



РОССИЙСКИЙ  
ФОНД  
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ



СЕВЕРО-ВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.К. АММОСОВА



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ  
И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ САХА  
(ЯКУТИЯ)

Казанский  
федеральный  
УНИВЕРСИТЕТ



ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ  
И. А. В. РЖАНОВА

Всероссийская конференция с международным участием  
**«СИЛЬНО КОРРЕЛИРОВАННЫЕ ДВУМЕРНЫЕ СИСТЕМЫ:  
ОТ ТЕОРИИ К ПРАКТИКЕ»**

18-23 июня 2018, Якутск, Россия

**2D SYSTEMS OF THE STRONG CORRELATED ELECTRONS:  
FROM FUNDAMENTAL RESEARCH TO PRACTICAL APPLICATIONS**

June 18-23, 2018, Yakutsk, Russia

Russian Foundation for Basic Research  
Ministry of Education and Science of the Russian Federation  
M.K. Ammosov North-Eastern Federal University  
Kazan (Privozhsky) Federal University  
A.V. Rzhanov Institute of Semiconductor Physics SB RAS

## **2D SYSTEMS OF THE STRONG CORRELATED ELECTRONS: FROM FUNDAMENTAL RESEARCH TO PRACTICAL APPLICATIONS**

### **Abstracts**

June 18-23, 2018

**Yakutsk  
2018**

Российский фонд фундаментальных исследований  
Министерство образования и науки Республики Саха (Якутия)  
Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова  
Казанский (Приволжский) федеральный университет  
Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН

## **СИЛЬНО КОРРЕЛИРОВАННЫЕ ДВУМЕРНЫЕ СИСТЕМЫ: ОТ ТЕОРИИ К ПРАКТИКЕ**

Тезисы докладов

Всероссийской конференции с международным участием

18-23 июня 2018 г.

Якутск  
2018

УДК 53

ББК 22.3

**Редакционная коллегия:**

д.ф.-м.н. Ю.М. Григорьев, д.ф.-м.н. Д.А. Таюрский, к.ф.-м.н. Е.П. Неустроев

**Ответственные за выпуск:**

к.т.н. А.Г. Федоров, к.ф.-м.н. Е.П. Шарин

Конференция проведена при финансовой поддержке Российского фонда  
фундаментальных исследований, Проект № 18-02-20054

**Сильно коррелированные двумерные системы: от теории к практике**  
[электронное издание] : тезисы докладов Всероссийской конференции с  
международным участием. 18-23 июня 2018 г. – Якутск : Издательский дом  
СВФУ, 2018. – 1 электрон. опт. диск.

ISBN 978-5-7513-2524-4

*Основная тематика конференции посвящена новым материалам, которые являются неотъемлемой частью развития технологий и определяют их уровень и эффективность. В частности, уникальные свойства таких материалов, появляющиеся благодаря квантовым эффектам, способствовали развитию новой отрасли – квантовых технологий.*

*Материалы сборника представляют интерес для научных работников, преподавателей вузов и студентов, специалистов в области фундаментальных и прикладных исследований.*

УДК 53

ББК 22.3

© Северо-Восточный федеральный

ISBN 978-5-7513-2524-4

университет, 2018

## Содержание

<b>Пленарные доклады</b>	<b>12</b>
<i>Kono K. Nonlinear Dynamics of the Wigner solid on a liquid helium surface . . . . .</i>	12
<i>Антонова И. В. Гетероструктуры на основе графена для гибкой электроники . . . . .</i>	13
<i>Чернозатонский Л. А. Quasi - two - dimensional bilayer materials based on graphene: structures, properties and applications . . . . .</i>	14
<i>Елецкий А. В., Бочаров Г. С., Уваров А. В., Федорович С. Д. Упрочнение стальной поверхности частично восстановленным оксидом графена . . . . .</i>	15
<i>Obraztsova E. D., Rybin M. G., Bykov A. Y., Murzina T. V., Obraztsov P. A., Sorochenko V. R. Graphene for laser applications . . . . .</i>	16
<i>Смагулова С. А. Двухмерные вертикальные Ван - дер - Ваальсовые гете- роструктуры на основе графена и дисульфида молибдена . . . . .</i>	17
<b>Секция I. Графен: новые перспективы применения</b>	<b>18</b>
<i>Аль-Саид Т. Х. К., Першин В. Ф., Воробьев А. М., Галунин Е. В. Техноло- гия двухстадийного дозирования при производстве оксида графена . . . . .</i>	18
<i>Алёхин В. В., Аннин Б. Д., Бабичев А. В., Коробейников С. Н. Собствен- ные колебания и выпучивание графеновых листов . . . . .</i>	19
<i>Блохин А. Н., Сухоруков А. К., Зайцев И. А., Столяров Р. А., Ткачев А. Г. Влияние фторированных графеновых нанопластинок на физико - ме- ханические свойства в полимерном материале . . . . .</i>	20
<i>Бочаров Г. С., Дедов А. В., Елецкий А. В., Федорович С. Д. Влияние углеро- дистого покрытия поверхности на теплофизические свойства поверх- ности . . . . .</i>	21
<i>Буракова Е. А., Мележик А. В., Дьячкова Т. П., Галунин Е. В., Меметов Н. Р., Ткачев А. Г. Создание нанокомпозитов на основе графеновых нанопластинок . . . . .</i>	22
<i>Valishina A. A., Petrova A. V., Nedopekin O. V., Tayurskii D. A. Ab initio ис- следование электронных свойств графеновых структур . . . . .</i>	23
<i>Васильева Ф. Д., Капитонов А. Н., Якимчук Е. А. Анализ свойств суспен- зий графена для 2D печати полученных с использованием электрохи- мического расслоения графита . . . . .</i>	24
<i>Бураков А. Е., Бабкин А. В., Галунин Е. В., Нескоромная Е. А., Мележик А. В., Буракова И. В., Ткачев А. Г. Адсорбция ионов тяжелых метал- лов из водных сред графеновыми наноматериалами . . . . .</i>	25
<i>Gradov O. V., Gradova M. A. 2D systems of the strong correlated electrons as components of fender membrane mimetic systems . . . . .</i>	26

Дьячкова Т. П., Буракова Е. А., Таров Д. В., Хан Ю. А., Чапаксов Н. А., Галунин Е. В., Ткачев А. Г. Модифицирование масляных композиций углеродными наноматериалами . . . . .	27
Евсеев З. И., Попов В. И., Тимофеева Т. Е., Смагулова С. А. Исследование эффекта резистивного переключения в тонких пленках фторида меди . . . . .	28
Жумагалиева Г. Б., Першин В. Ф., Ткачев А. Г., Галунин Е. В., Пасько А. А. Использование стержневой мельницы для получения графено- вого концентрата . . . . .	29
Иванов А. И., Котин И. А., Антонова И. В. Импульсные и стационарные резистивные переключения в материалах на основе фторографена на твёрдых и гибких подложках . . . . .	30
Илькевич Л. В., Копылов А. В., Ткаченко Т. Б., Хохлова Г. П., Барнаков Ч. Н. Получение графена из оксида графена с помощью различных восстановителей . . . . .	31
Иннокентьевна Н. Н., Неустроев Е. П. Влияние плазменной обработки на смачиваемость полимерных пленок . . . . .	32
Хмельницкий И. К., Каленов В. Е., Алексеев Н. И., Лившиц А. О., Брайко А. П., Лагош А. В., Багрец В. С. Электроды из амино - функциона- лизированного графена для ионных полимерных актиоаторов . . . . .	33
Paddubskaya Alesia, Batrakov Konstantin, Kuzhir Polina, Stepanov Andrey, Remnev Gennady, Kaplas Tommi, Svirko Yuri Problems of radiation tolerance of supported graphene in view of its THZ performance . . . . .	34
Kurkina I. I., Smagulova S. A., Antonova I. V. Фторированная графеновая сuspension: создание, свойства и перспектива применения . . . . .	35
Кустов Д. А., Небогатикова Н. А., Антонова И. В., Голяшов В. А., Кох К. А., Терещенко О. Е. Тонкие пленки Bi <sub>2</sub> Se <sub>3</sub> для создания ван-дер- ваальсовых гетероструктур . . . . .	36
Ляшеева Е. В., Александров Г. Н. Исследования гибкого резистивного дат- чика влажности на основе оксида графена . . . . .	37
Маматова А. А., Садыкова О. Г., Глебов А. А. Квантово - химический рас- чет энергии адсорбции атома свинца на поверхности графена . . . . .	38
Мыреев А. В., Федоров А. Г., Винокуров П. В. Синтез кластерных нано- структур . . . . .	39
Небогатикова Н. А., Кащеев А. С., Антонова И. В., Смагулова С. А. Нано- структурирование пленок CVD-графена путем облучения быстрыми тяжелыми ионами . . . . .	40
Николаев Д. В., Попов В. И., Трофимова А. А., Слепцов Н. О., Тимофеев В. Б., Смагулова С. А. Графеновые пленки как основа для создания гибких прозрачных электродов . . . . .	41

<i>Okotrub A. V., Sysoev V. I., Bulusheva L. G.</i> Micro-supercapacitors based on laser-treated fluorinated graphene films . . . . .	42
<i>Аль-Шиблаеви К. А., Першин В. Ф., Ярцев В. П., Пасько Т. В.</i> Модификация эпоксидной смолы графеном . . . . .	43
<i>Першин В. Ф., Овчинников К. А., Аль-Хило З. А. А., Меметов Н. Р., Ткачев А. Г., Галунин Е. В.</i> Графеновый концентрат для модификации морозостойких пластичных смазок . . . . .	44
<i>Седельникова О. В., Булушева Л. Г., Окотруб А. В.</i> Влияние взаимодействия между наночастицей CDS и графеном на оптический спектр гибридной системы . . . . .	45
<i>Семенихин П. В., Волков М. П., Ионов А. Н., Николаева М. Н.</i> Ферромагнитное поведение полимерного композита с наночастицами графена .	46
<i>Семенова А. А., Винокуров П. В., Смагулова С. А.</i> Исследование свойств гибкого сенсора влажности, созданного на основе восстановленного лазером оксида графена . . . . .	47
<i>Сивцева А. В., Кычкун А. К., Кычкун А. А.</i> Физико-химические свойства модифицированных базальтовых волокон . . . . .	48
<i>Сивцева А. В., Кычкун А. К., Кычкун А. А.</i> Свойства эпоксидного связующего с добавками углеродных нанотрубок . . . . .	49
<i>Сивцева А. В., Емельянова Н. Н.</i> Обработка поверхности углеродных нанотрубок для улучшения свойств композитов . . . . .	50
<i>Таров Д. В., Меметов Н. Р., Дьячкова Т. П., Таров А. В., Ткачев А. Г., Шубин И. Н.</i> Совершенствование процесса получения графеновых материалов с высокоразвитой поверхностью для введения в композиты .	51
<i>Тимофеева Т. Е., Винокуров П. В., Попов В. И., Смагулова С. А., Неуструев Е. П.</i> Применение вейвлет-преобразования к анализу 2D пика Рамановского спектра трёхслойного графена . . . . .	52
<i>Тимофеева Т. Е., Егорова М. Н., Томская А. Е., Смагулова С. А.</i> Квантохимический расчет энергетических и оптических спектров графеновых квантовых точек с краевой функционализацией . . . . .	53
<i>Тихонов Р. С., Шарин Е. П.</i> Электронные свойства графена, донированного атомами бора . . . . .	54
<i>Ткачев С. В., Корнилов Д. Ю., Рычагов А. Ю., Ким В. П., Чеглаков А. В., Геллер М. М., Журавлев В. В., Губин С. П.</i> Графен компании ООО «АККО ЛАБ» и его применение . . . . .	55
<i>Толчков Ю. Н., Михалева З. А., Малютина Е. И., Слодзъян Р. Д. А.</i> Применение графеноподобных наноматериалов в качестве модифицирующих структур композитов строительного назначения . . . . .	56

<i>Томская А. Е., Егорова М. Н., Смагулова С. А.</i> Исследование электрических свойств пленок углеродных точек легированных азотом и бором	57
<i>Чернов А. И., Федотов П. В., Образцова Е. Д.</i> Создание полос графена из молекул фталоцианинов . . . . .	58
<i>Шавелкина М. Б., Наумкин А. В., Переяславцев А. Ю.</i> Построение графена с помощью плазмы и его особенности . . . . .	59
<i>Шарин Е. П.</i> Ab initio исследование электронных свойств фторированного графена . . . . .	60
<i>Щегольков А. В., Парамонова Н. В., Хробак А. В., Щегольков А. В. (м.л.), Ткачев А. Г.</i> Влияние графеноподобных структур на эффект саморегулирования температуры в электропроводящем полимерном материале . . . . .	61
<i>Ягубов Б. С., Столляров Р. А., Меметов Н. Р., Блохин А. Н., Горшкова А. Р., Московка М. М.</i> Наномодифицированные электропроводящие клеевые композиции на основе полихлоропренового каучука . . . . .	62
<i>Yakimchuk E. A., Nebogatikova N. A., Kotin I. A., Antonova I. V.</i> New dielectric material for printing technology based on graphene functionalization . . . . .	63
<b>Секция II. Оптоэлектроника и биосенсоры на основе 2D материалов 64</b>	
<i>Антонова И. В., Котин И. А., Попов В. И., Смагулова С. А.</i> Гибкие печатные сенсоры влажности на основе композита графен - PEDOT: PSS . . . . .	64
<i>Александров Г. Н., Неустроев Е. П.</i> Степень тушения флуоресценции и условия синтеза суспензий оксида графена . . . . .	65
<i>Боякинов Е. Ф., Захаркина Е. И., Семенова А. А., Винокуров П. В., Смагулова С. А., Григорьев Ю. М., Хриковини К.</i> Структурные свойства двумерного MoS <sub>2</sub> , синтезированного по методу CVD на Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (0001) . . . . .	66
<i>Винокуров П. В., Смагулова С. А.</i> Исследование процессов перезарядки в гетероструктурах на основе кремний - германия с квантовыми ямами . . . . .	67
<i>Винокуров П. В., Тимофеева Т. Е., Смагулова С. А.</i> Исследование энергетических уровней в квантовых ямах в гетероструктурах на основе sige с дельта легированием . . . . .	68
<i>Высоких Ю. Е., Краснобородько С. Ю., Смагулова С. А., Шевяков В. И.</i> Заострение игл кантилеверов для атомно-силовой микроскопии с использованием ионно-лучевого травления . . . . .	69
<i>Dotsenko A. A., Komissarov A. A., Yashin V. A.</i> Halide perovskite-derived for mesoscopic solar cell: electronic structure and XPS spectra . . . . .	70
<i>Егорова М. Н., Томская А. Е., Капитонов А. Н., Смагулова С. А., Алексеев А. А.</i> Исследование квантовых выходов люминесценции углеродных точек синтезированных из этиленгликоля и лимонной кислоты . . . . .	71

<i>Капитонов А. Н., Егорова М. Н., Томская А. Е., Смагулова С. А., Алексеев А. А.</i> Гидротермальный синтез углеродных точек и их люминесценция	72
<i>Комаров И. А., Головин А. В., Смагулова С. А.</i> Биологические сенсоры на основе аптамеров для детектирования маркеров вирусов . . . . .	73
<i>Мамаева С.Н., Максимов Г.В., Антонов С.Р., Неустроев Е.П., Кононова И.В., Захарова Ф.А., Васильев И.В., Павлов А.Н.</i> Изучение морфологии эритроцитов крови при лучевой терапии опухолей с применением методов медицинской физики и нанобиотехнологий . . . . .	74
<i>Неустроев Е. П.</i> Оптические свойства тонкослойного оксида графена мо- дифицированного в плазме . . . . .	75
<i>Obraztsova E. A., Zarubina A. P., Sorokina E. V., Klinov D. V.</i> Carbon and boron nitride nanotubes action on bacterial cells . . . . .	76
<i>Прокопьев А. Р., Неустроев Е. П.</i> Прозрачные оптические антенны на базе углеродных наноматериалов . . . . .	77
<i>Рыбин М. Г., Исламова Б. Р., Образцова Е. Д.</i> Модификация оптических и электрофизических свойств CVD графена . . . . .	78
<i>Семенов С. О., Неустроев Е. П., Саввинова Н. А.</i> Регистрация инфракрас- ных волн с помощью сенсора на основе оксида графена . . . . .	79
<i>Huda K. Hameed</i> Применение коллоидных квантовых точек в катодолюми- несцентных источниках света . . . . .	80
<i>Huda K. Hameed</i> Характеристики фотолюминесценции коллоидных кван- товых точек . . . . .	81
<b>Секция III. Спинtronная и «долинная» электроника, топологические изоляторы и электроны на жидком гелии - путь к квантовым си- муляторам</b>	
<i>O. Heckmann, M. C. Richter, U. Djukic, J.-M. Mariot, W. Wang, I. Vobornik, K. Hricovini</i> Strong resonance of quasi 1D structures at the Bi/InAs(100) interface . . . . .	82
<i>Аксенов В. Л., Никитенко Ю. В., Хайдуков Ю. Н.</i> Нейтронные исследо- вания материалов для спинtronики . . . . .	83
<i>Захаркина Е. И., Семенова А. А., Боякинов Е. Ф., Винокуров П. В., Сма- гулова С. А.</i> Синтез и исследование двумерного MoS <sub>2</sub> , выращенного на SiO <sub>2</sub> методом CVD . . . . .	84
<i>Захаров М. Ю., Бейсенголов Н. Р., Таюрский Д. А., Копо К., Rees D. G.</i> Моделирование плавления квазидномерного электронного кристал- ла в параболическом потенциале . . . . .	85
<i>Захаров Р. Н., Шарип Е. П.</i> Электронные свойства монослоя MoS <sub>2</sub> . . . . .	86

<i>Киямов А. Г., Тагиров Л. Р., Таюрский Д. А., Seidov Z., Widmann S., Krug von Nidda H.-A., Tsurkan V., Loidl A.</i> Колебательные свойства и магнитная теплоемкость линейного цепочечного антиферромагнетика KFeS <sub>2</sub>	87
<i>Кустов Д. А., Небогатикова Н. А., Антонова И. В., Голяшов В. А., Кох К. А., Терещенко О. Е.</i> Тонкие пленки Bi <sub>2</sub> Se <sub>3</sub> для создания Ван-Дерваальсовых гетероструктур	88
<i>Федоров А. Г.</i> Prediction of the structure of non-carbon nanotube WS <sub>2</sub>	89
<i>Шамшур Д. В., Волков М. П., Михайлин Н. Ю., Парфеньев Р. В.</i> Магнитные свойства PbSnTe:In в сверхпроводящем состоянии	90
<b>Секция IV. Другие вопросы физики</b>	<b>91</b>
<i>Алексеев А. А., Гармаева Д. К., Афанасьева С. С.</i> Определение химического состава желчных камней методом ИК-Фурье спектроскопии	91
<i>Bashkuev Yu. B., Dembelov M. G., Buyanova D. G., Naguslaeva I. B., Khaftanov V. B., Melchinov V. P.</i> Особенности распространения ДВ-СВ-КВ радиоволн на Арктических трассах лед-море	92
<i>Vinokurov N. A.</i> Моделирование нейтрального токового слоя межпланетного магнитного поля	93
<i>Vinokurov N. A., Gololobov P. Yu., Petukhova A. S.</i> Зависимость амплитуды Форбуш понижения от параметров магнитного облака	94
<i>Голиков И. А., Гололобов А. Ю., Попов В. И.</i> Моделирование распределения температуры электронов в субавроральной ионосфере для зимних условий	95
<i>Григорьев Ю. М.</i> Кватернионные функции и их приложения в механике сплошных сред	96
<i>Григорьев Ю. М., Борисова М. Н., Харламп'ева С. Г.</i> Индуцированные грозовые перенапряжения в многопроводных линиях передач	97
<i>Ефремова С. А., Ромашенко Ю. А., Крымский Г. Ф.</i> Модель плазменной оболочки замагниченных планет (автомодельный случай)	98
<i>Zhebsain V. V., Popov V. I., Zhebsaina S. M.</i> Исследование модифицированной коры даурской лиственницы методом комбинационного рассеяния света	99
<i>Крылатова С. Р., Яковлев Б. В.</i> Расчет вероятности положения частицы в винтовом пневмосепараторе	100
<i>Леонтьев Н. А.</i> Применение вейвлет для задач распознавания речи	101
<i>Борисова М. Н., Лонгинова В. Я.</i> Грозовые перенапряжения в линии передач в трехслойной среде	102
<i>Марков В. Г., Попов С. В.</i> Противоположные спутные потоки с общими условиями сопряжения	103

<i>Матвеев И. А., Еремеева Н. Г., Степанова С. Д., Яковлев Б. В.</i> Особенности гидравлической крупности плоской частицы . . . . .	104
<i>Маторин Д. Н., Алексеев А. А.</i> Оценка состояния растений при антропогенных загрязнениях флуоресцентными методами . . . . .	105
<i>Мельчинов В. П., Кладкин В. П.</i> Структура мерзлоты в зоне термокарстового провала (п. Батагай) . . . . .	106
<i>Никифорова Л. В., Яковлев Б. В.</i> Теоретическое исследование процесса отсадки при обогащении полезных ископаемых . . . . .	107
<i>Осипов Д. Р., Яковлев Б. В.</i> Динамика формы диска из ковкого металла при изотропной бомбардировке . . . . .	108
<i>Книгуренко С. Р., Петров И. С.</i> Корреляция радиосигнала на частоте 30-35 МГц с энергией и продольным развитием ШАЛ сверхвысоких энергий . . . . .	109
<i>Пиянзина И. И., Таюрский Д. А.</i> <i>Ab-initio</i> моделирование свойств 2D электронной жидкости на интерфейсе между LaAlO <sub>3</sub> и SrTiO <sub>3</sub> . . . . .	110
<i>Попов Н. С.</i> Нелокальные интегро-дифференциальные задачи многомерных диффузионных процессов . . . . .	111
<i>Прокопьев А. В.</i> Обратные задачи идентификации коэффициента параболического уравнения при функции источника . . . . .	112
<i>Прошин Ю. Н., Авдеев М. В., Борисова О. Н., Кутузов А. С., Сираев Ф. М., Туманов В. А.</i> Эффект близости в наноструктурах ферромагнетик-сверхпроводник и сверхпроводящая спин-троника . . . . .	113
<i>Слепцов С. Д., Савинова Н. А., Рубцов Н. А.</i> Радиационно-кондуктивный теплоперенос в плоском слое льда . . . . .	114
<i>Сафонова М. Н., Федотов А. А.</i> Выбор дисперсного упрочнителя в металлической матричной композиции и исследование его гранулометрического состава . . . . .	115
<i>Григорьев Ю. М., Сивцев В. И., Яковлев Б. В.</i> Исследование теплофизических процессов при дроблении руды в условиях Крайнего Севера . . . . .	116
<i>Тимофеев Л. В., Иванов А. А.</i> Регистрация черенковского света на Якутской установке ШАЛ . . . . .	117
<i>Федоров В. Е.</i> Оценка скорости сходимости метода галеркина для неклассического уравнения математической физики . . . . .	118
<i>Яковлев А. М., Григорьев Ю. М.</i> Свойства и некоторые приложения оператора радиального интегрирования . . . . .	119

## Пленарные доклады

### Nonlinear Dynamics of the Wigner solid on a liquid helium surface

Kono K.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Department of Electrophysics National Chiao Tung University, Hsinchu, Taiwan;  
kkono@nctu.edu.tw

<sup>2</sup>RIKEN Center for Emergent Matter Science, Wako, Japan; kkono@riken.jp

Surface state electrons (SSE) on liquid helium realize the clearest 2D Wigner solid (WS) at low temperatures[1]. A localized pressure from each electron of WS to the surface gives rise to a commensurate deformation of the He surface, known as the dimple lattice (DL)[2].

The coupling of the WS with the DL is of a dynamical nature, because of the interference of ripplons emitted by the moving WS. When the velocity of the WS-DL system approaches the phase velocity of ripplons of wavevector equal to the WS periodicity, referred to as  $v_{BC}$ , constructive interference resonantly deepens the DL. Accordingly, the resistive force increases by approaching  $v_{BC}$  so as to regulate the WS velocity at  $v_{BC}$ . However, when the driving force exceeds the restoring force, the WS eventually decouples from the DL. The DL depth can grow more than one order of magnitude deeper at the decoupling point.

Recently, detailed dynamics of WS-DL systems can be studied by employing a micro-fabricated device. By using capillary action, a liquid He channel can be used to support SSE. The resistance of WS on the channel is high enough to sustain a large electric field along the channel so that the decoupling is precisely controlled.

#### REFERENCES

1. Grimes C. C., Adams G. Evidence for a Liquid-to-Crystal Phase Transition in a Classical, Two-Dimensional Sheet of Electrons *Phys. Rev. Lett.*, 1979. V. 42, № 12. Pp. 795–798.
2. Fisher D. S., Halperin B. I. Platzman P. M. Phonon-Rippon Coupling and the Two-Dimensional Electron Solid on a Liquid-Helium Surface *Phys. Rev. Lett.*, 1979. V. 42, № 12. Pp. 798–801.

## **Гетероструктуры на основе графена для гибкой электроники Heterostructures based on graphene for flexible electronics**

**Антонова И. В.**

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

В настоящее время происходит становление электроники монослойных материалов, а именно, бурное развитие технологий получения монослойных материалов, технологических приемов работы с ними, разработка нового дизайна гетероструктур и исследование их свойств, поиск перспектив использования монослойных материалов и приборных структур на их основе. К достоинствам использования монослойных материалов можно отнести принципиальную совместимость с традиционными материалами и технологиями (после проработки некоторых технологических процессов), прорыв в миниатюризации, включая 3D дизайн, возможность управлять электронными свойствами материалов, создавать новые типы гетероструктур, не достижимых другими методами, и многое другое. Развитие гибкой (растягиваемой, сворачиваемой, носимой) электроники с использованием материалов на основе графена, как составной части электроники монослойных материалов, демонстрирует в настоящее время огромный прогресс. В докладе будут рассмотрены последние достижения в развитии гибкой электроники с использованием материалов на основе графена. В том числе, будет обсуждаться наши результаты по созданию гетероструктур графен – фторографен, композитов с использованием фторографена и др. для гибкой, и печатной электроники.

**Квазидвумерные бислойные материалы на основе графена:**

**структуры, свойства и приложения**

**Quasi-two-dimensional bilayer materials based on graphene:**

**structures, properties and applications**

**Чернозатонский Л. А.**

*Институт биохимической физики РАН, Москва, Россия;*

В докладе представлены результаты последних теоретических и экспериментальных исследований новых бислойных материалов на основе графена:

Электронные свойства биграфеновых муаровых структур;

Бислойные материалы на основе биграфена и  $hBN$ /графена, содержащие отверстия с замкнутыми границами – структуры и их свойства;

Эффекты влияния внешних воздействий, таких как механическое напряжение и внешнее поперечное электрическое поле, на электронные свойства бислойных структур;

Перспективы использования бислойных материалов на основе графена в наноэлектронике и оптоэлектронике.

