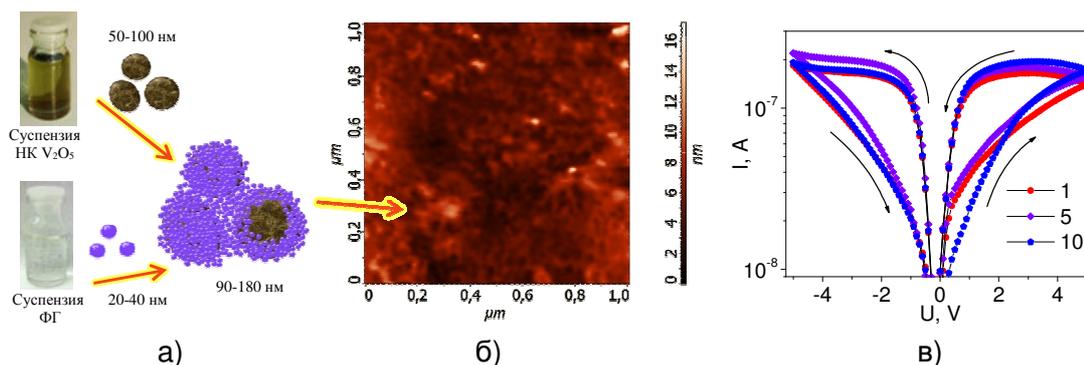


Рис. 1. Композитная плёнка Фторированного графена с нанокристаллами V_2O_5 : а) фотографии суспензий частично фторированного графена и нанокристаллов V_2O_5 , схематичное изображение «упаковки» нанокластеров частицами фторированного графена б) изображение поверхности, полученное с использованием атомно-силового микроскопа, в) вольт-амперная характеристика плёнки, эффект резистивных переключений величиной до одного порядка.

[1] Kurkina I.I., Antonova I. V., Nebogatikova N. A., Kapitonov A. N., Smagulova S. A. // J.Phys. D: Appl. Phys. 2016. № 49. P. 095303.

[2] Иванов А.И., Небогатикова Н.А., Куркина И.И., Антонова И.В // Физика и техника полупроводников. 2017 № 51. в печати.

МАГНЕТИЗМ И АДСОРБЦИЯ ГРАФЕНА НА $\text{MnO}(111)$ С ВАКАНСИЯМИ КИСЛОРОДА В ИНТЕРФЕЙСЕ: AB INITIO ИЗУЧЕНИЕ

Илясов В.В., Попова И.Г., Ершов И.В.

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону

В рамках теории функционала плотности выполнено моделирование магнетизма и адсорбции графена на полярной поверхности (111) монооксида марганца, ограниченного кислородом в зависимости от числа вакансий в интерфейсе графен/ $\text{MnO}_x(111)$. Систематически исследованы локальные атомные реконструкции границы раздела поверхностей графена и $\text{MnO}_x(111)$, а также их термодинамические, электронные и магнитные свойства. Впервые установлены длины связи и энергия адсорбции для разных реконструкций атомной структуры поверхности систем графен/ $\text{MnO}_x(111)$. Изучены эффекты влияния адсорбции графена на электронный спектр границы раздела графен/ $\text{MnO}_x(111)$ в ее разных реконструкциях [1]. Определены эффективные заряды и локальные магнитные моменты на атомах углерода и ближайшего окружения в рассмотренных адсорбционных моделях. Установлен переноса заряд от атома углерода к атомам ближайшего окружения, который обусловлен реконструкцией локальной атомной и электронной структур и коррелирует с числом вакансий кислорода в интерфейсе. Предсказан магнетизм бездефектного графена, помещенного на полярную поверхность изолятора типа $\text{MnO}_x(111)$ с вакансиями кислорода в интерфейсе графен/ $\text{MnO}_x(111)$ и обсуждается его природа. Показано [1], что электронный спектр и магнетизм в системе SLG/ $\text{MnO}_x(111)$ могут модулироваться нестехиометрией по кислороду интерфейсного слоя, что позволяет предположить высокие потенциальные возможности использования этой системы в спинтронике.

1. Victor V. Ilyasov, Inna G. Popova, Igor V. Ershov et al., *Diamond & Related Materials*, 2017, Vol. 74, p. 31-40.

СИНТЕЗ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЗОТДОПИРОВАННОГО «ДЫРЯВОГО» ГРАФИТА

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

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

²Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, пр. Акад.
Лаврентьева 3, Новосибирск 630090 Россия.

*e-mail: elenakobeleva1@mail.ru

Графеновые материалы с момента их открытия представляют интерес для различных применений благодаря их уникальным свойствам. Они могут применяться при создании сенсоров, суперконденсаторов, аккумуляторов, покрытий, и т.д. Допирование графеновых материалов азотом позволяет расширить круг их применений и в ряде случаев увеличить эффективность, в частности, увеличить электрохимическую емкость. Кроме того, графеновые азотдопированные материалы обладают каталитической активностью и в перспективе могут заменить платину. Один из примеров графеновых материалов – так называемый «дырявый» графит, синтезируемый при термической обработки оксида графита.

Дырявый графит был получен из оксида графита, синтезированного методом Хаммерса при нагревании в концентрированной серной кислоте до 200°C и 280°C в течение двух часов и одного часа, соответственно. Далее образцы «дырявого» графита обрабатывались концентрированным раствором аммиака в течение 15 часов при температуре 80°C для допирования материала атомами азота. После этого полученный продукт отфильтровывался и сушился на воздухе в течение суток.

В ходе реакции атомы азота могут встраиваться в дефекты графеновой структуры в виде пиримидиноподобного азота, трехкоординированного азота, аминогруппы, нитрогруппы и т.д. Показано, что максимальное содержание пиримидиноподобного азота, который представляет наибольший интерес, было получено в образце, синтезированном при более высоких температурах. Кроме того, были исследованы электрохимические свойства всех материалов.

ПОЛИХАЛЬКОГЕНИДЫ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ СО СЛОИСТОЙ И ЦЕПОЧЕЧНОЙ СТРУКТУРОЙ КАК ПРЕДШЕСТВЕННИКИ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ

Козлова М.Н.^{1*}, Федоров В.Е.^{1,2}

¹Институт неорганической химии им. А.В. Николаева

²Новосибирский Государственный Университет

*e-mail: kozlova@niic.nsc.ru

В последнее время, в особенности после открытия уникальных свойств графена, значительное внимание исследователей уделяется наноматериалам на основе неорганических соединений со слоистой и цепочечной структурой. К таким соединениям, кроме графита, C_2F и $h\text{-BN}$, можно отнести обширное семейство полихалькогенидов переходных металлов, с общими формулами MX_2 (MoS_2 , $MoSe_2$, WS_2 и др.), M_2X_3 (Mo_2S_3 , Nb_2Se_3), MX_3 (NbS_3 , $NbSe_3$, TiS_3 , CrS_3 , MoS_3 и др.), MX_4 (VS_4) и др. Многие из этих соединений активно изучались в конце прошлого столетия в связи с их интересными физическими свойствами в объемном состоянии, такими как сверхпроводимость, возникновение волн зарядовой плотности, Пайерлсовских переходов и пр. Недавно было показано, что некоторые халькогениды переходных металлов способны диспергироваться при ультразвуковой обработке в полярных органических средах с образованием коллоидных дисперсий.

В данной работе мы изучали процессы диспергирования объемных порошков полихалькогенидов переходных металлов (MoS_2 , $MoSe_2$, Mo_2S_3 , VS_4 и др.). Коллоидные дисперсии были использованы для получения тонких пленок методами фильтрации через пористые мембраны и напыления на разогретые подложки. Композиты состава «наноразмерный 2D (1D) халькогенид – наночастицы благородных металлов» были получены в результате восстановления солей благородных металлов в присутствии коллоидных дисперсий. Свойства всех полученных веществ были изучены набором физико-химических методов, таких как РФА, КР, ИК, РФЭС, ТГА, ВРПЭМ и АСМ. Особое внимание уделено тому, как меняются свойства при переходе от соединений, содержащих халькоген в форме X^{2-} в составе MX_2 к полихалькогенидам MX_3 MX_4 , содержащим X_2^{2-} .

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 17-03-00074 А).

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ЛОКАЛЬНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПЛЕНОК ОКСИДА ГРАФЕНА

Кондрашов В.А.^{1*}, Стручков Н.С.², Неволин В.К.², Насибулин А.Г.¹

¹*Сколковский институт науки и технологий*

²*Национальный исследовательский университет «МИЭТ»*

**e-mail: kondrashovva@mail.ru*

Оксид графена (ОГ) является перспективным материалом электроники оптоэлектроники и сенсорики, благодаря доступности и возможности массового производства. Разработка методов контролируемого локального восстановления тонких пленок ОГ лазерным излучением позволит создавать различные приборные применения в едином процессе. В данной работе использовалась суспензия ОГ производства ООО «МИП «Графен». В качестве подложек использовался монокристаллический кремний ориентации (100) КДБ 7,5 с естественным оксидом кремния (<50 Å). Нанесение ОГ осуществлялось высушиванием 80 мкл суспензии на площади 1 см² с концентрацией 0.8 мг/мл при 22°C в течении 24 часов. Модификация ОГ проводилась в вакуумной камере заполненной смесью атмосферного воздуха и аргона. В качестве источника лазерного излучения использовался твердотельный лазер с длиной волны 445 нм. Исследование образцов проводилось методами КРС спектроскопии.

Варьирование отношения парциальных давлений атмосферного воздуха и аргона в диапазоне 0-100% с шагом 10% в камере показало, что наиболее эффективно процесс восстановления протекает при объемном содержании аргона 90%, что соответствует содержанию кислорода ~2%.

В данной работе было найдено оптимальное соотношение аргона и атмосферного воздуха, для получения качественных пленок графена, которое составляет 9:1. Получены зависимости поверхностного сопротивления материала и его структурного совершенства от дозы лазерного излучения, выявлена критическая доза ~ 3 кДж/см² выше которой получить качественно восстановленный ОГ невозможно. Получены проводящие дорожки с поверхностным сопротивлением ~190 Ом/□ толщиной ~1 мкм, изолированные оксидом графена. Сформированы структуры терморезисторов с температурным коэффициентом сопротивления ~0,1 %/К.

ПОЛУЧЕНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ПРОДУКТОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДА ГРАФЕНА УЛЬТРАЗВУКОМ В КИСЛОЙ СРЕДЕ ИЛИ ГИДРАЗИНОМ В ВОДНОЙ ЩЕЛОЧИ

Копылов А.В.¹, Ткаченко Т.Б.¹, Илькевич Л.В.^{2*}, Барнаков Ч.Н.²

¹ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

²Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук

*e-mail: lida1193@mail.ru

Графен – это углеродный нанообъект, который характеризуется уникальными электрофизическими, тепловыми, механическими и оптическими свойствами. Одной из возможных областей его применения может быть создание новых полимерных композиционных материалов, допированных графеном. С точки зрения химии, графен - это одноатомный углеродный слой, состоящий из конденсированных шестичленных колец, атомы углерода в графене соединены sp^2 -связями в гексагональную двумерную решетку [1].

Нами рассмотрена возможность получения графена восстановлением оксида графена (ОГ) ультразвуком в кислой среде и гидразином в водной щелочи. Необходимый для восстановления оксид графена получали при помощи модифицированного метода Хаммерса, согласно приведенной в литературе методике [2]. В качестве прекурсора для синтеза ОГ использовали пенографит, полученный из окисленного графита на основе нитрата графита 3 - ей степени, который подвергали вспениванию в муфельной печи при температуре 900°C. Продукт окисления отделяли от кислот при помощи центрифугирования и отмывали дистиллированной водой до нейтральной среды. Полученный таким образом ОГ растворяли в водной соляной кислоте, подвергали ультразвуковой обработке (УЗ), выделяли с помощью центрифугирования и сушили. Полученный продукт исследовали методами физико-химического анализа и сравнивали с продуктом, полученном при восстановлении гидразином.

1. Губин С.П., Ткачев С.В. Графен и материалы на его основе // Радиотехника, Наносистемы, Информационные технологии. - 2010. –Т.2, № 1-2. - С.99-137.
2. Karthikeyan K., Murugan V., Kyusik Yun b. Химический и структурный анализ оксида графена с разными степенями окисления // CARBON.- 53 (2013).- P. 38 –49.

ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА, СОЗДАННЫЕ С ПОМОЩЬЮ 2D ПЕЧАТИ

Котин И.А.*, Антонова И.В., Якимчук Е.А., Соотс Р.А.

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

**e-mail: kotin@isp.nsc.ru*

Одним из актуальных направлений применения графена является создание гетероструктур на его основе. Гетероструктуры на основе графена предлагают новый дизайн электронных приборов, например, вертикальный туннельный транзистор [1]. Такие гетероструктуры являются комбинацией двух или более 2D кристаллов, одним из которых является графен, а другими могут выступать, например, h-BN, MoS₂, WS₂ и так далее, или производные графена, полученные с помощью химической функционализации, например, оксид графена, фторграфен и графан.

В тоже время интенсивно развиваются аддитивные технологии, такие как 3D и 2D печать. Их развитие не могло не повлиять на развитие графеновой электроники, в которой возникло направления графеновой печатной электроники. Благодаря своим свойствам, графен стал одним из кандидатов для создания проводящих чернил. Однако, с помощью 2D печати необходимо создавать различные функциональные слои, не только проводящие, но и диэлектрические. У графена есть родственный материал, оксид графена, идеально подходящий для печатных технологий.

Создание гетероструктур на основе графена с помощью 2D печати, либо используя комбинированный подход (2D печать в сочетании со стандартной технологией переноса) является новым этапом развития гетероструктур на основе графена и графеновой печатной электроники. Используя данный подход, были созданы гетероструктуры на основе графена и исследованы их электрические свойства.

Это исследование было частично профинансировано Российским научным фондом (грант № 15-12-00008).

1. L. Britnell, R. V Gorbachev, R. Jalil, B. D. Belle, F. Schedin, A. Mishchenko, T. Georgiou, M. I. Katsnelson, L. Eaves, S. V Morozov, N. M. R. Peres, J. Leist, A. K. Geim, K. S. Novoselov, and L. A. Ponomarenko, *Science*, Vol. 335, № 6071. P. 947–950 (2012)

УГЛЕРОДНЫЕ 2D ПОВЕРХНОСТИ В ЗАДАЧАХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ 5G

Кужир П.П.¹, Поддубская О.Г.¹, Волынец Н.И.¹, Батраков К.Г.¹, Максименко С.А.¹, Каплас Т.², Свирко Ю.П.²

¹НИИ ЯП БГУ, Минск, Беларусь

²Университет восточной финляндии, Йонсуу, Финляндия

Разработка компактных покрытий, эффективно экранирующих микроволновое и ТГц излучение, очень важная часть разработки мобильных сетей пятого поколения: необходимо разработать материал, идеально поглощающий электромагнитное излучение в высокочастотном диапазоне, вплоть до ТГц. Цель данного доклада – представить ряд тонких углеродных пленок – пиролитический углерод (PyC), стекловидный углерод (GC), графитовый пиролитический углерод (GrPyC), графен и сэндвич структуры из перечисленных материалов типа углеродная пленка/ПММА и показать при каких толщинах (или количестве слоев в случае сэндвич - структур) можно ожидать высокий уровень экранировки, обусловленный преимущественно поглощением.

Графен показал себя наиболее перспективным материалом для разработки поглощающих покрытий для оптоэлектронных приборов с точки зрения его прозрачности в оптическом диапазоне и в то же время хорошим поглощающим свойствам в СВЧ и ТГц. В то же время, будучи не такими прозрачными как графен, тонкие пленки PyC (5 нм) и GrPyC (8-12 нм) могут выступать в качестве альтернативы графену, поскольку они все еще достаточно прозрачные для применения в оптоэлектронных приборах, но при этом обеспечивают даже большую (18-20 % по сравнению с 15 % для однослойного графена) экранирующую способность в микроволновом частотном диапазоне.

Более толстые PyC и GC пленки (25-30 нм) поглощают существенную часть видимого света, близко к 50 %, могут быть использованы для других задач, где оптическая прозрачность не является существенной (например, для решения задачи электромагнитной совместимости в ТГц и суб-ТГц диапазонах.) Существенное технологическое преимущество для использования PyC и GC в качестве экранирующих устройств: оба вида покрытия осаждаются непосредственно на диэлектрическую подложку (любых размеров и формы).

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРНЫХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФТОРИРОВАННОГО, ГИДРИРОВАННОГО И ОКИСЛЕННОГО ГРАФЕНА

Куркина И.И.*, Васильева Ф.Д., Смагулова С.А.

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова

*e-mail: ii.kurkuna@s-vfu.ru

Как известно, графен является полуметаллом с нулевой шириной запрещенной зоны. Открытие запрещенной зоны в графене может значительно расширить перспективы его использования в тонкопленочной наноэлектронике. Присоединение к поверхности графена различных атомов и молекул, приводит к появлению запрещенной зоны, изменению проводимости, оптических и структурных свойств. Контролируемая функционализация графена, приводящая к появлению полупроводникового материала с настраиваемой шириной запрещенной зоны, имеет большие перспективы. Наиболее популярными видами функционализации графена являются фторирование, гидрирование и окисление графена.

В настоящей работе сделан сравнительный анализ структурных и электрических свойств производных графена. Исходный графен для последующей функционализации получали двумя способами: химическим расслоением природного графита в суспензиях и методом химического осаждения из газовой фазы. Пленки оксида графена, созданные из суспензий, были получены на различных подложках: на стекле, SiO₂/Si и термопластике (полиэтилентерефталате PET). Фторированную графеновую суспензию получали путем соединения водного раствора плавиковой кислоты HF и графитовой суспензии в диметилформамиде. После определенного времени фторирования суспензию капали на кремниевую подложку. Гидрированные образцы получали после обработки суспензии или пленок графена в N-метилпирролидоне на подложках SiO₂/Si и PET.

Пленки функционализированного графена, как показали измерения, получают сплошными и толщины пленок оцениваются до нескольких десятков нанометров. Пленки оксида графена получают более однородными, в то время как фторированные и гидрированные пленки, созданные из суспензий, состоят из чешуек округлой формы. При малом времени фторирования пленки формируются из графеновых островков во фторированной матрице. С увеличением времени фторирования графеновые островки становятся все меньше и исчезают, и пленка формируется только из фторированных графеновых чешуек.

Измерения вольт-амперных характеристик (ВАХ) показали, что пленки оксида графена и гидрированные пленки имеют линейные зависимости, и значения токов доходят до значений несколько сот микроампер. ВАХи фторографена имеют ряд особенностей: появление обратного дифференциального сопротивления (ОДС), ступенек, изменений направления токов при определенных условиях. Значения токов для фторированного графена не превышают значений десятка микроампер. Фторированный графен в зависимости от степени фторирования имеет диэлектрическую проницаемость 3.2-1.1, а напряженность электрического поля, которое держит пленка, составляет 1,2×10⁶ В·см⁻¹. Превосходные характеристики диэлектрической пленки фторографена делают их перспективными для использования в качестве изолирующих элементов в тонкопленочных структурах. Наблюдаемое ОДС расширяет диапазон применения таких пленок в качестве активных слоев устройств, изготовленных с использованием планарных печатных технологий на твердых и гибких подложках.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЛИТИЯ С ОДНОСЛОЙНЫМИ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ МЕТОДАМИ РЕНТГЕНОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Лаптева Л.Л.^{1,2*}, Федосеева Ю.В.^{1,2}, Окотруб А.В.^{1,2}, Булушева Л.Г.^{1,2}

¹Новосибирский государственный университет

²ФГБУН Институт неорганической химии им. А. В. Николаева СО РАН

*e-mail: lapteva.l.l@yandex.ru

Изучение взаимодействия лития с углеродными нанотрубками является актуальной задачей, так как их использование в литий-ионных аккумуляторах и суперконденсаторах может улучшить их электрохимические характеристики. Кроме того, легирование углеродных нанотрубок щелочными металлами делает их способными к хранению водорода. Важной задачей в этих областях является определение особенностей электронных взаимодействий между углеродом и литием.

Данная работа посвящена рентгеноспектральному исследованию электронного взаимодействия атомов лития с однослойными углеродными нанотрубками (SWCNT - Single-Walled Carbon Nanotubes).

Литирование SWCNT осуществлялось с помощью высоковакуумного термического напыления лития на поверхность образца. Рентгеноэлектронные и NEXAFS (Near Edge X-ray Absorption Fine Structure) спектры исходных и литированных SWCNT были сняты на Российско-Германском канале Берлинского центра синхротронного излучения (BESSYII). Литирование SWCNT приводит к сдвигу C 1s-линии в сторону больших энергий. NEXAFS исследование литированных SWCNT выявило понижение относительной интенсивности π^* -резонанса в спектре C K-края по сравнению со спектром исходных нанотрубок. Интерпретация экспериментальных фотоэлектронных спектров валентной зоны чистых и литированных SWCNT осуществлялась с помощью квантово-химических расчетов в рамках кластерной модели методом теории функционала плотности (функционал B3LYP). Также были определены структурные характеристики исходных SWCNT по спектрам комбинационного рассеяния света. В результате было установлено, что взаимодействие паров лития с SWCNT приводит к переносу электронной плотности с атомов лития на атомы углерода и к изменению электронного строения системы.

Работа была выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 17-73-10226). РФЭС и NEXAFS-измерения были выполнены в Берлинском центре материалов и энергии имени Гельмгольца в рамках Российско-Германской лаборатории.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУМЕРНЫХ ПЛЕНОК ОКСИДА ЖЕЛЕЗА

Ларионов К.В.^{1,2*}, Квашнин Д. Г.^{1,2}, Сорокин П.Б.^{1,2}

¹ФГБНУ ТИСНУМ, г. Москва, г. Троицк,

²МФТИ (ГУ), г. Долгопрудный

*e-mail: konstantin.larionov@phystech.edu

С момента открытия графена двумерные плёнки привлекают внимание исследователей. Опубликованные работы по двумерному железу в порах графена [1] и монослойным кластерам оксида меди, имеющим квадратную решетку [2], открывают новые возможности в области исследования и применения низкоразмерных структур. В настоящей работе были рассмотрены соединения на основе оксида переходного металла FeO, расширяющего класс структур с несвойственной двумерным кристаллам квадратной решеткой.

