

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

Отчет

по программе фундаментальных исследований
Президиума РАН

"Квантовая физика конденсированных сред"



ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА
Черноголовка 2009

«Квантовая физика конденсированных сред»

Программа фундаментальных исследований Президиума РАН

Сборник результатов, полученных в 2009 г.

**Председатель
Научного совета**

АНДРЕЕВ Александр Федорович, вице-президент Российской академии наук, директор Института физических проблем им. П.Л. Капицы РАН

**Заместители
Председателя
Научного совета**

ГАНТМАХЕР Всеволод Феликсович, член-корреспондент Российской академии наук, заведующий отделом Института физики твердого тела РАН

ПАРШИН Александр Яковлевич, член-корреспондент Российской академии наук, главный научный сотрудник Института физических проблем им. П. Л. Капицы РАН

**Ученый секретарь
Научного совета**

БОГОМОЛОВ Генрих Дмитриевич кандидат физико-математических наук, заместитель директора Института физических проблем им. П. Л. Капицы РАН

**Члены Научного
совета**

АСЕЕВ Александр Леонидович, Председатель Сибирского Отделения РАН,

академик Российской академии наук, директор Института физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН

БРЕДИХИН Сергей Иванович, доктор физико-математических наук, заместитель директора Института физики твердого тела РАН

ГАПОНОВ Сергей Викторович, академик Российской академии наук, директор Института физики микроструктур РАН

ЗАБРОДСКИЙ Андрей Георгиевич член-корреспондент Российской академии наук, директор Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе РАН

КВЕДЕР Виталий Владимирович член-корреспондент
Российской академии наук, директор Института физики
твердого тела РАН

КОПАЕВ Юрий Васильевич академик Российской академии
наук, директор Отделения физики твердого тела Физического
института им. П.Н. Лебедева РАН

ПУДАЛОВ Владимир Моисеевич доктор физико-
математических наук, ведущий научный сотрудник
Физического института им. П.Н. Лебедева РАН

САДОВСКИЙ Михаил Виссарионович академик Российской
академии

наук, главный научный сотрудник, зав. лабораторией
Института электрофизики УрО РАН

САЛИХОВ Кев Минуллович член-корреспондент
Российской академии наук, директор Казанского физико-
технического института им. Е. К. Завойского

СИБЕЛЬДИН Николай Николаевич член-корреспондент
Российской академии наук, заместитель директора Отделения
физики твердого тела Физического института им. П.Н.
Лебедева РАН

СТАРОБИНСКИЙ Алексей Александрович член-
корреспондент Российской академии наук, главный научный
сотрудник Института теоретической физики им. Л. Д. Ландау
РАН

ТИМОФЕЕВ Владислав Борисович академик Российской
академии наук, главный научный сотрудник Института физики
твердого тела РАН

ТУЛИН Вячеслав Александрович доктор физико-
математических наук, директор Института проблем технологии
микроэлектроники и особо чистых материалов РАН

ФЕЙГЕЛЬМАН Михаил Викторович доктор физико-
математических наук, заместитель директора Института
теоретической физики им. Л.Д. Ландау РАН

УСТИНОВ Владимир Васильевич академик Российской
академии наук, директор Института физики металлов УрО РАН

Направления и проекты	Руководитель проекта	Стр.
<i>Магнитоупорядоченные состояния в полупроводниках и структурах на их основе.</i>		
9.1 Новые методы теоретического описания магнитоупорядоченных состояний примесей в полупроводниках	Арсеев Петр Иварович	9
9.2 Исследование квантовых состояний полупроводниковых гетероструктур с орбитальным диэлектрическим упорядочением.	Кобаев Юрий Васильевич	11
9.3 Антиферромагнитное спиновое упорядочение в слоистых органических и неорганических полупроводниковых соединениях	Пудалов Владимир Моисеевич.	13
9.4 Экспериментальное исследование явлений, связанных с орбитальными тороидальными токами в полупроводниковых гетероструктурах	Цебро Виктор Иванович	14
9.5 Взаимодействие фотовозбужденных носителей высокой плотности со спиновой подсистемой в полупроводниковых гетероструктурах.	Бурбаев Тимур Маруанович	16
9.6 Многоспиновые комплексы и возбуждения в наноструктурах с магнитными примесями.	Кусраев Юрий Георгиевич	18
9.7 Магнитные взаимодействия волн пространственного заряда в высокоомных полупроводниках	Плешаков Иван Викторович	20
9.8 Магнитные полупроводники – мультиферроики $R_{(1-x)}\text{V}_x\text{MnO}_3$ и $R_{(1-x)}\text{Ce}_x\text{Mn}_2\text{O}_5$: слоистая сверхструктура, зарядовое упорядочение, ферромагнетизм	Санина Виктория Александровна	21
9.9 Новые наногетероструктуры на основе кобальта и дифторидов кальция, марганца и никеля: процессы роста, кристаллическая структура и магнитные свойства	Соколов Николай Семенович	23
9.10 Особенности слабой локализации в наноструктурах с вырожденным основным состояние носителей тока	Аверкиев Никита Сергеевич	25
9.11 Изучение магнитных состояний в низкоразмерных структурах на основе полупроводниковых материалов и магнитоупорядоченных соединений методами линейной и нелинейной магнитооптики	Павлов Виктор Владимирович	26
9.12 Квантовые явления в сэндвич-структурах $\text{CdB}_x\text{F}_{2-x}$ - p-CdF ₂ - CdB _x F _{2-x} на поверхности кристалла n-CdF ₂	Баграев Николай Таймуразович	28
9.13 Полярные и магнитные нанокластеры, мультиферроидные состояния в твердых растворах на основе квантовых параэлектриков.	Марковин Павел Алексеевич	30
9.15 Магнитоупорядоченные состояния в мультиферроиках $\text{RM}_3(\text{BO}_3)_4$ (R – редкая земля, M=Fe, Cr): исследование методами оптической спектроскопии	Попова Марина Николаевна	32
9.16 Исследование распространения магнитостатических спиновых волн в ферритовых пленках со структурированной металлизированной поверхностью	Тулин Вячеслав Александрович	34
9.17 Модификация свойств молекулярных наноманитов семейства оксокарбоксилатных кластеров Mn_{12}	Ягубский Эдуард Борисович	36

9.18 Структура и свойства низкоразмерных бифункциональных молекулярных материалов, сочетающих проводимость (или сверхпроводимость) и магнетизм	Шибаета Римма Павловна	38
9.20 Изучение эффектов спиновой поляризации магнитных примесей и электронного остова в кондо-полупроводниках.	Альтшулер Татьяна Семеновна	40
9.21 Магнитооптические исследования магнитной структуры и кинетики перемагничивания лантан-стронциевых манганитов	Успенская Людмила Сергеевна	42
<i>Нанокристаллические и нанокластерные материалы, включая углеродные материалы</i>		
10.2 Люминесцентные свойства гетерогенных нанотетраподов	Витухновский Алексей Григорьевич	44
10.3 Исследование оптических свойств наночастиц сложной формы и структуры	Климов Василий Васильевич	46
10.4 Особенности оптических свойств углеродных нанокластерных материалов	Мельник Николай Николаевич	47
10.6 Оптические линейные и активные свойства нанокристаллических мезоструктурированных допированных фотонных световодов из галогенидов металлов.	Бутвина Леонид Николаевич	49
10.7 Исследование структуры электрических полей в нанопористых материалах	Волков Александр Александрович	51
10.8 Аномальный магнетизм нанотрубок и наноматериалов на основе оксида ванадия .	Демишев Сергей Васильевич	52
10.9 Композитные среды на основе одностенных углеродных нанотрубок с варьируемыми оптическими параметрами для лазерных применений	Образцова Елена Дмитриевна	54
10.10 Квантовые точки Cs/InAs/GaAs, аккумуляционные слои и самоорганизованные наноструктуры на поверхности нитридов III группы	Бенеманская Галина Вадимовна	55
10.11 Наноразмерные кристаллические пленки нитридов A_3N на поверхности полупроводников A_3B_5	Берковиц Владимир Леонидович	57
10.12 Макроскопические наборы наночастиц и нанопроволок из металлов, диэлектриков и полупроводников.	Кумзеров Юрий Александрович	59
10.13 Исследование электронных, оптических и магнитных свойств нанокристаллических структур на основе нанодiamondов детонационного синтеза	Вуль Александр Яковлевич	61
10.14 Слои нанокристаллического углерода (графена) на поверхности карбида кремния (SiC): получение методом термодеструкции и исследование.	Лебедев Александр Александрович	63
10.15 Фазовые равновесия в графеновых и нанокристаллических слоях на поверхности твердых тел.	Галль Николай Ростиславович	65
10.16 Исследование электронной структуры и оптических свойств фтор-фуллеритов $C_{60}F_x$ и их радиационно-модифицированных производных.	Гордеев Юрий Сергеевич	67

10.17 Нанокластеры металлов и алмаза, инкапсулированные в углеродные структуры	Иванов-Омский Владимир Иванович	69
10.18 Нанокластеры и структуры на их основе, связанные с фазовыми переходами, матричной изоляцией и разупорядоченностью решеток, и их влияние на оптические свойства	Марков Юрий Федорович	71
10.19 Исследование нанокристаллических свойств естественных сверхрешеток карбида кремния в сильном электрическом поле на предмет обнаружения в них электрической неустойчивости и терагерцового излучения, обусловленных эффектом брэгговского отражения электронов.	Санкин Владимир Ильич	73
10.20 Квантовые эффекты (туннельные переходы) в элементарных актах кинетики электрического и механического разрушения нанокристаллических твердых тел при низких температурах.	Слущер Александр Ильич	75
10.21 Исследование электрических, тепловых и акустических свойств высокопористого нанокластерного биоморфного углерода и материалов на его основе при низких температурах.	Смирнов Борис Иванович	76
10.22 Оптические и электрические свойства полупроводниковых гетероструктурированных нанометровых нитевидных кристаллов.	Устинов Виктор Михайлович	78
10.23 Исследование структурных и электрофизических свойств нанокompозита на основе пористого кремния при низких температурах	Сорокин Лев Михайлович	80
10.24 Оптическая электронная спектроскопия фуллеренов и фуллеренсодержащих нанокластерных материалов	Разбирин Борис Сильвестрович	82
10.25 Исследование оптических и нелинейно-оптических свойств стекол с наноразмерными углеродными кластерами.	Мельников Леонид Аркадьевич	84
10.26 Исследование механизмов влияния ориентации, деформации, химической модификации углеродных нанотрубок традиционных и сложных форм на оптические и электрополяризационные свойства жидких сред, их содержащих.	Синицын Николай Иванович	86
10.27 Исследование наномасштабных материалов, перспективных для применений в квантовой электронике и биомедицине	Ацаркин Вадим Александрович	88
10.28 Исследование особенностей магнитных и транспортных свойств углеродных нанотрубных материалов	Николаев Евгений Григорьевич	90
10.29 Спектры колебательных и электронных переходов в наноструктурах	Баженов Анатолий Викторович	91
10.30 Оптические и электрические свойства новых материалов на основе нанопленок, упорядоченных и самоорганизующихся структур из микро-, наночастиц и нанотрубок в анизотропных жидкокристаллических и изотропных средах	Долганов Владимир Карлович	92

10.31 Управляемые дефекты в углеродных нанотрубках	Жуков Алексей Алексеевич	94
10.32 Особенности температурных зависимостей оптических свойств наносцинтилляторов	Классен Николай Владимирович	95
10.33 Создание и исследование низкоразмерных (1D-, 2D-) структур на вицинальных поверхностях полупроводников и металлов методами сканирующей зондовой микроскопии и электронной спектроскопии.	Молотков Сергей Николаевич	97
10.34 Структура и свойства многокомпонентных ионных комплексов фуллеренов	Хасанов Салават Салимянович	99
10.35 Прямое наблюдение вихревых и доменных структур мезо – и наноскопических размеров в сверхпроводниках и магнетиках	Винников Лев Яковлевич	101
10.36 Разработка химических и электроимпульсных методов приготовления многослойных наноскопических систем металл-ферромагнетик, изучение их структуры и характеристика свойств с целью использования в спиновых переключателях.	Струков Геннадий Васильевич	102
10.37 Получение новых соединений на основе фуллерена C ₆₀ и исследование их свойств.	Сидоров Николай Сергеевич	104
10.38 Магнитная структура и свойства низкоразмерных проводников (микропроводов) в стеклянной оболочке с аморфной и нанокристаллической сердцевиной и их взаимосвязь со структурой	Аронин Александр Семенович	106
10.39 Заряженные нано-структуры в жидких и твердых растворах.	Шикин Валерий Борисович	108
10.40 Электронная структура и динамика отклика наноматериалов после фемтосекундных энерговыкладов большой мощности	Норман Генри Эдгарович	109
10.41 Магнитные, электрические и оптические свойства магнитных наноструктур с геликоидальным распределением намагниченности	Фраерман Андрей Александрович	110
10.42 Ионные соединений фуллеренов пониженной размерности с различным характером электронного взаимодействия в наноразмерных слоях.	Любовская Рима Николаевна.	111
10.43 Электронные и оптические свойства и фемтосекундная спектроскопия графена, графеновых структур и нанокластерных углеродных материалов	Лозовик Юрий Ефремович	113
10.45 Электрические, магнитные и оптические свойства нанокластерных углеродных материалов, полученных термобарической обработкой фуллеритов и карбинов.	Бражкин Вадим Вениаминович	115
10.46 Исследование процессов агрегации магнитных металлофуллеренов и их производных в растворах. Радиометаллофуллерены	Грушко Юлий Сергеевич	116
<i>Протяженные дефекты и нано-преципитаты в полупроводниках</i>		
11.1 Изучение квантово-динамической диффузии атомов гелия и азота в нанокристаллические материалы и ее влияние на их физико-механические и оптические свойства.	Никаноров Станислав Прохорович	117

11.2 Нанокластеры металлов групп Pd и Fe на поверхности и в объеме пористого Si, InP (технология, структура, свойства).	Терещенко Геннадий Федорович	119
11.3 Спектроскопия дефектов в кристаллах и пленках полупроводниковых соединений II-VI, полученных в процессах быстрой кристаллизации	Багаев Виктор Сергеевич	121
11.4 Исследование двумерных метаструктур большой протяжённости методом плазмонной интерферометрии в инфракрасном и терагерцовом диапазонах	Жижин Герман Николаевич	123
11.5 Исследование влияния взаимодействия дислокаций с примесными атомами на электронные свойства дислокаций в германии	Шевченко Светлана Антоновна	124
11.6 «Инженерия дефектов» в кремнии с дислокациями и ее применение для солнечной энергетики	Кведер Виталий Владимирович	126
11.7 Зависимость плотности глубоких дислокационных уровней от структурного и примесного состояния дислокаций	Штейнман Эдуард Александрович	127
11.8 Оптически активные примесно-дефектные центры и связанные с ними механизмы излучательной релаксации в наноразмерных структурах для кремниевой оптоэлектроники.	Красильник Захарий Фишелевич	128
11.9 Оптические свойства полупроводниковых гетероструктур с регулярными или случайными неоднородностями	Барабаненков Михаил Юрьевич	130
<i>Ионные проводники и гетероструктуры на их основе</i>		
12.1 Исследование оптических и электрических свойств нанокompозитных твердых материалов и процессов энергонакопления в них на гетерограницах компонент (нанопористый углерод/суперионик; углеродные нанотрубы/суперионик).	Компан Михаил Евгеньевич	132
12.2 Гетероструктуры «неорганический протонный проводник – гидрируемый металл»: протонный гетеропереход, перенос протонов в твердых гидроксидах поликристаллической и наноразмерной текстуры, изотопные и квантовые эффекты.	Байков Юрий Михайлович	134
12.3 Разработка высокоэффективных электродов на основе пленок наноструктурированного кремния для литий-ионных аккумуляторов второго поколения.	Теруков Евгений Иванович	137
12.4 Протонпроводящие материалы на основе микро- и нано-структурированного кремния.	Астрова Екатерина Владимировна	138
12.5 Исследование особенностей ионного транспорта в материалах с ионной и смешанной ионо-электронной проводимостью.	Бредихин Сергей Иванович	140
12.6 Влияние размерных характеристик легированных манганитов лантана на транспортные свойства материала	Шехтман Вениамин Шоломович	142
	Для заметок	143

9.1. Новые методы теоретического описания магнитоупорядоченных состояний примесей в полупроводниках.

Руководитель проекта:

Арсеев Петр Иварович

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН

199991 г. Москва, Ленинский проспект, 53

тел. (495) 1326271; факс: (499) 1358533

E-mail: ars@lpi.ru

Участники проекта: Апенко С.М., Лойко С.О., Демишев И.С.

1. Для количественного описания магнитных состояний была написана и отлажена программа, позволяющая самосогласованным образом связать расчет электронных волновых функций в рамках приближения Хартри-Фока на атоме примеси с аналитическим определением заполнения примесных состояний электронами в рамках подхода сильной связи для всей системы - примесь плюс атомы основной решетки. Однако, проведенные вычисления показали, что для адекватного описания примесей с незаполненными вырожденными по энергии состояниями (d- и f- оболочки) метод должен быть усложнен. Возникла необходимость модификации Хартри-Фоковских расчетов для атома примеси изначально с учетом гибридизации его состояний с зонными состояниями основной решетки и возникающими в электронной системе корреляциями. В противном случае кулоновское взаимодействие оказывается переоцененным, что приводит к нефизическим результатам. Сейчас разрабатывается такая измененная схема расчета. Эта работа незакончена.

2. Развивался другой способ построения теории, описывающей магнитные примеси, взаимодействующие с зонными электронами. Этот способ состоит во введении дополнительных ограничений на возможные состояния и конфигурации частиц. Так, каждое магнитное состояние электронов примеси, являющееся многоэлектронным состоянием с сильным кулоновским взаимодействием, может рассматриваться как рождение некоторой "псевдочастицы". Переход из одного многоэлектронного состояния в другое на этом языке соответствует уничтожению одной "псевдочастицы" и появлению другой. При этом из теории исчезает большой масштаб энергии - величина кулоновского отталкивания электронов на узле. Однако, из-за того, что эти "псевдочастицы" на самом деле не являются независимыми, для них появляются ограничения в пространстве всех возможных конфигураций. Была построена диаграммная техника для таких псевдочастичных операторов, основанная на базе диаграммной техники Келдыша и полностью учитывающая ограничения в пространстве состояний для таких псевдочастиц. Характерной особенностью является то, что в диаграммах любого порядка присутствует ровно одна псевдочастичная замкнутая петля, для каждого примесного состояния, на котором мы хотим учесть сильное кулоновское взаимодействие с помощью введения псевдочастиц. Эта особенность, являющаяся проявлением сильных корреляций, крайне упрощает построение возможных диаграмм, но делает затруднительным получение обычного уравнения Дайсона. Поэтому получить уравнение на функции Грина (типа уравнения Дайсона) из общих выражений возможно только при использовании упрощающих приближений. [1]

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. П.И.Арсеев, Н.С.Маслова, А.Н.Рубцов "Новые диаграммные методы современных теоретических исследований сильнокоррелированных электронных систем" 54с. Изд. МГУ, Москва

9.2. Исследование квантовых состояний полупроводниковых гетероструктур с орбитальным диэлектрическим упорядочением.

Руководитель проекта:

Копаев Юрий Васильевич

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН

119991 Москва, пр. Ленина, 53.

тел. +7 (499) 135-7441; факс: +7 (499) 783-3692

E-mail: kopaev@sci.lebedev.ru

Участники проекта: С.Т. Павлов, В.И. Белявский, В.В. Капаев, В.С. Виноградов,
М.П. Теленков

1. Обнаруженная недавно сверхпроводимость планарных гетероструктур типа металл-диэлектрик с контролируемым химическим составом слоев и высоким совершенством гетерограниц, образованных купратными соединениями с сильно различающимися уровнями легирования, объяснена сосуществованием и внутрислойной и межслойной конкуренцией диэлектрического спаривания с орбитальным упорядочением в виде волны плотности заряда или плотности потока заряда и сверхпроводящего спаривания с большим импульсом пары. Для двухслойной гетероструктуры, составленной из несверхпроводящих монослоев с сильно отличающимся легированием, показано, что температура сверхпроводящего перехода при некотором оптимальном легировании слоев может быть сравнимой с оптимальной критической температурой данного купратного семейства. Показано, что связь между каналами спаривания частица-дырка и частица-частица приводит к взаимной модуляции квантовых состояний в соседних слоях, определяющей спектр возбуждений гетероструктуры, подобно тому как перенормировка эффективной массы носителей и изменение положений экстремумов энергетических зон в напряженных гетероструктурах, составленных из прямозонных и непрямоzonных полупроводников, связаны с взаимной модуляцией квантовых состояний в слоях [1].

2. Показано, что сверхпроводящее состояние с большим импульсом пары в легированном диэлектрике определяется особенностями кулоновского спаривания, связанными с подавлением как малых передач импульса при рассеянии благодаря электрон-фононному взаимодействию, так и больших передач импульса из-за перераспределения спектрального веса между сверхпроводящей и диэлектрической ветвями спектра элементарных возбуждений. Показано, что линия нулей, пересекающая контур Ферми, с необходимостью возникает при отталкивательном спаривании, поскольку нетривиальное решение уравнения самосогласования формируется благодаря неполной компенсации вкладов областей импульсного пространства, в которых параметр порядка имеет разные знаки. Показано, что сверхпроводимость возникает, если характерная энергия спаривающего взаимодействия ограничена сверху. Найдены решения уравнения самосогласования с простой структурой вырожденного ядра, антисимметричные и симметричные относительно инверсии импульса относительно движения пары. Исследована орбитальная симметрия синглетного сверхпроводящего порядка. При низком уровне легирования переход в сверхпроводящее состояние происходит не из состояния нормальной ферми-жидкости, а из псевдощелевого состояния с ближним или дальним орбитальным антиферромагнитным порядком, выживающим при существенно более высоких уровнях легирования по сравнению с неелевским порядком. Спаривание в диэлектрическом канале уменьшает спектральный вес в сверхпроводящем канале, но увеличивает плотность состояний у края возникающей диэлектрической щели и,

соответственно, эффективную константу связи в сверхпроводящем канале. При наличии диэлектрической щели сверхпроводящий параметр порядка как функция уровня легирования вначале возрастает, а затем, после достижения максимума, убывает, отражая концентрационные зависимости плотности носителей и константы связи. Численное моделирование решения уравнения самосогласования при спаривании с большим импульсом и дисперсией, согласующейся с данными фотоэмиссионной спектроскопии купратов, показывает, что параметр порядка как функция импульса относительного движения пары может иметь достаточно сложную топологию с семейством линий нулей, соответствующим решениям либо антисимметричным, либо симметричным по отношению к инверсии импульса [2].

3. Интерференция боголюбовских квазичастиц и сильно локализованные элементарные возбуждения, наблюдаемые в купратных соединениях в нодальной и антинодальной областях импульсного пространства, соответственно, нередко рассматриваются как аргумент в пользу того, что сверхпроводимость возникает в нодальной области, тогда как антинодальная область приводит к диэлектрическому состоянию с псевдощелью. Нами показано, что и сверхпроводящее, и псевдощелевое состояния возникают именно в антинодальной области с ярко выраженным нестингом контура Ферми как когерентные и некогерентные состояния сверхпроводящих пар с большим импульсом, тогда как нодальная область соответствует возникновению пар с нулевым импульсом, так что оба сверхпроводящих канала спаривания приводят к единому дважды упорядоченному состоянию. Такое состояние с весьма сложной импульсной зависимостью параметра порядка проявляется как пространственно неоднородное состояние в виде волны плотности сверхпроводящих пар. Показано, что особая интерференция квазичастиц должна наблюдаться и в антинодальной области [3].

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. V.V. Kopaev, Yu.V. Kopaev, V.I. Belyavsky. Insulating in-plane modulation induced superconductivity of heterostructures. Phys. Lett. A 372, Issue 44, 6687-6689 (2008).
2. В.И. Белявский, Ю.В. Копаев, Nguyen Ngoc Tuan, Tran Van Luong. Топология сверхпроводящего порядка при спаривающем отталкивании. ЖЭТФ 135, N2, 340-350 (2009).
3. V.I.Belyavsky, Yu.V.Kopaev, Pair-density-wave pseudogap and superconducting states in cuprates, Phys. Lett. A 372, Issue 8, 3501-3505 (2009).

9.3. Антиферромагнитное спиновое упорядочение в слоистых органических и неорганических полупроводниковых соединениях.

Руководитель проекта:

Пудалов Владимир Моисеевич

Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН

119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д.53

тел. (499)132-67-80

E-mail: pudalov@sci.lebedev.ru

Участники проекта: Корнилов А.В., Герасименко Я.А., Прудкогляд В.А.

Нами было изучено влияние величины и ориентации магнитного поля на температуру перехода в антиферромагнитно упорядоченное состояние волны спиновой плотности ($T_{\text{всп}}$) в квазиодномерном органическом соединении $(\text{TMTSF})_2\text{PF}_6$ [1]. Были проведены измерения продольной (R_{xx}) и поперечной (R_{zz}) компонент магнитосопротивления в магнитных полях до 19 Тл. Измерения проводились для трех ориентаций магнитного поля $V||a$, b' и c^* при нулевом внешнем давлении и под давлением 5 кбар. Для $V||c^*$ ориентации наблюдалась квадратичная зависимость температуры перехода от величины магнитного поля как без давления, так и при давлении 5 кбар, что согласуется с результатами других групп и с предсказаниями теории. Изучение поведения температуры перехода для $V||a$ и b' под давлением было проведено впервые. Измерения показывают, что для указанных ориентаций сдвиг $T_{\text{всп}}$ отсутствует с точностью 0,05К как при нулевом давлении, так и под давлением 5кбар. Этот результат также соответствует теоретическим предсказаниям.

Таким образом, проверена справедливость теории, описывающей поведение $T_{\text{всп}}$ в терминах неидеального нестинга, характеризуемого единственным параметром t_b' .

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. Ya. A. Gerasimenko et.al., „Anisotropy of the Spin Density Wave Onset for $(\text{TMTSF})_2\text{PF}_6$ in Magnetic Field“, submitted to PRB, 2009.

9.4. Экспериментальное исследование явлений, связанных с орбитальными тороидальными токами в полупроводниковых гетероструктурах.

Руководитель проекта:

Цebro Виктор Иванович

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН

119991 Москва, Ленинский проспект, 53.

тел. (499)783-3723; факс: (499)135-7880

E-mail: tsebro@sci.lebedev.ru

Участники проекта: В.В. Капаев, И.П. Казаков, А.М. Вакуленко, А.А. Долгобородов.

Эффекты (в данном случае — магнитоэлектрический (МЭ) и фотогальванический (ФГЭ)), обусловленные наличием состояний, связанных с возникновением тороидного упорядочения орбитального движения носителей тока, спектр возбуждения которых асимметричен по квазиимпульсу, исследованы на образцах асимметричных полупроводниковых гетероструктур, поскольку характерный масштаб пространственных изменений волновых функций носителей в наноструктурах существенно больше, чем в объемных материалах. Эксперименты по наблюдению МЭ и ФГЭ проводились на асимметричных относительно оси роста гетероструктурах систем GaAs/AlGaAs и AlGaAs/InGaAs/GaAs, выращенных методом молекулярно-лучевой эпитаксии. Исследовались структуры с тремя квантовыми ямами, разделенными тонкими прозрачными барьерными слоями, в результате чего формировалась единая двумерная электронная система шириной порядка 25–35 нм, а также структуры, представляющие собой одиночную квантовую яму с сильно асимметричной формой удерживающего потенциала. Исследования проводились как на нелегированных асимметричных гетероструктурах, в которых равновесные носители заряда отсутствуют, так и на легированных структурах с конечной плотностью равновесных носителей. При этом и в том и в другом случае всегда использовалось фотовозбуждение неравновесных носителей из валентной зоны при освещении гетероструктуры светом с энергией кванта большей ширины запрещенной зоны (переходы зона – зона). Измерения МЭ и ФГЭ проводились в широкой области магнитных полей (до 80 кЭ) и температур (4.2 – 300 К), и в очень широком интервале мощности подсветки от 10^{-10} до 10^{-2} Вт/см². Показано, что:

1. В нелегированных структурах величины обоих (МЭ и ФГЭ) эффектов велики — до нескольких вольт на 1 см длины освещаемого участка гетероструктуры при комнатной температуре; при этом не столь существенно зависят от температуры, но сильно зависят от степени туннельной связности квантовых ям.

2. Линейное возрастание величины ФГЭ с магнитным полем в малых полях является прямым следствием линейной зависимости величины тороидного момента, после чего с возрастанием поля начинает сказываться магнитная локализация. Численные расчеты для трехямных структур показали, что с ростом поля электроны практически полностью уходят из двух узких квантовых ям и локализуются в самой широкой яме. Это приводит не только к сильному уменьшению величины тороидного момента в больших магнитных полях, но и существенным образом сказывается на величине магнитосопротивления при движении фотоиндуцируемых носителей в латеральной плоскости гетероструктуры.

3. Зависимости фотогальванического тока в фотогальваническом эффекте и наведенной магнитных полем электрической поляризации в поперечном магнитоэлектрическом эффекте от величины мощности подсветки являются корневыми

в интервале $10^{-10} - 10^{-6}$ Вт/см² и линейными при мощностях подсветки $10^{-3} - 10^{-2}$ Вт/см².

4. Для легированных структур (с двумерной плотностью равновесных носителей порядка 10^{12} см⁻²) ФГЭ- и МЭ-эффекты, во-первых, на 3-4 порядка величины меньше, а, во-вторых, сильно зависят от температуры, уменьшаясь при ее понижении до 4,2 К еще примерно на порядок величины. При этом, в частности для МЭ, в области сильных магнитных полей наблюдаются заметно выраженные осцилляции электрической поляризации, период которых по обратному магнитному полю совпадает с периодом осцилляций в эффекте Шубникова – де Гааза при измерении полевых зависимостей магнитосопротивления, когда магнитное поле направлено по нормали к поверхности образца. Оба факта — сильное уменьшение магнитоэлектрического эффекта с температурой и наличие при низкой температуре осцилляций на полевой зависимости электрической поляризации — иллюстрируют участие равновесных носителей в компенсации электрической поляризации, образующейся за счет неравновесной фотовозбужденной доли носителей заряда.

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. А.А. Горбачевич, О.Е. Омеляновский, В.И. Цебро, «Тороидное упорядочение в кристаллах и наноструктурах», УФН, 2009, т.179, вып.8, стр.887-897.

9.5. Взаимодействие фотовозбужденных носителей высокой плотности со спиновой подсистемой в полупроводниковых гетероструктурах.

Руководитель проекта:

Бурбаев Тимур Маруанович

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН

119991 Москва, Ленинский пр-т, 53

тел. (499) 132-6362; факс: (499) 135-1059

E-mail: burbaev@sci.lebedev.ru

Участники проекта: от ФИАН: И.П.Казаков, М.В.Кочиев, М.Л.Скориков, А.Г.Турьянский, Ю.Б.Хавин, В.А.Цветков, В.В.Белых;
от ИФТТ РАН: В.Д.Кулаковский, А.А.Максимов, И.И.Тартаковский, А.С.Бричкин.

1. Экспериментально исследована кинетика нагрева Mn подсистемы и релаксации намагниченности во внешних магнитных полях в полумагнитных полупроводниковых гетероструктурах типа II $Zn_{0.99}Mn_{0.01}Se/BeTe$ при различных интенсивностях лазерной накачки. Обнаружена быстрая частичная релаксация намагниченности на временах порядка нескольких сотен наносекунд после возбуждающего импульса, которая сменяется относительно медленной спин-решеточной релаксацией со временем, измеренным в этих же образцах и составившим величину ~ 240 мкс [1,2].

2. Создана экспериментальная установка для магнитооптических исследований кинетики релаксации намагниченности с использованием трех синхронизованных импульсных лазеров: возбуждающего, пробного и контрольного. Исследована возможность ускорения спиновой релаксации в полумагнитных полупроводниковых гетероструктурах с помощью контрольного лазерного импульса. Исследованы процессы медленной кинетики релаксации намагниченности ионов Mn при температуре решетки $T = 1.8$ К в магнитном поле 3 Т в полумагнитных полупроводниковых гетероструктурах 2-го типа на основе $ZnMnSe/BeTe$. При временах задержки порядка сотен мкс после возбуждающего лазера температура магнитной подсистемы составляла $\sim 5 - 10$ К. Было обнаружено, что в этих условиях с помощью дополнительного короткого наносекундного контрольного импульса лазера можно добиться быстрого понижения температуры Mn подсистемы на временах задержки от 30 до сотен нс относительно контрольного импульса. Эффект может быть объяснен участием фотовозбужденных холодных носителей в передаче энергии от магнитных ионов в решетку. Наибольшая величина эффекта лазерного охлаждения магнитной подсистемы определяется оптимальной интенсивностью контрольного импульса и может достигать значения нескольких градусов [1,2].

3. При температурах жидкого гелия исследованы спектры фотолюминесценции (ФЛ) и возбуждения фотолюминесценции $GaAs/Al_{0.3}Ga_{0.7}As$ сверхрешеток (СР) с сильной туннельной связью между квантовыми ямами (КЯ) (ширина КЯ 4 нм, ширина барьеров 1 нм) при непрерывном надбарьерном возбуждении с интенсивностью до 1 кВт/см^2 в магнитных полях параллельной и перпендикулярной оси СР ориентации с индукцией до 14 Т. Такие СР можно рассматривать как объемный полупроводник с сильно анизотропным электронным спектром. Показано, что в сильных магнитных полях (индукция больше 5 Т) обеих ориентаций линия ФЛ экситона с тяжелой дыркой монотонно сдвигается в сторону низких энергий с ростом интенсивности возбуждения и уширяется в сторону высоких энергий. Такое поведение, по-видимому, связано с перенормировкой ширины запрещенной зоны и ростом температуры неравновесных носителей заряда [3].

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. A.A. Maksimov, D.R. Yakovlev, J. Debus, I.I. Tartakovskii, M. Bayer. «Spin dynamics of Mn ions and photoexcited carriers in DMS heterostructures: Spin diffusion in magnetic ion system», направлена в Physica Status Solidi (c).
2. J. Debus, A.A. Maksimov, D. Dunker, D.R. Yakovlev, I.I. Tartakovskii, A. Waag, M. Bayer. «Dynamical control of Mn spin system cooling by photogenerated carriers in (Zn,Mn)Se/BeTe heterostructures», подготовлена для отправки в Phys Rev B.
3. Yuri Khavin, Nikolai Sibeldin, Mikhail Skorikov, Vitaliy Tsvetkov, Daniel Oberli, Alok Rudra, Romain Carron and Eli Kapon “Effect of Magnetic Field on Broadening of Excitonic Spectra in Superlattices”, Abstracts of 2009 APS March Meeting, Pittsburgh, PA, March 16-20, 2009, Bulletin of the American Physical Society; v.54, No.1, p.198.

9.6. Многоспиновые комплексы и возбуждения в наноструктурах с магнитными примесями.

Руководитель проекта:

Кусраев Юрий Георгиевич

Физико-технический Институт

им. А.Ф. Иоффе РАН

194021, С. Петербург, Политехническая ул., 26

тел. (812) 297-5546; факс: (812) 297-1017

E-mail: kusrayev@orient.ioffe.ru

Участники проекта: Кудинов А.В., Решина И.И., Намозов Б.Р., Кавокин К.В.,
Акимов И.А.

1. Целью работы является исследование спиновой динамики и возможности фазового перехода в ферромагнитное состояние в квантовых ямах на основе разбавленных магнитных полупроводниках (РМП). Изучены спиновые возбуждения в модельной РМП-структуре CdMnTe/CdMgTe, содержащей как магнитные ионы Mn^{2+} , так и двумерные носители. Коллективный характер спиновой прецессии в такой связанной системе приводит, как было предсказано ранее, к смягчению магнитной моды вблизи ферромагнитного перехода. Нами обнаружено, что при низкой температуре (1.7 К) с ростом концентрации двумерных дырок частота спинового резонанса, измеряемого методом резонансного рамановского рассеяния с переворотом спина, уменьшается. Для контролируемого изменения концентрации дырок были выращены специальные структуры, в которых оптически возбужденные электрон и дырка разделялись в приповерхностном электрическом поле, что приводило к изменению концентрации носителей одного типа (дырок в нашем случае). Изучены зависимости частоты спинового резонанса (или, эквивалентно, g -фактора магнитных ионов Mn^{2+}) от концентрации дырок и от магнитного поля. Обнаруженное относительное уменьшение g -фактора при максимальной концентрации дырок $p = 1 \cdot 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ составляет $\Delta g/g_0 = 0.1$, где $g_0 = 2.00$ есть g -фактор свободного иона Mn^{2+} . Полученный результат – смягчение магнитной моды – интерпретируется в рамках индуцированного дырками косвенного обмена между ионами Mn (аналог РККИ-взаимодействия) и является предвестником фазового перехода. Существующая теория (K.V. Kavokin, Phys.Rev. B 59, 9822, 1999). модифицирована с учетом специфики экспериментов по комбинационному рассеянию и особенностей исследованных структур. Рассчитаны закон дисперсии элементарных возбуждений в системе взаимодействующих спинов ионов марганца и двумерных дырок, проведено сопоставление со спектрами рамановского парамагнитного резонанса, полученными в эксперименте [1, 2].

2. Изучена динамика образования экситонных магнитных поляронов в квантовой яме CdMnSe/CdMgSe на основе РМП. Проведены измерения фотолюминесценции с временным разрешением при импульсном возбуждении в квантовой яме CdMnSe/CdMgSe с магнитными примесями в магнитных полях до 7 Т и температурах от 2 до 25 К. Обнаружено образование магнитного полярона и измерена его энергия (15 мэВ), что согласуется с нашими более ранними измерениями, проведенными другими методами при непрерывном возбуждении люминесценции. Время образования магнитного полярона (500 пс) оказалось неожиданно существенно длиннее, чем в других материалах, что повидимому связано с сильной автолокализацией магнитного полярона. В пользу этого заключения свидетельствует уменьшение времени жизни

экситона с 600 до 200-400 пс при увеличении магнитного поля и температуры, приводящих к разрушению магнитного полярона [3].

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. Г. В. Астахов, К. В. Кавокин, Ю. Г. Кусраев, Christian Kehl, Jean Geurts, Wolfgang Ossau, T. Wojtowicz, G. Karczewski, Динамика связанной спиновой системы магнитных ионов и двумерных дырок вблизи ферромагнитного фазового перехода в квантовых ямах CdMnTe. IX Российская конференция по физике полупроводников, Новосибирск-Томск, Тезисы докладов, с.183 (2009).
2. C. Kehl, G. V. Astakhov, K. V. Kavokin, Yu. G. Kusrayev, W. Ossau, G. Karczewski, T. Wojtowicz, and J. Geurts, Phys. Rev. Lett. (в печати).
3. Tillmann Godde, Irina I. Reshina, Sergey V. Ivanov, Илья А. Akimov, Dmitri R. Yakovlev, and Manfred Bayer, Dynamics of exciton magnetic polaron formation in CdMnSe/CdMgSe quantum well. The 14th International Conference on II-VI Compounds, August 23-28th, 2009, submitted to Physica Status Solidi (c).

9.7. Магнитные взаимодействия волн пространственного заряда в высокоомных полупроводниках.

Руководитель проекта:

Плешаков Иван Викторович

Физико-технический институт

им. А.Ф. Иоффе РАН,

194021, Санкт-Петербург,

Политехническая ул., 26,

тел: (812) 297-2245, факс: (812) 297-1017.

E-mail: mpetr.shuv@mail.ioffe.ru,

ivanple@yandex.ru

Участники проекта: М.В. Красинькова, А.С. Козлов, Д.В. Петров

1. Обнаружено сильное (до 200% изменения интенсивности сигнала на 1 Т) влияние магнитного поля на волны пространственного заряда (ВПЗ) в InP:Fe и GaAs:Cr, [1, 2]. Эффект регистрируется, когда векторы электрического и магнитного полей взаимно перпендикулярны и лежат в плоскости освещаемой поверхности образца. Установлено, что, в отличие от других материалов, изменение сигнала ВПЗ в InP:Fe и GaAs:Cr линейно зависит от приложенного магнитного поля. Дано объяснение этого явления, учитывающее присутствие силы Лоренца, которая отклоняет траекторию носителей заряда вдоль оси, перпендикулярной к поверхности образца, а также неоднородность параметров кристалла.

2. Найден новый гальваномагнитный эффект, связанный с взаимодействием магнитного поля и ВПЗ в GaAs, [3]. В данном случае использовалось магнитное поле, перпендикулярное освещенной поверхности образца. Поскольку этот полупроводник обладает положительным магнитосопротивлением, ожидалось, что сигнал ВПЗ будет уменьшаться с увеличением магнитного поля, однако обнаружилось значительное усиление отклика (на 40% при 0.8 Т). Явление было объяснено влиянием отрицательной дифференциальной проводимости в вольт-амперной характеристике GaAs, с одновременным удлинением траектории носителей заряда за счет эффекта геометрического магнитосопротивления при приложении магнитного поля.

3. Исследовано взаимодействие ВПЗ в геометрии, соответствующей п. 2, но при изменении направления волнового вектора интерференционной картины в плоскости поверхности кристалла. Оказалось, что сигнал ВПЗ максимален, когда этот вектор параллелен траектории движения носителей заряда с учетом угла отклонения в магнитном поле. Показано, что данное явление сходно с эффектом Холла, и может использоваться, как метод нахождения подвижности носителей заряда.

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. D. V. Petrov, M. P. Petrov, B. Hilling, M. Lemmer, M. Imlau. Large scale magnetic field influence on trap recharging waves in InP:Fe and GaAs:Cr. Applied Physics B 2009, Vol. 95, N 3, P. 483-488.
2. D. V. Petrov, M. P. Petrov, B. Hilling, M. Lemmer, M. Imlau. Large scale magnetic field influence on trap recharging waves in InP:Fe and GaAs:Cr. Proceedings of 12th Topical Meeting on "Photorefractive Materials, Effects, and Devices - Control of Light and Matter" 2009, V. 1-2, P. 10-11.
3. M. P. Petrov, M. Lemmer, D.V. Petrov, B. Hilling, M. Imlau. New galvanomagnetic effect related to trap-recharging waves in GaAs (подготовлена к печати).

9.8. Магнитные полупроводники – мультиферроики $R_{(1-x)}Bi_xMnO_3$ и $R_{(1-x)}Ce_xMn_2O_5$: слоистая сверхструктура, зарядовое упорядочение.

Руководитель проекта:

Санина Виктория Александровна

Учреждение Российской Академии наук Физико-

Технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН

194021, Санкт- Петербург,

Политехническая ул. 26,

тел. (812) 515 92 26; факс: (812) 515 67 47

E-mail: sanina@mail.ioffe.ru

Участники проекта: Е.И. Головенчиц, С.Н.Гвасалия, В.Г.Залесский, В.В.Кузнецова, М.П. Щеглов.

1. Установлено, что мультиферроики – полупроводники $Eu_{0.8}Ce_{0.2}Mn_2O_5$ обладают близкими и высокими температурами (выше комнатной) магнитного и сегнетоэлектрического упорядочений. При $T \geq 185$ К в кристалле перколяционным фазовым переходом образуется бесконечный кластер слоистой сверхструктуры с зарядовым сегнетоэлектричеством и ферромагнетизмом в слоях. Возникающие при легировании носители заряда участвуют во взаимодействиях, ответственных как за ферромагнетизм (двойной обмен между ионами марганца $Mn^{3+} - Mn^{4+}$), так и за зарядовое сегнетоэлектричество (фазовое расслоение и самоорганизация носителей заряда). Рентгеновские дифракционные исследования показали существование при комнатной температуре слоистой сверхструктуры, с квази-2D слоями, перпендикулярными оси с кристалла, с толщиной слоев ~ 700 Å [1].