**Упрочнение стальной поверхности частично восстановленным оксидом графена**

**Reinforcement of a steel surface with partially reduced graphene oxide**

**Елецкий А. В., Бочаров Г. С., Уваров А. В., Федорович С. Д.**

*Национальный исследовательский университет " МЭИ ", Москва, Россия;*  
*Eletskii@mail.ru*

Развита методика термического восстановления оксида графена. В качестве исходного материала используется бумагоподобная пленка оксида графена, полученная стандартным методом Хаммерса. Образцы такой пленки размером примерно  $15 \times 10 \text{ mm}^2$  толщиной 40 – 60  $\mu\text{m}$  подвергались термообработке при различных температурах, что приводило к частичному восстановлению оксида графена и сопровождалось ростом проводимости этого материала. Наибольший скачок проводимости наблюдается при температуре отжига 200 °C, когда проводимость образца возрастает на 5 порядков величины по сравнению с исходным материалом. Полученные образцы частично восстановленного оксида графена использовали для упрочнения стальной поверхности. Процедура упрочнения описана ранее в работах [1], где в качестве упрочняющего покрытия использовались фуллерены  $C_{60}$  и наноуглеродная сажа, образованная в результате электродугового распыления графитового электрода с последующей экстракцией фуллеренов. Пленка частично восстановленного оксида графена наносится на стальную поверхность, после чего поверхность подвергается обработке лазерным лучом или электронным пучком. Результаты измерений указывают на увеличение микротвердости обработанной таким образом поверхности, причем глубина упрочненного слоя составляет десятки микрометров.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 16-19-10027).

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Бочаров Г. С., Елецкий А. В., Захаренков А. В. и др. Оптимизация упрочнения стальной поверхности углероднымиnanoструктурами с последующей обработкой высоконинтенсивными источниками. *Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования*. 2018. № 1. С. 33–39.

## Graphene for laser applications

Obraztsova E. D.<sup>1,2</sup>, Rybin M. G.<sup>1,2</sup>, Bykov A. Y.<sup>3</sup>, Murzina T. V.<sup>3</sup>, Obraztsov P. A.<sup>1</sup>, Sorochenko V. R.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> A. M. Prokhorov General Physics Institute, RAS;  
elobr@kapella.gpi.ru

<sup>2</sup> Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny, Moscow Region, Russia;  
<sup>3</sup> M. V. Lomonosov Moscow State University, Physics Department, Moscow, Russia;

Graphene can be efficiently used in optics. The working spectral range of graphene is very wide: our measurements show that absorption of 2.3 % (per 1 layer) extends from 0.4 mkm up to 12 mkm (at least). This property opens a possibility to form the saturable absorbers for mid -IR lasers [1]. Due to a high optical non-linearity graphene can be used for frequency multiplication in lasers [2]. Compactness of graphene saturable absorber provided realization of stable self-starting mode-locking operation of a diode-pumped waveguide Nd:YAG laser that delivers picoseconds pulses at a repetition rate of up to 11.5 GHz with an average power of 12 mW at a central wavelength of 1064 nm [3]. In this work we demonstrate the progress made for lasers of different wavelengths (from 1.5 to 10.5 mkm) with graphene saturable absorbers. The problems and possible further applications are discussed.

The work was supported by RFBR projects 16 - 02 - 00979\_a, 16 - 32 - 60203 mol a dk and RSF project 17 - 72 - 10303.

### BIBLIOGRAPHY

1. Sorochenko V. R. et al Nonlinear transmission of  $CO_2$  - laser radiation by graphene. *Quantum Electronics*. 2012. 42. № 10. P. 907–912.
2. Bykov A. Y. et al Second harmonic generation in multilayer graphene induced by direct electric current. *Phys. Rev. B*. 2012. 85. 121413(R)
3. Obraztsov P. A. et al Multi - gigahertz repetition rate ultrafast waveguide lasers mode-locked with graphene saturable absorbers. *Laser Physics*. 2016. 26. 084008(1-7)

**Двухмерные вертикальные ван-дер-ваальсовые гетероструктуры на основе графена и дисульфида молибдена**  
**Two-dimensional vertical van der waals heterostructures based on graphene and molybdenum disulphide**

Смагулова С.А.

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

В настоящее время большой интерес вызывает синтез двухмерных материалов с полупроводниковыми свойствами. Семейством таких двухмерных полупроводников являются дихалькогениды переходных металлов. Среди них наиболее интересны MoS<sub>2</sub>, WS<sub>2</sub>, которые являются фоточувствительными в диапазоне видимого света, что делает их перспективными для создания солнечных элементов. Двухмерные пленки MoS<sub>2</sub>, WS<sub>2</sub> обладают рядом уникальных свойств такими, какими обладают графеновые пленки, прочностью, прозрачностью, гибкостью. В настоящее время во всем мире растет интерес к гибкой электронике. Гибкая электроника предлагает создание совершенно новых электронных устройств, в том числе гибких солнечных элементов. В качестве прозрачных электродов перспективно использовать гибкие графеновые пленки, которые с успехом могут заменить оксиды индия и олова.

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

Работа проведена в рамках госзадания МОН РФ «Ведущие исследователи на постоянной основе» № 16.6824.2017/6.7, грант РФФИ № 18 - 42 - 140005 р\_а.

## **Секция I. Графен: новые перспективы применения**

### **Технология двухстадийного дозирования при производстве оксида графена**

**Two-step feeding technology for graphene oxide manufacturing**

**Аль-Саяд Т. Х. К., Першин В. Ф., Воробьев А. М., Галунин Е. В.**

*Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия;*  
*pershin.home@mail.ru*

Часто при промышленном производстве оксида графена используют способ окисления графита действием  $\text{KMnO}_4$  в концентрированной серной кислоте. При промышленной реализации данной технологии необходимо непрерывно и весьма точно дозировать порошок  $\text{KMnO}_4$ . Для достаточно масштабного производства производительность непрерывного дозатора составляет порядка  $0,03 \text{ г с}^{-1}$ , однако на сегодня отсутствуют серийно выпускаемые дозаторы, способные обеспечить эту производительность. Для решения данной проблемы была использована разработанная ранее технология двухстадийного дозирования. На первой стадии формируются отдельные порции сыпучего материала весом  $\Delta P$ , которые через равные промежутки времени  $\Delta T$  подаются в специальное устройство, а на второй стадии эти порции преобразуются в непрерывный поток. Повышение точности непрерывного дозирования обеспечивается тем, что взвешивание отдельных порций осуществляется в статическом состоянии и на весовой датчик не действуют динамические нагрузки. С целью дальнейшего повышения точности непрерывного дозирования учитывали ошибку, совершенную при формировании порции материала на предыдущем шаге. Установлено, что даже при уменьшении производительности питателя более, чем в десять раз, погрешность в определении веса порции находится в диапазоне от 0,25 до 1 %. При малом весе порции погрешность увеличивается. Суть предлагаемого решения заключается в том, что если вес предыдущей порции равен  $\Delta P + \delta P$ , то очередная порция формируется с заданным весом  $\Delta P + \delta P$ . Результаты экспериментов подтвердили наши предположения и точность дозирования повысилась на 50 %.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (Соглашение № 14.577.21.0253, 2017; Уникальный идентификатор ПНИ RFMEFI 57717X0253).

## Собственные колебания и выпучивание графеновых листов Natural vibrations and buckling of graphene sheets

Алёхин В. В.<sup>1</sup>, Аннин Б. Д.<sup>1</sup>, Бабичев А. В.<sup>2</sup>, Коробейников С. Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск,  
Россия; annin1@hydro.nsc.ru

<sup>2</sup>ФГБУН Институт нефтегазовой геологии и геофизики имени А. А. Трофимука СО  
РАН, Новосибирск, Россия;

Методом молекулярной механики исследуются задачи о собственных колебаниях и выпучивании графеновых листов [1]. Для описания изгибной деформации наряду с парным и трехчастичным взаимодействием вводится четырехчастичное взаимодействие, при котором учитывается энергия выхода частицы из плоскости, определяемой тремя другими частицами.

Рассмотрен лист графена, состоящий из 464 атомов, близкого к квадрату. Задача динамического выпучивания графенового листа решалась прямым численным интегрированием уравнений движения с возмущающими силами.

Из результатов расчетов по динамическому выпучиванию графенового листа следует, что и критические значения перемещений, и формы выпучивания существенно зависят от скорости заданных перемещений края листа. При меньшей скорости заданных перемещений форма выпучивания листа близка к классической эйлеровой форме выпучивания упругого стержня в условиях статического деформирования, а при сравнительно высокой скорости заданных перемещений в начальной стадии послекритического деформирования реализуются формы выпучивания с высшими гармониками, характерными для динамического выпучивания упругого стержня.

Другой подход содержится в [2].

### ЛИТЕРАТУРА

1. Алёхин В. В., Аннин Б. Д., Бабичев А. В., Коробейников С. Н. Собственные колебания и выпучивание графеновых листов. *Доклады академии наук*. 2013. Т. 453, № 1. С. 37–40.
2. Морозов Н. Ф. Товстик П. Е., Товстик Т. П. Континуальная модель деформации графена. *Вестник СПбГУ. Сер. 1.* 2014. Т. 1, № 59. С. 134–143.

**Влияние фторированных графеновых нанопластиноок на  
физико - механические свойства в полимерном материале**  
**The effect of fluorinated graphene nanoplatelets on the physical  
and mechanical properties in a polymer material**

Блохин А. Н., Сухоруков А. К., Зайцев И. А., Столяров Р. А., Ткачев А. Г.

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия;  
cha-cha@rambler.ru

В настоящей работе были исследованы физико-механические характеристики эпоксидной смолы марки ВФЕ-170 на основе Бисфенола F и влияние фторированных графеновых нанопластиноок (ГНП) в качестве наполнителя, так как ГНП обладают развитой поверхностью, уникальными механическими свойствами, высокой термической стабильностью, тепло- и электропроводностью. В качестве наполнителя были использованы фторированные ГНП, которые дают возможность улучшить их совместимость с полимерными матрицами различной природы за счет увеличения поверхностной энергии, которой можно управлять в зависимости от поставленной задачи и среды, где они будут применяться.

Использование фторированных ГНП приводит к существенному возрастанию физико-механических характеристик эпоксидных композитов. Так как фторирование увеличивает поверхность ГНП, что дает лучшее сродство наполнителя с матрицей. Наиболее эффективным является содержание 0,1 масс % фторированных ГНП в эпоксидном композите, при этом достигаются максимальные прочностные характеристики: разрушающее напряжение при растяжении возрастает более чем в 1,5 раза, модуль упругости при растяжении возрастает на 40 %, разрушающее напряжение при изгибе возрастает в 1,5 раза, модуль упругости при изгибе возрастает на 60 % по сравнению с ненаполненным композитом.

## **Влияние углеродистого покрытия поверхности на теплофизические свойства поверхности**

## **Influence of carbon-surface coating of the surface on thermophysical properties of the surface**

**Бочаров Г. С., Дедов А. В., Елецкий А. В., Федорович С. Д.**

*Национальный исследовательский университет "МЭИ Москва, Россия";  
BocharovGS@mail.ru*

Выполнены эксперименты по исследованию влияния наноуглеродного покрытия на скорость теплообмена стальной поверхности с потоком жидкости. В качестве исходных образцов использовались шары из нержавеющей стали диаметром 39 мм. Один из шаров обладал технически гладкой поверхностью. На поверхность другого шара наносился мелкодисперсный наноуглеродный порошок, образованный в результате плазмо-термического распыления графитового электрода с последующей экстракцией фуллеренов. Стальная поверхность с нанесенным наноуглеродным покрытием подвергалась электронно-лучевой обработке. При охлаждении в недогретой до насыщения воде на обоих исследованных образцах возникает режим интенсивного теплообмена при пленочном кипении с тепловыми потоками на поверхности до  $6 \text{ MW/m}^2$ . Выполненные измерения показывают, что охлаждение идентичных по геометрическим характеристикам сферических образцов из нержавеющей стали в недогретой воде проходит качественно одинаково независимо от состояния поверхности. Переход к режиму интенсивного охлаждения на шаре с наноуглеродным покрытием наступает при более низких температурах поверхности, чем на шаре с технически гладкой поверхностью; это означает более длительное время охлаждения при устойчивом пленочном кипении [1]. Наноуглеродное покрытие способствует росту температуры поверхности и интенсификации режима охлаждения, тогда как сам режим интенсивного охлаждения идентичен для образцов с разной обработкой поверхности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №16-19-10531).

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Yagov V. V., Lexin M. A., Zabirov A. R., Kaban'kov O. N. Film boiling of subcooled liquids. Part I: Leidenfrost phenomenon and experimental results for subcooled water. *Int. J. Heat Mass Transf.* 2016. V. 100. P. 908–917.

## **Создание нанокомпозитов на основе графеновых нанопластинонок**

### **Development of nanocomposites on the basis of graphene nanoplatelets**

**Буракова Е. А., Мележик А. В., Дьячкова Т. П., Галунин Е. В., Меметов Н. Р.,  
Ткачев А. Г.**

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО "Тамбовский государственный технический университет г. Тамбов,  
Российская Федерация; elenburakova@yandex.ru

С точки зрения промышленного производства нанокомпозитных материалов наиболее выгодным способом их получения был бы синтез с использованием дисперсий графеновых нанопластинонок (ГНП), стабилизованных с помощью ПАВ. Но для этого необходимо решить проблему получения высококонцентрированных дисперсий ГНП и удаления ПАВ из конечного продукта. В данной работе рассмотрена возможность использования в процессе синтеза нанокомпозитных материалов на основе углеродныхnanoструктур реакционноспособных ПАВ, молекулы которых могут быть химически связаны с другими компонентами исследуемой системы. При диспергировании ГНП в качестве реакционноспособного ПАВ использовали фенолоформальдегидную смолу.

Предварительные исследования показали, что использование такой смолы в качестве ПАВ позволяет увеличить концентрацию наночастиц в растворе на два порядка. Именно модифицирование ГНП фенолоформальдегидной смолой улучшает их совместимость с эпоксидными смолами, а также способствует их хорошему распределению в водной системе. В определенных условиях (при понижении pH) высококонцентрированные растворы ГНП, модифицированных фенолформальдегидной смолой, проявляют эффект, подобный золь-гель переходу, благодаря чему появляется возможность синтеза различных гибридных нанокомпозитных материалов.

Работа выполнена в рамках Федеральной целевой программы “Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы, Соглашение 14.577. 21.0253 (Уникальный идентификационный номер RFMEFI 57717X0253).

## Ab initio исследование электронных свойств графеновых структур

### Ab initio study of electronic properties of graphene structures

Valishina A. A.<sup>1</sup>, Petrova A. V.<sup>1</sup>, Nedopekin O. V.<sup>1</sup>, Tayurskii D. A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Laboratory for computer design of new material, Kazan (Volga region) Federal University,  
Kazan, Russia;  
valishinalina@gmail.com*

Graphene is the first representative of two-dimensional atomic crystals and has amazing properties, each of which surpasses the similar properties of competitor materials [1]. However, graphene is a semimetal with a zero band gap, its use in electronics and optics is limited. It is interesting to note that the possibility of combining dichalcogenides of transition metals, such as molybdenum disulphide MoS<sub>2</sub>, and graphene significantly expands the field of application of these systems, where both finite band-gap and high carrier mobility are needed.

The geometric and electronic structures of graphene adsorption on MoS<sub>2</sub> monolayer have been studied by using density functional theory with the corrections for the van der Waals interaction. The interface between graphene and MoS<sub>2</sub> is modeled by using a supercell, where 5x5 lateral periodicity of the graphene and 4x4 lateral periodicity of the MoS<sub>2</sub> monolayer were employed, which includes the 2% lattice mismatch [2]. A band structure of the hybrid system seems to be a superposition of each constituent: the linear dispersion bands of graphene appear in the large energy gap of MoS<sub>2</sub>. We putted the heterostructure to biaxial deformations (1-2%) such as compression and extension. It was found that the mechanical deformations increased the conductivity of graphene/MoS<sub>2</sub> and reduced the value of band gap.

#### BIBLIOGRAPHY

1. Geim A. K., Novoselov K. S. The rise of graphene. *Nature materials*. 2007. V. 6, № 3. P. 183.
2. Ma Y. et al. Graphene adhesion on MoS<sub>2</sub> monolayer: An ab initio study. *Nanoscale*. 2011. V. 3, № 9. P. 3883–3887.

## **Анализ свойств супензий графена для 2D печати полученных с использованием электрохимического расслоения графита**

**Analysis of properties of graphene dispersions for 2D printing obtained by electrochemical exfoliation of graphite**

**Васильева Ф.Д.<sup>1</sup>, Капитонов А.Н.<sup>1</sup>, Якимчук Е.А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Северо-Восточный Федеральный университет, Якутск, Россия; dorush21@mail.ru

<sup>2</sup>Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Новосибирск, Россия;

Благодаря своим уникальным свойствам, графен является перспективным материалом для широкого круга применений, в том числе и для печатной электроники. Супензии графена и восстановленного оксида графена (GO) востребованы для создания проводящих слоев для 2D и 3D печати. В настоящее время активно разрабатываются технологии получения супензий и чернил из этих материалов. Печатные технологии представляют собой дешевый подход, альтернативный по отношению к технологиям, основанным на использовании литографии, позволяющий создавать электронные компоненты приборных устройств.[1,2]

В данной работе рассмотрен достаточно простой способ получения супензий окисленного графена для 2 D печати с использованием электрохимического расслоения графитового электрода в водном растворе неорганических солей - сульфат аммония и тетраборат натрия в сочетании с ультразвуком, диспергатором и центрифугированием. Представлен анализ сравнения структурных и электрофизических характеристик полученных образцов.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Gambhir S., Jalili R., Officer D.L, Wallace G.G. Chemically converted graphene: scalable chemistries to enable processing and fabrication. *NPG Asia Materials*. 2015. V. 7, e186
2. Li J., Lemme M.C., Ostling M Inkjet printing of 2D layered materials. *Chem Phys. Chem.*. 2014. Т. 15, С. 3427–3434.

**Адсорбция ионов тяжелых металлов из водных сред  
графеновыми наноматериалами**

**Adsorption of heavy metal ions from aqueous media on  
graphene-based nanomaterials**

**Бураков А. Е., Бабкин А. В., Галунин Е. В., Нескоромная Е. А., Мележик  
А. В., Буракова И. В., Ткачев А. Г.**

*ФГБОУ ВО "Тамбовский государственный технический университет", г. Тамбов,  
Российская Федерация; evgeny.galunin@gmail.com*

In the present work, experimental studies were carried out to determine effective parameters of the adsorption of heavy metal ions ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ , and  $\text{Cr}^{2+}$ ) from aqueous solutions under static conditions at room temperature using graphene oxide (GO) and composite materials on its basis – polyamine cumulene/graphene (PAC/G) and polyquinone/graphene (PQ/G).

The following results (adsorption parameters) were obtained after the studies performed:

- **GO:** adsorption time – 20 min (for all the metal ions), and adsorption capacity – 60, 26, and  $5.5 \text{ mg g}^{-1}$  (for  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ , and  $\text{Cr}^{2+}$ , respectively);
- **PAC/G:** adsorption time – 30 min, adsorption capacity –  $25.8 \text{ mg g}^{-1}$  (for  $\text{Cu}^{2+}$ );
- **PQ/G:** adsorption time – 30 min, adsorption capacity –  $40 \text{ mg g}^{-1}$  (for  $\text{Cu}^{2+}$ ).

According to the experimental data, more than 90 % of the adsorption capacity was achieved in the first 20 min of the interaction between the GO and the heavy metal solutions. The equilibrium of the system was reached at the same time, regardless of the extracted component and the degree of adsorption. The PAC/G and PQ/G also exhibited fairly high adsorption capacity values for the heavy metal ions in comparison with conventional materials. Thus, the research results confirmed the promising application of graphene-based nanomaterials for removing heavy metal ions from aqueous media, which is very important from an environmental point of view (e.g., water treatment purposes).

The work was carried out within the framework of the project part of State Assignment of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation No. 16.1384.2017/PCh.

## **2D systems of the strong correlated electrons as components of fendler membrane mimetic systems**

**Gradov O. V.<sup>1</sup>, Gradova M. A.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*N.N. Semenov Institute of Chemical Physics of Russian Academy of Sciences, Moscow,  
Russia; o.v.gradov@gmail.com*

<sup>2</sup>*Institute of Energy Problems of Chemical Physics of Russian Academy of Sciences, Moscow,  
Russia;*

Since the pioneering works of the founder of membrane mimetic chemistry Janos H. Fendler it is known that a number of atomic or molecular clusters and films (including nanoscale ones) are capable of mimicking the membrane functions. Membrane mimetic materials can be either soft matter or solid state materials. Conducting films (including those with magnetic properties) and semiconductors are also known to possess membrane mimetic properties. If we consider the agent exchange through the membrane in the operator form, the chemical composition of the membranes and their models, as well as the difference between the atomic and molecular clusters or layers become not so essential, and hence, membrane mimetic chemistry of nano and mesostructures do not differ significantly within the agent-based approach.

The prospects of application of graphene and related structures as the membrane mimetic materials, capable of reproducing several biomembrane functions up to the certain limit, are analyzed in the series of our papers (see [1,2] etc.). This paper considers the possibility of the ion channel function modeling using graphene and its derivatives. The physical mechanisms providing selective permeability for different membrane mimetic materials, as well as the limits of the adequate simulation of the transport, catalytic, sensing and electrogenic properties of the cell membrane ion channels using bilayered graphene-based structures are discussed.

### **BIBLIOGRAPHY**

1. *Gradov O. V. Can graphene bilayers be the membrane mimetic materials?* *Radioelectronics. Nanosystems. Information Technologies..* 2016. Vol. 8, № 1. P. 25–38.
2. *Gradov O. V., Gradova M. A. Can graphene bilayers be the membrane mimetic materials? " Ion channels " in graphene-based nanostructures.* *Radioelectronics. Nanosystems. Information Technologies..* 2016. Vol. 8, № 2. P. 154–170.

## **Модификация масляных композиций углеродными наноматериалами**

### **Modification of oil compositions with carbon nanomaterials**

**Дьячкова Т. П., Буракова Е. А., Таров Д. В., Хан Ю. А., Чапаксов Н. А.,  
Галунин Е. В., Ткачев А. Г.**

*ФГБОУ ВО "Тамбовский государственный технический университет г. Тамбов,  
Российская Федерация; dyachkova\_tp@mail.ru*

Применение углеродных наноматериалов (нанотрубок – УНТ, графеновых нанопластинок – ГНП) в составе смазочных материалов способствует улучшению их физико - механических характеристик. При этом к повышению эффективности углеродных нанодобавок приводит их коллоидная стабилизация в масляных дисперсиях. В данной работе в качестве такой среды было выбрано индустриальное масло И-20А. Для усиления взаимодействия с ним УНТ и ГНП подвергались функционализации титан-стеаратными группами, остатками высших карбоновых кислот (стеариновой и олеиновой), а также газофазного озонирования. Распределение углеродного наномодификатора в масле осуществлялось посредством УЗ-обработки в течение 5 мин. Было установлено, что наиболее эффективным способом функционализации наноматериалов с позиций повышения их коллоидной устойчивости в масле И-20А является пришивка титан-стеаратных групп. Эффективные размеры агломератов как непосредственно после диспергирования, так и через месяц и более не превышают 0,5 мкм.

Работа поддержана Минобрнауки России в рамках Соглашения 14.577. 21.0253; Уникальный идентификатор работ (проекта) RFMEFI 57717X0253.

## Исследование эффекта резистивного переключения в тонких пленках фторида меди

### Investigation of resistive switching in thin films of copper fluoride

Евсеев З. И.<sup>1</sup>, Попов В. И.<sup>2</sup>, Тимофеева Т. Е.<sup>3</sup>, Смагулова С. А.<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Северо-Восточный Федеральный Университет им. М.К. Аммосова, Якутск,  
Россия; Zakevseev@gmail.com

Большинство современных теорий связывают эффект резистивного переключения с миграцией ионов в толще активного материала, таким образом, значительную роль играет подвижность ионов [1]. Подвижность ионов, в свою очередь, зависит от заряда и размера эффективного сечения иона [2]. Большинство, наиболее активно исследуемых материалов с эффектом резистивного переключения являются оксидами различных металлов, переключение в которых достигается за счет миграции вакансий кислорода и создания проводящих каналов из металла [3]. Замена кислорода на ион с меньшим зарядом и эффективным сечением позволит увеличить скорость быстродействия мемристоров. Например, эффективный радиус сечения иона фтора меньше чем иона кислорода – 1,36 и 1,4 соответственно, а так же заряд иона фтора вдвое меньше, чем заряд иона кислорода. В данной работе был впервые обнаружен и исследован эффект резистивного переключения в тонких пленках фторида меди. Тонкие пленки меди были получены обработкой пленок хлорида меди в плазме гексафторида серы (SF<sub>6</sub>). При исследовании вольт-амперных характеристик образцов, был обнаружен гистерезис, характерный для эффекта резистивного переключения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Zhongrui W., Mingyi R., et al. Threshold Switching of Ag or Cu in Dielectrics: Materials, Mechanism, and Applications. *Advanced functional materials*. 2017. № 28. C. 1704862.
2. Rozanov R. Yu., Kondrashov V. A., at al. Characteristics of Chloride Memristors Based on Nanothick Metal Films. *Mikroelektronika*. 2016. T. 45, № 1. C. 29-35.
3. Karg S. F., Meijer G. I., at al. Transition-metal-oxide-based resistance-change memories. *IBM J. Res. Dev.*. 2008. № 52. C. 481-492.

## **Использование стержневой мельницы для получения графенового концентрата**

### **Using a rod drum mill for graphene masterbatch production**

**Жумагалиева Г. Б., Першин В. Ф., Ткачев А. Г., Галунин Е. В., Пасько А. А.**

*Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия;*  
*pershin.home@mail.ru*

В настоящей работе приводятся результаты исследования процесса приготовления графенового концентрата в стержневой мельнице за счет высокоградиентных сдвиговых воздействий на смесь масляной основы и многослойного графена или кристаллического графита. Графеновыеnanoструктуры получали в стержневой мельнице, в которой стержни не врачаются относительно собственных осей, а скользят по внутренней поверхности барабана.

Установлено, что при концентрациях до 2 % многослойный графен достаточно равномерно распределяется в масле и образует однородную структуру. При больших концентрациях значительно увеличивается вязкость концентрата, что требует увеличения диаметра стержней и отрицательно оказывается на интенсивности сдвиговых воздействий в результате уменьшения числа зон сдвига. При использовании в качестве жидкой фазы водного раствора глицерина установлено, что в результате обработки концентрата в стержневой мельнице уменьшается среднее количество слоев в графеновых nanoструктурах, о чем свидетельствует повышение устойчивости водной суспензии обработанного графена. Т.е., имеет место сдвиговая эксфолиация. В результате обработки смеси водного раствора глицерина и графита в стержневой мельнице в течение 50 ч установлено, что часть графита переходит в многослойный графен, о чем свидетельствует повышение устойчивости водной суспензии. Была также проведена обработка смеси индустриального масла с графитом в стержневой мельнице. Установлено, что уменьшение в 2 раза коэффициента трения наблюдается при содержании 1 % стандартного концентрата или 10-15 % концентрата, полученного из графита.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (Соглашение №. 14.577.21.0253, 2017; Уникальный идентификатор ПНИ RFMEFI 57717X0253).