Для пленок FeO различной толщины были получены данные об их электронных и магнитных свойствах. Также, по аналогии с эффектом графитизации пленок ионных соединений [3], был изучен эффект расслоения пленок FeO на слои с квадратной двумерной решеткой и определена критическая толщина плёнок, при которой такой переход реализуется.

Подробно была рассмотрена стабильность монослоя оксида железа как в свободном состоянии при 0 К и конечных температурах, так и в гетероструктурах. Так, в поисках стабильного соединения были исследованы структуры на основе монослоя FeO в матрице графена. Была получена аналитическая зависимость энергии края от типа границ раздела, согласующаяся с *ab initio* расчетами. Было выполнено построение Вульфа, определены оптимальные формы краёв на границе раздела FeO/графен, а также изучены их электронные свойства. Полученные в ходе моделирования ПЭМ-изображения квадратной решетки оксида железа в порах графена демонстрируют отличное согласие с экспериментом [1].

Таким образом, полученные результаты по структуре оксида железа и его свойствам расширяют малоизученный класс двумерных соединений с квадратной решеткой, а также подтверждают возможность синтеза структур на его основе.

Работа выполнена при поддержке РФФ №17-72-20223.

Список литературы

1. Zhao, J. *et al.* Free-Standing Single-Atom-Thick Iron Membranes Suspended in Graphene Pores. *Science* **343**, 1228–1232 (2014).
2. Kano, E. *et al.* One-atom-thick 2D copper oxide clusters on graphene. *Nanoscale* **9**, 3980–3985 (2017).
3. Kvashnin, A. G., Pashkin, E. Y., Yakobson, B. I. & Sorokin, P. B. Ionic Graphitization of Ultrathin Films of Ionic Compounds. *J. Phys. Chem. Lett.* (2016).

МЕТОДЫ ПРИМЕНЕНИЯ МАЛОСЛОЙНЫХ ГРАФЕНОВ И ФТОРИДОВ ГРАФИТА ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ ПРОЛИВОВ ЖИДКИХ РАКЕТНЫХ ТОПЛИВ

Макотченко В.Г.¹, Кручинин Н.А.^{2,3}

¹ФГБУН Институт неорганической химии им. А.В. Николаева, г. Новосибирск, Россия; mwg@niic.nsc.ru

²Российская инженерная академия, г. Юбилейный, Россия;

³4-й ЦНИИ МО РФ, г. Юбилейный, Россия.

В последнее время в связи с значительной активизацией деятельности ракетной и ракетнокосмической деятельности, вызванной, во-первых, снятием с боевого дежурства и утилизацией ракетных комплексов (РК) и, во-вторых, повышением интенсивности запусков космических средств увеличились объемы работ с токсичными веществами, что прямым образом связано с выбросами в окружающую среду потенциально опасных компонентов жидких ракетных топлив (ЖРТ) и устранением их отрицательных последствий. Важнейшей проблемой стало обеспечение минимального экологического ущерба, возникающего в процессе эксплуатации токсичных компонентов ЖРТ и при падении на землю отделяющихся частей ракетносителей (ОЧ РН) с остатками компонентов топлива. Поэтому в настоящее время появилась необходимость в разработке новых высокоэффективных сорбентов, реагентов-детоксикантов и новых технологий для ликвидации и локализации проливов потенциально опасных компонентов ЖРТ.

В работе показано, что малослойные графены (МСГ), образующиеся при деструктивном термическом разложении интеркалированных соединений полифториддиуглерода идеализированного состава $C_2F \cdot xR$, где R – органической или неорганическое вещество, по своим сорбционным свойствам по отношению к ЖРТ значительно превосходят штатные сорбенты. Впервые предложено для кислотно-основной и окислительно-восстановительной детоксикации проливов ЖРТ использование композитов МСГ – реагент-детоксикант, а также для детоксикации проливов НДМГ использование интеркалированных соединений полифториддиуглерода с внедренными окислителями, способными функционировать как реагент-детоксикант и сорбент.

Работа поддержана грантом РНФ № 17-19-01589.

ФИЗИКА ИНТЕРКАЛЯЦИИ H₂ В ГРАФЕНОВЫЕ СТРУКТУРЫНечаев Ю.С.¹, Макотченко В.Г.^{2*}¹ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», ИМиФМ им. Г.В. Курдюмова, г. Москва²ФГБУН «Институт неорганической химии им. А.В. Николаева», г. Новосибирск

*e-mail: mvg@niic.nsc.ru

На основе результатов [1,2] (открытый доступ в Интернете) термодинамического анализа большого массива экспериментальных и теоретических данных рассматриваются термодинамические стимулы и энергетика интеркаляции газообразного молекулярного водорода высокой плотности в поверхностные графеновые наноблистеры в эпитаксиальном графене (Рис. 1) и высокоориентированном пиролитическом графите.

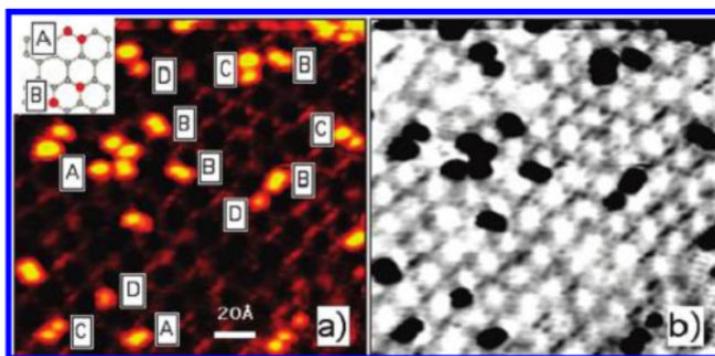


Рис. 1. СТМ изображение гидрированного графена на SiC [Балог и др., 2009].

Рассматривается также физика интеркаляции нанопазы твердого молекулярного водорода высокой плотности в графитовые нановолокна, применительно к проблеме компактного и эффективного хранения водорода [1,2].

Рассматривается также физика экстраординарного проявления эффектов типа эффекта Курдюмова (термоупругое равновесие фаз) и водородного спилловер эффекта при гидрировании углеродных наноматериалов [2].

Данные исследования поддержаны РФФ (проект 17-19-01589).

Библиография

[1] Yu. S. Nechaev, T. Nejat Veziroglu. On the hydrogenation-dehydrogenation of graphene-layer-nanostructures: Relevance to the hydrogen on-board storage problem. // International Journal of Physical Sciences, Vol. 10, Iss. 2 (2015) p.p. 54-89.

[2] Yu. S. Nechaev, T. Nejat Veziroglu. Mechanism and Energetics of the Unique Spillover Effect Manifestation, Relevance to the Efficient Hydrogen Storage in Graphite Nanofibers. // International Journal of Chemistry, Vol. 7, # 2 (2015) p.p. 207-212.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ПЛАЗМЫ SF₆ НА СВОЙСТВА ГРАФЕНА И ОКСИДА ГРАФЕНА

Неустроев Е.П., Ноговицына М.В., Соловьев Б.Д., Куркина И.И.*, Николаев Д.В.

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск

**e-mail: volkiryaly@mail.ru*

Обработанные фтором тонкие пленки графена и оксида графена могут быть использованы при создании прозрачных электродов, подзатворных диэлектриков полевых транзисторов, сенсоров, источников питания. Фторирование в плазме, содержащей фтор, в отличие от химических методов не требует использования высоких температур, длительных обработок и применения токсичных веществ. Для исследований использованы CVD-графен и оксид графена, полученный модифицированным методом Хаммерса, нанесенные в виде пленок на поверхности Si/SiO₂ структур. Обработки проводились в плазме SF₆, возбужденной высокочастотными (13,56 МГц) индукционно-связанным и емкостным генераторами, как при совместном воздействии обоих источников плазмы, так и по отдельности. Время выдержки образцов в плазме составляло от нескольких секунд до десятков минут в диапазоне мощностей от 100 до 350 Вт при скорости подачи газа от 30 до 150 см³/мин. В работе исследованы электрические, оптические и структурные свойства исследуемых материалов в зависимости от условий обработки в плазме. В докладе будет проведено обсуждение полученных результатов.

ПОЛУЧЕНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ПРОДУКТОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДА ГРАФЕНА УЛЬТРАЗВУКОМ ИЛИ ГИДРАЗИНОМ В ЩЕЛОЧНОЙ СРЕДЕ

Никифоров В.Е.¹, Ткаченко Т.Б.¹, Илькевич Л.В.^{2*}, Барнаков Ч.Н.²

¹ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

²Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук

*e-mail: lida1193@mail.ru

Графен — 2D-модификация углерода, образованная слоем толщиной в один атом углерода. Материал обладает высокой прочностью, высокой теплопроводностью и уникальными физико-химическими свойствами. Для широкого использования и применения необходимо получать материал на основе графена приемлемого качества в ощутимых количествах. Одним из наиболее удобных методов синтеза может быть восстановление оксида графена [1].

В работе изучено восстановление оксида графена гидразином в щелочной среде и восстановление в результате обработки ультразвуком в водной щелочи. Полученные продукты восстановления отделяли центрифугированием, сушили и характеризовали комплексом методов физико-химического анализа. Оксид графена (ОГ), необходимый для восстановления, получали при помощи модифицированного метода Хаммерса, согласно приведенной в литературе методике [2], в которой используют вместо азотной кислоты – фосфорную. В качестве прекурсора для синтеза ОГ использовали пенографит, полученный из окисленного графита на основе нитрата графита 3 - ей ступени, который подвергали вспениванию в муфельной печи при температуре 900°C. Пенографит добавляли в смесь концентрированных H₂SO₄ и H₃PO₄, окисление проводили перманганатом калия при 35-40°C. Продукт выделяли при помощи центрифугирования. Для восстановления использовали водные дисперсии ОГ.

1. Елецкий А.В., Искадарова И.М., Книжник А.А., Красиков Д.Н. Графен : методы получения и теплофизические свойства // Успехи физических наук. -2011. –Т. 181, №3. – С. 233-268.
2. Karthikeyan K., Murugan V., Kyusik Yun b. Химический и структурный анализ оксида графена с разными степенями окисления // CARBON.- 53 (2013).- Р. 38 –49.

ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ ПРОЗРАЧНЫХ ПРОВОДЯЩИХ ПЛЕНОК ИЗ CVD-ГРАФЕНА, ПЕРЕНЕСЕННЫХ МЕТОДОМ ЛАМИНИРОВАНИЯ

Тимофеев В.Б., Попов В.И., Николаев Д.В.*, Тимофеева Т.Е., Смагулова С.А.

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова

*e-mail: dv.nikolaev@s-vfu.ru

В работе исследован простой способ переноса графеновой пленки, выращенной на медной фольге из газовой фазы, на полимерную пленку с использованием ламинатора. Качество переноса зависит от температуры ламинирования. Пленки разной толщины и состава требуют подбора оптимального режима ламинирования. Для травления медной фольги применялся раствор хлорного железа и раствор лимонной кислоты в 3% перекиси водорода. Результат травления пленки с медной фольгой в лимонной кислоте показан на *рис. 1*.

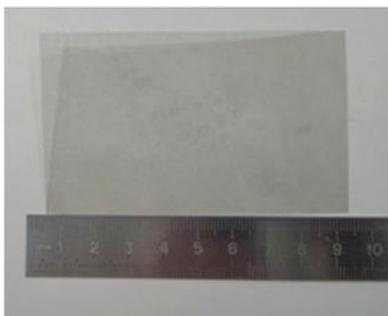


Рис.1. Пленка для ламинирования с перенесенным CVD-графеном.

Для оценки качества переноса был снят спектры КРС, которые показали наличие одного-двух слоев графена, с малым содержанием дефектов. Исследования на РЭМ показали отпечаток доменов медной фольги на графеновой пленке, перенесенной на полимер. В видимой области спектра (400÷700 нм), прозрачность пленки составляет 85-90%. В инфракрасной области спектра прозрачность пленки возрастает.

Электрические параметры прозрачной графеновой пленки, полученной рассмотренным методом, превосходят электрические параметры прозрачных проводящих пленок, полученных из углеродных нанотрубок и графеновых суспензий. Измерения эффекта Холла показали, что поверхностное сопротивление составляет 0,65÷2,88 кОм/□, подвижность – 400÷1160 см²/В·с. Из затворной характеристики изготовленной транзисторной структуры была вычислена подвижность носителей 910 см²/В·с, что соответствует значениям, полученным при измерениях эффекта Холла.

В результате получена прозрачная проводящая пленка графена с улучшенными оптическими и электрическими параметрами по сравнению с прозрачными проводящими пленками из углеродных нанотрубок и графеновых суспензий. Метод переноса с помощью ламинатора прост и может найти широкое применение в оптоэлектронике, в частности, для изготовления сенсорных экранов, а также в создании различных графеновых сенсоров и биосенсоров на основе графеновых двухполюсников и транзисторных структур.

Работа проведена при поддержке гранта РФФИ №15-08-01977.

СИНТЕЗ, ХАРАКТЕРИСТИКА И ПРИМЕНЕНИЕ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ СЕРЕБРЯНЫХ НАНОЧАСТИЦ И ГРАФЕНОВ

Ноговицына М.В., Неустроев Е.П., Куркина И.И.*

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова

**e-mail: ii.kurkina@s-vfu.ru*

Наноккомпозитные материалы, на основе серебряных наночастиц и графеновых материалов обладают рядом уникальных свойств таких, как высокая электро- и теплопроводность, большая удельная площадь поверхности, механическая прочность и низкий уровень шумов. Благодаря таким свойствам, эти материалы представляют интерес в качестве чернил для печати гибкой электроники [1], прозрачных проводящих электродов [2], а также для биологических приложений [3]. Кроме того, за счет чрезвычайной чувствительности к заданным химическим веществам, являются перспективным кандидатом для изготовления газовых сенсоров [4].

В работе исследовано влияние наночастиц серебра на структурные, оптические и электрические свойства графена, выращенного на медной подложке методом химического газофазного осаждения и оксида графена, полученного с использованием метода Хаммерса. Наночастицы серебра получены с помощью цитратного способа.

Для исследований привлечены методы атомно-силовой и электронной микроскопии, энергодисперсионного анализа, спектроскопии комбинационного рассеяния света, оптические и метод вольтамперных характеристик. В докладе будут обсуждаться полученные результаты.

1. W. Zhang, E. Bi, M. Li, L. Gao. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 490, 232 (2016)
2. Y. Yoon, K. Samanta, H. Lee, K. Lee, A.P. Tiwari, J. Lee, J. Yang, H. Lee. Scientific Reports 5: 14177 (2015).
3. S. W. Chook, C. H. Chia, S. Zakaria, M. K. Ayob, K. L. Chee, N. M. Huang, H. M. Neoh, H. N. Lim, R. Jamal, R. M. F. R. A. Rahman. Nanoscale Research Letters, 7, 541 (2012).
4. H. Song, X. Li, P. Cui, S. Guo, W. Liu, X. Wang. Sensors and Actuators B 244, 124-130 (2017).

КВАНТОВАЯ ЯМА НОВОГО ТИПА НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА С РАЗНЫМИ СКОРОСТЯМИ ФЕРМИ

Пех П.Л.*, Силин А.П.

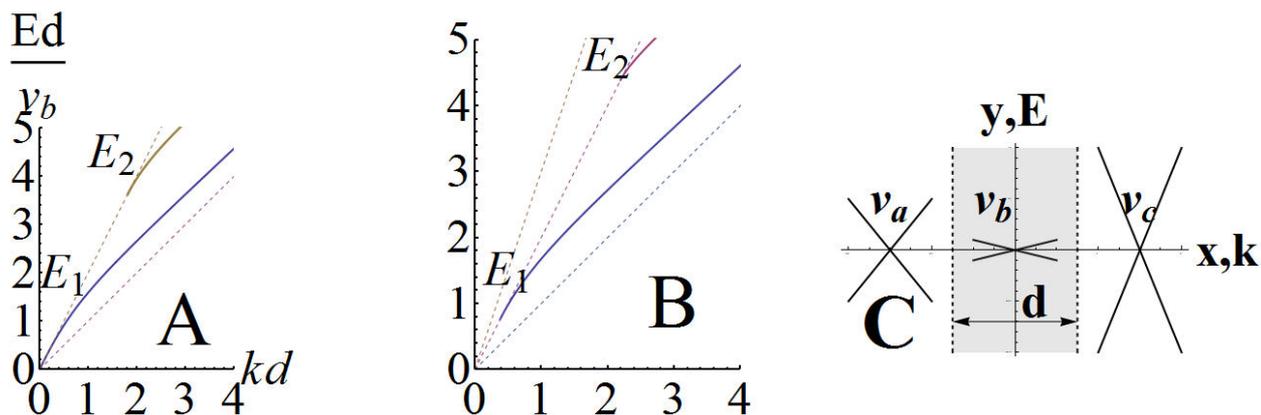
ФИАН им. П.Н. Лебедева

*e-mail: pavel.pekh@phystech.edu

Графен является перспективным материалом для наноэлектроники. Один из способов получения в нем нетривиальных свойств является конструирование гетероструктур на его основе [1]. Предлагается делать планарные гетероструктуры из графена с меняющейся скоростью Ферми [2, 3].

Носители тока в таких системах описываются уравнением Дирака $v \vec{\sigma} \hat{p} \Psi = E \Psi$, но с меняющейся скоростью Ферми $v = \begin{cases} v_a, x < 0, \\ v_b, 0 < x < d, \\ v_c, x > d; \end{cases}$ здесь d ширина

квантовой ямы. Мы будем рассматривать случай $a = v_a/v_b > 1$, $c = v_c/v_b > 1$. Используя граничные условия [2], можно получить энергетический спектр связанных состояний [3] $E(k) = \pm \sqrt{z(k)} v_b k$, где $\cos(2kd\sqrt{z-1}) = \frac{A-B}{C}$, $A = ac - z(a+c) + z^2$, $B = (z-1)\sqrt{a^2 - z\sqrt{c^2 - z}}$, $C = z(a-1)(c-1)$.



Глубина квантовой ямы нового типа растет с ростом продольного импульса k . В симметричной яме основное состояние существует всегда, а в асимметричной только начиная с некоего конечного импульса, определяемого степенью асимметрии. Поэтому подобные структуры можно использовать для фильтрации по импульсам.

[1] П.Б. Сорокин, Л.А. Чернозатонский, УФН **183** 113(2013)

[2] А.К. Obukhova, P.L. Pekh, A.P. Silin, PWP **24** 219(2016)

[3] P.L. Pekh, A.P. Silin, PWP **27** (2017)

НАНОЛИСТЫ ОКСИДА ГРАФИТА И ГЕКСАГОНАЛЬНОГО НИТРИДА БОРА ДОПИРОВАННЫЕ ОКТАЭДРИЧЕСКИМИ КЛАСТЕРНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ МОЛИБДЕНА

Плотникова Е.Е.^{1,2*}, Козлова М.Н.², Шестопалов М.А.²

¹ Новосибирский Государственный Университет

² Институт неорганической химии им. А.В. Николаева

*e-mail: helene281096@gmail.com

В последнее время значительное внимание уделяется получению и исследованию свойств материалов на основе графена и его аналогов. Наиболее близким аналогом графита является гексагональный нитрид бора (h-BN). Благодаря высокой термической и химической стабильности, эти соединения можно использовать в качестве носителей различных оптически-, фото- и каталитически активных частиц. Однако, для более эффективной функционализации носителя необходимо значительно увеличить его удельную поверхность, например, получая наноллисты.

В данной работе получены коллоидные дисперсии наноллистов оксида графита и h-BN в воде и полярных органических растворителях с помощью метода жидкофазного расслоения, успешно применяемого для многих слоистых веществ [1]. Оксид графита был получен по методу Хаммерса. Порошки h-BN предварительно обрабатывали 30% раствором H₂O₂, что приводило к химической функционализации поверхности гидрофильными группами В-ОН [2]. Разработан подход по декорированию поверхности наноллистов оксида графита и h-BN октаэдрическими кластерными комплексами молибдена $[\{Mo_6I_8\}L_6]^n$, где L - легко уходящий лиганд (NO₃⁻, DMSO, др.). Состав, морфология и практически значимые свойства полученных веществ были изучены. На примерах реакций разложения органических красителей при воздействии видимого света была продемонстрирована фотокаталитическая активность полученных материалов.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект 17-03-00140 А).

[1] V. Nicolosi, M. Chhowalla, M. G. Kanatzidis, M. S. Strano, J. N. Coleman, *Science* **2013**, *340*, 1420.

[2] A. S. Nazarov, V. N. Demin, E. D. Grayfer, A. I. Bulavchenko, A. T. Arymbaeva, H. J. Shin, J. Y. Choi, V. E. Fedorov, *Chem-Asian J* **2012**, *7*, 554-560.

НОВЫЙ ПОДХОД К СИНТЕЗУ ГЕРМАНАНА

Полтарак А.А.^{1,2*}, Артемкина С.Б.^{1,2}, Федоров В.Е.^{1,2}

¹Новосибирский государственный университет

²Институт неорганической химии им. А. В. Николаева СО РАН

*e-mail: poltarak.na@gmail.com

Германан (GeH) и его производные (например, GeCH₃, GeCH₂C₆H₅, GeCH₂I) представляют собой слоистые полупроводниковые материалы (рис. 1). Ширина запрещенной зоны в германане составляет 1,53 эВ, а подвижность электронов в пять раз выше, чем в компактном германии [1]. При переходе от GeH к GeCH₃ ширина запрещенной зоны изменяется до 1,69 эВ, и появляется люминесценция. Таким образом, путем модификации GeH на уровне слоев можно изменять физические свойства вещества.