2. В $Eu_{0.8}Ce_{0.2}Mn_2O_5$ при низких температурах (ниже 80 К) были обнаружены as-grown 2D полупроводниковые сверхрешетки, со слоями, перпендикулярными оси с кристалла. Сверхрешетки формируются в объеме легированного монокристалла за счет процессов самоорганизации носителей заряда. Обнаружена гигантская анизотропия магнитной восприимчивости и проводимости вдоль и поперек слоев сверхрешеток [1].

3. Обнаружено, что состояние сверхрешеток (барьеры на границах минизон, концентрация носителей в минизонах) управляется внешним магнитным полем. В достаточно сильных магнитных полях формируются стационарные, динамические сверхрешетки с приблизительно равными глубинами минизон и концентрацией носителей в них. Такие состояния обусловлены балансом сил притяжения носителей заряда (двойной обмен, взаимодействие Яна – Теллера) и отталкивания носителей (Кулоновское отталкивание) [1].

4. При температуре $T = 5$ К в равновесных сверхрешетках обнаружены квантовые осцилляции магнитной восприимчивости и магнитосопротивления (осцилляции де Гааза ван Альфена и Шубникова де Гааза, соответственно). Осцилляции наблюдались в магнитных полях вблизи и выше метамагнитного фазового перехода ($H \approx 25$ kOe). Период осцилляций при фазовом переходе резко изменялся. Вдали от перехода имелись периодические осцилляции, период которых различен до и после перехода. Проведены оценки концентрации носителей заряда в слоях сверхрешеток до и после фазового перехода ($\sim 10^{12}$ cm^{-2}) [1].

5. При низких температурах изучены теплоемкость и процессы диэлектрической релаксации, характеризующей локальную проводимость в минизонах сверхрешеток. Обнаружена анизотропия проводимости и разный знак частотной дисперсии проводимости вдоль и поперек слоев сверхрешеток [1].

6. Изучено Рамановское рассеяние света, особенности которого согласуются с данными, полученными при исследовании фазовых переходов в легированном кристалле [1].

7. Обнаружена возможность управления свойствами высокотемпературного сегнетоэлектрического состояния внешним магнитным полем [1].

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. V.A. Sanina, E.I. Golovenchits, V.G. Zalesskii, S.G. Lushnikov, S.N. Gvasaliya, M.P. Scheglov, A. Savvinov, R.S. Katiyar, H. Kawaji, T. Atake, Phase separation with dynamic charge self-organization in semiconductor manganites – multiferroic $\text{Eu}_{0.8}\text{Ce}_{0.2}\text{Mn}_2\text{O}_5$, Phys. Rev. B, v. 80, 2009 (accepted in print).
2. V.A. Sanina, E.I. Golovenchits, V.G. Zalesskii, S.G. Lushnikov, S.N. Gvasaliya, M.P. Scheglov, R.S. Katiyar, A. Savvinov, Phase separation with dynamic charge self-organization in semiconductor manganites – multiferroic $\text{Eu}_{0.8}\text{Ce}_{0.2}\text{Mn}_2\text{O}_5$, Workshop on Magnetoelectric Interaction Phenomena in Crystals, January 25 – 28, 2009, University of California, Santa Barbara, Abstracts, p. 61.
3. E.I. Golovenchits, V.A. Sanina, V.G. Zalesskii, Magnetic oscillations in Multiferroic $\text{Eu}_{0.8}\text{Ce}_{0.2}\text{Mn}_2\text{O}_5$, Workshop on Magnetoelectric Interaction Phenomena in Crystals, January 25 – 28, 2009, University of California, Santa Barbara, Abstracts, p. 54.
4. E.I. Golovenchits, V.A. Sanina, V.G. Zalesskii, Magnetic susceptibility and magnetoresistance oscillations in the semiconductor-multiferroic $\text{Eu}_{0.8}\text{Ce}_{0.2}\text{Mn}_2\text{O}_5$, International Symposium Spin-waves 2009, A.F. Ioffe Physico – Technical Institute RAS, Saint – Petersburg, 7 – 12 June, 2009, Abstracts, p. 73
5. E.I. Golovenchits, V.A. Sanina, V.G. Zalesskii, Magnetic susceptibility and magnetoresistance oscillations in the semiconductor-multiferroic $\text{Eu}_{0.8}\text{Ce}_{0.2}\text{Mn}_2\text{O}_5$, XXXV Low Temperature Physics Conference, IFSS RAS, Chernogolovka, 28 September – 2 October 2009, Abstracts, p. 137
6. V.A. Sanina, E.I. Golovenchits, V.G. Zalesskii, M.P. Scheglov, Phase separation with dynamic charge self-organization in semiconductor manganites – multiferroic $\text{Eu}_{0.8}\text{Ce}_{0.2}\text{Mn}_2\text{O}_5$, XXXV Low Temperature Physics Conference, IFSS RAS, Chernogolovka, 28 September – 2 October 2009, Abstracts, p. 106

9.9. Новые наногетероструктуры на основе кобальта и дифторидов кальция, марганца и никеля: процессы роста, кристаллическая структура и магнитные свойства.

Руководитель проекта:

Соколов Николай Семенович

ФТИ им. А.Ф.Иоффе РАН

г.Санкт-Петербург, 194021,

ул. Политехническая 26

тел. (812) 297-6411; факс. (812) 297-1017

E-mail: nsokolov@fl.ioffe.ru

Участники проекта: А.Г.Банщиков, С.В.Гастев, Б.Б.Кричевцов, А.В.Крупин, Р.Н.Кютт, С.М.Сутурин, В.П.Улин, Д.А.Баранов, В.В.Федоров

Формирование массивов наночастиц кобальта на поверхности гетероэпитаксиальных подложек CaF_2/Si в процессе молекулярно-лучевой эпитаксии исследовалось методами дифракции быстрых электронов (ДБЭ), атомно-силовой и электронной сканирующей микроскопии [1]. Были изучены зависимости плотности наночастиц, зародившихся на террасах и ступенях поверхности $\text{CaF}_2(111)$, от дозы (произведения скорости нанесения на время роста) и температуры подложки. Найдены условия роста, при которых происходят либо оба процесса (зарождение на ступенях и террасах) или доминирует только один из них. В реализованном в настоящей работе режиме декорирования ступеней на поверхности $\text{CaF}_2(111)$ происходит формирование интересных с точки зрения магнитных свойств квазиодномерных массивов наночастиц Co .

При исследовании магнитооптических свойств массивов наночастиц Co с различной плотностью, выращенных на $\text{CaF}_2(111)$, было обнаружено, что при некоторой критической плотности наночастиц полярный и меридиональный эффекты Керра меняют свои знаки на противоположные, причем это происходит в широком диапазоне энергий падающих квантов [2]. Наблюдаемая смена знаков была объяснена влиянием эффекта локального поля, который обусловлен вкладом в действующее поле дипольных моментов, индуцированных в частицах под действием света [3]. Магнитооптические исследования магнитных свойств массивов наночастиц Co , выращенных на анизотропной гофрированной поверхности $\text{CaF}_2(110)$ показали, что при малых покрытиях магнитная структура плёнок при комнатной температуре представляют собой ансамбль суперпарамагнитных слабовзаимодействующих наночастиц и характеризуется небольшими величинами коэрцитивного поля и остаточной намагниченности. Понижение температуры сопровождалось сильным увеличением этих параметров, связанным с переходом островков в блокированное состояние [4].

В экспериментах [5] по изучению процессов эпитаксиального роста NiF_2 на поверхности гофрированной гетероэпитаксиальной подложки $\text{CaF}_2(110)/\text{Si}(001)$ были выполнены измерения методами ДБЭ, рентгеновской дифрактометрии и атомно-силовой микроскопии. Несмотря на значительное рассогласование постоянных решеток фторида никеля и буферного слоя, картины ДБЭ указывали на наличие эпитаксиального роста. Было обнаружено, что при двухстадийном росте NiF_2 картина ДБЭ значительно упрощается, а на поверхности буферного слоя формируются хорошо упорядоченные массивы кристаллитов с характерными размерами $50 \times 100 \text{ нм}^2$. Анализ картин ДБЭ, а также картографирование обратного пространства с помощью рентгеновского дифрактометра позволили установить, что при двухстадийном росте

NiF_2 кристаллизуется в стабильной тетрагональной фазе, плоскость (110) которой развернута на угол $9.74 \pm 0.02^\circ$ относительно одноименной плоскости буферного слоя. Принимая во внимание эти данные было установлено, что в этой системе на гетерогранице реализуются следующие эпитаксиальные соотношения: $[001]_{\text{NiF}_2} \parallel [1-10]_{\text{CaF}_2}$; $(100)_{\text{NiF}_2} \parallel (111)_{\text{CaF}_2}$.

В рамках настоящего проекта были также продолжены исследования оптических и магнитных свойств метастабильной фазы фторида марганца, обнаруженной ранее участниками проекта [6,7]

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. С.М. Сутурин, Р.Н. Кютт, А.А. Ломов, Н.И. Поречная, А.А. Ситникова, В.В. Федоров, Н.С. Соколов, Эпитаксиальные наночастицы кобальта на атомно-гладкой (111) и гофрированной (110) поверхностях фторида кальция, принят доклад на VII Национальной конференции "Рентгеновское, Синхротронное излучения, Нейтроны и Электроны для исследования наносистем и материалов. Нано-Био-Инфо-Когнитивные технологии" (РСНЭ-НБИК 2009), Москва, 16-21 ноября 2009 г.
2. Б.Б. Кричевцов, А.Г. Банщиков, С.В. Гастев, А.В. Нащекин, С.М. Сутурин, В.А. Кособукин, Н.С. Соколов, Т. Shimada, Влияние морфологии магнитного слоя на оптические и магнитооптические свойства гетероструктур $\text{CaF}_2/\text{Co}/\text{CaF}_2/\text{Si}(111)$, Сборник трудов XXI Международной конференции "Новое в магнетизме и магнитных материалах", Москва, 28 июня - 4 июля 2009 г., БС-16, с.186-188, ISBN 5-8279-0020-6
3. В.А. Кособукин, Б.Б. Кричевцов, Эффекты локального поля в магнитооптике двумерных массивов ферромагнитных наночастиц, Физика твердого тела, в печати
4. Б.Б. Кричевцов, С.В. Гастев, Д.С. Ильющенко, А.К. Кавеев, Н.С. Соколов, Магнитные свойства массивов наночастиц кобальта на поверхности $\text{CaF}_2(110)/\text{Si}(001)$, Физика твердого тела 51 (2009) 109-117
5. Н.С. Соколов, А.Г. Банщиков, А.В. Крупин, С.М. Сутурин, В.П. Улин, М.А. Яговкина, Процессы роста и структура эпитаксиальных слоев фторида никеля на $\text{CaF}_2/\text{Si}(001)$, принят доклад на VII Национальной конференции "Рентгеновское, Синхротронное излучения, Нейтроны и Электроны для исследования наносистем и материалов. Нано-Био-Инфо-Когнитивные технологии" (РСНЭ-НБИК 2009), Москва, 16-21 ноября 2009 г.
6. С.В. Гастев. Энергетический обмен между экситонами и редкоземельными ионами в эпитаксиальных структурах и объемном монокристалле MnF_2 . Сборник докладов XV Всероссийской конференции «Оптика и спектроскопия конденсированных сред», Краснодар, 20-26 сентября 2009 г., С.187-193
7. I.V. Golosovsky, N.S. Sokolov, A. Gukasov, A. Bataille, M. Boehm, J. Nogues, Size-dependent magnetic behavior and spin-wave gap in MnF_2 epitaxial films with orthorhombic crystal structure, J. Magn. & Magn. Mater. (принято к опубликованию)

9.10. Особенности слабой локализации в наноструктурах с вырожденным основным состоянием носителей тока.

Руководитель проекта:

Аверкиев Никита Сергеевич,

Голуб Леонид Евгеньевич

ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН

194021 С.-Петербург, ул. Политехническая, 26.

тел. (812) 297-9155; факс: (812) 297-1017

E-mail: averkiev@les.ioffe.ru ,

golub@coherent.ioffe.ru

Участники проекта: М.М. Глазов, М.О. Нестоклон, С.А. Тарасенко

1. Получены выражения для аномального магнитосопротивления, обусловленного слабой локализацией двумерных электронов, описывающие экспериментальные данные во всём диапазоне классически слабых магнитных полей для произвольного соотношения спиновых расщеплений Рашбы, Дрессельхауза и Зеемана.

2. Развита теория слабой локализации электронов в графене в недиффузионном режиме в условиях, когда междолинное рассеяние подавлено. Показано, что знак и величина слаболокализационной поправки к проводимости определяется характером рассеивающего потенциала.

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. М.М. Glazov and L.E. Golub. Spin-orbit interaction and weak localization in heterostructures. *Semicond. Sci. Technol.* 2009, Т. 24, Вып. 6, С. 064007 (1-7)

9.11. Изучение магнитных состояний в низкоразмерных структурах на основе полупроводниковых материалов и магнитоупорядоченных соединений методами линейной и нелинейной магнитооптики.

Руководитель проекта:

Павлов Виктор Владимирович

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе
РАН

194021 Санкт-Петербург, ул. Политехническая,
26

тел. (812) 292-7963; факс (812) 297-1017

E-mail: Pavlov@mail.ioffe.ru

Участники проекта: В.Н. Гриднев, Н.В. Жариков, А.М. Калашникова, С.А. Кижаяев, В. А. Лукошкин, Л.В. Луцев, М.И. Степанова, П.А. Усачев, С.И. Шаблаев

Размерно-ограниченные структуры на основе полупроводниковых материалов и магнитоупорядоченных соединений привлекают большое внимание исследователей в силу ряда новых физических явлений, и как перспективные материалы для возможных применений в электронике и спинтронике. Весьма интересны новые **композитные материалы, свойства которых обусловлены не столько индивидуальными физическими свойствами их компонентов, сколько внутренней микро- или наноструктурой.** В таких средах возможна реализация таких оптических и электродинамических свойств, которые не встречаются в обычных природных материалах.

Задача данного проекта состоит в изучении магнитных состояний в низкоразмерных структурах на основе полупроводниковых материалов и магнитоупорядоченных соединений с помощью линейных и нелинейных магнитооптических методов в ближнем инфракрасном и видимом световом диапазонах, установлении микроскопических механизмов взаимодействия магнитной системы с электромагнитным излучением.

В этом направлении были исследованы магнитные структуры халькогенидов европия EuX ($X = \text{Se}, \text{Te}$) на диамагнитной подложке BaF_2 , полученные методом молекулярно-лучевой эпитаксии. Халькогениды европия – это магнитные полупроводники, кристаллизующиеся в центросимметричной точечной группе $m\bar{3}m$. Они обладают рядом уникальных физических свойств, определяемых сильно локализованными $4f^7$ электронами ионов Eu^{2+} , имеющих спин $S = 7/2$. В данных материалах изучалась генерация второй оптической гармоники (ГВГ) в магнитном поле. В экспериментах использовался 8 нс лазер с частотой повторения импульсов 10 Гц. Третья гармоника этого лазера служила для накачки оптического параметрического генератора, выход которого использовался для возбуждения ГВГ в EuX . Измерение ГВГ проводилось с помощью охлаждаемой ПЗС камеры во внешнем магнитном поле величиной до 11 Т, приложенном в геометрии Фогта.

Халькогениды европия EuX обладают центросимметричной кристаллографической структурой, поэтому ГВГ отсутствовала без магнитного поля. Неожиданным результатом явилось обнаружение ГВГ в EuX ($X = \text{Se}, \text{Te}$) при включении магнитного поля. Основные результаты показаны на Рис. 1 и 2. Весьма характерно, что полевые зависимости ГВГ отражают поведение квадрата намагниченности M^2 . Детальное исследование спектральных, полевых и температурных зависимостей ГВГ в этих материалах, а также использование метода вращательной анизотропии, позволили сделать вывод, что основным вкладом в ГВГ в центросимметричной кристаллической структуре халькогенидов европия EuX ($X = \text{Se},$

Te) является спин-индуцированный вклад при резонансном возбуждении электродипольных и магнитодипольных электронных переходов, формирующих край фундаментального поглощения в этих материалах.

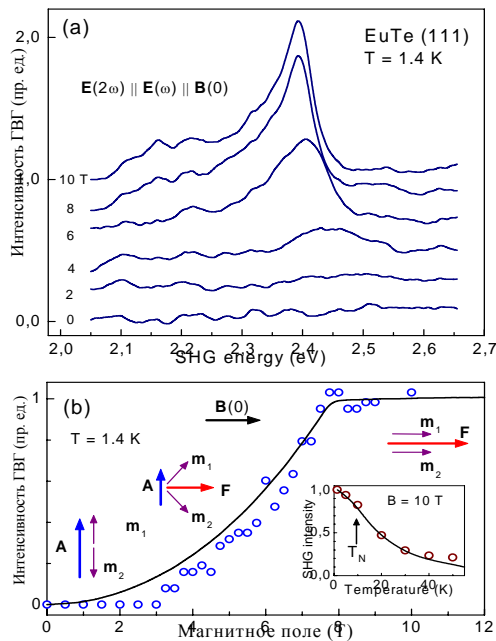


Рис. 1 (а) Спектры ГВГ в теллуриде европия EuTe при различных магнитных полях, спектры смещены относительно друг друга на 0.2 Т. (б) Интегральная интенсивность ГВГ в зависимости от величины магнитного поля, точки – экспериментальные значения, линия – нормированная зависимость квадрата намагниченности M^2 , вставка – температурная зависимость пиковой интенсивности ГВГ (точки – эксперимент, линия – M^2).

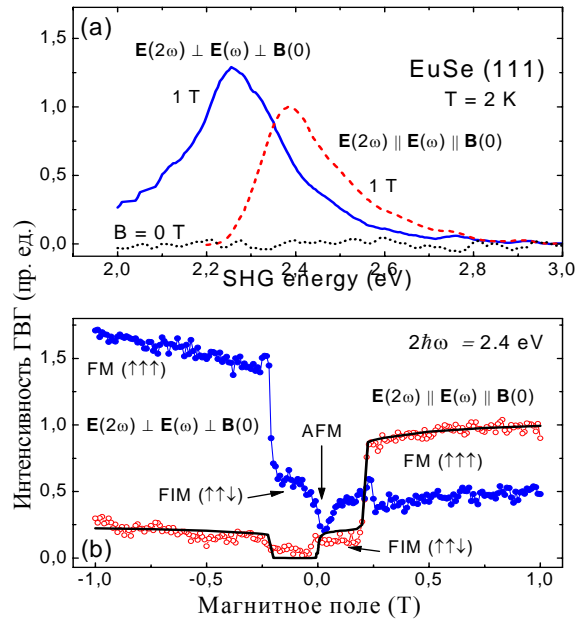


Рис. 2 (а) Спектры спин-индуцированной ГВГ в селениде европия EuSe для нулевого поля и для поля насыщения 1 Т в двух различных геометриях эксперимента. (б) Интенсивность ГВГ в EuSe как функция магнитного поля для двух геометрий эксперимента (точки – эксперимент, линия – M^2).

Основными результатами работ на текущем этапе проекта являются:

1. Обнаружение спин-индуцированной генерации второй оптической гармоники в тонких пленках халькогенидов европия EuX (X = Se, Te), полученных методом молекулярно-лучевой эпитаксии.

2. Установлен механизм возникновения ГВГ в centrosymmetric кристаллической структуре халькогенидов европия EuX (X = Se, Te), он связан с возникновением спин-индуцированного вклада в ГВГ при резонансном возбуждении электродипольных и магнитодипольных электронных переходов, формирующих край фундаментального поглощения в этих материалах.

3. Разработана микроскопическая модель наблюдаемых нелинейных магнитооптических процессов.

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. B. Kaminski, M. Lafrentz, R. V. Pisarev, D. R. Yakovlev, V. V. Pavlov, V. A. Lukoshkin et al., Phys. Rev. Lett. 103 057203 (2009).
2. R. V. Pisarev, B. Kaminski, M. Lafrentz, V. V. Pavlov, D. R. Yakovlev, and M. Bayer Novel mechanisms of optical harmonics generation in semiconductors, Phys. Stat. Sol. 2009 (в печати).
3. B. Kaminski, M. Lafrentz, R. V. Pisarev, D. R. Yakovlev, V. V. Pavlov, V. A. Lukoshkin et al., Abstracts of International Conference «Functional Materials», Ukraine, Crimea, Patenit, p. 13 (2009)

9.12. Квантовые явления в сэндвич-структурах CdV_xF_{2-x} - $p-CdF_2$ - CdV_xF_{2-x} на поверхности кристалла $n-CdF_2$

Руководитель проекта:

Баграев Николай Таймуразович

ФТИ им. А.Ф.Иоффе РАН

194021 С.Петербург, ул. Политехническая, 26.

тел. (812) 292-7315; факс: (812) 297-1017

E-mail: impurity.dipole@mail.ioffe.ru

Участники проекта: Л.Е. Клячкин, Д.С. Полоскин, А.М. Маляренко, А.А. Кудрявцев

1. Спектр подзон двумерных дырок в квантовой яме $p-CdF_2$, ограниченной δ -барьерами CdV_xF_{2-x} на поверхности кристалла $n-CdF_2$, был идентифицирован при измерении туннельных ВАХ. Было обнаружено, что отношение пиков токов и проводимости, измеренных при значениях температуры 298 К и 345 К, соответственно, при значениях энергии подзон двумерных дырок, удовлетворяет соотношению Бинаккера, $I_c/G_N = \pi\Delta/e$ (где $\Delta=51.03$ мэВ).

Полученные результаты указывают на важную роль двумерных дырочных подзон в формировании «эффекта близости», который возникает вследствие Андреевского отражения в так называемых «сэндвич-структурах» - узких квантовых ямах, ограниченных сверхпроводящими барьерами. Причем спектры многократного Андреевского отражения были обнаружены вблизи энергетических позиций каждого из уровней размерного квантования.

Таким образом, показано, что в сэндвич-структуре CdV_xF_{2-x} - $p-CdF_2$ - CdV_xF_{2-x} самоупорядоченно формируется система параллельных Джозефсоновских переходов, количество которых определяет величину пиков сверхтока и проводимости в сверхпроводящем и нормальном состоянии δ -барьеров, возникающих каждый раз, когда одна из двумерных подзон совпадает с уровнем Ферми при изменении прямого напряжения.

2. Предложенный механизм взаимосвязанности спектральных зависимостей сверхтока и энергетическими позициями двумерных подзон подтверждается измерениями величины сверхпроводящей щели с помощью туннельных ВАХ, а также температурных и полевых зависимостей сопротивления, магнитной восприимчивости и теплоемкости. Причем полученное значение, 2Δ , согласуется с величиной, следующей из вышеприведенной оценки амплитуды сверхтока, и соответствует значению $T_c = 336$ К ($2\Delta=3.52kT_c$) в температурном интервале перехода из сверхпроводящего в нормальное состояние. Высокая степень спиновой поляризации двумерных дырок в краевых каналах по периметру квантовой ямы $p-CdF_2$, возникающая вследствие многократного Андреевского отражения, позволила идентифицировать механизм эффекта спинового транзистора, обнаруженного в зависимости от напряжения вертикального затвора, управляющего величиной спин-орбитального взаимодействия Бычкова-Рашбы.

3. Впервые наблюдалась холловская лестница квантованной проводимости в зависимости от напряжения вертикального затвора. Значение амплитуды каждой ступеньки, e^2/h , и наличие спектра многократного Андреевского отражения в области первой ступеньки свидетельствует о регистрации квантового спинового эффекта Холла.

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. Н.Т.Баграев, О.Н. Гимбицкая, Л.Е.Клячкин, А.М.Маляренко, И.А. Шелых, А.И. Рыскин, А.С. Щеулин. Спиновый транзистор на основе наноструктур фторида кадмия. ФТП 2009, Т.43, С.85-94.
2. Н.Т. Баграев, О.Н. Гимбицкая, Л.Е. Клячкин, А.М. Маляренко, И.А. Шелых, А.И. Рыскин, А.С. Щеулин. Квантовый эффект Холла в наноструктурах на основе фторида кадмия. ФТП 2009, Т.43, С.82-84.
3. N.T. Bagraev, W. Gehlhoff, L.E. Klyachkin, A.A. Kudryavtsev, A.M. Malyarenko, V.V. Romanov. Superconductivity in Silicon Nanostructures. In "Charge Transfer and Vibronic States in Ionic-Covalent Systems. Theory, Experiment and Applications", ed. by V.S. Vikhnin and G.K. Liu; Springer/Tsinghua University Press; 2009 (in press).
4. N.T. Bagraev, W. Gehlhoff, L.E. Klyachkin, A.A. Kudryavtsev, A.M. Malyarenko, V.V. Romanov: Spin-dependent transport of holes in silicon quantum wells confined by superconductor barriers, AIP 2009, P. 551-552 ()
5. Н.Т. Баграев, Л.Е. Клячкин, А.А. Кудрявцев, А.М. Маляренко, В.В. Романов: Сверхпроводящие свойства кремниевых наноструктур; ФТП 2009, Т.43, С.1481-1495.
6. Н.Т. Баграев, Л.Е. Клячкин, А.А. Кудрявцев, А.М. Маляренко, Г.А. Оганесян, Д.С. Полоскин: Квантование сверхтока и андреевское отражение в кремниевых наноструктурах; ФТП, 2009, Т.43, С.1496-1506.
7. N.T. Bagraev, L.E. Klyachkin, A.A. Kudryavtsev, A.M. Malyarenko; Magnetic resonance spectroscopy of single centers in silicon quantum wells, Physica B (accepted).
8. N.T. Bagraev, D.S.Gets, L.E. Klyachkin, A.A. Kudryavtsev, A.M. Malyarenko, V.A. Mashkov, V.V. Romanov; EDEPR of impurity centres embedded in silicon microcavities, Physica B (accepted).
9. N.T. Bagraev, W. Gehlhoff, O.N. Guimbitskaya, L.E. Klyachkin, A.M. Malyarenko, A.A. Kudryavtsev, V.V. Romanov, A.I. Ryskin, I.A. Shelykh; A.S. Shcheulin, Spin Transistor and Quantum Spin Hall Effects in CdB_xF_{2-x} - $p-CdF_2$ - CdB_xF_{2-x} Sandwich Nanostructures, Physica C (accepted).
10. N.T. Bagraev, L.E.Klyachkin, A.A.Kudryavtsev, A.M.Malyarenko and L.V. Prokhorov; On fractioning of quanta: electrons and neutrons, Relativistic Nuclear Physics and Quantum Chromodynamics:Proceedings of the XIX Intern. Baldin Seminar on High Energy Physics Problems (Dubna, September 29 - October 4, 2008), Editors: A.N.Sissakian, V.V.Burov, A.I.Malakhov, S.G.Bondarenko, E.B.Plekhanov. Dubna: JINR, 2009, V.1, XVI, P.3-9.

9.13. Полярные и магнитные нанокластеры, мультиферроидные состояния в твердых растворах на основе квантовых параэлектриков.

Руководитель проекта:

Марковин Павел Алексеевич

ФТИ им. А.Ф. Иоффе

194021 Санкт Петербург, ул.

Политехническая,26

тел. (812) 515-6660; факс: (812) 515-6747

E-mail: p.markovin@mail.ioffe.ru

Участники проекта: В.В. Леманов, В.С. Вихнин, М.Е. Гужва, В.А. Трепаков,
Е.П. Смирнова, П.П. Сырников, Н.В. Зайцева, А.Г. Раздобарин.

С целью получения обоснованных результатов и выводов по исследованию полярных и магнитных нанокластеров, мультиферроидных состояний в твердых растворах на основе квантовых параэлектриков в 2009 году были проведены исследования монокристаллов и нанопорошков (с Cr^{3+}) номинально чистого SrTiO_3 , SrTiO_3 и KaTaO_3 с немагнитными примесями (в том числе с изотопным замещением кислорода в SrTiO_3), а также образцов монокристаллов и керамики $\text{SrTiO}_3:\text{Mn}$. Получены следующие результаты:

1. На основе термооптических измерений и измерений методом спектроскопической эллисометрии монокристаллов SrTiO_3 определен механизм аномального температурного поведения показателя преломления (отрицательный термооптический эффект). Этот результат имеет важное значение для выделения полярного и магнитного вкладов ближнего и дальнего порядка в рефракцию света при исследованиях на гомодинном интерферометре (использовано в п. 3). [1]

2. Полимерным золь-гель методом синтезированы и исследованы структуры и оптические свойства нанокристаллических порошков (диаметром до 13 nm) квантового параэлектрика SrTiO_3 допированного спектроскопически активными $d3$ примесями (Cr^{3+} , концентрация 0.1%). Для наночастиц с наименьшим исследованным размером в области низких температур наблюдалась сильная нестабильность энергии люминесцентной R- линии с появлением температурного минимума энергии при 19 K, что интерпретировано, как проявление низкотемпературного фазового перехода в наночастицах с циркулярно замкнутой по поверхности поляризацией. [2]

3. Установлено, что в твердых растворах на основе квантовых параэлектриков SrTiO_3 (: Ca, Ba, O^{18}) и KaTaO_3 (:Nb) реализуются пространственные флуктуации, приводящие наряду с дальним порядком к ближнему полярному порядку, который можно связать с образованием полярной нанокластерной структуры, индуцированной примесями (второй компонентой твердого раствора при ее небольших концентрациях) [3].

4. В монокристаллах (выращенных различными методами) и керамике SrTiO_3 в широком диапазоне температур впервые выполнено детальное исследование вхождения магнитных примесей Mn и их влияние на диэлектрические свойства в широком диапазоне частот (10 Гц – 10 МГц, THz (3-50 cm^{-1} 90-150 GHz), ИК отражения света (20-3300 cm^{-1} , 0.6-100 THz), рамановского рассеяния света, ЭПР и оптических спектров поглощения. Показано, что монокристаллы SrTiO_3 характеризуются очень низким коэффициентом вхождения примеси марганца (1/100) по отношению к шихте и что, независимо от валентности ионы Mn замещают позицию ионов Ti. При этом полярные проявления слабы, а магнитные свойства не обнаруживаются. Поэтому, в керамических образцах сосуществование полярного и

магнитного поведения связаны с сегрегацией и вкладом границ зёрен-кристаллитов керамики обогащенных марганцем. Предполагается, что существенную роль в наблюдаемых явлениях в керамике и кристаллах SrTiO_3 играют неоднородное вхождение примесей марганца, присутствие нанокластеров MnO и MnO_2 [4]. В образцах, полученных методом ионной имплантации Mn сосуществование полярного и магнитного упорядочения требуют дальнейшего изучения.

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. V. Trepakov, A. Dejneka, P. Markovin, A. Lynnyk, and L. Jastrabik. A “Soft electronic band” and negative thermooptic effect in strontium titanate // *New Journal of Physics* – 11 (2009) 083024(9pp).
2. V A Trepakov, Z Potucek, M V Makarova, A Dejneka, P Sazama, L Jastrabik and Z Bryknar. $\text{SrTiO}_3\text{:Cr}$ nanocrystalline powders: size effects and optical properties // *J. Phys.: Condens. Matter* - 21 (2009) 375303 (5pp).
3. M.E. Guzhva, V.V. Lemanov, P.A. Markovin, A.G. Razdobarin, A.S. Sigov, V.A. Trepakov, D.A. Andreev and M. Itoh. Induced Polar States in Quantum Paraelectrics // *Ferroelectrics*, 2009, (in press).
4. V. Trepakov, M. Savinov, V. Zelezny, D. Nuzhnyy, I. Gregora, J. Petzelt, A. Badalyan, P. Galinetto, A. Skvortsov, A. Dejneka, L. Jastrabik. Mn doping in properties of SrTiO_3 single crystals // *International Meeting on Ferroelectricity and International Symposium on Application of Ferroelectrics, Xi'an China, August 24-27, IMF-ISAF-2009. Abstracts. Report NO-011.*

9.15. Магнитоупорядоченные состояния в мультиферроиках $RM_3(BO_3)_4$ (R – редкая земля, $M=Fe, Cr$): исследование методами оптической спектроскопии.

Руководитель проекта:

Попова Марина Николаевна

Институт спектроскопии РАН

142190 г. Троицк, Московской обл.,

ул. Физическая 5.

тел. (496) 7510234; факс: (496) 7510886

E-mail: popova@isan.troitsk.ru

Участники проекта: С.А. Климин, Е.П. Чукалина, Н.Ю. Болдырев, Д.С. Пыталев, Т.Н. Станиславчук, К.Н. Болдырев, А.С. Галкин, Б.З. Малкин

1. Обнаружен новый эффект: возгорание спектральных линий при магнитном упорядочении кристалла. Эффект наблюдался в оптических спектрах $PrFe_3(BO_3)_4$. Показано, что интенсивность новых линий пропорциональна квадрату параметра порядка магнитного фазового перехода и объясняется заимствованием из разрешенного перехода за счет смешивания волновых функций внутренним магнитным полем, возникающим при магнитном упорядочении [1-2].

2. Проведено спектроскопическое исследование с высоким разрешением ориентированных монокристаллов ферроборатов $PrFe_3(BO_3)_4$ в парамагнитной и антиферромагнитной фазах. Полученные данные по штарковской структуре уровней $4f^2$ конфигурации иона Pr^{3+} в парамагнитном $PrFe_3(BO_3)_4$ описаны моделью кристаллического поля, учитывающей межконфигурационные взаимодействия $4f^2 - 4f5d$ и $4f^2 - 4f6p$. Анализ спектров иона Er^{3+} , введенного в $PrFe_3(BO_3)_4$ в качестве зонда, показал, что спины железа упорядочиваются вдоль кристаллографической оси с ниже температуры $T_N=32$ К. Для описания наблюдаемых изменений в оптических спектрах Pr^{3+} при температурах ниже T_N рассмотрен гамильтониан обменного взаимодействия Pr-Fe, определенный семью параметрами. Применимость рассмотренной модели проверена путем сравнения вычисленной температурной зависимости магнитной восприимчивости с экспериментальными данными [3-4].

3. Методами спектроскопии комбинационного рассеяния света (КРС) и широкодиапазонной оптической Фурье-спектроскопии исследованы структурные изменения в ферроборатах европия, самария и празеодима. Найдено, что $PrFe_3(BO_3)_4$ и $SmFe_3(BO_3)_4$ имеют структуру R32 высокотемпературной фазы вплоть до самых низких температур (1.7 К), а $EuFe_3(BO_3)_4$ претерпевает структурный фазовый переход при 58 К [5-8].

4. Продолжено комплексное исследование свойств хромовых боратов $RCr_3(BO_3)_4$ $R=Sm, Ho, Dy$ на вновь выращенных и хорошо охарактеризованных образцах [9].

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. M. N. Popova, T. N. Stanislavchuk, B. Z. Malkin, L. N. Bezmaternykh, Breaking of the selection rules for optical transitions in the dielectric $PrFe_3(BO_3)_4$ crystal by the praseodymium-iron exchange interaction. Phys. Rev. Lett., 102 (2009) 187403.
2. М.Н.Попова, Т.Н.Станиславчук, Б.З.Малкин, Л.Н.Безматерных, Новый эффект: возгорание запрещенных спектральных линий при магнитном фазовом переходе $PrFe_3(BO_3)_4$. Конференция «Сильно коррелированные электронные системы и квантовые критические явления», Тезисы конференции, Троицк, Московская обл., Институт физики высоких давлений РАН, 18 июня 2009 г, с. 10.

3. M. N. Popova, T. N. Stanislavchuk, B. Z. Malkin, L. N. Bezmaternykh, Optical spectroscopy of $\text{PrFe}_3(\text{BO}_3)_4$: crystal-field and anisotropic Pr-Fe exchange interactions. *Phys. Rev. B*, в печати.
4. М.Н. Попова, Т.Н. Станиславчук, Е.П. Чукалина, Б.З. Малкин, Л.Н. Безматерных, Исследование магнитной структуры и анизотропного обменного взаимодействия Pr-Fe в монокристалле $\text{PrFe}_3(\text{BO}_3)_4$ методами оптической спектроскопии, Сборник трудов XXI Международной конференции «Новое в магнетизме и магнитных материалах», Москва, 28 июня – 4 июля 2009 г., стр. 189.
5. E.P. Chukalina, M.N. Popova, L.N. Bezmaternykh, I.A. Gudim, Spectroscopic characterization of the new multifunctional material $\text{SmFe}_3(\text{BO}_3)_4$, YUCOMAT-2009, Herceg Novi, Montenegro, August 31 - September 4, 2009. Book of Abstracts, p. 132.
6. M. N. Popova. Optical spectroscopy of low-dimensional rare-earth iron borates. *J. Magn. Magn. Mater.*, 321 (2009) 716.
7. M.N. Popova, Spectroscopy of new compounds from the family of rare-earth orthoborates, *Journal of Rare Earths*, 27 (2009) 607.
8. M.N. Popova, Spectroscopy of functional materials from the family of rare-earth orthoborates. XIX International School-Seminar “Spectroscopy of Molecules and Crystals”, Beregovo, Crimea, Ukraine, 20–27 September 2009. Book of Abstracts, p. 73. (Приглашенный доклад).
9. К.Н.Болдырев, Н.И.Леонюк, В.В.Мальцев, М.Королева. Магнитные фазовые переходы в редкоземельных хромовых ортоборатах $\text{RCr}_3(\text{BO}_3)_4$. Сборник трудов XXI Международной конференции «Новое в магнетизме и магнитных материалах», Москва, 28 июня – 4 июля 2009 г., с. 512.

9.16. Исследование распространения магнитоэлектрических спиновых волн в ферритовых пленках с структурированной металлизированной поверхностью

Руководитель проекта:

Тулин Вячеслав Александрович

ИПТМ РАН

142432, Московская обл, Черноголовка,

Институтская ул, д. 6

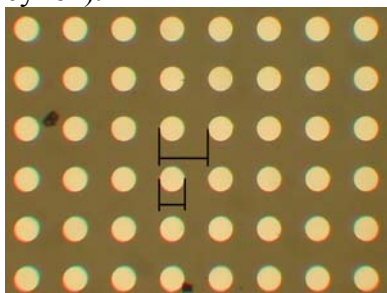
Тел. (495)962-80-74 ;Факс (495)962-80-47

E-mail: tulin@ipmt-hpm.ac.ru

Участники проекта: Р.В. Холин (уволился в июле 2009г.), Б. В. Кузнецов,
И.Ю. Борисенко, В. В. Белов, М. Князев Р. Н. Выдумкина.

Работа представляла собой исследование прохождения поверхностных магнитоэлектрических волн в эпитаксиальной пленке железо – иттриевого граната (ЖИГ) на поверхности монокристаллической пластины галлий –гадолиниевого граната (ГГГ) с нанесенными алюминиевыми микроструктурами. Измерительная ячейка представляла собой линию задержки, состоящую из двух параллельных антенн. Антенны одним концом были присоединены к центральному проводнику СВЧ - коаксиальной линии, другим закорочены на землю, длина антенн составляла 6 мм расстояние между ними 8 мм. Антенны изготавливали размещением проволоки диаметром 50 мкм на диэлектрическую подложку (стеклотекстолит). На этапе 2009 года мы провели инженерный расчет подводных к антеннам микрополосковых линий. Расчет был выполнен для частот электромагнитных волн 3ГГц. Результат этого расчета привел к резкому улучшению качества экспериментальных результатов. Для исследованных частот 2 и 4ГГц картина заметно ухудшалась. Следующее действие этапа 2009 года было – проверка исследуемых эпитаксиальных структур на предмет возбуждения спиновых волн. Оказалось, что в большинстве эпитаксиальных пленок ЖИГ поверхностные спиновые волны возбуждаются до сравнительно небольших значений волновых векторов (меньше необходимых нам 100 см^{-1}). Что ответственно за данный эффект: качество пластин или технологические операции, которые мы выполняем при изготовлении рабочего образца, в настоящий момент мы не можем сказать. Это наблюдается даже в случае изготовления образцов из одной пластины. Третье новое обстоятельство состоит в том, что мы резко сократили число продольных периодов в структуре, доведя число рядов до 5 -10 шт.

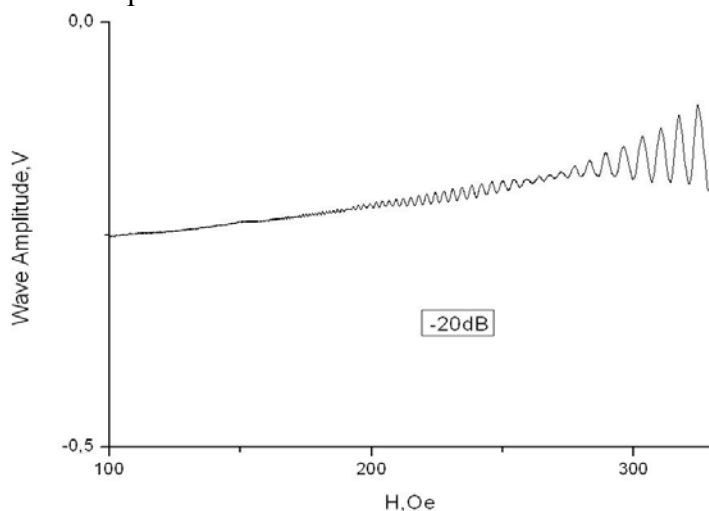
Структуры представляли собой прямоугольную решетку с периодом $d_2=100 \text{ мкм}$ (см. рисунок).



При пропускании через антенну СВЧ тока неоднородное магнитное поле этого тока возбуждает магнитоэлектрические спиновые волны, которые распространяются по пленке и принимаются второй антенной. Скорость МСВ различна в случае чистой поверхности пленки ЖИГ и в случае металлизированной поверхности (различные

коэффициенты преломления). Структурированная металлической пленкой поверхность пленки ЖИГ является двумерным магнитным кристаллом. Меняя магнитное поле от значения, соответствующего ферромагнитному резонансу, мы меняем волновой вектор K возбуждаемой спиновой волны. При совпадении длины спиновой волны с периодом решетки должно возникнуть отражение волны назад и ее поглощение.

На следующем рисунке представлен образец записи сигнала прохождения спиновых волн через линию задержки в зависимости от магнитного поля (величины волнового вектора



спиновой волны) на частоте 3 ГГц. В магнитном поле около 270 Эрстед наблюдается четкий минимум прохождения спиновых волн через структуру. Таким образом удалось наблюдать эффект магнитного кристалла на эпитаксиальной пленке ЖИГ со структурно – металлизированной поверхностью.

9.17. Модификация свойств молекулярных наноманитов семейства оксокарбоксилатных кластеров Mn₁₂.

Руководитель проекта:

Ягубский Эдуард Борисович

Институт проблем химической физики РАН

142432 г. Черноголовка, Моск. обл.,

проспект Семенова 1

тел.: (496) 5227752; факс: (496) 5155420

E-mail: yagubski@icp.ac.ru; yagubski@chgnnet.ru

Участники проекта: Н.Г. Спицына, В.Д. Сасновская, Л.А. Куш, Р.Б. Моргунов

1. Синтезированы высокоспиновые кластеры семейства оксокарбоксилатных кластеров Mn₁₂: [Mn₁₂O₁₂(RCOO)₁₆(H₂O)₄], где R = C₆H₅ (Mn₁₂Bz), C₆F₅ (Mn₁₂F₅), и их молекулярные комплексы с фуллереном C₆₀: Mn₁₂F₅C₆₀ (1), Mn₁₂BzC₆₀ (2) [1, 2].