**Импульсные и стационарные резистивные переключения в материалах на основе фторографена на твердых и гибких подложках**

**Pulsed and stationary resistive switching in fluorographene-based materials on solid and flexible substrates**

**Иванов А. И.<sup>1</sup>, Котин И. А., Антонова И. В.**

<sup>1</sup>*Институт Физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН, Новосибирск,  
Россия; aiivanov@isp.nsc.ru, antonova@isp.nsc.ru*

Мемристоры - устройства памяти, функционирующие на основе эффекта резистивных переключений, привлекают всё большее внимание, благодаря простоте структуры, низкому энергопотреблению, низким управляющим напряжениям, а также энергонезависимому и долгому сохранению информации. Было обнаружено, что пленки фторированного графена демонстрируют резистивные переключения. Преимуществом резистивной памяти на их основе является стабильность материала и возможность создавать структуры на твердых и гибких подложках при комнатной температуре и используя 2D печатные технологии. В работе рассмотрены резистивные переключения в структурах на основе пленок частично фторированного графена (ЧФГ) наnanoструктурированных пленках поливинилового спирта и композита ПФГ с наночастицами  $\text{VO}_x$  (в основном  $\text{V}_2\text{O}_5$ ). В первом случае, наблюдался устойчивый эффект переключений с изменением сопротивления на один – два порядка. Времена длительности импульсов напряжения, достаточные для переключения, находятся в диапазоне от 100 нс до 10 мкс. Анализируется механизм переключения сопротивления и кинетики перезарядки локализованных состояний. Во втором случае, наблюдается устойчивый резистивный эффект переключения величиной до восьми порядков. Величина переключений зависит от толщины слоев, площади структур и способа их создания. Проводились измерения эффекта переключений в стационарном и импульсном режимах подачи напряжения. Длительность импульсов напряжения достаточная для переключения лежит в диапазоне от 1 мкс до 10 мкс. Сравниваются свойства структур на твердых и гибких подложках.

## **Получение графена из оксида графена с помощью различных восстановителей**

### **Preparation of graphene from graphene oxide using various reducing agents**

**Илькевич Л. В.<sup>1\*</sup>, Копылов А. В.<sup>2</sup>, Ткаченко Т. Б.<sup>2</sup>, Хохлова Г. П.<sup>1</sup>, Барнаков Ч. Н.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, Кемерово, Россия;*  
\* lida1193@mail.ru

<sup>2</sup> *ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», Кемерово, Россия;*  
\* dt\_kem@mail.ru

Восстановление оксида графена можно осуществить либо термической деструкцией кислородсодержащих групп, либо под действием сильных восстановителей. В нашей работе был использован для восстановления оксид графена, полученный из пенографита, модифицированным методом Хаммерса [1].

Восстановление оксида графена гидразином – гидратом мы проводили в присутствии аммиака, варьируя время восстановления от 3 до 24 часов, предварительно обработав суспензию оксида графена ультразвуком (УЗ). Восстановление аскорбиновой кислотой проводили в течении 1 часа с предварительной УЗ обработкой. О восстановительной способности материалов судили по атомному соотношению O/C, которое находилось в пределах от 0,18- 0,24%, что согласуется с работой [2].

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Hummers W. S., Offeman R. E. Preparation of graphitic oxide. *Journal of the American Chemical Society*. 1958. Т. 80, № 6. С. 1339.
2. Арбузов А. А., Мурадян В. Е., Тарасов Б. П. Синтез графеноподобных материалов восстановлением оксида графита. *Известия Академии Наук*. 2013. Т. 6, № 9. С. 1962.

## **Влияние плазменной обработки на смачиваемость полимерных пленок**

### **Influence of plasma treatment on the wettability of polymer films**

**Иннокентьева Н. Н.<sup>1</sup>, Неустроев Е. П.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia; dina-knopka@mail.ru

Одним из часто используемых методов обработки поверхности является плазменная обработка. Так как низкотемпературная плазменная обработка влияет только на поверхность образцов, что позволяет модифицировать поверхности образцов, в частности, полимеров. Было исследовано воздействие плазменной обработки в кислороде и аргоне на поверхностные свойства полимерных пленок. Для исследования были использованы 3 типа полимерных пленок разной толщины: полиэтилентерефталатная (ПТ) пленка, полипропиленовая (ПР) однослойная пленка, поликарбонатный (ПС) лист. Образцы были обработаны при различных расходах газов от 20 до 80 см<sup>3</sup>/мин., при мощности индуктивного источника плазмы 100 Вт и напряжении 100 В ёмкостного источника плазмы. Время обработки составляла 1 мин. Для проверки смачиваемости были нанесены по 20 мкл воды, подкрашенной перманганатом калия, на поверхности каждого из образцов. Из полученных результатов обнаружено, что смачиваемость ПТ пленки зависит от скорости потока и соотношения компонентов в смеси газов. С увеличением количества аргона угол смачивания уменьшается и пленка из гидрофобного состояния переходит в гидрофильное. Для остальных образцов тоже наблюдается снижение угла смачиваемости, но зависимость имеет более сложный характер. В работе проводится обсуждение полученных результатов.

## **Электроды из амино - функционализированного графена для ионных полимерных актиоаторов**

### **Amino-functionalized graphene electrodes for ionic polymer actuators**

**Хмельницкий И. К., Каленов В. Е., Алексеев Н. И., Лившиц А. О., Брайко А. П., Лагош А. В., Багрец В. С.**

*Санкт-Петербургский электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Российская Федерация; khmelnitskiy@gmail.com*

Создание проводящих гибких электродов для актиоаторов на основе ионных электроактивных полимеров является актуальной задачей. В качестве альтернативы металлическим электродам могут использоваться материалы на основе графена. Однако при переносе восстановленного оксида графена (ОГ) на поверхность Nafion, оказалось, что пленка обладает плохой адгезией. Для решения этой проблемы можно использовать композиты графена с проводящими полимерами или модифицировать сами частицы графена, химически привив к ним катионные группы, например, амино-группы [1].

Суспензия амино-функционализированного восстановленного оксида графена (АВОГ) была получена аминированием и последующим восстановлением ОГ. Нанесение электродов из АВОГ на мембрну Nafion 117 с двух сторон производили методом вакуумной фильтрации. Полученные электроды были охарактеризованы методами РЭМ, ИК-Фурье спектроскопии и РСМА. Исследование полученных преобразователей с электродами из АВОГ в качестве микромеханических сенсоров и актиоаторов показало более высокую эффективность и долговечность, чем в случае ВОГ, за счет лучшей адгезии электродов к мемbrane.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (№ 16-19-00107).

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. *Khmelnitskiy I.K., Livshitz A.O., Alekseyev N.I. et al. Soft ionic electroactive polymer actuators and sensors with graphene / polyaniline nanocomposite electrodes. Proceedings of ElconRus 2018. C. 429–433.*

**Проблема радиационной стойкости графена на подложке и  
устойчивости его ТГЦ свойств при радиационном облучении**  
**Problems of radiation tolerance of supported graphene in view  
of its THZ performance**

Paddubskaya Alesia, Batrakov Konstantin, Kuzhir Polina<sup>1</sup>, Stepanov Andrey,  
Remnev Gennady<sup>2</sup>, Kaplas Tommi, Svirko Yuri<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Institute for Nuclear Problems of Belarusian State University, Minsk, Belarus;*  
*polina.kuzhir@gmail.com*

<sup>2</sup>*Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia; remnev06@mail.rus2*

<sup>3</sup>*Institute of Photonics, University of Eastern Finland, JOENSUU, Finland;*  
*yuri.svirko@uef.fi*

Being motivated by importance of the THz radiation for fundamental astrophysics we examine- the possibility to use graphene in passive THz components for space applications by investigating how 80 ns-long 290 keV ion pulses comprising of 30% hydrogen and 70% of carbon ions at of density  $1.5 * 10^{12}$  atoms per cm<sup>2</sup> can change the THz response of the graphene/PMMA sandwiches. By using THz and Raman spectroscopy we demonstrate that free standing graphene possesses outstanding radiative resistance, whereas graphene supported by dielectric slabs shows a lower tolerance against ionizing radiation. Such a deterioration of the graphene radiative resistance is due to (i) destructive contribution of low-energy recoil atoms and (ii) formation of the gas bubbles at the graphene/dielectric interface and their explosions that lead to snapping off upper graphene layers. This difficulty can be overcome by replacing PMMA and SiO<sub>2</sub> with radiation stable sapphire, silicon and SiC, in which high-energy ions have a longer mean free pass.

The reported study was supported by RFBR, research project No. 17-38-50050 mol\_nр, H2020 Project ID 644076 MSCA-RISE-2014 Programme CoExAN. The experiment on irradiation of graphene/polymer sandwiches are carried out at Tomsk Polytechnic University within the framework of Tomsk Polytechnic University Competitiveness Enhancement Program grant.

## **Фторированная графеновая суспензия: создание, свойства и перспектива применения**

### **Fluorinated graphene suspension: creation, properties and perspective of application**

Kurkina I. I.<sup>1\*</sup>, Smagulova S. A.<sup>1</sup>, Antonova I. V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, Якутск, Россия;  
\*i.i.kurkina@s-vfu.ru

<sup>2</sup> Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова, Новосибирск, Россия.

Ожидается, что гибкая электроника станет одной из активно развивающихся областей исследований в ближайшие годы. Актуальной задачей становится создание и исследование наноматериалов, механическая прочность и гибкость которых сочетались бы с электрическими проводящими или диэлектрическими свойствами. Графен является одним из наноматериалов, который может удовлетворить данным требованиям в качестве проводящих материалов. А его химическая производная - фторированный графен - может выступать в качестве диэлектрических слоев и покрытий.

В настоящей работе фторированный графен (ФГ) был получен путем фторирования графеновой дисперсии в водном растворе плавиковой кислоты. Выявлено, что время фторирования графеновой дисперсии определяется размерами исходных графеновых чешуек. Пленки, созданные из частично фторированной графеновой суспензии, демонстрировали отрицательное дифференциальное сопротивление, появление которого мы связываем с формированием в пленках мультибарьерной системы ФГ/графен. Впервые были исследованы свойства графеновых пленок с разной степенью фторирования на гибких подложках из полиэтилентерефталата (PET) и полиимидной пленки (Kapton) до и после деформации при изгибе.

Результаты получены в рамках выполнения гос.задания Минобрнауки России (№ 16.286.2017/7.8) и при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта (№ 17-32-50033) «мол-нр»

## Тонкие плёнки $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ для создания ван-дер-ваальсовых гетероструктур

Thin films  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  perspective for van-der-vaals heterostructures

Кустов Д. А.<sup>1</sup>, Небогатикова Н. А.<sup>1,2</sup>, Антонова И. В.<sup>1-3</sup>, Голяшов В. А.<sup>2</sup>, Кох К. А.<sup>4</sup>, Терещенко О. Е.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия;

<sup>2</sup>Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН

<sup>3</sup>Новосибирский государственный технологический университет

<sup>4</sup>Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН

daniel-kustov@yandex.ru, nadonebo@gmail.com, antonova@isp.nsc.ru,  
vladimirgolyashov@gmail.com, k.a.kokh@gmail.com, teresh@isp.nsc.ru

Селенид висмута ( $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ ) обладает свойствами топологического изолятора, при этом наибольший интерес для спиновой электроники представляют тонкие слои  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ .

Целью данной работы были получение тонких пленок  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  и исследование их электрических и структурных свойств. Для формирования пленок были использованы следующие подходы: а) CVD-рост на поверхности слюды и б) электрохимическое расщепление объемного селенида висмута с последующим переносом на подложки окисленного кремния  $\text{SiO}_2/\text{Si}$ . Структурные свойства пленок были исследованы методами АСМ-микроскопии и спектроскопии комбинационного рассеяния света. Характерные размеры отщепленных пленок составляли 10-100 мкм в длину и 2-10 нм в толщину, толщина выращенных пленок составляла от 4 нм до ~200 нм в зависимости от условий роста. В работе была исследована зависимость электрических свойств пленок от их толщины и способа получения. Показано, что CVD-выращенные пленки  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  толщиной 4 нм являются непроводящими. При этом отщепленные пленки той же толщины демонстрировали удельное сопротивление ~4-20 кОм/кв и подвижность носителей заряда ~10-50 см<sup>2</sup>/Вс.

Полученные в работе пленки  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  являются перспективными для создания на их основе вертикальных гетероструктур.

## Исследования гибкого резистивного датчика влажности на основе оксида графена

### Research of the flexible humidity sensor based on graphene oxide

Ляшева Е. В.<sup>1</sup>, Александров Г. Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Российская Федерация; g\_alexandrov@mail.ru

Изготовлены гибкие сенсорные структуры из термовосстановленного оксида графена (ОГ), полученного модифицированным методом Хаммерса [1]. В качестве подложки была использована прозрачная полиэстеровая пленка, подвергнутая плазмохимическому травлению кислородом в смеси с аргоном для придания гидрофильности подложке и увеличения адгезии ОГ к подложке.

Термовосстановление пленки ОГ на гибкой подложке проводилось в течение одного часа при температуре 150°C и вакууме 0,0001 атмосферы.

Исследуемый резистивный датчик на основе оксида графена и промышленно выпускаемый цифровой датчик DHT11 были подключены соответственно к аналоговому и цифровому входам платформы Ардуино УНО и помещены в камеру влажности.

Сопротивление термовосстановленного оксида графена уменьшается с ростом относительной влажности воздуха и увеличивается при уменьшении. Это объясняется тем, что с увеличением влажности количество молекул воды, проникающих в пленку ОГ растет и способствует высвобождению катионов водорода карбоксильных групп, приводящих к уменьшению сопротивления [2].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Неустроев Е. П., Александров Г. Н. Воздействие низкотемпературного термовосстановления на физико-химические свойства оксида графена. *Вестник Северо-Восточного федерального университета им. МК Аммосова*. 2015. Т. 50, № 6. С. 87–94.
2. Bi H. Ultrahigh humidity sensitivity of graphene oxide. *Scientific reports*. 2013. Т. 3, С. 2714.

**Квантово - химический расчет энергии адсорбции атома свинца на поверхности графена**  
**Quantum-chemical calculation of the adsorption energy of the Pb atom on the graphene surface**

Маматова А.А.<sup>1</sup>, Садыкова О.Г.<sup>2</sup>, Глебов А.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Казанский Федеральный Университет, Казань, Россия; [mamatovaalinka@mail.ru](mailto:mamatovaalinka@mail.ru)

<sup>2</sup> Объединенный Институт Ядерных Исследований, Дубна, Россия;

[issaeva@theor.jinr.ru](mailto:issaeva@theor.jinr.ru), [glebov.atth@gmail.com](mailto:glebov.atth@gmail.com)

Химическое взаимодействие между адсорбатом (ионом металла) и электродом может изменять размер запрещенной зоны графена, что может быть эффективно использовано для создания биосенсоров. Целью исследования является определение селективности графена по отношению к иону свинца. Для этого проводились расчеты энергии адсорбции свинца на поверхность графена (модельная система) методами теории функционала плотности (DFT) с использованием функционала BP86 и базиса def2-TZVP в программном пакете ORCA[1]. Поскольку добавление иона металла влияет на электронные свойства смоделированной системы, было рассмотрено три варианта расположения атома адсорбата над графеном: H-site – расположение иона свинца в центре гексагонального кольца, B-site – расположение иона свинца в центр С-С связи, T-site – расположение иона свинца непосредственно на вершине атома углерода [2]. Моделирование проводились с полной и частичной оптимизацией геометрических параметров. Расчеты проводились для модельных систем графена: 3 x 3 и 5 x 5 – число гексагональных колец в двух направлениях. Расчеты показали, что оптимальным расположением иона свинца над поверхностью графена является B-site. Так как энергия адсорбции системы с Pb<sup>4+</sup> больше энергии адсорбции системы с Pb<sup>2+</sup>, то комплекс (ион Pb<sup>4+</sup> и графена) является более стабильным.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Neese F. O1. The ORCA program system. *Computational Molecular Science*. Год. 2012 Т. 2, № 1. С. 73–78.
2. Nakada K. O1., Ishii A. O2. *DFT Calculation for Adatom Adsorption on Graphene* [Электронный ресурс]. Город: Издательство, год.

## Синтез кластерных наноструктур Synthesis of cluster nanostructures

Мыреев А. В., Федоров А. Г., Винокуров П. В.

<sup>1</sup> Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия;  
arkadiy.myreev@mail.ru

В настоящее время двумерные неуглеродные нанотрубки (ННТ) и экспериментально, и теоретически изучены недостаточно полно. Зачастую опубликованные данные не согласуются между собой. Поэтому разработка новых методик и синтез ННТ является перспективным направлением. Из работ [1] известно, что при синтезе двумерных структур CVD-процессом возможно синтезировать, как слои так и нанотрубки. Но для синтеза нанотрубок CVD-процессом, в большинстве случаев применяются катализаторы [2].

В данной работе рассматривается вопрос синтеза ННТ без применения катализаторов CVD-процессом.

Как показали результаты экспериментальных исследований, некоторые синтезированные образцы  $MoS_2$  имеют схожую геометрию (по изображениям, полученным с помощью оптического микроскопа x100) с ННТ представленные в работах [3].

### ЛИТЕРАТУРА

1. Alex J. Boson , Alexander Sinitskii Chemical Vapor Deposition of Two-Dimensional Materials and Heterostructures University of Nebraska-Lincoln. 2017. P. 10–12
2. Alan M. Cassell, Jeffrey A. Raymakers, Jing Kong, and Hongjie Dai Large Scale CVD Synthesis of Single-Walled Carbon Nanotubes. Department of Chemistry. 1999. P. 6–10.
3. Mengting Weng, Meiqi Zhang, Takashi Yanase, etc. Catalytic chemical vapor deposition and structural analysis of  $MoS_2$  nanotubes. HDivision of Applied Chemistry. Japan, 2018. P. 2–4.

**Наноструктурирование пленок CVD-графена путем  
облучения быстрыми тяжелыми ионами**  
**Nanostructuring of CVD-graphene films by swift heavy ions  
irradiation**

Небогатикова Н. А.<sup>1,2</sup>, Кащеев А. С.<sup>2</sup>, Антонова И. В.<sup>1,2,3</sup>, Смагулова С. А.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН, Новосибирск, Россия;  
nadonebo@gmail.com

<sup>2</sup>Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия;  
kas154723@gmail.com

<sup>3</sup>Новосибирский государственный технологический университет, Новосибирск, Россия;  
antonova@isp.nsc.ru

<sup>4</sup>Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, Якутск, Россия;  
smagulova@mail.ru

Практическое применение графена сильно ограничивается отсутствием у него запрещенной зоны в электронном спектре. Одним из возможных решений данной проблемы является наноструктурирование. При наноструктурирования пленок традиционными подходами практически всегда возникает проблема ухудшения электрических свойств структур. В данной работе было проведено наноструктурирование графена при помощи облучения быстрыми тяжелыми ионами. При взаимодействии облучающих ионов с облучаемым графеном в пленках локально выделяется большое количество энергии. Согласно расчетам, температура в облученных областях на небольшие отрезки времени ( $10^{-12}$ - $10^{-11}$  с) может достигать 1500-3000 К. В результате, в слоях происходит локальный и кратковременный отжиг. В настоящее время ведутся работы по созданию и характеризации пленок CVD-графена облученных в различных условиях (температура облучения, тип и энергия ионов, разные виды подложки). Для изучения влияния облучения тяжелыми ионами высоких энергий на свойства графеновых CVD-слоев используется широкий набор современных экспериментальных методик (ACM, КРС, электрические измерения, температурная зависимость проводимости).

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Стипендии Президента (СП-5416.2018.2) и РФФИ (18-32-00449).

**Графеновые пленки как основа для создания гибких прозрачных электродов**  
**Graphene films as basis for creating flexible transparent electrodes**

Николаев Д. В., Попов В. И., Трофимова А. А., Слепцов Н. О., Тимофеев  
В. Б., Смагулова С. А.

*Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Российская  
Федерация; dv.nikolaev@s-vfu.ru*

Одним из перспективных направлений развития современной электроники является создание гибких устройств – экранов, смартфонов, солнечных панелей, различных сенсоров и т.п. Графен, наряду с углеродными нанотрубками, в этом направлении может занять нишу, которую в настоящее время занимает оксид индия-олова (ITO) – прозрачные электроды. В отличие от ITO, графен является гибким и прочным материалом, который должен сохранять свои свойства после многократных механических деформаций.

В докладе будут представлены результаты по синтезу, переносу и исследованию пленок графена методом химического газофазного осаждения (CVD). Данный метод позволяет синтезировать графеновые пленки, ограниченные только площадью катализирующей металлической подложки - медной фольги. Метод ламинации, предложенный для переноса CVD - графена на прозрачную полимерную пленку, позволяет получать гибкие проводящие пленки.

Набор параметров этих пленок - поверхностное сопротивление, подвижность носителей заряда, прозрачность и гибкость, должен соответствовать требованиям для применения в оптоэлектронике, в частности, для изготовления сенсорных экранов для различных гибких электронных устройств.

Работа выполнена в рамках госзадания МОН РФ «Ведущие исследователи на постоянной основе» (№ 16.6824.2017/6.7).

## Micro-supercapacitors based on laser-treated fluorinated graphene films

Okotrub A. V., Sysoev V. I., Bulusheva L. G.

Nikolaev Institute of Inorganic Chemistry SB RAS, Novosibirsk, 630090, Russia  
spectrum@niic.nsc.ru

The rapid development of electronic devices has increased necessity of high power micro-supercapacitors. Graphene materials have been ideal material platform for constructing flexible electronic; its  $2D$  structure, high specific area and good conductivity are attractive for energy storage devices. Wafer-scalable routes of fabricating nanostructure materials could significantly enhance the performance of micro-supercapacitors. Exploring a new method to fabricate graphene films with is a key for flexible electronic devices to achieve higher performance. The fluorinated graphite with composition  $C_2F$  was synthesized using low temperature fluorination by  $BrF_3$  from natural graphite. Suspension of fluorinated graphite in toluene was used to produce films having a thickness of  $1 - 10\text{ mm}$ . The  $C_2F$  films were prepared on polymeric substrates and in free standing forms. Conductive films of few-layered fluorinated graphene have been produced on the film surface using a one-step process of the exfoliation and partial reduction of the graphite derivatives. They had a high resistance and became conductive after UV irradiation. In the present work, we used irradiation of  $380 - nm$  low power laser in order to convert fluorographene film into graphene. The changes in the microstructure and conductivity were found to depend on the radiation dose. Pattern of microelectrodes was drawing by UV laser and supercapacitors properties of these elements were measured for different acid electrolytes. The change of chemical states of capacitor surface under electrical charging was controlled by XPS and NEXAFS in situ measurements. Produced electrode material with high electrical conductivity and flexibility is useful for energy storage devices without binders or conductive additives. We reveal an influence of structural features and functional composition of graphene material on electrochemical performance of in-plane microsupercapacitors. Obtained materials showed tunable electrochemical performance, which reaches  $0.28\text{ mF/cm}^2$  at  $0.8\text{ mV/s}$  comparable with graphene ink and reduced graphene oxide materials.

## **Модифицирование эпоксидной смолы графеном**

### **Modification of epoxy resin using graphene**

**Аль-Шиблави К. А., Першин В. Ф., Ярцев В. П., Пасько Т. В.**

*Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия;*  
*tpasko@yandex.ru*

Одним из перспективных направлений является модифицирование эпоксидных смол графеновымиnanoструктурами. В данной работе при модифицировании эпоксидной смолы использовался малослойный графен (3–5 слоев). Концентрация графена изменялась от 0,05 до 0,5 масс.%. Особое внимание в процессе приготовления модифицированной эпоксидной смолы уделялось равномерному распределению графена в общей массе смолы или отвердителя, т.к. от этого во многом зависит эффективность модификации.

В качестве промежуточного растворителя использовался изопропиловый спирт. По-степенная замена воды спиртом, смешивание спиртовой суспензии графена с эпоксидной смолой и выпаривание излишков спирта не приводит к агломерации графеновых nanoструктур. Графен был получен усовершенствованным методом Хамерса и, как следствие, был достаточно сильно окислен.

Из модифицированной смолы изготавливались стандартные образцы и определялись предельные напряжения при растяжении, ударная вязкость и модуль при изгибе. По сравнению с образцами из чистой эпоксидной смолы все указанные характеристики улучшились не менее, чем на 30 % при концентрациях графена 0,1 масс.% и более. Наиболее сильное увеличение наблюдалось для величины ударной вязкости.

Испытания на сжатие показали, что разрушение образцов из чистой эпоксидной смолы происходит внезапно по плоскости, наклоненной примерно под углом 45° к нормальному сечению. Таким образом, в данных образцах разрушение происходит за счет среза. В образцах из модифицированной эпоксидной смолы сначала появлялись трещины и лишь потом происходило разрушение. Кроме этого, усилилось сцепление между эпоксидной смолой и стекловолокном, что дает основание рассчитывать на улучшение эксплуатационных характеристик модифицированного композита.

**Графеновый концентрат для модификации  
морозостойких пластичных смазок**

**A graphene masterbatch for modification of frost-resistant  
plastic lubricants**

Першин В. Ф.<sup>1</sup>, Овчинников К. А.<sup>2</sup>, Аль-Хило З. А. А.<sup>1</sup>, Меметов Н. Р.<sup>1</sup>,  
Ткачев А. Г.<sup>1</sup>, Галунин Е. В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО "Тамбовский государственный технический университет г. Тамбов,  
Российская Федерация; pershin.home@mail.ru

<sup>2</sup>АО "Всероссийский научно-исследовательский институт по переработке нефти г.  
Москва, Российская Федерация; k.ovchinnikoff@gmail.com

В настоящей работе представлены результаты исследования модификации пластичных смазок малослойным и многослойным графеном. В качестве жидкой основы использовали диоктилсебацинат, масла ПАОМ-4 и ВМГЗ, кремнийорганическую жидкость ПМС, лапрол 503Б и 502. В результате проведенных исследований построены зависимости кажущейся вязкости жидкой основы от концентрации графена и установлено, что вязкость графенового концентрата достигает вязкости пластичной смазки при 9–11 масс.% для малослойного графена и 5–8 масс.% для многослойного. Модификацию пластичной смазки проводили в два этапа. Сначала готовили графеновые концентраты с содержанием многослойного графена от 5 до 8 масс.%, а малослойного от 8 до 11 масс.%. Далее смешивали графеновый концентрат с базовой пластичной смазкой. Содержание концентрата варьировалось от 0,7 до 7 масс.%, что соответствовало концентрации графена в пластичной смазке от 0,05 до 0,5 масс.%. Получены зависимости изменения указанных трибологических характеристик от концентрации графена в пластической смазке. Установлено, что при концентрации графена 0,1 % и более диаметр пятна износа уменьшается не менее, чем на 50 %, индекс задира увеличивается почти в 3 раза, а несущая способность увеличивается в 4 раза.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (Соглашение №. 14.577.21.0253, 2017; Уникальный идентификатор ПНИ RFMEFI 57717X0253).

**Влияние взаимодействия между наночастицей CDS и  
графеном на оптический спектр гибридной системы**  
**Interaction of CDS nanoparticle and graphene: optical  
properties of CDS/graphene hybrids**

Седельникова О. В., Булушева Л. Г., Окотруб А. В.