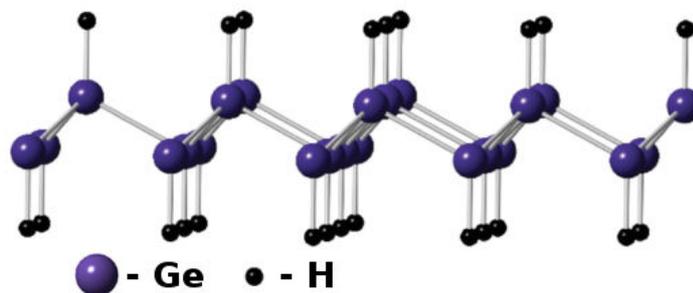


Рис. 1 Структура монослоя GeH

Уже проведены первые исследования по применению германана: изучена фотокаталитическая активность в реакциях образования водорода из воды и разложения «модельного» органического вещества родамина В [2].

Интерес к германану и его производным появился одновременно с интересом к графену, однако не претерпел бурного развития. Отчасти это можно объяснить специфическими требованиями для высокотемпературного синтеза исходной фазы Цинтля CaGe₂. Кроме того, для получения самого GeH с высоким выходом следует выдерживать определенные условия (-40°C, концентрированная соляная кислота).

В данной работе обсуждаются химические подходы к модификации поверхности германиевых слоев и представлена новая методика синтеза GeH в мягких условиях, не требующая низких температур и концентрированных кислот.

1. Bianco, E., Butler, S., Jiang, S., et al. *Acs Nano*, 7.5 (2013): 4414-4421

2. Liu, Z., Lou, Z., Li, Z., et al. *Chem. Comm.*, 50.75 (2014): 11046-11048

ЖИДКОФАЗНАЯ ИНТЕРКАЛЯЦИЯ НАТРИЕМ ТРИСУЛЬФИДОВ ТИТАНА И ЦИРКОНИЯ

Полтарак П.А.^{1,2*}, Артемкина С.Б.^{1,2}, Федоров В.Е.^{1,2}

¹Новосибирский государственный университет

²Институт неорганической химии им. А. В. Николаева СО РАН

*e-mail: poltarak@niic.nsc.ru

Трисульфиды переходных металлов MQ_3 ($M = Ti, Zr, Hf, Nb, Ta$; $Q = S, Se, Te$) относятся к классу слоистых соединений. Они проявляют полупроводниковый или металлический тип проводимости [1], что делает их интересными объектами исследования с целью поиска применения в электронике, фотовольтаике или в качестве электродных материалов в аккумуляторах. Ранее было показано, что трисульфиды титана и циркония могут быть успешно интеркалированы литием при комнатной температуре из раствора бутиллития. Количество атомов лития на формульную единицу MQ_3 может достигать трех [2]. Т.к. литий является достаточно редким элементом, обсуждаются способы его замены на более распространенные щелочные металлы. В данной работе получены натриевые интеркаляты трисульфидов титана и циркония при их взаимодействии с нафталидом натрия в тетрагидрофуране (см. схему), определены составы полученных соединений. Обсуждаются структурные и спектроскопические характеристики полученных натриевых интеркалятов.

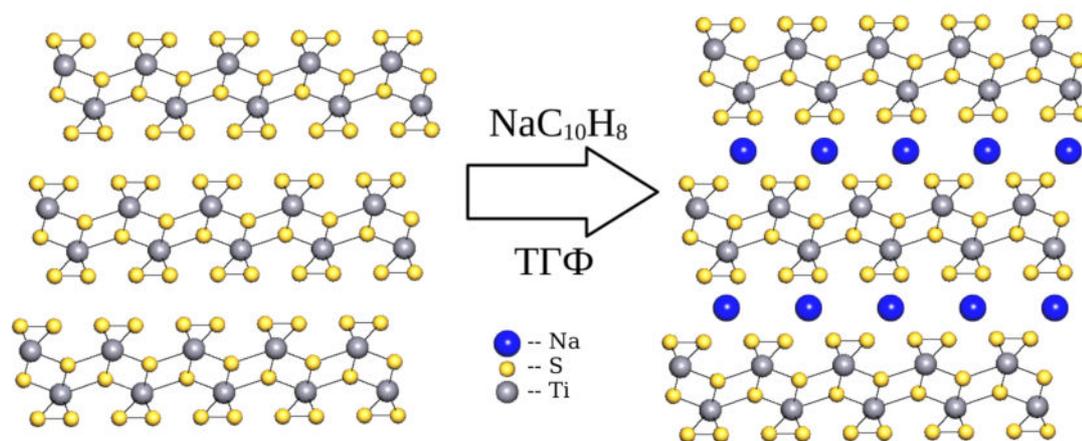


Схема реакции интеркалирования на примере трисульфида титана

Работа поддержана Российским научным фондом (грант РНФ 14-13-00674).

1. Федоров В. Е. Халькогениды переходных тугоплавких металлов. Квазиодномерные соединения. – Наука. Сиб. отд-ние, 1988.
2. Chianelli R. R., Dines M. B. Reaction of butyllithium with transition metal trichalcogenides //Inorganic Chemistry. – 1975. – Т. 14. – №. 10. – С. 2417-2421.

СТРУКТУРА ГРАФЕНОВЫХ ПЛЁНОК В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ CVD-СИНТЕЗА И РАЗМЕРА КРИСТАЛЛИТОВ МЕДНОЙ ФОЛЬГИ

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

ИНХ СО РАН, просп. Акад. Лаврентьева, 3, Новосибирск, 630090

**e-mail: popov@niic.nsc.ru*

Метод каталитического химического осаждения из газовой фазы (CVD) используется для синтеза графена высокого качества с малым количеством структурных дефектов. Основную роль в CVD-синтезе играют свойства подложки и газодинамические параметры синтеза. Для CVD-синтеза графена в качестве материала подложки используют медь, никель, и др. В настоящей работе синтез графена проводился на медной электролитической фольге толщиной 35 мкм. Для уменьшения шероховатости поверхности фольги применялся метод химической полировки. Качество полировки контролировалось методом атомно-силовой микроскопии (АСМ). Размер кристаллитов медной фольги определяет число дефектов графена.

Образцы графена были синтезированы в CVD-реакторе. Отжиг подложек размером до 3 см² проводился в атмосфере водорода, чтобы восстановить оксидный слой на поверхности фольги. Синтез графена происходил в результате термоллиза газовой смеси метана и водорода при пониженном давлении. Температура синтеза графена составляла 950°C и 1050°C. Методом спектроскопии комбинационного рассеяния света определена структура графена в зависимости температуры синтеза. Исследована зависимость размера кристаллитов медной фольги от температуры синтеза с помощью оптической микроскопии и растровой электронной микроскопии (РЭМ). Полученные данные свидетельствуют, что свойства графена сильно зависят от параметров синтеза.

АУКСЕТИЧНОСТЬ УГЛЕРОДНЫХ АЛМАЗОПОДОБНЫХ ФАЗ

Рысаева Л.Х.* , Баимова Ю.А.

Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, г. Уфа

**e-mail: lesya813rys@gmail.com*

В настоящее время во всем мире активно развивается исследование новых углеродных материалов, их свойств и возможностей практического применения. Углеродные алмазоподобные структуры являются перспективными, но мало исследованными углеродными материалами с sp^3 гибридизацией, подобно алмазу, и могут быть реализованы в виде нанопленок и нанопокровов. Несколько типов углеродных наноструктур, перспективных с точки зрения улучшенных механических свойств и прочности, были представлены в работе [1,2], где теоретически описаны алмазоподобные углеродные фазы на основе фуллеренов, углеродных нанотрубок и листов графена. Поиск новых, уникальных свойств таких алмазоподобных структур представляет большой интерес, поскольку предполагается, что они могут представлять новый класс сверхпрочных материалов.

В данной работе методом молекулярной динамики исследованы механические свойства углеродных алмазоподобных фаз и их деформационное поведение, в частности показана их возможность демонстрировать ауксетические свойства (иметь отрицательный коэффициент Пуассона).

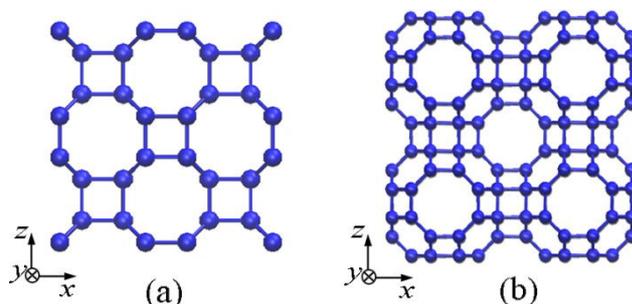


Рис. 1. Углеродные алмазоподобные фазы А3 и А7.

1. В.А. Грешняков, Е.А. Беленков, В.М. Березин. Кристаллическая структура и свойства углеродных алмазоподобных фаз. Издательский центр ЮУрГУ, Челябинск. (2012). 150 с.
2. D. S. Lisovenko, J. A. Baimova, L. Kh. Rysaeva, V. A. Gorodtsov, A. I. Rudskoy, S. V. Dmitriev. *Physica status solidi (b)*. 253(7), 1295 (2016).

КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ПЕРФОРИРОВАННОГО ГРАФИТА И MoS₂, SnS₂ КАК КАТОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ LI-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

Столярова С.Г.^{1*}, Коротеев В. О.^{1,2}, Окотруб А.В.^{1,2}, Булушева Л.Г.^{1,2}

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

²Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск

*e-mail: stolyarova@niic.nsc.ru

Сульфиды металлов и графит являются двумерными слоистыми материалами с ковалентными связями между атомами в слоях и Ван-дер-Ваальсовыми взаимодействиями между слоями. Гибридные структуры на основе слоев MS₂ и графита имеют свойства отличные от свойств индивидуальных компонентов. Они показывают удельные ёмкости, превышающие теоретические значения для каждого отдельного компонента. Для улучшения стабильности работы электродов и меньшей деградации в процессе циклирования сульфиды можно закрепить на углеродном носителе. Перфорированный графит содержит «дырки» порядка 1-2 нм в графеновых плоскостях. Сульфиды олова и молибдена могут образовать ковалентные связи с такими дефектами на краях, что увеличит химическую и механическую стабильность готового композита.

Перфорированный графит был синтезирован частичным восстановлением оксида графита в серной кислоте [1] при 280°C в течение часа. Сульфиды металлов осаждались на носитель двумя разными методами. ПГ, хлорид олова (IV) смешивали с тиомочевинной и винной кислотой в этиленгликоле и нагревали при 200°C в течение 12 часов в автоклаве. Сульфид молибдена (IV) осаждался прикапыванием концентрированной HCl к водно-спиртовой суспензии ПГ и тиомолибдата аммония. Полученный композит MoS₃/ПГ подвергали нагреванию при 400°C и давлении 100 атм в вакууме для разложения сульфида по следующей схеме: MoS₃ → MoS₂ + S↑. Структура и состав композитов были охарактеризованы методами КР-спектроскопии, РЭМ и РФЭС. Из индивидуальных компонентов и композитов были изготовлены электроды и собраны электрохимические элементы. Композиты на основе обоих сульфидов показывают лучшую стабильность и ёмкость при циклировании по сравнению с чистыми сульфидами.

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

[1] Н.Ф. Юданов, А.В. Окотруб, Л.Г. Булушева, И.П. Асанов, Ю.В. Шубин, Л.И. Юданова, Н.И. Алферова, В.В. Соколов, Н.Н. Гаврилов, В.А. Тур «Слоистые соединения на основе перфорированных графенов» Журн. структ. Химии. 2011. Т. 52, №5. С. 932-938.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА ОКСИДА ГРАФЕНА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТУШЕНИЯ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ФЛУОРЕСЦЕНТНО МЕЧЕНЫХ ДНК

Тимофеева Т.Е. *, Александров Г.Н., Кузнецов А.В., Смагулова С.А.

*Северо-Восточный федеральный университет, г. Якутск,
e-mail: titamara2013@mail.ru

Исследование эффективности тушения флуоресценции флуоресцентно меченых ДНК (фмДНК) оксидом графена (ОГ) является актуальным при создании биосенсоров для ДНК-диагностики [1].

В данной работе проведено исследование тушения флуоресценции фмДНК оксидом графена в связи с разработкой быстрых тест-систем для диагностики точечных мутаций человеческого ДНК. Тушение флуоресценции фмДНК проводилось в зависимости от концентрации ОГ и атомного содержания кислорода в ОГ (рис. 1). Обнаружена зависимость эффективности тушения от температурных условий синтеза ОГ. ОГ синтезировался модифицированным методом Хаммерса при температуре перемешивания реакционной смеси 75°C и без нагрева. В полученной водной суспензии толщина наноллистов ОГ составила ~1,2 нм, а латеральные размеры - 0,5 ÷ 1 мкм.

Результаты исследования показывают, что эффективность тушения зависит не только от степени окисления наноллистов оксида графена, но и также от соотношения карбоксильных, эпоксидных, кетонных и гидроксильных групп. Исследование химического состава ОГ методами РФЭС и ИК спектроскопии показывает, что у ОГ, синтезированного при температуре $T=75^{\circ}\text{C}$, содержание карбоксильных групп выше, чем у ОГ, синтезированного при комнатной температуре.

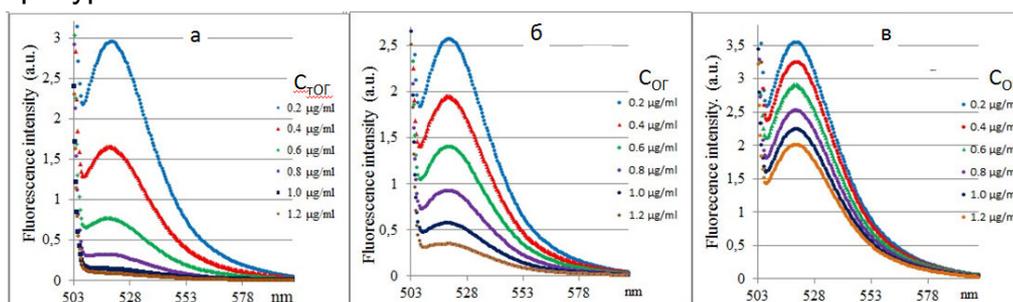


Рис. 1. Тушение флуоресценции фДНК (10 нМ) оксидом графена с разными концентрациями и атомным содержанием кислорода: а – ОГ с содержанием кислорода 40,6%; б – ОГ с содержанием кислорода 41,6%; в – ОГ с содержанием кислорода 45%

Экспериментальные результаты показали, что эффективность тушения повышается с уменьшением атомного содержания кислорода и с понижением содержания эпоксидных, гидроксильных и карбонильных групп относительно карбоксильных.

1. Fana K. et al. How Graphene Oxide Quenches Fluorescence of Rhodamine 6G //Chinese Journal of Chemical Physics. – 2013. – Т. 26. – №. 3. – С. 252-258.

СИНТЕЗ УГЛЕРОДНЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК С НАСТРАИВАЕМОЙ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЕЙ

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

Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова, Якутск

**e-mail: ae.tomskaya@s-vfu.ru*

Химически синтезированный оксид графена (ОГ) обладает люминесцентными свойствами из-за наличия кислородных функциональных групп, которые образуются во время химического расслоения графита [1,2]. Существуют методы модификации структуры ОГ, которые меняют спектр фотолюминесценции и приводят к появлению электролюминесценции, например, в работе [3] авторы связывают появление электролюминесценции с формированием квантовых точек ОГ.

Изменение длины волны излучения ОГ в зависимости от энергии фотовозбуждения имеет большой потенциал для светодиодных люминофоров, так как современные люминофоры могут излучать только конкретную длину волны излучения. Но получение электролюминесценции ОГ вызывает трудности из-за структурных дефектов ОГ на плоскости и по краям, которые мешают эффективному транспорту зарядов.

Актуальным является синтез нового углеродного материала, который бы имел люминесцентные свойства ОГ и при этом обладал бездефектностью. В настоящей работе проведен синтез углеродных квантовых точек (CQDs) методом гидротермальной обработки смеси углеродного прекурсора в водном растворе аммиака. В синтезированной суспензии CQDs сохраняются кислородные группы, которые участвуют в механизме люминесценции ОГ. С помощью специального метода гидротермальной обработки были получены CQDs, латеральный размер которых лежит в диапазоне ~30-100 нм. С уменьшением латерального размера чешуек и при окислении меняются люминесцентные свойства CQDs: полоса излучения сужается и сдвигается в синюю сторону. Спектр фотолюминесценции CQDs зависит от длины волны возбуждения: при увеличении длины волны возбуждения спектр излучения смещается в красную сторону. Проведен анализ роста CQDs при вариации времени обработки, концентрации исходного раствора и температуры для подбора CQDs с оптимальными люминесцентными характеристиками.

1. G. Eda, Y. Y. Lin, C. Mattevi, H. Yamaguchi, H. A. Chen, I. S. Chen, C. W. Chen, M. Chhowalla, *Advanced Materials*, 2010, 22, 505.
2. X. M. Sun, Z. Liu, K. Welsher, J. T. Robinson, A. Goodwin, S. Zaric, H. J. Dai, *Nano Research*, 2008, 1, 203.
3. J.K. Kim, S. Bae, Y. Yi, M. J. Park, S.J. Kim, N. Myoung, C.-L. Lee, B.H. Hong & J.H. Park, *Scientific Reports*, 2015, 5:11032.

ГИБРИДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА И ПОЛИАНИЛИНА ДЛЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ

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

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

²Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, пр. Акад. Лаврентьева 3, Новосибирск 630090 Россия.

*e-mail: fedorovskaya-eo@yandex.ru

Электрохимические конденсаторы, известные как суперконденсаторы, вызывают большой интерес в качестве устройств для накопления энергии из-за их высокой плотности энергии и стабильности при циклировании, чем у твердотельных конденсаторов. Графеновые структуры являются перспективным материалом электродов из-за их высокой электропроводности, химической инертности, физической стабильности, большой площади поверхности и возможности химической модификации. Перспективными кандидатами на роль электродных материалов являются графеновые материалы, которые получают путем модификации оксида графита, фторида графита и интеркалатов графита. Все эти материалы образуют трехмерный каркас, который может быть использован для осаждения электропроводящих полимеров, например, полианилина.

Мы исследовали графеновые материалы, полученные из оксида графита, фторида графита и интеркалата графита с бромом в качестве электродов суперконденсаторов. Полианилин осаждался в процессе химической поликонденсации. Синтезированные образцы были исследованы методами КР-, ИК- РФЭС-спектроскопии. Электрохимические измерения проводились на потенциостате Elins P-30S, работающем в потенциодинамическом режиме. Было показано, что осаждение полианилина на графен приводит к увеличению его удельной емкости и эффективности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 16-33-00441).

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СТРОЕНИЯ И СВОЙСТ ЛЕГИРОВАННЫХ БОРОМ И АЗОТОМ МНОГОСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК И ПОЛИЭДРОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОДУГОВОГО ИСПАРЕНИЯ ГРАФИТА

Федосеева Ю.В.^{1,2}, Седельникова О.В.^{1,2}, Плющ А.О.³, Кужир П.П.³,
Булушева Л.Г.^{1,2}, Окопуб А.В.^{1,2}

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

²Новосибирский государственный университет, Новосибирск

³НИУ Институт ядерных проблем БГУ, Минск, Беларусь

Использование легированных азотом и бором углеродных нанотрубок в качестве добавок позволит направленно изменять диапазон эффективного поглощения электромагнитного излучения и создавать материал с контролируемыми дисперсионными свойствами. В данной работе представлено исследование состава и строения легированных бором и азотом многослойных углеродных наночастиц. Образцы были получены из катодного нароста, образовавшегося в результате испарения графитового электрода и графитового углерода с фракцией бора

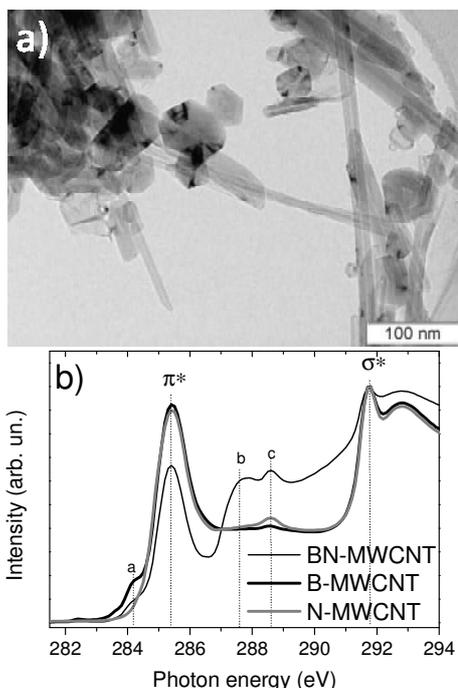


Рисунок. а) ПЭМ-изображение легированных бором углеродных наночастиц, и б) NEXAFS СК-спектры В-, N- и BN-легированных углеродных наночастиц.

в атмосфере гелия и азота. Исследование морфологии наночастиц было проведено методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ). Установлено наличие в образцах многослойных углеродных нанотрубок и полиэдров с высокой степенью упорядочения графитовых слоев. Исследование электронного строения легированных бором и азотом углеродных наночастиц было проведено методами рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии и рентгеновской спектроскопии поглощения (NEXAFS, Near Edge X-ray Absorption Fine Structure). Было выявлено, что стенки многословных нано частиц имеют графитовое строение, а концентрация атомов бора и азота не превышает 4 ат.%, кислорода – 4-8 ат%. В бор- и азотсодержащем образце было выявлено наличие В–С и N–С связей. Использование азота в качестве буферного газа при испарении бор-графитового электрода привело к формированию преимущественно В–N связей, однако около 30% атомов бора образовали связь с атомами углерода.