2. Исследованы магнитные свойства полученных соединений [1, 2]. Измерения проводились на микрокристаллических порошках с помощью сквид-магнетометра Quantum Design MPMS-XL-1. Магнитная восприимчивость в постоянном поле была измерена в диапазоне температур 1.76-300 К в поле 100 Эрстед. Полевые зависимости намагниченности исследовались в полях до 1 Тесла. Температурные зависимости произведения $\chi_m \times T$ (χ_m - молярная магнитная восприимчивость) для кластеров Mn₁₂Bz и Mn₁₂F₅ близки: при понижении температуры $\chi_m T$ (17.5 см³ mol K при 300 К) слабо уменьшается до ~ 170 К, а затем возрастает, достигая максимума при 8 К (43 см³ mol K) и 5 К (58 см³ mol K) для Mn₁₂Bz и Mn₁₂F₅, соответственно. Такое поведение $\chi_m T$ является типичным для мономолекулярных магнитов семейства оксокарбоксилатных кластеров Mn₁₂. Комплексование Mn₁₂Bz и Mn₁₂F₅ с C₆₀ приводит к существенному снижению намагниченности (~ в 4 раза в максимуме), что, возможно, связано возникновением обменных взаимодействий между отдельными кластерами Mn₁₂ через фуллереновые молекулы. Измерение температурной зависимости намагниченности в режимах охлаждения в поле (fc) и в нулевом поле (zfc) показало, что zfc и fc кривые для образцов Mn₁₂F₅, Mn₁₂F₅C₆₀ и Mn₁₂BzC₆₀ начинают расходиться при T ~ 3 К (температура блокирования намагниченности, T_B), тогда как для Mn₁₂Bz T_B достигает ~ 16 К. Исследование полевых зависимостей намагниченности Mn₁₂Bz при разных температурах подтвердило данные zfc - fc измерений. Кластер Mn₁₂Bz ведет себя как мягкий ферромагнетик вплоть до 16 К (рис 1). Гистерезис исчезает при 3 К.

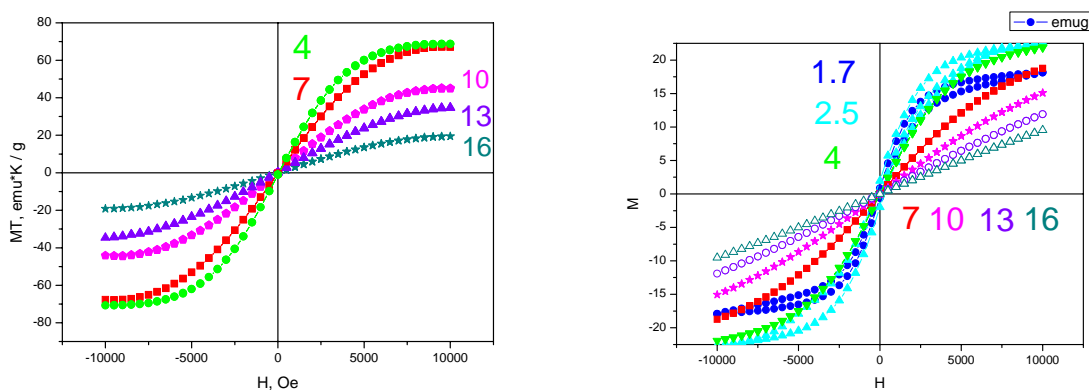


Рис. 1. Полевые зависимости намагниченности при разных температурах (1.7, 2.5, 4.0, 7.0, 10.0, 13.0, 16.0 К) для образца Mn₁₂Bz.

Исследование полевых зависимостей намагниченности комплекса 1 показало, комплексование $Mn_{12}F_5$ с C_{60} приводит к изменению формы петли гистерезиса исходного кластера (рис. 2), что указывает на переход от мягкого ферромагнетика к жесткому. Вероятно, молекулы фуллерена обеспечивают обменные пути для взаимодействия между ионами Mn. Интересный эффект был обнаружен при исследовании комплекса 2. Кривая M vs. H для образца $Mn_{12}BzC_{60}$ не возвращается к своей первоначальной точке после цикла измерений $1T \rightarrow -1T \rightarrow 1T$. Намагниченность увеличивается с каждым циклом измерений (рис. 3). Выдержка образца в поле 10 кЭ в течение 10 часов приводит к постоянному возрастанию намагниченности.

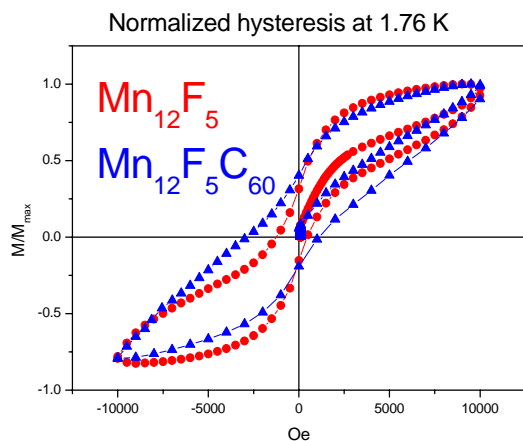


Рис. 2. Полевые зависимости намагниченности для образцов $Mn_{12}F_5$ и $Mn_{12}F_5C_{60}$

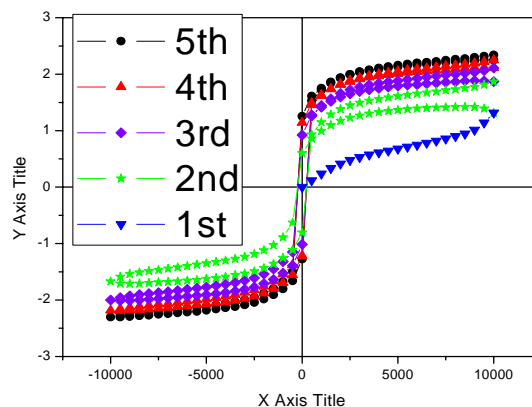


Рис. 3. Полевые зависимости намагниченности для $Mn_{12}BzC_{60}$ при 1.76 К (пять последовательных циклов измерений)

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. Zagainova V.S., Makarova T.L., Spitsina N.G., Yagubskii E.B. Magnetization training effect in fullerene-containing single molecular magnet, 9th Biennial International Workshop Fullerenes and Atomic Clusters, IWFACT'2009, St Petersburg, July 6-10, 2009, Russia. Book of abst., P.273.
2. Н.Г. Спицына, В.С. Загайнова, Т.Л. Макарова, Е.Б. Ягубский. Фуллерен-содержащие молекулярные магнетики семейства кластеров Mn_{12} . XXI Международная конференция «Новое в магнетизме и магнитных материалах» (НМММ - XXI), 28 июня - 4 июля 2009 г., Москва, Россия. Сборник трудов, С.433-434.

9.18. Структура и свойства низкоразмерных бифункциональных молекулярных материалов, сочетающих проводимость (или сверхпроводимость) и магнетизм.

Руководитель проекта:

Шibaева Римма Павловна

Институт физики твёрдо РАН

142432, г. Черноголовка Моск. обл.

Институтская ул., 2

тел. 8(496)52252-06; факс: 8(496)5249-701

E-mail: shibaeva@issp.ac.ru

Участники проекта: Хасанов С.С., Зорина Л.В., Симонов С.В., Зверев В.Н.,
Коробенко А.В., Путря А.В.

1. Проведено исследование нового класса гибридных кристаллов – молекулярных гетероструктур, которые формируются из регулярно чередующихся молекулярных слоев, несущих разные коллективные физические свойства: проводимость (или сверхпроводимость) и магнетизм [1- 8].

2. Показано, что в структуре нового магнитного органического металла α -(BEDT-TTF)₂[Mn₂Cl₅(H₂O)₅] проводящие катион - радикальные слои чередуются со слоями полимерных металлокомплексных анионов [Mn₂Cl₅(H₂O)₅]⁻. Полимерная цепочка составлена из MnCl₃(H₂O)₃ – и MnCl₄(H₂O)₂ – октаэдров с общей вершиной. В этой зигзагообразной цепочке позиции атомов Mn формируют почти равнобедренные треугольники с Mn...Mn расстояниями 4.609, 4.640 и 4.824 Å. Расстояние Mn...Mn между цепочками составляет 5.547 Å. Электронная зонная структура, теоретически рассчитанная на основе полученных рентгеноструктурных данных, предполагает, что кристаллы должны быть стабильным двумерным металлом и транспортные измерения показали, что проводимость имеет металлический характер вплоть до 0.4 К. Двумерный характер проводимости подтвержден измерениями осцилляций Шубникова-де Гааза монокристаллов. Осцилляции, наблюдаемые при B > 10 Т, характеризуются присутствием двух фундаментальных частот, соответствующих поперечным сечениям поверхности Ферми в согласии с вычисленной электронной зонной структурой. Магнитные измерения выявили наличие антиферромагнитных корреляций в анионной подрешетке [1,4].

3. Низкотемпературное рентгенодифракционное исследование парамагнитных металлов β'' -(BEDT-TTF)₄H₃O[Fe(C₂O₄)₃]·(BN_{0.35}CB_{0.65}) (1) и β'' -(BEDT-TTF)₄H₃O[Fe(C₂O₄)₃]·(BN_{0.23}BB_{0.77}) (2) дали возможность определить структурную природу свойственных им фазовых переходов. Было установлено, что в этих кристаллах при температуре 240-250 К происходит понижение симметрии от моноклинной до триклинной, которое сопровождается упорядочением в анионной подсистеме и слабым перераспределением заряда в проводящих катион-радикальных слоях. Однако кристаллы не теряют свои металлические свойства при низких температурах [5,8].

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. L. V. Zorina, T. G. Prokhorova, S. S. Khasanov, S. V. Simonov, V. N. Zverev, A. V. Korobenko, A. V. Putrya, V. S. Mironov, E. Canadell, R. P. Shibaeva, E. B. Yagubskii "A new hybrid molecular metal assembling a BEDT-TTF conducting network and the magnetic chain anion $[\text{Mn}_2\text{Cl}_5(\text{H}_2\text{O})_5]^-_\infty$: α -(BEDT-TTF) $_2$ $[\text{Mn}_2\text{Cl}_5(\text{H}_2\text{O})_5]$ " CrystEngComm, 2009, 11, 2102-2109.
2. Л.В. Зорина, С.В. Симонов, С.С. Хасанов, Р.П. Шibaева «Псевдополиморфизм, сверхструктура и фазовые переходы в кристаллах семейства молекулярных проводников (BEDT-TTF) $_4$ $[\text{MNOX}_5]_{2-x}\text{G}_x$, где M = Os, Ru; X = Cl, Br; G – молекула растворителя» Журнал структурной химии, 2009, Т. 50, С. S159-S165.
3. А.В. Казакова, Н.Д. Куш, Л.И. Буравов, Э.Б. Ягубский, С.В. Симонов, Л.В. Зорина, С.С. Хасанов, Р.П. Шibaева, J. Yamada, M. Umetsuya « Новые молекулярные магнитные металлы: κ -(BDH-TTP) $_4\text{CuCl}_4 \cdot (\text{H}_2\text{O})_n$ и κ -(BDH-TTP) $_2[\text{CuCl}_4]_{0.67} \cdot (\text{H}_2\text{O})_{0.33}$ » Изв. РАН (сер. Химия), в печати
4. V. Zverev, A. Korobenko, T. Prokhorova, L. Zorina, S. Khasanov, S. Simonov, A. Putrya, V. Mironov, E. Canadell, R. Shibaeva, E. Yagubskii "Magnetotransport Properties of a New Hybrid Metal α -(BEDT-TTF) $_2$ $[\text{Mn}_2\text{Cl}_5(\text{H}_2\text{O})_5]$ " 8th International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Ferromagnets, ISCOM'09, Japan, 2009, 12-17 September, p.156.
5. S. Khasanov, L. Zorina, S. Simonov, T. Prokhorova, L. Buravov, R. Shibaeva, E. Yagubskii "Structural Phase Transition in Paramagnetic Molecular Conductors β' -(BEDT-TTF) $_4(\text{H}_3\text{O})[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3] \cdot \text{G}$, where G=PhCl and $[(\text{PhCl})_{0.66}(\text{PhCN})_{0.34}]$ " 8th International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Ferromagnets, ISCOM'09, Japan, 2009, 12-17 September, p.274.
6. E. Yagubskii, N. Kushch, M. Kartsovnik, S. Khasanov, O. Vyaselev, R. Shibaeva, L. Ouahab "Magnetic Superconductor Based on BETS Radical Cation Salt with Polymeric Dicyanamidomanganate (II) anion: κ -(BETS) $_2\text{Mn}[\text{N}(\text{CN})_2]_3$ " 8th International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Ferromagnets, ISCOM'09, Japan, 2009, 12-17 September, p.44.
7. V.N. Zverev, N.Kushch, E.Yagubskii, L. Buravov, S. Khasanov, R. Shibaeva, M. Kartsovnik, W. Biberakher "Crystal structure, T- P phase diagram and magnetotransport properties of new organic metal κ -(BETS) $_2\text{Mn}[\text{N}(\text{CN})_2]_3$ " The I.F. Schegolev Memorial Conference "Low-Dimensional Metallic and Superconducting Systems", Chernogolovka, Russia, October 11-16, 2009, p.00.
8. L. Zorina, T. Prokhorova, S. Simonov, S. Khasanov, L. Buravov, V. Zverev, A. Korobenko, R. Shibaeva, E. Yagubskii "The (BEDT-TTF) $_4(\text{H}_3\text{O})[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3] \cdot \text{G}$ family: new phases with different guest solvent molecules G, phase transitions and structure-properties relations" The I.F. Schegolev Memorial Conference "Low-Dimensional Metallic and Superconducting Systems", Chernogolovka, Russia, October 11-16, 2009, p.00.

9.20. Изучение эффектов спиновой поляризации магнитных примесей и электронного остова в кондо-полупроводниках.

Руководитель проекта:

Альтшулер Татьяна Семеновна

КФТИ КНЦ РАН

420029 Казань, ул.Сибирский тракт,10/7.

тел. (843) 272-1154; факс: (843) 272-5075

E-mail: tatiana@kfti.knc.ru

Участники проекта: Горюнов Ю.В.

Для решения поставленной в проекте задачи была продолжена работа по изучению магнитного фазового расслоения в гексабориде европия EuB_6 методом электронного парамагнитного резонанса.

1. Согласно плану, в 2009 году проведено изучение вопроса о существовании анизотропии намагниченности монокристалла гексаборида европия.

Для этой цели были выращены монокристаллы EuB_6 различной кристаллографической ориентации и для каждого из кристаллов проведено исследование намагниченности образцов в широком интервале температур (10-300К).

Найдено, что ниже температуры 40К - температуры магнитного фазового расслоения - наблюдается анизотропия эффективной намагниченности (максимальная намагниченность при направлении [111], минимальная- при [110]), т.е. зависимость намагниченности от направления кристаллографических осей по отношению к магнитному полю [1,2].

Установлено, что температурная динамика магнитного фазового расслоения зависит от ориентации внешнего магнитного поля относительно кристаллографических осей монокристаллов EuB_6 . Это происходит вследствие формирования связанных состояний магнитных моментов ионов Eu^{2+} с электронами проводимости и валентными электронами (дырками). Взаимодействие носителей заряда с локализованными магнитными моментами (s-f гибридизация) в гексабориде европия сопровождается само-локализацией свободных носителей заряда и формированием магнитных поляронов (ферронов) двух типов. Очевидно, что в этом случае большую роль приобретают орбитальные эффекты. Вследствие этого поляризация поляронов в магнитном поле зависит от его направления относительно кристаллической оси.

На основании полученных данных о намагниченности вдоль различных кристаллографических направлений построена диаграмма направленности намагниченности в гексабориде европия, которая, по всей видимости, несет в себе информацию о распределении орбитального момента носителей заряда.

2 Проведено также исследование методом ЭПР монокристаллов EuB_6 , легированных ионами углерода разной концентрации и выращенных разными методами [3].

Установлено существование, как и в чистом EuB_6 , магнитного фазового расслоения, которое, по-видимому, обязано кондо и анти-кондо связыванию магнитных моментов с носителями тока (электроны проводимости и дырки).

Установлено, что в зависимости от концентрации углерода меняется соотношение магнитных фаз.

Установлено, что легирование гексаборида европия углеродом меняет тип упорядочения ионов европия.

По результатам исследований $\text{EuB}_{5.93}\text{C}_{0.07}$ в ближайшее время будет подготовлена статья.

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. T.S. Altshuler, Yu.V. Goryunov, N.Yu. Shitsevalova, A. Dukhnenko. Effect of Anisotropy in Temperature Dynamics of Magnetic Phase Separation in Europium Hexaboride, *Physica B*, 2009 (в печати)
2. Yu.V. Goryunov, N.Yu. Shitsevalova, A. Dukhnenko. Effect of Anisotropy in Temperature Dynamics of Magnetic Phase Separation in Europium Hexaboride, The International Conference on Magnetism - ICM 2009, Karlsruhe, Germany July 26-31, 2009, Abstracts, p. 342
3. T.S. Altshuler, N.Yu. Shitsevalova, A. Dukhnenko. Magnetic Phase Separation and Magnetic Ordering in $\text{EuB}_{5.93}\text{C}_{0.07}$. The International Conference on Magnetism – ICM 2009, Karlsruhe, Germany, July 26-31, 2009, Abstracts, p.104

9.21. Магнитооптические исследования магнитной структуры и кинетики перемагничивания лантан-стронциевых манганитов.

Руководитель проекта:

Успенская Людмила Сергеевна

Институт физики твердого тела РАН

142432, Черноголовка, ул. Институтская, 2

тел. (49652) 22-069; факс: (49652) 49-701

E-mail: uspenska@issp.ac.ru

Участники проекта: П.П. Василевский, И.С. Вещунов, А.Ф. Гануш, И.В. Курбатова, В.Т. Макиевская, Д.В. Матвеев

1. Изучена кинетика перемагничивания ультратонких плёнок манганита лантана $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ выращенных магнетронным распылением на подложках LaAlO_3 . Обнаружено существование двух магнитных фаз, реализующихся в плёнках в зависимости от магнитной предыстории и условий охлаждения от температуры Кюри, и характеризующихся различными направлениями спонтанной намагниченности, ориентированной либо вдоль оси [001], либо вдоль осей типа <110> [1,2,3]. Показано, что магнитная фаза с ориентацией намагниченности вдоль [001] является метастабильной, обусловленной напряжениями на интерфейсе плёнка-подложка, в то время как фаза с намагниченностью вдоль <110> является энергетически более выгодной, стабильной фазой.

2. Определены динамические характеристики перемагничивания плёнок манганита лантана вблизи комнатной температуры [3,4,5,6]. Установлен активационный характер перемагничивания, определены активационные объёмы, магнитная вязкость, скорости движения доменных границ, изучена природа магнитного последствия.

3. Изучена трансформация магнитной доменной структуры плёнок манганита лантана с температурой и трансформация структуры междоменных границ с температурой [7,8]. Показано, что при всех температурах от 10 К до 330 К наиболее устойчивой является структура с намагниченностью в доменах, ориентированной в плоскости плёнок вдоль <110> направлений, ширина доменов при этом достигает нескольких миллиметров. Однако вид доменных границ изменяется с температурой, типичные для тонких плёнок тонкие 180-градусные «head-to-head» зигзагообразные доменные границы спрямляются с понижением температуры до 150 К - 200 К, а затем трансформируются в диффузные границы, ширина которых достигает сотни микрон при температуре ниже 70 К, что является, по-видимому, следствием возрастающих с понижением температуры напряжений на интерфейсе плёнка-подложка.

4. Начато исследование трансформации магнитной доменной структуры объёмных монокристаллов манганита-лантана при равновесном и неравновесном отжиге и корреляции магнитной структуры с проводящими свойствами материала и магнитосопротивлением [9,10]. Впервые удалось визуализировать субмикронную доменную структуру и её трансформацию при отжиге. Обнаружено, что даже низкотемпературный отжиг (ниже 400°C) значительно влияет на магнитную структуру материала, на магнитные характеристики материала и на магнитосопротивление. При этом магнитные характеристики материала улучшаются, т.е. коэрцитивность падает, магнитная проницаемость растёт, температура перехода в ферромагнитное состояние повышается, домены укрупняются, и одновременно растёт эффект отрицательного магнитосопротивления, что противоречит существующим представлениям. Для понимания природы обнаруженных эффектов необходимы дальнейшие исследования.

5. Начаты исследования магнитного упорядочения лантан-стронциевых манганитов при изовалентном, дырочном и электронном допировании манганита с замещением ионов Mn^{+3} ионами Ni^{+2} , Ti^{+4} . Установлено, что замещение на уровне 0.075 приводит к изменению типа кристаллической структуры с R3c на Pnma, к появлению фазового расслоения на Pnma1 и Pnma2, и к разительному изменению проводящих свойств манганита, к усилению эффекта колоссального магнитосопротивления и расширению температурного диапазона, где эффект наблюдается. Особенно удивительными представляются предварительные результаты, касающиеся наблюдающегося при этом изменения типа зарядового упорядочения ионов Mn: замещение трехвалентных ионов двухвалентными ионами, как и замещение четырёхвалентными ионами приводит к уменьшению концентрации ионов Mn^{+4} . Для окончательных выводов необходимы дальнейшие исследования.

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. Л.С. Успенская, И.В. Курбатова, Т. Нургалиев, С. Митева. Кинетика перемангничивания тонкой пленки манганита $La_{0.7}Sr_{0.3}MnO_3$. Известия РАН, сер.физич., 2009, т. 73, в.8, стр. 1172–1174
2. T. Nurgaliev, E. Mateev, B. Blagoev, S. Miteva, L. Neshkov, V. Strbik, L.S. Uspenskaya, S. Benacka, S. Chromik, I. Nedkov. YBCO and LSMO nano-films and sandwiches prepared by magnetron sputtering. J.Phys: Conf. Ser. (в печати).
3. L S Uspenskaya, T Nurgaliev and S Miteva. Magnetization reversal of thin $La_{0.7}Sr_{0.3}MnO_3$ manganite films grown on $LaAlO_3$. J. Phys. D, 2009, v.42 p. 185006.
4. L. Uspenskaya, T. Nurgaliev, S. Miteva. Domain wall dynamics in ultra thin manganite film. J.Phys: Conf. Ser. (в печати).
5. L.Uspenskaya, T.Nurgaliev, S.Miteva. Domain wall dynamics in ultrathin manganite film. Труды международной конференции «Functional materials», Crimea, стр.142
6. L. Uspenskaya, T. Nurgaliev, S. Miteva. Domain wall dynamics in ultra thin manganite film. Abstract book of International Conference on Magnetism, Karlsruhe, p.190.
7. L. Uspenskaya, T. Nurgaliev, S. Miteva. Temperature dependence of magnetization reversal of thin manganite film. Acta Phys Pol A (в печати).
8. L. Uspenskaya, T. Nurgaliev, S. Miteva, Variation of magnetic domain structure of thin manganite film with temperature. Труды International Scientific Workshop «Oxide Materials for Electronic Engineering – fabrication, properties and application», L'viv, стр.167
9. Л.С. Успенская, И. Вещунов, Д.А. Шулятев. Влияние отжига на электро-сопротивление $La_{0.75}Sr_{0.25}MnO_3$ в переменном электрическом поле. Труды второго международного симпозиума «Среды со структурным и магнитным упорядочением», Ростов-Дон – Лоо, стр.168-169
10. L.S. Uspenskaya, I. Veshunov, D.A. Shulyatev, Magnetic domain structure and colossal magnetoresistance in manganites. Труды International Scientific Workshop «Oxide Materials for Electronic Engineering – fabrication, properties and application», L'viv, стр.165

10.2. Люминесцентные свойства гетерогенных нанотетраподов.

Руководитель проекта:

Витухновский Алексей Григорьевич

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН

119991 Москва, Ленинский пр., 53.

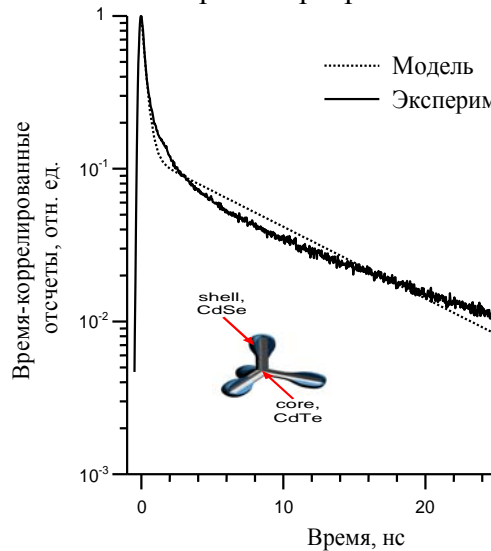
тел. 8 (499) 135-7860; факс: 8 (499) 135-7891

E-mail: alexei@sci.lebedev.ru

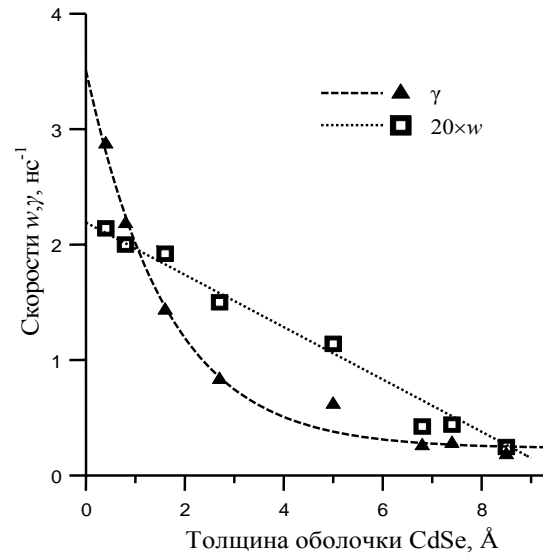
Участники проекта: Э.М.Хохлов, В.В.Лидский, О.Д.Коновал, С.А.Амброзевич, Д.Н.Васильев

1. Определены зависимости спектров и кинетики фотолюминесценции коллоидных растворов полупроводниковых нанокристаллов CdTe/CdSe в виде тетраподов в толуоле от толщины оболочки CdSe. Увеличение длины волны максимума люминесценции нанокристаллов с ростом оболочки связано с увеличением радиуса локализации экситона в нанокристалле. В случае однокомпонентного тетрапода CdTe влияния формы на структуру зон нет. Единственное, в чем может проявиться влияние формы – это более длительный в среднем процесс рекомбинации электрон-дырочной пары в силу дополнительных по сравнению со сферическими нанокристаллами ограничений в степенях свободы.

2. Показано, что увеличение времен высвечивания с толщиной CdSe связано с пространственным разделением электрона и дырки гетеропереходом CdTe/CdSe и уменьшением их интеграла перекрытия.



Интерполяция кинетической кривой фотолюминесценции тетраподов CdTe/CdSe), полученной в рамках предложенной модели.



Зависимость скорости w перехода электрона через потенциальный барьер в центре тетрапода CdTe, а также скорости рекомбинации γ , от толщины оболочки CdSe.

3. Неэкспоненциальность кинетики люминесценции связана с геометрией нанокристалла и образованием в ней четырех слабо связанных потенциальных ям для электрона. Вероятности туннелирования электрона через потенциальный барьер в точке ветвления тетрапода, а также электрон-дырочной рекомбинации определяют время высвечивания.

4. Проведено исследование явления мерцания (“blinking”) флуоресценции одиночных нанотетраподов CdTe/CdSe и сферических нанокристаллов CdSe/CdS при непрерывном лазерном возбуждении. Было установлено, что оба типа квантовых точек подчиняются одному закону распределения on- и off-интервалов – обратному степенному. Этот результат, ранее известный для КТ CdSe/CdS, не является тривиальным для нанотетраподов CdTe/CdSe, если учесть существенную разницу в форме объектов.

5. Обнаружено наличие корреляций между длинами последовательных on-интервалов и последовательных off-интервалов, что означает, что процесс мерцания не является абсолютно случайным, но обладает так называемой остаточной памятью. Стоит подчеркнуть, что и этот результат получен для обоих типов объектов не смотря на различия в форме.

6. Получены экспериментальные данные о сферичности формы двухкомпонентных наночастиц Au/TC, Ag/TC, Cu/TC со средним размером 8 нм и установлено влияние этих параметров на их спектры поглощения.

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. A.G. Vitukhnovsky, A.S. Shul’ga, S.A. Ambrozevich, E.M. Khokhlov, R.B. Vasiliev, D.N. Dirin, V.I. Yudson. Effect of branching of tetrapod-shaped CdTe/CdSe nanocrystal heterostructures on their luminescence. *Phys. Lett. A* 373 2287 (2009)
2. С.А.Амброзевич, Электрические и люминесцентные свойства полупроводниковых нанокристаллов на основе халькогенидов кадмия, Автореферат на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, Защита в ФИАНе, 09.11.2009г.
3. М.Ковалев, В.В.Лидский, А.Г.Витухновский, Р.Б.Васильев, Д.Н.Дирин, Э.М.Хохлов, Корреляции «мерцающей» люминесценции полупроводниковых квантовых точек сферической и тетраподной формы, *Laser Physics*, in press, 2009
4. В.С. Лебедев, А.С. Медведев, Д.Н. Васильев, Д.А. Чубич, А.Г. Витухновский, Оптические свойства композитных наночастиц благородных металлов, покрытых мономолекулярным слоем J-агрегата органического красителя, *Квантовая электроника*, 2009, в печати.
5. О.Д.Коновал, Исследование структуры зон в полупроводниковых квантовых точках на базе спектров и кинетики люминесценции в оптическом диапазоне. Диплом на соискание степени бакалавра, МФТИ, 2009

10.3 . Исследование оптических свойств наночастиц сложной формы и структуры

Руководитель проекта:

Климов Василий Васильевич

Отделение Квантовой Радиофизики

им. Н.Г.Басова Физического Института

им.П.Н. Лебедева РАН,

Москва, 119991, Ленинский проспект, 53

тел. (499) 132-67-14; факс: (495) 938 22 51

E-mail: vklim@sci.lebedev.ru

Участники проекта: Зуев В.С., Позднеев С.А., Проценко И.Е., Глазов О.А.,
Гузатов Д.В., Пихота М.Ю., Забков И.В.

1. Проведено численное исследование влияния слоя золотых наночастиц на поверхности кремния на поглощение света в тонких (~ 100 нм) пленках кремния.
 2. Разработано описание оптических свойств линейных и планарных кластеров сферических металлических наночастиц. Обнаружено явление плазмонных фазовых переходов (качественное изменение оптических спектров) при изменении расстоянии между частицами кластера.
 3. Разработано аналитическое и численное описание плазмонных резонансов в наночастицах в форме трехосного эллипсоида и их влияния на излучение элементарных квантовых систем (атомы, молекулы и нанокристаллические квантовые точки).
 4. Разработана теория и предложены применения очень медленных плазмонов на границе металл- диэлектрик и в металлических пленках.
 5. Разработано программное обеспечение, позволяющее определять структуру и свойства плазмонных резонансов в металлических наночастицах произвольной формы.
- Защищены дипломные работы бакалавров:
Оптические свойства решеток плазмонных нанчастиц (И.В.Забков, МФТИ)

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. В.В.Климов, Наноплазмоника, Российские нанотехнологии, 4(2009)14-15
2. В.В.Климов, Наноплазмоника, Физматлит, 2009 (монография)
3. D.V. Guzatov V.V. Klimov and M.Yu. Pikhota, Plasmonic oscillations in ellipsoid nanoparticles: beyond dipole approximation, Laser Physics, 19 (2009) №12.
4. V. Klimov, Novel approach to a perfect lens, JETP Letters, 89(5), (2009) 270-273
5. V. Klimov, A. Lambrecht, van der Waals forces between plasmonic nanoparticles, Plasmonics, 4, (2009), 31.
6. S. Egerev, S. Ermilov, O. Ovchinnikov, A. Fokin, D. Guzatov, V. Klimov, A. Kanavin, and A. Oraevsky, Acoustic signals generated by laser-irradiated metal nanoparticles, Appl. Opt. 48, (2009) 38-45
7. V. Klimov, D.Bloch, M. Ducloy, and J. R. Rios Leite, Detecting photons in the dark region of Laguerre-Gauss beams, Optics Express, 17, (2009) 9718-9723
8. В. С. Зуев, Г. Я. Зуева, Об импульсе фотона в поверхностном плазмоне, Оптика и спектроскопия, 106 (2009) 285-288

10.4. Особенности оптических свойств углеродных нанокластерных материалов

Руководитель проекта:

Мельник Николай Николаевич

Физический Институт им. П.Н.Лебедева РАН,

119991 Москва, Ленинский пр. 53.

тел. (499) 1326655; тел. (499) 1357880

E-mail: тел. melnik@sci.lebedev.ru

Участники проекта: Т.М. Бурбаев, Ф.А. Пудонин, В.А. Караванский, Т.Н. Заварицкая, М.М. Рзаев, О.С. Пляшечник

1. Используя разработанный метод создания многослойных планарных систем с взаимодействующими углеродными наночастицами, изготовлены серии образцов в которых углеродные наночастицы содержат преимущественно или алмазоподобные, или графитоподобные связи между атомами.

2. Исследованы различные разупорядоченные углеродные образцы. Предложена новая классификация таких образцов по спектрам КРС. Оказалось, что в первом приближении все разупорядоченные углеродные образцы можно разделить на три группы.

- К первой относятся образцы у которых спектры КРС содержат две индивидуальные полосы (D и G) и меняется только распределение их интенсивностей. Сюда относятся пирографиты, многостенные нанотрубки и др.

- Спектры КРС второй группы образцов всегда содержат D и G полосы в которых изменяется полуширина, вплоть до слияния в один неразрешенный контур. Такие спектры наблюдаются в облученных графитах, металл-углеродных композитах, углеродных волокнах и др.

- Для образцов третьей группы в спектре КРС присутствует одна асимметричная полоса. Это полимеризованный фуллерен, алмазоподобные пленки, углеродные пленки полученные магнетронным напылением и др.

Такой подход позволяет сравнивать различные по технологии создания углеродные образцы содержащие одинаковые наноструктурные образования.

3. Продолжены исследования оптических свойства систем включающих наноалмазы (5÷500нм) и биологические молекулы. Ранее обнаружен эффект изменения люминесценции наноалмаза в присутствии лизоцима. Оказалось, что аналогичный эффект (еще более сильный) наблюдается и в присутствии молекул гемоглобина.

4. Продолжено изучение модельных наноструктур на основе полупроводников типа A_2B_6 . Ранее было обнаружено с спектре вторичного излучения нанопроволок перераспределение интенсивности LO-фононных повторений обусловленное изменением края зоны из-за размерного квантования в нанопроволоке. Обычно предполагалось, что при LO-фононных повторениях частоты максимумов пиков кратны частоте LO-фонона. Нами было обнаружено, что значения частоты пика «nLO-фонона» отличается относительно величины $n \times$ (частота 1LO). Этот эффект максимален, когда частоты пика «nLO-фонона» попадает в область частот краевой люминесценции. По-видимому, это связано с наличием свободных носителей. Данный эффект будет изучаться в дальнейшем для других образцов.

5. Исследованы модельные структуры на основе многослойных систем магнитных nanoостровов и проведены исследования их магнитных и транспортных свойств, а также изучены магнитооптические свойства предлагаемых систем с использованием магнитооптического экваториального эффекта Керра. Оказалось, что

магнитные свойства таких структур сильно отличаются для одиночного слоя магнитных наностростров и для образца содержащего многослойную систему магнитных наностростров. Так же обнаружены отличия для магнитных наностростров имеющих различное ближайшее окружение. Предполагается использовать данную методику для получения дополнительных данных (кроме оптических) при исследовании углеродных наноструктур.

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. Н.Н. Мельник, “Комбинационное рассеяние в неоднородных углеродных структурах”, Труды Международной конференции «Комбинационное рассеяние – 80 лет исследований», 8-10 ноября 2008, ФИАН, Москва, (в печати).
2. Мельник Н.Н., Виноградов В.С., Кучеренко И.В., Карчевски Г., Пляшечник О.С., «Каскадные процессы при неупругом рассеянии света в структурах с нанопроволоками ZnSe», ФТТ, 2009, т. 51, в. 4, с. 787-790.
3. N. N. Melnik, V. S. Vinogradov, I. V. Kucherenko, G. Karczewski and O. S. Plyashechnik, “Optical studies of A_2B_6 semiconductor nanowires.”, XIX International School-Seminar "Spectroscopy of Molecules and Crystals" (XIX ISSSMC) 20-27,09,2009, Beregove, Crimea, Ukraine. Abstracts, p. 143.
4. А.П.Болтаев, Ф.А.Пудонин, И.А.Шерстнев, «Магнитосопротивление многослойных систем магнитных наностростров», Сборник трудов XXI Международной конференции «Новое в магнетизме и магнитных материалах», 28.06-04.07.2009, Москва, стр. 795-796.
5. А.П. Boltaev, F.A. Pudonin, I.A. Sherstnev, “Some features of magnetoresistance of multilayered systems of magnetic nanoislands”, International Conference “Functional Materials” (ICFM-2009), Partenit, Crimea, Ukraine. Abstracts, p. 81.

10.6: Оптические линейные и активные свойства нанокристаллических мезоструктурированных допированных фотонных световодов из галогенидов металлов.

Руководитель проекта:

Бутвина Леонид Николаевич

Научный центр волоконной оптики РАН

(ИЦВО РАН)

119991 г. Москва, Вавилова 38,

тел. 8-499-503-83-04; факс: 499-135-81-39

E-mail: butvina@fo.gpi.ru

Участники проекта: Охримчук А.Г.(ИЦВО), Личкова Н.В.(ИПТМ),
Загороднев В.Н. (ИПТМ), Серeda О. В. (ИЦВО), 2 студента

1. Впервые в мире получены мезоструктурированные кристаллические световоды с различным уровнями нано и мезоструктурирования из комплексной круглой заготовки с квадратными вставками толщинами 750 мкм, расположенными в квадратном порядке 5×5 , позволяющие создавать новые фотоннокристаллические световоды с управляемым поперечным профилем показателя преломления с нанометровой пространственной точностью путем многократной экструзии. [1,3]

2. Впервые в мире продемонстрировано, что сильно сфокусированное фемтосекундное лазерное излучение модифицирует (уменьшает) показатель преломления кристаллов двойных галогенидов $\text{RbPb}_2\text{Cl}_5 : \text{Dy}^{3+}$, с 10 нм пространственной точностью на величину 0,002. Это позволило впервые в мире создать (записать) волноводы в объеме лазерных кристаллов галогенидов металлов, одномодовые на длине волны лазерной генерации 5,5 мкм. [2]

3. Впервые в мире продемонстрирована возможность совместной экструзии составных заготовок из кристаллов галогенидов металлов с различными оптическими линейными и нелинейными, механическими и температурными свойствами (галогениды щелочных металлов, галогениды серебра, галогениды меди, фторид лития, нанопорошки) с целью получения новых мезоструктурированных кристаллических световодов с уникальными линейными и нелинейными характеристиками. Впервые получен одномодовый ступенчатый световод галогенидов серебра с двумя вставками из наноструктурированных NaCl и наноалмазов. Фото торца комплексного наноструктурированного кристаллического световода общим диаметром 500 мкм представлено на Рис.1. [4,5]

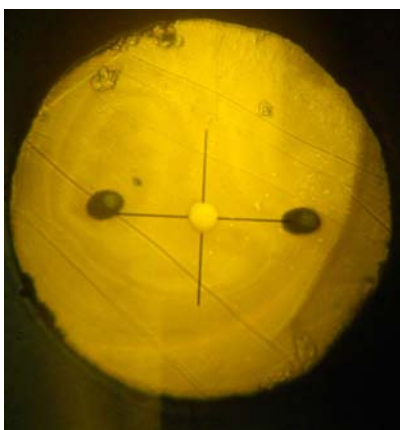


Рис 1.

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. Leonid N. Butvina, Olesya V. Sereda, Alexey L. Butvina, Eugeny M. Dianov, Ninel V. Lichkova, Vladimir N. Zagorodnev, Singlemode leakage channel fiber for the middle infrared, SPIE Europe: Optics and Optoelectronics 2009, Prague, Czech Republic, 20-24 April 2009, Volume 7357: Photonic Crystal Fibers III, 73570G1-7
2. A.G. Okhrimchuk, N.V. Lichkova, V.N. Zagorodnev, Invited, The waveguide architecture of Mid-IR lasers based on rare-earth doped crystals, Tu11, 3rd International Conference on Middle Infrared Coherent Sources, Trouville, France, 8-12 June 2009 (MICS'2009)
3. L.N. Butvina, O.V. Sereda, A.L. Butvina, E.M. Dianov, N.V. Lichkova, V.N. Zagorodnev, Invited, Singlemode low loss crystalline fibers for middle infrared, Tu10, 3rd International Conference on Middle Infrared Coherent Sources, Trouville, France, 8-12 June 2009 (MICS'2009)
4. Бутвина Л.Н., Серeda О.В., Бутвина А.Л., Дианов Е.М., Личкова Н.В., Загороднев В.Н. Микроструктурированные кристаллические одномодовые световоды для среднего ИК диапазона, доклад на 2 Всероссийской конференции по волоконной оптике, 8-9 октября, Пермь, С-52
5. Бутвина Л.Н., Серeda О.В., Бутвина А.Л., Дианов Е.М., Личкова Н.В., Загороднев В.Н. Одномодовый микроструктурированный световод для среднего ИК диапазона с большой площадью поля моды, Квантовая Электроника, 2009, Том 39, № 3, с. 283-286.

10.7. Исследование структуры электрических полей в нанопористых материалах.

Руководитель проекта:

Волков Александр Александрович
Институт общей физики им. А.М.Прохорова
РАН, 119991, Москва, ул. Вавилова, 38,
тел. (499) 135-23-68, моб. 8-910-460-8741,
E-mail: aavolkov@ran.gpi.ru

Участники проекта: В. К. Конюхов, В.И. Тихонов, П.О. Капралов, В.Г. Артемов,
А.А. Лескин

1. Методом спектрально-селективного детектирования орто и пара молекул воды при пропускании водяного пара через гранулированную нанопористую среду зарегистрировано отклонение орто-пара отношения от нормального значения 3:1. Эффект интерпретирован в терминах модели нестационарной динамической сорбции. Найдено, что фактором спиновой орт-пара селективности является паразитный для идеальной хроматографии процесс диффузии водных молекул внутрь гранул [1].
2. Методом диодно-лазерной спектроскопии исследован процесс натекания водяного пара в гранулированную нанопористую среду. Обнаружена ступенчатость временного изменения коэффициента диффузии, связанная, предположительно, с фрактальностью пространства нанопористой матрицы. Методика H₂O-молекулярного зондирования предлагается инструментом для экспериментального изучения строения нанопористых сред и протекающих в них процессов [2].
3. Методом диодно-лазерной спектроскопии измерены выходные концентрационные кривые водяного пара, пропущенного порциями через слой адсорбента MN-200, по задержке и форме сильно зависящие от параметров вводимых порций. Предложена модель, описывающая экспериментальные данные и вскрывающая важную роль инерционности межфазного массообмена в процессе распространения водяного пара в нанопористой среде [3].
4. В водяном паре, диффундирующем через слой гранулированного нанопористого адсорбента в вакуум, обнаружены молекулы воды, преодолевающие адсорбционную колонку без заметной временной задержки, в виде импульсов-прекурсоров основного фронта. Эффект связывается с инерционностью процесса диффузии молекул воды внутрь гранул адсорбента и зависимостью адсорбционной способности молекул от их вращательных состояний через Штарк-эффект в приповерхностном электрическом поле адсорбента [4].