*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия;*  
*o.sedelnikova@gmail.com*

В последнее время особое внимание уделено исследованию оптических характеристик гибридных материалов на основе графена, декорированного квантовыми наночастицами. Такие системы сочетают свойства квантовых точек, обеспечивающих эффективное взаимодействие материала с падающим электромагнитным излучением видимого диапазона, и графена, материала с высокой проводимостью. Данная работа посвящена теоретическому исследованию интерфазных взаимодействий между наночастицей *CdS* и графеном и их влиянию на оптические свойства гибридной системы. Расчеты выполнены в рамках приближения локальной плотности, частотная зависимость диэлектрической проницаемости рассчитывалась в рамках приближения случайных фаз. Частица *CdS* располагалась в 3 Å над центром суперячейки графена размерностью 8x8 элементарных ячеек. Анализ плотности электронных состояний и дисперсии электронных уровней указывает на перекрытие орбиталей графена и *CdS*. При совпадении ориентаций гексагонов графена и *CdS* в спектре оптического поглощения гибридной системы подавляется пик, связанный с межзонным переходом  $p_z(S) \rightarrow p_z(Cd)$ , что было объяснено взаимодействием между электронами атомов серы на поверхности частицы *CdS* и  $\pi$ -орбиталями атомов углерода.

О.В. Седельникова благодарит за поддержку стипендию Президента РФ СП-3530.2016.1.

**Ферромагнитное поведение полимерного композита с  
наночастицами графена**  
**Ferromagnetic behavior of the polymer composite with  
graphene nanoparticles**

Семенихин П. В.<sup>1</sup>, Волков М. П.<sup>1</sup>, Ионов А. Н.<sup>1</sup>, Николаева М. Н.<sup>2</sup>,

<sup>1</sup> ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Политехническая 26, 194021 Санкт-Петербург, Россия;  
petr3295@gmail.com

<sup>2</sup> Институт высокомолекулярных соединений, Большой пр. В.О. 31, 199004  
Санкт-Петербург, Россия;

В настоящее время полимерные композиты с включениями наночастиц представляют большой научный интерес [1].

В данной работе исследовались свойства восстановленных из оксида графена одно- и многослойных графеновых наночастиц, которые были внедрены в полистирол двумя способами: механически, как наполнитель и непосредственно при полимеризации, с образованием ковалентных связей.

Магнитные свойства графеновых наночастиц в полистироловой матрице изучались с помощью вибрационного магнитометра в диапазоне полей  $-10 \text{ T} < H < 10 \text{ Тл}$  и в интервале температур  $5 \text{ K} < T < 400 \text{ К}$ . В независимости от способа приготовления образцов, в обоих случаях на полевых зависимостях магнитной восприимчивости наблюдались ферромагнитные петли, вплоть до комнатных температур. Однако, проведённые исследования электронного парамагнитного резонанса в диапазоне температур от 2.7 до 100 К продемонстрировали только парамагнитное поведение, полученная, по данным зависимость магнитной восприимчивости от температуры соответствовала закону Кюри.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. S. Kango, S. Kalilab, A. Celli, J. Njuguna, Y. Habibi, R. Kumar Surface modification of inorganic nanoparticles for development of organic-inorganic nanocomposites—A review. *Progress in Polymer Science*. Год. 2013 № 38. С. 1232–1261.

**Исследование свойств гибкого сенсора влажности, созданного на основе восстановленного лазером оксида графена**  
**Investigation of the properties of flexible humidity sensor based on reduced graphene oxide by laser irradiation**

Семенова А. А.<sup>1</sup>, Винокуров П. В.<sup>1</sup>, Смагулова С. А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Северо-восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, г. Якутск, Россия;  
aizhan7enova@mail.ru

Графен и его производные, благодаря их чувствительности к различным атомам и молекулам внешней среды, являются перспективными материалами для создания высокочувствительных сенсоров. Лазерное восстановление оксида графена (ОГ) является наиболее перспективным методом для создания элементов электронных приборов.

Созданы и исследованы сенсоры влажности на основе оксида графена с применением восстановления лазерными излучениями с длинами волн 435 нм и 788 нм. В качестве подложки для пленок оксида графена использовалась гибкая полиэстеровая бумага. Восстановленная лучом лазера проводящая часть ОГ, имела темный цвет на фоне пленки ОГ желтого цвета. В качестве рабочей части сенсора, адсорбирующую молекулы воды выступала область ОГ между электродами. Рабочий элемент сенсора влажности представлял собой гребенчатую структуру и был одинаков для обоих типов лазерного воздействия. Проведены исследования зависимости сопротивления пленок ОГ, восстановленных разными лазерами, от влажности окружающей среды. Обнаружен эффект гистерезиса в графиках зависимости сопротивления от влажности. Исследовано влияние света на сопротивление элементов сенсора влажности. Исследовано влияние защитной пленки на характеристики сенсора влажности. Обнаружено, что защитная пленка уменьшает гистерезис и влияние света на сопротивление структур. В работе обсуждены различия процессов взаимодействия молекул воды с оксидом графена и частично восстановленным оксидом графена.

Работа проведена в рамках госзадания МОН РФ «Ведущие исследователи на постоянной основе» (№ 16.6824.2017/6.7).

## **Физико-химические свойства модифицированных базальтовых волокон**

### **Physico-chemical characteristics of modified basalt fibers**

**Сивцева А. В.<sup>1</sup>, Кычкин А. К.<sup>1</sup>, Кычкин А. А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *ФГБУН Институт физико-технических проблем Севера СО РАН, Якутск, Российская Федерация; sianva@yandex.ru*

При проектировании конструкционного полимерного материала необходимо провести комплексный подбор компонентов композита, выбор технологии производства, способов наномодификации матрицы и армирующего базальтового волокна, которые должны быть направлены на повышение физико - механических и технологических свойств получаемого композиционного материала.

Для достижения этих целей необходимо провести фундаментальные исследования по разработке методологических, физико-химических принципов создания базальтовых композитов. Одним из решений, приводящей к улучшению свойств ПКМ на основе базальтового волокна может являться применение наномодификаторов для поверхностной обработки армирующих волокон и матрицы в единой комбинации, для повышения химической межмолекулярной и полярной связи между ними, которая позволит повысить прочность адгезии и стойкость материала в агрессивных средах и воде.

Для однонаправленных базальтопластиков в основном прочностные свойства определяет армирующий материал. В качестве армирующего наполнителя для исследований выбран базальтовый ровинг марки РБН 13-2400-4С производства ООО «ТБМ» (г. Покровск, Республика Саха), изготовленный из сырья Васильевского месторождения. В настоящей работе проведены исследования физико-химических характеристик базальтовых волокон, модифицированных разными наполнителями.

Работа выполнена в рамках программ фундаментальных исследований СО РАН на 2017–2020 гг. (№ III.28.1.2. Б. 3).

## **Свойства эпоксидного связующего с добавками углеродных нанотрубок**

### **Properties of epoxy binder with the addition of carbon nanotubes**

**Сивцева А. В.<sup>1</sup>, Кычкин А. К.<sup>1</sup>, Кычкин А. А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>ФГБУН Институт физико-технических проблем Севера СО РАН, Якутск,  
Российская Федерация; sianva@yandex.ru

Среди известных классов конструкционных полимерных материалов ( ПКМ ), значительное несоответствие условиям монолитности наблюдается у пластиков на основе высокопрочных волокон. Все известные на сегодняшний день связующие не позволяют реализовать все прочностные свойства волокон в базальтопластиковом конструкционном материале. Это затрудняет их широкое применение в высокопрочных конструкциях и указывает на необходимость проведения исследований в области повышения прочностных свойств как матрицы, так и базальтоволокнистого наполнителя.

Сегодня самыми распространенными в производстве пластиков являются эпоксидные связующие, обладающие необходимыми для переработки технологическими характеристиками и высокими в отверженном состоянии прочностными свойствами. Однако развитие науки и техники требует для создания перспективных изделий применения новых композиционных материалов с улучшенными техническими параметрами.

В качестве исходного связующего рассматривается эпоксидное связующее ЭДИ, основу которого составляет эпоксидиановая смола ЭД-22, отверждаемая изо - метилтетрагидрофталевым ангидридом (изо МТГФА) в присутствии ускорителя 2,4,6 - три( диметиламинометил ) фенола (УП-606/2). Изо МТГФА используется в качестве отвердителя «горячего» отверждения эпоксидных смол и составов на их основе. В настоящей работе проведены исследования свойств эпоксидианового связующего с добавками одностенных углеродных нанотрубок комплексом физико-химических методов.

Работа выполнена в рамках программ фундаментальных исследований СО РАН на 2017–2020 гг. (№ III.28.1.2. Б.3).

**Обработка поверхности углеродных нанотрубок для  
улучшения свойств композитов**  
**Surface treatment of carbon nanotubes to improve the  
properties of composites**

**Сивцева А. В.<sup>1</sup>, Емельянова Н. Н.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ФГБУН Институт физико-технических проблем Севера СО РАН, Якутск,  
Российская Федерация; sianva@yandex.ru

<sup>2</sup>ФГБУН Институт геологии алмаза и благородных металлов, Якутск, Российская  
Федерация; sianva@yandex.ru

Основная проблема, возникающая при попытке повышения механических характеристик полимеров в результате добавления углеродных нанонаполнителей, связана с необходимостью обеспечения передачи усилия от полимерной матрицы к внедренным в нее нанотрубкам.

Для этого используется разнообразное химическое воздействие на поверхность углеродных нанотрубок (УНТ), которое используется для модификации границ раздела между молекулами полимера и УНТ. В результате такой обработки на поверхностях УНТ формируются функциональные группы. В зависимости от природы обрабатывающих веществ были обнаружены улучшения механической прочности, увеличение твердости, термической стабильности и т.д.

Для улучшения связей между наполнителем и матрицей была проведена предварительная функционализация УНТ в смеси серной и азотной кислот в течении 2 ч., в соответствии с методикой, приведенной в работе [1]. После функционализации модификаторы были введены в полимерную матрицу. Проведены исследования физико-химических характеристик обработанных образцов.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Захарычев Е. А., Семчиков Ю. Д., Разов Е. Н., Москвичев А. А. Исследование влияния степени функционализации на некоторые свойства многослойных углеродных нанотрубок. *Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского*. 2013. Т. 1, № 1. С. 100–104.

**Совершенствование процесса получения графеновых материалов с высокоразвитой поверхностью для введения в композиты**

**Improving the process of obtaining graphene materials with a highly developed surface area for introduction into composites**

Таров Д. В.<sup>1</sup>, Меметов Н. Р., Дьячкова Т. П., Таров А. В., Ткачев А. Г., Шубин И. Н.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО "Тамбовский государственный технический университет г. Тамбов,  
Российская Федерация; d\_tarov@mail.ru

Проанализированы известные в технике методы получения графеновых нанопластинонок (ГНП) различной структуры и их достоинства, и в качестве оптимального способа получения малодефектных ГНП, выбрано интеркалирование природного (кристаллического) графита пероксосульфатными соединениями холодным расширением (эксфолиацией) полученных соединений с последующим удалением интеркаланта и эксфолиацией под действием ультразвука в различных условиях. Показано, что эксфолиация расширенных интеркалированных соединений графита позволяет получать ГНП с толщиной менее 10 графеновых слоев. Выбор оптимальных ПАВ и условий ультразвуковой обработки позволяет получать наиболее тонкие ГНП (3–5 графеновых слоев). Оптимальным способом эксфолиации расширенных соединений графита является гидролитическое деинтеркалирование с последующей эксфолиацией ультразвуком или в роторно-импульсном аппарате. Разработана методика модификации поверхности многослойных ГНП стеаратом титана, что обеспечивает получение гидрофобной поверхности наночастиц и их хорошую совместимость с неполярными средами.

**Применение вейвлет-преобразования к анализу 2D пика  
Рамановского спектра трёхслойного графена**  
**Application of the wavelet transform to the analysis of the  
Raman 2D peak of tri-layer graphene**

Тимофеева Т. Е., Винокуров П. В., Попов В. И.,  
Смагулова С. А., Неустроев Е. П.

*Северо-Восточный федеральный университет, Якутск, Россия titamara2013@mail.ru*

Для обнаружения и анализа внутренней структуры 2D пика Рамановского спектра графена предложен подход, основанный на применении вейвлетов. В результате проведенного непрерывного вейвлет-анализа 2D пика Рамановского спектра двух- и трехслойного графена визуализированы составные компоненты пика, определены их число и положения. У двухслойного графена обнаружено четыре компонента, как предсказывает теория двойного резонанса. Определенные значения положений этих компонент подтверждают экспериментальные данные. Установлено, что для трёхслойного графена с Берналовской упаковкой ABA 2D полоса состоит из 5 компонентов, что подтверждает расчетные предсказания, выполненные расширенным методом сильной связи и экспериментальные данные J. Park, M. Дрессельхауз. Рамановский 2D пик трехслойного графена с ромбодрической упаковкой ABC имеет 6 компонент, что подтверждает традиционные результаты заполнения экспериментальных 2D пиков лоренцианами. Положения лоренцианов трехслойного графена в целом совпадают с экспериментальными подгоночными данными. Незначительные расхождения в положении лоренцианов можно объяснить влиянием шероховатости кремниевой подложки и несовершенством методов теоретического расчета.

**Квантохимический расчет энергетических и оптических спектров графеновых квантовых точек с краевой функционализацией**

**Quantum-chemical calculation of energy and optical spectra of edge-functionalized graphene quantum dots**

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

Северо-Восточный федеральный университет, Якутск, Россия titamara2013@mail.ru

Графеновые квантовые точки (ГКТ) синтезируют из оксида графена, органических прекурсоров. В зависимости от прекурсоров ГКТ имеют различные функциональные группы, которые влияют на электронные и оптические свойства ГКТ. ГКТ имеют широкий потенциал применения, в частности, в ИК фотодетекторах, в биоизображении клеток в ближней инфракрасной области. В этой работе построены чешуйки ГКТ с краевой функционализацией группами  $-COOH$ ,  $-OH$ ,  $=O$ ,  $-OH_3$ ,  $-NH_2$ ,  $NO_2$ , - руттол. Исследовано влияние функциональных групп на энергетические спектры и спектры возбуждения и поглощения ГКТ на основе проведения ab initio расчетов. Расчеты энергетических спектров проведены методом теории функционала плотности (DFT) с применением гибридных функционалов, учитывающих обменно-корреляционные взаимодействия. Спектры возбуждения рассчитаны методами TDDFT и TDHF. Расчеты проводились с помощью программ Firefly GAMESS (US).

## **Электронные свойства графена, допированного атомами бора Electronic properties of boron doped mono-layer graphene**

**Тихонов Р. С., Шарин Е. П.**

*ФГАОУ ВО Северо-Восточный федеральный университет им. М.К.Аммосова, Якутск,  
Россия; itihonovroman@gmail.com*

В настоящее время графеноподобные материалы играют значительную роль в современной микро-, нано- и оптоэлектронике, что связано с их уникальными свойствами и способствуют их применению при разработке новейших приборов и устройств в различных областях человеческой деятельности. Поскольку характеристики графена тесно связаны с электронной подсистемой, очевидно, что любая химическая модификация будет оказывать существенное влияние. Следовательно, путем соответствующего выбора типа примеси можно управлять их электронными свойствами. Допирование существенно модифицирует структуру на атомном уровне, поверхностную энергию, химическую активность и механические свойства графена, что позволяет существенно расширить область потенциального применения таких материалов. Вследствие близости величин атомных радиусов, бор (B) и азот (N) являются наиболее популярными легирующими элементами в сравнении с другими элементами.

В данной работе проведено исследование электронных свойств графена допированного атомами бора. Расчеты проводились с использованием теории функционала электронной плотности (DFT), реализованной в рамках программного пакета Quantum Espresso. Обменно-корреляционная энергия учтена в приближении LDA. Энергия обрезания базиса атомных орбиталей была выбрана равной 50 Ry. Для обеспечения достаточной точности взят набор k-точек 12x12x1 в двумерной зоне Бриллюэна исследуемой сверхячейки согласно схеме Монхоста-Пака.

## Графен компании ООО «АККО ЛАБ» и его применение Graphene of the AKKO LAB company and its application

Ткачев С. В.<sup>1,2,3</sup>, Корнилов Д. Ю.<sup>1,3</sup>, Рычагов А. Ю.<sup>1</sup>, Ким В. П.<sup>1</sup>, Чеглаков  
А. В.<sup>1</sup>, Геллер М. М.<sup>1</sup>, Журавлев В. В.<sup>3</sup>, Губин С. П.<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>ООО «АкКо Лаб», Москва, Россия; akkolab@gmail.com

<sup>2</sup>ФГБУН Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, Москва,  
Россия; tkachev\_svmsu@mail.ru <sup>3</sup>ЗАО «НИИ природных, синтетических алмазов и  
инструмента «ВНИИАЛМАЗ», Москва, Россия; gabin@igic.ras.ru

Создание и поиск новых функциональных материалов и композитов на основе графена и родственных ему наноформ углерода является актуальной задачей для развития промышленности. Усилия ученых направлены на изготовление необходимых материалов и создание устройств на основе графена с уникальными характеристиками [1].

Авторами в АО «ВНИИАЛМАЗ» разработаны алмазные круги на органической связке с добавлением от 0,25 до 2 об. % графеновых материалов. Показано, что добавка графенового материала (1 об. %) увеличивает износостойкость алмазного круга в 4 раза, при этом значительно снижая удельный расход алмазов [2].

Результаты свидетельствует о перспективе использования графеновых материалов в конструкционной области индустрии.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Губин С. П., Ткачев С. В. Графен и родственные наноформы углерода. *Изд. 4-е, доп.* М.: ЛЕНАНД, 2015. с. 112.
2. Дудаков В. Б., Губин С. П., Корнилов Д. Ю., Чеглаков А. В., Ткачев С. В. и др. Масса для изготовления алмазного инструмента *Пат. №2558734 РФ.*

**Применение графеноподобных наноматериалов в качестве  
модифицирующих структур композитов строительного  
назначения**

**Application of graphene-like nanomaterials as modifying  
composite structures for construction purposes**

**Толчков Ю. Н., Михалева З. А., Малютина Е. И., Слдозьян Р. Д. А.**

*ФГБОУ ВО "Тамбовский государственный технический университет", г. Тамбов,  
Российская Федерация; Tolschkow@mail.ru*

Модификация композитов с применением различных гибридных форм графеноподобных углеродных материалов предполагает перспективность использования, поскольку их введение заметно улучшает физико - механические характеристики при малых дозировках добавок и стимулирует направленное развитие структуры материала.

Установлено, что применение добавок на основе графеноподобных структур оказывает влияние на увеличение прочностных показателей (сжатие, изгиб) композитов, прирост показателей достигает 30-50 %.

Формирование композитов строительного назначения в большей степени определяется несколькими факторами, среди которых можно выделить степень гидратации цемента и механизм протекания этого процесса, также влияние оказывает применяемые компоненты и характер их взаимодействия. Контроль структурных новообразований и развитие процесса гидратации при внесении наномодификатора в композиционных материалах наиболее эффективно выполнять с помощью методов рентгенофазового анализа. Рентгенофазовый анализ позволяет выполнить идентификацию образовавшихся веществ в смеси по набору его межплоскостных расстояний и относительным интенсивностям соответствующих линий на рентгенограмме. Найденные параметры дифрактограмм позволяют сформулировать структурные изменения исследуемых соединений композита при использовании в системе дополнительного компонента в виде наномодификатора, что дает возможность установить механизмы влияния графеноподобных наноматериалов на матрицу композита.

**Исследование электрических свойств пленок углеродных точек легированных азотом и бором**

**Investigation of electrical properties of nitrogen- and boron-doped carbon dots film**

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

Северо-Восточный Федеральный университет, Якутск, Россия; ae.tomskaya@s-vfu.ru

Углеродные точки (УТ) это частицы нанометрового размера, которые имеет толщину из 1-4 графеновых слоев и обладают функциональными группами на поверхности и на краях. Люминесцентные свойства УТ можно настраивать при изменении состава функциональных групп и легировании N-, B-, S- и Fe- и др. атомами. В зависимости от конечного состава химической структуры, УТ могут обладать электронодонорными или электроноакцепторными свойствами и применяться для регулирования работы выхода электродов в различных оптоэлектронных устройствах. В работе исследованы электрические свойства пленок из двух типов УТ легированных азотом и бором. Синтез УТ был осуществлен с помощью метода гидротермальной обработки с использованием азотного и борного прекурсоров [1]. Азот и бор были выбраны для легирования для обеспечения УТ электронной и дырочной проводимостью, соответственно. Полученные УТ имеют кристаллическую структуру с поверхностью из функциональных групп (латеральные размеры варьируются в диапазоне 5-30 нм). Были получены тонкие пленки УТ внутри электрически инертной полимерной матрице поливинилового спирта (ПВС). Оптические исследования чистых суспензий УТ и композитов УТ/ПВС показали, что состояния поверхностных ловушек стабилизируются в матрице ПВС. Из вольт-амперных характеристик тонких пленок было видно, что нанокомпозиты УТ/ПВС обладают повышенной емкостью для хранения заряда. Исследован возможный механизм возможности хранения заряда внутри ловушечных состояний УТ.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Tomskaya A.E. et al. Synthesis of Luminescent N?Doped Carbon Dots by Hydrothermal Treatment. *Physica status solidi (b)*. 2018. Т. 255, 1.

## **Создание полос графена из молекул фталоцианинов** **Graphene nanoribbons constructed from phthalocyanine** **molecules**

**Чернов А. И., Федотов П. В., Образцова Е. Д.**

*Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва, Россия;*  
*al.chernov@nsc.gpi.ru*

Полосы графена являются новым одномерным углеродным материалом, который позволяет сочетать в себе как свойства графена, так и обладать запрещенной зоной. Изменение параметров структуры полос позволяет модифицировать их электронные и оптические свойства. Одной из возможностей изменения свойств материала является внедрение атомов металла в углеродную структуру полосы.

В данной работе для создания модифицированных полос графена мы используем метод заполнения каналов одностенных углеродных нанотрубок из газовой фазы молекулами с их последующей полимеризацией. Принцип заполнения одностенных нанотрубок соединениями фталоцианинов с атомами металлов схож с методикой заполнения молекулами коронена, которая была успешно реализована нами ранее [1-3]. Применение контейнеров нанотрубок для синтеза позволяет создавать узкие и протяженные одномерные полосы графена внутри. Определены допустимые диаметры нанотрубок, оптимальные для заполнения каналов крупными молекулами (более 1.5 нм) с атомами металлов. Полученныеnanoструктуры были исследованы оптическими методами (спектроскопией комбинационного рассеяния света, фотолюминесцентной спектроскопией).

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-02-01099.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Chernov A.I., Fedotov P.V., Lim H.E., etc. Band gap modification and photoluminescence enhancement of graphene nanoribbon filled single-walled carbon nanotubes. *Nanoscale*. 2018. 10. P. 2936–2943.
2. Chernov A. I., Fedotov P. V., Anoshkin I. V., etc. Single-walled carbon nanotubes as a template for coronene stack formation. *Physica Status Solidi (B) Basic Research*. 2014. 251(12). P. 2372–2377.
3. Chernov A. I., Fedotov P. V., Talyzin A. V., etc. Optical Properties of Graphene Nanoribbons Encapsulated in Single-Walled Carbon Nanotubes. *ACS Nano*. 2013. 7(7). P. 6346–6353.

## **Построение графена с помощью плазмы и его особенности Plasma engineering of graphene flakes and their features**

**Шавелкина М. Б.<sup>1</sup>, Наумкин А. В.<sup>2</sup>, Переяславцев А. Ю.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *1 Объединенный институт высоких температур РАН, Москва, Россия;*  
*mshavelkina@gmail.com*

<sup>2</sup> *Институт элементоорганических соединений им. А.Н.Несмеянова РАН, Москва,*  
*Россия; naumkin@ineos.ac.ru*

<sup>3</sup> *ФГУП Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л.*  
*Духова, Москва, Россия; naumkin@ineos.ac.ru*

Исследована возможность прямого синтеза графена с модифицированной поверхностью при конверсии углеводородов (пропан-бутан, ацетилен, метан) и этанола в плазменных струях гелия, аргона и азота при атмосферном давлении. Методом сканирующей электронной микроскопии установлено, что образцы графена представляют собой хлопья с числом слоев от 1 до 9 и латеральным размером от 20 до 2000 нм. Установлено образование связей углерода с атомами кислорода, азота, водорода или гидроксильных групп на поверхности графена в зависимости от компонентного состава плазменной струи. Методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии определена степень модификации поверхности из фотоэлектронных спектров C1s, O1s и N1s. Доля sp<sup>2</sup>-состояния оценивалась из результатов разложения спектров C1s на компоненты. Для определения взаимодействия между слоями графена применен анализ С KVV оже-спектров. В фотоэлектронных спектрах выделено несколько различных химических состояний атомов, входящих в состав образцов. Выделенные пики характеризуются различной шириной, что может быть вызвано неоднородностью, связанной с присутствием частиц различного размера и дефектов. Различная крутизна оже-спектров в области низких кинетических энергий указывает на различие в проводимости образцов. Относительная интенсивность π-π\* сателлита с энергией связи около 291.5 eV в спектрах C1s отражает степень sp<sup>2</sup>-гибридизации, которая коррелирует с различиями в области низких энергий связи и отражает присутствие непроводящих областей.

## **Ab initio исследование электронных свойств фторированного графена**

### **First-principles investigation of electronic properties of fluorinated graphene**

**Шарин Е. П.**

*ФГАОУ ВО Северо-Восточный федеральный университет им. М.К.Аммосова, Якутск,  
Россия; ep.sharin@s-vfu.ru*

Химическая модификация графеновых слоев имеет большое значение для разработки новых материалов на основе 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 настоящей работе были исследованы электронные свойства однослойного графена модифицированного фтором. Для изучения зонного спектра модифицированного слоя графена использовался пакет Quantum Espresso. В основе лежит метод псевдопотенциала с использованием плоских волн. Для расчета нами выбраны сохраняющие норму псевдопотенциалы, с обменом и корреляцией в форме Perdew-Zunger [1]. Оптимизация велась до тех пор, пока изменение полной энергии не оказывалось меньше, чем  $10^{-5}$  эВ. Расстояние между периодически расположенным слоями равнялось 15 Å, что исключает влияние их друг на друга. Зависимость полной энергии кристалла от постоянной решетки находится самосогласованным образом с выбранными нами потенциалами. При расчете интегралов по зоне Бриллюэна использовалась сетка 8\*8\*1 [2], количество плоских волн, учитываемых в разложении волновых функций, регулируется фактором обрезания который принят Ecut = 50 Ry.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Perdew J. P., Zunger A. Self-interaction correction to density-functional approximations for many-electron systems *Phys. Rev. B*. 1981. Vol.23, P. 5075-5080.
2. Monkhorst H. J., Pack J. D. Special points for Brillouin-zone integrations *Phys. Rev. B*. 1976. Vol.13, P. 5188-5192

**Влияние графеноподобных структур на эффект саморегулирования температуры в электропроводящем полимерном материале**

**The influence of graphene-like structures on the effect of temperature self-regulation in an electroconducting polymer material**

**Щегольков А. В., Парамонова Н. В., Хробак А. В., Щегольков А. В. (мл.),  
Ткачев А. Г.**

*ФГБОУ ВО "Тамбовский государственный технический университет", г. Тамбов,  
Российская Федерация; Energynano@yandex.ru*

Одним из наиболее эффективных способов повышения энергоэффективности электрических нагревателей является приданье им свойств саморегулирования температурного режима. В то же время, наличие такого эффекта не позволяет реализовать высокую тепловую мощность, что связано с электрофизическими и теплофизическими особенностями электронагревателей, выполненных из полимерных композиций. Наиболее распространённым материалом для саморегулируемых электронагревателей является полиэтилен, однако применение такого материала приводит к ограничениям по удельной мощности до 150 Вт  $m^{-1}$  и максимальной температуре нагрева до 60 °C. В этом отношении актуальным является рассмотрение других типов полимеров, таких как фторопласт (Ф4) или композиты на его основе. Однако, применение токопроводящих наполнителей в виде сажи во фторопластовых нагревателях приводит к охрупчиванию и отсутствию эффекта саморегулирования. Причем, эффект электронагрева наблюдается при концентрации сажи 30 масс.%. Использование графеноподобных структур позволяет добиться эффекта элеткро-нагрева при концентрации 20 масс.%, что обеспечивает удельную мощность, равную 30 Вт  $m^{-1}$ . Увеличение мощности от концентрации носит линейный характер. При этом, эффект саморегулирования наблюдается до значений добавок, равных 35 масс.%, при температуре 80–120 °C. Наилучшие показатели по физико-механическим свойствам наблюдаются при минимальной концентрации 20 масс.%. Полученный полимерный композит, содержащий графеноподобные структуры, может быть использован для создания линейных, плоских и объемных электронагревателей.