Было проведено сравнительное исследование проводимости, а также эффективности экранировки электромагнитного излучения фосфатными композиционными материалами с добавкой углеродных и бор-содержащих углеродных многослойных наночастиц.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 17-52-04077). РФЭС и NEXAFS-измерения были выполнены в Берлинском центре материалов и энергии имени Гельмгольца в рамках Российско-Германской лаборатории

ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ БИОСОВМЕСТИМЫХ ПОЛИМЕРОВ И ГРАФЕНА

Холхоев Б.Ч.^{1,2*}, Макотченко В.Г.³, Федоров В.Е.³, Бурдуковский В.Ф.²

¹ Бурятский государственный университет, г. Улан-Удэ

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

³ Институт неорганической химии им. Н.В. Николаева СО РАН, г. Новосибирск

*e-mail: holh_bat@mail.ru

Биосовместимые полимеры – важный класс природных и синтетических высокомолекулярных соединений, которые благодаря своей нетоксичности и биodeградируемости находят широкое применение в биомедицинских приложениях (тканевая инженерия, системы доставки лекарств и др.). Для расширения возможностей практического применения материалов на их основе, например, для использования в нейротрансплантации и биосенсорике, необходимо придание им новых функциональных свойств, что может быть достигнуто введением в полимерную матрицу наноразмерных добавок. С этих позиций, графен представляется одним из наиболее перспективных наполнителей ввиду его высокой механической прочности, электропроводности, биосовместимости. Кроме того, было показано, что графеновые материалы повышают адгезию стволовых клеток, а также стимулируют рост и пролиферацию нейрональных культур. Таким образом, целью настоящей работы являлось создание электропроводящих композитов на основе биосовместимых полимеров и графена.

В качестве прекурсора графена использовался мультислойный графен (МСГ), полученный в режиме термоудара интеркалированных соединений поли(фторид диуглерода). Были установлены условия формирования устойчивых в течение длительного времени графеновых дисперсий в водных и органических средах, в том числе с использованием высокомолекулярных стабилизаторов, например, поливинилпирролидона (ПВП).

Методом полива из раствора с использованием разработанных дисперсий графена и различных биосовместимых полимеров (полилактид, полилактид-со-гликолид, хитозан) получены механически прочные эластичные пленки с различным содержанием наполнителя, электропроводность которых достигает значений 2×10^{-2} См/см.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-33-60155 мол_a_дк.

СИНТЕЗ И ДИЗАЙН ГИБРИДНЫХ НАНОЧАСТИЦ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА

Трусова Е.А.¹, Чипкин П.И.^{1,2*}, Коцарева К.В.¹, Кириченко А.Н.³

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН

²Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов»

³Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Технологический институт сверхтвёрдых и новых углеродных материалов

*e-mail: kafaewow@gmail.com

Гибридные наноматериалы на основе графена представляют большой интерес для разработчиков и исследователей новых материалов для широкого круга технологий в катализе, при создании сенсоров и медико-биологических препаратов [1]. В ИМЕТ РАН разработан способ получения гибридных наночастиц на основе графена и оксидов Al, Ce, Co, Mo, Ni, W, Zr с размерами до 80 нм. Он сочетает в себе золь-гель синтез металл-оксидных наноструктур и ультразвуковую эксфолиацию графеновых листов с поверхности синтетического графита. Для стабилизации золь и суспензии графена использован N,N-диметилоктиламин. Установлено, что при формировании кристаллитов оксидов металлов из золь графеновые чешуйки играют роль темплата, а в последующем процессе самосборки их роль заключается в текстурировании гибридных наночастиц (Рис. 1).

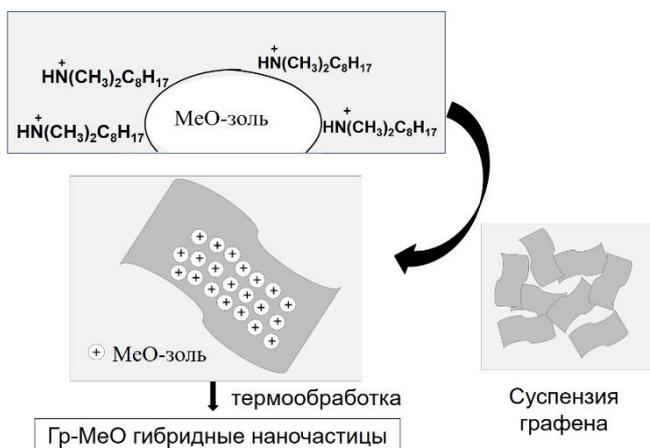


Рис. 1. Схема формирования гибридных наночастиц.

17-02-00759а.

Литература:

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

Работа поддержана РФФИ, грант №

СИНТЕЗ ГРАФИТОВЫХ СЛОЕВ НА ПОВЕРХНОСТИ САПФИРА ПРИ ПИРОЛИЗЕ ЭТАНОЛА

Шиверский А.В.^{1,2*}, Симунин М.М.^{1,2}, Солодовниченко В.С.², Лебедев Д.В.², Воронин А.С.¹, Фадеев Ю.В.¹, Хартов С.В.^{1,2}, Рыжков И.И.²

¹ФИЦ КНЦ СО РАН, Академгородок, 50, Красноярск, 660036

²ФИЦ ИВМ СО РАН, Академгородок, 50–44, Красноярск, 660036

*e-mail: shiverskii@mail.ru

Графен является ярким представителем углеродных структур в силу своих уникальных свойств. В ближайшем будущем ему отводится основная роль в процессах микро и наноэлектроники [1]. Развито много методик получения низкодефектных слоев графена с большим размером кластера [2]. В большинстве работ используется метод химического осаждения углерода из газовой фазы (CVD). В качестве подложек используются каталитически активные металлы [3]. Важный недостаток этого подхода – трудность снятия слоя графена с подложки, что затрудняет его использование в микроэлектронной технике.

В данной работе рассмотрен CVD процесс получения графитовых слоев на диэлектрической подложке, позволяющий в дальнейшем использовать их в изготовлении элементов микроэлектроники без снятия с носителя. В качестве подложки предлагается сапфир – один из базовых материалов микроэлектроники. Использовались подложки с ориентацией (0001). Источником углерода выступает этанол. Этанол является более безопасным, чем традиционные источники углерода (метан и ацетилен), при этом его себестоимость значительно ниже.

В работе была получена линейка образцов с различными параметрами синтеза при температурах от 900 до 1200°C. Показаны временные и температурные зависимости. Проведен анализ средствами электронной микроскопии, атомно- силовой микроскопии и спектроскопии комбинационного рассеяния света.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 15–19–10017. Физико–химический анализ материалов выполнен в ЦКП ФИЦ КНЦ СО РАН.

1. C. R. Dean, A. F. Young, I. Meric, C. Lee, L. Wang, S. Sorgenfrei, K. Watanabe, T. Taniguchi, P. Kim, K. L. Shepard and J. Hone, Nat. Nanotechnol., 2010, 5, 722.

2. X. Li, C. W. Magnuson, A. Venugopal, R. M. Tromp, J. B. Hannon, E. M. Vogel, L. Colombo and R. S. Ruoff, J. Am. Chem. Soc., 2011, 133, 2816.

3. L. Gao, J. R. Guest and N. P. Guisinger, Nano Lett., 2010, 10, 3512.

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГИБРИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУР И ПОЛИПИРРОЛА

Юрченкова А.А.^{1*}, Попов К.М.², Федоровская Е.О.^{1,2}, Булушева Л.Г.^{1,2},
Окотруб А.В.^{1,2}

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

²Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, пр. Акад. Лаврентьева 3, Новосибирск 630090 Россия.

*e-mail: anna.yurchenkova@yandex.ru

Полипиррол – электропроводящий полимер, способный накапливать большое количество энергии при подаче потенциала за счет протекания электрохимических процессов. Его недостатки – низкая проводимость и стабильность, что уменьшает его эффективность для суперконденсаторов. Углеродные наноструктуры, такие как графен и нанотрубки, обладают высокой проводимостью, стабильностью, химической инертностью и физической устойчивостью. Создание гибридных материалов на основе полипиррола и углеродных наноструктур позволяет получить материалы с высокой электрической емкостью и стабильностью при циклировании.

Мы исследовали графеновые материалы, полученные из оксида графита, и многослойные углеродные нанотрубки, синтезированные CCVD-методом. Полипиррол осаждался в процессе химической и электрохимической поликонденсации. Синтезированные образцы были исследованы методами КР- и ИК-спектроскопии. Электрохимические измерения проводились на потенциостате Elins P-30S, работающем в потенциодинамическом режиме. Было показано, что осаждение полипиррола на углеродные наноструктуры приводит к увеличению его удельной емкости и эффективности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (проект 11.7873.2017/8.9).

2D ГРАФЕНОВЫЕ НАПЕЧАТАННЫЕ ПРОВОДЯЩИЕ СЛОИ С ВЫСОКОЙ ПОДВИЖНОСТЬЮ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА

Якимчук Е. А.*, Соотс Р. А., Котин И. А., Антонова И. В.

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова, Россия

**e-mail: eayakimchuk@isp.nsc.ru*

Печатная электроника представляет собой набор методов печати, используемых для создания электрических устройств на различных подложках. Электрически функциональные электронные или оптические чернила осаждают на подложку, создавая активные или пассивные устройства.

Ожидается что Графен будет играть важную роль в данной области, так как его оптические и механические свойства являются идеальными для микро- и наномеханических систем, тонкопленочных транзисторов, прозрачных и проводящих композиционных материалов, и электродов, и фотоники.

Расслоение графита в жидкой фазе (LPE) позволяет получать чешуйки графена толщиной до одного слоя. В большинстве работ реализовано расслоение графита только в органических растворителях с добавлением стабилизирующих органических агентов, уменьшающих изначальные электронные свойства графена.

Одним из важных параметров проводящих пленок для электроники (в том числе печатной электроники) является подвижность носителей заряда пленки. Максимальное значение подвижности носителей в печатных слоях составляет 92 - 95 см²/Вс [1]. В настоящем исследовании мы не только нашли перспективный подход к созданию суспензий графена на водной основе для печатных технологий, но и сравнили параметры пленок, образованных из широкого спектра суспензий. Это позволило найти зависимость основного параметра - подвижность носителей заряда в печатных слоях от характерных размеров чешуек графена. Из этого следует что даже при формировании сравнительно толстых слоев (20 - 40 нм) толщина чешуйки должны быть 1 - 2 монослоя, чтобы обеспечить высокую подвижность носителей заряда в непечатных слоях за счет обеспечения надежного соединения между чешуек.

Это исследование было частично финансирован за счет Российского Научного Фонда (грант № 15-12-00008).

[1] Capasso, A., et al. *Ink-jet printing of graphene for flexible electronics: An environmentally friendly approach*. Solid State Communications 224, 53-63, (2015):

ЭЛЕКТРОННОЕ СТРОЕНИЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА СЛОИСТЫХ ДИХАЛЬКОГЕНИДОВ ХРОМА-МЕДИ, ДОПИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗОМ

Перегудова Н.Н.¹, Лаврухина С.А.¹, Мазалов Л.Н.¹, Диков Ю.П.², Соколов В.В.¹, Федоренко А.Д.¹

¹ИНХ СО РАН, Новосибирск

²ИГЕМ РАН, Москва

В настоящее время внимание исследователей привлекает соединения на основе слоистых дихалькогенидов переходных металлов. MeX_2 ($X=S, Se, Te$; $M=Ti, Cr, Mn, Nb$). Базисная атомная структура этих веществ образуется из последовательности тройных слоев $X-M-X$, между которыми существуют тетраэдрические пустоты, в которые можно вводить дополнительные атомы и создавать интеркаляционную структуры. В процессе интеркаляции можно получить последовательности магнитных и немагнитных, диэлектрических и металлических, а также сверхпроводящих слоев.

В данной работе проведено изучение взаимосвязи особенностей электронного строения катион-замещенных дисульфидов хрома-меди $CuCr_{1-x}Fe_xS_2$ ($x=0,05...0,4$) с их магнитными свойствами на основании проведенных рентгеноэлектронных и рентгеноспектральных исследований и квантово-химических расчетов.

С этой целью в рассматриваемом ряду замещенных твердых растворов получены рентгеновские фотоэлектронные $Cu2p_{3/2,1/2}$, $Cr2p_{3/2,1/2}$, $S2p_{3/2,1/2}$, $Fe2p_{3/2,1/2}$ спектры и рентгеновские эмиссионные $CuL_{\alpha,\beta}$, $CrL_{\alpha,\beta}$, $FeL_{\alpha,\beta}$, $SK_{\alpha,\beta}$ спектры, дающие информацию о зарядовом состоянии атомов, входящих в состав изучаемых соединений.

Изучен характер распределения спиновой и электронной плотности на атомах интеркалированных дисульфидов с использованием рентгеновских фотоэлектронных $3s$ спектров металлов (Cu, Cr, Fe).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект №16-32-00612 мол_а.

АДСОРБЦИЯ ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ФОЛАТ-АНИОНА И НЕКОТОРЫХ КРАСИТЕЛЕЙ НА НАНОАЛМАЗЕ

Вострецова Е.Н., Скорик Н.А.

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск

**e-mail: voka.96@mail.ru*

В настоящее время происходит внедрение нанотехнологий в такие области, как биология, медицина. Поэтому большой интерес вызывает ультрадисперсный nanoалмаз (УДА), особенно, в качестве адсорбента для получения ассоциатов нетоксичного УДА с биологически активными веществами, например, фолиевой кислотой (H_2Fol); для очистки биологических жидкостей от ценных компонентов; для очистки жидкостей от красителей. Описаны ассоциаты фолата натрия с частицами золота [1], H_2Fol с наночастицами серебра [2], фолатсодержащие липоконъюгаты, предназначенные для включения в липосомальные системы доставки лекарственных средств к опухолевым клеткам.

В работе на nanoалмазе марки УДА-СП в статических условиях исследована адсорбция синтезированной, растворимой соли фолата лития $Li_2Fol \cdot 5H_2O$ (рН ~6.6) в интервале начальных концентраций соли $2.5 \cdot 10^{-3}$ – $2.2 \cdot 10^{-2}$ моль/л. Равновесные концентрации фолат-иона в адсорбате определены фотометрически ($\lambda_{эф} = 490$ нм), лития – методом пламенной фотометрии. Из данных изотермы адсорбции типа Лэнгмюра найдена величина предельной сорбции фолат-иона на УДА–СП, проведено сравнение с адсорбцией на других адсорбентах. Адсорбция фолата лития на УДА из раствора возможна за счет ван-дер-ваальсовых взаимодействий между функциональными группами фолата ($-O-H$, $=C=O$, $=N-H$) с поверхностью nanoалмаза, а также за счет электростатических взаимодействий между заряженной поверхностью алмаза и ионами соли. Наличие определенного заряда на поверхности УДА в зависимости от рН раствора подтверждается рН-потенциометрически (понижение рН водной суспензии nanoалмаза), измерением дзета-потенциала суспензий, изучением адсорбции красителей малахитового зеленого (анионный краситель) и метиленового голубого (катионный краситель).

Литература

1. Милевич И.А., Воробьева С.А., Лесникович А.И. // Вест. БГУ. Сер. 2. 2011. № 1. С. 30.
2. Абакшонок А.В., Еремин А.Н., Агабеков В.Е. и др. // Росс. биотерапевтический журнал. 2013. Т. 12. № 2. С. 2.

ПОЛУЧЕНИЕ КАРБОКСИЛИРОВАННОГО ГРАФЕНА ПУТЕМ ФОТОХИМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПЛЕНОК ОКСИДА ГРАФЕНА В ИНЕРТНОЙ АТМОСФЕРЕ

Рабчинский М.К.^{1*}, Дидейкин А.Т.¹, Шнитов В.В.¹, Байдакова М.В.^{1,2}, Кириленко Д.А.^{1,2}, Брунков П.Н.^{1,2}

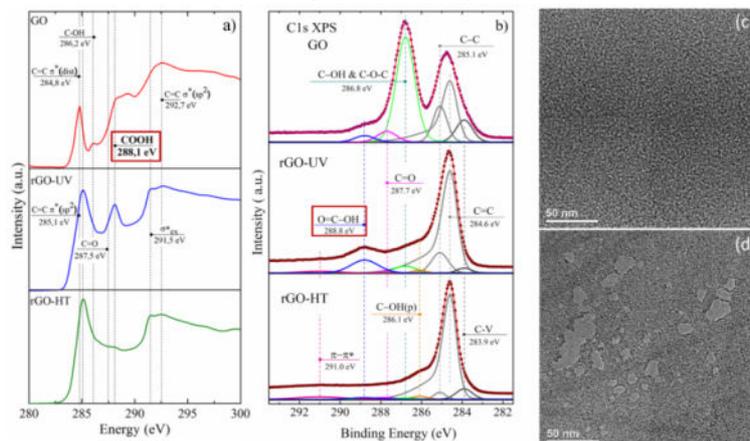
¹ ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия

² Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

*e-mail: Rabchinskii@mail.ioffe.ru

Фотовосстановление пленок оксида графена (ОГ) является простым и эффективным подходом для получения покрытий на основе графена при отсутствии значительного воздействия на подложку и возможностью последующей интеграции данного метода в существующие технологии производства оптоэлектронных устройств. Кроме того, одной из особенностей данного метода также является возможность варьирования химического состава и структурных особенностей получаемых пленок графена путем изменения длины волны излучения и химического состава атмосферы [1,2].

В данной работе впервые продемонстрирована возможность одновременной структурной и химической модификации получаемых пленок оксида графена в ходе фотовосстановления в инертной атмосфере. Нами показано, что в зависимости от параметров применяемого УФ излучения процесс фотовосстановления может приводить к одновременному удалению поверхностных функциональных групп и увеличению количества карбоксильных групп, формирующихся на краях образующихся отверстий с размерами порядка нескольких десятков нанометров. На основе полученных результатов также предложена модель, объясняющая наблюдаемый процесс модификации и основанная на протекании фотоиндуцированных реакций между графеновым листом и кислородными группами [3]. Как результат, пленки карбоксилированного графена, характеризующиеся высокой проводимостью и наличием большого количества химически-активных карбоксильных групп, могут быть получены на основе представленного метода с возможностью их последующего эффективного использования в различных приложениях.



Представленная работа подержана Российским Фондом Фундаментальных Исследований (проект 15-02-05153)

Список литературы:

1. Zhang, Y.-L.; Guo, L.; Xia, H. et al. Adv. Opt. Mater. 2014, 2, 10–28.
2. Aleksenskii, A.E.; Vul', S.P.; Dideikin, A.T. et al. Nanosyst.: Phys., Chem., Math. 2016, 7, 81–86.
3. Rabchinskii, M.K.; Shnitov, V.V.; Dideikin et al. J. Phys. Chem. C 2016, 120, 28261–28269

9 АВГУСТА

БИСЛОЙНЫЕ ГРАФЕНОПОДОБНЫЕ НАНОСТРУКТУРЫ: РЕАЛЬНОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Чернозатонский Л.А.*, Артюх А.А., Демин В.А., Квашнин Д.Г.

ИБХФ РАН, Косыгина ул. 4, 119334, Москва,

*e-mail: cherno@sky.chph.ras.ru

Слой графена обладает уникальными свойствами, такими как высокие теплопроводность, подвижность носителей заряда, механическая жесткость. Однако, он имеет и недостаток, который затрудняет его применение в нанoeлектронике – отсутствие запрещенной зоны. Существует несколько возможностей получить запрещенную зону в полностью углеродном материале, который основан на графене. Создание периодически расположенных отверстий с определенным диаметром и расстоянием между ними приводит к появлению запрещенной зоны до 0.8 эВ [1]. Такие графеновые наносетки в настоящее время экспериментально реализовались различными методами. Другая возможность – слои дихалькогенидов [2] и двуслойный графен с замкнутыми отверстиями [3-5].

В докладе будут освещены последние достижения в исследованиях на основе графен-нитрид бора би-слоя [6, 7] и двуслойного графена с различными муаровыми структурами [5,8], а также бислойные структуры из MX_2 ($\text{M}=\text{Mo}$, W ; $\text{X}=\text{S}$, Se) [9].

1. Введение. Двумерные графеноподобные слои – структуры и свойства.

2. Структуры из графен-нитрид бора и биграфена с различными формами и размерами sp^2 - замкнутых отверстий.

3. Электронные, оптические, транспортные и механические свойства бислойных наносеток и нанолент с подобными замкнутыми отверстиями.

4. Структуры из MX_2 ($\text{M}=\text{Mo}$, W ; $\text{X}=\text{S}$, Se) в виде нанолент, расположенных на сплошном слое (Электронные свойства различных конфигураций структур).

5. Методы изготовления перечисленных выше структур (создание наносеток с помощью электронного луча и каталитических наночастиц [10,11], методами нанолитографии [2,11,12].

6. Перспективы использования перечисленных би-слоевых структур в элементах нанoeлектроники, оптики и фотоэлектроники (сенсоры, транзисторы, фильтры, опто-электронные устройства).

Работа поддержана грантами РФФИ и РФФИ.

1. Dvorak, M.; Oswald, W.; Wu, Z. *Sci. Reports* 3, 2289-2295 (2013).
2. Чернозатонский Л.А., Артюх А.А., УФН 187 (принято к печати 2017).
3. Чернозатонский Л.А., Артюх А.А., Демин В.А. *Письма в ЖЭТФ* 99, 353 (2014);
4. D. G. Kvashnin, P. Vancsó, L. Yu. Antipina, G. I. Márk, L. P. Biró, P. B. Sorokin and L. A. Chernozatonskii, *Nano Research* 8, 1250 (2015).
5. L. A. Chernozatonskii, V. A. Demin, F. Lambin, *Phys.Chem.Chem.Phys.* 18, 27432 (2016)
6. Л.А. Чернозатонский, В.А. Демин, А.А. Артюх, *Письма в ЖЭТФ* 104,38 (2016)
7. D. G. Kvashnin, L. A. Chernozatonskii, (*Appl.Phys.Lett.* in press 2017)
8. L. A. Chernozatonskii1, V. A. Demin, S. Bellucci, *Sci. Reports* 6, 38029 (2016)
9. L. A. Chernozatonskii, A.A.Artyukh, V. A. Demin, (*J.Chem.Phys.*in press 2017)
10. He K. et al. *Nanoscale* 7, 11602 (2015).
11. Kazemi A. et al. *Sci. Reports* 5, 11463 (2015).
12. Wu J-B et.al. *Adv. Optical Mater.* 4 756 (2016)

УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ – НОВЫЕ ВЫЗОВЫ

Предтеченский М.Р.

OCSiAl, Новосибирск

Материалы будут представлены во время устного сообщения.

НЕОМИЧЕСКАЯ ПРОВОДИМОСТЬ ЧАСТИЧНО
ВОССТАНОВЛЕННОГО ОКСИДА ГРАФЕНА

Бочаров Г.С., Елецкий А.В.

Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва

Материалы будут представлены во время устного сообщения.

НАНОКОМПОЗИТЫ С ГРАФЕНОПОДОБНЫМИ ЧАСТИЦАМИ, ВСТРОЕННЫМИ В ПОРИСТУЮ УГЛЕРОДНУЮ МАТРИЦУ

Кряжев Ю.Г.^{1,3*}, Мельников В.П.³, Аникеева И.В.¹, Тренихин М.В.^{1,3},
Лихолобов В.А.^{1,3}

¹ *Институт проблем переработки углеводородов Сибирского отделения РАН*

² *Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН*

³ *Омский научный центр Сибирского отделения РАН*

*e-mail: kriaghev@ihcp.ru

Для встраивания в аморфную углеродную матрицу наноразмерных частиц восстановленного оксида графита (ВОГ) использован принцип низкотемпературного формирования углеродных структур за счет межцепной конденсации реакционноспособных полимеров с системой сопряжения - поливиниленов, которые образуются при дегидрохлорировании карбоцепных хлорполимеров, таких как поливинилхлорид (ПВХ). В раствор хлорполимера в органическом растворителе последовательно вводили ВОГ (в виде дисперсии, стабилизированной ультразвуковой обработкой), и щелочь, необходимую для дегидрохлорирования полимера. Выделенную из реакционной смеси композицию ВОГ-поливинилен подвергали карбонизации при 400°C и активации в среде CO₂ при 900°C. Получены образцы высокопористых материалов (удельная поверхность по BET более 1700 м²/г) с развитым объемом как микро-, так и мезопор. Согласно результатам электрохимических исследований, такие материалы благодаря высокой емкости (100 - 200 Ф/г) и большому КПД перспективны для использования в суперконденсаторах [1].

Согласно данным просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) высокого разрешения, при синтезе ВОГ «взрывным» восстановлением оксида графита при 700-750°C происходит восстановление и расслоение оксида графита с образованием графеноподобного материала, состоящего из слабо связанных «скомканных» малослойных частиц. В полученных нанокompозитах такие структуры равномерно распределены в объеме пористой углеродной матрицы.

Рассмотрено влияние условий синтеза нанокompозитов на параметры их пористой структуры и адсорбционные свойства.

Литература

1. Кряжев Ю.Г., Вольфович Ю.М., Мельников В.П., Рычагов А.Ю. и др. // Физикохимия поверхности и защита материалов, 2017, том 53, № 3, с. 1–4.

TRANSPORT PROPERTIES OF BILAYER GRAPHENE IN EXTERNAL ELECTRIC AND MAGNETIC FIELDS WITH BROKEN SYMMETRY STATES

A.A. Reshetnyak¹, B.R. Mischuk²

¹Institute of Strength Physics and Materials Science SB RAS, 2/4, pr. Akademicheskii, Tomsk, 634021

²Tomsk State Pedagogical University, 75 pr. Komsomolskii, Tomsk, 634041

The results of a theoretical study of an influence of different kinds of the ground state energy gaps depending on spin $s = \pm \hbar/2$ and valley ξ at the Dirac K ($\xi=1$) and K' ($\xi=-1$) points in the quasiparticle spectrum on longitudinal and Hall optical conductivities of graphene AA- and AB-bilayers with help of quantum electrodynamic approach in (2+1)-dimensional space-time are presented.

The exact analytical expressions for optical conductivities in electric (leading to the gap of order 5-20 meV) and magnetic fields (3-10 Tesla) are derived with use of the 4-band microscopic U(1) -gauge-invariant Dirac-type Hamiltonian

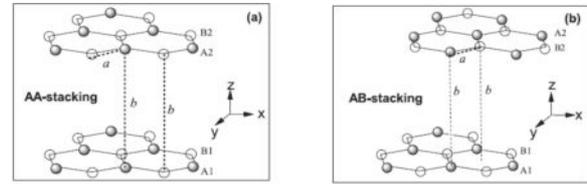


Fig. AA- and AB-bilayer graphene

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

(different for AA and AB-stacking) is linear with respect to covariant derivatives which include magnetic field potential perpendicular to bilayer sheets is suggested. The resulting conductivities are derived using the Kubo formula and take into account the dependence on temperature and chemical potential. The limiting cases for the direct current conductivities are analyzed and the relations among the Hall conductivities and Faraday and Kerr angles for the systems, including “AB(AA)-bilayer-substrate” are found. The results predicted some regimes of ground states with broken symmetry realization under external fields control being useful for nano and microoptoelectronic devices on a base of graphene. The heat transport properties are considered as well.

REFERENCES

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

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОВОДИМОСТЬ И СЕНСОРНЫЕ СВОЙСТВА ФУНКЦИАЛИЗИРОВАННОГО ГРАФЕНА

Сысоев В.И.^{1*}, Окотруб А.В.^{1,2}, Колесник-Грей М.³, Крстич В.³, Булушева Л.Г.^{1,2}.

¹*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Проспект Академика Лаврентьева, 3, 630090, Новосибирск*

²*Новосибирский государственный университет, ул. Пирогова, 2, 630090, Новосибирск*

³*Университет Фридриха-Александра, Штаудтштрассе, 7, 91058, Эрланген, Германия*

*e-mail: sysoev@niic.nsc.ru

Взаимодействие графена с молекулами в газовой фазе существенно усиливается посредством присоединения функциональных групп к его поверхности. С одной стороны, ковалентная модификация позволяет регулировать электронные свойства и проводимость графена в широком диапазоне, с другой стороны, функциональные группы играют роль специфичных адсорбционных мест при адсорбции молекул, что влияет на реакционную способность материала. В зависимости от природы функциональных групп, энергия взаимодействия между адсорбированной молекулой и графеном и перенос заряда в данной системе может сильно варьировать. Это открывает возможность получать новые материалы, обладающие улучшенной чувствительностью и быстрыми адсорбционно-десорбционными процессами. Теоретические и практические аспекты взаимодействия молекул с поверхностью модифицированного графена и его функциональными группами позволят понять механизм и силу взаимодействия между молекулами и материалом, что поможет при создании новых материалов с улучшенными сенсорными свойствами.

В настоящей работе, было исследовано взаимосвязь функционального состава получаемого материала с электрофизическими свойствами и сенсорными характеристиками материала. Результаты показывают, что высокое покрытие поверхности графена функциональными группами приводит к существенному увеличению отклика системы за счет р-допирования графеновой структуры и быстрой регенерации, которая обеспечивается за счет взаимодействия с аналит-функциональная группа. Кроме того, природа функциональных групп позволяет контролировать как перенос заряда в системе, так и скорости адсорбции и десорбции.

ФОТОФИЗИЧЕСКИЕ И ФОТОХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СВЕРХКОРОТКОГО ОПТИЧЕСКОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ

Бобринецкий И.И.*, Емельянов А.В.

*Национальный исследовательский университет "Московский институт электронной техники", 124498 Москва, Зеленоград, пл. Шокина, дом 1
e-mail: bobrinet@gmail.com

Углеродные наноматериалы, в том числе графен, оксид графена и углеродные нанотрубки (УНТ), являются одними из наиболее перспективных для применения в современной наноэлектронике. Взаимодействие сверхкоротких лазерных импульсов с углеродной решёткой открывает возможности для создания новых устройств оптоэлектроники и фотовольтаики за счёт химического и физического взаимодействия импульсного излучения с углеродным остовом. В данной работе приведены последние результаты, полученные авторами, в области модификации углеродных наноматериалов (сеток однослойных углеродных нанотрубок, графена, пленок оксида графена) сверхкоротким оптическим лазерным излучением.

УНТ и графен были выращены методом CVD, перенесены на подложки Si/SiO₂. Оксид графена был получен по модифицированному методу Хаммерса и перенесён на полимерную подложку полиэтилентерефталат. Для обработки материалов использовались два лазера с длиной волны 515 нм: фемтосекундный (280 фс) и пикосекундный (30 пс) с максимальной мощностью импульса 20 и 15 мкДж соответственно. Полученные структуры исследовались методами спектроскопии комбинационного рассеяния света, атомно-силовой и электронной микроскопии, а также рентгеновской спектроскопии.

Были исследованы нелинейные эффекты во взаимодействии сверхкоротких лазерных импульсов и углеродной решетки, такие как селективная абляция материала, локальное окисление графена и фотохимическое восстановление оксида графена, функционализация УНТ. Было показано наличие существенного фотоотклика у транзисторных структур как на основе графена, так и на основе УНТ после их модификации лазерным излучением. Полученные результаты не только объясняют процессы, происходящие во время модификации углеродных наноматериалов сверхкороткими лазерными импульсами, но также показывают возможность создания и модификации новых элементов электроники с использованием метода прямого лазерного паттернирования.

ПОЛУЧЕНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ДОПИРОВАННОГО АЗОТОМ ОКСИДА ГРАФЕНА

Илькевич Л.В.^{1*}, Ткаченко Т.Б.², Барнаков Ч.Н.¹

¹*Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук*

²*ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»*

**e-mail: lida1193@mail.ru*

Графен — углеродный материал, который представляет значительный научный и практический интерес, благодаря его уникальным физико-химическим свойствам, высокой прочности, высокой теплопроводности. Часто графен получают химическим восстановлением оксида графена (ОГ). Более экологически чистым и перспективным может быть допирование азотом оксида графена с образованием N-допированного восстановленного ОГ (N-вОГ), которое проводят в присутствии аммиака при гидротермальном восстановлении [1]. Допирование азотом рассматривается как эффективный метод модификации свойств углеродных материалов.

Нами изучена возможность допирования азотом оксида графена в щелочной среде в присутствии мочевины под действием ультразвука (УЗ). Полученный продукт N-вОГ отделяли центрифугированием, сушили и характеризовали комплексом методов физико-химического анализа. Оксид графена (ОГ), необходимый для исследований, получали при помощи модифицированного метода Хаммерса [2]. В качестве прекурсора для синтеза ОГ использовали пенографит, полученный из окисленного графита на основе нитрата графита 3 - ей ступени, который подвергали вспениванию в муфельной печи при температуре 900°C. Окисление проводили перманганатом калия при 35-40°C в смеси концентрированных H₂SO₄ и H₃PO₄.

1. Khosro Zangeneh Kamali, Amir Moradi Golsheikh. Green and facile approach to synthesis of well-dispersed nitrogen-doped graphene without using surfactant or stabilizer with potential application for oxygen reduction reaction - *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*/ (2016). - P. 574-582.

2. Karthikeyan K., Murugan V., Kyusik Yun b. Химический и структурный анализ оксида графена с разными степенями окисления.- *CARBON*.- 53 (2013).- P. 38 –49.

СРАВНЕНИЕ МЕТОДИК ПЕРЕНОСА CVD ГРАФЕНА С МЕДНОЙ ПОДЛОЖКИ НА ПОЛИМЕРЫ ПЭТ/ЭВА И ПММА

Костогруд И.А.^{1*}, Бойко Е.В.^{1,2}, Смовж Д.В.¹

¹*Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН*

²*Новосибирский Государственный Университет*

**e-mail: ikostogrud@gmail.com*

В настоящее время для создания прозрачных электродов используют оксид индия-олова (ITO). Высокая проводимость и прозрачность графена, делает его перспективным кандидатом для замены ITO электродов. Особенно интересно применение графена для создания гибких прозрачных проводников. Для получения пленок графена большой площади наиболее перспективно использовать метод химического газофазного осаждения (CVD) на меди. Для изучения и использования свойств графена необходимо перенести его на непроводящую прозрачную подложку. Подходящими кандидатами на роль подложки для графена в применении к прозрачным проводникам являются различные полимеры. Они могут совмещать в себе такие свойства как гибкость и высокая прозрачность в видимом спектре излучения.

В данной работе для несколькослойного графена (3-5 слоев), выращенного методом CVD на меди [1], представлено сравнение методик переноса на полимеры полиметилметакрилат (ПММА) и полиэтилентерефталат/этиленвинилацетат (ПЭТ/ЭВА). Для нанесения ПММА полимера использовали метод спинкоутинга, а для ПЭТ/ЭВА использовали метод горячего прессования. Рассмотрены два варианта удаления меди: с помощью механического отщепления и химического травления. Исследовалось влияние методик переноса на электрическое сопротивление графена. При горячем прессовании ПЭТ/ЭВА полимера с графеном, происходит деформация графена из-за разных коэффициентов термического расширения, это приводит к увеличению сопротивления графена в сравнении с нанесением ПММА методом спинкоутинга. Показано, что механическое отщепление меди приводит к увеличению электрического сопротивления графена, по сравнению с химическим травлением меди, связанного с образованием дополнительных дефектов графена. Таки образом, методика переноса, с нанесением растворенного ПММА и последующим химическим травлением меди, позволяет добиться наименьшего сопротивления полученных графеновых пленок. Так же в работе проведено измерение прозрачности полученных графен-полимерных композитов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-32-00230 мол_а.

1 Kostogrud I.A., Trusov K.V., Smovzh D.V. // *Advanced Materials Interfaces*. – 2016, V. 3, № 8, P.1500823 (1-6)

СИНТЕЗ КОМПОЗИТА С-MgO

Чичкань А.С.^{1,2}, Чесноков В.В.^{1,2}, Бедило А.Ф.¹, Шувараква Е.И.¹, Володин А.М.¹,
Зайковский В.И.¹

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

²Институт углехимии и химического материаловедения ФИЦ УУХ СО РАН,
Кемерово

Нанокристаллические оксиды металлов, таких как MgO, CaO и других, являются эффективными адсорбентами для многих токсичных веществ. Во многих случаях на поверхности нанокристаллитов происходит деструктивная адсорбция токсичных веществ, и таким образом, их обезвреживание. Однако в водной среде или в водяных парах аэрогельные оксиды дезактивируются. Синтез С-MgO композитов (где С – наноструктурированный углерод) предотвращает дезактивацию деструктивных адсорбентов во влажной среде. В работе исследованы закономерности формирования С-MgO композитов. Для синтеза С-MgO композитов использовался аэрогельный оксид магния с удельной поверхностью 400 м²/г. Композиты С-MgO были приготовлены в результате зауглероживания аэрогелевого MgO в среде бутадиена-1,3 при температуре 500°C с содержанием углерода: 1,2; 3,2; 5,0; 10,0 и 15,9 масс. %. Начальная скорость образования углерода была около 2 масс. % в час. По данным электронной микроскопии высокого разрешения аэрогельный MgO состоял из нанокристаллитов размером 1-6 нм. Кристаллиты расположены в виде цепочек и образуют агрегаты с очень пористой структурой. Структура минеральной компоненты в углерод-минеральном материале не изменялась после отложения углерода. При малых покрытиях углерод отлагался на поверхности агрегатов MgO, образуя индивидуальные пластинки длиной 1,5-2 нм. При более высоких покрытиях углерод образовывал 2-3 слойные графитоподобные структуры, которые заполняли объем пор агрегатов MgO и покрывали наружную поверхность агрегатов монослойной пленкой. Одинослойная симметричная Лорентцева линия с $g = 2,0029$, которая может быть приписана углеродным отложениям, наблюдалась в спектре ЭПР углерод-минеральных материалов. Эта линия постепенно сужалась с увеличением содержания углерода в образцах от 1,2 до 15,9 масс. %. Нитроксильные радикалы, образованные после адсорбции динитробензола на нанокристаллах MgO, были использованы как спиновые зонды для оценки концентрации сильных основных центров, присутствующих на поверхности углерод-минеральных материалов, и степени покрытия этих материалов углеродом. Образец С-MgO с содержанием углерода 15,9 масс. % имел поверхность оксида магния покрытую слоем углерода. После обработки в соляной кислоте оксид магния превращался хлорид магния и уходил в раствор, а оставшийся углерод имел высокую удельную поверхность (>1000 м²/г) и представлял собой малослойный графеновый порошок.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛЕГИРОВАНИЯ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ОПТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛЁНОК НА ОСНОВЕ ОДНОСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Цапенко А.П.^{1*}, Гольдт А.Е.¹, Насибулин А.Г.¹

1. Сколковский институт науки и технологий, 143026, Сколково, Россия

**e-mail: alexey.tsapenko@skolkovotech.ru*

Улучшение оптоэлектрических характеристик плёнок на основе однослойных углеродных нанотрубок (ОУНТ) является одной из главных задач для их успешного применения в качестве замены наиболее распространённого сегодня прозрачного электрода – оксида индия-олова (ИТО). Из всех методов для достижения многочисленных требований, предъявляемых современной гибкой и эластичной электроникой, химическое легирование показало себя, как наиболее перспективный метод уменьшения поверхностного сопротивления. В данной работе предложен и продемонстрирован экспериментально, новый метод химического легирования, позволяющий добиться значительного уменьшения поверхностного сопротивления. В качестве варьируемого параметра рассматривались различные допанты и растворители. Были подобраны наиболее оптимальные растворители для хлорида золота. Стабильность на воздухе легированных плёнок – оказалась лучше используемых в данный момент методик легирования.

ДЕФОРМИРОВАНИЕ И РАЗРУШЕНИЕ ГРАФЕНОВОГО ЛИСТА С ТРЕЩИНОЙ

А.С. Кочнев¹, И.А. Овидько^{1,2}, Я.А. Севастьянов^{1,2}, Б.Н. Семенов^{1,2}

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

²Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия;

e-mail: andrey.s.kochnev@gmail.com, ovidko@gmail.com, jar.sevastyanov@gmail.com, semenov@bs1892.spb.edu

Благодаря уникальным механическим свойствам графен огромный потенциал для широкого круга технологий [1]. В частности, прочность при растяжении для идеального (бездефектного) графена достигает рекордного значения 130 ГПа и превосходит по данной величине все другие известные в мире материалы. Вместе с тем, в подавляющем большинстве случаев реальные графеновые листы и слои, осажденные на подложку, содержат топологические дефекты кристаллической решетки и трещины, которые существенным образом влияют на прочность и другие механические характеристики графена; например, [1]. При анализе прочностных свойств графеновых листов с дефектами основное внимание уделялось влиянию границ зерен и точечных дефектов. При исследовании графеновых структуры с трещинами изучалась чувствительность механических характеристик по отношению к длине трещин, их ориентации и температуре [2-3]. Основной целью данной работы является моделирование методом молекулярной динамики процессов деформации и роста трещины в графеновых листах. Особое внимание уделяется влиянию ширины трещины и ее ориентации на механические характеристики (зависимость σ - ϵ , предел упругости, деформация до разрушения и прочность на разрыв) свободно подвешенных графеновых листов.

[1] Ovid'ko I.A. // *Rev. Adv. Mater. Sci.*, 2012, Vol. 30, No. 201-224.

[2] Yin H., Qi H.J., Fan F., Zhu T., Wang B., Wei Y. // *Nano Lett.*, 2015, Vol. 15, No. 3, pp.1918-1924.

[3] Xu M., Tabarraei A., Paci J., Oswald J., and Belytschko T. // *Int. J. Fracture*, 2012, Vol. 173, No. 2, pp.163-173.

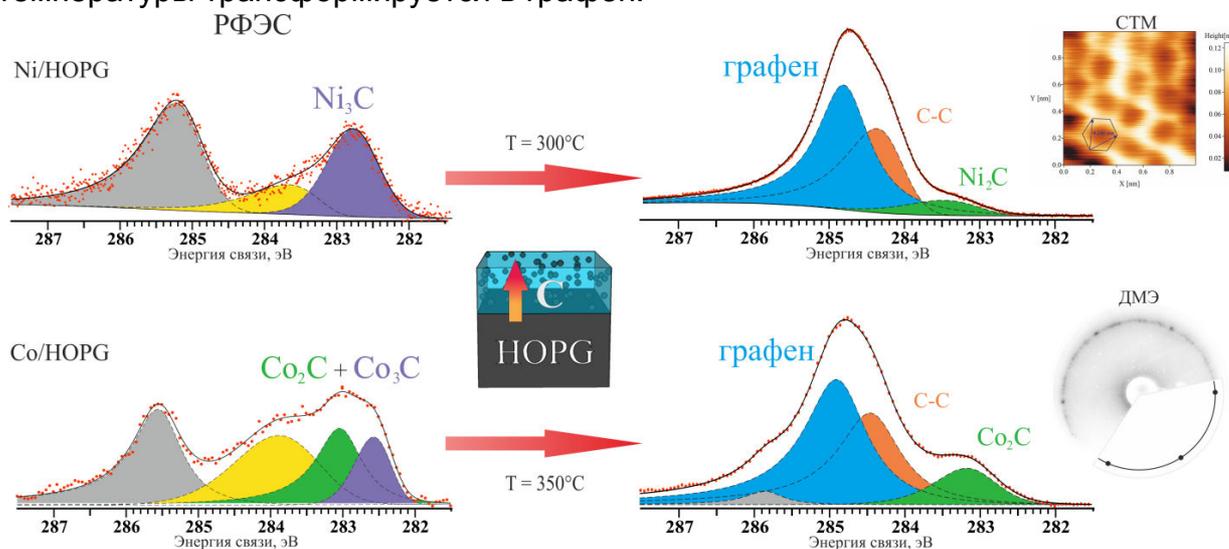
СИНТЕЗ ГРАФЕНА НА ОСНОВЕ ПРОЦЕССА СЕГРЕГАЦИИ НА ПЛЕНКАХ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ, НАНЕСЕННЫХ НА УГЛЕРОДНУЮ ПОДЛОЖКУ

Пудиков Д.А.*, Жижин Е.В., Рыбкин А.Г., Шикин А.М.

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

*e-mail: gelbry@mail.ru

Работа посвящена исследованию графена, сформированного на тонких пленках переходных металлов (никеля и кобальта), нанесенных на подложку высокоориентированного пиролитического графита (НОРГ). Было показано, что при прогреве системы атомы углерода от подложки проникают сквозь пленку металла на поверхность с формированием упорядоченных углеродных структур, в том числе и графена [1,2]. Этот процесс происходит при сравнительно низких температурах отжига (300°C для пленки никеля и 350°C для пленки кобальта), что дает данному способу преимущество перед, например, CVD процессом, протекающем при температурах $500\text{-}600^{\circ}\text{C}$. При этом было установлено, что в процессе синтеза в приповерхностной области происходит формирование промежуточной карбидной фазы (Ni_2C и Co_2C), которая с повышением температуры трансформируется в графен.