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. П. О. Капралов, В. Г. Артёмов, А. М. Макуреньков., В. И. Тихонов, А. А. Волков. Нарушение нормального 3:1 орто-пара отношения при динамической сорбции, Журнал физической химии 2009, Т. 83, N4, С. 1-7.
2. В. Г. Артёмов, П. О. Капралов, В. И. Тихонов, А. А. Волков. Каскадная диффузия молекул воды в пористо-гарнированной среде. Краткие сообщения по физике ФИАН 2009, №7, С. 36-41.
3. В. Г. Артёмов, П. О. Капралов, В. И. Тихонов, А. А. Волков. Спектроскопия выходных кривых водяного пара прошедшего через адсорбент. Известия РАН 2009, серия физическая, №12, в печати.
4. В.Г. Артемов, А.А. Лескин, П.О., Капралов, В.И. Тихонов, А.А. Волков. Прекурсорный эффект при диффузии водяного пара в пористой среде. Письма в ЖЭТФ 2009, принята к печати.

10.8. Аномальный магнетизм нанотрубок и наноматериалов на основе оксида ванадия.

Руководитель проекта:

Демишев Сергей Васильевич

Институт общей физики им.

АМ. Прохорова РАН,

119991 Москва, ГСП-1, ул. Вавилова, 38,

тел. (499) 135-8129; факс: (499) 135-8129

E-mail: demis@lt.gpi.ru

Участники проекта: А.В.Семено, В.В.Глушков, А.В.Богач, Т.В.Ищенко, Н.А.Самарин, Е.А.Гудилин, А.В.Григорьева, А.Л.Чернобровкин.

1. Методом высокочастотного (60 ГГц) электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) выполнено исследование магнитных свойств различных наноматериалов на основе оксида ванадия: наностержней, неупорядоченных VO_x плоскостей (предшественников нанотрубок) и многостеночных нанотрубок [1-12].

2. Обнаружено новое, не известное ранее явление ФМ-АФМ кроссовера в магнитных свойствах наностержней и нанотрубок, заключающееся в смене ферромагнитного (ФМ) поведения магнитной восприимчивости на антиферромагнитное (АФМ) при понижении температуры. Установлено, что ФМ-АФМ кроссовер происходит при $T \sim 100$ К и сопровождается увеличением константы Кюри в антиферромагнитной области в 2.7 раза и 6.9 раза в случае наностержней и нанотрубок соответственно, причем изменения амплитуды элементарного магнитного диполя (магнитного момента иона V^{4+}) при этом не происходит [8,11].

3. Для нанотрубок на основе оксида ванадия определены концентрации различных спиновых фрагментов. Найдено, что 78% ионов ванадия находятся в состоянии V^{4+} (магнитный ион со спином $S=1/2$), а 22% ионов ванадия находятся в состоянии V^{5+} (немагнитный ион со спином $S=0$). Показано, что магнитная подсистема ионов ванадия в нанотрубках образована преимущественно антиферромагнитными димерами, концентрация которых составляет 99% при $T > 100$ К и 95% при $T < 100$ К от полного числа спинов V^{4+} . Таким образом, АФМ димеры могут рассматриваться в качестве основного структурного элемента VO_x плоскостей в нанотрубках. Поскольку из данных ЭПР следует, что образование димеров не характерно для разупорядоченных VO_x плоскостей (предшественников нанотрубок), можно предположить, что образование димеров в нанотрубках обусловлено релаксацией напряжений в VO_x плоскости при ее сворачивании [1,2,4,5,7,10].

4. Микроволновыми методами впервые исследована динамическая проводимость нанотрубок оксида ванадия на частоте 60 ГГц. Найдено, что температурная зависимость проводимости может быть описана суммой двух вкладов: квазиметаллического и активационного с энергией активации ~ 150 К [3,6,9,12].

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. S.V. Demishev, A.L. Chernobrovkin, V.V. Glushkov, E.A. Goodilin, A.V. Grigorieva, T.V. Ishchenko, A.V. Kuznetsov, N.E. Sluchanko, Yu.D. Tretyakov, and A.V. Semeno. Anomalous magnetic properties of VO_x multiwall nanotubes. Journal of Physics: Conference Series, accepted for publication.

2. S.V. Demishev, A.L. Chernobrovkin, V.V. Glushkov, E.A. Goodilin, A.V. Grigorieva, T.V. Ishchenko, A.V. Kuznetsov, N.E. Sluchanko, Yu.D. Tretyakov, and A.V. Semeno. Anomalous magnetism and quantum critical phenomena in VO_x multiwall nanotubes. Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures, accepted for publication.
3. A.L. Chernobrovkin, S.V. Demishev, A.V. Grigorieva, E.A. Goodilin and A.V. Semeno. Transport properties of VO_x multiwall nanotubes. Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures, accepted for publication.
4. S.V. Demishev, A.L. Chernobrovkin, V.V. Glushkov, E.A. Goodilin, A.V. Grigorieva, A.V. Kuznetsov, N.E. Sluchanko, Yu.D. Tretyakov, A.V. Semeno. Disorder driven quantum critical behavior in VO_x multiwall nanotubes. Abstracts of the International Conference on Magnetism (ICM 2009), July 26-31, 2009, Karlsruhe, Germany, p. 287
5. S.V. Demishev, A.L. Chernobrovkin, V.V. Glushkov, E.A. Goodilin, A.V. Grigorieva, T.V. Ishchenko, A.V. Kuznetsov, N.E. Sluchanko, Yu.D. Tretyakov, and A.V. Semeno. Anomalous magnetism and quantum critical phenomena in VO_x multiwall nanotubes. Abstracts of 9-th Biennial International Workshop "Fullerenes and Atomic Clusters", July 6-10, 2009, St. Petersburg, Russia, p. 17.
6. A.L. Chernobrovkin, S.V. Demishev, V.V. Glushkov, E.A. Goodilin, A.V. Grigorieva, T.V. Ishchenko, N.E. Sluchanko, Yu.D. Tretyakov, A.V. Semeno. Transport properties of VO_x multiwall nanotubes. Abstracts of 9-th Biennial International Workshop "Fullerenes and Atomic Clusters", July 6-10, 2009, St. Petersburg, Russia, p. 98
7. С.В. Демишев, А.Л. Чернобровкин, В.В. Глушков, Н.А. Самарин, Н.Е. Случанко, А.В. Семенов, А.В. Григорьева, Е.А. Гудилин, Ю.Д. Третьяков, А.В. Кузнецов. Магнитные свойства VO_x многостеночных нанотрубок. Тезисы докладов конференции «Сильно коррелированные электронные системы и квантовые критические явления», 18 июня 2009 г., г. Троицк Московской области, с. 19-20.
8. А.Л. Чернобровкин, С.В. Демишев, А.В. Семенов, А.В. Григорьева, Е.А. Гудилин. Электронный спиновый резонанс в наностержнях оксида ванадия. Тезисы докладов конференции «Сильно коррелированные электронные системы и квантовые критические явления», 18 июня 2009 г., г. Троицк Московской области, с. 20-21.
9. А.Л. Чернобровкин, С.В. Демишев, А.В. Семенов, А.В. Григорьева, Е.А. Гудилин. Высокочастотная проводимость VO_x нанотрубок. Тезисы докладов конференции «Сильно коррелированные электронные системы и квантовые критические явления», 18 июня 2009 г., г. Троицк Московской области, с. 21-22.
10. С.В. Демишев, А.Л. Чернобровкин, В.В. Глушков, Н.А. Самарин, Н.Е. Случанко, А.В. Семенов, А.В. Григорьева, Е.А. Гудилин, Ю.Д. Третьяков, А.В. Кузнецов. Квантовые критические явления и димеризация в VO_x многостеночных нанотрубках. Тезисы докладов XXXV Сессии по физике низких температур (НТ-35), 29 сентября-2 октября 2009 г., Черноголовка, с. 94-95.
11. А.Л. Чернобровкин, А.В. Семенов, С.В. Демишев, А.В. Григорьева, Е.А. Гудилин. Высокочастотный электронный спиновый резонанс и магнитный фазовый переход в наностержнях оксида ванадия. Тезисы докладов XXXV Сессии по физике низких температур (НТ-35), 29 сентября-2 октября 2009 г., Черноголовка, с. 176-177.
12. А.Л. Чернобровкин, А.В. Семенов, С.В. Демишев, А.В. Григорьева, Е.А. Гудилин. Динамическая проводимость нанотрубок оксида ванадия. Тезисы докладов XXXV Сессии по физике низких температур (НТ-35), 29 сентября-2 октября 2009 г., Черноголовка, с. 2467.

10.9. Композитные среды на основе одностенных углеродных нанотрубок с варьируемыми оптическими параметрами для лазерных применений.

Руководитель проекта:

Образцова Елена Дмитриевна

Институт общей физики

им. А.М. Прохорова, РАН

119991 Москва, ул. Вавилова, 38

тел.: (499) 503- 8206

факс: (499) 135-3002

e-mail: elobr@kapella.gpi.ru

Участники проекта: А.И.Чернов, А.В. Осадчий, С.Н. Бокова, П.А. Образцов,
А.С. Пожаров, Н.Р. Арутюнян, В.И. Клещ, В.В. Гребенюков.

1. Разработана методика разделения дуговых одностенных углеродных нанотрубок на фракции с узким (менее 0.1 нм) распределением диаметров [1]. Частным случаем такого разделения явилось получение фракций полупроводниковых и металлических нанотрубок (с чистотой более 95%). Исследованы линейно- и нелинейно-оптические свойства полученных фракций.
2. Исследованы возможности включения одностенных углеродных нанотрубок в различные полимерные матрицы: карбоксиметилцеллюлоза, PVA, тетразин, плуроник. [2]. Методами “Z-скан” и “pump-probe” экспериментально оценена величина оптической нелинейности 3-го порядка таких композитных материалов ($|\text{Im } \chi^{(3)}| \sim 1.9 \times 10^{-10}$ ед. СГС) [3].
3. С использованием полимерных пленок с одностенными углеродными нанотрубками реализован режим самосинхронизации мод в твердотельном YAG:Nd лазере с диодной накачкой [4] и создан фемтосекундный рефлектометр [5].

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. A. I. Chernov and E.D. Obraztsova “Metallic single-wall carbon nanotubes separated by density gradient ultracentrifugation”, Phys. Status Solidi B, 1–5 (2009) / DOI 10.1002/pssb.200982289.
2. H. Hayden, Y.K. Gun'ko, T. Perova, S. Grudinkin, A. Moore, E.D. Obraztsova, “Investigation of tetrazine functionalised single walled carbon nanotubes”, *Plastics Rubber and Composites* 38(N6) (2009) 253-256.
3. Д.В. Худяков, А.С. Лобач, Е.Д. Образцова, В.А. Надточенко “Нелинейно-оптическое поглощение пленок нанокompозитов из полимеров и одностенных углеродных нанотрубок: влияние типа нанотрубок и полимерной матрицы”, *Химия высоких энергий* 43 (N4) (2009) 364-370.
4. A. Obraztsov, S. V. Garnov, E. D. Obraztsova, A. A. Sirotkin, D. A. Lyashenko, and Yu. P. Svirko “Passive Mode-Locking of Diode-Pumped YAG:Nd Solid State Laser Operated at $\lambda = 1.32 \mu\text{m}$ Using Carbon Nanotubes as Saturable Absorber”, *J. Nanoelectron. Optoelectron.* 4(2) (2009) 227–231.
5. V.M. Gordienko, A.S. Khomenko, V.I. Konov, A.S. Lobach and E.D. Obraztsova “Femtosecond reflectometer with saturable absorber based on single-walled carbon nanotubes”, *Laser Physics Letters* 6 (N2) (2009) 145-148.

10.10. Квантовые точки Cs/InAs/GaAs, аккумуляционные слои и самоорганизованные наноструктуры на поверхности нитридов III группы.

Руководитель проекта:

Бенеманская Галина Вадимовна

ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН

194021 Санкт-Петербург

ул. Политехническая, 26.

тел. (812) 29-27317; факс: (812) 29-71017

E-mail: Galina.Benemanskaya@mail.ioffe.ru

Участники проекта: В.С. Вихнин, Г.Э. Франк-Каменецкая, М.Н. Лапушкин,
С.Н. Тимошнев, А.М. Мизеров

1. Впервые в мировой практике проведены комплексные исследования формирования аккумуляционных нанослоев (2D вырожденного электронного газа в зоне проводимости) на одних и тех же образцах n-GaN(0001) (легирован Co), n-InGaN(0001), n-GaN(0001) с использованием двух различных фотоэмиссионных методик – УФЭС (нормальная эмиссия, энергии возбуждения 40эВ – 240 эВ) на синхротроне BESSY II, Германия, и пороговой фотоэмиссионной спектроскопии при возбуждении s- и p- поляризованным светом, ФТИ им. А.Ф.Иоффе [1-4].

2. Перед фотоэмиссионными исследованиями образцы подвергались химической очистке и характеристике с помощью АСМ, ТЕМ, электронная микроскопия.

3. В результате адсорбции Cs и Ba созданы, впервые зафиксированы и исследованы УФЭС (BESSY II) in situ $P \sim 10^{-10}$ Па аккумуляционные нанослои (АС) на поверхности n-GaN(0001) (легирован Co), n-InGaN(0001), n-GaN(0001). Установлены режимы возбуждения для наблюдения АС (пространственная ширина 10÷20 нм от поверхности), получены условия для направленной модификации и управления квантово-размерными и электронными свойствами [1-4].

4. Изучены квантово-размерные эффекты в аккумуляционных слоях при различной глубине потенциальной ямы (различные субмонослойные покрытия Cs и Ba), установлено энергетическое положение первого уровня размерного квантования в потенциальной яме АС. Определена относительная 2D плотность состояний в АС при различной глубине потенциальной ямы и для различных образцов n-AlGaIn и n-GaN. Экспериментально определено, что наибольшая 2D плотность состояний может быть достигнута в АС на поверхности n-AlGaIn [3].

5. Продолжены исследования фотоэмиссионных и электронных свойств плотной системы квантовых точек InAs на поверхности GaAs in situ в сверхвысоком вакууме $P \sim 5 \times 10^{-11}$ Торр. Квантовые точки InAs декорировались в вакууме адатомами Cs при различной концентрации в режиме субмонослойных покрытий. Установлена квази-металлическая природа квантовых точек InAs, обусловленная положением уровня размерного квантования ниже E_F . [6].

6. Обнаружена широкая селективная полоса фотоэмиссии из квантовых точек InAs в пороговой области возбуждения, а также дополнительный высокоэнергетический канал фотоэмиссии, который характеризуется аномально высоким квантовым выходом и малой спектральной шириной. Оформляется патент на изобретение.

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. G.V. Benemanskaya, M.N. Lapushkin, S.N. Timoshnev // Surface states and accumulation nanolayer induced by Ba and Cs adsorption on the n-GaN(0001) surface // Surf. Sci. 603 (2009) 2474-2478 .
2. Г.В. Бенеманская, С.Н. Тимошнев, Г.Э. Франк-Каменецкая // Аккумуляционный нанослой и поверхностные состояния ультратонких интерфейсов Cs, Ba/n-GaN // Известрия РАН, серия физическая 73, N5 (2009) 710-712.
3. G.V. Benemanskaya, M.N. Lapushkin, S.N. Timoshnev, V.S. Vikhnin // Creation of the accumulation layer on the n-GaN(0001) and n-AlGaN(0001) surfaces under Cs and Ba adsorption // Отчет о работе на синхротроне BESSY II, Германия по исследованию спектров УФЭС и поиску аккумуляционных слоев в указанных ультратонких интерфейсах, 2009г.
4. Г.В. Бенеманская, В.Н. Жмерик, М.Н. Лапушкин, С.Н. Тимошнев // Аккумуляционный нанослой-2D электронный канал ультратонких интерфейсов Cs/n-InGaN(0001) // ФТТ 51 (2009) 372-377.
5. Г.В. Бенеманская, С.В. Иванов, М.Н. Лапушкин, С.Н. Тимошнев, Н.М. Шмидт // Создание аккумуляционных нанослоев на поверхности n-GaN(0001) и n-InGaN(0001) // Устный доклад, Тезисы докладов, XIII Международный симпозиум “ Нанофизика и наноэлектроника “ , Нижний Новгород 2009, стр. 125-126.
6. Г.В. Бенеманская, М.Н. Лапушкин, В.П. Евтихийев // Квантовые точки InAs/GaAs, декорированные атомами Cs // Труды 4-ой Всероссийской конференции “ Химия поверхности и нанотехнология “, Хилово 2009, стр 253-254.

10.11. Наноразмерные кристаллические пленки нитридов A^3N на поверхности полупроводников A^3B^5 .

Руководитель проекта:

Берковиц Владимир Леонидович

Физико-технический институт

им. А.Ф. Иоффе РАН

тел. (812) 292731; факс: (812) 291017,

E-mail: vladimir.berkovits@mail.ioffe.ru

Участники проекта: И.В. Макаренко, Т.В. Львова, В.П. Улин, А.Б. Гордеева, А.Г. Колосько.

1. Исследованы состав и структура хемосорбционных слоев формирующихся на полярных поверхностях GaAs(111)A и B в результате обработки в гидразин-сульфидных растворах. Ранее было показано, что в результате такой обработки на поверхности GaAs(100) формируется монослой нитрида GaN. Методом синхротронной фотоэмиссии установлено, что при обработке на поверхности GaAs(111)B происходит замещение атомов мышьяка поверхности на атомы азота, в результате чего формируется поверхностный монослой нитрида галлия. Это указывают на идентичность процессов, развивающихся в гидразин-сульфидных растворах на поверхностях GaAs(111)B и GaAs(100) и приводящих к формированию на них нитридных пленок.

Установлено, что химическая обработка поверхности (111)A гидразин-сульфидным раствором приводит к формированию на ней тонкого покрытия из атомами серы, связанных с атомами галлия, исходно терминирующей поверхность (111)A. Показано, что обнаруженное фундаментальное различие в составе покрытий объясняется различной конфигурацией адсорбционных центров, формирующихся на полярных поверхностях A и B в гидразин-сульфидных растворах [1,2].

2. Методом СТМ в сверхвысоком вакууме выполнены исследования рельефа нитридизованных поверхностей GaAs с ориентацией (100), (111)A и B. Установлено, для объемных образцов GaAs, рельеф нитридизованной поверхности образован вихричными холмиками, конфигурация которых отражает симметрию поверхности кристалла и характеризуется величиной средней квадратичной шероховатости на уровне ~1 нм. Формирование такого рельефа объясняется микротравлением поверхностей GaAs в щелочном нитридирующем растворе на начальной стадии процесса нитридации [1,2].

3. Показано, что поверхность кристаллов GaSb(100) может быть нитридизована в гидразин-сульфидных растворах аналогично поверхности GaAs(100). С помощью электронной Оже-спектроскопии установлен элементный состав нитридизованных поверхностей GaSb(100), определены температуры десорбции остаточных примесей [1,2].

4. Исследовано влияние пассивации растворами сульфида натрия на химический состав и структуру поверхностей (100) узкозонных полупроводников GaSb и InAs. Установлено, что для обоих полупроводников имеет место формирование сульфидного покрытия из адатомов серы, занимающих мостиковое положение между атомами In или Ga (соответственно для InAs и GaSb). Данный процесс для GaSb сопровождается травлением поверхности кристалла [3].

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. В.Л. Берковиц, А.Б. Гордеева, Т.В. Львова, В.П. Улин, “Химическая нитридизация поверхностей GaAs в гидразин-сульфидных растворах”, Четвертая Всероссийская конференция “Химия поверхности и нанотехнология”. Санкт - Петербург – Хилово, 28 сентября-04 октября 2009, Тезисы докладов, стр. 89.
2. V.L. Berkovits, V. P. Ulin, O. E. Tereshchenko, D. Paget, A. C. H. Rowe, P. Chiaradia, B. P. Doyle and S. Nannarone, “ GaAs(111)A and B in hydrazine sulfide solutions : extreme polarity dependence of surface adsorption processes”. Submitted to Phys. Rev.B and cond-mat 20784 (2009)
3. Т.В. Львова, В.Л. Берковиц, М.С. Дунаевский, Е.В. Куницына, М.П. Михайлова, ”Химическая сульфидная пассивация поверхности узкозонных полупроводников A^3B^5 ”. Четвертая Всероссийская конференция “Химия поверхности и нанотехнология”. Санкт - Петербург – Хилово, 28 сентября-04 октября 2009, Тезисы докладов, стр. 313.

10.12. Макроскопические наборы наночастиц и нанопроволок из металлов, диэлектриков и полупроводников.

Руководитель проекта:

Кумзеров Юрий Александрович

Физико-технический институт

им. А.Ф. Иоффе РАН

194021 С.-Петербург, ул. Политехническая, 26

тел. 812-5156660; факс 812-5156747

E-mail: Yu.Kumzerov@mail.ioffe.ru

Участники проекта: А.В. Фокин, А.А. Сысоева, В.Н. Семкин, С.Б. Вахрушев, М.А. Брюшинин, Д.А. Курдюков, И.А. Соколов, А.А. Набережнов, Т.П. Морозова, Е.Ю. Королева.

1. С помощью непосредственной полимеризации мономеров пиррола в системе наноканалов природного минерала хризотилового асбеста, представляющего собой макроскопические наборы нанотрубок с внутренними диаметрами 5 нм, получены системы нанопроволок проводящего полимера полипиррола. Образцы содержали до 10^{10} параллельных, изолированных нанопроволок полипиррола с диаметром 5 нм и длиной около 1 см. [1].

2. Исследована нестационарная фотоэдс таких объектов, возникающая в результате их освещения двумя когерентными интерферирующими пучками света. Отклик регистрировался в виде сигнала переменного тока, частотная зависимость которого позволила определить длину диффузии фотовозбужденных носителей тока в нанопроволоках полипиррола (0.18 мкм) [1].

3. В системе неупорядоченных нанопустот (с диаметром 7 нм) искусственного материала пористого стекла с помощью химического синтеза внутри пустот получены макроскопические наборы изолированных наночастиц GaN [2].

4. С помощью исследования нестационарной фотоэдс определена электропроводность таких объектов при комнатной температуре ($(1-3)10^{-10}$ ом $^{-1}$ см $^{-1}$) [2].

5. В пористые стекла, имеющие системы неупорядоченных нанопустот с различными диаметрами (3 нм, 7 нм, 20 нм), введен сегнетоэлектрический материал NaNO_2 и твердые растворя на его основе $(\text{NaNO}_2)_{1-x} - (\text{KNO}_2)_x$ (с $x=0.05$, $x=0.1$) [3].

6. С помощью дифракции нейтронов исследованы температурные зависимости параметра порядка наночастиц NaNO_2 в сегнетоэлектрической фазе и величины объема элементарной ячейки в наночастицах в сегнетоэлектрической фазе и парафазе. Установлено, что структура наночастиц соответствует структуре массивного NaNO_2 , однако, температурная зависимость параметра порядка в наночастицах существенно отличается от такой зависимости у массивного материала. Обнаружено также существенное увеличение объема элементарной ячейки наночастиц NaNO_2 при переходе из сегнетоэлектрической фазы в параэлектрическую [3].

7. Исследованы диэлектрические свойства наночастиц из твердых растворов $(\text{NaNO}_2)_{1-x} - (\text{KNO}_2)_x$ (с $x=0.05$, $x=0.1$). Обнаружено, что добавление KNO_2 приводит к существенному уменьшению диэлектрических потерь при переходе наночастиц из параэлектрического в сегнетоэлектрическое состояние [3].

8. Исследованы оптические свойства ансамблей сегнетоэлектрических наночастиц из NaNO_2 , полученных в пористом стекле с диаметрами пор 7 нм. Измерения отражения в инфракрасной области и спектров комбинационного рассеяния

позволили определить частотную зависимость диэлектрической проницаемости такого нанокompозитного материала [4].

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. M. Bryushinin, V. Golubev, Y. Kumzerov, D. Kurdyukov, I. Sokolov, Non-steady-state photo-EMF in nanostructured GaN and polypyrrol within porous matrices, Appl. Phys. B, 2009, v. 95, N3, pp. 489-495
2. M. Bryushinin, V. Golubev, Yu. Kumzerov, D. Kurdyukov, I. Sokolov, Non-steady-state photo-EMF in nanostructured GaN within porous glass matrix, Physica B, 2009, v. B404, pp. 1251-1254
3. A. Fokin, Yu. Kumzerov, E. Koroleva, A. Naberezhnov, O. Smirnov, M. Tovar, S. Vakhrushev, M. Glazman, Ferroelectric phase transitions in sodium nitrite nanocomposites, J. Electroceram., 2009, v. 22, N1-3, pp. 270-275
4. E. Yu. Koroleva, D. Nuznyy, J. Pokorny, S. Kamba, Yu. A. Kumzerov, S. B. Vakhrushev, J. Petzelt, The negative phonon confinement effect in nanoscopic sodium nitrite, Nanotechnology, 2009, v. 20, 395706 (7pp)

**10.13. Исследование электронных, оптических и магнитных свойств
наноуглеродных структур на основе нанодиамазов детонационного синтеза**

Руководитель проекта:

Вуль Александр Яковлевич

тел. (812) 292 71 07

факс: (812) 297 00 73

E-mail: Alexandervul@mail.ioffe.ru

Участники проекта: А. Е. Алексенский, А.Т.Дидейкин, В.Ю.Осипов, Е.Д.Эйдельман,
К.В.Рейх, С.В.Кидалов, Ф.М.Шахов

1. Предложена новая модель автоэлектронной эмиссии из наноуглеродных структур. Идея модели основана на образовании в эмиссионном центре полярона малого радиуса. Модель объясняет малую эффективную работу выхода электронов и высокую температуру катода, рассчитываемую из эмиссионных характеристик. Показано, что сосуществование фаз sp^2/sp^3 гибридного углерода в наноуглеродных структурах может приводить к большому значению параметра Мигдала, что, в свою очередь, позволяет предположить возможность создания высокотемпературного сверхпроводника на основе структуры с определенным соотношением параметров sp^2/sp^3 фаз [1].

2. Показано, что аномально низкую эффективную работу выхода (десятые и сотые доли эВ) из алмазоподобных пленок можно объяснить, если предположить, что на их поверхности вдоль тока вытягиваются графеновые «лестницы» - структуры, состоящие из одного или нескольких графеновых листов [2].

2. Впервые методами высокочастотного ЭПР обнаружены и идентифицированы центры азота в синтетических алмазных нанокристаллах с размером около 10 нм, полученных при высокотемпературном спекании при высоком давлении детонационных нанодиамазов [3].

3. Изучено изменение электронных и магнитных свойств квазисферических онионов и многослойных углеродных полиэдров, образуемых в ходе структурного фазового перехода при высокотемпературной термообработке (1600 °С) из нанодиамазов детонационного синтеза [4].

4. Проанализированы результаты исследований структуры и физико-химических свойств нанодиамазов детонационного синтеза (2004-2009 годов) и области их основных применений [5].

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. K.V. Reich and E.D. Eidelman. Effect of electron-phonon interaction on field emission from carbon nanostructures. EuroPhysLetters, 2009, v.85, p. 47007.
2. А.Ю.Бабенко, А.Т.Дидейкин, Е.Д.Эйдельман. Графеновая лестница» - модель центра полевой эмиссии на поверхности рыхлых наноуглеродных маэтриалов. ФТТ, 2009, т.51, в.2, с. 410-414.
3. П. Г. Баранов, И. В. Ильин, А. А. Солтамова, А. Я. Вуль, С.В. Кидалов, Ф.М. Шахов, Г.В.Мамин, С. Б. Орлинский, М.Х.Салахов. Обнаружение и идентификация азотных центров в нанодиамазах методами электронного парамагнитного резонанса. Письма в ЖЭТФ 2009, т.89. в.8, 473-477.
4. V.Yu. Osipov, A.I. Shames, T. Enoki, K. Takai, M. Endo, T. Hayashi, Y. Kaburagi, A.Ya. Vul'. Magnetic and EPR studies of edge-localized spin paramagnetism in multi-shell

nanographites derived from nanodiamonds. *Diamond and Related Materials*, 2009, v. 18, pp. 220-223.

5. A. Aleksenskiy, M. Baidakova, V. Osipov, A. Vul. The Fundamental Properties and Characteristics of Nanodiamonds. In: "Nanodiamonds: Applications in Biology and Nanoscale Medicine" Ed. Dean Ho., Springer, 2009 (в печати).

**10.14. Слои наноуглерода (графена) на поверхности карбида кремния (SiC):
получение методом термодеструкции и исследование.**

Руководитель проекта:

Лебедев Александр Александрович

ФТИ им. А.Ф.Иоффе РАН

194021 С.Петербург, Политехническая ул. 26.

тел. (812) 2927125; факс: (812) 297 1017

E-mail: shura.lebe@mail.ioffe.ru

Участники проекта: С.Ю.Давыдов, И.С.Котоусова, А.А.Лаврентьев, С.П.Лебедев,
М.Г.Мынбаева, А.Н.Смирнов, П.А.Дементьев, В.Н.Петров,
А.Н.Смирнов, А.Н.Титков, А.М.Стрельчук, А.В.Садохин.

1. В результате работы была показана возможность формирования наноуглеродных слоев на поверхности SiC методом сублимации в открытой системе. При этом не требовалось дополнительного травления образцов в водороде или парах кремния, что значительно упрощает процесс получения пленок. Исследование Оже-спектров отожженных подложек SiC продемонстрировало наличие углеродной пленки на поверхности подложки. Толщина получаемой пленки зависела от температуры отжига образца. Полученные данные позволяют сделать вывод, что наиболее оптимальным температурным диапазоном для формирования графена на поверхности SiC, является 1300-1400 °C [1].

2. Методами атомно-силовой и сканирующей туннельной микроскопии исследовались Si-поверхности 6H-SiC(0001), подвергнутые ступенчатому высокотемпературному отжигу в вакууме. Найдена процедура отжига, приводящая к структурированию поверхности регулярными атомно-гладкими ступенями высотой 0.75 nm или 1.5 nm. Предлагается использовать получаемые структурированные поверхности в качестве тестовых объектов для z-калибровки сканирующих зондовых микроскопов. [2].

3. Была рассмотрена ранее предложенная (на основании структурных исследований) трехстадийная схема процесса термодеструкции карбида кремния, приводящего к графитизации поверхности. Проведенный теоретический анализ, однако, показывает, что этот процесс является двухстадийным: термодесорбция атомов кремния из двух внешних бислоев Si-C с последующей конденсацией атомов углерода на Si-границе (0001) карбида кремния, приводящей к образованию двумерной структуры графита (графена) [3].

4. Полученные пленки исследовались методами Оже-спектроскопии, дифракции быстрых электронов на отражение (RHEED), атомно-силовой микроскопии (AFM) и рамановской спектроскопии. Проведенные измерения показывают, что пленки сформированные на углеродной грани SiC обладают лучшим структурным совершенством, чем сформированные на кремневой грани. Данные пленки состоят из поликристаллических чешуек графена с размерами одного монокристаллического зерна порядка 20-50 нм. Толщина полученных пленок, по-видимому, не превосходит 3-4 моноатомных слоев. Получение графеновых пленок на поверхности полуизолирующих пластин SiC дает возможность проведения измерений транспортных свойств носителей заряда в графене, полученном по данной технологией [4-5].

6. Проводились исследования изменения морфологии поверхностей 6H-SiC с выращенными пленками наноуглерода, а также локальной проводимости пленок в точечном контакте с зондом AFM. Исследования велись на приборе INTEGRA AURA фирмы НТ-МДТ. Топографические изображения получались с помощью зондов NSG11

(НТ-МДТ) , а при одновременном с топографией получении токовых изображений применялись зонды DCP11 (НТ-МДТ). Проведенные исследования показали, что процесс преобразования SiC подложки при сублимационной эпитаксии не зависит от проводимости подложки и ее ориентации. Во всех случаях на Si и C поверхностях 6H-SiC формируется чешуйчатая структура, элементы которой характеризуются латеральными размерами на уровне 300 – 500 nm и перепадом высот между соседями 4-6 nm. Токовые исследования показали, что преобразованные поверхности обладают проводимостью как в случае легированных, так и изолирующих подложек, что является еще одним свидетельством формирования на поверхностях проводящего углеродного покрытия. При этом в пределах чешуек проводимость имеет пятнистую структуру, коррелирующую с локальными топографическими изменениями. Изменение высот соседних участков с разной проводимостью составляет примерно 0.3 nm. Сопоставление АСМ топографических и токовых изображений подтверждает построение углеродных пленок из кристаллитов графена с линейными размерами на уровне 50 – 100 nm. [6-7].

5. Был разработан и изготовлен комплект фотошаблонов для формирования на основе графеновых пленок структур, пригодных для исследований эффекта Холла. Разработана технология формирования омических контактов и травли пленки графена с поверхности карбида кремния [8].

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. А.А.Лебедев, И.С.Котоусова, А.А.Лаврентьев, С.П.Лебедев, И.В.Макаренко, В.Н.Петров, А.Н.Титков Формирование наноуглеродных пленок на поверхности SiC методом сублимации в вакууме, ФТТ, т.51, вып 4, стр. 783-786 (2009).
2. М.С.Дунаевский, И.В.Макаренко, В.Н.Петров, А.А.Лебедев, С.П.Лебедев, А.Н.Титков. Применение структурированных атомными ступенями поверхностей 6H-SiC (0001) для калибровки наноперемещений в сканирующей зондовой микроскопии, Письма ЖТФ, 35 (2009) 98-104.
3. С.Ю.Давыдов, А.А.Лебедев, Н.Ю.Смирнова К построению модели термодеструкции карбида кремния с целью получения графеновых слоев, ФТТ, 51, №3 (2009) 452-454.
4. A.A.Lebedev, I.S.Kotousova, A.A.Lavrent'ev, S.P.Lebedev, I.V.Makarenko, V.N.Petrov, A.N.Smirnov, A.N.Titkov, Investigation of Nanocarbon films on SiC surface formed by sublimation epitaxy in vacuum, Abstr. 9th Biennial Intern. Workshop Fullerenes and Atomic Clusters IWFAG, 2009, 6-10 June, St.Petersburg, page 174.
5. Лебедев А.А. Получение и исследование графена на основе SiC, Тезисы IV Межд. семинара "Карбид кремния и родственные материалы" 27-29 мая 2009г Великий Новгород, стр. 80-81.
6. С.П.Лебедев, В.Н.Петров, А.А.Лаврентьев, И.С.Котоусова, А.Н.Смирнов, А.А.Лебедев. Структурные исследования пленок наноуглерода на поверхности карбида кремния, Тезисы IV Межд. семинара "Карбид кремния и родственные материалы" 27-29 мая 2009 Великий Новгород, стр. 59-60.
7. С.П.Лебедев, В.Н.Петров, А.А.Лаврентьев, И.С.Котоусова, А.Н.Смирнов, А.А.Лебедев. Формирование пленок наноуглерода на поверхности монокристаллического SiC методом сублимации в вакууме. Тезисы IX Российской конференции по физике полупроводников 28 сентября-3 октября 2009(Новосибирск-Томск) стр 280
8. S.P. Lebedev, P.A. Dement'ev, A.A. Lebedev, A.N. Titkov. A Study of Nanocarbon Films Formed by Sublimation in a Vacuum, Abstract N TU-P-81 International conf. on Silicon carbide and Rel.Mat (ICSCRM-09), 11-17 October 2009, Nurnberg, Germany.

10.15. Фазовые равновесия в графеновых и наноуглеродных слоях на поверхности твердых тел.

Руководитель проекта:

Галль Николай Ростиславович

ФТИ им. А.Ф.Иоффе РАН

194021, Санкт-Петербург, Политехническая, 26

тел. (812) 2927114, факс: (812) 2971017

E-mail: gall@ms.ioffe.ru

Участники проекта: Рутьков Е.В., Силуянов М.А.

1. Установлены закономерности графенового слоя (двумерной графитовой пленки) на металле (иридии, грань (111)) атомами иридия. Показано, что в интервале температур 1000 – 1200 К тонкая пленка иридия, нанесенная на поверхность графена при комнатной температуре, полностью разрушается, а атомы переходят в интеркалированное состояние, т.е. располагаются между графеновым слоем и подложкой. Напыление атомов иридия непосредственно на нагретый образец графен / Ir(111) в диапазоне 1000 – 1500 К приводит к накоплению атомов только в интеркалированном состоянии, а поверхность графена остается свободной от адсорбата. [1].

2. Показано определяющее влияние краевых атомов углерода в островках графена на поверхности металла на кинетику зарождения, роста и разрушения этих островков, а также многослойной графитовой пленки в диапазоне температур 1000 — 2000 К. Показано, что роль краевых атомов необходимо учитывать и при описании равновесных процессов в многофазных системах углерод – металл, причем имеет место их влияние не только на кинетику, но и на равновесные фазовые соотношения. Предложен единый механизм интеркалирования графеновых островков на металлах атомами щелочных металлов и выхода этих атомов из-под слоя при изменении температуры. [2,3].

3. Впервые получены данные об образовании равновесного слоя графена на родии (111). Понижение температуры науглероженного родия, например, до $T = 1100\text{K}$ приводит к пересыщению твердого раствора Rh-C, и избыточные атомы углерода выделяются на поверхности и строят толстую пленку графита. Наоборот, повышение температуры, например, до $T = 1500\text{K}$ быстро разрушает графеновый слой, и на поверхности остается только хемосорбированный углеродный “газ” с концентрацией $\sim 5 \cdot 10^{14}$ ат/см². Тонкие металлические ленты и активная диффузия углерода в родии при $T \approx 1000\text{K}$ приводят к быстрым, хорошо воспроизводимым процессам в углеродном слое при изменении температуры. [3]

4. Проведено рассмотрение фазовых равновесий на поверхности металла с участием атомов С при формировании графена и начальных стадий роста графита. Показано, что необходимо учитывать наличие трех фаз: атомов С, растворенных в объеме металла; атомов С, хемосорбированных на поверхности; и графена, как поликонденсированной фазы углерода. Проанализирована применимость правила фаз Гиббса к данной ситуации при учете поверхностного натяжения как независимой термодинамической степени свободы. Выявлена особая роль краевых атомов графеновых островков, которые при определенных условиях могут рассматриваться как самостоятельная «квази-одномерная» фаза [4].

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. Е.В. Рутьков, Н.Р. Галль, Интеркалирование графенового слоя на металле атомами иридия. Письма в ЖТФ, 2009, т.35, № 8, с. 740-743
2. Е.В. Рутьков, Н.Р. Галль, Роль краевых атомов графеновых островков на металлах в процессах их зарождения, роста и интеркалирования щелочными металлами., ФТТ, 2009, Т.51, № 8, с. 1738–1743
3. E.V.Rut'kov, N.R.Gall, GRAPHENE LAYERS ON Rh(111). IWFAC-2009, St.Petersburg, July 01-04, p.213
4. Е.В. Рутьков, Н.Р. Галль, М.А.Силуянов, Физико-химические процессы в многофазных системах на поверхности металлов с участием нанокристаллического углерода: сегрегация, растворение, зарождение и рост графена. Изв. РАН, сер физическая, 2009, т.73, № 5Б с 707-709.

10.16. Исследование электронной структуры и оптических свойств фтор-фуллеритов $C_{60}F_x$ и их радиационно-модифицированных производных.

Руководитель проекта:

Гордеев Юрий Сергеевич

ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН

194021, ул. Политехническая, 26,

тел. (812) 292-7142; факс: (812) 297-1017

E-mail: gordeev@mail.ioffe.ru

Участники проекта: В.М. Микушкин, В.В. Шнитов, В.В. Брызгалов, С.Ю. Никонов и др.

1. Методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии с использованием синхротронного излучения исследована структура валентных электронов диэлектрического фтор-фуллерита - конденсата молекул $C_{60}F_{48}$. Показано, что причиной превращения фуллерита C_{60} из полупроводника в диэлектрические фтор-фуллериты $C_{60}F_x$ при фторировании является не сдвиг молекулярных уровней, как считалось ранее, а исчезновение НОМО состояний, примыкающих к уровню Ферми, вследствие участия π -электронов в образовании С-Ф связей [1, 2].

2. Исследованы спектры фотоэлектронов основных уровней $C1s$, $F1s$ диэлектрических фтор-фуллеритных пленок ($C_{60}F_{18}$, $C_{60}F_{36}$) толщиной от 1-2 нм и более как на проводящей поверхности (Au), так и химически нейтральной (SiO_2). Установлено, что эмиссия фотоэлектронов приводит к значительной статической зарядке даже сверхтонких пленок. Показано, что эффект зарядки наряду с деструкцией молекул диагностическими пучками может приводить к большим ошибкам в определении энергий электронных уровней и является причиной большого разброса (4 eV) ранее опубликованных данных, который многократно превышает заявленную погрешность (0.1 eV) [3, 4].

3. Методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии с использованием синхротронного излучения исследована структура внутренних $C1s$, $F1s$ уровней фтор-фуллеритов $C_{60}F_{18}$ и $C_{60}F_{36}$ и определены энергии связи электронов этих уровней в атомах, находящихся в различных химических состояниях. Данные получены в условиях отсутствия статической зарядки и деструкции исследуемых объектов диагностическим пучком [3, 4].

4. Установлено, что энергия связи основного электрона атома углерода, связанного во фтор-фуллерене с атомом фтора $E_b(C1s, C-F) = 288.7 \pm 0.1$ eV, не зависит от числа атомов фтора в молекуле и ее атомной структуры, также как и энергия связи основного электрона атома фтора, связанного с углеродом $E_b(F1s, F-C) = 687.2 \pm 0.2$ eV. Сделан вывод об одинаковой силе и ионном характере С-Ф связи во фтор-фуллеритах различного состава и атомного строения, ставящий под сомнение существующие представления о различии силе и типах С-Ф связи в различных фтор-фуллеритах [3, 4].

5. Установлено, что обнаруженные ранее авторами красный сдвиг плазмона и синий сдвиг оже-электрона, вызванные полимеризацией фуллерита C_{60} под действием пучка электронов средних энергий, связаны зависимостью, близкой к линейной. На основе этой зависимости и ранее полученных данных плазмонной спектроскопии предложена простая оже-диагностика степени полимеризации фуллерита высокоэнергетическими электронными зондами коммерческих литографов, которая может быть использована в электронной литографии с фуллеритовым резистом [5].

6. Созданы научные заделы в области исследований электронной структуры $C_{60}F_{36}$ [6], особенностей формирования фуллеритных пленок [7], электронной литографии [8-10] и радиационной стойкости биологических молекул [11].