**Наномодифицированные электропроводящие клеевые композиции на основе полихлоропренового каучука**  
**Nanomodified electroducing glue compositions based on polychloroprene rubber**

**Ягубов В. С., Столяров Р. А., Меметов Н. Р., Блохин А. Н., Горшкова А. Р.,  
Москова М. М.**

*ФГБОУ ВО "Тамбовский государственный технический университет г. Тамбов,  
Российская Федерация; vitya-y@mail.ru*

В данной работе проведены исследования влияния наноматериалов на изменение электропроводности эластичной композиции на основе полихлоропренового каучука. В качестве электропроводящих компонентов использовали углеродные нанотрубки «Таунит-М», графен, додированный азотом (ГДА), а также их смеси с родственными структурами. Клеевые композиции на основе хлоропренового каучука растворяли в этилацетате, используя мешалку при  $500 \text{ об мин}^{-1}$  в течение 30 мин. В полученный раствор вводили 1, 3 или 6 масс.% «Таунит-М» или «PrinTex XE2B» или «Таунит-М + PrinTex XE2B» (1:1) или ГДА, используя гомогенизатор с частотой вращения  $1000 \text{ об мин}^{-1}$ , до получения однородной суспензии. Затем полученный композит наливали на предметные стекла и оставляли под вытяжным шкафом на 24 ч до полного удаления растворителя. В результате были получены эластичные композиции с электропроводностью равной  $0,2 \text{ См см}^{-1}$ , обладающие высокой адгезией к различным материалам. В качестве подтверждения работоспособности kleевой композиции в реальных условиях была изготовлена печатная плата с источником света, напряжение к которому подводилось с помощью kleевого композита в виде двух дорожек. Таким образом, в результате проведенных исследований получен электропроводящий полимерный материал, способный не только работать в широком диапазоне эксплуатационных параметров, но и сочетающий в себе сразу нескольких полезных свойств. Подобные многофункциональные материалы при введении в их состав проводящих графеновых наночастиц смогут найти практическое применение для создания антистатических покрытий, эффективных экранов электромагнитного излучения, саморегулируемых нагревательных элементов, датчиков, электропроводящих kleев и др.

## New dielectric material for printing technology based on graphene functionalization

**Yakimchuk E. A.\* , Nebogatikova N. A., Kotin I. A., Antonova I. V.**

*Rzhanov Institute of Semiconductor Physics, Novosibirsk, Russia \*eayakimchuk@isp.nsc.ru*

Currently, the use of two-dimensional (2D) printing technologies for the production of devices is an important area in the development of modern electronics and photonics. Moreover, two-dimensional printed technologies are the basis for the development of flexible, foldable, daily, transparent electronics.

In laboratories, graphene field effect transistors have already been formed on flexible and even stretchable substrates. However, in order for such transistors to be competitive, it is necessary to develop dielectrics compatible with graphene.

One such type of material is the derivatives of graphene obtained by chemical functionalization of graphene. In this exploration, we show a less known dielectric material based on graphene - graphene, functionalized with N-methyl-2-pyrrolidone (NMP). It has already been mentioned that this material is more promising for use as a substrate than hexagonal boron nitride, since the carrier mobility in these heterostructures is larger in magnitude than in other dielectrics and there are no restrictions in large-scale applications [1].

The properties of a film printed with a suspension of this material have been studied, for example, its leakage current density is less than that of graphene oxide 0.01 – 0.5 mA against 2 – 20 mA.

Surface investigation using Raman scattering indicates photoluminescence in the visible range, which is confirmed by hotoluminescence spectra, making this material promising for optical applications. On the other hand, Gigantic Raman scattering allows one to study the material and its features

The reported study was funded by RFBR according to the research project (18-32-00571).

### BIBLIOGRAPHY

1. *Kotin I. A., Antonova I. V., Komonov A. I., etc.* High carrier mobility in chemically modified graphene on an atomically flat high-resistive substrate. *Journal of Physics D: Applied Physics.* 2013. T. 46, № 28. P. 285303.

## **Секция II. Оптоэлектроника и биосенсоры на основе 2D материалов**

**Гибкие печатные сенсоры влажности на основе композита  
графен - PEDOT: PSS**

**Flexible Printed Humidity Sensors Based on Graphene -  
PEDOT: PSS Composite**

**Антонова И. В.<sup>1</sup>, Котин И. А.<sup>1</sup>, Попов В. И.<sup>2</sup>, Смагулова С. А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, г. Новосибирск, Россия;  
[antonova.957@gmail.com](mailto:antonova.957@gmail.com)

<sup>2</sup>Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, г. Якутск,  
Россия; [volts@mail.ru](mailto:volts@mail.ru)

Печатная электроника - новая технология, которая в перспективе может заменить традиционную электронику с твердой кремниевой основой, на гибкую и дешевую - на органической основе. Использование простых типографских технологий может существенно удешевить производство электронных устройств массового применения. В данной работе представлены результаты исследования отклика на влажность, недорогих и практических в производстве гибких датчиков влажности, изготовленных трафаретной печатью. При изготовлении использовался трафарет-маска из полидиметил силексана, печать производилась смесью графеновой суспензии и водного раствора проводящего полимера PEDOT:PSS (Поли(3,4-этилендиокситиофена):полистиролсульфонат) в различном соотношении, в качестве подложек использовались гибкие полимерные пленки. После печати рабочей области датчика образцы просушивались в сушильном шкафу при температуре 100°C после чего наносились контактные площадки из токопроводящей пасты на основе серебра. Изготовленные таким способом прототипы датчиков помещались в камеру, в которой поддерживалась постоянная температура и давление соответствующая комнатной. Далее в камеру помещался испаритель с дезинфицированной водой, и производились измерения относительной влажности воздуха в камере и сопротивления образца. Проведенная серия экспериментов показала прямую зависимость сопротивления образца в зависимости от влагосодержания воздуха в камере. Обнаружено, что использование композита позволило увеличить отклик сенсора от 10 - 30% для графена до 300 - 400%. Кроме того, в случае использования пленки PEDOT:PSS отклик сенсора не только был значительно меньше, но и его работоспособность была ограничена 70 - 80% влажностью, когда процесс восстановления сопротивления пленки увеличивается от секунд до часов. Был произведен анализ скорости и величины отклика тестовых структур в зависимости от соотношения содержания графена и полимера, а также от толщины пленки.

**Степень тушения флуоресценции и условия синтеза  
сuspензий оксида графена**  
**The degree of fluorescence quenching and the oxidation degree  
of graphene oxide**

Александров Г. Н.<sup>1</sup>, Неустров Е. П.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск,  
Российская Федерация; g\_alexandrov@mail.ru

Оксид графена (ОГ) обладает такими свойствами, как адсорбция на своей поверхности одноцепочных нитей ДНК, тушение флуоресценции молекулярных красителей и коллоидная стабильность во времени, позволяющими применять ОГ в качестве компонента тест-системы ДНК-анализа генетических, бактериальных и вирусных болезней [1].

Избирательная адсорбция одноцепочных нитей ДНК происходит благодаря наличию на поверхности ОГ гидрофобных участков посредством механизма  $\pi$ - $\pi$ -стекинга [2].

Произведенные эксперименты показали, что степень тушения флуоресценции одноцепочных флуоресцентно - меченых олигонуклеотидов [нмоль / мг] зависит от степени окисления ОГ: увеличивается с уменьшением степени окисления. В докладе будет проведено обсуждение полученных результатов.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Kapitonov A. N., Alexandrov G. N. Characterization of Graphene Oxide Suspension for Fluorescence Quenching in DNA-Diagnostics. *Korean Journal of Materials Research*. 2016. Т. 26, № 1. С. 1–7.
2. Xu H., Yang Q. A graphene-based platform for fluorescent detection of SNPs. *Analyst*. 2013. Т. 138, № 9. С. 2678–2682.

**Структурные свойства двумерного MoS<sub>2</sub>, синтезированного по методу CVD на Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(0001)**

**Structural properties of two-dimensional MoS<sub>2</sub> synthesized by CVD technique on Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(0001)**

Боякинов Е. Ф.<sup>1</sup>, Захаркина Е. И.<sup>2</sup>, Семенова А. А.<sup>3</sup>, Винокуров П. В.<sup>4</sup>, Смагулова С. А.<sup>5</sup>, Григорьев Ю. М.<sup>6</sup>, Хриковини К.<sup>7</sup>

<sup>1–6</sup>Северо-Восточный Федеральный университет, Якутск, Россия; boyakinov@gmail.com

<sup>7</sup>Laboratoire de Physique des Matériaux et de Surfaces, Cergy, France;  
karol.hricovini@u-cergy.fr

Многие соединения дихалькогенидов переходных металлов структурно схожи, но в зависимости от компоновки имеют ряд электронных свойств: от полупроводников до металлов. Так, например, двумерные MoS<sub>2</sub> и WS<sub>2</sub>, в отличие от своих трёхмерных, являются прямозонными полупроводниками. Кроме того, создание гибридных материалов на основе таких монокристаллов все еще остается актуальной задачей [1].

В работе пленки MoS<sub>2</sub> синтезированы методом химического осаждения из газовой фазы (CVD) на подложках из сапфира с ориентацией поверхности 0001. С помощью спектроскопии комбинационного рассеяния света, растровой электронной микроскопии (SEM), энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии, рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии и атомно-силовой микроскопии идентифицированы количество слоев и химический состав MoS<sub>2</sub>. По результатам работ планируется создание вертикальных гетероструктур на основе дихалькогенидов переходных металлов и графена.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (№ 18-32-00730).

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Антонова И. В. Вертикальные гетероструктуры на основе графена и других многослойных материалов. *Физика и техника полупроводников*. Год. 2016 Т. 50, № 1. С. 67–81.

**Исследование процессов перезарядки в гетероструктурах на основе кремний-германия с квантовыми ямами**  
**Investigation of recharging processes in heterostructures based on sige with quantum wells**

**Винокуров П.В., Смагулова С.А.**

*Северо-Восточный Федеральный университет, Якутск, Россия; p.vinokurov@s-vfu.ru*

Ограничение двумерного электронного газа в гетероструктурах с квантовыми ямами, открывает возможности создания разнообразных электронных приборов, например гетероструктуры Si/SiGe/Si с квантовыми ямами можно использовать при создании лазеров, работающих в терагерцовом диапазоне. В последние годы для исследования дискретных уровней в квантовых ямах применяется метод нестационарной спектроскопии глубоких уровней [1, 2].

В данной работе проведено исследование термической эмиссии носителей в гетероструктурах Si/SiGe/Si с квантовой ямой с помощью метода зарядовой спектроскопии глубоких уровней (Q-DLTS). Структуры Si/SiGe/Si отличались между собой разным содержанием Ge (7, 10, 15 %).

Анализ экспериментальных и теоретически вычисленных данных показывает, что в процессах перезарядки участвуют не все уровни в квантовых ямах. Также было установлено, что для структур с 7 и 15% содержанием Ge в слое SiGe нарушение пассивирующего слоя влияет на заполнение носителями заряда квантовых ям, что ухудшает анализ процессов перезарядки в структурах.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Antonova I.V., Kagan M.S., Neustroev E.P., Smagulova S.A. Deep levels, transport and THz emission properties of SiGe/Si quantum-well structures. *Sci China Ser E-Tech Sci.* 2009. V. 52, № 1. C. 6–10.
2. Antonova I.V., Neustroev E.P., Smagulova S.A., Kagan M.S., Alekseev P.S., Ray S.K., Nathan Sustersic, and James Kolodzey Deep-level spectroscopy studies of confinement levels in SiGe quantum wells. *J. Appl. Phys.* 2009. T. 106, № 084903. C. 6–10.

**Исследование энергетических уровней в квантовых ямах в гетероструктурах на основе SiGe с дельта легированием  
Investigation of recharging processes in heterostructures based on SiGe with quantum wells**

Винокуров П.В., Тимофеева Т.Е., Смагулова С.А.

Северо-Восточный Федеральный университет, Якутск, Россия; p.vinokurov@s-vfu.ru

Гетероструктуры Si/SiGe с квантовыми ямами являются претендентом на создание таких устройств: быстродействующих детекторов и источников излучения в дальней и средней инфракрасной области. В последнее время интенсивно исследовались квантовые свойства этих гетероструктур. В частности, исследовались энергетические уровни носителей заряда, переходы между ними и мелкие примесные уровни в квантовых ямах с дельта-легированием в гетероструктурах Si/SiGe [1-2] теоретически и экспериментально.

В данной работе исследовано влияние потенциала дельта слоя ионизированных примесей на систему энергетических уровней квантовой ямы в гетероструктуре p-Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>/Si дельта легированной бором, образуемых дырочными подзонами размерного квантования. Расчеты выполнены на примере образцов с содержанием германия x=0.07, 0.10 и 0.15 % в равновесных условиях с учетом напряженности слоя Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>.

Сравнение систем дырочных подзон квантования в ямах Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub> без легирования и с дельта легированием показывает, что учет потенциала ионизированных акцепторов приводит к выдавливанию подзон вверх и даже к исчезновению ближайших к верхнему краю ямы подзон.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Chun S.K., Pan D.S., Wang K.L. Intersubband transitions in a p-type delta-doped SiGe/Si quantum well. *Phys. Rev. B.*. 1993. V. 47, № 23. C. 15638–15647.
2. Altukhov I.V., Chirkova E.G., Sinis V.P., Kagan M.S., Gousev Yu.P. et al. Deep-level spectroscopy studies of confinement levels in SiGe quantum wells. *J. Appl. Phys.*. 2001. T. 79, № 084903. C. 3909–3911.

**Заострение игл кантилеверов для атомно-силовой  
микроскопии с использованием ионно-лучевого травления  
Sharpening of cantilevers for atomic - force microscopy using  
the ion beam etching**

Высоких Ю. Е.<sup>1</sup>, Краснобородько С. Ю.<sup>1</sup>, Смагулова С. А.<sup>2</sup>, Шевяков В. И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>МИЭТ, Москва, Зеленоград, Россия; sergzelenograd@mail.ru

<sup>2</sup>СВФУ, Якутск, Россия; sa.smagulova@s-vfu.ru

Одной из серьезных проблем атомно-силовой микроскопии является задача получения реальных результатов при диагностике геометрических параметров исследуемых нанообъектов. Таким образом, важной является задача получения кантилеверов со сверхострыми иглами. Групповые методы изготовления кремниевых кантилеверов с использованием технологии микроэлектроники позволяют серийно создать зонды с радиусом кривизны остряя игл от 20 нм и выше.

В настоящей работе представлены результаты исследования процесса заострения игл с использованием расфокусированного ионного пучка группы кантилеверов, размещенных на кремниевых подложках. Эксперименты проводили на специализированной установке, предназначенный для реализации метода ионно-лучевого травления с диаметром ионного пучка 200 мкм, содержащая источник Кауфмана. Конструкция подложкодержателя позволяла ориентировать подложки под углом к ионному пучку, а также вращать подложкодержатель в зоне действия пучка.

На основе полученных экспериментальных результатов травления игл кантилеверов под разным углом падения ионного пучка Ag<sup>+</sup> определено, что оптимальный результат достигается, когда ось симметрии игл кантилеверов ориентирована под углом 75° к направлению движения потока ионов, что согласуется с результатами проведенной теоретической оценки процесса травления. Зафиксировано уменьшение размера радиуса кривизны остряя игл с 25 нм до 10 нм. Представлены данные сравнительного анализа работоспособности стандартных и заостренных кантилеверов при исследовании кремниевых тестовых структур и нанопрофицированного алюминия.

**Электронное строение и РФЭС спектры перовскит  
производных для мезоскопических солнечных батарей**  
**Halide perovskite-derived for mesoscopic solar cell: electronic  
structure and XPS spectra**

Dotsenko A. A., Komissarov A. A., Yashin V. A.

<sup>1</sup>Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia; dotsenko\_aa@dvfu.ru

It is new study of some perovskite-derived crystals, whose luminescent, thermochromic, nonlinear optical and dielectric properties provide opportunities for their wide practical application.

This work presents the results of an investigation of the electronic structure and the orbital nature of crystals with the  $A_2MX_6$  formula (where  $A = Rb, Cs, HGu$ ;  $M = Te, Sb$ ;  $X = Cl, Br, I$ ). The electronic structure of crystals with Te and Sb atoms was determined by the method of X-ray photoelectron spectroscopy and quantum-chemical modeling within the framework of the density functional theory.

We identified the molecular orbitals which are responsible for covalent metal-halogen binding.

According to the experimental data and the calculation the  $3a_{1g}^2$  is the HOMO in molecular crystals studied, which is an antibonding combination of  $Xnp\sigma$ -orbitals with a contribution of the halogen atoms of 85%.

Previously this MO was believed to be a metallic nature primarily. It has been determined that in the anions the main role in the covalent metal-halogen binding is played by 6 electrons of MO  $2t_{1u}^6$  MO, and 28 electrons of non-bonding  $1t_{2g}^6 2e_g^4 3t_{1u}^6 1t_{2u}^6 1t_{1g}^6$  MOs, localized mainly on halogen atoms, are essential when considering the degree of ionicity of the bonds and the charge transfer processes in excited states.

The transition from the  $3a_{1g}^2$  (HOMO) to the  $4t_{1u}^*$  (LUMO), which corresponds to the states  ${}^1T_{1u}$  and  ${}^3T_{1u}$ , is responsible for the luminescence of the  $[MX_6]^{2-}$  anions.

The project was carried out as part of the State assignment 3.2168.2017 of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation.

**Исследование квантовых выходов люминесценции углеродных точек синтезированных из этиленгликоля и лимонной кислоты**

**Investigation of luminescence quantum yields of carbon dots synthesized from ethylene glycol and citric acid**

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

*Северо-Восточный федеральный университет, Якутск, Россия; marfa.egorova@mail.ru*

Углеродные точки - биосовместимые и легко функционализируемые наночастицы, привлекли значительный интерес исследователей по всему миру, как замена полупроводниковых квантовых точек. Этот интерес связан с их низкой токсичностью и уникальными свойствами. Углеродные точки могут быть потенциально применимы в таких областях, как биоизображение, оптоэлектронные устройства и биосенсоры. [1] В данной работе описывается простой способ получения углеродных точек из этиленгликоля и лимонной кислоты методом гидротермального синтеза в микроволновой печи. Были рассчитаны квантовые выходы люминесценции углеродных точек. В качестве эталона использовался родамин 6G с квантовым выходом 0,96 в этаноле. Были получены следующие результаты: углеродные точки, полученные из лимонной кислоты с добавлением водного раствора аммиака и водного раствора полианилин-графен – 0,12; углеродные точки, полученные из этиленгликоля с ортофосфорной кислотой – 0,15; углеродные точки, полученные из раствора этиленгликоля и ортофосфорной кислоты – 0,46; углеродные точки, полученные из раствора лимонной кислоты с добавлением ортофосфорной кислоты – 0,10.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №18-02-00449

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Wang C., Xu Z., Cheng H. A hydrothermal route to water-stable luminescent carbon dots as nanosensors for pH and temperature. *Carbon.* 2015. № 82. P. 87–95.

## Гидротермальный синтез углеродных точек и их люминесценция

Hydrothermal synthesis of carbon dots and their luminescence

Капитонов А. Н.<sup>1</sup>, Егорова М. Н.<sup>1</sup>, Томская А. Е.<sup>1</sup>, Смагурова С. А.<sup>1</sup>, Алексеев А. А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Северо-Восточный федеральный университет, Якутск, Россия; kapitonov1944@mail.ru

В этой работе углеродной точкой (УТ) мы называем некоторое образование нанометрового размера с аморфно-кристаллическим углеродным ядром и с функциональными группами по краям. В то время, как использование полупроводниковых квантовых точек в области биомедицины ограничено из-за их токсичности и низкой биодоступности в водном растворе [1], УТ экологически безопасны и химически инертны. В данном материале сообщается о результатах исследования N-легированных УТ из глюкозы, полученных методом гидротермального синтеза и N-легированных УТ, полученных при пиролизе березовой сажи. Средний диаметр УТ из глюкозы зависел от продолжительности гидротермальной обработки и составил  $11 \pm 1$  нм для 1 часа, и  $15 \pm 1$  нм для 4 часов. Средний размер УТ из сажи составил 23 нм. Раман-спектры УТ из глюкозы после отжига в печи демонстрируют пики D и G при  $1350 \text{ см}^{-1}$  и  $1600 \text{ см}^{-1}$ , что говорит об их кристаллизации. Методами ИК-спектроскопии на поверхности УТ обнаруживаются функциональные группы C-OH, C=O, C-H, C-O-C, также присутствует группа N-H. Максимумы спектров люминесценции УТ сдвигаются в красную область спектра при увеличении длины волны возбуждения от 300 нм до 400 нм и зависят от продолжительности гидротермальной обработки и состава смеси. Спектры UV-VIS поглощения суспензий УТ из глюкозы и сажи зависят от продолжительности гидротермальной обработки и присутствия аммиака в нагреваемой смеси.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-02-00449

### ЛИТЕРАТУРА

1. Merian J., Gravier J., Navarro F. Fluorescent Nanoprobes Dedicated to in Vivo Imaging: From Preclinical Validations to Clinical Translation. *Molecules*. 2012. Т. 5, № 17. С. 5564-5591.

## Биологические сенсоры на основе аптамеров для детектирования маркеров вирусов

### Aptamer based biological sensors for virus-marker detection

Комаров И. А.<sup>1</sup>, Головин А. В., Смагулова С. А.

<sup>1</sup>Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва,  
Российская Федерация; master\_kom@mail.ru

Графен и его производные являются весьма перспективными материалами для применения в различных электронных устройствах, в частности, в биосенсорах. В работе в качестве биочувствительного вещества были использованы аптамеры [1-3], которые представляют собой небольшие части искусственных ДНК, избирательно соединяющиеся с целевым агентом. Аптамеры были ковалентно иммобилизованы на поверхность восстановленного оксида графена. В работе предложена конструкция гибкого сенсора на основе восстановленного оксида графена на гибкой полимерной подложке и разработан метод ковалентной связи аптамеров с поверхностью восстановленного оксида графена. Эксперименты с экспонированием сенсора белками показали отличие в отклике между сенсорами, проэкспонированными тромбином и альбумином. Мы наблюдали линейный характер увеличения сопротивления от 1,04 проц. до 3,08 проц. с увеличением концентрации тромбина (от 0,1 мкМ до 10 мкМ).

Работа выполнена в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» идентификатор соглашения RFMEFI57417X0182.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. So Hye-Mi, Won Keehoon, et.al. Single-Walled Carbon Nanotube Biosensors Using Aptamers as Molecular Recognition Elements. *J. Am. Chem. Soc.*. 2005. Т. 127, № 34. С. 11906–11907.
2. An Taechang, Kim Ki Su, et.al. Real-time, step-wise, electrical detection of protein molecules using dielectrophoretically aligned SWNT-film FET aptasensors. *Lab on a Chip*. 2010. Т. 16, С. 2052–2056.
3. Wang Cheng, Kim Jinho, et.al. An aptameric graphene nanosensor for label-free detection of small-molecule biomarkers. *Biosensors and Bioelectronics*. 2015. Т. 71, С. 222–229.

**Изучение морфологии эритроцитов крови при лучевой терапии опухолей с применением методов медицинской физики и нанобиотехнологий**

**Studying of morphology of erythrocytes of blood during radiation therapy of tumors with application of methods of medical physics and nanobiotechnologies**

Мамаева С.Н.<sup>1</sup>, Максимов Г.В.<sup>2</sup>, Антонов С.Р.<sup>1</sup>, Неустроев Е.П.<sup>1</sup>, Кононова И.В.<sup>1</sup>, Захарова Ф.А.<sup>1</sup>, Васильев И.В<sup>3</sup>, Павлов А.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Северо-Восточный Федеральный университет им. М.К.Аммосова, Якутск, Россия;  
sargylana\_mamaeva@mail.ru

<sup>2</sup>Московский Государственный университет им. М.В.Ломоносова Россия, Москва,  
Россия; gmaximov@mail.ru

<sup>3</sup>Якутский Республиканский онкологический диспансер, Якутск, Россия;  
4198424@gmail.com

Исследования морфологии эритроцитов при ряде заболеваний с применением высокотехнологичного физического оборудования выявили наличие на их поверхности наночастиц, размеры и формы которых сопоставимы с размерами и формами вирусов.

В данной работе проводится исследование эритроцитов крови пациентов Якутского республиканского онкологического диспансера, проходящих лучевую терапию с применением линейного ускорителя Elekta Synergy (6, 10, 18 МэВ, Agility) и брахитерапевтического аппарата в радиологическом отделении, методами сканирующей электронной, атомно-силовой микроскопии (СЭМ и АСМ) и ИК-спектроскопии. Для улучшения СЭМ-изображения используются в качестве подложки для образцов крови графеновые пластиинки с наночастицами серебра.

Выявление на поверхности эритроцитов в случаях рака шейки и тела матки наночастиц на поверхности эритроцитов косвенным образом подтверждает предположение о вирусном происхождении рака тела матки, и может рассматриваться как основа в формировании комплексного дифференциального метода для диагностики сложно диагностируемых заболеваний в области трансляционной и персонализированной медицины. Анализ результатов исследований морфологии эритроцитов в динамике в ходе лучевой терапии может стать вспомогательным методом мониторинга терапии для корреляции плана лечения.

**Оптические свойства тонкослойного оксида графена  
модифицированного в плазме**

**Optical properties of few-layer graphene oxide modified by  
plasma**

**Неуструев Е. П.**

*СВФУ им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия; neustr@mail.ru*

Оксид графена (ОГ) представляет собой графеновый лист с присоединенными группами кислорода основными из которых являются гидроксильные и эпоксидные группы. Оксид графена является изолятором, но в результате восстановления электропроводность может быть повышенна на 6-7 порядков [1]. В работе будут рассмотрены модифицированные плазмой пленки ОГ. Оптический отклик оксида графена во многом зависит от дефектной структуры материала. Различного рода дефекты могут контролироваться и эффективно вводиться в ОГ при плазменных обработках [1,2]. В качестве параметров плазменной обработки использованы мощность плазмы, давление в реакционной камере, скорость потока газов и время обработки. Для исследований оптических свойств привлечены методы спектроскопии комбинационного рассеяния, вольт-амперных характеристик, ИК и УФ спектроскопии и проведены структурные измерения. В результате плазменных обработок обнаружено, что ОГ проявляет фоточувствительность в видимом диапазоне. Величина фотоотклика зависит от напряжения между электродами. Время насыщения тока при включении источника света составляет до нескольких секунд. В работе проводится обсуждение полученных результатов.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Neustroev E. P., Prokopiev A. R., Soloviev B. D., Burtseva E. K., Popov V. I., Timofeev V. B. Modification of graphene oxide films by radiofrequency N2 plasma. *Nanotechnology*. Год. 2018 Т. 29, № 14. Р. 14002.
2. Neustroev E. P., Nogovitsyna M. V., Popov V. I., Timofeev V. B. Modification of Thermally Reduced Graphene Oxide by the SF6/Ar Plasma Treatment. *Inorganic Materials: Applied Research*. Год. 2017 Т. 8, № 5. РР. 763–768.