[1] Zhizhin *et al.* *Materials & Design*, **104**, 284 (2016)

[2] Жижин *и др.* *Физика твёрдого тела*, **57** (9), 1839 (2015)

ССVD СИНТЕЗ АЗОТ-СОДЕРЖАЩИХ УГЛЕРОДНЫХ ДВУХСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК И ИХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Лобяк Е.В.^{1*}, Булушева Л.Г.¹, Lonchambon P.², Flahaut E.², Окотруб А.В.¹

¹ИНХ СО РАН, Новосибирск, Россия

²Университет Поля Сабатье, Тулуза, Франция

*e-mail: lobiakev@niic.sbras.ru

Допирование углеродных нанотрубок (УНТ) азотом изменяет их электронные свойства такие как плотность подвижных носителей заряда и работу выхода. Таким образом, N-допированные УНТ по сравнению с исходными УНТ обладают улучшенными характеристиками: проводимостью n-типа, сенсорными свойствами, полевой эмиссией, пригодностью для высокопроизводительных транзисторов, высокой ёмкостью суперконденсаторов. Хотя преимущества N-УНТ очевидны, эффективный и контролируемый синтез N-допированных трубок со специфическим типом допирования не решен до сих пор.

Работы большинства исследователей сфокусированы на N-допировании многослойных УНТ, части на однослойных углеродных нанотрубках (ОУНТ) и лишь небольшого числа на двухслойных углеродных нанотрубках (ДУНТ) из-за сложности синтеза. ДУНТ объединяют в себе наилучшие свойства ОУНТ и МУНТ, например, электронные, механические и химические свойства. Более того, N-ДУНТ считаются более привлекательными как для фундаментальных исследований, так и для различных приложений благодаря их улучшенным электронным и химическим свойствам по сравнению с исходными ДУНТ.

ССVD синтез ДУНТ был выполнен в горизонтальном кварцевом трубчатом реакторе длиной 2 м и диаметром 10 см с постоянной температурной зоной около 15 см. Катализатор $MgO_{0.99}(Co_{1-x}Mo_x)_{0.01}O$ был приготовлен методом взрыва. Смесь газов CH_4 и H_2 подавалась в реакционную зону при изменении температуры от комнатной до 1000 °С. CH_3CN подавался в реактор при температуре 1000 °С в течение 6 мин. Полученные N-ДУНТ были охарактеризованы с помощью просвечивающей электронной микроскопии. Формы и количество инкорпорированного азота были установлены с помощью рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. N-ДУНТ оказались перспективным материалом для электродов в суперконденсаторах.

Работа была выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант 16-53-150003).

ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИЕ ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ СЕГРЕГИРОВАННОЙ СТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ ВОССТАНОВЛЕННОГО ОКСИДА ГРАФЕНА И УНТ

Гудков М.В.^{*}, Рывкина Н.Г., Горенберг А.Я., Мельников В.П.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук

**e-mail: gudkovmv@gmail.com*

Одним из наиболее перспективных подходов к получению электропроводящих композитов является формирование сегрегированной структуры с заведомо неравномерным распределением проводящего наполнителя, который тонким слоем покрывает поверхность частиц порошка полимера. При компаундировании порошка электропроводящие слои объединяются в единую проводящую сеть, что позволяет достигать высоких значений электропроводности при сверхмалом содержании наполнителя.

В данной работе электропроводящие полимерные композиционные материалы сегрегированной структуры были получены на основе различных полимерных матриц, восстановленного параами гидразина оксида графена и углеродных нанотрубок. Показано, что использование смеси восстановленного оксида графена с УНТ для формирования электропроводящей сети (рис.1) позволяет достигать проводимости 28 См/м при наполнении 0.5 % по массе.

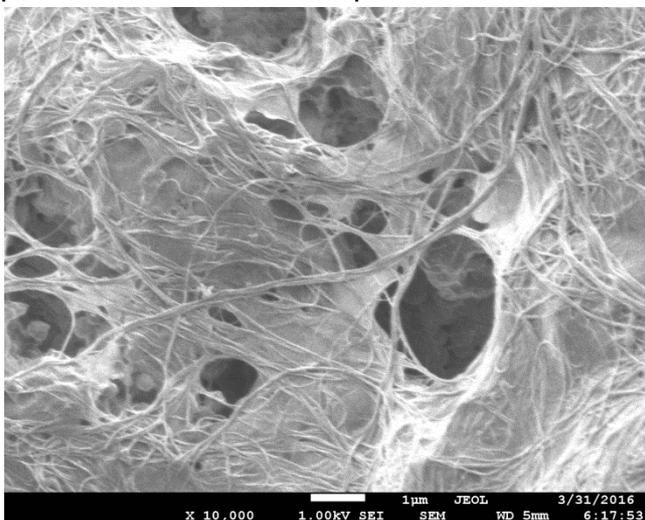


Рис. 1. СЭМ фотографии порошка фторопласта Ф-42, покрытого смесью восстановленного оксида графена с УНТ (1:1), наполнение 0.5 % по массе.

ТЕНЗОРЕЗИСТИВНЫЙ ЭФФЕКТ В КОМПОЗИТАХ МАЛОСЛОЙНЫЙ ГРАФЕН – ПОЛИБЕНЗИМИДАЗОЛ

Кузнецов В.А.^{1,2*}, Холхоев Б.Ч.³, Стефанюк А.Я.^{1,2}, Макотченко В.Г.¹, Бердинский А.С.², Романенко А.И.¹, Бурдуковский В.Ф.³, Федоров В.Е.¹

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

² *Новосибирский государственный технический университет*

³ *Байкальский институт природопользования СО РАН*

*e-mail: vitalii.a.kuznetsov@gmail.com

В последнее время всё большее внимание привлекают к себе композитные материалы, основанные на полимерах с наноструктурированными углеродными наполнителями. Одной из причин столь пристального внимания является тот факт, что при добавлении графеновых наполнителей улучшаются механические свойства исходных полимеров [1]. Изучение композитов малослойного графена (МСГ) в матрицах полибензимидазола, высокотемпературного полимера с наилучшими для полимеров механическими характеристиками, является перспективным направлением с точки зрения практических применений таких объектов для использования в качестве тензорезистивных элементов.

В данной работе изучается тензорезистивный эффект в композите МСГ – полибензимидазол. С помощью ультразвуковой обработки МСГ в растворе поли-2,2'-п-оксидифенилен-5,5-бис-дибензимидазола (ОПБИ) в N-метил-2-пирролидоне были получены устойчивые коллоидные дисперсии частиц МСГ. Электропроводящие плёнки были сформированы методом полива из раствора. Были исследованы два типа экспериментальных образцов – с массовой долей наполнителя 0,75 и 2,00%. Образцы крепились к балкам равного сопротивления изгибу при помощи полимерного лака ВЛ-931. Проведены измерения коэффициента тензочувствительности, представляющего собой отношение относительного изменения электрического сопротивления образца к приложенной продольной деформации. Было показано, что исследованные композитные плёнки имеют одинаковый в рамках экспериментальной погрешности коэффициент тензочувствительности, равный 17,6 в среднем, значение которого сохраняется как минимум до 100'000 знакопеременных циклов нагрузки деформацией ± 1200 млн⁻¹.

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

[1] Saleem H., Edathil A., Ncube T., Pokhrel J., Khoori S., Abraham A., Mittal V. // *Macromolecular Materials and Engineering*. – 2016. – V. 301, 3. – P. 231-259.

МОДИФИКАЦИЯ ПЛЕНОК ОДНОСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ДЛЯ УСИЛЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ БОЛОМЕТРА В СРЕДНЕМ ИК ДИАПАЗОНЕ

Копылова Д.С.¹, Афиногенов Б.И.¹, Болдырев Н.Ю.², Гладуш Ю.Г.^{1,2},
Насибулин А.Г.^{1,3}

¹*Сколковский институт науки и технологий*

²*Институт спектроскопии Российской академии наук (ИСАН)*

³*Университет Аальто, Факультет прикладной физики*

*e-mail: d.kopylova@skoltech.ru

Детекторы инфракрасного (ИК) излучения играют важную роль в современных технологиях и находят широкое применение как в гражданских, так и военных областях. Поиск новых сенсорных материалов для ИК фотодетекторов остается актуальным в настоящее время. В течении последних десяти лет благодаря своим уникальным оптоэлектронным свойствам углеродные нанотрубки используются в разработке фотодетекторов, основанных на различных механизмах изменения проводимости материала под действием электромагнитного излучения (тепловом и фотонном). Фототок одиночных нанотрубок по своей природе является фотоэлектрическим, тогда как в пленках нанотрубок поглощаемая энергия эффективно переносится в кристаллическую решетку, и в этом случае доминируют фототепловые механизмы. Например, в болометрах увеличение температуры при поглощении излучения приводит к изменению сопротивления сенсора.

В настоящей работе представлен болометр на основе подвешенной между золотыми контактами тонкой пленки однослойных углеродных нанотрубок, полученных аэрозольным CVD методом. Исследовано влияние лазерного микроструктурирования пленки на масштабах порядка длины волны излучения на чувствительность болометра. Согласно численному моделированию, такая обработка пленки должна увеличивать поглощение и, следовательно, чувствительность болометра в среднем ИК диапазоне. Измерения поглощения и спектральной характеристики болометра показали, что при определенных параметрах обработки поглощение в структурированной пленке возрастает в два раза по сравнению с неструктурированной, а отклик возрастает в полтора раза в широком спектральном диапазоне.

ЛАЗЕРНОЕ ОКИСЛЕНИЕ ЧАСТИЦ КАТАЛИЗАТОРА В ОДНОСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБКАХ

Яковлев В.Я.^{1*}, Михеев Г. К.², Склюева Ю. А.¹, Гильмудинов Ф. З.³, Михеев Г. М.²,
Насибулин А.Г.^{1,4}

1. *Институт науки и технологий "Сколково", 143026, Сколково, Россия*

2. *Институт механики УрО РАН, 426067, г. Ижевск,*

3. *Физико-технический институт Уральского отделения Российской Академии наук, 426000, г. Ижевск, Россия*

4. *Аалто университет, Кафедра прикладной физики, 00076 Аалто, Финляндия*

**e-mail: Vsevolod.iakovlev@skolkovotech.ru*

В данной работе изучен эффект необратимого увеличения прозрачности пленок из однослойных углеродных нанотрубок (ОУНТ) на полимерных подложках под действием низкоэнергетического лазерного излучения. Пленки ОУНТ, синтезированные аэрозольным (плавающий катализатор) способом, наносились на полимерную подложку, а затем обрабатывались сфокусированным лазерным излучением. Результаты Рамановской спектроскопии показывают, что просветление пленок не сопровождается разрушением ОУНТ. Исследования методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, показало, что просветление происходит из-за окисления наночастиц железа, инкапсулированные в нанотрубки, кислоты выделяются при разложении полимерных пленок при лазерном нагреве.

Эти исследования экспериментально продемонстрировали возможность увеличить прозрачность ОУНТ пленок (синтезированный с помощью аэрозольного метода путем термического разложения ферроцена) на полимерной подложке с помощью сфокусированной маломощного гелий-неонового лазерного излучения. Описанный способ просветления может быть применено для записи изображений на ОУНТ пленки, наряду с увеличением прозрачности пленки, предназначенные для использования в качестве проводящей пленки с высоким коэффициентом пропускания в видимом диапазоне оптического спектра.

СИНТЕЗ ДОПИРОВАННОГО ГРАФЕНА CVD-МЕТОДОМ

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

Институт неорганической химии СО РАН, Новосибирск, Россия

**e-mail: Slavaarhipov@ngs.ru*

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

Образцы N-допированного мультислойного графена были синтезированы в проточном CVD-реакторе. Отжиг подложки необходимый для удаления с поверхности фольги оксидной пленки проводился в атмосфере водорода. Синтез азот-допированного графена происходил на поверхности фольги в результате термолиза газовой смеси ацетонитрила и водорода при пониженном давлении. Температура разложения ацетонитрила и формирования графенового слоя составляла 900 °С. После остывания подложки были получены образцы графена размером до 1 см². Также в результате пиролиза газовой смеси, состоящей из метана, водорода и фосфина были синтезированы образцы фосфор-допированного графена. Полученные образцы исследовались с помощью спектроскопии комбинационного рассеивания света и РФЭС.

10 АВГУСТА

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ДРЕССИНГ ГРАФЕНА

Кибис О.В.

Новосибирский государственный технический университет
e-mail: Oleg.Kibis@nstu.ru

Одним из активно развивающихся научных направлений в современной физике является исследование перенормировки (ренормализации) электронных свойств различных систем, обусловленной нерезонансным взаимодействием электронов с сильным высокочастотным электромагнитным полем [1]. Поскольку частоты нерезонансного поля лежат далеко от характерных частот электронной системы, то это поле не поглощается электронами и, следуя общепринятой терминологии, называется «одевающим полем» (dressing field). Соответственно, ренормализация электронных свойств одевающим полем называется «электромагнитным одеванием» или «электромагнитным дрессингом» (electromagnetic dressing). Проводя работы в рамках данного научного направления, мы теоретически исследовали влияние электромагнитного дрессинга на энергетическую структуру электронов и электронный транспорт в графене [2–4]. Из полученных в ходе этого исследования результатов следует, что электромагнитный дрессинг существенным образом ренормализует электронные характеристики графена, приводя к появлению качественно новых светоиндуцированных явлений. В частности, одевающее поле индуцирует анизотропию электронных свойств графена, приводит к появлению осциллирующей зависимости электронных транспортных характеристик графена как функции интенсивности одевающего поля, а также качественно меняет структуру уровней Ландау графена в магнитном поле. Предлагаемый доклад посвящен обсуждению этих новых физических эффектов.

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

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

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

[4] O. V. Kibis, K. Dini, I. V. Iorsh, I. A. Shelykh, *Physical Review B* **95**, 125401 (2017).

НОВОЕ СЕМЕЙСТВО ДВУМЕРНЫХ ПЛЁНОК НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ МЕТАЛЛОВ: ТЕОРЕТИКО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

Сорокин П.Б.^{1-3*}, Квашнин Д.Г.^{1,3}, Ларионов К.В.², Kano E.⁴, Sakai S.⁵, Чернозатонский Л.А.³, Hashimoto A.⁴

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

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

³Институт биохимической физики им. Н. М. Эмануэла РАН, г. Москва

⁴Graduate School of Pure and Applied Sciences, University of Tsukuba; National Institute for Materials Science, Tsukuba, Japan

⁵National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology QST, Tokai, Naka, Ibaraki, Japan

*e-mail: pbsorokin@misis.ru

С момента открытия графена двумерные (2D) плёнки привлекают особое внимание. Кроме графена устойчивы в двумерном состоянии *h*-BN, семейство диалкогогенидов переходных металлов и ряд других соединений. Однако, структуры, не имеющие кристаллическую слоистую фазу, также способны формировать 2D слои. Особенно интересным кажется недавний результат по двумерному железу [1] имеющему квадратную решётку.

В данной работе мы расширили семейство монослойных 2D структур. Мы предсказали возможность существования плёнок MO, где M = Ni, Co, Fe, Cu, изучили их стабильность, атомную структуру, электронные и магнитные свойства. Показано, что некоторые из них не могут существовать в свободном состоянии, однако могут быть стабилизированы графеновой матрицей, формируя, таким образом, двумерную гетероструктуру. В последнем случае была предсказана оптимальная форма таких структур, причём особое внимание было уделено свойствам границы раздела MO-графен.

Подробно были изучены плёнки на основе оксида меди [2]. Они были получены нами в эксперименте, при этом полученные результаты отлично совпали со сделанными прогнозами. Структуры были исследованы с помощью СПЭМ, совместно с применением спектроскопии характеристических потерь энергии электронами. Показано, что кислород играет основную роль в стабилизации двумерного медного кластера с необычной квадратной решёткой. Получены необычные физические свойства, в частности антиферромагнитное основное состояние, в то время как кристалл CuO является парамагнетиком.

Работа была выполнена при финансовой поддержке РФФИ 16-32-60138 мол_а_дк.

Список литературы

1. Zhao J. et al. Free-Standing Single-Atom-Thick Iron Membranes Suspended in Graphene Pores // Science. 2014. Vol. 343, № 6176. P. 1228–1232.
2. Kano E. et al. One-atom-thick 2D copper oxide clusters on graphene // Nanoscale. 2017.

ЭЛЕКТРОННАЯ ЩЕЛЬ В ПОДВЕРНУТОМ ДВУСЛОЙНОМ ГРАФЕНЕ

Рожков А.В.*, Сбойчаков А.О., Рахманов А.Л.

Институт теоретической и прикладной электродинамики РАН

*e-mail: arozhkov@gmail.com

Двуслойный графен, в которой кристалло-графические оси слоев образуют конечный угол $0 < \theta < 30$, называется подвернутым (или подкрученным). Некоторые электронные свойства подкрученного графена (например, скорость Ферми) гладко зависят от θ . Однако щель в спектре одноэлектронных возбуждений ведет себя по-другому (см. рис. 1). Экспоненциальная чувствительность к малым изменениям θ говорит о том, что график на рис.1 не имеет простой экспериментальной интерпретации. Формально говоря, скачки на рис.1 связаны с возникновением сверхрешетки при «рациональных» θ . Размер сверхячейки может очень сильно меняться при малом изменении угла. Но в реальном образце такие скачки сглаживаются, если размер сверхячейки меньше длины свободного пробега, ограничиваемой дефектами и конечностью системы. Парадоксальное же поведение графика на рис.1 верно лишь для идеальной бесконечной сверхрешетки. С помощью численного расчета продемонстрировано (см. рис.2), что для конечных кластеров подкрученного графена матричный элемент, контролирующий щель, становится гладкой функцией θ . По мере роста размера кластера эта зависимость делается все более «фрактальной», приближаясь к рис.1. Также обсуждается кроссовер между бесщелевым и диэлектрическим электронным спектром при конечной длине свободного пробега [1,2,3].

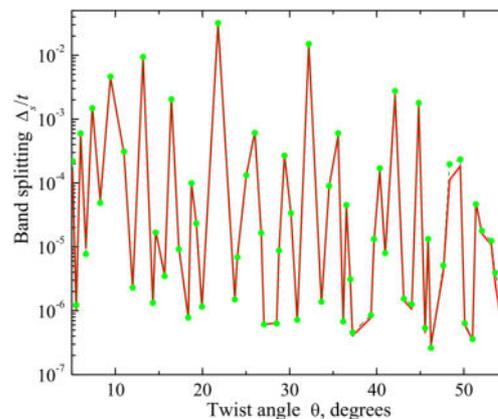


Рис. 1: Матричный элемент, отвечающий за одноэлектронную щель, как функция угла подворота θ .

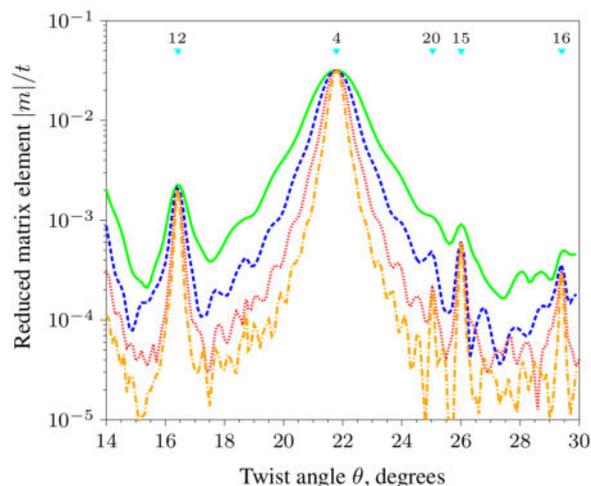


Рис. 2: То же, что и на рис.1, но для четырех конечных кластеров разного радиуса (большой кластер – желтая, самый маленький – зеленая кривая).

1. A.V. Rozhkov et al., Phys. Rev. B **95**, 045119 (2017)
2. A.V. Rozhkov, et al., Phys. Rep. **648**, 1 (2016)
3. A.V. Rozhkov, et al., Phys. Rev. B **92**, 075402 (2015)

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ В ДВУХСЛОЙНОМ ГРАФЕНЕ. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ПРЕДСКАЗАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ НАБЛЮДЕНИЕ

Квашнин Д.Г.^{1,2*}, Антипина Л.Ю.^{1,3}, Kano E.^{4,5}, Hashimoto A.⁴, Sakai S.^{4,5}, Чернозатонский Л. А.², Сорокин П. Б.¹⁻³

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

²Институт биохимической физики им. Н. М. Эмануэля РАН, г. Москва

³Технологический институт сверхтвёрдых и новых углеродных материалов, г. Троицк, г. Москва

⁴Graduate School of Pure and Applied Sciences, University of Tsukuba; National Institute for Materials Science, Tsukuba, Japan

⁵National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology QST, Tokai, Naka, Ibaraki, Japan

*e-mail: dgkvashnin@gmail.com

Графен представляет особый интерес для исследователей в силу набора уникальных физико-химических свойств. Благодаря уникальным электронным свойствам и возможностью контролируемого их изменения, графен рассматривается как основной кандидат для применения в перспективной электронике, что требует, однако, открытия в нём запрещённой зоны без ухудшения проводящих свойств. Одним из возможных методов получения запрещённой зоны в графене является формирование в его структуре периодически расположенных отверстий. Однако, после формирования, отверстия в графене стремятся к зарастанию, что может приводить к сильному изменению электронных свойств с течением времени.

В данной работе мы провели детальное изучение стабильности и процесса роста отверстий в двухслойном графене. В отличие от монослоя графена после формирования отверстий в слоях двухслойного графена происходит спонтанное соединение границ отверстий между собой [1], что приводит к их дополнительной стабилизации и формированию новой непрерывной полой углеродной структуры. Была построена теоретическая модель, включающая в себя многомасштабное атомистическое моделирование, а также метод построения Вульфа, позволяющая предсказывать равновесные формы отверстий в двухслойном графене, а также определить поведение формы отверстий в процессе роста в зависимости от относительного расположения и угла поворота между слоями.