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. V.M. Mikoushkin, V.V. Bryzgalov, S.Yu. Nikonov, V.V. Shnitov, Yu.S. Gordeev, Boltalina, I.V. Gol'dt, M.M. Brzhezinskaya, "Widening the fullerene band gap in fluorination", Bulletin of the BESSY Annual Report, Berlin, 2009. – in publishing
2. V.M. Mikoushkin¹, V.V. Bryzgalov¹, S.Yu. Nikonov¹, V.V. Shnitov¹, Yu.S. Gordeev¹, Boltalina^{2,3}, I.V. Gol'dt², M.M. Brzhezinskaya, "Electronic structure and radiation instability of $C_{60}F_{48}$ ", Abstracts of the 9th Biennial International Workshop "Fullerenes and Atomic Clusters" (IWFAC'2009), July 6-10, 2009, St.-Petersburg, Russia, p. 211.
3. V.M. Mikoushkin, V.V. Shnitov, V.V. Bryzgalov, Yu.S. Gordeev, O.V. Boltalina, I.V. Gol'dt, S.L. Molodtsov, D.V. Vyalikh, "Valence band electronic structure of $C_{60}F_{18}$ and $C_{60}F_{36}$ studied by photoelectron spectroscopy", Journal of Electron spectroscopy and related phenomena, v.168, N10, p.25-28 (2008).
4. В.М. Микушкин, В.В. Шнитов, В.В. Брызгалов, Ю.С.Гордеев, О.В. Болталиа, И.В. Гольд, С.Л. Молодцов, Д.В. Вялых, "Химические сдвиги электронных уровней фтор-фуллеритов $C_{60}F_{18}$ и $C_{60}F_{36}$ ", Письма в ЖТФ, т.35, вып.6, с.17-24 (2009).
5. V.M. Mikoushkin, V.V. Shnitov, V.V. Bryzgalov, Yu.S. Gordeev, O.V. Boltalina, I.V. Gol'dt, S.L. Molodtsov, D.V. Vyalikh, "Core-level structure of $C_{60}F_{18}$ and $C_{60}F_{36}$ studied by photoelectron spectroscopy", Bulletin of the BESSY Annual Report, Berlin, 2009. – in publishing
6. V.M. Mikoushkin, S.Yu. Nikonov, V.V. Shnitov, Yu.S. Gordeev, "Correlation of plasmon and Auger energies and its use for diagnostic of irradiated and degraded fullerite C_{60} ", Abstracts of the 9th Biennial International Workshop "Fullerenes and Atomic Clusters" (IWFAC'2009), July 6-10, 2009, St.-Petersburg, Russia, p. 210.
7. L.G. Bulusheva, A.V. Okotrub, V.V. Shnitov, V.V. Bryzgalov, O.V. Boltalina, I.V. Gol'dt, D.V. Vyalikh, "Electronic structure of $C_{60}F_{36}$ studied by quantum-chemical modeling of experimental photoemission and x-ray absorption spectra", Journal of Chemical Physics (J. Chem. Phys.) 130, 014704 (1-6) (2009).
8. V.M. Mikoushkin, A.P. Solonitsina, "Diffusion of solid C_{60} film due to high rate surface diffusion of fullerenes", Abstracts of the 9th Biennial International Workshop "Fullerenes and Atomic Clusters" (IWFAC'2009), July 6-10, 2009, St.-Petersburg, Russia, p. 212.
9. V.V. Shnitov, V.M. Mikoushkin, Yu.S. Gordeev, O.V. Boltalina, I.V. Goldt, "Destruction of Solid $C_{60}F_{18}$ by Electron Beam", Fullerenes, Nanotubes and Carbon nanostructures, v.18 – послана в печать.
10. В.В.Шнитов, В.М.Микушкин, Ю.С.Гордеев, В.В.Брызгалов, "Фуллерит C_{60} , как электронный резист для «сухой» нанолитографии", Международный форум по нанотехнологиям, Москва, 3-5 Декабря 2008 г.
11. N. Makarets, V.M. Mikoushkin, "Monte-Carlo model of formation of a swarm of low energy electrons in fullerite C_{60} under electrons in the keV- energy range", Abstracts of the 9th Biennial International Workshop "Fullerenes and Atomic Clusters" (IWFAC'2009), July 6-10, 2009, St.-Petersburg, Russia, p. 207.
12. Yu.S. Gordeev, V.M. Mikoushkin, V.V. Shnitov, F. Alvarado, R. Morgenstern, T. Schaltholter, S.L. Molodtsov, D.V. Vyalikh, "In situ research of electronic structure of DNA nucleobases and their transformation under irradiation", Proc. of 17th International Symposium "Nanostructures: Physics and Technology" (ISBN 5-93634-022-8), Minsk, Belarus, June 22-26, 2009, p.230-231.

10.17. Нанокластеры металлов и алмаза, инкапсулированные в углеродные структуры.

Руководитель проекта:

Иванов-Омский Владимир Иванович
ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН
194021 С-Петербург, ул. Политехническая, 26.
тел. (812) 292-9183; факс: (812) 297-1017
E-mail: Ivanov.ivom@mail.ioffe.ru

Участники проекта: Ястребов С.Г., Звонарева Т.К., Ситникова А.А., Сиклицкая А.В., Мишунин А.С., Федоров О.В.

Показано, наночастицы алмаза, инкапсулированные в наноразмерные оболочки стеклоуглерода могут вносить вклад в особенность поглощения 2175 \AA (5.67 eV) на кривой межзвездной экстинкции при отношении радиуса алмазного ядра к внешнему радиусу, равному $0.6-0.9$. Для объяснения этой особенности исследованы и проанализированы результаты оптического поглощения нанокластерами алмаза, внедренными в многооболочечные фуллерены. [1]

Кроме того, анализировался вклад различных типов нанокластеров, ответственных за неоднородное уширение полосы 2175 \AA (5.67 eV):

- (i) молекулы ароматических углеводородов,
- (ii) частицы аморфного (алмазоподобного) углерода,
- (iii) частицы стеклоуглерода,
- (iv) частицы аморфного углерода, инкапсулированные в стеклоуглерод
- (v) частицы аморфного углерода, содержащие графитизированные включения.

Показано, что комбинированные частицы, состоящие из ядра аморфного углерода и оболочки из стеклоуглерода, дают вклад в кривую межзвездной экстинкции при отношении радиуса ядра к внешнему радиусу, равному $0.6-0.8$. Частицы аморфного углерода, содержащие графитизированные включения, могут давать вклад как в полосу экстинкции 2175 \AA (5.67 eV), так и в полосу 4000 \AA (3.09 eV). [2]

Показано, что комбинированные частицы, состоящие из ядра аморфного углерода и оболочки из стеклоуглерода, дают вклад в кривую межзвездной экстинкции при отношении радиуса ядра к внешнему радиусу, равному $0.6-0.8$. Частицы аморфного углерода, содержащие графитизированные включения, могут давать вклад как в полосу экстинкции 2175 \AA (5.67 eV), так и в полосу 4000 \AA (3.09 eV). [2]

Исследованы пленки аморфного углерода $\alpha\text{-C}$ и пленки модифицированного платиной композита на его основе $\alpha\text{-C-Pt}$, полученные методом магнетронного распыления в широком диапазоне толщин и концентраций модифицирующей платины, изготовленные при сохранении оптимального для каталитической активности $\alpha\text{-C-Pt}$ режима. Для исследования использованы методы эллипсометрии, инфракрасной и рамановской спектроскопии. На основании анализа спектров показано, что кластеры платины встраиваются в систему графеновых плоскостей аморфного углерода без существенной перестройки самой углеродной структуры, а увеличение количества модифицирующей платины в составе пленки $\alpha\text{-C-Pt}$ приводит к уменьшению размеров графеновых кластеров. [3]

Методами молекулярной динамики проведено исследование стабильности и эволюции наноразмерных кластеров тетраэдрического углерода начиная с момента их зарождения при изменении их температуры. Показано, что кластер высокотетраэдрического углерода размером 2 нм стабилен в отсутствие водорода. Поверхность такого кластера представляет собой сетку sp^2 -координированных атомов

(оболочку), обволакивающую высокотетраэдрическое ядро. Исследована радиальная функция распределения расстояний в таком кластере. Ее анализ показывает, что в диапазоне температур 4.2° - T_c К (T_c - температура фазового перехода), толщина оболочки зависит от температуры и времени эволюции нелинейно, достигая максимального значения при временах эволюции порядка тысяч фемтосекунд. При температуре выше T_c весь кластер претерпевает превращение в сетку sp^2 -координированных атомов. При дальнейшем росте температуры ($T > T_c$) происходит аморфизация кластера. [4]

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. S. Yastrebov, R. Smith NANODIAMONDS ENVELOPED IN GLASSY CARBON SHELLS AND THE ORIGIN OF THE 2175 Å OPTICAL EXTINCTION FEATURE The Astrophysical Journal 697 (2009) 1822
2. S. Yastrebov, R. Smith The contribution of carbon nanoparticles to the interstellar optical extinction Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (MNRAS), Volume 395, Number 1, May 2009 , pp. 401-409(9)
3. А.Д.Ременюк, Т.К.Звонарева, И.Б.Захарова, В.А.Толмачев, Л.В.Беляков, Т.С.Перова Исследование оптических свойств аморфного углерода, модифицированного платиной ФТП, 2009, 43(7),947-952
4. А.В.Сиклицкая, С.Г.Ястребов Эволюция наноразмерной высокотетраэдрической компоненты межзвездной среды (в печати, MNRAS 2010)

10.18. Нанокластеры и структуры на их основе, связанные с фазовыми переходами, матричной изоляцией и разупорядоченностью решеток, и их влияние на оптические свойства.

Руководитель проекта:

Марков Юрий Федорович

Физико-технический институт

им. А.Ф. Иоффе РАН

194021 Санкт-Петербург, Политехническая ул.26

тел. (812)- 292-71-74; факс: (812)- 297-10-17

E-mail: yu.markov@mail.ioffe.ru

Участники проекта: Е.М.Рогинский, А.А.Вайполин, М.Б.Смирнов, В.М.Егоров,
А.А.Квасов

Продолжено изучение кристаллов галогенидов одновалентной ртути Hg_2Hal_2 ($\text{Hal} = \text{F}, \text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$), изоморфных при комнатной температуре (D_{4h}^{17}) и представляющих большой фундаментальный и прикладной интерес. Эти кристаллы обладают уникальными физическими свойствами, в частности, рекордно-высоким двулучепреломлением, рекордно-низкой скоростью ТА-звука в твердом теле и высокими акусто-оптическими константами, что позволяет успешно использовать эти кристаллы в технике в качестве основных элементов поляризаторов, акустических линий задержки, акустооптических фильтров, модуляторов, дефлекторов и др.

При охлаждении, при $T_c = 186 \text{ K}$ (Hg_2Cl_2) и $T_c = 144 \text{ K}$ (Hg_2Br_2) эти кристаллы испытывают несобственные сегнетоэластические фазовые переходы $D_{4h}^{17} \rightarrow D_{2h}^{17}$, индуцированные конденсацией наиболее медленной, мягкой ТА-ветви в X-точках границы зоны Бриллюэна (ЗБ) тетрагональной парафазы. В случае кристаллов Hg_2I_2 фазовый переход в реальной области температур не реализуется (виртуальный сегнетоэластик, $T_c = -20 \text{ K}$), его удается реализовать лишь при высоких гидростатических давлениях ($P_c = 9 \text{ Kbar}$ при $T = 293 \text{ K}$). Эти кристаллы являются модельными при изучении общих проблем структурных фазовых переходов.

Проведен синтез исходной шихты Hg_2F_2 и впервые изучены экспериментальные спектры комбинационного рассеяния света. С использованием рентгеноструктурного анализа и динамических расчетов выполнена интерпретация этих спектров. Полученные результаты обсуждены в сравнении со структурой и спектрами изоморфных кристаллов Hg_2Hal_2 .

Выполнены полуэмпирические расчеты силовых констант и дисперсии фононов в зоне Бриллюэна кристаллов Hg_2Cl_2 . Вычислены и построены дисперсионные зависимости частот акустических и оптических фононов, получена плотность состояний фононного спектра этих кристаллов. Изучено влияние гидростатического давления на частоты акустических и оптических фононов и их дисперсию. Получено аномальное поведение «мягкого» ТА-фонона, коррелирующее с феноменологической теорией Ландау и экспериментом.

Продолжены рентгеноструктурные исследования монокристаллов и поликристаллов (порошков) Hg_2Cl_2 и Hg_2Br_2 . Изучены фундаментальные и диффузные рефлексы из X-точек границы ЗБ парафазы, связанные с параметром порядка и его пространственно-временными флуктуациями, индуцирующими зарождение низкотемпературных ромбических нанокластеров в высокотемпературной тетрагональной матрице. Получена оригинальная информация о температурном поведении параметра порядка и его флуктуаций, радиусов корреляции (практически

размеров нанокластеров), значения соответствующих критических индексов. В случае поликристаллических образцов получено аномальное поведение рентгеновских рефлексов, в том числе, сильное размытие эффектов фазового перехода, связанное с наличием аморфных и нарушенных приповерхностных слоев, остаточных полей упругих и пластических деформаций.

Оригинальная информация, полученная в работе, представляет фундаментальный и прикладной интерес, способствующая также расширению областей (температурных, барических и др.) практического использования этих уникальных кристаллических систем.

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. Ю.Ф.Марков, Е.М.Рогинский «Оптические фононы и симметрия Hg_2F_2 », Письма ЖТФ, т.35 (1), с.18-25 (2009).
2. Ю.Ф.Марков, Е.М.Рогинский «Комбинационное рассеяние света поликристаллами Hg_2F_2 », ФТТ, т.51(2), с.282-285 (2009).
3. А.А.Квасов, Ю.Ф.Марков, Е.М.Рогинский, М.Б.Смирнов « Акустические и оптические фононы и их дисперсия в модельных сегнетоэластиках Hg_2Cl_2 », ФТТ, т.51 (7), с. 1349-1352 (2009).
4. Yu.F. Markov, E.M.Roginskii « Order parameter and its fluctuations in model ferroelastics », The Sixth International Seminar on Ferroelastic Physics, Russia, Voronezh, Abstracts, p.4 (2009).
5. Yu.F. Markov, E.M.Roginskii, D.Wallacher “ X-ray investigations of microcrystalline ferroelastics Hg_2Hal_2 ”, The Sixth International Seminar on Ferroelastic Physics, Russia, Voronezh, Abstracts, p.21 (2009).
6. E.M.Roginskii, A.A.Kvasov, Yu.F.Markov, M.B.Smirnov ”Phonon dispersion and pressure behaviour of Hg_2Cl_2 crystals”, The Sixth International Seminar on Ferroelastic Physics, Russia, Voronezh, Abstracts, p.41 (2009).

10.19. Исследование нанокристаллических свойств естественных сверхрешеток карбида кремния в сильном электрическом поле на предмет обнаружения в них электрической неустойчивости и терагерцового излучения, обусловленных эффектом брэгговского отражения электронов.

Руководитель проекта:

Санкин Владимир Ильич

Физико-технический институт

им. А.Ф. Иоффе РАН

С-Петербург, Политехническая 26

тел. (812) 515-9185 факс: (812) 515-6747

E-mail: sankin@mail.ioffe.ru

Участники проекта: Н.С. Аверкиев, А.А. Лепнева, А.М. Монахов, П.П. Шкробий,
А.Г. Остроумов

Карбидокремниевая электроника развивается на основе материала с электронной проводимостью. Это совершенно естественно, поскольку отношение подвижностей электронов и дырок превышает порядок величины. Но с другой стороны эффекты, обусловленных ванье-штарковской локализацией (ВШЛ) в сильных электрических полях достаточно серьезно ограничивают область надежной, не подверженной риску деструкции работы электронных приборов. При этом есть основания считать, что в валентной зоне отсутствуют условия для развития процесса ВШЛ. Известно также, что в материалах с небольшой степенью ионности 10-15% наблюдается рассеяние на полярном оптическом потенциале в сильных электрических полях. В отличие от рассеяния на деформационном потенциале, вышеназванное рассеяние не приводит к насыщению дрейфовой скорости, напротив, последняя продолжает неограниченно расти. В результате достигается резкое увеличение подвижности, почти на порядок по отношению к подвижности при слабых электрических полях. Теоретически показано, что такой процесс завершается явлением диэлектрического пробоя (ДП), который напоминает лавинный пробой, но вместо резкого возрастания концентрации носителей, мы имеем аналогичное возрастание подвижности. На вольтамперной характеристике (ВАХ) появляется участок, обусловленный пробоем в виде отрицательной дифференциальной проводимости, когда ток растет при уменьшении поля. ДП до сих пор не обнаружен экспериментально ввиду того, что в сильных предпробойных полях другие механизмы потерь энергии, такие, как междолинное рассеяние и ударная ионизация, становятся определяющими. Одним словом для реализации эффекта надо:

-Исследовать транспорт в условиях одной долины, чему оптимально соответствует зона с экстремумом в k – пространстве в точке $k = 0$.

-Области электрических полей диэлектрического и электрического пробоя должны быть существенно разнесены.

Можно сказать, что дырочный транспорт в карбиде кремния является скорее всего той системой, в которой может быть впервые реализован эффект ДП.

В данной работе проведено исследование ВАХ дырочного транспорта в диапазоне электрических полей 1-200 кВ/см. Экспериментальные образцы представляли собой трехслойные структуры $P^+ - P^- - P^+$. Первый P^+ слой выращивался на подложке Лэли n - типа, на ней формировался второй слой P . Оба слоя создавались по методу сублимационной эпитаксии. Их толщина была одинаковой и составляла 4 мкм. Концентрация нескомпенсированных акцепторов $Al\ Na - Nd \sim 6 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$ в P^+ - слое и $5 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$ в P - слое. Концентрация и подвижность свободных дырок при 300 К

в P^- - слое определялись с помощью измерений проводимости и эффекта Холла. Они составляли соответственно $2 \times 10^{15} \text{ см}^{-3}$ и в среднем около $50 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{сек}$. Эти параметры при более высокой температуре оценивались на основании данных опубликованных работ. Электрические измерения проводились в статическом и импульсных режимах. Диапазон температур был от 77 К до 600 К. ВАХ исследуемых структур при 300 К состояла из омической области и области резкого экспоненциального роста тока от увеличивающего поля. Последняя начиналась при полях больше 40 кВ/см и простиралась до 70 кВ/см . При этом никакого насыщения тока и дрейфовой скорости, как это было в электронной системе SiC, не наблюдалась. Величины дрейфовой скорости достигали величины 10^8 см/сек . Отдельно проведенные опыты по выяснению картины примесного пробоя в слое $P^+(\text{Al})$ с $N_a - N_d \sim 10^{18} \text{ см}^{-3}$ при температуре 77 К позволили определить область пробоя и величину порогового поля, составившего около 30 кВ/см . На ВАХ в области полей около 70 кВ/см обнаружена область с отрицательной дифференциальной проводимостью, относящейся к классу явлений с токовой неустойчивостью, которая, как мы предполагаем, является следствием эффекта ДП.

Полученные результаты показали сложный характер транспорта дырок в сильных полях в 6H-SiC. Сравнительный анализ экспериментальных результатов с теорией процессов рассеяния носителей заряда позволил определить основные механизмы формирования ВАХ:

- 1) в области $10 - 40 \text{ кВ/см}$ – рассеяние на ионизованных примесях;
- 2) в области $40 - 64 \text{ кВ/см}$ - рассеяние на полярном оптическом потенциале в подзоне легких дырок;
- 3) в области $65 - 70 \text{ кВ/см}$ – диэлектрический пробой;
- 4) наиболее близкое совпадение с теорией в области диэлектрический пробоя дает предположение о транспорте дырок в легкой отщепленной валентной подзоне, с эффективной массой $m^* = 0.15m_0$.

Практически важным результатом является факт снижения дифференциального сопротивления $P^+ - P - P^+$ - структуры более чем в 50 раз в области полей $0.1 - 70 \text{ кВ/см}$.

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. 1. В.И. Санкин, П.П. Шкребий «Гигантский всплеск ударной ионизации в p-n переходе политипа 6H-SiC» ФТП, 42, 12, (2008)
2. V.I. Sankin, P.P. Shkrebiy, R.Yakimova. Strong field hole transport in 6H-SiC Appl. Phys.Lett. 89, 23, 233508, (2006).
3. V.I. Sankin, P.P. Shkrebiy, A.A. Lepneva. Hot holes transport in 6H-SiC ISSCRM2009 Novgorod the Great, p.61
4. V.I. Sankin, A.A. Averkiev, A.M. Monachov, P.P. Shkrebiy, A.A. Lepneva, A.G. Ostroumov¹ Breakdown Impurity Al in SiC polytypes ICSCRM 20009, p. I-77.
5. V.I. Sankin, P.P. Shkrebiy, A.A. Lepneva, A.G.Ostroumov and R.Yakimova: Mater. Sci. Forum Vol. 615-617 (2009), p. 307

10.20. Квантовые эффекты (туннельные переходы) в элементарных актах кинетики электрического и механического разрушения нанокристаллических твердых тел при низких температурах.

Руководитель проекта:

Слуцкер Александр Ильич

ФТИ им. А.Ф.Иоффе РАН

194021 г. Санкт-Петербург,

Политехническая ул., 26.

Тел. (812) 292-7939; факс: (812) 297-1017

E-mail : Alexander.Slutsker@mail.ioffe.ru

Участники проекта: В.И.Бетехтин, А.Г.Кадомцев, О.В.Амосова, В.Д.Агмулина

В 2009 г. исследования по проекту проводились в двух направлениях :

1. По кинетике электрического разрушения нанокристаллических полимеров.

Обнаружено атермическое плато в зависимостях долговечности при низких температурах, свидетельствующее об отклонении от больцмановской термофлуктуационной статистики. Анализ экспериментальных данных привел к заключению о том, что элементарными актами процесса, ведущего к электрическому пробою полимеров, являются туннельные (подбарьерные) переходы электронов из ловушки в ловушку по направлению электрического поля, что приводит к формированию критического объемного заряда.

2. По кинетике механического разрушения нанокристаллического объекта – бора (вещества с высокой дебаевской температурой ~ 1400 К).

Проводилось микроиндентирование бора в широком диапазоне времени и температуры.

Выполнен расчетно-теоретический анализ кинетики индентирования, установивший зависимость микротвердости от времени и температуры с учетом туннельного механизма перегруппировки атомов, который вызывает отклонения от классической больцмановской зависимости при низких (ниже дебаевских) температурах.

Полученные экспериментальные данные показали при низких температурах отклонения от температурной больцмановской зависимости микроиндентирования бора, которые находятся в качественном и количественном согласии с расчетно-теоретическими зависимостями. Это позволило заключить о возможном проявлении туннельного механизма в элементарных актах микроиндентирования.

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. Слуцкер А.И., Бетехтин В.И., Кадомцев А.Г. Туннельный механизм элементарных актов в кинетике электрического разрушения нанокристаллических полимеров при низких температурах. Международный симпозиум “ Перспективные материалы и технологии “. Витебск, Беларусь. 2009. Тезисы докладов, с. 14.
2. А.И.Слуцкер, В.И.Бетехтин, А.Г.Кадомцев. Возможные проявления квантовых эффектов в кинетике микроиндентирования бора. Деформация и разрушение материалов. 2009 (в печати).
3. А.И.Слуцкер, В.И.Бетехтин, А.Г.Кадомцев. Кинетический анализ индентирования в широком диапазоне температуры (включающем классическую и квантовые области).48-я Международная конференция “ Актуальные проблемы прочности “. Тольятти. 2009. Тезисы докладов, с. 78

10.21. Исследование электрических, тепловых и акустических свойств высокопористого нанокластерного биоморфного углерода и материалов на его основе при низких температурах.

Руководитель проекта:

Смирнов Борис Иванович

ФТИ РАН

194021, С-Петербург, Политехническая, 26.

тел.(812)2927306; факс: (812)2971017

E-mail: smir.bi@mail.ioffe.ru

Участники проекта: И.А. Смирнов, А.Е. Романов, Б.К. Кардашев, Т.С. Орлова, Л.С. Парфеньева, В.В. Попов, Н.Ф. Картенко.

1. Изготовлены образцы высокопористой (с канальным типом пор) биоуглеродной матрицы (био-С) путем пиролиза (карбонизации) в атмосфере аргона при температурах $T_{\text{carb}} = 1000$ и 2400°C дерева сапели и сосны, а также образцы композитов био-С/Cu и био-SiC/Si путем инфильтрации в вакууме в указанные матрицы расплавленной меди или кремния. Исследование этих материалов связано с перспективами их использования в термоэлектрических генераторах и термометрах сопротивления, в аэрокосмической промышленности, сфере коммуникаций и ряде других областей.

2. Проведены рентгеноструктурные исследования био-С сапели и показано, что она является аморфным материалом, углеродный каркас которого конструируется из аморфного углерода и нанокристаллитов, в виде трехмерных (с размерами $\sim 11\text{Å}$) и двумерных ($\sim 30\text{Å}$) частиц. Наличие в био-С сапели трехмерных частиц (11Å) подтверждено также расчетами длины свободного пробега фононов, проведенными с помощью полученных экспериментальных данных для теплоемкости и теплопроводности и литературных – для скорости звука.[2]

3. В интервале температур 1.8-300 К и в магнитных полях до 28 кЭ проведено исследование электрических и гальваномагнитных свойств высокопористых био-С сосны ($T_{\text{carb}} = 1000$ и 2400°C). Впервые получены сведения о типе носителей, величинах их концентрации и подвижности в этих материалах. Показано, что увеличение T_{carb} приводит к понижению сопротивления в 1.5-2 раза во всей температурной области 1.8-300 К и увеличению подвижности носителей тока приблизительно в 3 раза, а также к изменению знака магнетосопротивления при $T = 1.8-4.2\text{К}$. Анализ экспериментальных данных показал, что особенности проводимости и магнетосопротивления данных образцов определяются квантовыми поправками (электрон-электронное взаимодействием или слабой локализацией), связанными со структурными особенностями исследованных биоуглеродных образцов – с различным соотношением аморфной и нанокристаллической фаз, а также с различиями в тонкой структуре последней для разных T_{carb} . [3]

4. В интервале температур $T = 5-300\text{К}$ проведены измерения теплопроводности, электропроводности и коэффициента термоэдс, а при 80-300 К теплоемкости (при постоянном давлении) образцов био-С сапели, вырезанных вдоль и поперек «питательных» каналов дерева. При измерении вдоль каналов обнаружены нестандартные для классических аморфных материалов температурные зависимости теплопроводности кристаллической решетки: в интервале 5-10 К она возрастает пропорционально T , затем при 10-20 К выходит на «плато», а в интервале 20-200 К изменяется как $T^{1.7}$. Установлено возрастание электропроводности с повышением температуры. Оценена величина анизотропии коэффициента термоэдс. [2,4]

5. В интервале 80-300 К измерена теплоемкость при постоянном давлении у матриц био-С сосны при $T_{\text{carb}} = 1000$ и 2400°C и композитов био-С/Cu на их основе. Показано, что для композитов выполняется правило смеси, т.е. теплоемкость композита равна сумме теплоемкостей формирующих его материалов, взятых в соответствующих пропорциях. У био-С сосны вычислены длины свободного пробега фононов и с их помощью оценены размеры нанокристаллитов, формирующих углеродные каркасы матриц. [5]

6. Методом лазерной интерферометрии исследовалась неоднородность скорости микропластической деформации (скачки деформации) композита био-SiC/Al при одноосном сжатии на нанометровом уровне. Показано, что наряду с растянутыми по перемещению (изменению длины образца) на 100-180 nm колебаниями скорости наблюдаются небольшие по ширине и амплитуде пики с расстоянием между ними 10-20 nm, а также пики шириной ~ 50 nm. Предполагается, что указанные величины могут быть связаны с размерами структурных образований алюминиевого сплава (зерен, субзерен, преципитатов и др.) либо с размерами нано- и микрокристаллов SiC. [6]

7. На воздухе и в вакууме проведены акустические исследования амплитудных и временных зависимостей модуля Юнга и внутреннего трения (поглощения ультразвука) био-С сосны, полученных при $T_{\text{carb}} = 1000$ и 2400 C [1], а также композита био-SiC/Si на основе сапели [7]. Во всех случаях установлено существенное влияние процесса десорбции молекул внешней среды (воздуха) на модуль упругости и декремент упругих колебаний. Показано, что модуль Юнга и микропластические свойства био-С сосны и композита био-SiC/Si анизотропны и существенно зависят от температуры карбонизации и породы дерева (в случае композита).

Приготовление и аттестация исследованных образцов био-С и композитов производились совместно с сотрудниками Northwestern University (США) и Universidad de Sevilla (Испания).

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. Б.К. Кардашев, Т.С. Орлова, Б.И. Смирнов, A.R. de Arellano-Lopez, J. Martinez-Fernandez. Модуль Юнга и внутреннее трение биоморфного композита SiC/Si на основе биоматрицы дерева сапели. ФТТ 51, 4, 709 (2009).
2. Л.С. Парфеньева, Т.С. Орлова, Н.Ф. Картенко, Н.В. Шаренкова, Б.И. Смирнов, И.А. Смирнов, Н. Misiolek, A. Jezowski, J. Mucha, A.R. de Arellano-Lopez, J. Martinez-Fernandez. Теплопроводность высокопористого биоуглерода с канальным типом пор, полученного на основе дерева сапели. ФТТ 51, 10, 1909 (2009).
3. В.В. Попов, Т.С. Орлова, J. Ramirez-Rico. Особенности электрических и гальваномагнитных свойств биоуглерода дерева сосны. ФТТ 51, 11, 2118 (2009).
4. Л.С. Парфеньева, Б.И. Смирнов, И.А. Смирнов, D. Wlosewicz, Н. Misiolek, Cz. Sulkowski, A. Jezowski, A.R. de Arellano-Lopez, J. Martinez-Fernandez. Теплоемкость и коэффициент термоэдс биоуглеродной матрицы дерева сапели. ФТТ 51, 11, 2123 (2009).
5. И.А. Смирнов, Т.С. Орлова, Б.И. Смирнов, D.W. Wlosewicz, Н. Misiolek, A. Jezowski, T.E. Wilkes, K.T. Faber. Теплоемкость биоуглеродной матрицы дерева сосны и композита биоуглерод/медь на ее основе. ФТТ 51, 11, 2135 (2009).
6. В.В. Шпейзман, Н.Н. Песчанская, Т.С. Орлова, Б.И. Смирнов. Микропластичность биоморфного композита SiC/Al при одноосном сжатии. ФТТ 51, 12, 2315 (2009).
7. Б.К. Кардашев, Т.С. Орлова, Б.И. Смирнов, T.E. Wilkes, K.T. Faber. Модуль Юнга и внутреннее трение пористых биоуглеродных матриц дерева сосны. ФТТ 51, 12, 2320 (2009).

Результаты проведенных исследований докладывались на 15 International Conference on Composite Structures, 15-17 June 2009, Porto, Portugal.

10.22. Оптические и электрические свойства полупроводниковых гетероструктурированных нанометровых нитевидных кристаллов.

Руководитель проекта:

Устинов Виктор Михайлович

Физико-Технический Институт

им. А.Ф. Иоффе РАН

тел. (812) 2973178; факс: (812) 2973178,

E-mail: vmust@beam.ioffe.ru

Участники проекта: Г.Э.Цырлин, В.Г.Дубровский, И.П.Сошников, Ю.Б.Самсоненко, А.Д.Буравлев, А.В.Нащекин, Н.В.Сибирев, М.В.Назаренко.

1. Продемонстрирована возможность использования метода магнетронного осаждения для синтеза массивов GaAsN ННК с характерными диаметрами от 10 до 200 нм и длиной до 3000 нм. Получены данные о зависимости характера роста ННК от физических параметров (размера затравочных капель Au, скорости осаждения, кристаллографического типа поверхности и температуры подложки). Наблюдается увеличение интенсивности фотолюминесценции образцов ННК GaAsN с содержанием азота до 2.7% в 5-10 раз по сравнению с планарными слоями [1].

2. Изучен гетероэпитаксиальный рост для InAs, InP и GaAs ННК на поверхности Si(111) при МПЭ. Установлено, что критический диаметр бездислокационного роста ННК убывает с ростом рассогласования подложки и материала ННК и составляет 24 нм для InAs, 39 нм для InP и 110 нм для GaAs. При превышении данных значений ННК либо не растут, либо дислоцированы. Установлены температурные интервалы роста эпитаксиальных AlAs ННК на поверхности Si(111) [2].

3. Развита кинетическая модель роста полупроводниковых ННК по механизму «пар-жидкость-кристалл» за счет адсорбции из газообразной среды и поверхностной диффузии адатомов. Получено нелинейное уравнение для скорости роста нитевидного нанокристалла в стационарном режиме с учетом эффекта Гиббса-Томсона в капле. Показано, что в зависимости от условий процесса осаждения, радиуса кристалла и его начальной длины возможны шесть принципиально различных режимов роста, что связано с квадратичной нелинейностью уравнения роста. При заданных условиях осаждения длина ННК либо неограниченно увеличивается, либо стремится к некоторому конечному (в некоторых случаях нулевому) пределу [3-5].

4. Получено уравнение, позволяющее рассчитывать эффективную диффузионную длину по измеренным значениям высоты и плотности в рамках диффузионной модели роста. На основе экспериментальных данных по выращиванию нитевидных нанокристаллов GaAs методом МПЭ проведена оценка диффузионных длин адатомов Ga по поверхностях GaAs(111) и AlAs(111). Показано, что при типичных условиях осаждения диффузионная длина Ga составляет величину порядка нескольких сотен нанометров [6].

5. Продемонстрирована принципиальная возможность формирования GaAs вискером методами МПЭ и ГЭМОС без использования внешнего катализатора. В зависимости от используемой технологии, латеральные размеры вискером могут варьироваться в диапазоне 25 нм – 4 мкм [7,8].

6. Составлен обзор современных результатов исследований полупроводниковых нитевидных нанокристаллов. Изложены физические основы выращивания нитевидных нанокристаллов по механизму «пар-жидкость-кристалл» и представлены основные эпитаксиальные технологии синтеза нитевидных нанокристаллов. Детально рассмотрены термодинамические и кинетические факторы, определяющие

морфологические свойства, состав и кристаллическую структуру нитевидных нанокристаллов. Изложены основные теоретические модели роста и структуры нитевидных нанокристаллов. Приведены данные по физическим свойствам нитевидных нанокристаллов и возможностям их применений в нанофотонике, наноэлектронике и нанобиотехнологии [9].

7. Методом низкотемпературной фотолюминесценции исследованы GaAs ННК, выращенные на поверхности GaAs(111)В и Si(111). Установлено, что спектр ФЛ состоит из экситонных пиков, локализованных на вюрцитной и кубической фазе ННК. Рассчитаны положения пиков ФЛ в зависимости от кристаллической фазы ННК, включая эффекты размерного квантования [10].

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. И.П.Сошников, Г.Э.Цырлин, А.М.Надточий, В.Г.Дубровский, М.А.Букин, В.А.Петров, В.В.Бусов, С.И.Трошков. Свойства GaAsN нитевидных нанокристаллов, полученных методом магнетронного осаждения, ФТП, 2009, том 43, выпуск 7, с. 938-942.
2. G.E.Cirlin, V.G.Dubrovskii, I.P.Soshnikov, N.V.Sibirev, Yu.B.Samsonenko, A.D.Bouravleuv, J.C.Harmand, F.Glas. "Critical diameters and temperature domains for MBE growth of III-V nanowires on lattice mismatched substrates", Phys. Status Solidi RRL, 2009, v.3, No. 4, 112-114.
3. V.G.Dubrovskii, N.V.Sibirev, G.E.Cirlin, I.P.Soshnikov, W.H.Chen, R.Larde, E.Cadel, P.Pareige, T.Xu, B.Grandidier, J.-P.Nys, D.Stievenard, M.Moewe, L.C.Chuang, C.Chang-Hasnain, "Gibbs-Thomson and diffusion-induced contributions to the growth rate of Si, InP, and GaAs nanowires", Phys. Rev. B 79, 205316 (2009)
4. В.Г.Дубровский, Н.В.Сибирев, М.А.Тимофеева. Нелинейные эффекты при росте полупроводниковых нитевидных нанокристаллов, ФТП, 2009, том 43, выпуск 9, 1267-1274.
5. В.Г.Дубровский, Н.В.Сибирев, Влияние нуклеации на кристаллическую структуру полупроводниковых нитевидных нанокристаллов, Письма ЖТФ, 2009, том 35, выпуск 8, 73-80.
6. Н.В.Сибирев, В.Г.Дубровский, Е.Б.Аршанский, Г.Э.Цырлин, Ю.Б.Самсоненко, В.М.Устинов. «О диффузионных длинах адатомов Ga на поверхностях AlAs(111) и GaAs(111)», ЖТФ, 2009, том 79, выпуск 4, с. 142-145.
7. Г.Э.Цырлин, А.Д.Буравлев, Ю.Б.Самсоненко, G.Statkute, H.Lipsanen. «Рост AlB5 нитевидных нанокристаллов без внешнего катализатора», Труды XIII Международного симпозиума «Нанофизика и наноэлектроника», 16-20 марта 2009, Н.Новгород, с. 28-29.
8. A.D.Bouravleuv, G.Statkute, G.E.Cirlin, H.Lipsanen. "Self-catalized MOVPE growth of GaAs whiskers", Proc.17th International Symposium "Nanostructures: physics and technology" – June 22-26, 2009, Minsk, 2009, p.125-126.
9. В.Г.Дубровский, Г.Э.Цырлин, В.М.Устинов. «Полупроводниковые нитевидные нанокристаллы: синтез, свойства, применения. Обзор», ФТП, 2009, том 43, выпуск 12, с. 1585-1629.
10. B.V.Novikov, S.Yu.Serov, N.G.Filosofov, I.V.Shtrom, V.G.Talalalev, O.F.Vyvenko, E.V.Ubyivovk, Yu.B.Samsonenko, A.D.Bouravleuv, I.P.Soshnikov, N.V.Sibirev, V.G.Dubrovskii, G.E.Cirlin. "Optical properties of GaAs nanowires studied by low temperature photoluminescence", Proc.17th International Symposium "Nanostructures: physics and technology" – June 22-26, 2009, Minsk, 2009, p.186-187.

10.23. Исследование структурных и электрофизических свойств нанокомпозита на основе пористого кремния при низких температурах.

Руководитель проекта:

Сорокин Лев Михайлович

ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН

Политехническая, 26

С.-Петербург, 194021

тел. (812) 297-90-24; факс: (812) 297-10-17

E-mail: lev.sorokin@mail.ioffe.ru

Участники проекта: А.Е. Калмыков, В.И. Соколов, В.В. Ратников, А.В. Черняев

Известно, что свежеприготовленный пористый кремний (ПК) интенсивно взаимодействует с кислородом окружающей среды. Это приводит к эволюции его структурных и физических свойств в зависимости от продолжительности пребывания ПК на воздухе. Окисление ПК приводит также к генерации напряжений в нем, что вызывает растрескивание пористых слоев и отслаивание их от подложки. Нестабильность свойств создает определенные трудности в практическом использовании ПК. Для отыскания путей стабилизации свойств ПК, были проведены рентгенодифракционные и электронно-микроскопические исследования эволюции напряжений в ПК и кристаллической структуры в них в зависимости от режима анодного травления и времени выдержки образцов на воздухе (от 10 мин. с момента получения до 8-ми месяцев пребывания на воздухе при комнатной температуре).

1. Показано, что все образцы после получения испытывают латеральные сжимающие напряжения $\sigma_{\parallel} \sim -0.01$ GPa, приводящие к тетрагональной дисторсии ПК. Уровень напряжений возрастает в 2 раза для тонких (≤ 10 мкм) при продолжительности окисления $t=1000$ ч. и для толстых слоев (до 50 мкм) при $t=2000$ ч.)

2. Найдено, что микрокристаллическая фракция ПК испытывает деформацию растяжения вдоль нормали к поверхности ($\sim +10^3$) и слабую деформацию сжатия вдоль поверхности образцов ($\sim -10^5$).

3. Структурные изменения в ПК, обусловленные окислением на воздухе, приводят к смещению дифракционного пика от ПК в сторону меньших углов по отношению к пику от подложки Si, к уменьшению его интегральной интенсивности и трансформации его формы [1-3].

4. Эволюция формы и параметров дифракционных кривых свидетельствует о постепенном уменьшении микрокристаллитов, образующих каркас пористого слоя, потере ими когерентности между собой и подложкой, нарастании, вплоть до полной, степени аморфизации слоев ПК.

5. Обнаружена неоднородная скорость окисления по толщине толстых слоев ПК, возрастающая от интерфейса к поверхности. Показано, что пассивация поверхности ПК водородом уже в свежеприготовленных слоях приводит к биаксиальным напряжениям сжатия в них. Удаление водородной пассивации (отжиг в вакууме при 450°C) дает чистую (реконструированную) поверхность ПК, скорость окисления которой существенно возрастает.

При разработке методики измерений электрофизических свойств ПК были учтены результаты по деградации ПК в результате его пребывания на воздухе.

6. Для исследования электрофизических свойств был предложен новый метод изготовления образцов, позволяющий:

- исключить влияние более низкоомной подложки на измеряемые величины (разработан неразрушающий способ отрыва пористого слоя от подложки, с сохранением его целостности);

- значительно уменьшить деградацию образцов (ограничить контакт ПК с атмосферным кислородом путем заключения ПК в эпоксидную смолу);

- исключить возникновение барьера Шоттки на контактах с пористым слоем путем использования аквадага.

7. Были проведены измерения ВАХ при пропускании тока в плоскости пористого слоя и в направлении перпендикулярном поверхности.

В первом случае температурные зависимости удельного сопротивления в диапазоне температур 300-265K выявляют активационный характер проводимости ($E_{\text{акт}}=0.8 \text{ eV}$). В этом интервале температур сопротивление образца изменяется на 3 порядка величины, что позволяет, в принципе, предложить отделенный от подложки пористый слой в качестве чувствительного датчика температуры.

Во втором случае вплоть до температуры 1.4 K сопротивление в пределах ошибки измерений оставалось постоянным, что связано, возможно, с особенностями системы пористый слой – аквадаг. На этом же образце при $T=4.2 \text{ K}$ обнаружено отрицательное магнетосопротивление.

8. На ВАХ характеристиках обнаружен гистерезис, площадь которого монотонно уменьшается с увеличением времени развертки, что может быть связано с процессами накопления заряда в ПК.

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. L.M. Sorokin, V.V. Ratnikov, A.E. Kalmykov and V.I. Sokolov Evolution of Lattice Structure of Porous Silicon at Storage in Ambient Air Programme and Abstracts of Microscopy of Semiconducting Materials (MSM) XVI 17-20 March 2009, Keble College, Oxford, UK, P3-6.

2. В.В. Ратников, Л.М.Сорокин, В.И. Соколов, А.Е. Калмыков Деформация и структура пористого кремния при окислении на воздухе. Тезисы докладов VI международной конференции (КРЕМНИЙ2009), Новосибирск, 7-10 июля 2009, Из-во ИНХ СО РАН, стр. 141.

3. В.В. Ратников, Л.М.Сорокин, В.И. Соколов, А.Е. Калмыков Рентгеновская дифрактометрия и просвечивающая электронная микроскопия слоев пористого кремния на разных стадиях его окисления, ФТТ, 2009, т.51, вып.12, стр. 2289-2295.

10.24 Оптическая электронная спектроскопия фуллеренов и фуллереносодержащих нанокластерных материалов

Руководитель проекта:

Разбирин Борис Сильвестрович

ФТИ им. А.Ф. Иоффе

194021, Санкт-Петербург,

Политехническая ул. 26.

тел. (812)2927341; факс: (812)2971017

E-mail: b.razbirin@mail.ioffe.ru

Участники проекта: А.Н. Старухин, Д.К. Нельсон, А.П. Скворцов, В.П. Смирнов,
Е.Ф. Шека, М.Ю. Дегунов

Исследованы оптические электронные спектры фуллерена C_{60} и его производных в матрице толуола в широком диапазоне частот. Наряду с известной красной люминесценцией в замороженных растворах наблюдалось коротковолновое ("голубое") свечение C_{60} и его производных.