## Carbon and boron nitride nanotubes action on bacterial cells

Obraztsova E. A.<sup>1,2</sup>, Zarubina A. P.<sup>3</sup>, Sorokina E. V.<sup>3</sup>, Klinov D. V.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> M.M.Shemyakin & Yu.A. Ovchinnikov Institute of Bioorganic Chemistry, RAS, Moscow, Russia; e.a.obraztsova@gmail.com

<sup>2</sup> Federal Research and Clinical Center of the Physico-Chemical Medicine, Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

<sup>3</sup> M. V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Biology, Moscow, Russia

Carbon and boron nitride nanomaterials nowadays are among the most studied and demanded for industrial applications novel materials. Numerous promising applications of these structures in high-technology and even everyday life devices and objects have been proposed and realized. A row of studies of nanotubes toxicity and action on biological objects have been performed in recent years [e.g.1]. However, there is no single opinion on harm or benefit of these structures on living objects.

In this study we present our results on nanotubes action on living bacterial cells. In our previous studies we have demonstrated that after Escherichia coli bacterial cells deposition on a mat of single-wall carbon nanotubes, the cells structure was disturbed. In the present study we present our further results in this field. We have analyzed the bactericidal action of carbon and boron nitride nanotubes in aqueous suspensions. We have registered morphological changes and cell division rates modification. In our experiments we have employed luminescent bacterial cells. It permitted us to monitor the action of nanostructures on the bacterial cells at short time intervals.

### BIBLIOGRAPHY

1. Kobayashi N., Izumi H., Morimoto Ya. Review of toxicity studies of carbon nanotubes. *J Occup Health.* 2017. 59. P. 394–407.
2. Obraztsova E. A., Lukashev E. P., Zarubina A. P., Parkhomenko I. M., Lukashov I. V. Bactericidal action of single-walled carbon nanotubes. *Moscow Univ. Phys.* 2009. 45. P. 320.
3. Zarubina A. P., Lukashev E. P., Deev L. I. etc. Biostesting the Biological Effects of Single - Wall Carbon Nanotubes Using Bioluminescence Bacteria Test - system. *Nanotechnologies in Russia.* 2009. 4. 11-12. P. 871–875.

## Прозрачные оптические антенны на базе углеродных наноматериалов

### Transparent optical antennas on the basis of carbon nanomaterials

Прокопьев А. Р.<sup>1</sup>, Неустроев Е. П.<sup>1</sup>,

<sup>1</sup> M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia;  
aisenprokopiev@mail.ru

Углеродные наноматериалы (УНТ), состоящие из монослоев графена и оксида графена (ОГ), обладают превосходными механическими, электронными и оптическими свойствами для применения их в огромном диапазоне частот, начиная с радио- до ультрафиолетового диапазона. [1] Легирование азотом УНТ, приведенное в работе [2] предполагает еще больший потенциал в сфере проводимости наноматериалов. Данная работа представляет собой теоретическое исследование распространения и взаимодействия электромагнитных волн (ЭМВ) в терагерцовом (ТГц) диапазоне рабочих частот с легированными азотом монослоями графена и ОГ, на основе компьютерного и математического моделирования, базирующегося на решении уравнений Максвелла совместно с материальными уравнениями сред (графена и оксида графена). Предложена математическая модель распространения ЭМВ и их взаимодействие в ТГц излучении с проводящими структурами на основе легированных азотом графена и ОГ, основанная на решении комплексно-краевой задачи дифракции для систем уравнений Максвелла. Получены результаты электродинамического расчета коэффициентов отражения и прохождения ЭМВ-волн через легированные азотом монослои графена и ОГ в ТГц диапазоне частот. Полученные в ходе моделирования результаты показывают, что легированные азотом монослои графена и ОГ перспективны для применения их в синтезе устройств ТГц диапазона.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Dey A., Chroneos A., Braithwaite N., etc. Plasma engineering of graphene. *Applied Phys. Rev.*. Год. 2016. Т.3. С. 3-17.
2. Llatser I. Kremers C. Chigrin C.D., etc. Characterization of Graphene-based Nano-antennas in the Terahertz Band. *Proceedings of 6th European Conference on Antennas and Propagation, EuCAP*,. 2012 PP. 194-198.

**Модификация оптических и электрофизических свойств  
CVD графена**

**Modification of the optical and electrical properties of CVD  
graphene**

Рыбин М. Г., Исламова В. Р., Образцова Е. Д.

Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва, Россия;  
rybmaxim@gmail.com

В данной работе рассмотрена методология синтеза *CVD* графена, и его функционализация примесными соединениями, такими как ферроцен ( $Fe(C_5H_5)_2$ ), кобальтоцен ( $Co(C_5H_5)_2$ ), хлорное железо ( $FeCl_3$ ) и хлорид меди I ( $CuCl$ ) с целью обогащения его носителями дырочной или электронной проводимости и понижения поверхностного сопротивления при сохранении прозрачности. В работе описаны исследования графена до и после легирования, с помощью четырёхконтактного метода измерения сопротивления, спектроскопии комбинационного рассеяния света и спектроскопии оптического поглощения.

Функционализация графена с помощью  $Fe(C_5H_5)_2$  и  $Co(C_5H_5)_2$  привела к возрастанию поверхностного сопротивления образцов в 1.5 раза; в то время, как при функционализации графена  $CuCl$  поверхностное сопротивление падало в 2.4 раза, при функционализации графена с помощью  $FeCl_3$  уменьшалось в 3 раза. Измерения электронных свойств показали сдвиг уровня Ферми на 0.6 eV в валентную зону для графена, легированного хлоридом меди.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-32-60203 мол\_а\_дк.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. M. Rybin, A. Pereyaslavtsev, T. Vasilieva etc. Efficient nitrogen doping of graphene by plasma treatment. *Carbon* 96. 2016. PP. 196–202
2. M. Rybin, V. Islamova, E.A. Obraztsova, and E.D. Obraztsova Modification of graphene electronic properties via controllable gas-phase doping with copper chloride. *Applied Physics Letters*. 2018. V. 112, P. 033107.

**Регистрация инфракрасных волн с помощью сенсора на основе оксида графена**  
**Registration of infrared waves by sensor based on graphene oxide**

Семенов С. О.<sup>1</sup>, Неустроев Е. П.<sup>1</sup>, Савинова Н. А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> СВФУ, Якутск, Россия; Semens1993@mail.ru

Процесс измерения температуры материалов, как правило, проводится контактным способом, но существуют определенные среды, в которых этот метод становится непригодным. Бесконтактный способ измерения температуры является удобным экспресс методом определения температуры, позволяющий проводить исследования образцов без взятия проб. Одним из перспективных материалов для бесконтактных сенсоров является оксид графена (ОГ) [1].

В данной работе были поставлены задачи проведения поверхностного анализа и определения температуры объектов с помощью сенсора на основе ОГ. Для проведения эксперимента была изготовлен лабораторный измерительный стенд, в котором инфракрасные диоды располагались параллельно с фотоприемником. Измеряемый контрольный объект имел известную температуру. Поток инфракрасных волн, излучаемый контролльным объектом, принималось на поверхность ОГ и приводил к изменению сопротивления. В работе исследованы зависимости тока и напряжения от температуры контрольного объекта ИК диапазона.

Результаты работы показывают, что графеновый бесконтактный сенсор температуры может быть использован для измерения температуры при определенных условиях.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. S. Evlashin, P. Dyakonov, R. Khmelnitsky, and et al. *Controllable Laser Reduction of Graphene Oxide Films for Photoelectronic Applications*. ACS Appl. Mater. Interfaces, 2016, 8. – p. 28880-28887.

**Применение коллоидных квантовых точек в катодолюминесцентных источниках света**

**Application of a colloidal quantum dots in cathodoluminescent light sources**

**Huda K. Hameed**

*Moscow Institute of Physics and Technology (State University), Moscow, Russia;*  
*huda.mjmaa@gmail.com*

In this review we present new concepts and recent progress in the application of a colloidal quantum dots (QD) for field emission cathodoluminescence light source . Key recent results obtained in studies of anew class of luminophores, colloidal quantum dots, are analyzed. Modern methods for the synthesis and post-synthetic treatment of colloidal quantum dots that make it possible to achieve record high quantum yield of luminescence and to modify their characteristics for specific applications are considered. To offer wide opportunities for manufacturing of luminophores with tuning spectra.

*References*

1. Sergey B. Brichkin , Vladimir F. Razumov. Colloidal quantum dots: synthesis, properties and applications. *Russ. Chem. Rev.*. 2016. 85, № (12). C. 1297–1312.
2. Dmitry I. Ozol. Preliminary Study of Cathode Ray Tube Phosphores on the Basis of Nanocrystal Quantum Dots. *IEEE*, 2016.
3. I. V. Martynenko, A. P. Litvin, F. Purcell Milton, A. V. Baranov, A. V. Fedorov and Y. K. Gunko. Application of semiconductor quantum dots in bioimaging and biosensing. *J. Mater. Chem.* 2017. № 5. P. 6701–6727.
4. A. S. Bugaev, V. B. Kireev, E. P. Sheshin, A. Yu. Kolodyazhnyj. Cathodoluminescent light sources: status and prospects. *Physics- Uspekhi*. 2015. 58, № 8. P. 792–818.

## Характеристики фотолюминесценции коллоидных квантовых точек

### Photoluminescence characteristics of colloidal quantum dots

Huda K. Hameed

Moscow Institute of Physics and Technology (State University), Moscow, Russia;  
huda.mjmaa@gmail.com

This review mostly focuses on recent advancements related to studies of a new class of luminophores, colloidal quantum dots. Modern methods for the synthesis and post-synthetic treatment of colloidal quantum dots that make it possible to accomplish record high quantum yield of luminescence and to adjust their qualities for particular applications are considered. We will also discuss the key avenues of research on CQDs, as well as problems in and prospects for their applications in light emitting sources.

#### References

1. Ozawa Lyuji. *Cathodoluminescence and photoluminescence: theories and practical applications*. Boca Raton: CRC Press, 2010.
2. Sergey B. Brichkin , Vladimir F. Razumov. Colloidal quantum dots: synthesis, properties and applications. *Russ. Chem. Rev.*. 2016. 85, № (12). С. 1297–1312.
2. Syamanta Kumar Goswami , Tae Soo Kim, Eunsoon Oh, Kiran Kumar Challa, Eui-Tae Kim. Optical properties and effect of carrier tunnelling in CdSe colloidal quantum dots: A comparative study with different ligands. *AIP ADVANCES* 2, 032132 (2012); doi: 10.1063/1.4745080.
2. ANDREW M. SMITH , SHUMING NIE. Semiconductor Nanocrystals: Structure, Properties, and Band Gap Engineering. *AccChemRes.* 2010 February, 43 № (2). P. 190–200.
2. J. Rodriguez -Viejo , K. F. Jensen, H. Mattossi, J. Michel, B. O. Dabbousi, M. G. Bawendi. Cathodoluminescence and photoluminescence of highly luminescent CdSe/ZnS quantum dot composites. *Appl. Phys. Lett.* 70, 2132 (1997); doi: 10.1063/1.119043.

## Strong resonance of quasi 1D structures at the Bi/InAs(100) interface

O. Heckmann<sup>1</sup>, M. C. Richter<sup>1</sup>, U. Djukic<sup>1</sup>, J.-M. Mariot<sup>2</sup>, W. Wang<sup>3</sup>, I. Vobornik<sup>4</sup>, K. Hricovini<sup>1</sup>

<sup>1</sup>LPMS, Universite de Cergy-Pontoise, Cergy, France;

<sup>2</sup>UPMC Univ Paris 06, LCP-MR, France;

<sup>3</sup>Linkopings Universitet, Department of Physics, Sweden;

<sup>4</sup>Elettra-Sincrotrone Trieste, Italy;

karol.hricovini@u-cergy.fr

We have studied by ARPES the electronic states of the Bi/InAs(100) interface. The building up of the interface affects only slightly the electronic structure of the InAs(100) substrate. As a consequence of weak interaction, bismuth states are located in the gaps of the electronic structure of InAs(100). We observe a strong resonance of the Bi electronic states close to the Fermi level. Its intensity depends on the photon energy and on the photon polarization

Thin Bi films are interesting candidates for spintronic applications due to a large spin-orbit splitting that, combined with the loss of inversion symmetry at the surface, results in a band structure that is not spin-degenerate. In recent years, applications for topological insulators based on Bi compounds have as well attracted much attention. Theoretical studies [1] predicted non-trivial topological surface states appearing on single bi-layer of Bi and a more complex behaviour was suggested for a variable film thickness [2]. This clearly indicates that the electronic properties of thin films of this material are far from being understood.

From a spectroscopic point of view, the presence of 1-dimensional objects on both InAs(100) and Bi/InAs(100) surfaces imposes four different orientations between the In (Bi) lines, the orientation of the electric vector E of the light, and that of the analyser slit (that determines electron dispersion),  $\Theta_A$ . Interestingly, both clean InAs(100) and Bi-covered surfaces show a strong resonance of the surface states at the same photon energy of 31 eV, when the E vector is perpendicular to the respective lines.

### References

1. M. Wada et al. *Phys. Rev. B* 83, 121310(R) (2011)
2. Z. Liu et al. *Phys. Rev. Lett.* 107, 136805 (2011)

### Секция III. Спинtronная и «долинная» электроника, топологические изоляторы и электроны на жидком гелии - путь к квантовым симуляторам

#### Нейтронные исследования материалов для спинtronики Neutron research of materials for spintronics

Аксенов В. Л.<sup>1,2,3</sup>, Никитенко Ю. В.<sup>2</sup>, Хайдуков Ю. Н.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия; aksenov@nf.jinr.ru

<sup>2</sup>ОИЯИ, Дубна, Московская обл., Россия; nikiten@nf.jinr.ru

<sup>3</sup>МГУ, Москва, Россия; y.khaydukov@fkf.mpg.de

В кратком введении на примере изучения гигантского магнитного сопротивления в структуре Fe/Cr сформулированы возможности рефлектометрии с поляризованными нейтронами при изучении магнитных свойств многослойных тонких пленок [1].

Основное содержание посвящено комплексному исследованию зависимости от толщины  $d$  ферромагнитного слоя (ФМ) магнитных и сверхпроводящих (СП) свойств трехслойной системы Nb( 25 нм )/Gd( $d$ )/Nb( 25 нм ) с целью выяснения оптимальных условий изготовления СП/ФМ структур для СП спинtronики. Толщина  $d$  извлекается из комплексного анализа с использованием масс-спектрометрии, рентгеновской и нейтронной рефлектометрии и СКВИД магнетометрии. Измеренная зависимость температуры СП перехода  $T_c(d)$  имеет затухающее осциллирующее поведение с хорошо определенными минимумами и максимумами. Теоретический анализ проводился на основе линеаризованных уравнений Узаделя. Показано, что СП корреляции проникают в слой Gd на глубину 4 нм.  $\pi$ -состояние становится энергетически выгодным при  $d = (3 \div 6)$  нм. Структуры с  $d \sim \xi$  наиболее интересны для СП спинtronики.

Нейтронные измерения проводились на рефлектометрах NREX ( $\lambda = 0.428$  нм) на реакторе FRM-II в Мюнхене и РЕМУР ( $\lambda = [0.15 \div 1]$  нм) на реакторе ИБР-2 в Дубне.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аксенов В. Л. Новые аспекты оптики поляризованных нейтронов. *Природа*. 2008. № 9. С. 50–59.
2. Khaydukov Yu. N., Nikitenko Yu. V., Aksenov V. L. et al. Magnetic and Superconducting Phase Diagram of Nb/Gd/Nb trilayers. *Phys. Rev. B*. Submitted 2018. arXiv:1801.04732.

## Синтез и исследование двумерного MoS<sub>2</sub>, выращенного на SiO<sub>2</sub> методом CVD

### Synthesis and investigation of two-dimensional MoS<sub>2</sub> on SiO<sub>2</sub> by CVD technique

Захаркина Е. И.<sup>1</sup>, Семенова А. А.<sup>1</sup>, Боякинов Е. Ф.<sup>1</sup>, Винокуров П. В.<sup>1</sup>,  
Смагулова С. А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Северо-Восточный Федеральный университет, Якутск, Россия;  
evdokiya\_21@mail.ru

Одним из наиболее активно исследуемых двумерных материалов является MoS<sub>2</sub>, который является прямозонным полупроводником с шириной запрещенной зоны, равной 1.8 эВ [1]. Благодаря своим уникальным оптическим, механическим и электрофизическим свойствам MoS<sub>2</sub> сегодня вышел на первый план во многих областях.

В данной работе был проведен синтез двумерного MoS<sub>2</sub> на поверхности SiO<sub>2</sub> методом CVD в трехзонной трубчатой печи при температуре 700 С в течении 20 минут. Рост происходил при атмосферном давлении в потоке Ar со скоростью 10 см<sup>3</sup>/мин. Количество исходных прекурсоров MoO<sub>3</sub> и S бралось в соотношении 1:13.

Проведенные измерения на оптическом микроскопе и СЭМ показали рост доменов MoS<sub>2</sub> в виде треугольников с латеральными размерами до 80 мкм. На атомно-силовом микроскопе были измерены толщины доменов, которые составили 0.8-0.9 нм. Элементный анализ выявил содержание атомов молибдена (0,19 ат.-%), и серы. (0,48 ат.-%). С помощью анализа спектров комбинационного рассеяния света получили информации о количестве атомных слоев и качестве структуры выращенного дисульфида молибдена. Для однослойного MoS<sub>2</sub> разница частот между рамановскими пиками равнялась 19 см<sup>-1</sup>, для двухслойного 21 см<sup>-1</sup> и многослойного 25 см<sup>-1</sup>. Получены вольт-амперные характеристики выращенного материала.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18 - 32 - 00730, грант РФФИ № 18 - 42 - 140005 р\_а.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Wong S. L., et al. Recent progress in CVD growth of two-dimensional transition metal dichalcogenides. *Pctrysgrow.* 2016. V. 62(3), № 10. P. 9–28.

## Моделирование плавления квазиодномерного электронного кристалла в параболическом потенциале

### Numeric simulation of melting of the quasi-1D electron crystal in the parabolic potential

Захаров М. Ю.<sup>1</sup>, Бейсенголов Н. Р.<sup>1,2</sup>, Таюрский Д. А.<sup>1,2</sup>, Kono K.<sup>2,3,4</sup>, Rees D. G.<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup>Казанский Федеральный Университет, Казань, Россия; mikhailzakharo@yandex.ru

<sup>2</sup>RIKEN CEMS, Wako 351-0198, Japan;

<sup>3</sup>NCTU-RIKEN Joint Research Laboratory, Institute of Physics, National Chiao Tung University, Hsinchu 300, Taiwan;

<sup>4</sup>Совместная исследовательская лаборатория КФУ-РИКЕН, Казань, Россия;

Электроны на поверхности жидкого гелия являются системой, представляющей интерес для исследований благодаря своей уникальной чистоте и слабым взаимодействием с окружением. Экспериментальное исследование плавления квазиодномерного электронного кристалла в параболическом потенциале на поверхности жидкого гелия было проведено ранее. Целью данной работы было компьютерное моделирование данной системы с помощью метода молекулярной динамики для исследования механизмов плавления и интерпретации результатов эксперимента. Взаимодействие между частицами является неэкранированным кулоновским. Исследованные системы содержали от 144 до 164 частиц. Системы проходили процедуру нагревания от температуры 0.1 К до 0.8 К. На основе анализа движения частиц в системах были определены температуры плавления кристаллов. Для этого были определены температурные зависимости параметра Линдеманна, структурного фактора, трансляционной корреляционной функции и плотности дефектов в системе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Platzman P. M., Dykman M. I. Quantum computing with electrons floating on liquid helium. Science. 1999. Vol. 284, №. 5422. PP. 1967–1969.
2. Rees D. G., Beysengulov N. R. et. al. Structural order and melting of a quasi-one-dimensional electron system. Phys. Rev. B. 2016. Vol. 94. P. 045139.

## **Электронные свойства монослоя $MoS_2$ Electronic properties of mono-layer $MoS_2$**

**Захаров Р. Н., Шарин Е. П.**

*ФГАОУ ВО Северо-Восточный федеральный университет им. М.К.Аммосова, Якутск,  
Россия; itihonovroman@gmail.com*

В настоящее время графеноподобные материалы играют значительную роль в современной микро-, нано- и оптоэлектронике, что связано с их уникальными свойствами и способствуют их применению при разработке новейших приборов и устройств в различных областях человеческой деятельности. Поскольку характеристики графена тесно связаны с электронной подсистемой, очевидно, что любая химическая модификация будет оказывать существенное влияние. Следовательно, путем соответствующего выбора типа примеси можно управлять их электронными свойствами. Допиравание существенно модифицирует структуру на атомном уровне, поверхностную энергию, химическую активность и механические свойства графена, что позволяет существенно расширить область потенциального применения таких материалов. Вследствие близости величин атомных радиусов, бор (B) и азот (N) являются наиболее популярными легирующими элементами в сравнении с другими элементами.

В данной работе проведено исследование электронных свойств графена допированного атомами бора. Расчеты проводились с использованием теории функционала электронной плотности (DFT), реализованной в рамках программного пакета Quantum Espresso. Обменно-корреляционная энергия учтена в приближении LDA. Энергия обрезания базиса атомных орбиталей была выбрана равной 50 Ry. Для обеспечения достаточной точности взят набор k-точек 12x12x1 в двумерной зоне Бриллюэна исследуемой сверхячейки согласно схеме Монхоста-Пака.

## Колебательные свойства и магнитная теплоемкость линейного цепочечного антиферромагнетика KFeS<sub>2</sub>

### Lattice vibration properties and magnetic heat capacity of the covalent chain antiferromagnet KFeS<sub>2</sub>

Киямов А. Г.<sup>1</sup>, Тагиров Л. Р.<sup>1,2</sup>, Таюрский Д. А.<sup>1</sup>, Seidov Z.<sup>3,4</sup>, Widmann S.<sup>3</sup>, Krug von Nidda H.-A.<sup>3</sup>, Tsurkan V.<sup>3,5</sup>, Loidl A.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет Казань, Россия;  
airatphd@gmail.com

<sup>2</sup>КФТИ обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия;

<sup>3</sup>University of Augsburg, Augsburg, Germany;

<sup>4</sup>Institute of Physics of Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan;

<sup>5</sup>Institute of Applied Physics of Academy of Sciences of Moldova, Chisinau, Moldova;

Колебательные свойства линейного цепочечного антиферромагнетика ( KFeS<sub>2</sub> ) с температурой перехода T<sub>N</sub>=250К исследованы методами расчетов из первых принципов. Структура данной системы состоит из разделенных атомами калия тетраэдров - FeS<sub>4</sub>, выстроенных через общее ребро в цепочки вдоль кристаллографической оси c. Кроме низкочастотных акустических колебаний, рассчитанная в рамках квазигармонического приближения плотность фононных состояний содержит значительно число высокочастотных колебательных мод ионов железа и серы в диапазоне частот 8.5-12 ТГц. Решетчатый вклад в теплоемкость был непосредственно вычислен из фононной плотности состояний. Магнитная теплоемкость линейной цепочки ионов железа была оценена как разность между общей, экспериментально измеренной на высококачественных монокристаллах KFeS<sub>2</sub>, и рассчитанным фононным вкладом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Bronger W., Kyas A., Muller P. The Antiferromagnetic Structures of KFeS<sub>2</sub>, RbFe<sub>2</sub>, KFeSe<sub>2</sub>, and RbFeSe<sub>2</sub> and the Correlation between Magnetic Moments and Crystal Field Calculations. *Journal of solid state chemistry*. 1987 V. 70, P. 262-270.

**Тонкие пленки  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  для создания Ван-Дер-Ваальсовых гетероструктур**  
**Thin films  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  perspective for Van-Der-Vaals heterostructures**

Кустов Д. А.<sup>1</sup>, Небогатикова Н. А.<sup>1,2</sup>, Антонова И. В.<sup>1-3</sup>, Голяшов В. А.<sup>2</sup>, Кох К. А.<sup>4</sup>, Терещенко О. Е.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия;

<sup>2</sup>Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН

<sup>3</sup>Новосибирский государственный технологический университет

<sup>4</sup>Институт геологии и минералогии им. Б. С. Соболева СО РАН

daniel-kustov@yandex.ru, nadonebo@gmail.com, antonova@isp.nsc.ru,  
vladimirgolyashov@gmail.com, k.a.kokh@gmail.com, teresh@isp.nsc.ru

Селенид висмута ( $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ ) обладает свойствами топологического изолятора, при этом наибольший интерес для спиновой электроники представляют тонкие слои  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ .

Целью данной работы были получение тонких пленок  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  и исследование их электрических и структурных свойств. Для формирования пленок были использованы следующие подходы: а) CVD-рост на поверхности слюды и б) электрохимическое расщепление объемного селенида висмута с последующим переносом на подложки окисленного кремния  $\text{SiO}_2/\text{Si}$ . Структурные свойства пленок были исследованы методами АСМ-микроскопии и спектроскопии комбинационного рассеяния света. Характерные размеры отщепленных пленок составляли 10-100 мкм в длину и 2-10 нм в толщину, толщина выращенных пленок составляла от 4 нм до 200 нм в зависимости от условий роста. В работе была исследована зависимость электрических свойств пленок от их толщины и способа получения. Показано, что CVD-выращенные пленки  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  толщиной 4 нм являются непроводящими. При этом отщепленные пленки той же толщины демонстрировали удельное сопротивление 4-20 кОм/кв и подвижность носителей заряда 10-50 см<sup>2</sup>/Вс.

Полученные в работе пленки  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  являются перспективными для создания на их основе вертикальных гетероструктур.

## Прогнозирование структуры неуглеродной нанотрубки $WS_2$ Prediction of the structure of non-carbon nanotube $WS_2$

Федоров А. Г.

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия;  
a.g.fedorov@s-vfu.ru

В работе рассмотрены вопрос прогнозирования структуры неуглеродных нанотрубок (ННТ) с применением методов молекулярной динамики, а также ab initio расчетов для кластера ННТ на основе программного пакета USPEX [1].

Объектом исследования является дисульфид вольфрама ( $WS_2$ ), как наиболее перспективная ННТ, который обладает большим потенциалом применения в электронике, фотонике и других областях. Так, например, сравнительно недавно исследователи с Токио смогли наблюдать хиральную сверхпроводимость на основе  $WS_2$  [2], считающееся первым в мире наблюдением эффекта хиральности при сверхпроводимости.