С помощью ПЭМ мы детально изучили процесс формирования и роста отверстий в двухслойном графене с различной ориентацией слоёв друг относительно друга (от 0 до 30°). Для всех экспериментально наблюдаемых образцов было получено отличное согласие с моделями, предсказанными с помощью предложенной теоретической модели.

Работа была выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук (МК-3326.2017.2).

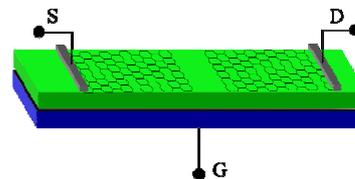
1. Kvashnin D.G. et al. Bilayered semiconductor graphene nanostructures with periodically arranged hexagonal holes // Nano Res. 2015. Vol. 8, № 4. P. 1250–1258.

ПЛОСКИЙ ТУННЕЛЬНЫЙ ПОЛЕВОЙ ТРАНЗИСТОР НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА

Катков В.Л., Глебов А.А. Осипов В.А.

Лаборатория теоретической физики им. Боголюбова, Объединенный институт ядерных исследований, 141980 Дубна, Россия

Методом функций Грина в рамках приближения сильной связи рассчитан туннельный ток в контакте, состоящем из полуплоскостей графена и двуслойного графена с двумя возможными типами упаковки в двух возможных ориентациях кристаллической решетки.



Показано, что зонная структура графена, ориентированного краем типа “кресло”, приводит к специфической для каждого из графенов степенной зависимости туннельного тока от напряжения, характер которой определяется изменением числа транспортных каналов при изменении напряжения. Обнаружено, что при встречной ориентации краем типа “зигзаг” для всех видов рассмотренных контактов туннельный ток содержит характерные пики, обусловленные влиянием локализованных краевых состояний. Исследован эффект влияния затвора. Показано, что в случае структур с краем зигзаг имеет место эффект “включения/выключения” контактов. Контакты же на графенах с краем “кресло” не обладают выраженным “переключающим” свойством, а увеличение напряжения на затворе приводит к увеличению проводимости. В соответствии с этим была предложена схема нового переключающего устройства - плоского туннельного полевого транзистора, переключающая способность которого связана с возможностью манипулирования областью с высокой плотностью состояний на краю “зигзаг” относительно положения транспортного окна [1-3]. Для подтверждения устойчивости данного прибора к появлению краевых вакансий были исследованы влияния распределений и концентраций краевых вакансий на “топологически защищенные” электронные краевые состояния и туннельный ток в устройстве [4].

[1] *Planar graphene tunnel field-effect transistor* V.L. Katkov and V.A. Osipov, Applied Physics Letters, **104**, 053102, (2014)

[2] *Туннельный контакт на базе графена* В.Л. Катков, В.А. Осипов, Письма в ЖЭТФ, **98**, 782, (2013)

[3] *Туннельный полевой транзистор на основе графена* В.Л. Катков, В.А. Осипов, Официальный бюллетень «Изобретения. Полезные модели», **18**, 2 554 694, (2015)

[4] *Effect of edge vacancies on localized states in semi-infinite zigzag graphene sheet* А.А.Глебов, В.Л.Катков, В.А.Осипов, JETP Letters, **104**, 842, (2016)

ОСОБЕННОСТИ МЕЖСЛОЕВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И ПЛАЗМОННЫХ СВОЙСТВ МУАРОВЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ БИСЛОЕВ ГРАФЕНА

Седельникова О.В.^{1,2*}, Чувиллин А.Л.³, Окотруб А.В.^{1,2}, Коротеев В.О.^{1,2},
Булусева Л.Г.^{1,2}

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

²*Новосибирский государственный университет, Новосибирск. Россия*

³*CIC nanGUNE Consolider, Сан Себастьян, Испания*

*e-mail: o.sedelnikova@gmail.com

Развитие методов получения графена открыло новую область физики – физику двумерных материалов. Электронная структура двумерных наноматериалов диктуется особенностями атомной структуры. Благодаря сочетанию уникальных особенностей межслоевого взаимодействия и высокой электропроводности графеновых слоев, исследование бислоев графена представляет интерес для плазмоники

При повороте двух слоев графена друг относительно друга возникает муаровый узор, отражающий вариацию межслоевого взаимодействия в бислое графена. DFT-расчеты показали, что для таких систем характерно появление областей локализации электронной плотности.¹ Модификация электронной структуры приводит к изменению оптических и плазмонных свойств бислоев графена. Методами спектроскопии малых потерь энергии электронов установлено, что в плазмонном спектре муаровых структур на основе бислоев графена кроме резонанса π -плазмона присутствуют еще два пика, положения которых регулярно смещаются при изменении угла поворота слоев. Проведенные расчеты позволили интерпретировать данные особенностями как межслойные плазмоны, связанные с разными областями муаровых структур.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 16-33-00515). О.В. Седельникова благодарит за поддержку стипендию Президента РФ СП-3530.2016.1.

1. O.V. Sedelnikova, L.G. Bulusheva, A.V. Okotrub, «Localization of π -electron density in twisted bilayer graphene» // Phys. Status Solidi PRL 11 (2), 1600367 (2017).

МОДЕЛИРОВАНИЕ СВОЙСТВ ЛАТЕРАЛЬНЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУР ГРАФЕН/НИТРИД БОРА

Демин В.А.*, Чернозатонский Л.А.

Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН

**e-mail: victordemin88@gmail.com*

Двумерные материалы (графен G, монослой нитрида бора BN) являются перспективными для применения в нанoeлектронике. Графен имеет уникальные механические и электронные свойства, такие как высокие модуль Юнга и подвижность носителей заряда. Гексагональный монослой нитрида бора обладает запрещенной зоной более 4эВ и пьезоэлектрическими свойствами.

Существует несколько видов гетероструктур на основе графена и BN, такие как планарные (монослойные) [1] и «сэндвич» (многослойные) [2] гетероструктуры. Планарные гетероструктуры могут быть разных видов: домены BN в графене, домены G в нитриде бора, монослои из чередующихся микролент G/BNC/BN. Антиферромагнетизм, низкая теплопроводность и полуметаллическое поведение были предсказаны для таких гетероструктур [1].

В данной работе мы представляем DFT моделирование свойств BN/G планарных гетероструктур, состоящих из чередующихся нанолент, соединенных между собой ковалентными связями. Приложение электрического поля приводит к механической деформации частей нитрида бора и, таким образом, к деформации графеновых нанолент и изменению их электронных свойств [3]. Рассмотрено влияние ширины связанных нанолент на механические, электронные и пьезоэлектрические свойства планарной гетероструктуры. Пьезоэлектрические коэффициенты некоторых рассмотренных моделей превышают модуль e_{22} монослойного гексагонального нитрида бора в несколько раз.

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

1. Q. Li, M. Liu, Y. Zhang and Z. Liu // Small. 2016, 12, 32-50.
2. L. Chernozatonskii, V. Demin, S. Bellucci // Sci. Rep. 2016, 6, 38029.
3. M. Topsakal, S. Ciraci // Phys. Rev. B. 2010, 81, 024107.

УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ: ОТ СИНТЕЗА К ПРИМЕНЕНИЯМ

Альберт Г. Насибулин

Сколковский институт науки и технологий, Москва, Россия

Однослойные углеродные нанотрубки (ОУНТ) представляют собой уникальное семейство материалов, обладающих замечательными химическими и физическими свойствами. Получение УНТ относят к одному из важнейших достижений в области материаловедения за последние 50 лет. Данная работа посвящена краткому обзору синтеза ОУНТ аэрозольным методом (метод летучего катализатора) химического осаждения из газовой фазы. Поскольку ОУНТ, синтезированные этим методом, практически не содержат аморфный углерод и другие нежелательные углеродные примеси, то продукт может быть использован непосредственно в том виде, в котором он покидает реактор. Показана возможность получения однородных пленок из ОУНТ, синтезированных аэрозольными методами, и их потенциальные применения в прозрачной, гибкой и эластичной электронике. Автор надеется, что в скором будущем это найдет свое широкое применение в продуктах на высокотехнологическом рынке микроэлектроники.

КОМПОЗИТЫ С 2D-ГРАФЕНОВЫМИ СТРУКТУРАМИ ДЛЯ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И КАТАЛИЗА ПРОЦЕССОВ С УЧАСТИЕМ ВОДОРОДА

Тарасов Б.П.*, Арбузов А.А., Можжухин С.А., Володин А.А., Фурсиков П.В.

Институт проблем химической физики РАН, г.Черноголовка

**e-mail: tarasov@icp.ac.ru*

Совместным восстановлением оксида графита и солей никеля водородом получали композиты, содержащие от 5 до 25 мас.% наночастиц Ni, равномерно распределенных на поверхности графеноподобных материалов (ГПМ) и имеющих размер 2-5 нм. Полученный композит Ni/ГПМ исследовали в качестве катализаторов гидрирования магния и синтеза углеродных наноструктур.

Механохимической обработкой смеси Mg и Ni/ГПМ в планетарной мельнице в среде водорода получены композиты MgH₂+Ni/ГПМ, где высокодисперсные частицы MgH₂ покрыты слоями Ni/ГПМ. Образующаяся в композитах метастабильная фаза γ-MgH₂ уменьшает температуру начала дегидрирования. Добавка Ni/ГПМ способствует увеличению скорости гидрирования Mg за счет высокой каталитической активности высокодисперсного Ni в реакции диссоциации молекул H₂, а покрытие ГПМ мелкодисперсных частиц MgH₂ сохраняет субмикронный размер образующихся при дегидрировании частиц Mg и обеспечивает высокую теплопроводность композитов Mg/MgH₂+Ni/ГПМ. Установлен синергетический эффект влияния Ni/ГПМ на процесс гидрирования магния по сравнению со смесью Ni+ГПМ. Композиты из 95-80% MgH₂ и 5-20% Ni/ГПМ содержат 7-6.5 мас. % обратимого водорода и могут быть использованы для создания аккумуляторов водорода многократного действия.

Каталитическое разложение C₂H₄ на композите Ni/ГПМ при температурах 500-700°C приводит к образованию на поверхности ГПМ углеродных нановолокон (УНВ), каталитическое разложение CH₄ – углеродных нанотрубок (УНТ). При этом формируются трехмерные композиты Ni/УНВ/ГПМ и Ni/УНТ/ГПМ. Установлено, что время синтеза влияет на длину УНВ и УНТ, температура – на тип структуры, метод формирования Ni/ГПМ-катализатора – на диаметр и распределение УНВ на поверхности ГПМ. Рассмотрены перспективы использования трехмерных структур УНВ/ГПМ и УНТ/ГПМ в качестве носителей катализаторов процессов с участием водорода.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 16-29-06197 офу_м).

КРИТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МЕМБРАНАХ:
ПРИЛОЖЕНИЕ К ГРАФЕНУ

Качоровский В.Ю.

Физико-технический институт имени А.Ф.Иоффе, С.-Петербург

Материалы будут представлены во время устного сообщения.

ДОПИРОВАННЫЕ АЗОТОМ УГЛЕРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, КАК НОСИТЕЛИ ДЛЯ КАТАЛИЗАТОРОВ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА ИЗ МУРАВЬИНОЙ КИСЛОТЫ

Булусhev Д.А.

Институт катализа им. Г.К. Борескова, СО РАН, Новосибирск 630090
e-mail: dmitri.bulushev@catalysis.ru

Графеноподобные углеродные материалы широко используются в катализе в качестве носителей для наночастиц металлических катализаторов. Недостатком этих носителей часто является слабое взаимодействие с катализатором, которое может приводить к спеканию металла, сопровождающимся уменьшением скорости реакции. В данной работе мы покажем, что спекание металла можно значительно уменьшить путем допирования углеродного носителя азотом. В результате допирования появляются встроенные в углеродную структуру азотные центры, некоторые из которых сильно взаимодействуют с центрами металла. Так, например, в случае Cu катализаторов на недопированном углероде после реакции Cu представлена в виде частиц с размером около 35 нм. Однако в катализаторе на допированном азотом углероде Cu представлена в виде частиц с размером около 5 нм и отдельных атомов металла, координированных пиридиновыми центрами азота. Это позволяет достичь более высокой скорости реакции получения водорода из муравьиной кислоты за счёт высокой дисперсности катализатора. Нанесение Pd или Pt на допированный азотом углерод также приводит к стабилизации металлов в атомарной форме и в форме малых кластеров, около 1 нм для Pt и около 2.5 нм для Pd.^{1,2} Важно, что атомарная форма стабильна в реакции и может реагировать с муравьиной кислотой со скоростью в несколько раз более высокой, чем скорость на атомах поверхности металла, давая исключительно H₂ и CO₂. Таким образом, допирование углеродных носителей азотом открывает новые возможности в катализе, за счёт эффективного использования металлического катализатора и за счёт более высокой скорости реакции на новых активных центрах металла.

(1) Bulushev, D. A.; Zacharska, M.; Lisitsyn, A. S.; Podyacheva, O. Y.; Hage, F. S.; Ramasse, Q. M.; Bangert, U.; Bulusheva, L. G. *ACS Catalysis* **2016**, *6*, 3442-3451.

(2) Bulushev, D. A.; Zacharska, M.; Shlyakhova, E. V.; Chuvilin, A. L.; Guo, Y.; Beloshapkin, S.; Okotrub, A. V.; Bulusheva, L. G. *ACS Catalysis* **2016**, *6*, 681-691.

ТРЕХМЕРНЫЕ ГРАФЕНЫ КАК СРЕДА ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ И ХРАНЕНИЯ ВОДОРОДА

Баимова Ю.А.

Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, г. Уфа
e-mail: julia.a.baimova@gmail.com

В настоящее время во всем мире активно развивается исследование новых материалов и сред хранения и транспортировки водорода. Условия хранения водорода определяют энергозатраты на реализацию того или иного метода. Преимуществами углеродных носителей для хранения водорода являются развитая поверхность, низкая плотность по сравнению с интерметаллидами, химическая инертность, устойчивость к охлаждению. К настоящему моменту уже предложен простой способ синтеза объемного наноматериала (скомканного графена) (рис. 1), построенного из скомканных чешуек графена, обладающего ультравысокой удельной поверхностью ($3523 \text{ м}^2/\text{г}$) и высокой проводимостью, исследованы некоторые его физические и механические свойства [1,2].

В данной работе методом молекулярной динамики исследованы механические свойства скомканного графена, его деформационное поведение, а также перспективы использования в качестве среды для транспортировки и хранения водорода.

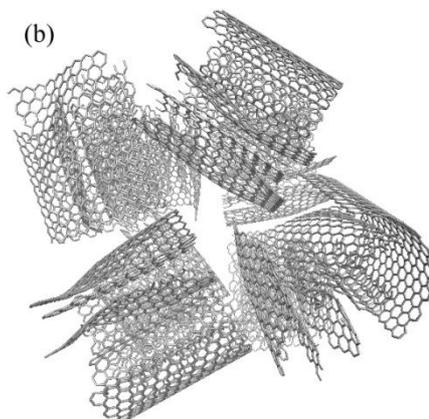


Рис. 1. Скомканный графен.

1. L. Zhang, et. al. Sci. Rep. 2013. V. 3. P. 1408.
2. J. A. Baimova, B. Liu, S. V. Dmitriev, K. Zhou. Journal of Physics D: Applied Physics. 2015. 48 (9), 095302.

ФАЗОВЫЕ ТРАНСФОРМАЦИИ ГЛОБУЛЯРНОГО ТУРБОСТРАТНОГО УГЛЕРОДА В ГРАФИТ И АЛМАЗ В ПРОЦЕССЕ ТЕРМОБАРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Тренихин М.В.^{1,2,4*}, Павлюченко П.Е.¹, Арбузов А.Б.^{1,2}, Дроздов В.А.¹, Филоненко В.П.³, Зибров И.П.³

¹ИППУ СО РАН, Омск, Россия, ²ОНЦ СО РАН, Омск, Россия,

³ИФВД РАН им. Л.Ф. Верещагина РАН, г. Троицк, г. Москва, Россия,

⁴ОмГТУ, Омск, Россия

*e-mail: tremv778@gmail.com

В настоящей работе с использованием методов ПЭМ, КРС и рентгеновской дифракции проведён анализ морфологических и структурных изменений в глобулярном турбостратном углероде со средним диаметром частиц ~ 250 и 25 нм после их термобарической обработки. Установлено, что заметное упорядочение графеновых слоев наблюдается при 1300°C (давление 8.0 ГПа) и интенсивно продолжается при температурах 1500 и 1800°C. ПЭМ-анализ показал, что основным морфологическим типом в низкодисперсном образце (250 нм) являются углеродные пачки размером более 500 нм с упорядоченным расположением графеновых слоев. Межплоскостное расстояние в некоторых углеродных пачках, измеренное по электронограммам и картинам дифракции, составляет 0,335 нм. В высокодисперсном образце кроме графитоподобных частиц обнаружены нанокристаллиты алмаза с размерами 5–8 нм (рис. 1). Это может быть связано как с различиями процессов локального упорядочения графитоподобной структуры, так и с наличием большого количества поверхностных функциональных Н,(О)-содержащих групп, активирующих трансформацию решетки в алмазную [1].

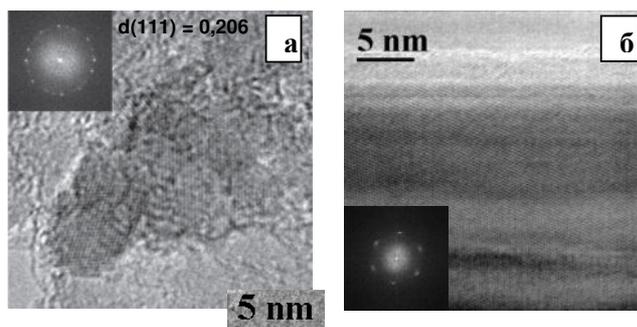


Рис. 1. ПЭМ-изображение наноалмазов в углеродной матрице (а) и кристалла с алмазоподобной структурой (б).

1. Филоненко В.П., Зибров И.П., Тренихин М.В. и др. Неорганические материалы. № 5, 2017, (в печати).

ВЛИЯНИЕ АЗОТНЫХ И ВАКАНСИОННЫХ ДЕФЕКТОВ НА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРАФИТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЛИТИЙ-ИОННЫХ ИСТОЧНИКАХ ТОКА

Булушева Л.Г.^{1,2}, Столярова С.Г.¹, Федосеева Ю.В.^{1,2}, Каныгин М.А.^{1,2},
Окотруб А.В.^{1,2}

¹ИНХ СО РАН, Новосибирск, Россия

²НГУ, Новосибирск, Россия

*e-mail: bul@niic.nsc.ru

Высокая электропроводность и механическая стабильность графита при многократной интеркаляции-деинтеркации литий-ионов обуславливает практическое использование этого материала в анодах электрохимических источников тока. Однако, удельная ёмкость графита, которая не превышает 372 мАч/г, не удовлетворяет потребности современного общества в источниках высокой плотности мощности и энергии. Изменение электронной структуры графеновых слоев, за счет, например, допирования азотом, позволяет аккумулировать больше лития, а создание вакансионных дефектов – увеличить скорость диффузии литий-ионов в объем материала.

Исследование взаимодействия лития с графитовыми материалами, содержащими азот и/или вакансии, было проведено с использованием данных рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС), полученных *in situ*. В качестве модельных структур были выбраны малослойные графены, синтезированные CVD методом из метана или ацетонитрила, и компактные графитовые материалы с вакансиями в слоях, сформированными при термической обработке оксида графита концентрированной серной кислотой. Для встраивания азота на границах вакансий, полученный материал был обработан в горячем аммиачном растворе. РФЭС измерения образцов до и после напыления на их поверхность лития выявили сдвиг N1s полос, который был более значителен для трех-координированного азота.

Тестирование графитовых материалов в литий-ионных аккумуляторах показало, что наличие вакансий, особенно содержащих азот на границах, повышает ёмкость аккумулятора при высоких плотностях тока. Этот эффект, по данным спектроскопии электрохимического импеданса, связан с уменьшением сопротивления на интерфейсе электрод/электролит и увеличением скорости диффузии литий-ионов.

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

УПРОЧНЕНИЕ СЛОИСТЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СТЕКЛО- И УГЛЕВОЛОКНА С ПОМОЩЬЮ ОДНОСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК TUBALL

Ильин Е.С., Чебоचाков Д.С.* , Предтеченский М.Р.

Группа компаний OCSiAl, г. Новосибирск

**e-mail: dmitry.chebochakov@ocsial.com*

Основным недостатком современных полимерных композиционных материалов является прочность межслоевого склеивания, которая определяется адгезией смолы к волокну и когезионной прочностью полимера. Повышение прочности межслоевого склеивания композита и его трещиностойкости является актуальной задачей в композитной индустрии, поскольку данные характеристики влияют на устойчивость материала к динамическим нагрузкам и, как следствие, на ресурс службы изделия из данного композитного материала.

Углеродные наноразмерные наполнители такие как графен, одностенные и многостенные углеродные нанотрубки, являются перспективным материалом для повышения прочностных свойств полимерных смол, входящих в состав композитного материала. Механизм упрочнения полимерного связующего, модифицированного наноразмерным углеродным наполнителем, заключается в проявлении дополнительных механизмов поглощения энергии в процессе развития трещины, таких как изменение траектории развития трещины, вытягивание наполнителя из полимерной матрицы, упругая деформация частиц наполнителя.

В данной работе исследовано влияние одностенных углеродных нанотрубок Tuball на прочность при межслоевом сдвиге для многослойного стеклонанополненного полиэфирного композиционного материала. Введение модифицирующей добавки Tuball в композитный материал производилось путем разбавления концентрата углеродных нанотрубок в смоляной части композита с последующей пропиткой тканного материала наномодифицированной смолой. Обнаружено, что при введении одностенных углеродных нанотрубок в количестве 0,05-0,15 масс.% в композитный материал, максимальный прирост прочности при межслоевом сдвиге составил 80%, а трещиностойкость материала увеличилась 50%. В дополнение к улучшенным прочностным характеристикам, композит, модифицированный одностенными углеродными нанотрубками TUBALL, приобрел электропроводящие свойства, что в перспективе может быть использовано для сенсоров мониторинга целостности композиционного материала в процессе эксплуатации, а также для применений, где необходимы токорассеивающие и электропроводящие свойства композитного материала.