Проведены квантово-химические вычисления электронных свойств и равновесных структур, как индивидуальных молекул фуллеренов, так и кластеров разного размера и состава, состоящих либо только из молекул фуллерена (sol-sol), либо включающих как молекулы фуллерена, так и молекулы растворителя (sol-solv). Вычисления осуществлялись в приближении нарушенной спиновой симметрии при использовании расширенного приближения Хартри-Фока, позволяющем получить наиболее полное количественное описание свойств фуллеренов с учетом особенности взаимодействия их лишних электронов. Установлено:

а) Поляризуемым объектом в растворах фуллеренов являются кластеры растворенного вещества состава sol-sol и/или sol-solv. Эффективность образования кластеров зависит от энергии парного взаимодействия $E_{cpl} \{(X)_2\}$ и/или $E_{cpl} \{(X)_1(T)_1\}$. Эта величина является управляющим параметром формирования кластера, в связи с чем структура кластеров зависит от химической структуры молекулы фуллерена. б) Спектр возбужденных состояний кластеров представляет собой сумму спектров локализованных экситонов Френкеля и локализованных экситонов с переносом заряда. Возбуждение последних ответственно за создание электронно-дырочной плазмы, поляризация которой обеспечивает усиление падающей и выходящей электромагнитной волны. в) Расположение спектра локализованных экситонов с переносом заряда в видимой области спектра обуславливает появление усиленного свечения именно в этой области. Обнаруженный в наших исследованиях соответствующий "голубой" спектр является в каждом конкретном случае различной комбинацией усиленного комбинационного рассеяния и усиленной люминесценции растворителя и фуллереновых кластеров, соответственно.

Применительно к нелинейно-оптическим свойствам, настоящим исследованием показано, что расположение как спектра энергий экситонов с переносом заряда, локализованных на кластерах фуллеренов, так и энергетического интервала резонансных условий для локальных факторов в видимой области спектра делает матрицы с добавками фуллерена перспективными объектами, обеспечивающими усиление нелинейно-оптических свойств в этой области спектра. Обнаружение голубого свечения может служить свидетельством применимости рассматриваемой среды к нуждам нелинейной оптики. При этом интенсивность спектра указывает на эффективность ожидаемых нелинейно-оптических применений. Вследствие этого

голубой спектр может служить эмпирическим тестом, применяемым для отбора нелинейно-оптической среды с нужными свойствами.

На основании предложенных критериев проанализирована новая производная фуллерена C_{60} – монофуллеропирилодин, содержащий в своей структуре специфическую группу, известную как пространственно-затрудненный фенол. Экспериментальные исследования подтвердили выводы теории и показали малую эффективность кластерообразования и, соответственно, низкую эффективность нелинейно-оптического отклика. Показано, что квантово-химические расчеты могут служить основой априорного тестирования возможных производных фуллеренов для последующего направленного химического синтеза производной с нужными свойствами.

Исследованы оптические спектры раствора этилового эфира C_{60} -уксусной кислоты (C_{60} ЭЭУК) в толуоле. В спектрах поглощения при $T = 80$ К наблюдалось сочетание интенсивного бесструктурного фона-пьедестала, обусловленного поглощением кластеров-комплексов с переносом заряда, и расположенного на нем слабого структурированного молекулярного поглощения. При температуре 2 К наблюдался мультиплет узких линий шириной до 5 см^{-1} , отвечающих оптическому возбуждению молекул C_{60} ЭЭУК, занимающих различные неэквивалентные позиции в матрице. Структурный спектр люминесценции зеркально симметричен по отношению к спектру поглощения. Определены частоты соответствующих переходов и отвечающих им молекулярных колебаний. Разрешенный характер обоих зеркальных спектров, полное соответствие формирующих их частот свидетельствуют о Франк-Кондоновском механизме электронно-колебательного взаимодействия в молекуле.

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. Е.Ф. Шека, Б.С. Разбирин, А.Н. Старухин, Д.К. Нельсон, М.Ю. Дегунов, Р.Н. Любовская, П.А. Трошин. Природа усиления линейных и нелинейных оптических эффектов в растворах фуллеренов. ЖЭТФ 2009, т. 135, вып.5, с. 848-864.
2. E.F. Sheka, B.S. Razbirin, A.N. Starukhin, D.K. Nelson, M.Yu. Degunov, R.N. Lyubovskaya, P.A. Troshin. Fullerene-cluster amplifiers and nanophotonics of fullerene solutions. J. Nanophoton. 2009, v. 3, p. 033501.
3. Б.С. Разбирин, Е.Ф. Шека, А.Н. Старухин, Д.К. Нельсон, М.Ю. Дегунов, П.А. Трошин, Р.Н. Любовская. Эффект Шпольского в оптических спектрах замороженных растворов органического производного фуллерена C_{60} в толуоле. ФТТ 2009, т. 51, № 6, с. 1238-1242.
4. Е.Ф. Шека, Б.С. Разбирин, А.Н. Старухин, Д.К. Нельсон, М.Ю. Дегунов, Г.М. Фазлеева, В.П. Губская, И.А. Нуретдинов. Влияние структуры молекул фуллерена на их кластеризацию в кристаллической матрице. ФТТ 2009, т. 51, № 10, с. 2065-2069.
5. Е.Ф. Шека, Б.С. Разбирин. Усилители электромагнитного излучения на кластерах фуллерена. Вычислительное моделирование и эксперимент. Тезисы докладов II Всероссийской конференции ММПЧН-2009 «Многомасштабное моделирование процессов и структур в нанотехнологиях», 28 – 30 мая 2009 г., Москва, № 191.
6. E.F. Sheka, B.S. Razbirin. Nanophotonics of fullerene solutions. Abstracts of International Conference “ORGANIC NANOPHOTONICS” (ICON-RUSSIA 2009), June 21-28, 2009, St. Petersburg, Russia, p. 176.
7. E.F. Sheka, B.S. Razbirin, A.N. Starukhin, D.K. Nelson, M.Yu. Degunov, P.A. Troshin, R.N. Lyubovskaya, V.P. Fazleeva, V.P. Gubskaya, I.A. Nuretdinov. Structural aspect of nanophotonics of fullerene solutions. Abstracts of International Conference “ORGANIC NANOPHOTONICS” (ICON-RUSSIA 2009), June 21-28, 2009, St. Petersburg, Russia, p. 197.
8. B.S. Razbirin, E.F. Sheka. Fullerene-cluster amplifiers and nanophotonics of fullerene solutions. Abstracts of 9th Biennial International Workshop “Fullerenes and Atomic Clusters” (IWFAC'2009), July 6 – 10, 2009, St Petersburg, Russia, p. 36.

10.25. Исследование оптических и нелинейно-оптических свойств стекол с наноразмерными углеродными кластерами.

Руководитель проекта:

Мельников Леонид Аркадьевич

СО ИРЭ РАН

410019, Саратов, ул. Зеленая, 38, Saratov,

факс: 7-845-2-272401; тел: 7-845-2-511179; 7-845-2-466-101;

e-mail: lam-pels@ya.ru;

Участники проекта: А.В.Гороховский (СГТУ, Саратов), А.Н.Пономарев (НТЦ ПН, С.-Петербург), О.Н.Козина, А.П.Миронычев (СО ИРЭ РАН, Саратов), В.И.Кочубей, А.Б.Правдин, А.В.Мельников (СГУ, Саратов)

1. Получены образцы стекол, содержащих углеродные наночастицы в виде астраленов, распределенных в объеме стекла. Астралены производства НТЦ ПН получались при тепловом парообразовании графитового анода дуговым разрядом, с использованием специальных условий парообразования, экстракционной и последовательной обработкой катодной сажи. Электронная микроскопия высокого разрешения показала, что у астраленов есть многогранная многослойная оболочка с пустотой в центре, и структура астралена напоминает тороид. Оболочка состоит из 20-50 графеновых плоскостей с межслойным интервалом порядка ~ 0.340 нм. Средний диаметр астраленов ~ 40 нм.

Для приготовления стекла использовалась суспензия астраленов в гидросиликате натрия, которая впоследствии подвергалась температурной дегидратации и стеклованию.

2. Получены образцы оптических стекол, на поверхности которых синтезированы углеродные наночастицы – полидисперсные нанострубки и астралены. Для их синтеза использовались также полученные в ЦПНТ водорастворимые графены $(\text{H-O})_m\text{-[C]}_n\text{-(SO}_3)_q$, которые представляют собой частицу размером около $50 \times 50 \times 50$ нм³ состоящую из пакета графитовых плоскостей. Данные частицы в виде водного раствора наносились на поверхность и после высушивания подвергались нагреву до 300...500 С в бескислородной атмосфере, образуя фуллероидные частицы.

3. Как объемные, так и планарные образцы стекол использовались для создания фотонно-кристаллических структур, изготовление которых проводилось методом многократной перетяжки трубок из оптического стекла типа Ф-8, в которые помещались стержни, окрашенные астраленами, или перетяжкой пакетов стекол, часть из которых имели наноуглеродное покрытие.

4. Проведены расчеты пропускания фотонно-кристаллических структур, в которых предполагалось наличие слоев или элементов с обращенным эффектом насыщения поглощения, показывающие возможность управления пропусканием таких структур изменением мощности управляющего светового пучка.

5. Исследован спектр возбуждения люминисценции астраленов в различных матрицах в диапазоне возбуждающих длин волн 300...600 нм и спектры поглощения водных суспензий астраленов и смесей астраленов и графеновых частиц. Показано, что существует заметное различие в спектрах люминисценции. Показано, что существует взаимодействие этих двух типов частиц, проявляющееся в спектрах люминисценции.

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. Л.А.Мельников, О.Н.Козина, А.Н.Пономарев. Управление параметрами фотонно-кристаллических структур, содержащих окрашенные фуллероидами стекла. *Laser Physics*, направлено в печать.
2. Л.А.Мельников, А.В.Мельников, А.В.Гороховский, А.Н.Пономарев, А.В.Правдин, В.И.Кочубей. Оптические характеристики стекол, окрашенных фуллероидами. *Оптика и спектроскопия*, направлено в печать.

10.26. Исследование механизмов влияния ориентации, деформации, химической модификации углеродных нанотрубок традиционных и сложных форм на оптические и электрополяризационные свойства жидких сред, их содержащих.

Руководитель проекта:

Синицын Николай Иванович

СФ ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН

410019, г. Саратов, ул. Зеленая, д. 38.

Тел./факс: (8452)272401

E-mail: tor@soire.renet.ru

Участники проекта: Торгашов Г.В., Буянова З.И., Стрельцов А.В., Торгашов И.Г., Савельев С.Г., Глухова О.Е., Пчелинцева Н.В.

На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований авторами установлены новые физические закономерности обнаруженного авторами эффекта.

Этот эффект влияния делокализации π -электронной системы гексагонов на потенциал ионизации и эмиссионный свойства нанотрубок, обнаруженный авторами еще в 2003 году, также является основополагающим фактором при формировании окружающих УНТ мономолекулярных слоев в жидких средах. Процессы рассеяния и поглощения электромагнитных волн оптического, ИК и УФ диапазонов жидкими средами, содержащими УНТ определяются характером взаимодействия их электронных оболочек с молекулами монослоя. На сегодняшний день для объяснения этого эффекта авторами были проведены теоретические и экспериментальные исследования электронных свойств нанотрубок типа кресло разной длины [1].

Однослойным нанотрубкам типа кресло присущ эффект осцилляции потенциала ионизации на фоне его убывания с увеличением длины атомного каркаса путем добавления "нитей" из атомов углерода. Этот эффект подтвержден расчетами методом *ab initio* (F.Вuonopore, 2008). Устойчивого мнения о его физической природе к настоящему моменту нет. Вполне допустимо, что эффект обусловлен финитностью коротких нанотрубок и заметным влиянием открытых краев на распределение плотности электронного заряда по атомам;

Нанотрубки C_{6km} (k – натуральное число) типа кресло (m,m) обладают пониженным потенциалом ионизации и работой выхода в группе акиральных бездефектных однослойных тубулярных нанокластеров одинаковой длины; с увеличением k (увеличением длины атомного каркаса) потенциал ионизации убывает, асимптотически приближаясь к своему значению при $k=8m$. В качестве разработки теоретической концепции в направлении физического объяснения установленного эффекта уже выявлено, что распределение объемной плотности электронного заряда по атомам вдоль оси симметрии тубуса неравномерное, а у нанотрубок C_{6km} наблюдается максимальная делокализация π -электронов гексагонов, составляющих кольца (рис. 1б).

Для изучения механизмов переноса энергии при воздействии электромагнитного излучения оптического, ИК и УФ, диапазонов в системе УНТ-монослой предложено использовать метод органического молекулярно-люминесцентного зонда, заключающийся в адсорбции на каркасе УНТ молекул люминесцирующего циклоароматического соединения (ЛЦАС) [2]. При этом возможно появление магнитной компоненты взаимодействия, обусловленной наличием кольцевых токов в ароматических π -электронных подсистемах УНТ и адсорбируемой молекулы. Была

проведена серия экспериментов с растворами УНТ в хлороформе, в которых в качестве зонда использовались молекулы 8-оксихинолятов Zn и Al.

Исследования показали, что спектр оптического поглощения получаемых авторами для данного исследования УНТ содержит полосу, соответствующую оптическим переходам S33, типичным для полупроводниковых УНТ диаметром 11-16 Å.

Установлено, что наличие УНТ не только существенным образом влияет на процесс оптического поглощения раствором ЛЦАС, но также приводит к изменению конфигурации спектральной полосы рассеяния, обусловленной возбуждением делокализованных электронных уровней молекул ЛЦАС. Присутствие УНТ также приводит к изменению спектров возбуждения фотолюминесценции органического люминофора(ОЛ), заключающемуся в увеличении интенсивности длинноволновой синглетной полосы, соответствующей электронным переходам на возбужденный π^* -уровень. Наличие оптического поглощения УНТ как в видимой так и в УФ областях спектра не приводит к пропорциональному тушению люминесценции ОЛ.

Полученные данные позволяют сделать вывод о наличии межмолекулярного взаимодействия УНТ с ЛЦАС и, возможно, обменного или излучательного взаимодействия их электронных систем. Это является косвенным доказательством факта адсорбции молекул 8-оксихинолятов к УНТ, а также свидетельствует о возможности применения предложенного метода при изучении делокализации π -электронной системы гексагонов УНТ.

В рамках исследования УНТ в водных средах начаты эксперименты по влиянию УНТ на водные биологические среды [3,4]. Исследования показали, что УНТ могут накапливать в себе и на поверхности водные растворы питательных средств и лекарств.

Таким образом, показано, что только особенности электронной структуры УНТ обуславливают характер их взаимодействия с водными растворами белковых и пептидных соединений. В рамках данного направления планируется более детальное исследование с применением одностенных УНТ, сепарированных по диаметру, длине, индексу киральности, типу проводимости.

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. Глухова О.Е., Колесникова А.С. Углеродные нанотрубки в однородном электрическом поле // *Нелинейный мир*. - 2009. - № 6. 478-479.
2. Стрельцов А.В., Самарский М.В., Глухова О.Е. Люминесценция 8-оксихинолятов цинка и алюминия при их адсорбции углеродными нанотрубками. // *Наноэлектроника, нанофотоника и нелинейная физика: тез. докл. IV конф. молодых учен., Саратов, 2009*. С. 119-121
3. Самарский М.В., Нечаева О.В., Пермьякова Н.Ф., Кушнарченко А.Н., Глухова О.Е. Изучение влияния углеродных нанотрубок на водную и биологическую среды. // *Наноэлектроника, нанофотоника и нелинейная физика: тез. докл. IV конф. молодых учен. Саратов, 2009*. С. 96-97
4. О.В. Нечаева, Г.В. Торгашов, О.Е. Глухова, Н.Ф. Пермьякова, А.Н. Кушнарченко, Н.П. Коннов, М.В. Самарский. Изучение влияния углеродных нанотрубок на водную и биологическую среды // *Биомедицинская радиоэлектроника*. №9, 2009 (в печати)

10.27. Исследование наномасштабных материалов, перспективных для применений в квантовой электронике и биомедицине.

Руководитель проекта:

Ацаркин Вадим Александрович

ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН

125009 Москва, ул. Моховая, 11, стр. 7.

тел. (495) 629-3440; факс: (495) 629-3678

E-mail: atsarkin@mail.cplire.ru

Участники проекта: В.В. Демидов, Л.В. Лёвкин, Ч.М. Брискина, В.М. Маркушев, М.В. Рыжков, Е.Р. Гин, А.А. Генералов.

Работа велась по двум направлениям.

1. Исследование магнитных наночастиц

1.1. Определены (совместно с химическим факультетом МГУ) химические составы и технологии синтеза субмикронных и наноразмерных частиц манганитов $La_{1-x}Ag_xMnO_{3+\delta}$, обеспечивающие попадание точки Кюри (T_C) в диапазон 42-48⁰ С, необходимый для применения в медицинской гипертермии с автостабилизацией температуры нагрева. В результате исследования комплексной высокочастотной (ВЧ) магнитной восприимчивости установлен критический ход ВЧ поглощения и дисперсии в области магнитного фазового перехода. Обнаружен аномальный пик поглощения при подходе к T_C снизу. Проведено экспериментальное и математическое моделирование ВЧ нагрева суспензий наночастиц манганита, подтвердившее возможность автостабилизации температуры при применении в онкологии.

1.2. Методами электронного и ядерного магнитного резонанса показана возможность использования магнитных наночастиц Fe_3O_4 в жидких суспензиях для ускорения спиновой релаксации протонов растворителя, что важно для применений в ЯМР томографии. Обнаружена и изучена зависимость эффекта от размеров наночастиц (5-20 нм). Выполнено обобщение существующей теории с учетом кластеризации и образования магнитных агрегатов, установлены границы применимости модели быстрых движений.

2. Исследование лазерной генерации в ансамбле субмикронных частиц.

2.1. Продолжено исследование квазинепрерывного лазерного источника ближнего ультрафиолетового излучения (длина волны 388-390 нм) на микро- и наноразмерных порошках ZnO. Устройство основано на эффекте индуцированного (лазерного) излучения в случайно неоднородной среде без внешних резонаторов ("random laser"), впервые обнаруженном в ИРЭ РАН в 1986 г. При комнатной температуре с накачкой импульсами наносекундной длительности получена и исследована лазерная генерация в диапазоне 390-395 нм от тетраэдрических звездчатых образований (тетраподов). Предложена модель лазерной моды – образование замкнутой траектории фотонов в результате многократного полного внутреннего отражения в выступах тетраподов. Дополнительная генерация, обнаруженная в области 392-397 нм, отнесена к наностержням, что подтверждено численным моделированием.

2.2. В порошках и комплексных структурах ZnO осуществлена регистрация лазерных спектров в режиме временного разрешения при различных уровнях возбуждения. Обнаружено, что лазерный спектр порошка практически непрерывен во всем диапазоне УФ генерации, в отличие от дискретного спектра тетраподов. Длительность отдельных актов излучения достигает 250 пс, при общей длительности лазерной генерации 5 нс. Установлено, что в процессе генерации интенсивность излучения осциллирует случайным образом. Механизм этого явления пока не выяснен.

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. О.Ю. Горбенко, М.Н. Маркелова, О.В. Мельников, А.Р. Кауль, В.А. Ацаркин, В.В. Демидов, А.Е. Мефёд, Э.Дж. Рой, Б.М. Одинцов. Синтез, состав и свойства твердых растворов $\text{La}_{1-x}\text{Ag}_y\text{MnO}_{3+\delta}$ - перспективных материалов для клеточной гипертермии. ДАН 2009, Т.424, Вып.1, С.49-52.
2. V.A. Atsarkin, L.V. Levkin, V.S. Posvianskiy, O.V. Melnikov, M.N. Markelova, O.Yu. Gorbenko, A.R. Kaul. Solution to the bioheat equation for hyperthermia with $\text{La}_{1-x}\text{Ag}_y\text{MnO}_{3-\delta}$ nanoparticles: The effect of temperature autostabilization. Int. J. Hyperthermia 2009, V.25, № 3, pp. 240-247.
3. N. Noginova, T. Weaver, A. Andreev, A. Radocea, V.A. Atsarkin. NMR and spin relaxation in systems with magnetic nanoparticles: effects of size and molecular motion. J. Phys: Condens. Matter 2009, V.21, №25, 255301 (7pp.)
4. V.A. Atsarkin, A.A. Generalov, V.V. Demidov, A.E. Mefed, M.N. Markelova, O.Yu. Gorbenko, A.R. Kaul, E.J. Roy, B.M. Odintsov. Critical RF losses in fine particles of $\text{La}_{1-x}\text{Ag}_y\text{MnO}_{3+\delta}$: Prospects for temperature-controlled hyperthermia. J. Magn. Magn. Mater. 2009, V.321, pp.3198-3202.
5. V.M. Markushev, M.V. Ryzhkov, Ch.M. Briskina, A.A. Borodkin. Laser Spectra of ZnO Powders and Complex Structures. International Conference on Nanoscience and Technology, ChinaNANO, September 1-3, 2009. Beijing, China. Abstract Book, 6P-2016, p.513.

10.28: Исследование особенностей магнитных и транспортных свойств углеродных нанотрубных материалов.

Руководитель проекта:

Николаев Евгений Григорьевич

ИФП им. П.Л.Капицы РАН

119334 Москва, ул.Косыгина, 2.

тел. (499) 137-5623; факс: (495) 651-2125

E-mail: nikolaev@kapitza.ras.ru

Участники проекта: В.И. Цебро, А.И. Харьковский, А.А. Долгобородов, С.Г. Черноок

1. С помощью сканирующей электронной микроскопии изучена морфология ряда углеродных образцов с многослойными нанотрубками. В частности, исследованы углеродные колонки из внутренней части катодного депозита до и после ультразвуковой обработки, а также мелкодисперсный материал с большим содержанием многослойных нанотрубок, полученный в результате УЗ-обработки колонок. Ранее на этих образцах было выполнено сравнительное исследование спектров ЯМР ^{13}C и магнитной восприимчивости, результаты которого соответствуют представлениям о том, что при обработке ультразвуком разрушается нанотрубная сетка на поверхности колонок, а более плотная сердцевина остается без существенных изменений. Электронно-микроскопическое исследование полностью подтвердило такую картину и показало, что сердцевина колонок состоит главным образом из графитовых чешуек с характерным размером меньше микрона, которые, по-видимому, и ответственны за большой локальный диамагнетизм, наблюдаемый в этих образцах. Установлено также, что содержание многослойных нанотрубок в полученном в результате УЗ-обработки колонок мелкодисперсном материале, использованном для приготовления композитных образцов с ориентированными нанотрубками, составляет не менее 50%. Проведены электронно-микроскопические исследования и получены спектры ЯМР ^{13}C других углеродных нанотрубных образцов с большим содержанием нанотрубок, которые в дальнейшем будут использоваться для ориентации нанотрубок в сильном магнитном поле.

2. С целью выяснения причин отрицательного вклада в магнитосопротивление покрытых нанотрубной сеткой углеродных колонок исследовано влияние на его величину сорбированного кислорода, который может играть роль парамагнитных центров на поверхности нанотрубок. Для этого образцы колонок с контактами для измерения сопротивления помещались в газовую бомбу, позволявшую прикладывать газовое давление до 150 атм. Измерения сопротивления проводились при 4.2 К в полях до 20 кЭ до заполнения бомбы кислородом и после заполнения. Установлено, что поскольку такая процедура не оказывает заметного влияния на зависимость $R(H)$ углеродной колонки, то сорбция кислорода не является причиной отрицательного магнитосопротивления этой системы.

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. Е.Г. Николаев, В.С. Прудковский, О.Е. Омеляновский, А.В. Садаков, В.И. Цебро, «Исследование методом ЯМР локальных диамагнитных свойств углеродных структур с многослойными нанотрубками», ФНТ, 2009, т.35, вып.2, стр.164-172.

10.29. Спектры колебательных и электронных переходов в наноструктурах.

Руководитель проекта:

Баженов Анатолий Викторович

тел. 2-29-11

факс: (496) 5249701,

E-mail: bazhenov@issp.ac.ru

Участники проекта: Фурсова Т. Н., Максимук М. Ю.

1. Обнаружено, что приготовленные нашим методом многостенные углеродные нанотрубки сорбируют серебро, медь, свинец, кадмий, цинк, железо, магний из водных растворов в 5-10 раз эффективнее по сравнению с опубликованными в литературе данными об углеродных нанотрубках. Более того, полученные нами нанотрубки демонстрируют существенно большую сорбционную эффективность по сравнению с известными марками активированных углей.

ИК спектроскопия показала также, что снижение температуры синтеза многостенных углеродных нанотрубок приводит к увеличению дефектности нанотрубок. При этом возрастает и их сорбционная емкость.

Многостенные углеродные нанотрубки были синтезированы методом каталитического пиролиза из этанола на никелевом катализаторе. Найдено, что максимальной ёмкостью обладают нанотрубки, синтезированные при 400 °С и обработанные HNO₃ конц. в автоклаве при 110-120 °С. ИК спектроскопия показала, что такие нанотрубки имеют группы C=O, существенно повышающие сорбционную емкость нанотрубок [1].

2. Импульсным лазерным напылением выращены наностержни, образующие высокоориентированные структуры нанокристаллов ZnO на сапфире и кремнии. Методом ИК спектроскопии исследованы их спектры отражения и выделен вклад, обусловленный колебаниями решетки и носителями заряда в нанокристаллах ZnO, выращенных в различных условиях, а также степень ориентации наностержней ZnO. Обнаружен размерный эффект, а именно, смягчение оптических фононов ZnO при уменьшении диаметра наностержней ZnO [2, 3].

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. Bazhenov A.V., Fursova T.N., Grazhulene S.S., Red'kin A.N., Telegin G.F. Sorption of metals on multiwall carbon nanotubes. 9th Biennial International Workshop " Fullerenes and Atomic Clusters", July 6-10, 2009, St. Petersburg, Russia, p.242.
2. А.В.Баженов, Т.Н.Фурсова, М.Ю.Максимук, Е.М.Кайдашев, В.Е.Кайдашев, О.В. Мисочко. Выращивание нанокристаллов ZnO импульсным лазерным напылением на сапфир и кремний, и их инфракрасные спектры. ФТП (2009) Т. 43, Вып. 11, С. 1576.
3. Bazhenov A.V., Bashkin I.O., Maksimuk M.Yu., Fursova T.N., Moravskii A.P. "C₆₀ Oxidation in Air" 9th Biennial International Workshop " Fullerenes and Atomic Clusters", July 6-10 (2009) St. Petersburg, Russia, p.208.
4. Yu. M. Shulga, V.M. Martynenko, S.A. Baskakov, G. V. Shilov, A. N. Trukhanenok, A. F. Shestakov, Yu. V. Morozov, T. N. Fursova, A. V. Bazhenov, V. N. Vasilets. "Structure and properties of fullerite C₆₀ intercalated with Freon" Phys. Status Solidi RRL (2009) V. 3, No.2, p. 43-45.

10.30 Оптические и электрические свойства новых материалов на основе нанопленок, упорядоченных и самоорганизующихся структур из микро-, наночастиц и нанотрубок в анизотропных жидкокристаллических и изотропных средах.

Руководитель проекта:

Долганов Владимир Карлович

Учреждение Российской академии наук

Институт физики твёрдого тела

(ИФТТ РАН), 142432, Московская обл.,

Черноголовка, ул. Институтская, д. 2.

тел. (496) 5223262; факс: (496) 5249701

E-mail: dolganov@issp.ac.ru

Участники проекта: Туранов А.Н., Жилин В.М., Долганов П.В., Демихов Е.И.

Основное направление исследований было связано с изучением взаимодействия и самоорганизации частиц в нанопленках сегнетоэлектрических жидких кристаллов. Были приготовлены нанопленки толщиной от двух до сотен молекулярных слоев, упорядоченная структура пленок получена с использованием электрического и магнитного поля. В экспериментах использовались микрочастицы высокотемпературной фазы (холестерик) и сферические частицы из полистирола. Взаимодействие частиц осуществляется за счет деформации частицами молекулярного (ориентационного) поля упорядочения пленок и образования вблизи частиц или на их поверхности топологических дефектов, что существенно трансформирует оптические характеристики нанопленок. Исследовалось поведение частиц, представляющих собой топологические диполи.

1. Впервые в нанопленках исследовано взаимодействие и самоорганизация частиц с различными направлениями диполей. Обнаружено существование двух типов димеров из частиц с антипараллельной ориентацией диполей. Для частиц с равными по абсолютной величине диполями получающиеся димеры являются топологическими квадрупольями. Ориентация димера, образованного частицами с двумя топологическими дефектами силой $1/2$, относительно направления поля молекулярного упорядочения зависит от угла, образованного дефектами и центром частицы.

2. Установлено, что изменение соотношения между величиной хиральности и двумерной ориентационной упругости нанопленок при изменении температуры контролируемым образом приводит к образованию и диссоциации димеров из дипольных частиц. Распад димеров на отдельные частицы связан с изменением величины и направления дипольного момента частиц.

3. Рассчитана трансформация в электрическом поле геликоидальной структуры антисегнетоэлектрических жидкокристаллических пленок в солитонные состояния. Показана возможность образования трех типов солитонов, структурные переходы между которыми происходят при изменении величины электрического поля. Солитоны в метастабильном состоянии могут существовать при величинах электрических полей как меньших, так и больших поля раскрутки спиральной структуры антисегнетоэлектрика.

4. Исследован процесс нековалентной модификации углеродных наноматериалов фосфорорганическими соединениями. Полученные материалы эффективно сорбируют ионы редкоземельных элементов из водных растворов.

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. P.V. Dolganov, V.K. Dolganov and P. Cluzeau, Behavior of inclusions with different value and orientation of topological dipoles in ferroelectric smectic films, ЖЭТФ 136, 197 (2009), [JETP 109, 169 (2009)].
2. P.V. Dolganov, E.I. Kats, V.K. Dolganov, P. Cluzeau, Dimer structures formed in smectic films by inclusions with parallel and antiparallel topological dipole moments, Письма в ЖЭТФ 90(5), 424-428 (2009).
3. A.N. Turanov, V.K. Karandashev, Absorption of lanthanides (III) from aqueous solutions by fullerene black modified with di(2-ethylhexyl)phosphoric acid, Centr. Eur. J. Chem.7, 54 (2009).
4. P.V. Dolganov, P. Cluzeau, Self-organization of inclusions with various topological charge and topological dipole moment in smectic films, 10th European Conference on Liquid Crystals, April 19th -24th 2009, Colmar, France; O-27
5. P.V. Dolganov, V.M. Zhilin, V.K. Dolganov, E.I. Kats, Transformation of the antiferroelectric structure in electric field, 10th European Conference on Liquid Crystals, April 19th -24th 2009, Colmar, France; P-134

10.31. Управляемые дефекты в углеродных нанотрубках.

Руководитель проекта:

Жуков Алексей Алексеевич

Учреждение Российской академии наук

Институт физики твердого тела РАН

(ИФТТ РАН), Черноголовка, Мос.обл.,

Институтская ул. д.2, 142432, Россия

тел. (496) 522 2946; факс: (496) 5249701,

E-mail: alexey.zhukov@rambler.ru

Участники проекта: Шашкин А.А., Девятков Э.В., Храпай В.С., Мельников М.Ю.,
Капустин А.А.

1. Была отработана методика создания образцов на основе одностенных и многостенных углеродных нанотрубок, синтезированных методом электро-дугового разряда.
2. Были освоены и оптимизированы бесконтактные сканирующие методики по измерению локальной дифференциальной ёмкости и определению локального измерения работы выхода.
3. Были подробно исследованы локальная дифференциальная ёмкость и определена работа выхода многостенных и одностенных углеродных нанотрубок бесконтактными сканирующими методиками [1, 2].
4. Были подробно исследованы локальная дифференциальная ёмкость одностенных углеродных нанотрубок интеркалированных CuI бесконтактными сканирующими методиками. Были определены области, в которых работа выхода исследуемых нанотрубок была существенно изменена наличием монокристаллов CuI внутри трубок [1, 2].

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. A. A. Zhukov, V. K. Gartman, D. N. Borisenko, M. V. Chemysheva, and A. A. Eliseev. "Measurements of Work Function of Pristine and CuI Doped Carbon Nanotubes". Journal of Experimental and Theoretical Physics 109, 307–313 (2009).
2. Scanning probe measurements of CuI doped single-walled carbon nanotubes Alexey A. Zhukov, Valentina K. Gartman, and Andrey A. Eliseev, Proc. SPIE Vol. 7364, 736400

10.32. Особенности температурных зависимостей оптических свойств наносцинтилляторов.

Руководитель проекта:

Классен Николай Владимирович

ИФТТ РАН

142432 Черноголовка, ул. Институтская, 2.

тел. (496) 522 - 4694; факс: (496) 524-9701

E-mail: klassen@issp.ac.ru

Участники проекта: Кедров В.В., Курлов В.Н., Шмурак С.З., Шмытько И.М., Кобелев Н.П., Колыванов Е.Л., Киселев А.П., Кудренко Е.А., Кривко О.А.

1. Показано, что в нанокристаллических сцинтилляторах длины свободного пробега электронов, возбуждаемых рентгеновскими и гамма – квантами с валентных оболочек атомов, существенно превышают размеры наночастиц. Это объясняется тем, что при фотоэлектрическом поглощении квантов с киловольтными энергиями скорости участвующих в этом процессе электронов становятся сопоставимы со скоростью света, за счет чего сечения их рассеяния ионами и другими объектами кристаллической решетки резко уменьшаются. С этой точки зрения комнатная температура для наночастиц может считаться низкой. Основной причиной рассеяния фотоэлектронов становится их взаимодействие с внешними границами наночастиц [1], что приводит к нескольким явлениям, весьма важным для понимания как особенностей процессов в нанокристаллах, так и для разработки на этой основе новых технологий, материалов и устройств.

2. Обнаружено, что передача энергии электронных возбуждений, созданных в наносцинтилляторах поглощаемыми ими ионизирующими фотонами, в приведенные с ними в контакт органические люминофоры многократно (до миллиона раз) ускоряет кинетику высвечивания сцинтилляторов [2], сокращая этот процесс до наносекундного уровня без потери интегральной интенсивности. Для объяснения столь значительного ускорения предлагаются модели двух новых явлений: сильно ускоренного захвата быстрых неравновесных электронов приповерхностными состояниями наночастиц и безызлучательной передачи энергии этих электронов связанным с этими состояниями органическими люминофорам. Указанная связь осуществляется, например, образованием химического комплекса редкоземельным ионом на поверхности наночастицы и молекулой люминофора. Резко увеличенное сечение захвата быстрых электронов приповерхностными состояниями объясняется снятием требования сохранения импульса при фоновой релаксации энергии электронов за счет нарушения трансляционной симметрии у поверхности и повышением скорости фоновой релаксации благодаря вовлечению в нее высокоэнергетических колебаний органического люминофора.

3. При облучении рентгеновским потоком планарной структуры конденсаторного типа, состоящей из двух металлических обкладок (как минимум одна из которых изготовлена из тяжелого металла) с диэлектрической прослойкой между ними, имеющей субмикронную толщину, обнаружено многократное снижение электрического сопротивления данной изолирующей прослойки. Это явление объясняется инжектированием быстрых электронов, образованных в тяжелом металле при поглощении рентгеновских фотонов, в слой диэлектрика и последующим образованием в указанном слое электронного ливня при ионизирующих столкновениях быстрого электрона с ионами, составляющими диэлектрик.

4. При оптическом возбуждении наночастиц фторидов лютеция или лантана фотонами с энергиями значительно ниже ширины запрещенных зон указанных материалов (когда быстрые электроны в зоне проводимости возникнуть не могут) обнаружено возникновение длинноволнового медленного послесвечения с временами спада порядка одной – двух секунд. Так как в частицах того же материала микронных и более размеров послесвечение не наблюдается, оно объясняется существованием на поверхности наночастиц фторидов каналов замедленной рекомбинации электронных возбуждений, которые обладают большими сечениями их захвата.

5. Разработаны комбинированные структуры из микрокапиллярных матриц с перегородками из прозрачного стекла и введенными в микрокапилляры наносцинтилляторами, образующие основу радиационных детекторов повышенной эффективности, в которых преимущества нанокристаллических сцинтилляторов сочетаются со световодными функциями межкапиллярных перегородок. Показано, что применение наносцинтилляторных матриц подобного типа обеспечивает улучшение пространственного разрешения рентгеновских диагностических систем на порядок.

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. N. V. Klassen, V. V. Kedrov, Yu. A. Ossipyan, S.Z. Shmurak, I.M. Shmyt'ko, O.A. Krivko, et.al., "Nanoscintillators for Microscopic Diagnostics of Biological and Medical Objects and Medical Therapy", IEEE Transactions on Nanobioscience, March 2009, p. 20 – 32.
2. N.Klassen, V. Kedrov, A. Ganin, et.al., "Development of fast radiation detectors based on nanocomposites from inorganic and organic scintillators", Abstracts of 10-th International Conference on inorganic scintillators and their applications, Korea, June 8 – 12, 2009, p. 128
3. Н.В. Классен, В.В.Кедров, В.Н. Курлов, О.А. Кривко,et.al., «Наносцинтилляторы для новых методик медицинской диагностики и терапии», Биотехносфера, № 3, 2009, стр. 2 -11, С-Петербург.

10.33. Создание и исследование низкоразмерных (1D-, 2D-) структур на вицинальных поверхностях полупроводников и металлов методами сканирующей зондовой микроскопии и электронной спектроскопии.

Руководитель проекта:

Молотков Сергей Николаевич

Учреждение Российской академии наук

Институт физики твердого тела РАН

142432 Черноголовка Московской обл.,

ул. Институтская, д.2.

тел.: (096) 9628091, факс: (096) 5249701,

E-mail: molotkov@issp.ac.ru

Участники проекта: С.И. Божко, А.М. Ионов, С.С. Назин, А.Н. Чайка, В.Н. Семенов, Д.А. Фокин

С помощью сверхвысоковакуумной сканирующей туннельной микроскопии с атомным разрешением проведены исследования условий формирования, атомной и электронной структуры упорядоченных низкоразмерных систем на базе атомно-чистых вицинальных поверхностей Si(hhm) [1-13]. Результаты проведенных исследований демонстрируют, что регулярные системы с близкой периодичностью ступеней могут быть сформированы на чистых поверхностях Si(hhm) при различных конфигурациях ступеней и атомной структуре террас [4-7,12,13]. Показано, что регулярная ступенчатая поверхность с локальной ориентацией Si(557) может содержать одну ячейку реконструкции 7×7 [4,5] или 5×5 [7,13] в пределах террас в зависимости от атомной структуры тройной ступени. Атомная структура различных конфигураций тройных ступеней разрешена с помощью взаимодополняющих методов физики поверхности (СТМ, ДМЭ, УФЭС) [4-7].

Проведены исследования особенностей роста островков свинца на вицинальной поверхности кремния Si(557) в интервале покрытий 0-10 монослоев [1,2]. Данные СТМ демонстрируют рост по модели Странски-Крастанова с расслаиванием островков свинца на слои толщиной примерно 7 монослоев. Наблюдаемое в эксперименте расслаивание может быть связано с «электронным ростом» островков свинца или особенностями атомной структуры ступенчатой поверхности Si(557), использованной в качестве подложки. Возможные объяснения предложены в [1,2,10,11].

С помощью низкотемпературной (4.3 К) сканирующей туннельной микроскопии и спектроскопии в условиях сильных магнитных полей проведены исследования особенностей сверхпроводящего состояния в наноструктурах свинца на вицинальной поверхности Si(111) [3]. Показано, что в островках свинца с характерными размерами $110\times 110\times 5.5\text{нм}^3$ в зависимости от величины магнитного поля ($H < 1\text{ Т}$) возможны два различных сверхпроводящих состояния: одно- и безвихревое. Данные сканирующей туннельной спектроскопии [3] позволяют проследить роль сверхпроводящих токов при формировании двух возможных конфигураций.

Проведены исследования атомной структуры упорядоченных 1D и 2D структур гадолиния, формирующих на террасах вицинальной поверхности Si(556) при покрытиях $\Theta \sim 0.2$ и $\Theta \geq 2$ монослоя [8,9]. Особенности силицидных фаз гадолиния на террасах Si(111) с атомной структурой типа (5×2) и $(\sqrt{3}\times\sqrt{3})R30^\circ$ исследованы с помощью высокоразрешающей сканирующей туннельной микроскопии при различных параметрах туннелирования (туннельное напряжение и сопротивление туннельного промежутка). Показано, что данные СТМ, полученные при малых величинах туннельного зазора, отражают структуру упорядоченной решетки вакансий атомов

кремния (типа $(\sqrt{3}\times\sqrt{3})R30^\circ$) в приповерхностных слоях дисилицида гадолиния вплоть до пятого слоя, расположенного на глубине порядка 1 нм относительно поверхностного слоя атомов кремния [9].

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. D.A. Fokin, S.I. Bozhko, V. Dubost, F. Debontridder, A.M. Ionov, T. Cren, D. Roditchev. «Growth of layered wedge-shaped islands of Pb on vicinal Si: Signature of electron confinement», Phys. Rev. B, submitted.
2. D.A. Fokin, S.I. Bozhko, V. Dubost, F. Debontridder, A.M. Ionov, T. Cren, D. Roditchev. «Electronic growth of Pb on the vicinal Si surface». Physica Status Solidi, in press.
3. T.Cren, D.A. Fokin, F.Debontridder, V.Dubost, and D. Roditchev. «Ultimate Vortex Confinement Studied by Scanning Tunneling Spectroscopy», Phys. Rev. Letters 102, 127005 (2009).
4. A.N. Chaika, D.A. Fokin, S.I. Bozhko, A.M. Ionov, F.Debontridder, V.Dubost, T.Cren, D. Roditchev. «Regular stepped structures on clean Si(hhm)-7×7 surfaces», J. Appl. Phys. 105, 034304 (2009).
5. A.N. Chaika, D.A. Fokin, S.I. Bozhko, A.M. Ionov, F.Debontridder, V.Dubost, T.Cren, D. Roditchev. «Atomic structure of a regular Si(223) triple step staircase», Surf. Sci. 603 (2009) 752.
6. А.Н. Чайка, Д.А. Фокин, С.И. Божко, А.М. Ионов, F.Debontridder, V.Dubost, T.Cren, D. Roditchev. «Регулярные системы ступеней на базе чистых поверхностей Si(hhm)7×7», Известия РАН, серия физическая, 73 (2009) 716.
7. A.N. Chaika, V.N. Semenov, V.G. Glebovskiy and S.I. Bozhko. «Scanning tunneling microscopy with single crystalline W[001] tips: high resolution studies of Si(557)5×5 surface», Appl. Phys. Letters, v.95, issue 17 (2009).
8. A.N. Chaika, S.I. Bozhko, A.M. Ionov. «STM studies of low dimensional Gd structures on Si(556) surface», статья в журнал Surface Science, in preparation.
9. A.N. Chaika. «Distance dependent STM imaging of gadolinium silicide grown epitaxially on vicinal Si(111)». 26th European Conference on Surface Science (ECOSS-26), 30.08.2009—04.09.2009, Parma, Italy.
10. D.A. Fokin, S.I. Bozhko, V. Dubost, F. Debontridder, A.M. Ionov, T. Cren, D. Roditchev. «Electronic growth of 3D Pb islands on the Si(557) surface». 12th International Conference on the Formation of Semiconductor Interfaces (ICFSI-12), July 5-10, 2009, Weimar, Germany.
11. D.A. Fokin, S.I. Bozhko, V. Dubost, F. Debontridder, A.M. Ionov, T. Cren, D. Roditchev. «Electronic growth of 3-dimensional Pb islands on the Si(557) surface». 26th European Conference on Surface Science (ECOSS-26), 30.08.2009—04.09.2009, Parma, Italy.
12. D.A. Fokin, A.N. Chaika, S.I. Bozhko, A.M. Ionov, F. Debontridder, V. Dubost, T. Cren, D. Roditchev. «Atomic structure of the regular step arrays on clean Si(557) surfaces: STM, LEED and photoemission studies». 26th European Conference on Surface Science (ECOSS-26), 30.08.2009—04.09.2009, Parma, Italy.
13. А.Н. Чайка, С.С. Назин, В.Н. Семенов, В.Г. Глебовский, С.И. Божко. «Применение монокристаллических вольфрамовых зондов в сканирующей туннельной микроскопии с атомным разрешением». VII Национальная конференция «Рентгеновское, Синхротронное излучения, Нейтроны и Электроны для исследования наносистем и материалов. Нано-Био-Инфо-Когнитивные технологии» (РСНЭ – НБИК 2009). 16-21 ноября 2009г., г.Москва.