С открытием в 1991 г. Iijima S. углеродной нанотрубки [3], обнаружено множество разновидностей нанотруб, свойства которых в перспективе может получить широкое практическое применение при условии разработки методов масштабного производства.

Для понимания в полной мере механических свойств внутреннего устройства нанообъектов, наряду с экспериментальными исследованиями требуется и теоретические работы.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Glass C.W., Oganov A.R., Hansen N. USPEX – evolutionary crystal structure prediction. *Comp. Phys. Comm.* 175. 2006. P. 713–720
2. Qin F., Shi W., Ideue T. etc. Superconductivity in a chiral nanotube. *Nature Communications*. Год. V. 8, № 14465 (2017) doi:10.1038/ncomms14465.
3. Iijima S. Helical microtubules of graphitic carbon. *Nature*. 1991. V. 354. P. 56–58.

## Магнитные свойства PbSnTe:In в сверхпроводящем состоянии

### Magnetic properties of PbSnTe:In in superconducting state

Шамшур Д. В., Волков М. П., Михайлин Н. Ю., Парфеньев Р. В.

ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия; d.shamshur@mail.ioffe.ru

Полупроводниковые соединения SnTe:In и PbSnTe:In представляют интерес в связи с возможностью реализации в них состояния «топологического кристаллического изолятора» [1]. Система полупроводниковых твердых растворов  $Pb_zSn_{1-z}Te$  образует непрерывный ряд твердых растворов замещения. Введение индия в твердый раствор приводит к возникновению в  $(Pb_zSn_{1-z})_{1-x}In_xTe$  примесной полосы квазилокальных состояний In и существенно влияет на его физические свойства. Так, в [2] было обнаружено, что при определенном уровне легирования In в твердом растворе наблюдается переход в сверхпроводящее (СП) состояние с температурой перехода  $T_c \leq 4.2$  К. Нами были изучены температурные  $m(T)$  и магнитополевые  $m(H)$  зависимости намагниченности  $m$  поликристаллических образцов  $(Pb_zSn_{1-z})_{0.84}In_{0.16}Te$  с содержанием свинца  $z = 0.3, 0.4$  и  $0.6$  в области СП состояния. Обнаружено, что в  $(Pb_{0.4}Sn_{0.6})_{0.84}In_{0.16}Te$  на зависимости  $m(H)$  наблюдается гистерезис, а при приближении к критическому полю  $H_{c2}$  появляется ярко выраженный экстремум. Одновременно на зависимости  $m(T)$  в магнитном поле, соответствующем области максимума  $m(H)$  и при  $T$ , близкой к  $T_c$ , наблюдается выраженная особенность. Уменьшение содержания свинца в твердом растворе (образец  $z = 0.3$ ) или его увеличение ( $z = 0.6$ ) приводит к уменьшению (или исчезновению) эффекта.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ruidan Zhong, John Schneeloch, Qiang Li, Wei Ku, John Tranquada and Genda Gu Indium Substitution Effect on the Topological Crystalline Insulator Family  $(Pb_{1-x}Sn_x)_{1-y}In_yTe$ : Topological and Superconducting Properties *Crystals*. 2017. Т. 7, № 2. С. 55.
2. Парфеньев Р. В., Шамшур Д. В., Немов С. А. Сверхпроводимость сплавов  $(Sn_{1-z}Pb_z)_{1-x}In_xTe$  *ФТТ*. 2001. Т. 43, № 10. С. 1772–1775.

## **Секция IV. Другие вопросы физики**

**Определение химического состава желчных камней методом ИК-Фурье спектроскопии**

**Determination the chemical composition of gallstones by FT-IR spectroscopy**

**Алексеев А. А., Гармаева Д. К., Афанасьева С. С.**

*Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Российская Федерация; asha14alek@yandex.ru*

Исследовано методом ИК-спектроскопии 34 желчных камня пациентов с желчнокаменной болезнью проживающих в разных районах Республики Саха (Якутия). Желчные камни были взяты после холецистэктомии из хирургических отделений больниц г. Якутска. Исследования проводились на ИК - Фурье спектрометре Paragon 1000 фирмы Perkin-Elmer (США). Измерения проводились в области  $400 - 4000 \text{ cm}^{-1}$  с разрешением  $4\text{cm}^{-1}$ . После обработки и отнесения характеристических полос поглощения к соответствующим структурным элементам желчные камни были разделены на 5 групп в зависимости от их химического состава. Процентное соотношение камней от общего количества исследованных составляло: холестериновые (23%), пигментные (9%), известковые (4%), пигментно-холестериновые (23%) и смешанные (41%), а процентное соотношение желчных камней по цвету составляло: белые (18%), темно – коричневые (18%), светло коричневые (57%), зеленые (7%) и черные (4%). Анализ желчнокаменной болезни на основе ИК-Фурье спектроскопии говорит о том, что уровень холестерина в отдельности или в комбинации с карбонатом кальция или билирубина является преобладающим компонентом желчных камней у жителей Республики Саха (Якутия). Их образование связано с нарушением холестеринового обмена в организме. Полученные спектры дают возможность охарактеризовать желчные камни по преобладанию в их составе тех или иных веществ и разработать в дальнейшем приемлемую тактику консервативного лечения желчнокаменной болезни.

**Особенности распространения ДВ-СВ-КВ радиоволн на  
Арктических трассах лед-море**  
**Features of the propagation of LW-MW-SW radio waves on  
Arctic ice-sea paths**

Bashkuev Yu. B.<sup>1</sup>, Dembelov M. G.<sup>1</sup>, Buyanova D. G.<sup>1</sup>, Naguslaeva I. B.<sup>1</sup>,  
Khaptanov V. B.<sup>1</sup>, Melchinov V. P.<sup>2</sup>

*Institute of Physical Materials Science of the Siberian Branch of the Russian Academy of  
Sciences 6, Sakhyanova str., Ulan-Ude, Russia; buddich@mail.ru*

*<sup>2</sup>North-Eastern Federal University, Belinsky str, Yakutsk, Russia; melchinovvp@mail.ru*

A study of radio wave propagation over the ice-covered sea areas is of great importance with the problem of the surface electromagnetic wave (SEW). Many of LF-MF-HF radio systems in the Arctic seas work in the range of 100 kHz to 5 MHz. Results of experiments for the observation of surface electromagnetic waves (SEWs) in the decameter range (10 and 15 MHz) excited by a vertical dipole and propagating above the ice-coated surface of a salt lake over a distance of up to 1.2 km are considered. It is shown that the SEW decays much more weakly than the "ground" ray. The absolute values of the radiation attenuation function —W— are significantly greater than unity and reach —W—  $\approx 2$ , which also corresponds to the SEW. Experimental data on the SEW damping agree with the results of numerical calculations of the electromagnetic field in the system under consideration. The ice layer has a great influence on the electromagnetic field, which can be greater over the ice-covered ocean compared with the field over an infinitely conducting plane. The field increase effect is due to the SEW. It was determined that the conditions of radio wave propagation over ice paths depend on a frequency, ice thickness and distance from the transmitter within the 100 kHz – 5 MHz range on the paths with ice thickness from 0.1 to 4 meters. According to the results of numerical data of the modeling of conditions of radio wave propagation within the range of 100 kHz – 5 MHz (attenuation function W, electromagnetic field level E) over the stratified "ice-sea" medium the efficiency assessment of communication channels and navigation in the Arctic regions was carried out. The results of the modeling displayed a strong influence of the ice layer on the LF-MF-HF range radio wave propagation.

**Моделирование нейтрального токового слоя межпланетного магнитного поля**

**Modeling of the neutral current sheet of the interplanetary magnetic field**

**Винокуров Н. А.**

**Vinokurov N. A.**

*Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, Якутск, Российская Федерация; nickvnkrv@gmail.com*

Гелиосферный токовый слой (ГТС) разделяет противоположные полярности магнитного поля Солнца. По причине того, что общее магнитное поле Солнца не является чисто дипольным, а солнечный ветер не является идеально сферически симметричным, ГТС имеет сложную форму с отклонениями в ту и другую сторону от плоскости солнечного экватора, которая в различных фазах солнечной активности может сильно изменяться. В данной работе предложена многопараметрическая модель ГТС. Произведено сопоставление результатов моделирования с данными прямых измерений сигналов межпланетного магнитного поля (<https://omniweb.gsfc.nasa.gov/html/polarity/polarity.html>) за 1978, 1998, 2009 гг. На основе анализа полученных данных получена оценка отклонения оси магнитного поля Солнца от оси его вращения, угла раствора гофра ГТС, количества секторов межпланетного магнитного поля, а также северо-южной асимметрии структуры ГТС.

**Зависимость амплитуды Форбуш понижения от параметров магнитного облака**

**The dependence of the Forbush decrease amplitude on the Magnetic Cloud Parameters**

Vinokurov N. A., Gololobov P. Yu., Petukhova A. S.

*Институт космофизических исследований и аэрономии им. Ю.Г. Шафера СО РАН,  
Якутск, Российская Федерация; ikfia@ysn.ru*

Выбросы корональной массы вещества оказывают воздействие на состояние околоземного пространства. Наиболее сильное воздействие оказывают магнитные облака, являющиеся частью выброса. Согласно модели (Петухова А.С., Петухов И.С., Петухов С.И. Форбуш-понижение космических лучей в тороидальной модели магнитного облака // Письма в ЖЭТФ. 2015. Т. 102. № 11. С. 807) Форбуш понижение в магнитном облаке зависит от: напряженности магнитного поля, градиента скорости потока, геометрического размера и прицельного расстояния. С целью проверки выводов теории проводится анализ реальных событий, полученных на основе наземных измерений, методом глобальной съемки.

**Моделирование распределения температуры электронов в  
субавроральной ионосфере для зимних условий**

**Modeling the electron temperature distribution in the  
subauroral ionosphere for winter condition**

Голиков И. А.<sup>1</sup>, Гололобов А. Ю.<sup>2</sup>, Попов В. И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт космомагнитных исследований и аэрономии СО РАН, г. Якутск, Россия  
gia2008@mail.ru

<sup>2</sup>Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия  
golart87@gmail.com

В докладе рассматриваются результаты численного моделирования высоколатитудной ионосферы с учетом ионосферно - магнитосферного взаимодействия. Расчеты проведены на модели высоколатитудной ионосферы в переменных Эйлера, позволяющей рассчитывать концентрацию ионов  $O^+$ , температуру электронов и ионов с учетом несовпадения полюсов. Обсуждаются особенности распределения параметров ионосферы, полученных для разных геофизических условий.

**Кватернионные функции и их приложения в механике  
сплошных сред**  
**Quaternionic functions and their applications in mechanics of  
continua**

Григорьев Ю. М.

*Северо-Восточный федеральный университет, Якутск, Россия grigyum@yandex.ru*

Представлена теория кватернионных функций неполной кватернионной переменной [1 - 2]. Изучаемые функции возникают как решения системы Моисила - Теодореску (СМТ), являющейся трехмерным аналогом системы Коши - Римана. В многомерном Клиффордовом анализе теория СМТ является частным случаем, но используемые нами лево - моногенные аналоги степеней комплексной переменной отличаются от используемых в Клиффордовом анализе двусторонне моногенных полиномов. Показано, что полноценная теория строится и при нашем подходе [3]. В связи с приложениями теории СМТ специальное развитие трехмерной теории вполне оправдано. Основой эффективных приложений кватернионного анализа в теории упругости являются различные варианты кватернионного расширения формул Колосова - Мусхелишвили [4]. Аналогичные результаты получены при решении системы Стокса, описывающей медленные течения вязкой жидкости. В дальнейшем перспективными представляются развитие кватернионных методов решения некорректных задач теории упругости, развитие кватернионных численных методов и др.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Наумов В. В., Григорьев Ю. М. Ряд Лорана для системы Моисила-Теодореску // Динамика спл. среды. 1982. № 54. С. 115–126.
2. Григорьев Ю. М., Наумов В. В. Аппроксимационные теоремы для системы Моисила Теодореску // Сиб. мат. ж. 1984. Т. 25, № 54. С. 9–19.
3. Grigor'ev Yu. M. Regular quaternionic polynomials and their properties // Complex Variables and Elliptic Equations. 2017. V. 62. No . P. 1343–1363.
3. Grigor'ev Yu. M. Three-dimensional Quaternionic Analogue of Kolosov-Muskhelishvili Formulae // Trends in Mathematics. 2014. V. 65. P. 145–166.

## **Индуцированные грозовые перенапряжения в многопроводных линиях передач**

### **Lightning induced overvoltages in multiconductor transmission lines**

**Григорьев Ю. М., Борисова М. Н., Харлампьева С. Г.**

*Северо-Восточный федеральный университет, Якутск, Россия grigyum@yandex.ru*

Представлена математическая модель электростатической компоненты индуцированных грозовых напряжений, называемой волна тока и напряжения (ВТН), в многопроводной линии передачи ограниченной длины в условиях многолетней мерзлоты, являющаяся развитием разработанных ранее моделей [1-5]. Результаты вычислительной реализации показывают, что параметры ВТН существенно растут с увеличением толщины многолетней мерзлоты, в частности, при ближнем ударе молнии максимальное значение перенапряжения может достигать нескольких мегавольт. Показано, что при ближнем разряде молнии между облаками величины ВТН также существенны, но меньше, чем при разряде молнии в землю.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Григорьев Ю. М., Орлова М. Н. Математическая модель грозового перенапряжения в линии передачи при разряде молнии между двумя облаками // Динамика сплошной среды. 2004. № 122. С. 53
2. Григорьев Ю. М., Орлова М. Н. Математическая модель грозовых перенапряжений в линии передач с учетом зависимости тока молнии от времени // Вестник Якутского государственного университета. 2007. Т. 4. № 2. С. 45-52.
3. Григорьев Ю. М., Орлова М. Н. Влияние ближнего разряда молнии на линию передачи // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. 2009. № 1-1 (22). С. 23-26.
4. Григорьев Ю. М., Орлова М. Н. Индуцированные перенапряжения в линии передач при разряде молнии между облаками // Математические заметки ЯГУ. 2009. Т. 16. № 1. С. 129-142.
5. Григорьев Ю. М., Борисова М. Н. Различные подходы моделирования на- веденных токов в линии передач // Математические заметки СВФУ. 2014. Т. 21. № 1. С. 98-105.

## Модель плазменной оболочки замагниченных планет (автомодельный случай)

### Plasma sheath model of magnetized planets (automodel case)

Ефремова С. А.<sup>1</sup>, Ромашенко Ю. А., Крымский Г. Ф.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> СВФУ, Якутск, Россия; sae\_svfu@mail.ru

<sup>2</sup> ИКФИА им. Ю. Г. Шафера, Якутск, Россия;

Целью настоящей работы является построение простой аналитической модели системы: "магнитное поле диполя-промагниченная плазма". Задача рассматривается в стационарном режиме, при этом допускается, что через плазму протекает ток. При рассмотрении крупномасштабных явлений системы "плазма-магнитное поле" можно с успехом применить магнитогидродинамический подход. В качестве простейшей модели будем считать систему сферически симметричной, токи протекающие по плазме будем считать компактными образованиями с финитными или инфинитными границами с единственной азимутальной компонентой. Такую систему проще всего считать системой с осесимметричной конфигурацией. В упрощенном виде стационарная задача формулируется следующим образом: - имеется магнитное поле диполя планеты, в окрестности которого находится плазма. - через эту плазму протекает квазикольцевой ток, магнитное поле которого складываясь с полем диполя дает основной "портрет" системы. - распределение кольцевых токов в пространстве может иметь финитный или инфинитный характер. Основным для решения задачи является уравнение Грэда-Шафранова [1], определяющее равновесную конфигурацию с нелинейным распределением продольного тока. В работе разобраны различные варианты для продольного тока. Решение проводилось численными методами, а также методом Галеркина [2]. Результаты задачи могут быть использованы при рассмотрении физических явлений в магнитосферах замагниченных планет, в оболочках пульсаров, а также в лабораторных условиях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шафранов В. Д. Равновесие плазмы в магнитном поле. Вопросы теории плазмы. Под ред. М. А. Леоновича. Москва: Госатомиздат, 1963. С. 92-131.
2. Канторович Л. В., Крылов В. И. Приближенные методы высшего анализа. Москва-Ленинград: Гос.Издат.Ф-М.Л, 1962.

**Исследование модифицированной коры даурской  
лиственницы методом комбинационного рассеяния света**  
**Investigation of modified bark of the Daurian larch by Raman  
spectroscopy**

Zhebsain V. V.<sup>1</sup>, Popov V. I., Zhebsaina S. M.<sup>2</sup>, Nikiphorova A. A., Nikolaev M. S.

<sup>1</sup> Северо-Восточный федеральный университет им. М.К.Аммосова, Якутск, Российская  
Федерация; zhebs@mail.ru

<sup>2</sup> ООО «Айкra», Якутск, Российская Федерация; zhsof@mail.ru

Одним из эффективных методов изучения строения вещества является метод комбинационного рассеяния света (КРС) или рамановская спектроскопия. Указанным методом нами были проведены исследования коры даурской лиственницы при помощи нанолаборатории NT-MDT ИНТЕГРА. Цель исследований – изучение динамики спектра модифицированной гидротермической обработкой коры даурской лиственницы при её взаимодействии с нефтью и горюче-смазочными материалами (ГСМ). Исследования показали, что гидротермическая обработка коры даурской лиственницы приводит к модификации её структуры, так у модифицированной коры появляются выраженные четкие линии F(4400), G(4609), обусловленные по всей вероятности, экстракцией смол, газов иных миноритарных веществ в процессе обработки. Также результаты экспериментальные измерения показали существенное понижение плотности и повышение сорбирующих свойств коры лиственницы при гидротермической модификации, что свидетельствует об увеличении её пористости. Отметим, что при взаимодействие коры как с дизтопливом, так и с бензином приводит к появлению двух новых максимумов в районе 4400 см<sup>-1</sup> и 4600 см<sup>-1</sup> это F(4400), G(4593) для случая кора+дизтопливо и F(4400), G(4601) у сочетания кора + бензин. Примечательно, что при гидротермической обработке мы получаем максимумы в том же районе. Т.О., взаимодействие коры лиственницы с дизтопливом и бензином приводит к такому же спектральному результату, что и её гидротермическая модификации.

## **Расчет вероятности положения частицы в винтовом пневмосепараторе**

### **Calculation of the probability of the position of a particle in a spiral pneumoseparator**

**Крылатова С. Р.<sup>1</sup>, Яковлев Б. В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, Якутск, Россия; tsubasasardaana@mail.ru

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, Якутск, Россия; b-yakovlev@mail.ru

Из-за наклона рабочей поверхности пневмосепаратора частицы под действием воздуха движутся различным образом в зависимости от размеров и массы. Тяжелые частицы (полезная фракция) в основном движутся по центральной части и отделяются, а легкие (песок) по периферийной части винтовой поверхности и выбрасываются. Математическая модель рабочей поверхности винтового сепаратора получена обобщением модели конической поверхности. Нормаль к конической поверхности имеет две компоненты: радиальную и вертикальную. Винтовая поверхность получена добавлением третьей аксиальной компоненты. Движение частиц происходит только по рабочей поверхности. Зная закон движения для одной частицы, можно определить траектории и для системы невзаимодействующих частиц. При равномерном поступлении частиц на рабочую поверхность можно считать что, в начальный момент времени, распределение вероятности положения частицы вдоль радиуса винтовой поверхности однородно. Рассматривая движение невзаимодействующих частиц с заданным начальным однородным вдоль радиуса распределением, можно определить концентрацию частиц на винтовой поверхности в последующие моменты времени. При стационарном случае получается определенное независящее от времени распределение плотности частиц на поверхности. Согласно методу Гиббса это распределение отождествляется с распределением вероятности местонахождения одной частицы. В работе определено распределение вероятности положения частицы в трех витках рабочей поверхности пневмосепаратора. Результаты исследования представлены в виде поверхностных графиков.

## **Применение вейвлет для задач распознавания речи Using of wavelet for speech recognition**

**Леонтьев Н. А.**

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

Распознавание речи является одним из востребованных технологий в цифровом мире, но его трудоемкость и сложность является одним из факторов затрудняющим, его внедрением в обычную жизнь. Только большие корпорации, имеющие большой объем данных создают программные средства для повседневного использования распознавания речи. В мире продвинутые исследования имеют распространенные языки, такие как английский, европейские языки, индийский, арабский, китайский, русский. Существуют исследования языков народов России, например татарского, башкирского языка.

«Вейвлет - спектограммы отчетливо выделяют такие особенности сигналов, как разрывы, изменение знаков первой и второй производных, изменение частоты нестационарного сигнала и т. д. То есть те особенности сигналов, которые плохо выделяются на спектре Фурье - сигнала.

Таким образом, вейвлет - анализ сигналов открывает принципиально новые возможности в анализе нестационарных сигналов, к которым и относится анализ звуковых сигналов и речи».

Так как распознавания речи зависит от параметров полученных эмпирическим путем, это значит что для каждого языка, диалекта и говора существуют свои значения, с помощью которых происходит процесс автоматизированного распознавания речи. Автор проводит с помощью вейвлет - преобразования исследования устной речи на якутском языке. В частности, проведены измерения параметров речи, сегментация речи. Проводятся исследования для более точного определения гласных и согласных фонем якутского языка. Происходит сбор базы данных устной речи для увеличения точности распознавания речи. Исследуются различные виды вейвлет - преобразования для получения лучших результатов.

Применение вейвлет преобразования дает возможность расширить математический аппарат для исследования сигналов.

## Грозовые перенапряжения в линии передач в трехслойной среде

### Lightning induced overvoltages in transmission lines over layered earth

Борисова М. Н., Лонгинова В. Я.

Северо-Восточный федеральный университет, Якутск, Россия vikatakyrova@mail.ru

Развита математическая модель электростатической компоненты индуцированных грозовых напряжений, называемой волна тока и напряжения, в линии передачи ограниченной длины в условиях многолетней мерзлоты, являющаяся развитием разработанных ранее моделей [1-4]. Модель учитывает зависимость тока молнии от времени, для моделирования многолетней мерзлоты используется выражение для электростатического потенциала точечного заряда в трехслойной среде. Проведена вычислительная реализация модели при различных параметрах мерзлых пород и геометрии молнии. Показано, что величины перенапряжений могут достигать до 40 киловольт при ударе молнии в землю.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьев Ю. М., Орлова М. Н. Математическая модель грозовых перенапряжений в линии передач с учетом зависимости тока молнии от времени // Вестник Якутского государственного университета. 2007. Т. 4. № 2. С. 45–52.
2. Григорьев Ю. М., Орлова М. Н. Индуцированные перенапряжения в линии передач при разряде молнии между облаками // Математические заметки ЯГУ. 2009. Т. 16. № 1. С. 129–142.
3. Григорьев Ю. М., Орлова М. Н. Математическая модель волны тока и напряжения в линии передачи // Вестник Поморского университета. Серия "Естественные науки". 2010. №1. С.81–87.
4. Grigor'ev Y. M., Borisova M. N., Longinova V. Y., Ivanova A. A. Mathematical models of lightning-induced voltages in transmission lines in a permafrost region // AIP Conference Proceedings. 1907, 030016 (2017)

## Противоположные спутные потоки с общими условиями сопряжения

### Parallel and counter flows with the general conjugation conditions

Марков В. Г.<sup>1</sup>, Попов С. В.<sup>2</sup>

ФГАОУ ВО СВФУ им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия; <sup>1</sup>[bntntr@rambler.ru](mailto:bntntr@rambler.ru)  
<sup>2</sup>[guspopov@mail.ru](mailto:guspopov@mail.ru)

Краевые задачи для противоположных спутных потоков в случае линейных уравнений (в основном модельных) рассматривались в работах М.С. Боуенди, П. Гривара, К.Д. Пагани, С.А. Терсенова, А.М. Нахушева, И.Е. Егорова, Н.В. Кислова, С.Г. Пяткова, А.И. Кожанова, С.В. Потаповой и других авторов. Отметим, что подобные задачи возникают во многих областях физики, механики и некоторых других их приложениях. В монографии С.А. Терсенова (1985) впервые установлено, что гладкие решения этих задач существуют только при условиях выполнения конечного числа связей интегрального характера между данными задачи.

Рассматриваются вопросы разрешимости краевой задачи для  $2n$  - параболических уравнений с меняющимся направлением эволюции исследуются вопросы корректности краевых задач с полной матрицей условий сопряжения [1]. В работе [2] явно представлены условия разрешимости для краевых задач для параболических уравнений четвертого порядка с меняющимся направлением эволюции. При  $n = 3$  были рассмотрены общие условия сопряжения, найдены зависимости показателей гельдеровских пространств от весовых функций сопряжения.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках государственного задания НИР на 2017-2019 гг. (проект 1.6069.2017/8.9).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Popov S. V., Markov V. G. Boundary value problems for parabolic equations of high order with a changing time direction. // IOP Conf. Series: J. Phys. Conf. Series. V. 894 (2017) 012075. doi: 10.1088/1742-6596/894/1/012075.
2. Popov S. V. Parabolic equations with changing time direction and a full matrix of gluing conditions // AIP Conference Proceedings. V. 1907 (2017) 030009. doi.org/10.1063/1.5012631.

## **Особенности гидравлической крупности плоской частицы Features of hydraulic size of a flat particle**

**Матвеев И. А.<sup>1</sup>, Еремеева Н. Г.<sup>1</sup>, Степанова С. Д.<sup>2</sup>, Яковлев Б. В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Институт горного дела Севера им. Н.В. Чертского СО РАН (ИГДС СО РАН), Якутск,  
Россия; igor.andr.matveev@gmail.com

<sup>2</sup>Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия;  
b-yakovlev@mail.ru

При обогащении полезных ископаемых во всех гравитационных процессах имеет место падение частиц в жидкости в связи с этим, лаборатория обогащения полезных ископаемых ИГДС (СО РАН) изучает особенности поведения минеральных частиц в потоке воды, как по наклонной, так и по искривленной поверхности. Для расчетов и регулировки процессов гравитационного обогащения полезного компонента необходимо знать поведение, как самого полезного компонента, так и минеральных частиц в гидродинамической среде. В теории и практике гравитационного обогащения миграционную способность минеральных частиц в потоке принято оценивать через их гидравлическую крупность (ГК). На основе проведенных ранее экспериментальных исследований установлено, что гидравлическая крупность частиц одинаковой плотности зависит от их толщины. Было выявлено, что толщина золотин с достаточной точностью отражает массу вещества, приходящуюся на единицу площади наибольшего сечения частицы, которая оказывает давление на жидкость и определяет скорость погружения золотины. Сделанный вывод подтверждается наблюдением за ориентировкой частиц, погружающихся в стоячей воде; они “расекают” воду своей наибольшей площадью. При рассмотрении погружения частицы по законам физики, используя уравнение Бернулли была выведена формула по определению гидравлической крупности, зависящая от плотности и толщины частицы. Используя полученную формулу были построены кривые гидравлической крупности разных по плотности частиц в зависимости от их толщины. Проведенные сравнения полученных кривых ГК для частиц разной плотности с экспериментальными данными показали хорошее согласие теоретической модели с экспериментом.