11 АВГУСТА

DYNAMICS OF GRAPHENE NANOSTRUCTURES: FUNDAMENTAL
ASPECTS AND APPLICATIONS

Pershin Yu.V.

Department of Physics and Astronomy, University of South Carolina, Columbia, USA

Материалы будут представлены во время устного сообщения.

НАНОЧАСТИЦЫ МЕТАЛЛОВ КАК ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И МОДИФИКАЦИИ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Пенцак Е.О.* , Анаников В.П.

Институт органической химии им. Н. Д. Зелинского РАН, Москва, Россия

**e-mail: p_eugene@ioc.ac.ru*

Исследования последних лет показали, что графен и его производные имеют широкие перспективы для использования в качестве подложек нанесенных металлических катализаторов. Определяющую роль в работе нанесенных катализаторов играет взаимодействие частиц металла с подложкой. Изучение таких взаимодействий вместе с динамикой поведения частиц катализатора на поверхностях углеродных подложек является важной фундаментальной проблемой, решение которой помогло бы понять механизмы работы нанесенных катализаторов.

Мы исследовали нанесение металлических наночастиц на углеродные материалы, в том числе на производные графена, с использованием комплексов Pd₂dba₃ и Pt₂dba₃. Было обнаружено, что наночастицы образуют упорядоченные структуры благодаря прикреплению вдоль дефектов поверхности углеродной подложки. Такой подход дает возможность маркировать дефекты графеновой поверхности, выявляя их различные типы и визуализируя их распределение.

Важной проблемой является использование графеновых подложек в жестких условиях. Особый интерес представляет исследование взаимодействия графеновых подложек с нанесенными частицами металлов в условиях микроволнового облучения, так как графен хорошо поглощает микроволновое излучение. Проведенные эксперименты показали, что в условиях микроволновой обработки нанесенных катализаторов происходят значительные изменения морфологии подложки и образование ряда углеродных наноструктур.

1. Pentsak E.O., Gordeev E.G., and Ananikov V.P. // *ACS Catal.*, **2014**, 4 (11), pp 3806–3814 [10.1021/cs500934g].
2. Pentsak E.O., Kashin A.S., Polynski M.V., Kvashnina K.O., Glatzel P. and Ananikov V.P. // *Chem. Sci.*, **2015**, 6, 3302-3313 [10.1039/c5sc00802f].
3. Pentsak E.O., and Ananikov V.P. // *Mendeleev Commun.*, **2014**, 24 (6), 327–328 [10.1016/j.mencom.2014.11.002].
4. Gordeev E.G., Polynski M.V., and Ananikov V.P. // *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **2013**, 15, 18815-18821 [10.1039/c3cp53189a].
5. Sedykh A.E., Gordeev E.G., Pentsak E.O., and Ananikov V.P. // *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **2016**, 18, 4608-4616 [10.1039/c5cp05586e].

2D НАНОКРИСТАЛЛЫ ОКСИДОВ И ГИДРОКСИДОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ И ИХ КОМПОЗИТЫ С ГРАФЕНОМ

Толстой В.П.*, Лобинский А.А., Кодинцев И.А.

Институт Химии Санкт-Петербургского государственного университета,

*e-mail: v.tolstoy@spbu.ru

Как известно, в последние годы наряду с графеном большое внимание уделяется изучению 2D наноразмерных кристаллов и среди них кристаллов оксидов и гидроксидов металлов, которые обладают рядом уникальных свойств, включая каталитические, электрохимические и фотохимические [1].

В докладе делается краткий обзор структурно-химических особенностей таких соединений и основных методов их синтеза. Высказывается гипотеза о возможности синтеза слоев 2D нанокристаллов методом ионного наслаивания (ИН), основанном на попеременной и многократной обработке подложки растворами солей, которые при взаимодействии на поверхности дают слой труднорастворимого соединения [2]. Приводятся примеры синтеза методом ИН слоев γ -NiOOH, $\text{Ni}_2\text{Al}(\text{OH})_{7-x}(\text{NO}_3)_x \cdot n\text{H}_2\text{O}$, $\text{Co}_2\text{Al}(\text{OH})_{7-x}(\text{NO}_3)_x \cdot n\text{H}_2\text{O}$ и $\text{ZnCo}(\text{OH})_4(\text{SO}_4)_x \cdot n\text{H}_2\text{O}$, состоящих из 2D кристаллов толщиной 3-10 нм и установлено, что изменяя условия синтеза можно задавать геометрические характеристики таких кристаллов. Для объяснения обнаруженных эффектов построены схемы последовательных химических реакций, которые учитывают процессы последовательной адсорбции на поверхности подложки катионов и анионов, входящих в состав синтезируемых слоев. Для слоев отмеченных составов изучены их электрохимические свойства как электродов суперконденсаторов с эффектом псевдоемкости и показано, что при токе заряда-разряда в 1 А/г удельная емкость составляет соответственно 950, 380, 960 и 1920 Ф/г. Причем, введение в состав слоев таких слоев наноллистов графена позволяет изменять как значения емкости, так и стабильность при многократном циклировании заряда и разряда.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ, проект № 15-03-08253-а.

Список литературы

1. Osada M. and Sasaki T., *Adv Mater.* **24** 210 (2012).
2. Толстой В.П., *Успехи химии*, **75** 183 (2006).

ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ГРАФЕНА

Красавин С.Е.*, Осипов В.А.

Объединённый институт ядерных исследований, Лаборатория теоретической физики им. Боголюбова Н.Н.

**e-mail: sergey.e.krasavin@gmail.com*

Проведено теоретическое исследование поведения фононной теплопроводности в поликристаллическом графене в рамках модели Каллавэя [1] при наличии линейных дефектов участвующих в формировании границ зёрен. Аналитическое выражение для длины свободного пробега как функции частоты $l(\omega)$, связанное с рассеянием фононов на границах зёрен поликристаллического графена, вычислялось на основе метода деформационного потенциала [2]. Конечная граница зерна рассматривалась как периодическая последовательность дислокационных диполей или пяти- и семизначных колец атомов [3]. Предложенная модель позволила описать любые конечные границы зёрен с произвольной конфигурацией. Показано, что в длинноволновом пределе $\omega \rightarrow 0$ существует только два возможных режима фононного рассеяния в зависимости от геометрии границы зерна: где $l(\omega) \sim 1/\omega$ (дислокационное поведение), и, обнаруженный ранее для дефектов типа Stone-Wales закон $l(\omega) \sim 1/\omega^3$ [4]. Первый вариант реализуется в случае незамкнутой стенки диполей, тогда как второй для замкнутых петлевых конфигураций. Такое различие в поведении объясняется спецификой полей деформации петлевых и разомкнутых границ зерен. В высокочастотной области любая конфигурация границы зерна приводит к ω -независимому поведению длины свободного пробега. Численные расчёты теплопроводности как функции температуры и размера границы зерна, показали, что наибольший вклад в указанную характеристику при одинаковой концентрации дефектов и одинаковой длине границы зерна дают линейные конфигурации, когда дефекты расположены вдоль некоторой оси.

Список литературы

1. S.E. Krasavin and V.A. Osipov, EPL 113 66002 (2016).
2. S.E. Krasavin and V.A. Osipov, J.Phys.Cond.Mat. 13 1023 (2001).
3. A.E. Romanov, A.L. Kolesnikova, T.S. Orlova, I. Hussainova, V.E. Bougrov, R.Z. Valiev, Carbon 81 223 (2015).
4. S.E. Krasavin and V.A. Osipov, J.Phys.Cond.Mat. 27 1 (2015).

МОДИФИКАЦИЯ СВОЙСТВ И НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЕ ПЛЕНОК ГРАФЕНА И МУЛЬТИГРАФЕНА ПУТЕМ ОБЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧНЫМИ ИОНАМИ

Небогатикова Н.А.¹, Антонова И.В.²

¹Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН

²Новосибирский государственный университет,

e-mail: nadonebo@gmail.com, antonova@isp.nsc.ru

Графен и его производные являются крайне перспективными материалами как с точки зрения фундаментальной науки, так и с точки зрения прикладного использования. В настоящее время крайне важным является развитие методов повышения стабильности, функционализации графеновых слоев и управляемого изменения их электрических и структурных свойств. В данной работе в качестве основного подхода для модификации был выбрано облучение пленок графена и мультиграфена быстрыми тяжелыми ионами.

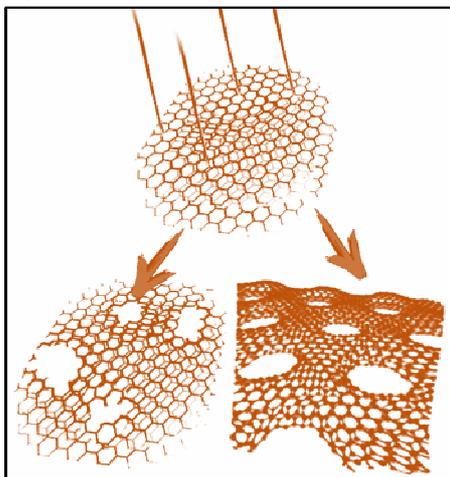


Рис. 1. Схематичное изображение структуры краев при облучении пленок мультиграфена

В настоящее время ведутся работы по изучению структурных и электрических изменений, вызываемых высокоэнергетическими (> 1 МэВ/нуклон) тяжелыми ионами Хе, в пленках графена и мультиграфена (толщиной от 1 до 10 нм) в зависимости от условий облучения. Для характеристики облученных пленок используются подходы спектроскопии комбинационного рассеяния, сканирующая электронная микроскопия, атомно-силовая микроскопия, электрические измерения и исследование температурных зависимостей тока.

Было обнаружено, что в результате облучения в пленках графена и мультиграфена формируются системы наноразмерных отверстий с существенно различающимися электрическими свойствами. Механизм формирования нанотверстий ($d \sim 20-50$ нм, глубина – от 1 до 4 монослоев) связан с локальным испарением верхних слоев графена из-за электронных потерь ионов при взаимодействии с графеновыми слоями. Величина выделяемой энергии существенно зависит от энергии облучающих ионов и определяет структуру краев для формирующихся отверстий. Было экспериментально продемонстрировано ранее теоретически предсказанное [1] формирование графеновых наноструктур с запрещенной зоной $\sim 0.48-0,50$ эВ. Так же были получены структуры с электрически активными центрами, способными захватывать носители заряда ($E_a \sim 0.05$ эВ).

Полученные наноструктуры крайне интересны для создания новых материалов на основе графена с возможностью управляемого изменения свойств.

1. Chernozatonskii L.A et al // JETP Letters. 2014. 99(5), P. 309-314.

РОЛЬ СИЛ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ В ОБРАЗОВАНИИ ГРАФЕНОВОЙ ПЛЕНКИ НА МЕДИ В ПРОЦЕССЕ ГАЗОФАЗНОГО ОСАЖДЕНИЯ

А.А. Пахневич*, В.Я. Принц

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

**e-mail: pakhnevich@isp.nsc.ru*

Газофазное осаждение на меди в атмосфере углеводородных газов привлекает внимание большого числа исследователей как относительно простой и недорогой метод получения качественных графеновых пленок. Отличительной чертой данного метода является использование высоких температур, близких к точке плавления меди 1083С. По этой причине на поверхности меди образуется тонкий жидкий слой, вызванный эффектом поверхностного плавления [1]. Силы поверхностного натяжения в жидком слое воздействуют на образующиеся графеновые островки и таким образом могут влиять на процессы их коалесценции и формирования единой графеновой пленки.

В данной работе была экспериментально исследована роль сил поверхностного натяжения в образовании графеновой пленки на меди в процессе газофазного осаждения. Предложен механизм действия сил поверхностного натяжения на графеновые островки. Обсуждаются эффекты влияния параметров процесса газофазного осаждения на действие сил поверхностного натяжения.

1. A.A. Pakhnevich, S.V. Golod, V.Ya. Prinz. Surface melting of copper during graphene growth by chemical vapour deposition” – J. Phys. D, 2015, v.48, pp.435303-8

ACCURION
solutions for science

Приборы для исследования 2D-материалов Accurion (Германия)

Визуализирующий эллипсометр Nanofilm ep4



- Эллипсометрические карты образцов с латеральным разрешением < 1 мкм
- Спектральные измерения в диапазоне 250 - 1700 нм
- Запатентованная концепция «regions of interest (ROI)» дает возможность параллельного исследования нескольких областей внутри выбранного поля зрения
- Изящное решение проблемы фоновых отражений при исследовании образцов на тонких прозрачных подложках beam cutter
- Интуитивно понятно программное обеспечение, полностью управляющее работой прибора
- Большой выбор аксессуаров

Сочетая методы нуль-эллипсометрии и микроскопии, спектральная визуализирующая эллипсометрия существенно расширяет возможности классического метода. Кроме определения толщины и оптических свойств пленок и слоев, метод позволяет получить качественные изображения поверхностей с наилучшим латеральным разрешением среди подобных приборов -1 мкм.

Интегрированные технологии:

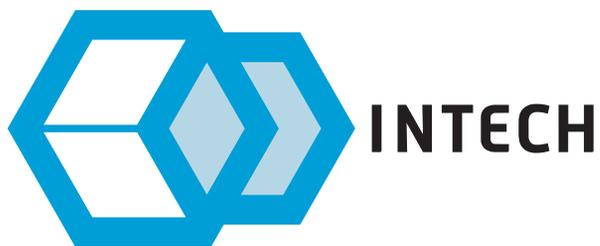
Возможность интеграции этого прибора с другими методами, такими, как: атомно-силовая микроскопия, спектроскопия комбинационного рассеяния, рефлектометрия и др., дает возможность получения всей необходимой информации о составе и структуре образца.

Комбинация эллипсометра Nanofilm Ep4 с атомно-силовым микроскопом Nanosurf Nanite ►



Почему визуализирующая эллипсометрия?

- удобный метод быстрого отыскания графеновых флейков
- возможность измерения оптических характеристик и толщины флейков с высокой точностью
- графен легко идентифицировать среди артефактов
- нет ограничений на используемую подложку



АО «Интек Аналитика» является ведущей компанией на российском рынке по поставкам вакуумного и криогенного оборудования, оказывающая своим заказчикам полный комплекс сопутствующих услуг.

Все грани вакуума

Вакуумное и криогенное оборудование

Отдел вакуумного и криогенного оборудования работает с заказчиками, занимающимися научной работой, и отвечает за большой спектр вопросов: от помощи в оснащении разнопрофильных лабораторий, до решения совершенно новых, впервые возникающих в проектных институтах задач при разработке разнообразных установок.

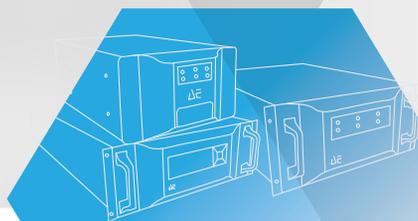
Мы гордимся нашим сотрудничеством с более чем десятком разноплановых ведущих западных партнеров, таких как: Edwards, VAT, HSR, Sumitomo, Gamma Vacuum, VACOM. При этом ассортимент производимого ими оборудования не пересекается, а удачно дополняет друг друга.



EDWARDS

HSR

VAT



Промышленное вакуумное оборудование

Отдел промышленного вакуумного оборудования предлагает современные решения в области проектирования вакуумных систем для любых отраслей промышленности. Заказчиками данного направления являются металлургические и химические заводы, предприятия нефтяной и нефтехимической отрасли и другие.

Развивая собственную сервисную базу, мы научились лучше понимать требования наших заказчиков, получили большой опыт в расчете и проектировании технологических вакуумных систем. Мы первыми в России реализовали технологию «сухого вакуумирования», которая сейчас является основным трендом во многих отраслях промышленности России.



Оборудование для полупроводниковой промышленности

Отдел полупроводниковой промышленности специализируется в технологической поддержке и поставках оборудования, предназначенного для исследований и производства высокотехнологичных приборов, микро и наноэлектроники, микромеханики, солнечных батарей и светодиодов.

Заказчиками являются исследовательские лаборатории и производственные организации, работающие в области гибридной микроэлектроники, солнечной энергетики, производства светодиодов, нанесения покрытий и обработки изделий в вакууме, полупроводниковой промышленности.

Другим важным направлением отдела является производство, поставка и комплектация оборудования для имитации космического пространства.



Сервисное обслуживание и ремонт

Компания «Интек Аналитика» оказывает поддержку своим клиентам, обеспечивает гарантию на все поставленное оборудование, проводит послегарантийное обслуживание и ремонт вакуумных насосов, датчиков, компрессоров, установок, течеискателей и пр.

Команда профессионалов осуществляет обслуживание и ремонт следующего оборудования:

- Вакуумных насосов и датчиков компании Edwards
- Вакуумных насосов Leybold, Pfeifer, Alcatel, Adixen
- Поршневых компрессоров Josef Mehrer
- Воздуходувок Lutos и Hibon
- Течеискателей VIC
- Вакуумных печей Ipsen, Nabertherm, BMI и других марок

и другого вакуумного оборудования.

Интек является единственным авторизованным сервисным центром Edwards (Authorized service partner). При покупке у нас любого вакуумного оборудования вы можете заказать его шеф-монтаж и пусконаладку.

Инжиниринговые возможности

Компания «Интек Аналитика» была основана более 10 лет назад и начинала свою деятельность как импортер зарубежного вакуумного оборудования на российский рынок. Теперь инжиниринговые возможности нашей компании позволяют нам браться за сложные проекты по созданию новых и модернизации существующих вакуумных систем.

Спектр решаемых нашими специалистами задач включает:

- Разработку новых вакуумных систем. Одно из распространенных решений – готовые двух- и трехступенчатые откачные системы
- Модернизацию существующих вакуумных систем
- Создание систем автоматического управления компонентами вакуумных установок
- Сертифицированное сервисное обслуживание, гарантийный и постгарантийный ремонт вакуумных систем
- Поставку расходных и сопутствующих материалов
- Контроль герметичности (услуга течеискания).



АО «Интек Аналитика»



8 (800) 200-24-80
info@intech-group.ru
intech-group.ru

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ (головной офис)

197374, Санкт-Петербург, ул. Оптиков,
д.4, корп. 2, лит.А, оф. 209
+7 (812) 493-24-80, +7 (812) 493-24-81
Факс: +7 (812) 493-24-82 (автомат)

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ (склад)

196084, Санкт-Петербург,
Лиговский проспект, д.260, корп.4
+7 (812) 242-12-01

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ (сервисный участок)

197376, Санкт-Петербург,
ул. Профессора Попова, д. 38,
территория завода «Ригель»
+ 7 (812) 493-24-80 доб. 4
Факс: +7 (812) 493-24-82 (автомат)

МОСКВА

107045, Москва, Ащеулов пер., д. 9, оф. 1
+7 (495) 725-24-80
Телефон/факс: +7 (495) 236-01-63,
+7 (495) 607-41-20

НОВОСИБИРСК

630007, Новосибирск,
ул. Коммунистическая,
д.35, корп. 3, офис 13а
Телефон/факс: +7 (383) 328-13-67

ЗЕЛЕНОГРАД

124498, Москва, Зеленоград,
проезд № 4922, дом 4, строение 5
+7 (495) 725-24-80
Телефон/факс: +7 (495) 236-01-63

Научное и аналитическое оборудование для лабораторий



Элементный анализ

- Атомно-эмиссионные спектрометры с индуктивно связанной плазмой
- Масс-спектрометры с индуктивно связанной плазмой
- Атомно-абсорбционные спектрометры
- Оборудование для пробоподготовки



Термический анализ и реология

- Дифференциальные сканирующие калориметры
- Термогравиметрические анализаторы
- Термомеханические и динамические анализаторы
- Микрокалориметры
- Анализаторы теплофизических параметров
- Реометры

Молекулярный анализ



- ИК-Фурье спектрометры и ИК микроскопы
- КР спектрометры и микроскопы
- Фурье-БИК анализаторы
- УФ./ Вид спектрофотометры
- Настольные ЯМР спектрометры
- БИК анализаторы



Исследование поверхности и наноструктур

- Рентгеновские фотоэлектронные спектрометры
- Атомно-силовые микроскопы
- Оптические и стилусные профилометры
- Нано-ИК и нанотермоанализаторы

• Поставка оборудования • Методическая поддержка • Сервисное обслуживание

Россия:
г. Москва (495) 232-4225
г. Санкт-Петербург (921) 421-0596
г. Екатеринбург (343) 217-9739
г. Новосибирск (383) 335-9635
г. Красноярск (391) 258-0923

Украина: г. Киев (044) 230-2373
Беларусь: г. Минск (29) 650-5657
Центральная Азия: г. Астана (7172) 53-9235, 53-9296
г. Алматы (727) 386-9136, 386-9129
Азербайджан: г. Баку (994 12) 489-5079

НАНО КОМПО ЗИТНЫЕ МАТЕР РИАЛЫ

МАГИСТЕРСКАЯ ПРОГРАММА

по направлениям «Химия» и «Физика»

Куратор магистерской программы:
Предтеченский Михаил Рудольфович, академик РАН

6
O C Si Al
ocsial.com

N* Новосибирский
государственный
университет
*НАСТОЯЩАЯ НАУКА
nsu.ru

Информация о поступлении –
в деканатах ФФ и ФЕН НГУ,
а также по телефону +7 964 5377774
e-mail: khasin.aa@ocsial.com,
golavleva.av@ocsial.com

Надежный сервис и продукты
с сертификатами качества

Качество из Германии –
Made by VACOM®

Инновационная технология AluVaC®

Продукты из алюминия с низкой магнитной проницаемостью
Стабильная вакуумная плотность алюминиевых фланцев типа ConFlat

Вакуумная измерительная техника третьего поколения

VaX linkB: съёмный электронный блок для датчиков серии BARION®

Контроллер **VaX**: одновременное подключение до 45 датчиков



**10⁻ⁿ
mbar**
VACOM®