10.34. Структура и свойства многокомпонентных ионных комплексов фуллеренов.

Руководитель проекта:

Хасанов Салават Салимьянович

Институт физики твердого тела РАН

г. Черноголовка Московской обл.,

ул. Институтская, 2

тел. (496)5225285, факс: (496) 5249701,

E-mail: khasanov@issp.ac.ru

Участники проекта: В.Г. Тиссен, Л.В. Зорина, А.И. Шалынин, А.Ф. Шевчун

1. В рамках выполнения планов этапа 2009 года были проведены рентгенструктурные исследования монокристаллов 18 новых молекулярных и ионных комплексов фуллеренов с общей формулой $(D_1^+)_{n-1} \cdot (\text{Фуллерен}^{n-}) \cdot (D_2)$. В качестве структурообразующей молекулы D_2 кристаллы содержали порфирилаты переходных металлов и триптицен (TPC), в качестве катионов D_1^+ в структуру входили МДАВСО⁺ (метилдiazобидиклоктан) и его производная MQ⁺ (метилхинукледиин), TDAE⁺ (тетракис(диметиламино)-этилен), DMГ⁺ (диметилимидазол) и TMP⁺ (триметилпиперазин).

2. Исследованы структура и свойства нового ионного комплекса фуллерена $(MQ^+) \cdot (C_{60}^{\bullet-}) \cdot TPC$ (1). Комплекс содержит гексагональные слои из анионов фуллеренов, чередующиеся со слоями из MQ⁺ и TPC. Катион MQ⁺ в силу замены атома азота на СН группу по сравнению с МДАВСО⁺ располагается несимметрично относительно фуллеренового слоя, нарушая гексагональную симметрию упаковки. «Лежащее» расположение катиона приводит к увеличению межфуллереновых расстояний в слое, в результате молекулярные орбитали фуллеренов перекрываются мало и не образуют достаточную для металлической проводимости энергетическую зону. Локализованные спины проявляют антиферромагнитное взаимодействие в температурном интервале 50-300К, при более низких температурах взаимодействие усложняется.

3. В ионном комплексе $TPC \cdot (C_{60}^{\bullet-})_2 \cdot (MDABCO^+)$ детально изучен процесс ориентационного упорядочения фуллереновых молекул при охлаждении от 350 до 180К. Структура кристалла (R-3, $a = 28.27$, $\alpha = 20.45^\circ$) содержит чередующиеся кристаллографически неэквивалентные плотноупакованные слои фуллерен-анионов, $C_{60}^{\bullet-}$, причем слои однородные, т.е. имеют гексагональную симметрию и содержат одну молекулу на элементарную ячейку с периодом 10.03Å в слое. Один тип слоев состоит из ориентационно упорядоченных фуллерен-анионов, в то время как в слое второго типа фуллереновые молекулы вращаются. При понижении температуры наблюдается постепенное динамическое упорядочение фуллеренов во втором слое: ниже 300К вращение молекул может быть описано как перескоки между тремя симметричными ориентациями. При 200К происходит остановка динамических перескоков и появляется преимущественное заселение одной из трех ориентаций при дальнейшем понижении температуры. Установление ориентационного дальнего порядка приводит к переходу в металлическое состояние. Выше этой температуры в районе 230К начинается образование флуктуаций этой новой фазы, что сказывается в поведении высокочастотной проводимости и магнитной восприимчивости, которые свидетельствуют о делокализации электронов в флуктуирующих доменах.

4. Интересный случай 2H-типа структуры фуллереновой подрешетки наблюдается в комплексе $(DMГ^+)_3 \cdot (C_{60}^{\bullet-}) \cdot (\Gamma)_2$. Короткие расстояния как в слое, так и между слоями

фуллереновых молекул способствуют эффективному взаимодействию между спинами $C_{60}^{\bullet-}$, а треугольная симметрия упаковки делает это взаимодействие фрустрированным.

5. Охарактеризована структура нового комплекса с σ -димером фуллерена, σ - $(C_{70}^{\bullet-})_2$: $[ZnTPP \cdot (TMP^+)]_2 \cdot (C_{70}^{\bullet-})_2$, в котором, как ожидается, диамагнитный σ -димер находится в приграничной области перехода к бирадикальному π -димеру.

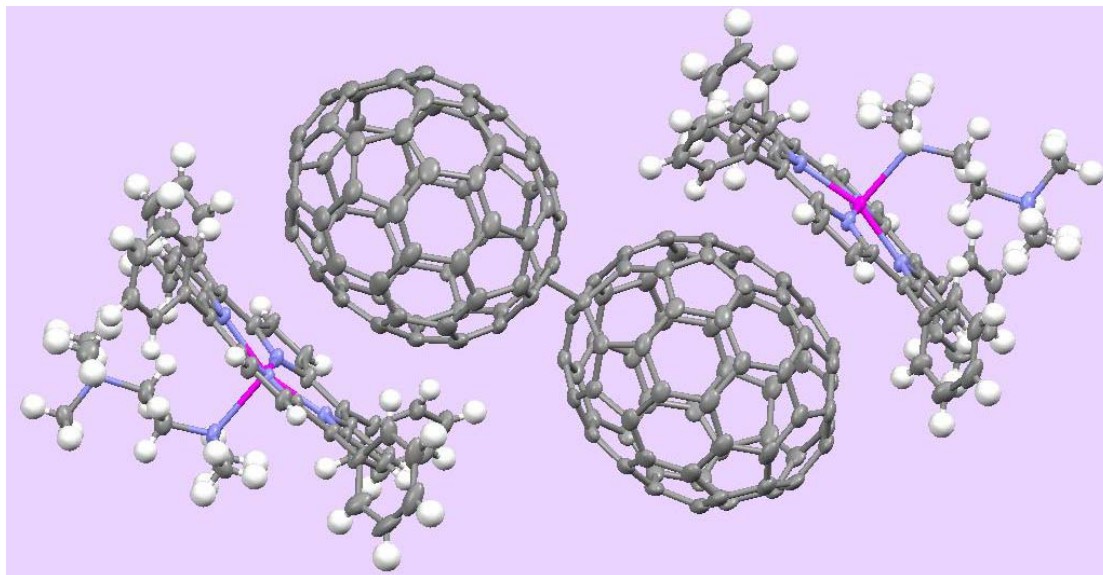


Рис. 1. Структурный мотив комплекса $[ZnTPP \cdot (TMP^+)]_2 \cdot (C_{70}^{\bullet-})_2$, в котором σ - $(C_{70}^{\bullet-})_2$ - димер обхватывается молекулами порфирина, а катионы TMP^+ координируют к порфиринам.

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. Orientation ordering of the fullerene molecules in the ionic multicomponent complex $TPC \cdot (C_{60}^{\bullet-})_2 \cdot (MDABCO^+)$. Salavat Khasanov, Dmitry Konarev, Gunzi Saito, *Acta Cryst.* (2009), A65, S253.
2. The design of ionic complexes of fullerenes manifesting high conductivity and coexistence of high conductivity and magnetic interactions. D.V. Konarev, S.S. Khasanov, G. Saito, R.N. Lyubovskaya, *The 9th Biennial International Workshop Fullerenes and Atomic Clusters (IWFAC 2009)*, 6-10 of July, 2009, St. Petersburg, Russia. Book of abstracts, p. 25.
3. Ionic fullerene complex $(DMI^+)_3 \cdot (C_{60}^{\bullet-}) \cdot (\Gamma)_2$ with three-dimensional $DMI^+ - \Gamma$ network and hexagonal fullerene array. D.V. Konarev, S.S. Khasanov, A. Otsuka, G. Saito, R.N. Lyubovskaya, *CrystEngComm.*, 2009, V. 11, P. 811-816.
4. Effect of the $Co-C(C_{60}^-)$ bond formation on magnetic properties of the ionic complex $\{Cryptand[2,2,2] \cdot (Na^+)\} \cdot \{Co^{II}TPP \cdot (C_{60}^-)\} \cdot (C_6H_4Cl_2)_2$. D.V. Konarev, S.S. Khasanov, A. Otsuka, G. Saito, R.N. Lyubovskaya, *Dalton Trans.*, 2009, P. 6416-6420.

10.35. Прямое наблюдение вихревых и доменных структур мезо – и наноскопических размеров в сверхпроводниках и магнетиках.

Руководитель проекта:

Винников Лев Яковлевич

ИФТТ РАН

132432 Черноголовка Московской обл.

ул.Институтская 2

тел. (496) 522-2952; факс: (496) 524-4421

E-mail: vinnik@issp.ac.ru

Участники проекта: В. В. Больгинов, А. С.Прокофьев, А.Н. Россоленко, И.С. Вещунов, В. А. Обознов, Л. Г. Исаева, Н. С. Степаков, Т.М. Артемова.

1. С помощью усовершенствованной методики декорирования впервые на пленках слабого ферромагнетика $\text{Cu}_{0.47}\text{Ni}_{0.53}$ при гелиевых температурах удалось разрешить лабиринтную доменную структуру с характерным размером доменов 100 нм [1].

2. Разработана технология изготовления узких (шириной ~100нм) плёнок сплава $\text{Cu}_{0.47}\text{Ni}_{0.53}$ для получения монодоменных образцов.

3. Исследованы вихревые структуры монокристаллов высокотемпературного сверхпроводника BSCCO(2212) с мезоскопическими решетками искусственных центров пиннинга, параметры которой соизмеримы с межвихревыми расстояниями. Обнаружены особенности вихревой структуры, обусловленные пиннингом вихрей на искусственных дефектах, создаваемых с помощью облучения ионами (FIB).

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. I. S. Veshchunov, V. A. Oboznov, A. N. Rossolenko, A. S. Prokofiev, L. Ya. Vinnikov, A. Yu. Rusanov, D. V. Matveev, "Observation of the magnetic domain structures in $\text{Cu}_{0.47}\text{Ni}_{0.53}$ thin films at low temperatures", Письма в ЖЭТФ, Т. 88, вып. 11, стр. 791-794 (2008)

10.36 Разработка химических и электрохимических методов приготовления многослойных наноскопических систем металл – ферромагнетик, изучение их структуры и характеристика свойств с целью использования в спиновых переключателях.

Руководитель проекта:

Струков Геннадий Васильевич

Институт физики твердого тела РАН

E-mail: struk@issp.ac.ru

Участники проекта: Рязанов В.В., Струкова Г.К., Зверев В.Н., Божко С.И., Кабанов Ю.П., Шу Э.Д., Шмытько И.М., Мазилкин А.А.

Объект исследования. Коррозионно-стойкие наноразмерные металлические слои с регулируемыми параметрами ферромагнетизма представляют интерес для научных исследований взаимодействия в слоях ферромагнетик-сверхпроводник, а также для практических приложений, в первую очередь для перспективных систем обработки и записи информации. Для достижения однородности магнитных свойств на субмикронном уровне в настоящее время активно изучаются нанокристаллические пленки $Pd_{1-x}Fe(Co,Ni)_x$ и разрабатываются методы их получения. Активное развитие получают химические и электрохимические методы, альтернативные труднодоступным и дорогим методам напыления в высоком вакууме. Разработка таких методик является первой целью данной работы. Другие цели – изучение кристаллической структуры полученных слоев, их магнитных свойств, создание на их основе многослойных систем и исследование их характеристик.

1. Разработан химический метод нанесения нанокристаллических пленок палладия и его сплавов с никелем, кобальтом и железом на металлические подложки. Нанесение проводят из органических растворов без приложения электрического тока, пленка покрытия получается в результате взаимодействия органического раствора, содержащего ионы металлов, образующих сплав, с поверхностью подложки. Электронно-микроскопическими исследованиями (ESM и TEM) показано, что на первой стадии на поверхности подложки образуется сплошная пленка, образованная сферическими кристаллитами размером 5-15 нм, затем на пленке нарастают сфероидные кластеры размером 200-300 нм, состоящие из более мелких кристаллитов [1,2].

2. Разработана автоматизированная электрохимическая установка для нанесения на проводящие подложки заданного количества наноразмерных слоев различных металлов. Металлические слои осаждают на образец в гальванических ячейках из растворов соответствующих электролитов. Катодом служит образец, анодом – пластина из инертного или растворяющегося в процессе электролиза металла. Осаждение ведут, пропуская сквозь раствор электролита между образцом и анодом прямоугольные импульсы тока от генератора импульсов, управляемого компьютером, задавая в каждом опыте амплитуду (30-600 мА), длительность (3-300 мсек) и количество импульсов (50-500). Последовательность прохождения образцом гальванических ячеек и промывочных ванн задана программно. В сочетании с эффективным набором электролитов для электроосаждения металлов установка позволяет получать многослойные структуры заданной конфигурации с чередованием нанометровых слоев различных металлов: нормальный металл, ферромагнетик, парамагнетик, антиферромагнетик или сверхпроводник. Приведены характеристики многослойного покрытия «нормальный металл (медь)-ферромагнетик(сплав палладий-никель)» [3].

На рис.1 показаны доменная структура пленки Pd/Ni-25/75 вес.% на латунной подложке, толщина пленки 50 нм (а); фрагмент поперечного сечения образца с многослойным покрытием из чередующихся слоев меди и сплава Pd/Ni на полированной латунной подложке с толщиной медного слоя 50 нм и толщиной слоя Pd/Ni -200 нм (б); магнитная структура поперечного сечения образца с многослойным покрытием (в).

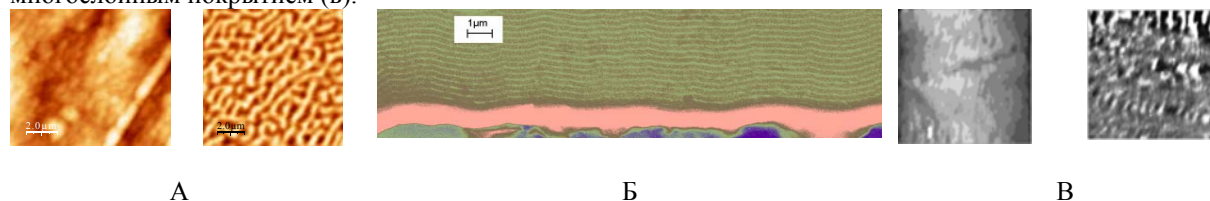


рис.1

3. Импульсным электроосаждением из органического электролита на подложки из латуни, меди и кремния получены пленки $Pd_{1-x}Fe_x$ различного состава. Изучали структуру и магнитные свойства

электроосажденных пленок без использования отжига. Рентгенофазовым анализом для пленки $\text{Fe}_{24}\text{Pd}_{76}$ определена структура твердого раствора в ГЦК-решетке палладия с текстурой в ориентации нанозерен в направлении (111) к поверхности подложки. Пленки с большим содержанием железа, например, $\text{Fe}_{91}\text{Pd}_9$ имеют структуру твердого раствора на основе ОЦК-решетки железа. На дифрактограммах пленок чистого палладия и твердого раствора со стороны палладия наблюдается однотипное уширение пиков, связанное с наноскопическим размером кристаллитов. ТЕМ-исследование и картины электронной дифракции показали, что пленки, содержащие 14 и 52 ат.% Fe имеют структуру ГЦК, а пленка сплава с 74% Fe – ОЦК-решетки. Средний размер зерна для первых двух сплавов составляет 7-10 нм, а для последнего около 120 нм. Приведены SEM- снимки поверхности пленок различного состава, на которых видны кластеры, состоящие из нанозерен. На пленке $\text{Fe}_{24}\text{Pd}_{76}$ с помощью магнитно-силовой микроскопии обнаружена доменная структура в виде ориентированных в одном направлении доменов.

Кривые намагничивания (рис.2) снимались на вибрационном магнитометре VSM-155 фирмы EG&G, поле лежало в плоскости плёнок.

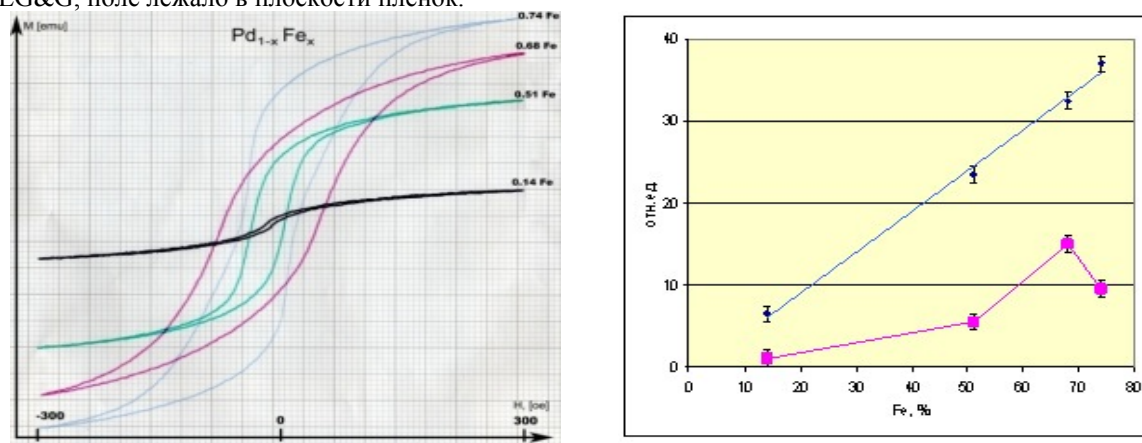


Рис.2

Намагниченность насыщения увеличивается с возрастанием содержания железа в плёнке практически линейно, однако зависимость коэрцитивности при этом немонотонна, пленка с содержанием железа 68 ат.% показала максимум коэрцитивности, что, по-видимому, связано с изменением структуры плёнки. Для всех образцов наблюдалось смещение петли гистерезиса относительно нуля.

Экспериментальные спектры ФМР пленок $\text{Fe}_5\text{Pd}_{95}$ и $\text{Fe}_{17}\text{Pd}_{83}$ позволяют сделать вывод о ярко выраженной анизотропии магнитных свойств в плоскости пленок.

4. Разработанные бестоковый и электроимпульсный методы нанесения наноразмерных металлических слоев могут быть использованы в сочетании с оптической литографией и плазменной обработкой для создания структур заданной геометрии и состава [5].

5. Слоистое покрытие Ni/Pd-Ni/Au было использовано для создания электропроводного защитного антикоррозионного слоя на поверхности хромистой стали. Образец интерконнектора с таким покрытием сохранил электропроводность при нагревании в продолжение 6000 часов в реальных условиях работы твердооксидного топливного элемента (850 °C, воздушная атмосфера, контакт с катодной керамикой, токовая нагрузка 0,5 А/см²). В настоящее время изучается механизм образования и действия защитного слоя [6].

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

- G.K. Strukova, G.V. Strukov, I.E. Batov, M.K. Sakharov, E.A. Kudrenko, A.A. Mazilkin,
- Studies of nanocrystalline Pd alloy films coated by electroless deposition, Materials Chemistry and Physics, In Press, Available online 30 September 2009. DOI:10.1016/j.matchemphys.2009.09.009.
- G.V. Strukov, G.K. Strukova, I.E. Batov, M.K. Sakharov, E.A. Kudrenko, A.A. Mazilkin,
- "Nanocrystalline Pd alloy films coated by electroless deposition", 4th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SURFACES COATINGS AND NANOSTRUCTURED MATERIALS, 19-22 Oct., 2009, Rome (Italy), №NS-75. Nanoscience and nanotechnology, 2009, in Press.
- Г.В.Струков, Г.К.Струкова, Э.Д.Шу, С.И.Божко, Ю.П.Кабанов. Установка для получения металлических многослойных покрытий с нанометровой толщиной слоев. Приборы и техника эксперимента, 2009, №5, с.1-4.
- G.K.Strukova, G.V.Strukov, S.I.Bozhko, Yu.P.Kabanov, I.M.Shmytko, A.A.Mazilkin, N.A.Sobolev, E.R.Zhiteytshev, A.A.Suhanov, V.K.Voronkova, Lenar Tagirov. "Structure and magnetic properties of nanostructured PdFe thin films produced by pulse electrodeposition", 4th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SURFACES COATINGS AND NANOSTRUCTURED MATERIALS, 19-22 Oct., 2009, Rome (Italy), №NS-194. Nanoscience and nanotechnology, 2009, in Press.
- Второй международный форум по нанотехнологиям (Rusnanotech-09), 6-8 октября, 2009, Москва (Россия). С.В.Егоров, В.С.Столяров, Г.В.Струков, Г.К.Струкова. «Методика получения металлических многослойных покрытий с нанометровой толщиной слоя» (Тезисы, секция 11, химические технологии наноматериалов).
- N.Ledukhovskaya, E.Frolova, G.Strukov, D.Matveev and S.Bredikhin. "New Type of Current Collectors with modified near-surface layer", The Electrochemical Society transactions, vol.25, no.2 (2009), p.p.1523-1528.

10.37. Получение новых соединений на основе фуллерена C_{60} и исследование их свойств.

Руководитель проекта:

Сидоров Николай Сергеевич

ИФТТ РАН, Черноголовка.

тел. (495) 962-80-54

факс: 8(496) 524 9701

E-mail: paln@issp.ac.ru

Участники проекта: Пальниченко А.В., Вяселев О.М., Белов Н.А., Глебовский В.Г., Рыбченко О.Г., Хасанов С.С., Сахаров М.К.

Задача проекта заключалась в исследовании возможности получения новых соединений фуллеритов, интеркалированных тугоплавкими веществами, не доступных для получения традиционными методами интеркалирования в связи с термической неустойчивостью молекул фуллерена C_{60} при температурах, превышающих ~ 1300 К.

1. В ходе работы нами продемонстрирована принципиальная возможность проведения процесса высокотемпературной и быстропротекающей интеркаляции фуллерита C_{60} , кинетически препятствующего термическому разложению молекул фуллерена в ходе высокотемпературной интеркаляции фуллерита C_{60} . Таким образом, указанный процесс позволяет проведение интеркаляции фуллерита C_{60} тугоплавкими веществами [1,2].

2. Идея высокотемпературной интеркаляции фуллерита C_{60} реализована путем высокотемпературного (~ 1300 - 2000 К) и быстропротекающего (~ 1 - 6 с) процесса самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) [2-4].

3. Указанным процессом СВС проведены показательные реакции фуллерита C_{60} с щелочными (К, Rb) и щелочноземельными (Са, Ва) металлами [2-4]. Выбор типа реагентов обусловлен возможностью сравнения сверхпроводящих и структурных свойств соединений, полученных в данной работе, с известными литературными данными для соответствующих соединений, синтезированных традиционными методами интеркалирования фуллеритов.

4. Данные рентгеновской дифракции, а также измеренные температуры сверхпроводящего перехода полученных этим путем соединений свидетельствуют об образовании интеркалированных щелочными и щелочноземельными металлами фуллеритов C_{60} , получаемых традиционными низкотемпературными технологиями. Таким образом, открываются перспективы применения процессов СВС для получения фуллеритов C_{60} , интеркалированных тугоплавкими элементами и веществами, не доступных для получения ранее известными технологиями [2-4].

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. Yu. A. Ossipyan, N. S. Sidorov, A. V. Palnichenko, O. M. Vyaselev, M. V. Kartsovnik M. Opel, V. V. Avdonin, D. V. Shakhrai, V. E. Fortov. Superconductivity of Calcium C_{60} Intercalation Compound Synthesized by Shock-Wave Pressure. Труды 9 Международной конференции "Фуллерены и атомные кластеры" (IWFAC'2009) . Санкт-Петербург, Россия 2009, С.32.
2. N. S. Sidorov, A. V. Palnichenko, O. G. Rybchenko, S. S. Khasanov, and O. M. Vyaselev. A technique for the rapid intercalation of alkali and alkaline-earth metals into crystalline C_{60} using self-propagating high temperature synthesis. Carbon 2009, V.47, P.3019-3022.

3. Н.С. Сидоров, А.В. Пальниченко, О.Г. Рыбченко, С.С.Хасанов. Интеркаляция кристаллов фуллерена C_{60} кальцием путем самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Неорганические материалы 2009 (в печати).
4. Н.С. Сидоров, А.В. Пальниченко, В.Г. Глебовский. Способ интеркаляции кристаллов фуллерена C_{60} щелочными и щелочноземельными металлами. Заявка на патент № 2009124096 (033400) от 25.06.2009.
- 5.

10.38. Магнитная структура и свойства низкоразмерных проводников (микропроводов) в стеклянной оболочке с аморфной и нанокристаллической сердцевиной и их взаимосвязь со структурой.

Руководитель проекта:

Аронин Александр Семенович

Тел: (496) 5224689

Факс: (496) 5249701

E – mail: aronin@issp.ac.ru

Участники проекта: Абросимова Г. Е., Кабанов Ю. П., Матвеев Д. В., Рыбченко О.Г., Кудренко Е. А., Холстинина Н. Н, Рязанкин Г.А., Бубнов И.В.

Методами рентгенографии, электронной микроскопии, магнитооптики и наноиндентирования исследованы структурные и фазовые превращения при кристаллизации аморфных микропроводов $Fe_{73.9}B_{13.2}Si_{10.9}C_2$ и $Co_{73.6}B_{11.2}Si_{13}C_2$ в стеклянной оболочке. Изучено влияние напряжений на параметры кристаллизации микропроводов сплавов путем сравнения структуры образцов, отожженных в одинаковых условиях в оболочке и без оболочки. Отжиг при температуре ниже $400^\circ C$ не приводил к кристаллизации аморфной фазы. С повышением температуры отжига до $420^\circ C$, наряду с диффузным пиком от аморфной фазы, на рентгенограммах появлялись дифракционные отражения, соответствующие кристаллической фазе - начинается кристаллизация. При повышении температуры отжига до $650^\circ C$ образцы полностью кристаллизуются. На дифрактограммах отожженных образцов сплавов на основе железа присутствует отражения, принадлежащие α -Fe и Fe_3Si . Обе эти фазы имеют объемно-центрированную решетку с очень близкими параметрами (0.28664 нм у ОЦК-Fe и 0.2841 нм у Fe_3Si), поэтому дифракционные отражения от этих фаз практически совпадают. Анализ дифрактограмм с учетом элементного состава микропроводов показал, что обе эти фазы присутствуют в образце. В случае кристаллизации микропроводов на основе железа заметного различия в рентгенограммах образцов, отожженных в изоляции и без нее, не обнаружено. В обоих сплавах при повышении температуры происходит вторая стадия кристаллизации. Полностью закристаллизованный микропровод сплава на основе железа содержал ОЦК-Fe и твердый раствор кремния в железе Fe_3Si , а также небольшое количество боридной фазы.

На начальной стадии кристаллизации микропроводов $Co_{73.6}B_{11.2}Si_{13}C_2$ происходит выделение кристаллов Co из аморфной фазы. Установлено, что при общем сходстве дифракционных картин рентгенограммы образцов, отожженных в изоляции и без изоляции, различаются. На рентгенограмме образца, отожженного в изоляции, интенсивность дифракционных отражений (от кристаллической фазы) выше, чем на рентгенограмме образцов, отожженных без изоляции. Путем разложения экспериментальных пиков на составляющие получено, что после часового отжига при $400^\circ C$ в образце, отожженном в изоляции, доля кристаллической фазы в 1.7 раза больше, чем в образце, отожженном без изоляции.

Обнаруженное различие во влиянии напряжений на кристаллизацию аморфной фазы на основе кобальта и железа может быть обусловлено разной степенью компенсации растягивающих напряжений при образовании кристаллов кобальта и твердого раствора кремния в железе. Измерены механические свойства исходных и отожженных микропроводов. Рассчитаны внутренние напряжения в микропроводах разного состава. Проведено сопоставление структурных характеристик и магнитной (доменной) структуры.

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. Г.Е.Абросимова, А.С.Аронин, Н.Н.Холстинина « Об определении доли кристаллической фазы в аморфно-кристаллических сплавах», ФТТ, принята в печать
2. Г.Е.Абросимова, А.С.Аронин, Н.Н.Холстинина «Влияние стеклянной оболочки на кристаллизацию аморфных микропроводов на основе железа и кобальта» ФММ принята в печать
3. Kholstinina N.N., Aronin A.S., Abrosimova G.E.,Rybchenko O.G.,Matveev D.V. «Study of glass-coating Fe-, Co- and Ni-based microwires structure and phase transformations at the annealing,».Abstracts, 21 International Conference on Applied Crystallography, Zakopane, Poland, September 2009, p.42
4. G.Abrosimova, A.Aronin, N.Kholstinina «Fe-based microwire: structure and magnetic structure» Book of Abstracts, SMM19, Turin, Italy, September 2009
5. Холстинина Н. Н. «Структура микропроводов на основе Fe и Co и ее эволюция с температурой» VI Российская ежегодная конференция молодых научных сотрудников и аспирантов. Сборник статей. Электронное издание «Наука и технологии России– STRF.ru,17-19 ноября 2009 г., ИМЕТ им. А.А. Байкова РАН, Москва 2009

10.39. Заряженные наноструктуры в жидких и твердых растворах

Руководитель проекта:

Шикин Валерий Борисович

ИФТТ РАН

142432 Черноголовка, Инст. Улица 2

тел. (495) 962-80-54; факс: 8(496) 524 9701

E-mail: shikin@issp.ac.ru

Участники проекта: С.Назин, И.Рыжкин, Е.Клиновая.

1. Обнаружено достаточно общее явление дельта-перколяции в 2Д проводящих системах, как вырожденных, так и классических [1].

2. Построена нелинейная теория автолокализации электронов в криогенных средах с отрицательной длиной рассеяния [2].

3. Изучена близкая к стационару асимптотика коррелятора скорость-скорость, определяющая степень не-броуновости в поведении ионов, «разгоняемых» тэта-образным по времени электрическим полем [3]

4. Предлагается трактовка регулярно наблюдаемых релаксационных колебаний тока в электролите (жидком или твердом) под действием постоянного ведущего поля [4]

5. Начата работа по систематическому описанию влияния кулоновских эффектов на краевые электронные состояния в 2Д проводящих системах при наличии магнитного поля [5]

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. Ju.Chikina, S.Nazin, V.Shikin Delta-percolation in quasi-one-dimensional electron syaytems *Physica B* 404, (2009), 459
2. С.Назин, В.Шикин ФНТ 95, (2009), 396
3. S. Nazin and V. Shikin Localized electrons in dense heavy noble gases (396-400)
4. Ju.Chikina, S.Nazin, V.Shikin Dynmics of charged clusters in liquids in pseudo-steady regime, *Europhys. Letters* 85, (2009), 16001
5. . Ju.Chikina, S.Nazin, V.Shikin Релаксационные колебания тока в электролите; ХХ1 Симпозиум «Современная Химическая Физика», Туапсе 2009, стр 104
6. В.Шикин, С.Назин Кулоновские краевые состояния в 2Д электронных системах. Письма ЖЭТФ 90, (2009), 69

10.40. Электронная структура и динамика отклика наноматериалов после фемтосекундных энергокладов большой мощности

Руководитель проекта:

Норман Генри Эдгарович

ОИВТ РАН

125412 Москва, ул.Ижорская 13, корп. 2.

тел. (495) 485-8545; факс: (495) 485-7990

E-mail: norman@ihed.ras.ru

Участники проекта: В.В. Стегайлов, И.Ю. Скобелев, С.В. Стариков, О.В. Сергеев.

1. Конечно-температурная формулировка теории функционала плотности используется для описания г.ц.к. кристалла LiF в двухтемпературном состоянии разогретого плотного вещества с горячими электронами и холодной решеткой, которое образуется после сверхбыстрого энергоклада фемтосекундным рентгеновским импульсом. Рассматриваются устойчивость решетки и межатомное взаимодействие при повышенных электронных температурах. Возбуждение электронной подсистемы до температур $T_e \sim 3\text{эВ}$ приводит к потере механической устойчивости г.ц.к. решетки LiF, что проявляется в виде мягкой акустической моды и должно предположительно приводить к нетермическому плавлению. Соответствующее перераспределение электронной плотности показывает, что исходная сильная ионная связь приобретает ковалентный характер с увеличением электронной температуры.

2. Проведены расчеты скорости электрон-фононного взаимодействия в простых и d-металлах (Al, Au, W) при электронных температурах до 4-6 эВ. В расчетах учтено влияние электронной температуры на зонную структуру металла, эффективное межатомное взаимодействие и дисперсию фононов.

3. Создан вычислительный метод определения эффективных межатомных потенциалов для материалов с ковалентными связями. Метод основан на подгонке сил, действующих на атомы, к результатам первопринципных квантово-механических расчетов для ансамбля атомных конфигураций. Метод позволяет получать эффективные потенциалы межатомного взаимодействия электронно-возбужденного материала, которые используются в классических молекулярно-динамических моделях структурной релаксации при отклике на энергоклады большой мощности.

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. A.Yu. Kuksin, G.E. Norman, V.V. Stegailov, and A.V. Yanilkin. Molecular simulation as a scientific base of nanotechnologies in power engineering // Journal of Engineering Thermophysics. 2009. V.18. N.3. P.197-226.
2. V.V. Stegailov. Superheating Stability of LiF crystal in the warm dense matter state // Contrib. Plasma Phys. 2009. (in press)

10.41. Магнитные, электрические и оптические свойства магнитных наноструктур с геликоидальным распределением намагниченности.

Руководитель проекта:

Фраерман Андрей Александрович
Институт физики микроструктур РАН
ГСП-105 Нижний Новгород, 603950 Россия
тел. (8312) 4324043
факс: (8312) 385553,
E-mail: andr@ipm.sci-nnov.ru

Участники проекта: Гусев С.А., Удалов О.Г., Миронов В.Л., Нефедов И.М.,
Вдовичев С.Н., Климов А.Ю., Рогов В.В., Грибков Б.А.,
Караштин Е.А.

В ходе выполнения проекта получены следующие результаты

1. Разработана технология изготовления туннельных переходов ферромагнетик(CoFe)/изолятор(TaO)/ферромагнетик(CoFe) с латеральными размерами ~ 100 нм. Измерены вольт-амперные характеристики, полученных структур, и их магнитосопротивление. Показано, что величина магнитосопротивления составляет ~ 3% при комнатной температуре и эффект имеет «обменную» природу [1-3].

2. Теоретически исследовано явление естественной оптической активности в магнитных средах, для которых обменное взаимодействие является доминирующим. В рамках феноменологического подхода показано, что явление оптической активности обменной природы может возникать в среде с неоднородным некомпланарным распределением намагниченности. Построена микроскопическая модель оптической активности магнитной среды с геликоидальным распределением намагниченности [4]

3. Теоретически показано, что в среде с неколлинеарным и нестационарным распределением намагниченности течет постоянный электрический ток. Предложена микроскопическая модель этого явления и рассчитан электрический ток, возникающий во «вращающемся» магнитном геликоиде [5].

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. С.Н.Вдовичев и др., Магнитосопротивление многослойных ферромагнитных наночастиц, с.52, Труды XIII международного симпозиума «Нанофизика и наноэлектроника», Н.Новгород, 2009
2. С.Н.Вдовичев и др. Магнитосопротивление многослойных ферромагнитных частиц, Труды XXI международной конференции НМММ-21, Москва, 2009
3. А.А.Fraerman, Magnetic states and transport properties of laterally confined magnetic multilayers, p. 125, Book of Abstracts of international conference “Functional materials-2009”, Ukraine, Partenit, 2009.
4. Е.А.Караштин, О.Г.Удалов, А.А.Фраерман, Оптическая активность в средах с некомпланарным распределением намагниченности, ЖЭТФ, т.136, вып.5, с. 1-7, 2009
5. К.Р.Мухаматчин, И.Д.Токман, А.А.Фраерман, Генерация электрического тока в нестационарной геликоидальной магнитной структуре с.496, Труды XIII международного симпозиума «Нанофизика и наноэлектроника», Н.Новгород, 2009

10.42. Ионные соединения фуллеренов пониженной размерности с различным характером электронного взаимодействия.

Руководитель проекта:

Любовская Римма Николаевна

Институт Проблем Химической Физики РАН

142432 Черноголовка, Пр-т Акю Семенова, 1.

тел. (096) 522 18 52; факс: (096) 522 18 52

E-mail: lyurn@icp.ac.ru

Участники проекта: Конарев Д.В., Юданова Е.И., Литвинов А.Л., Назарова И.Б., Мухамадиева Г. Р.

В результате выполнения проекта в 2009 году; получен комплекс с 3-х мерной гексагональной упаковкой $C_{60}^{\bullet-}$, показывающий необычное ЭПР –поведение. Расшифрована его кристаллическая структура и сравнена со структурой комплекса с металлической проводимостью. Это дало возможность впервые установить факторы, влияющие на существование металлической проводимости в гексагональных фуллереновых слоях слоистых соединений фуллерена. Установлен предел стабильности координационных анионов $\{Co^{II}TPP \cdot (C_{60}^{\bullet-})\}$ - 350 К.

1. Получен новый многокомпонентный ионный комплекс фуллерена $(MQ^+) \cdot (C_{60}^{\bullet-}) \cdot TPC$ (1), где MQ^+ : катион метилхинукледина, TPC: триптицен. Комплекс содержит гексагональные слои из анионов фуллеренов, чередующиеся со слоями из MQ^+ и TPC. Комплекс изоструктурен низкотемпературной фазе ранее исследованного соединения $(MDABCO^+) \cdot (C_{60}^{\bullet-}) \cdot TPC$, в котором наблюдается металлическая проводимость. Однако, несмотря на схожесть кристаллических структур, комплекс 1 не обладает металлическими свойствами. Катион MQ^+ отличается от $MDABCO^+$ только наличием концевой СН группы вместо атома азота. Однако присутствие дополнительного атома водорода кардинально меняет структуру соединения. Катион MQ^+ располагается параллельно фуллереновым слоям, а не перпендикулярно как $MDABCO^+$. Это приводит к увеличению расстояний между анионами C_{60} и появлению асимметрии в фуллереновых слоях уже при комнатной температуре (КТ). В $(MDABCO^+) \cdot (C_{60}^{\bullet-}) \cdot TPC$ все расстояния между центрами анионов фуллеренов одинаковы - 10.073(1) Å и каждый фуллерен имеет 18 C...C контактов короче суммы радиусов двух атомов углерода. В 1 при КТ расстояния между фуллеренами в слое уже не равны и существенно длиннее (10.155(2), 10.124(2) и 10.177 (1) Å). Как результат, в 1 каждый фуллерен имеет только два ВдВ C...C контакта с соседними фуллеренами. По-видимому, именно два этих фактора и приводят к исчезновению металлической проводимости в фуллереновых слоях. Магнитный момент комплекса ($\mu_{эф} = 1.72 \mu_B$) локализован на анион-радикале $C_{60}^{\bullet-}$ и соответствует вкладу одного спина ($S = 1/2$) на формульную единицу. В 1 в фуллереновых слоях в интервале температур 300-50 К наблюдаются сильное антиферромагнитное взаимодействие спинов с температурой Вейса -18.5 К. При низких температурах наблюдается отклонение от закона Кюри-Вейса и проявляются ферромагнитные взаимодействия, приводящие при $T < 20$ К к сильному уширению ЭПР сигнала $C_{60}^{\bullet-}$ и увеличению g-фактора [1].

2. Впервые получен комплекс $(DMI^+)_3 \cdot (C_{60}^{\bullet-}) \cdot (\Gamma)_2$ (2), с трехмерной гексагональной упаковкой $C_{60}^{\bullet-}$, DMI^+ :- катион метилимидазола. Расстояния между центрами $C_{60}^{\bullet-}$ в комплексе большие (11.05 Å), поэтому Ван дер Ваальсовы контакты между фуллеренами отсутствуют. Это приводит к тому, что димеризации анион-

радикалов $C_{60}^{\bullet-}$ не реализуется вплоть до 4 К. Поскольку фуллерены расположены достаточно близко друг к другу, в комплексе возможны магнитные обменные взаимодействия между спинами $C_{60}^{\bullet-}$. Треугольная геометрия, лежащая в основе трехмерной гексагональной упаковки фуллеренов может приводить к фрустрированным антиферромагнитным взаимодействиям спинов $C_{60}^{\bullet-}$ (температура Вейса -12 К в интервале 50-300 К). При комнатной температуре появляется необычно широкий ЭПР сигнал $C_{60}^{\bullet-}$ ($\Delta H = 26$ мТ), который сохраняется вплоть до 77 К, после чего сигнал резко сужается. Как правило, в комплексах $C_{60}^{\bullet-}$ наблюдаются существенно более узкие сигналы ($\Delta H = 2-6$ мТ) при КТ, быстро сужающиеся при понижении температуры [2].

3. Получен ионный многокомпонентный комплекс {Криптанд[2,2,2](Na^+)}·{ $Co^{II}TPP \cdot (C_{60}^-)$ } (3), в котором образуется координационная связь Co-C, с расстоянием 2.26(2) Å при 100 К. По данным ЭПР и СКВИД анион { $Co^{II}TPP \cdot (C_{60}^-)$ } является диамагнитным в интервале от КТ до 4 К. При $T > 350$ К наблюдается обратимое появление ЭПР сигнала и увеличение магнитной восприимчивости, что указывает на диссоциацию координационных связей Co-C и образование несвязанных $C_{60}^{\bullet-}$ и $Co^{II}TPP$. Температура диссоциации координационных анионов { $Co^{II}TPP \cdot (C_{60}^-)$ } установлена впервые, эта температура существенно выше, чем температуры диссоциации димеров $(C_{60}^-)_2$, связанных одной C-C связью (130-250 К) [3].

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. The design of ionic complexes of fullerenes manifesting high conductivity and coexistence of high conductivity and magnetic interactions. D.V. Konarev, S.S. Khasanov, G. Saito, R.N. Lyubovskaya, The 9th Biennial International Workshop Fullerenes and Atomic Clusters (IWFAC 2009), 6-10 of July, 2009, St. Petersburg, Russia. Book of abstracts, p. 25.
2. Ionic fullerene complex $(DMI^+)_3 \cdot (C_{60}^{\bullet-}) \cdot (\Gamma)_2$ with three-dimensional DMI^+ - Γ network and hexagonal fullerene array. D.V. Konarev, S.S. Khasanov, A. Otsuka, G. Saito, R.N. Lyubovskaya, CrystEngComm., 2009, V. 11, P. 811-816.
3. Effect of the Co-C(C_{60}^-) bond formation on magnetic properties of the ionic complex {Cryptand[2,2,2]·(Na^+)}·{ $Co^{II}TPP \cdot (C_{60}^-)$ }·($C_6H_4Cl_2$)₂. D.V. Konarev, S.S. Khasanov, A. Otsuka, G. Saito, R.N. Lyubovskaya, Dalton Trans., 2009, P. 6416-6420.