**Оценка состояния растений при антропогенных загрязнениях  
флуоресцентными методами**  
**Assessment of plant condition under anthropogenic pollution by  
fluorescent methods**

Маторин Д. Н.<sup>1</sup>, Алексеев А. А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> МГУ, Москва, Россия; matorin@biophys.msu.ru

<sup>2</sup> СВФУ, Якутск, Россия; sasha14alek@yandex.ru

Состояние растительности может служить надежным критерием загрязненности среды, особенно воздуха. В растительных клетках вегетативных органов загрязнения в начальных стадиях в первую очередь вызывают серьезные изменения в хлоропластах, в которых протекает процесс фотосинтеза. Фотосинтез лежит в основе всех экосистем и представляет сложную систему преобразования энергии света, состоящую из двух фотосистем, осуществляющих нециклический электронный транспорт с разложением воды и выделением кислорода, образованием НАДФН<sub>2</sub> и АТФ. Нарушения в первичных процессах фотосинтеза отражаются в изменениях красной флуоресценции хлорофилла. В настоящее время развиваются методы анализа световых и индукционных кривых флуоресценции, позволяющих на интактных объектах следить за основными стадиями фотосинтетической электрон – транспортной цепи [1].

В докладе изложены теоретические основы и техника методов исследования индукционных кривых флуоресценции хлорофилла. Рассматривается возможность использования параметров индукционных кривых быстрой и замедленной флуоресценции для получения информации о важных характеристиках фотосинтетического аппарата растений и водорослей. Приведена краткая информация о приборах и перспективах использования флуоресцентных методов для оценки состояния растений и водорослей, произрастающих в разных экологических условиях и при биомониторинге. Приведены работы авторов по использованию быстрой и замедленной флуоресценции для выявления первичных стадий воздействия солей тяжелых металлов и современных наноматериалов на ФОТОСИНТЕЗ растений.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Д.Н. Маторин, А.А. Алексеев Флуоресценции хлорофилла для биодиагностики растений. Изд-во Альтрекс. 2013. С. 263.

## Структура мерзлоты в зоне термокарстового провала (п. Батагай)

The permafrost structure near the thermokarst fault of Batagay

Мельчинов В. П.<sup>1</sup>, Кладкин В. П.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Северо-Восточный Федеральный Университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия;  
melchinovvp@mail.ru, vp.kladkin@s-vfu.ru

Глобальное потепление климата является причиной возникновения новых термокарстовых котловин, примером которой является термокарстовый провал около п. Батагай. Провал расположен во впадине Янского плоскогорья на севере Якутии, на которых широко развит ледовый комплекс, представленный дисперсными мерзлыми грунтами и жилами льда. Измерения радиоволновыми методами показали, что высокие значения эффективного сопротивления подстилающей среды (до 3000 Омм) характерны для западной части провала в диапазоне средних волн. Результаты восстановления параметров геоэлектрического разреза по частотной зависимости поверхностного импеданса показали, что геоэлектрический разрез в этом месте обычно состоит из 3-4 слоев. Мощность мерзлых рыхлых отложений составляет порядка 30-40 метров с удельным электрическим сопротивлением (УЭС) до 30000 Омм. Такие высокие значения УЭС характерны для чрезвычайно льдистых пород. Ниже слоя ледового комплекса находится низкоомный талый слой с УЭС от единиц до десятков Омм. Низкие значения УЭС в толще мерзлых пород соответствуют обводненным зонам - так называемым криопэгам. На южной части провала максимальные значения УЭС ледового комплекса достигает всего лишь порядка 6000 Омм и мощность их варьирует от 10 м до 20 м. Ниже этого слоя также обнаружен низкоомный талый слой. За талым слоем следуют мерзлые льдистые породы с УЭС порядка 10000 Омм. Таким образом, обнаруженный межмерзлотный талый слой способствует интенсивному таянию ледового комплекса снизу. Таяние чрезвычайно льдистых грунтов и жил льда в западной части провала приводит к образованию отвесной стены провала, что наблюдается визуально и по фотографиям. Более пологие склоны наблюдаются на южной части провала, что связано с малой льдистостью залегающих пород, судя по тому, что их УЭС ниже, чем на западной части провала.

## Теоретическое исследование процесса отсадки при обогащении полезных ископаемых

Theoretical research of process of a jiggling at mineral processing

Никифорова Л. В., Яковлев Б. В.

ФГАОУ ВО Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск,  
Россия; nliudmilav@mail.ru

Работа посвящена моделированию физических процессов происходящих в устройствах обогащения полезных ископаемых. Одним из эффективных методов сепарирования тяжелых зерен в сыпучей среде, например золотых зерен, является гравитационная отсадка. В работе [1] представлена математическая модель процесса отсадки при гравитационной сепарации, основанная на физической модели, в которой используются стохастические диффузионные процессы. Рассматривается движение частиц с определенными параметрами в однородной среде, в поле тяжести земли, в отсадочной машине. При этом зерна фракций моделируются шарами определенного радиуса, используется статистический подход для описания процесса. В отсадочной машине происходят колебательные движения всего объема рабочей среды, которое характеризуется некоторыми параметрами, например амплитудой и частотой. При создании физической модели кинетическая энергия хаотического движения частиц связываются с этими параметрами. В результате моделирования получено уравнение типа Фоккера-Планка для фракций, помещенных в отсадочной машине. При решении этого уравнения используется теория броуновской частицы. Аналитически получены распределения вероятностей местонахождения частиц в различные моменты времени. Получены расчетные формулы для определения функции распределения фракций с равномерным распределением по рабочему объему в начальный момент времени. Рассчитаны распределения исследуемых зерен в различных случаях.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Никифорова Л. В., Матвеев А. И., Слепцова Е. С., Яковлев Б. В. 1. Математическое моделирование процесса отсадки. *Мат. заметки СВФУ*. 2014. Т. 21, № 1. С. 106–112.

## **Динамика формы диска из ковкого металла при изотропной бомбардировке**

### **The dynamics of a form of a disk of malleable metal for isotropic bombardment**

Осипов Д. Р.<sup>1</sup>, Яковлев Б. В.<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова, Якутск,  
Россия; juiz-osipov@mail.ru

Работа посвящена расчету времени образования торовидной формы плоского куска ковкого металла при обогащении полезных ископаемых. Первоначальная форма зерен золота, встречающихся в природе, в большинстве случаев имеет форму плоской пластины (чешуйчатую форму). При обогащении золотосодержащих руд в различных устройствах отсадки, сепарации, в дробилках происходит непрерывная многочисленная бомбардировка поверхности куска золота окружающими песчинками, в результате которой пластинка принимает торовидную форму. При сепарировании форма зерен в виде тора считается наиболее эффективной. Поэтому задача расчета времени образования торовидной формы куска золота является актуальной. В настоящей работе предлагается физическая модель образования торовидной формы куска ковкого металла, согласно которой вводится изотропный, однородный поток частиц деформирующих плоское тело (диск). На основе предложенной физической модели разработана математическая модель эволюции поверхности при деформации тела. Получено дифференциальное уравнение первого порядка относительно деформируемой поверхности, которое решается методом Рунге-Кутты. В результате исследования определена зависимость деформируемой поверхности от времени.

**Корреляция радиосигнала на частоте 30-35 МГц с энергией и  
продольным развитием шал сверхвысоких энергий**

**Radio signal correlation at the frequency 30-35 MHz with  
energy and longitudinal development of air showers with  
ultra-high energies**

**Knurenko S. P.<sup>1</sup>, Petrov I. S.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Yu. G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy, Yakutsk, Russia;*  
*s.p.knurenko@mail.ikfia.ysn.ru*

<sup>2</sup> *Yu. G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy, Yakutsk, Russia;*  
*igor.petrov@mail.ikfia.ysn.ru*

На Якутской установке на основе измерения черенковского излучения ШАЛ и регистрации заряженных частиц и мюонов найдена связь радиосигнала с характеристиками ШАЛ. Исходя из найденной корреляции измеряемых характеристик ШАЛ, эмпирическим путем получены формулы, связывающие  $E_0$  и  $X_{max}$  с амплитудой радиоизлучения. Показано, что измеряя амплитуду радиоизлучения на разных расстояниях от оси, можно независимо от измерения основных компонент ливня изучать физику развития ШАЛ и далее характеристики космических лучей.

***Ab-initio* моделирование свойств 2D электронной жидкости на интерфейсе между LaAlO<sub>3</sub> и SrTiO<sub>3</sub>**

***Ab-initio* investigation of a 2D electron liquid at the interface between LaAlO<sub>3</sub> and SrTiO<sub>3</sub>**

Пиянзина И. И.<sup>1</sup>, Таюрский Д. А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Российская Федерация;  
i.piyanzina@gmail.com

<sup>2</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Российская Федерация;  
dtaurusk@gmail.com

Гетероструктура, состоящая из тонкой пленки LaAlO<sub>3</sub>, эпитаксиально выращенной на подложке SrTiO<sub>3</sub>, являлась объектом интенсивных исследований последние 15 лет. Интерес к этой системе связан, в первую очередь, с возможностью образования двумерной электронной системы в интерфейсном слое TiO<sub>2</sub>, когда число слоев LaAlO<sub>3</sub> превышает три. Более того, эта металлическая фаза переходит в сверхпроводящее состояние при температурах ниже 300 К. Плотность электронов в такой гетероструктуре достигает  $3 \times 10^{13} \text{ см}^{-2}$ .

Однако, несмотря на большое количество как экспериментальных, так и теоретических исследований этой системы, полного понимания механизмов электронной перестройки (особенно в присутствии дефектов) до сих пор нет. В связи с этим в рамках настоящей работы было проведено систематическое исследование структурных, электронных и магнитных свойств тонких пленок и гетероинтерфейсов на основе LaAlO<sub>3</sub> и SrTiO<sub>3</sub> с помощью теории функционала плотности (DFT), реализованной в программе VASP.

Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности (задание № 3.9779.2017/8.9). Работа выполнена с использованием ресурсов суперкомпьютерного комплекса МГУ имени М.В. Ломоносова.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Ohtomo A., Hwang H. A high-mobility electron gas at the LaAlO<sub>3</sub>/SrTiO<sub>3</sub> heterointerface. *Nature*. 2004. V. 427. PP. 423–426.
2. Reyren N., Thiel S., Caviglia A. Superconducting interfaces between insulating oxides. *Science*. 2007. V. 317, № 5842. P. 1196–1199.

**Нелокальные интегро-дифференциальные задачи  
многомерных диффузионных процессов**

**Nonlocal integro-differential problems of multidimensional  
diffusion processes**

**Попов Н. С.**

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО "Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова г.  
Якутск, Россия popovnsrg@mail.ru

Нелокальные краевые задачи для параболических и гиперболических уравнений с интегральным условием на боковой границе активно изучаются в последнее время, но при этом в основном рассматривается лишь случай уравнений второго порядка по пространственным переменным [1]. Отметим также исследования для псевдопараболических и псевдогиперболических уравнений с интегральным условием на боковой границе [2].

Найти функцию  $u(x, t)$  являющуюся в цилиндре  $Q$  решением уравнения

$$Lu \equiv \frac{\partial}{\partial t}(Au) - \Delta u = f(x, t), \quad Au = \int_0^t N(t - \tau)u(x, \tau) d\tau,$$

и такую, что для нее выполняются условия

$$u(x, 0) = u_0(x), \quad x \in \Omega, \quad u(x, t)|_{(x,t) \in S} = \int_{\Omega} K_1(x, y, t)u(y, t)dy|_{(x,t) \in S}.$$

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках государственного задания НИР на 2017-2019 гг. (проект 1.6069.2017/8.9).

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Popov N. S. On solvability of boundary value problems for hyperbolic fourth-order equations with nonlocal boundary conditions of integral type // AIP Conference Proceedings. V. 1907 (2017) 030008. doi.org/ 10.1063/ 1.5012630.
2. Popov N. S. Solvability of a Boundary Value Problem for a Pseudoparabolic Equation with Nonlocal Integral Conditions // Differential Equations. 2015. V. 51. 3. pp. 362–375.

**Обратные задачи идентификации коэффициента  
параболического уравнения при функции источника**  
**The inverse identification problems of the parabolic equation  
coefficient for source function**

Прокопьев А. В.

*ФГАОУ ВО "Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова г.  
Якутск, Россия prokopevav85@gmail.com*

Рассматриваются линейные обратные задачи, в которых вместе с решением требуется определить правую часть (внешние нагрузки). Отметим актуальность данной тематики как с математической точки зрения, так и с точки зрения приложений в самых различных областях человеческой деятельности, таких, как экономика, акустика, геофизика, биология, экология, медицина, навигация, материаловедение, теория не разрушенного контроля.

Различные постановки обратных задач и ряд результатов для дифференциальных уравнений параболического типа можно найти в классических работах О.М. Алифанова, Ю.Е. Аниконова, Н.Я. Безнощенко, А.Л. Бухгейма, А.М. Денисова, М.М. Лаврентьева, А.И. Прилепко, С.Г. Пяткова, В.Г. Романова, J.R. Cannon, A.Lorenzi и ряда других авторов. Большой вклад в исследование обратных задач для параболических уравнений также внесли Ю.Е. Аниконов, Ю.Я. Белов, Б.А. Бубнов, В.В. Васин, Н.И. Иванчов, С.И. Кабанихин, В.Л. Камынин, А.И. Кожанов [1], С.З. Кулиев, А.Ш. Любanova, Е.Г. Саватеев, В.Е. Федоров, И.В. Фроленков, M. Choulli, A. Hasanov, V. Isakov, M. Yamamoto и другие.

В настоящей работе рассматриваются коэффициентные обратные задачи для многомерных параболических уравнений переменного направления эволюции — задачи определения вместе с решением одного или нескольких коэффициентов уравнения по некоторым дополнительным интегральным условиям.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Кожанов А. И. Параболические уравнения с неизвестными коэффициентами, зависящими от времени *Журнал вычислительной математики и математической физики*. 2017. Т. 57. № 6. С. 961–972.

**Эффект близости вnanoструктурах  
ферромагнетик-сверхпроводник и сверхпроводящая  
спинtronика**

**Proximity effect in the FS nanostructures and superconducting  
spintronics**

Прошин Ю. Н., Авдеев М. В., Борисова О. Н.,  
Кутузов А. С., Сираев Ф. М., Туманов В. А.

*Казанский федеральный университет, Казань, Россия; yurii.proshin@kpfu.ru*

Дан обзор состояния эффекта близости в структурах ферромагнетик-сверхпроводник (FS). Показано, что различие эффективных масс электронов мажоритарных и миноритарных спиновых подзон [1] и анизотропия поверхности Ферми [2] ферромагнетика может привести в системе SFS к дальнодействующему синглетному эффекту близости, что согласуется с экспериментом. Для сверхпроводящего геликоидального магнетика это различие приводит к появлению на фазовой диаграмме трикритической точки, разделяющей нормальное и сверхпроводящие (однородное и неоднородное) состояния. Для четырехслойной системы  $S_1F_1S_2F_2$  предложена реализация управления джозефсоновским контактом, основанная на эффекте спинового клапана. Немонотонные осцилляции  $T_c$  с заметной амплитудой, наблюдавшиеся в системе (Fe/Cr/Fe)/V/Fe при изменении толщины прослойки Cr, объяснены особенностями магнитной структуры образцов [3]. Рассмотрен эффект близости в FS системах с киральными поплавками.

Работа поддержана МНиВО РФ (#3.2166.2017) и РФФИ (#16-02-01016).

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Avdeev M. V., Proshin Yu. N. The theory of long-range Josephson current through a single-crystal ferromagnet nanowire. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2018. Т. 459. Р. 359–362.
2. Avdeev M. V., Proshin Yu. N. Long-range spin-singlet proximity effect for a Josephson system with a single-crystal ferromagnet due to its band-structure features. *Phys. Rev. B*. 2018. Т. 97. 100502R(5pp.).
3. Туманов В. А., Горюнов Ю. В., Прошин Ю. Н. Осцилляции критической температуры в гетероструктуре (Fe/Cr/Fe)/V/Fe. *Письма в ЖЭТФ*. 2018. Т. 107, № 7. С. 449–454.

## Радиационно-кондуктивный теплоперенос в плоском слое льда

### Radiative-conductive heat transfer in the plane layer of ice

Слепцов С.Д.<sup>1</sup>, Саввина Н.А.<sup>2</sup>, Рубцов Н.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск, Россия;  
s\_sleptsov@mail.ru

<sup>2</sup> Северо-Восточный федеральный университет, Якутск, Россия; nasavv@mail.ru

Моделирование таяния льда необходимо для понимания процессов происходящих как в природе, так и для обеспечения безопасности строительных конструкций, техники и населения в северных широтах. В настоящей работе поставлена задача верификации математической модели радиационно-кондуктивного теплопереноса в плоском слое льда [1] сравнением с опытными данными, представленными в [2] при облучении льда источником теплового излучения с температурой 800 К. Для решения радиационной части использовался метод средних потоков (СП-метод). Лед предполагается прозрачной, без рассеяния, высокопоглощающей серой средой. Рассчитаны поля температур и плотности потока рефразирующего радиационного излучения, а также темпы таяния и нагрева необлучаемой стороны льда. Учет наличия тонкой пленки талой воды на облучаемой поверхности хорошо согласуется с данными эксперимента по скорости таяния льда. Согласие расчета с опытными данными позволяет нам считать реализованной верификацию однофазной задачи Стефана для полупрозрачной среды.

Работа выполнена за счет средств, полученных от ФАНО России в рамках бюджетного проекта № III.18.2.2. «Теплофизические свойства и тепломассообмен в рабочих средах и материалах для энергетических технологий»

#### ЛИТЕРАТУРА

1. N. A. Rubtsov, N. A. Savvinova, and S. D. Sleptsov Simulation of the One-Phase Stefan Problem in a Layer of a Semitransparent Medium. *J. Engng Thermophysics*. 2015. V. 24, №. 2 P. 123–138.
2. N. Seki, M. Sugawara, S. Fukusaki Radiative Melting of Ice Layer Adhering to a Vertical Surface. *Wärme-und Stoffübertragung*. 1979. V. 12, Iss 2. P. 137–144.

## **Выбор дисперсного упрочнителя в металлической матричной композиции и исследование его гранулометрического состава**

### **Selection of reinforcing agent in metal composite matrix and study of its particle composition**

Сафонова М. Н.<sup>1</sup>, Федотов А. А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО "Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова,  
Якутск, Россия; marisafon\_2006@mail.ru

<sup>2</sup> ФГАОУ ВО "Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова,  
Якутск, Россия; fedot\_andrey@mail.ru

Предлагается вместо синтеза детонационных алмазов использовать в качестве армирующих наполнителей в композиционных материалах природные алмазные порошки.

Порошки природного алмаза ультрадисперсного диапазона получены на предприятии ОАО «Сахадаймонд». Порошки изготавливались на дробильно-классификационном оборудовании и вибростолах. Ситовая классификация осуществлялась на вибросите с набором сит, в зависимости от классифицируемого дробленного материала.

Исследования зернистости и зернового состава ультрадисперсного порошка природного алмаза методом компьютерного диагностического сита показали, что в его зерновом составе преобладают фракции 1–0 и 0,5–0. С применением БЭТ метода показано, что они имеют большую адсорбционную способность, кроме того частицы характеризуются высокой поверхностной активностью, позволяющей осуществлять прочное сцепление с матрицей. Величина их полной удельной поверхности оказалась равной 5,5 м<sup>2</sup>/г.

Обосновано применение природных алмазов в качестве дисперсных наполнителей и агента структурообразования в композитах на металлической основе.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Новиков Н. В., Никитин Ю. И. Петасюк Г. А. Компьютерное диагностическое сито для идентификации зернистости и зернового состава микроскопических проб алмазных шлифпорошков. *Сверхтвердые материалы*. Год 2003, № 3. С. 71–83.

**Исследование теплофизических процессов при дроблении  
руды в условиях Крайнего Севера**  
**Research of thermophysical processes during ore crushing in  
conditions of the Far North**

Григорьев Ю. М., Сивцев В. И., Яковлев Б. В.

*ФГАОУ ВО Северо-Восточный федеральный университет им. М.К.Аммосова, Якутск,  
Россия; vasiliy\_sivtsev@mail.ru*

На предприятиях АК «АЛРОСА» планируется внедрение стадиального дробления кимберлитов для подготовки руды к обогащению. Для таких технологических схем существуют риски замерзания дробленой руды во время аварийных остановок оборудования. Для оценки таких рисков в данной работе предлагается метод термодинамических расчетов. Разработана физическая и математическая модели растепления руды различной крупности. Математическая модель растепления руды включает систему обыкновенных дифференциальных уравнений относительно функции температуры руды и окружающей среды в зависимости от времени. Система уравнений решается численным методом Рунге-Кутты 4-го порядка. В результате проведенных расчетов получены зависимости температуры руды и окружающей среды в зависимости от времени, что позволяет оценить возможное время смерзания кусков руды. Проведена адаптация параметров модели по экспериментальным данным. Разработанная модель может быть использована для оценки параметров процессов смерзания кусков мерзлой и влажной руды между собой и примерзания руды к стенке установок, при различных температурах окружающей среды. При этом могут быть оценены параметры процесса смерзания руды при остановке оборудования: дробилки НР, когда влажная руда крупностью  $-200+50$  мм после операции дезинтеграции неподвижно лежит в металлическом бункере; передела рентгенолюминесцентных сепараторов, когда влажная руда крупностью  $-50+16$  мм и  $-16+5$  мм после операции грохочения неподвижно лежит в металлических бункерах; установки тяжелосредней сепарации, когда влажная руда крупностью  $-5+2$  мм после операции грохочения неподвижно лежит в металлическом бункере.

## **Регистрация черенковского света на Якутской установке ШАЛ**

**Cherenkov light detection at Yakutsk EAS array**

**Тимофеев Л. В.<sup>1</sup>, Иванов А. А.<sup>1</sup>**

**Timofeev L. V.<sup>1</sup>, Ivanov A. A.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *The Yu. G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy, Yakutsk, Russian Federation; timofeevlev@ikfia.yandex.ru*

Proposed a new method for measuring the cherenkov light from the extensive air shower (EAS) of cosmic rays (CR), which allows to determine not only the primary particle energy and angle of arrival, but also the parameters of the shower in the atmosphere - the maximum depth and "age". For measurements Cherenkov light produced by EAS is proposed to use a ground network of wide-angle telescopes which are separated from each other by a distance 100-300 m depending on the total number of telescopes operating in the coincidence signals, acting autonomously, or includes a detector of the charged components, radio waves, etc. as part of EAS. In a results such array could developed, energy measurement and CR angle of arrival data on the depth of the maximum and the associated mass of the primary particle generating by EAS. This is particularly important in the study of galactic cosmic ray in  $E > 10^{14}$  eV, where currently there are no direct measurements of the maximum depth of the EAS.

A wide fov Cherenkov telescope prototype obtained experimental data for the period from 19.10.2012 to 21.02.2017, 268 clear moonless night, about 1670 hours of observation, during the observation of the master load 30,000 times, of which the cherenkov telescope gave a signal to the coincidence of about 1200 times. What allowed to build width at half-maximum as function of the distance from the shower core (R), these calculations will help determine the shower core in the array plane.

The reported study was funded by RFBR according to the research project 16-29-13019. The research was supported by Scientific and Educational Foundation for Young Scientists of Republic of Sakha (Yakutia) within the Project 17-2-009477 Scientific and Educational Foundation as an instrument for young scientists to develop their professional competence and science popularization 20171201008 – 2

**Оценка скорости сходимости метода Галеркина для неклассического уравнения математической физики**

**An estimate for the rate convergence of galerkin method for nonclassical equation of mathematical physics**

**Федоров В. Е.**

*Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, Якутск, Россия;*  
VEFedorov58@mail.ru

Во многих прикладных задачах физики возникают уравнения с частными производными, которые в разных частях области их задания имеют разный тип. Их принято называть неклассическими уравнениями. При исследовании разрешимости краевых задач для таких уравнений широко применяется метод Галеркина [1]. При этом важное значение имеет оценка скорости сходимости этого метода нахождения приближенных решений.

В работе [2] с помощью нестационарного метода Галеркина в сочетании с методом регуляризации была установлена однозначная регулярная разрешимость краевой задачи для уравнения смешанного типа высокого порядка, постановка которой существенно отличается от задачи Врагова и первой краевой задачи [1]. В настоящей работе при тех же условиях на коэффициенты и правую часть уравнения для приближенных решений, построенных в [2], получена оценка скорости их сходимости к точному решению задачи в терминах параметра регуляризации и собственных значений спектральной задачи для соответствующего эллиптического уравнения высокого порядка, собственные функции которой выбираются в качестве специального базиса при построении приближенных решений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках базовой части государственного задания на выполнение НИР на 2017-2019 гг. (Проект 1.2017.6069/8.9).

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Егоров И. Е., Федоров В. Е. *Неклассические уравнения математической физики высокого порядка*. Новосибирск: Изд-во ВЦ СО РАН, 1995.
2. Егоров И. Е., Федоров В. Е. Об одной краевой задаче для уравнения смешанного типа высокого порядка. *Математические заметки ЯГУ*. 1999. Т. 6, № 1. С. 26–35.

## Свойства и некоторые приложения оператора радиального интегрирования

### Properties and some applications of the radial integration operator

Яковлев А. М., Григорьев Ю. М.

Северо-Восточный федеральный университет, Якутск, Россия  
andrewyakovlev1994@gmail.com

Область называется звездной относительно фиксированной точки О, если отрезок, соединяющий любую точку области с точкой О, целиком принадлежит этой области. В области, звездной относительно начала координат, определим оператор радиального интегрирования  $I^\alpha$ :

$$I^\alpha f = I^\alpha f(\mathbf{r}) = \int_0^1 t^\alpha f(\mathbf{r}t) dt.$$

Такие операторы радиального интегрирования находят свое применение в математической физике. Например, для решения бигармонического уравнения, для доказательства теорем Соболева о вложении, в теории специальных функций и т.д. В теории кватернионных функций оператор  $I^\alpha$  использован в работе [1] для восстановления регулярной функции по заданной скалярной части. Операторы радиального интегрирования используются также в теории системы Моисила-Теодореску и в теории упругости [2–3]. В данной работе введен другой оператор, действующий на функцию, определенную в дополнении звездной области. Изучены свойства такого оператора и приведены некоторые его применения в математической физике.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Sudbery A. Quaternionic analysis. *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*. 1979. № 85. pp. 199–225.
2. Grigor'ev Yuri. Three-dimensional Quaternionic Analogue of the Kolosov-Muskhelishvili Formulae. *Hypercomplex Analysis: New perspectives and applications, Trends in Mathematics*. Basel: Birkhauser, 2014. pp. 145-166.
3. Grigor'ev Yuri. Radial integration method in quaternion function theory and its applications. *AIP Conference Proceedings*. 2015. № 1648

Научное издание

**СИЛЬНО КОРРЕЛИРОВАННЫЕ ДВУМЕРНЫЕ СИСТЕМЫ:  
ОТ ТЕОРИИ К ПРАКТИКЕ**

Тезисы докладов  
Всероссийской конференции с международным участием

18-23 июня 2018 г.

*Выпускается в авторской редакции*

*Оформление обложки П.И. Антипин*

Дата подписания к использованию 13.06.2018. Электронное издание.

Объем 875 Кб. Тираж 10 дисков. Заказ № 162.

Минимальные системные требования:

процессор с тактовой частотой 1,3 Гц и выше, оперативная память 128 Мб,  
операционные системы: Microsoft Windows XP/Vista/7/8/10, ОС MAC OS версии 10,8.

Издательский дом Северо-Восточного федерального университета

677891, г. Якутск, ул. Петровского, 5.