10.43. Электронные свойства, структура и фемтосекундная спектроскопия материалов из нанотрубок и нанокластерных материалов.

Руководитель проекта:

Лозовик Юрий Ефремович

Институт спектроскопии РАН

тел. (496) 751 08 81; факс: (496) 751 08 86

E-mail: lozovik@isan.troitsk.ru

Участники проекта: Попов А.М., Меркулова С.П., Книжник А.Л., Соколик А.А., Меркулов А.Л., Воронова Н.С., Дейнега А.В., Ефимкин Д.К.

1. Предсказана бозе-эйнштейновская конденсация и сверхтекучесть магнитоэкситонных поляритонов в графене, помещенном в оптическую микрополость в сильном магнитном поле. В отличие от квантовых ям расщепление Раби поляритонов в графене уменьшается с ростом магнитного поля H при больших H [1].
2. Найдены дисперсионные зависимости и спектры фотолюминесценции пространственно разделенных магнитоэкситонов в бислое графена в сильном магнитном поле [2].
3. Исследовано сверхпроводящее спаривание эффективно ультрарелятивистских электронов в допированном графене [3].
4. Изучена природа основного состояния электрон-дырочного бислоя графена при образовании в нем конденсата пространственно разделенных электрон-дырочных пар в режиме сильной связи. Вследствие ультрарелятивистского характера поведения электронов спаривание при сильной связи затрагивает валентную зону и зону проводимости обоих слоев графена. Если щель отлична от нуля в широкой области, то величина щели может быть большой и зависит экспоненциально от энергетической ширины слоя спаривания [4, 5].
5. Изучены оптические, нелинейно-оптические свойства графена и наноструктур, основанных на графене и установлены характерные времена релаксации в фемтосекундном масштабе времен.
6. Рассчитаны зависимости добротности и ее средних термодинамических флуктуаций от температуры для гигагерцового осциллятора на основе двухслойной углеродной нанотрубки. В рамках флуктуационно-диссипационной теории проведен анализ термодинамических флуктуаций характеристик НЭМС.
7. Для большого набора двухслойных углеродных нанотрубок (ДУНТ) рассчитаны рабочие характеристики нанотермометров, работа которых основана на измерении проводимости ДУНТ, изменяющейся в результате относительных тепловых колебаний слоев.
8. Разработана принципиальная схема нанорезонатора нового типа, основанного на малых относительных колебаниях слоев нехиральных соизмеримых ДУНТ. Данный нанорезонатор предназначен для измерения массы молекулы, адсорбированной на внешнем слое или наночастицы, прикрепленной к внешнему слою. С помощью метода функционала плотности рассчитаны частоты нанорезонаторов, основанных на различных ДУНТ. Оценки чувствительности нанорезонаторов в качестве датчиков массы показывают возможность субатомного разрешения.
9. С помощью метода функционала прочности проведен расчет барьеров для относительного движения слоев графена. Предложены принципиальные схемы НЭМС, основанных на относительном движении слоев графена.
10. Проведено моделирование работы нанореле, которое может быть использовано как элемент памяти, с двумя электродами, а также с третьим управляющим электродом,

все электроды которых основаны на нанотрубках. Исследованы зависимости времени переключения нанореле от амплитуды и формы импульса напряжения переключения. Установлена возможность увеличения рабочей частоты наноэлектромеханических ячеек памяти

11. С помощью метода функционала прочности проведен расчет структуры и упругих свойств нанотрубок (5,5) и (10,10) а также барьеров для относительного вращения слоев и их относительного скольжения вдоль оси в (5,5)@(10,10) ДУНТ. На основе этих расчетов сделаны оценки пределов прочности относительно сдвига и коэффициентов диффузии для относительного скольжения вдоль оси и вращения слоев, частот относительных вращательных и поступательных колебаний слоев. Исследован фазовый переход соизмеримость-несоизмеримость.

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. O.L. Berman, R.Ya. Kezerashvili, Yu.E. Lozovik, Bose-Einstein condensation of trapped polaritons in two-dimensional electron-hole systems in a high magnetic field, *Phys. Rev. B* 80, 155302 (2009).
2. Yu.E. Lozovik, A.A. Sokolik, M. Willander, Coherent phases and magnetoexcitons in graphene, *Physica Status Solidi A* 206, 927-930 (2009).
3. Ю.Е. Лозовик, С.Л. Огарков, А.А. Соколик, Теория сверхпроводимости дираковских электронов в графене, *ЖЭТФ* 136, вып. 6(12) (2009) (в печати).
4. Yu.E. Lozovik, A.A. Sokolik, Multi-band pairing of ultrarelativistic electrons and holes in graphene bilayer, *Phys. Lett. A* (2009) (in print).
5. Yu.E. Lozovik, A.A. Sokolik, Ultrarelativistic electron-hole pairing in graphene bilayer, *Eur. Phys. J. B* (2009) (in print).
6. А.М. Попов, Ю.Е. Лозовик, Е. Бичутская, Г.С. Иванченко, Н.Г. Лебедев, Е.К. Криворотов, Электромеханический нанотермометр, основанный на тепловых колебаниях слоев углеродной нанотрубки, *ФТТ* 51(6) 1230-1237(2009).
7. I.V. Lebedeva, A.A. Knizhnik, A.M. Popov, Yu.E. Lozovik and B.V. Potapkin, Dissipation and fluctuations in nanoelectromechanical systems, *Nanotechnology* 20(10) 105202 (2009).
8. А.М. Попов, Ю.Е. Лозовик, А.С. Собенников, А.А. Книжник, Наномеханические свойства и фазовые переходы в двухслойной углеродной нанотрубке (5,5)@(10,10): первопринципные расчеты, *ЖЭТФ* 135(4) 711-720 (2009).
9. E. Bichoutskaia, O.V. Ershova, Ю.Е. Лозовик, А.М. Попов, Первопринципные расчеты предела прочности на сдвиг слоев углеродных нанотрубок, *Письма ЖТФ* 35(14) 59-66 (2009).
10. E. Bichoutskaia, A.M. Popov, Y.E. Lozovik, O.V. Ershova, I.V. Lebedeva, A.A. Knizhnik, Nanoresonator based on relative vibrations of the walls of carbon nanotubes, *Fullerenes, Nanotubes, and Carbon Nanostructures* (submitted).
11. E. Bichoutskaia, A.M. Popov, Y.E. Lozovik, O.V. Ershova, I.V. Lebedeva, A.A. Knizhnik, Modeling of ultrahigh frequency resonator based on the relative vibrations of the walls of carbon nanotubes, *Phys. Rev. B* (in print).
12. O.V. Ershova, I.V. Lebedeva, Yu.E. Lozovik, A.M. Popov, A.A. Knizhnik, B.V. Potapkin, O.N. Bubel', E.F. Kislyakov, A.N. Poklonski, Nanotube-based NEMS: control vs. thermodynamical fluctuations, *Phys. Rev. B* (submitted).
13. A.M. Popov, Yu.E. Lozovik, A.S. Kulish, E. Bichoutskaia, High frequency electromechanical memory cell based on telescoping carbon nanotubes, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* (submitted).

10.45 Электрические, магнитные и оптические свойства нанокластерных углеродных материалов, полученных термобарической обработкой фуллеритов и карбинов.

Руководитель проекта:

Бражкин Вадим Вениаминович

ИФВД РАН

тел. (496) 7510011; факс: (496) 7510012

E-mail: brazhkin@hppi.troitsk.ru

Участники проекта: Ляпин А.Г., Кондрин М.В., Гизатулин В.Р., Ляпин С.Г.,
Попова С.В., Гаврилюк А.Г., Нарожный В.Н., Ягафаров О.Ф.

1. Обнаружена очень высокая твердость (45 ГПа при наноиндентировании), и большой коэффициент упругого восстановления (93%) для аморфных углеродных фаз, полученных из фуллерита C₆₀ при термической обработке под давлением 17 ГПа
2. Установлено, что данные аморфные sp²-sp³ модификации являются «плохими» металлами с сопротивлением, практически не зависящем от температуры
3. Ферромагнитных свойств в данных фазах не обнаружено

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. В.В. Бражкин, Межчастичное взаимодействие в конденсированных средах: элементы “более равные, чем другие. УФН, 2009, Т.179, № 4, С393-401..
2. O.F. Yagafarov, E.L. Gromnitskaya, A.G. Lyapin, V.V. Brazhkin, Elastic properties of fullerites C₆₀ and C₇₀ under pressure, J.Phys.: Conference Series in press. (Proc. of the AIRAPT 2009 Conference)
3. O. F. Yagafarov, E. L. Gromnitskaya, A. G. Lyapin, V. V. Brazhkin, M. V. Kondrin, and A. V. Bogdan, New Data on Compressibility of Molecular Fullerites C₆₀ and C₇₀, Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures V.18 in press

10. 46. Исследование процессов агрегации магнитных металлофуллеренов и их производных в растворах. Радиометаллофуллерены.

Руководитель проекта:

Грушко Юлий Сергеевич,

ПИАФ РАН

188300, г.Гатчина, Лен. обл.,

Орлова Роща д. 1

тел./факс (81371) 3-22-10

grushko@pnpi.spb.ru,

Участники проекта: Грушко Ю.С., Лебедев В.Т., Козлов В.С., Шилин В.А.,
Логинов Ю. Е., Колесник С.Г., Седов В.П., Орлова Д.Н.

1. Исследовано каталитическое действие переходных металлов Fe, Co, Ni на синтез металлофуллеренов. Показано, что наиболее значительное увеличение выхода наблюдается при введении в электродуговую плазму кобальта[1].

2. Разработан метод получения высокообогащенной по Gd@C₈₂ (~80%) смеси фуллеренов без применения хроматографии[1].

3. Разработан метод синтеза биосовместимых, гидроксигированных смесей пустых и металлофуллеренов[1].

4. Показано, что 80%-ая по Gd@C₈₂ смесь фуллеренов в 15-30 раз (в зависимости от ткани) эффективнее в качестве магнитоконтрастного агента, чем используемый в клинических условиях препарат «Гадовист» [1].

5. Изучен методом малоуглового рассеяния нейтронов процесс агрегации фуллеренолов брутто формулы Gd@C₈₂(OH)₁₈. Показано, что кластер фуллеренола в водном растворе, характеризуемый корреляционным радиусом R_C и фрактальной размерностью D, при увеличении pH от 4-5 до 7-8 подвергается переходу от плотной разветвленной структуры (D ~ 2,5) к разреженным спиралеобразным объектам (D ~ 1,5). Несмотря на такой переход, размер кластера остается на том же уровне (R_C~20-30 nm)[2].

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. Yu.S. Grushko, V.S. Kozlov, V.P. Sedov, Svetlana G. Kolesnik, V.T. Lebedev, V.A. Shilin, M.A. Khodorkovsky, Tatiana.O. Artamonova, A.L. Shakhmin, V.V. Shamanin, Elena Yu. Melenevskaya, S.G. Konnikov, Maria V. Zamorianskaya, Evgenia V. Tsyrlina, P.I. Krzhivitsky. MRI-contrasting system based on water-soluble fullerene/Gd-metallofullerene mixture. «Fullerenes, nanotubes and carbon nanostructures», in press

2. V.T. Lebedev, Yu.S. Grushko, D.N. Orlova, Kim A.F., V.S. Kozlov, V.P. Sedov, S.G. Kolesnik, V.V. Shamanin, E.Yu. Melenevskaya. Aggregation in hydroxylated endohedral fullerene solutions. «Fullerenes, nanotubes and carbon nanostructures», in press

11.1. Механодинамическая диффузия молекул азота в нано- и армко железо в процессе его деформации в среде жидкого азота.

Руководитель проекта:

Никаноров Станислав Прохорович

ФТИ РАН

194021, С-Петербург, Политехническая 26

тел (812)2927119.

E-mail: s.nikanorov@mail.ioffe.ru

Участники проекта: С.П.Никаноров, Б.К.Кардашев, О.В.Клявин, О.Ф.Поздняков, Ю.М.Чернов, В.В.Шпейзман.

1. Проведены сравнительные исследования механических характеристик нано- и поликристаллического армко железа, деформированного сжатием в среде жидкого азота. Обнаружено, что предел текучести образцов наножиелеза повышается в два раза по сравнению с армко железом и достигает 1350 МПа. Кривые сжатия для обоих типов железа носят гладкий характер, имеют одинаковый коэффициент упрочнения, а величина их деформации достигает 50%.

2. Проведены методические и конструкционные работы по увеличению чувствительности масс-рефлектрона при измерении количества различных газов в образцах железа обоих типов, деформированных при $T=78\text{K}$, которые необходимы для более точного количественного анализа полученных результатов.

3. Выполнены масс-спектрометрические измерения количества азота в деформированных на различные степени образцах обоих типов и получены кривые экстракции молекул азота из них в области температур $T=300\text{-}1300\text{ K}$.

4. Обнаружен различный температурный характер выделения азота из нано- и армко железа в исследованной области температур, обусловленный наличием квазиаморфной дефектной микроструктуры в наножиелезе. Количество азота при одинаковой степени пластической деформации образцов железа обоих типов (30%) в наножиелезе на порядок меньше, чем в армко железе ($7 \cdot 10^{16}$ ат/см² и $7 \cdot 10^{17}$ ат/см²). Однако при дальнейшем росте пластической деформации количество азота в наножиелезе резко повышается особенно при приближении к температуре его плавления.

5. Полученные данные указывают на необходимость исследования процесса выделения молекул азота вплоть до температуры плавления наножиелеза ввиду наличия в нем глубоких ловушек азота, характерных для его квазиаморфной микроструктуры. Этот факт позволяет предположить, что наножиелезо может служить накопителем молекул азота за счет реализации в нем пластической деформации по механизму дислокационно-динамической диффузии.

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. О.В.Клявин, С.П.Никаноров, В.И.Николаев, О.Ф.Поздняков, Б.И.Смирнов, Ю.М.Чернов, В.В.Шпейзман. Механодинамическая диффузия азота в кристаллические материалы. Тезисы докладов на XV11-й Международной конференции «Физика прочности и пластичности материалов», 22-25 марта 2009 г., г. Самара, с. 84.
2. О.В.Клявин, В.И.Николаев, О.Ф. Поздняков, Б.И.Смирнов, Ю.М.Чернов, В.В.Шпейзман. Механодинамическая диффузия молекул азота в армко железо при его деформировании в среде жидкого азота. Изв. РАН, сер. физ. т. 73, №10, с. 1480 – 1486, 2009

3. О.В.Клявин, С.П.Никаноров, В.И.Николаев, О.Ф.Поздняков, Ю.М.Чернов, В.В.Шпейзман. Механодинамическая диффузия молекул азота в наножелезо при $T=78\text{K}$ ФТТ (2009 г, в печати).

11.2 Нанокластеры металлов групп Pd и Fe на поверхности и в объеме пористого Si, InP (технология, структура, свойства).

Руководитель проекта:

Терещенко Геннадий Федорович

ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН,

194021 Санкт-Петербург,

ул. Политехническая 26)

E-mail: boby1.theory@mail.ioffe.ru

Участники проекта: А.В. Бобыль, С.Г. Конников, М.В. Байдакова, Ф.Ю. Солдатенков, А.А. Ситникова, В.П. Улин, Д.А. Саксеев, М.В. Яговкина, С.В. Барышев.

1. Разработана технология термовакuumного нанесения сплошных слоев и мультячеестых структур металлов группы Pd и Fe (Pd, Pt и Cu, Ni) на жесткие и пористые полупроводниковые подложки. Показано, что в режиме затухания реакции порообразования при падении напряжения поляризации ниже пороговых значений металлические нанокластеры с размерами 15-50 нм являются достаточно эффективными протекторами в растворах сильных кислоты. [1] Технические решения экспонировались на международной выставке инноваций. [2,3]

2. Разработана технология Pd-ассоциации а) изолированных кластеров с размерами от 10 до 2000 нм и б) их агрегатов – 200-5000 нм. Размер области когерентного рассеяния (ОКР), определяемый по ширине Pd рентгенофлексов, является интегральным параметром, описывающим наноразмерную морфологию создаваемых ассоциаций Pd-кластеров. Наличия изолированных кластеров, близких к размеру ОКР, их эволюция к габаритным агрегатам и крупным кристаллитам в совокупности формируют состав ассоциации. На основе созданной технологии разработаны катализаторы для мембранных контакторов/реакторов. [4]

3. Проведено исследование структурного совершенства образцов GaAs-In с каналом толщиной 12 нм и содержанием In в нем около 20%. Рентгенодифракционные исследования позволяет с высокой точностью восстановить концентрационный профиль распределения In по каналу и выявить отличия в технологии, которые привели к формированию переходных слоев на интерфейсах. Для образцов с симметричным и ассиметричным легированием барьерных слоев проведено сравнение дифракционных данных с данными катодолюминесценции. [5]

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. А.В. Бобыль, С.Г. Конников, Г.Ф. Терещенко, В.П. Улин Полупроводниковые пористые подложки: от мембран газоочистки до СВЧ диодов и транзисторов. IV конференции РФФИ «Результаты целевых ориентированных фундаментальных исследований и их использование в развитии Российской радиоэлектроники» 17-20 июня, 2009 г., Калуга, ФГУП «КНИИТМУ».
2. Ulin V.P., Soldatenkov F.Y., Bobyl A.V., Chusov A.N., Fedorov M.P., Konnikov S.G., Tereschenko G.F Method of gas-permeable membrane producing”. Patent application N 2008130031/15(037245) 21.07.08. Золотая медаль на выставке “Geneva-2009”, March 2009.
3. Ulin V.P., Soldatenkov F.Y., Bobyl A.V., Chusov A.N., Fedorov M.P., Gromova O. B., Tereschenko G.F.. Patent RF (utility model) “Gas-permeable membrane modul”. Patent

application N 2008148241 25.10.2008, Золотая медаль на выставке “Geneva-2009”, March 2009.

4. V.V.Volkov, A.V.Bobyl, A.Yu.Okunev, I.V.Petrova, V.I.Lebedeva, R. van der Vaart, J. van Erkel, G.F.Tereshchenko. Pd-based CMC/R: membrane characterization and modeling. 9th International Conference on Catalysis in Membrane Reactors (ICCMR9) (Lyon-France) June-July, 2009.

5. М.А.Яговкина, М.В.Байдакова, Г.А.Вальковский, А.Ю.Егоров, М.В.Заморянская, С.Г.Конников, Н.А.Малеев, А.А.Шахмин. Рентгенодифракционный анализ и катодолюминесценция GaAs-In гетероструктур. Конференцию РСНЭ-НБИК, 16-21 ноября 2009, Москва, Институте кристаллографии РАН.

11.3 Спектроскопия дефектов в кристаллах и пленках полупроводниковых соединений II-VI, полученных в процессах быстрой кристаллизации.

Руководитель проекта:

Багаев Виктор Сергеевич

Физический Институт им. П.Н.Лебедева

РАН 119991, Ленинский проспект, д.53

тел. (499) 132-6448; факс: (499) 135-7941

E-mail: bagaev@lebedev.ru

Участники проекта: Ю.В. Клевков, В.П. Мартовицкий, А.Ю. Клоков, В.С. Кривобок, С.А. Колосов, В.В. Зайцев, С.Г. Черноок, А.А. Шепель

С помощью фотолюминесценции, фотопроводимости, а также анализа температурной зависимости проводимости исследован электронный спектр дефектов, образующихся при старении высокочистого CdTe выращенного из паровой фазы при температуре $\sim 600\text{C}$. Показано, что оптические и электрофизические свойства такого материала определяются тремя видами дефектов, различающихся характером и величиной локализуемого потенциала. Обнаружено, что помимо сравнительно мелких центров, включающих в основном доноры и акцепторы из состава остаточных примесей замещения, в состаренных кристаллах присутствуют глубокие акцепторные состояния с энергиями активации 0.25, 0.6 и 0.86 eV. Глубокие центры 0.6 и 0.86 eV характеризуются сильной локализацией электронных состояний и определяют большие (~ 1 сек) времена релаксации фотопроводимости. Центр с энергией активации 0.25 eV связан с дефектами, для которых основная часть локализуемого потенциала равномерно распределена в пространстве на несколько элементарных ячеек. Предполагаемым источником таких центров являются протяженные дефекты, вызванные двойникованием [1,2].

С помощью быстрой кристаллизации (~ 1 мкм/сек) из паровой фазы при температуре $\sim 650\text{C}$ реализован рост высококачественных текстур CdTe с проводимостью n-типа, удельным сопротивлением $5 \times 10^8 - 5 \times 10^9$ Ом см и подвижностью электронов $\sim 10^3$. Показано, что механизм роста текстур включает две стадии – формирование волокнистых основ кристаллитов вдоль [111] и затем их дорастивание неполярными плоскостями {110}. С помощью методик основанных на резонансном возбуждении люминесценции показано, что основные свойства отдельных кристаллитов в текстурах n-типа полученных при быстрой кристаллизации определяются остаточными примесями (Ag, Li, As, Ga, Cl) при отсутствии каких-либо признаков собственных точечных или протяженных дефектов. Проводимость n-типа достигается за счет донора кадмиевой подрешетки – Ga_{Cd} . Показано, также что полосы в спектрах фотолюминесценции, приписываемые А-центрам (комплексам с участием вакансий и доноров) в исследуемых текстурах формируют донорно-акцепторные пары с участием Ag и Ga находящиеся во внешнем электрическом поле [3,4].

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. С.А.Колосов, Ю.В.Клевков, А.Ю. Клоков, В.С.Кривобок, А.И.Шарков. Изменение спектров электронных состояний в поликристаллическом p-CdTe в результате отжига в Cd и естественного старения, ФТП 2009, Т. 43, Вып. 11, с. 1526.
2. В.С. Багаев, Ю.В. Клевков, С.А. Колосов, В.С. Кривобок, А.А. Шепель. Оптические и электрофизические свойства дефектов в высокочистом CdTe, ФТТ 2010, Т. 52, Вып. 1 с. 37.

3. Victor Bagaev, Vladimir Krivobok, Yuri Klevkov, Anna Shepel, Evgeny Onishchenko, Victor Martovitsky. High quality n-type CdTe produced by ultra-rapid crystallization. *Physica status solidi (c)*, послана в печать.
4. V. Krivobok, V. Bagaev, S. Chernook, Yu. Klevkov, S. Kolosov, V.P. Martovitskii, A. Shepel. Stoichiometry and electron spectrum of non-doped CdTe and ZnTe compounds under rapid crystallization from vapor phase. Abstract book of 14th International conference on the II-VI Compounds (August 23 - 28, 2009), St Petersburg, Russia, p. 300.

11.4. Исследование двумерных метаструктур большой протяжённости методом плазмонной интерферометрии в инфракрасном и терагерцовом диапазонах.

Руководитель проекта:

Жижин Герман Николаевич

НТЦ УП РАН

117342, Москва, ул. Бутлерова, д. 15

тел. (495) 333-61-02; факс: (495) 334-75-00

E-mail: gzhizhin@mail.ru

Участники проекта: Г.Н.Жижин, А.К. Никитин, А.П. Кирьянов, О.В. Хитров

1. Разработан способ определения показателя преломления поверхностной электромагнитной волны инфракрасной области спектра [1, 5].
2. Разработан способ разделения совмещённых поверхностной и объёмной электромагнитных волн терагерцового диапазона [2, 4].
3. Разработана конструкция абсорбционного спектрометра для исследования тонкослойных образцов в терагерцовой области спектра [3].
3. Разработаны на уровне изобретений два устройства для измерения длины распространения ПЭВ ИК-диапазона [6, 7]

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. Богомоллов Г.Д., Жижин Г.Н., Кирьянов А.П., Никитин А.К., Хитров О.В. Определение показателя преломления поверхностных плазмонов ИК-диапазона методом статической асимметричной интерферометрии // Известия РАН. Серия физическая. – 2009, Т.73, №4. с.562-565.
2. Bogomolov G.D., Zhizhin G.N., Nikitin A.K., Knyazev V.A. Geodesic elements to control terahertz surface plasmons // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research (A). – 2009, V.603, No.1/2, p.52-55.
3. Никитин А.К., Жижин Г.Н., Богомоллов Г.Д., Никитин В.В., Чудинова Г.К. Устройство для получения спектров поглощения тонких слоёв в терагерцовой области спектра // Патент РФ на изобретение №2345351. – Бюл. №3 от 27.01.2009 г.
4. Жижин Г.Н., Никитин А.К., Никитин П.А. Способ разделения совмещённых поверхностной и объёмной электромагнитных волн терагерцового диапазона // Патент РФ на изобретение №2352969. – Бюл. №11 от 20.04.2009 г.
5. Жижин Г.Н., Кирьянов А.П., Никитин А.К., Хитров О.В. Способ определения показателя преломления поверхностной электромагнитной волны инфракрасной области спектра // Заявка на изобретение №2008123952. – Решение о выдаче патента от 19 мая 2009 г.
6. Жижин Г.Н., Мустафина О.М., Никитин А.К. Устройство для измерения длины распространения ПЭВ ИК-диапазона // Заявка на изобретение №2008148815. – Решение о выдаче патента от 20.08.2009 г.
7. Никитин А.К., Жижин Г.Н., Мустафина О.М., Рыжова Т.А. Устройство для определения коэффициента поглощения ПЭВ ИК-диапазона // Заявка на изобретение №2008148814. – Решение о выдаче патента от 28.08.2009 г.

11.5. Исследование влияния взаимодействия дислокаций с примесными атомами на электронные свойства дислокаций в германии.

Руководитель проекта:

Шевченко Светлана Антоновна

тел. (096) 9932755; факс: (096) 5249701,

E-mail: shevchen@issp.ac.ru

Участники проекта: А.И. Коллюбакин и А. Н. Терещенко.

Применение монокристаллов германия в современных технологиях изготовления полупроводниковых приборов стимулирует изучение электронных свойств и природы различных дефектов в германии и взаимодействия точечных дефектов с дислокациями.

В 2009 г. в рамках Проекта проведено исследование электронных состояний, обусловленных атомами меди и прямолинейными отрезками 60° расщепленных дислокаций «релаксированной» морфологии, в пластически деформированном германии р-типа методами нестационарной емкостной спектроскопии глубоких уровней (НЕСГУ) и фотолюминесценции (ФЛ).

Методом НЕСГУ определены ионизационная энтальпия $H=0.32\pm 0.01$ eV и поперечное сечение захвата дырок $S\sim 10^{-13}$ cm² для глубокого уровня, обусловленного двукратно отрицательно заряженными атомами замещающей меди $Cu_s^{2-/-}$. Измерена концентрация этих дефектов после деформации при 450°C и последующего прогрева деформированных образцов при 500°C [1]. Такой прогрев способствует распаду пересыщенного твердого раствора меди и значительному уменьшению концентрации атомов $Cu_s^{2-/-}$ вследствие диссоциации атомов замещающей меди Cu_s на атомы междоузельной меди Cu_i и вакансии. Эти точечные дефекты, более подвижные по сравнению с атомами Cu_s , диффундируют к дислокациям и собираются вблизи ядер дислокаций. Хорошо известно, что повышенная концентрация примесей в ядрах дислокаций влияет на энергию и, соответственно, на ширину дефекта упаковки расщепленных дислокаций. С другой стороны, в германии энергия рекомбинационного излучения, обусловленного прямолинейными отрезками расщепленных 60° дислокаций, зависит от ширины дефекта упаковки. Поэтому существенное изменение относительной интенсивности гауссовых линий $d8$ и $d7$ в спектрах ФЛ в пользу линии $d7$, наблюдаемое после прогрева деформированных образцов при 500°C , обусловлено, вероятно, загрязнением ядер 60° дислокаций атомами меди в процессе распада пересыщенного твердого раствора [1].

Спектры ФЛ исследовались также в образцах германия р-типа после пластической деформации при 450 и 500°C и последующего изохронного прогрева в широком ($130-700^\circ\text{C}$) интервале температур [2]. Оказалось, что существенное изменение относительной интенсивности гауссовых линий dn в спектрах ФЛ происходит после прогрева деформированных образцов при температурах $500-520^\circ\text{C}$, который способствует отжигу большей части деформационных точечных дефектов, связанных с атомами Cu_s и другими примесями.

Полученные результаты позволяют предположить, что в деформированных образцах присутствуют чистые и загрязненные примесями прямолинейные отрезки «релаксированных» 60° дислокаций, которым соответствуют линии рекомбинационного излучения с разной энергией. При этом линия $d8$ с энергией $E_8=0.510$ эВ связывается с излучением чистых отрезков с равновесной шириной дефекта упаковки Δ_0 , а линии $d7$ ($E_7=0.504$ эВ) и $d6$ ($E_6=0.500$ эВ) – с излучением загрязненных отрезков с меньшей шириной дефекта упаковки: $d_7=\Delta_0-a$ и $\Delta_6=\Delta_0-2a$. Здесь a – шаг

изменения ширины дефекта упаковки, равный 0.346 nm. В таком случае загрязнение ядер дислокаций примесями приводит к уширению спектра электронных состояний, обусловленных прямолинейными отрезками 60° дислокаций.

Исследовалось также влияние ориентации 60° дислокаций относительно плоскости диода Шоттки на форму спектра НЕСГУ. Если плоскость залегания 60° дислокаций была параллельна плоскости диода Шоттки, то наблюдался стандартный положительный сигнал НЕСГУ, что позволило определить приведенные выше параметры глубокого уровня меди. Появление отрицательного сигнала НЕСГУ при перпендикулярном расположении 60° дислокаций относительно плоскости диода Шоттки затрудняет получение информации из спектров НЕСГУ и причина его появления требует дальнейших исследований.

В 2009г. проведена работа по усовершенствованию программы измерения спектров НЕСГУ и ее адаптации под новую элементную базу. Скоростная плата L-780M (с 14 разрядным АЦП, 12 разрядным ЦАП и цифровыми линиями ТТЛ) и современный компьютер позволяют уменьшить время измерения одной точки до времени не более 0.5мс (при 100 измерениях для каждой точки с целью подавления шумов) и заменить морально устаревшую систему автоматизации измерений САМАС.

Результаты этих исследований докладывались на международной конференции по дефектам в полупроводниках ICDS-25 (Санкт-Петербург 2009г.) и XIII международной конференции GADEST 2009 (Gettering and Defect Engineering in Semiconductor Technology), Берлин 2009г.

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. S. Shevchenko and A. Tereshchenko. "Dislocation states and deformation-induced point defects in plastically deformed germanium" *Solid State Phenom.* 156-158 (2010), p. 289-294.
2. S.A. Shevchenko and A.N. Tereshchenko. "Dislocation photoluminescence in plastically deformed germanium" *Physica B: Condensed Matter* (принята к печати).

11.6 «Инженерия дефектов» в кремнии с дислокациями и ее применение для солнечной энергетики.

Руководитель проекта:

Кведер Виталий Владимирович

ИФТТ РАН

142432 Черноголовка, Мос. обл., Институтская

ул. д.2, 142432, Россия

тел. (496) 52-22344; факс:

E-mail: kveder@issp.ac.ru

Участники проекта: В.И. Орлов, М.А. Хорошева.

1. Измерена концентрация электрически активных атомов никеля в узлах решетки кремния $[Ni_s]$ в образцах FZ-Si в зависимости от начальной неравновесной концентрации вакансий $[V]_{init}$ в образцах после диффузии никеля при температурах $500\div 650^\circ C$. Показано, что концентрация $[Ni_s]$ в глубине образца с хорошей точностью соответствует концентрации вакансий $[V]_{init}$, определенной широко используемым методом, основанным на анализе профилей $[Au_s]$ после диффузии золота с поверхности. Данный метод определения концентрации вакансий гораздо проще и эффективнее чем, стандартный метод, и позволяет использовать более низкую температуру и тепловой бюджет. [1]

2. Методом емкостной спектроскопии глубоких уровней (DLTS) исследована электрическая активность дислокаций в зависимости от скорости движения дислокаций и времени отжига в монокристаллах кремния n-типа, выращенных методом Чохральского и бестигельной зонной плавкой. Обнаружено, что концентрация глубоких C-дефектов увеличивается с увеличением времени выдержки образца при температуре деформации в случае, когда дислокации не двигаются. Последующее движение дислокаций с большой скоростью приводит к уменьшению амплитуды C линии в спектре DLTS. Полученные результаты обсуждаются в рамках образования примесных комплексов вокруг дислокаций.

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. Кведер В.В., Орлов В.И., Хорошева М.А., Абросимов Н.В. Диффузия никеля как способ определения концентрации вакансионных ростовых дефектов в кремнии. Тезисы докладов VI Международной конференции «Кремний 2009», с. 190-191

11.7 Зависимость плотности глубоких дислокационных уровней от структурного и примесного состояния дислокаций.

Руководитель проекта:

Штейнман Эдуард Александрович
ИФТТ РАН

Г.Черноголовка, ул. Институтская, 2.

тел. (496) 5225239; факс: (496) 5249701

E-mail: steinman@isspac.ru

Участники проекта: А.Н.Терещенко, А.А.Мазилкин, А.И.Шалынин.

1. Обнаружена интенсивная полоса люминесценции в структуре соединенных пластин кремния с промежуточным слоем кислородного окисла. Полоса возникает после отжига соединенных образцов при температуре 1200°C. Показано, что интенсивность полосы в образцах с ориентацией (001)/(001) существенно выше, чем в образцах с ориентацией (110)/(001). Кроме того, интенсивность полосы оказалась зависящей от толщины верхнего слоя. Подробные электронно-микроскопические исследования образцов показали, что в результате высокотемпературного отжига окисный слой интерфейса частично растворяется за счет диффузии атомов кислорода к поверхности структуры и образования связей кремний – кремний объемного качества. Однако, за счет частичной разориентации пластин на интерфейсе возникает сетка дислокаций, большая часть которых принадлежит к винтовому типу, остальные имеют краевую компоненту. Первые компенсируют угловое несоответствие пластин в плоскости интерфейса, а вторые компенсируют наклонное несоответствие.
2. Исследование температурной зависимости новой полосы показало, что люминесценция обусловлена переходами между мелкими состояниями с глубиной залегания порядка 100 мэВ и глубокими состояниями. Природа глубоких состояний предположительно связана со структурными дефектами на дислокациях.
3. Нужно отметить, что несмотря на чрезвычайно тонкий слой дефектов, что однозначно свидетельствует об их малой суммарной концентрации, интенсивность люминесценции очень высока. Это позволяет надеяться на последующее применение этих центров для изготовления светоизлучающих структур на основе кремния.

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. E.A.Steinman, O.Kononchuk, A.N. Tereshchenko, A.A. Mazilkin, Solid State Phenomena vols.156-158 (2010) pp. 555-560

11.8. Оптически активные примесно-дефектные центры и связанные с ними механизмы излучательной релаксации в наноразмерных структурах для кремниевой оптоэлектроники.

Руководитель проекта:

Красильник Захарий Фишелевич

Институт физики микроструктур РАН

603950, Нижний Новгород, ГСП-105.

тел. (831)4385555; факс: (831)4609111

e-mail: zfk@ipm.sci-nnov.ru

Участники проекта: Б.А. Андреев, А.В. Антонов, Л.В. Красильникова, Д.И. Крыжков, К.Е. Кудрявцев, В.П. Кузнецов, О.А. Кузнецов, Д.И. Курицын, Д.Н. Лобанов, А.В. Новиков, Д.Ю. Ремизов, А.Г. Спиваков, М.В. Степихова, М.В. Шалеев, В.Г. Шенгуров, В.Б. Шмагин, Д.В. Юрасов, А.Н. Яблонский

1. По результатам совместных исследований спектров возбуждения и кинетики ФЛ с временным разрешением выделены компоненты, вносящие преимущественный вклад в сигнал ФЛ гетероструктур SiGe:Er/Si. Показано, что во временном интервале до 10 мкс в спектрах ФЛ определяющую роль играет дефектно-примесная компонента люминесценции, связанная с присутствием в структурах дефектов и дефектно-примесных комплексов. В области от 10 мкс до 6 мс преобладающий вклад в сигнал ФЛ гетероструктур SiGe:Er/Si вносит эрбиевая компонента с характерными временами затухания ~ 1 мс [1].

2. Исследована температурная зависимость кинетики ЭЛ центра Er-1 в диодных структурах Si:Er/Si. Определена энергия активации Оже-девозбуждения, являющегося основным механизмом безызлучательной релаксации ионов эрбия в области температур $T < 80$ К [2,3].

3. Проведено исследование спектров возбуждения эрбиевой ФЛ в структурах Si:Er/Si, SiGe:Er/Si и Si:Er/SOI в условиях интенсивной оптической накачки. С помощью сравнительного анализа формы спектров возбуждения эрбиевой ФЛ структур Si:Er/Si и Si:Er/SOI вблизи края межзонного поглощения в кремнии исследовано влияние диффузии фото-генерированных носителей заряда из кремниевой подложки в активный слой Si:Er на эффективность возбуждения оптически активных эрбиевых центров. Проведено исследование спектров эрбиевой и межзонной ФЛ в зависимости от длины волны и мощности возбуждающего излучения. Показано, что падение интенсивности эрбиевой ФЛ при уменьшении длины волны возбуждающего излучения вблизи края межзонного поглощения в кремнии связано с возрастанием концентрации фото-генерированных носителей заряда и, как следствие, с переходом от режима генерации свободных экситонов к режиму образования электронно-дырочной жидкости.

В эпитаксиальных структурах Si:Er/Si проведены сравнительные исследования температурного гашения эрбиевой ФЛ в условиях прямого и межзонного оптического возбуждения ионов эрбия. Показано, что в условиях прямого оптического возбуждения основные процессы безызлучательного девозбуждения ионов эрбия существенно подавлены, и сигнал эрбиевой ФЛ наблюдается вплоть до комнатной температуры. В результате исследования влияния дополнительной подсветки структур непрерывным межзонным излучением на кинетику эрбиевой ФЛ продемонстрировано эффективное взаимодействие эрбиевых центров, возбуждаемых в условиях прямой оптической накачки, с электронной подсистемой кремния [4-6].

4. Проведены сравнительные исследования радиационного воздействия на фото- и электролюминесценцию GeSi гетероструктур с квантовыми ямами и самоформирующимися наноостровками. Продемонстрировано, что наибольшей радиационной стойкостью обладают светоизлучающие структуры с Ge(Si) самоформирующимися наноостровками, в которых реализована эффективная трехмерная пространственная локализация дырок в островках. Предполагается, что пространственная локализация носителей заряда в низкоразмерных SiGe гетероструктурах препятствует их диффузии к центрам безызлучательной рекомбинации, связанным с радиационными дефектами. Обнаружено, что сигнал электролюминесценции от самоформирующихся наноостровков обладает более высокой радиационной стойкостью, по сравнению с сигналом фотолуминесценции. Различия в поведении сигналов электро- и фотолуминесценции при радиационном воздействии связывается с различием в электрической и оптической накачке структур. Обнаружено, что сигнал люминесценции при комнатной температуре от многослойных структур с Ge(Si) островками в области длин волн 1.3-1.55 мкм наблюдается и после воздействия на них высокоэнергетичными нейтронами с дозой 10^{15} см⁻² [7-9].

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. Л.В. Красильникова, А.Н. Яблонский, Б.А. Андреев, З.Ф. Красильник, В.П. Кузнецов, В.Г. Шенгуров "Кинетика эрбиевой люминесценции в структурах Si:Er/Si и Si_{1-x}Ge_x:Er/Si при межзонном и прямом оптическом возбуждении". Тезисы докладов IX Российской конференции по физике полупроводников, 28 сентября - 3 октября, 2009, Новосибирск-Томск, Россия, С.2159 (устный доклад).
2. К.Е. Kudryavtsev, V.B. Shmagin, D.V. Shengurov, Z.F. Krasilnik. "High-resolution spectroscopy and time-resolved study of electroluminescence of Er-1 center in silicon". Physica B, DOI: 10.1016/j.physb.2009.08.148.
3. К.Е. Kudryavtsev, V.B. Shmagin, D.V. Shengurov, Z.F. Krasilnik. "High-resolution spectroscopy and time-resolved study of electroluminescence of Er-1 center in silicon". 25-th International Conference on Defects in Semiconductors, 20-24 July 2009, St.-Petersburg, Russia, p. 197.
4. A.N. Yablonskiy, L.V. Krasilnikova, B.A. Andreev, D.I. Kryzhkov, V.P. Kuznetsov and Z.F. Krasilnik "Band-to-band and direct optical excitation of Er in silicon: comparison of kinetics and temperature quenching of Erbium PL" // Physica B, 2009 - in print.
5. A.N.Yablonskiy, B.A.Andreev, D.I.Kryzhkov, L.V.Krasilnikova, V.P.Kuznetsov and Z.F.Krasilnik "Photoluminescence excitation spectroscopy and time-resolved PL studies of erbium luminescence in epitaxial Si:Er/Si, SiGe:Er/Si and Si:Er/SOI structures"// Book of abstracts 25th International Conference on Defects in Semiconductors (ICDS-25), July 20-24, 2009, St. Petersburg, Russia, p.249.
6. А.Н. Яблонский, Л.В. Красильникова, Б.А. Андреев, Д.И. Крыжков, В.П. Кузнецов, В.Г. Шенгуров, З.Ф. Красильник "Особенности спектров возбуждения эрбиевой ФЛ в эпитаксиальных структурах Si:Er/Si, SiGe:Er/Si и Si:Er/SOI" // Тезисы докладов IX Российской конференции по физике полупроводников, 28 сентября - 3 октября, 2009, Новосибирск-Томск, Россия, С.221 (устный доклад).
7. А.В. Новиков, А.Н. Яблонский, В.В. Платонов, С.В. Оболенский, Д.Н. Лобанов, З.Ф. Красильник, «Влияние радиационного воздействия на люминесцентные свойства низкоразмерных SiGe/Si(001) гетероструктур», ФТП (направлена в печать).
8. З.Ф.Красильник, К.Е. Кудрявцев, Д.Н.Лобанов, А.В.Новиков, С.В.Оболенский, В.В.Платонов, Д.В. Шенгуров, А.Н.Яблонский, «Влияние нейтронного облучения на электрофизические и оптические свойства низкоразмерных GeSi/Si гетероструктур», Материалы XIII Международного симпозиума «Нанопизика и наноэлектроника», 16–20 марта 2009 г., Нижний Новгород, Россия, т.1, стр. 131-132.
9. А.В.Антонов, Ю.Н.Дроздов, З.Ф.Красильник, К.Е.Кудрявцев, Д.Н.Лобанов, А.В.Новиков, С.В.Оболенский, М.В.Шалеев, Д.В.Шенгуров, В.Б.Шмагин, А.Н.Яблонский, "SiGe гетероструктуры с самоформирующимися наноостровками для элементов кремниевой оптоэлектроники", Тезисы IX Российской конференции по физике полупроводников «Полупроводники '09», 28 сентября – 3 октября 2009 г., Новосибирск – Томск, стр. 310.

11.9. Оптические свойства полупроводниковых гетероструктур с регулярными или случайными неоднородностями.

Руководитель проекта:

Барабаненков Михатл Юрьевич

ИПТМ РАН

1424232 Московская область, г.Черноголовка,

ул.Институтская, 6

тел. 962-8074; факс: 962 - 8047

E-mail: barab@iptm.ru

Участники проекта: С.Ю.Шаповал, Ю.В.Холопова, С.Г.Ларкин, А.А.Бардин, П.В.Жорин, Ю.В.Луданавичюс, А.В.Силкова, Н.Ушакова, Л.И.Смирнова.

1. Исследованы оптические свойства свето-излучающего диода (СИД) InGaN/AlGaIn/GaN/ Al₂O₃ с верхним металлическим контактом в виде ленточной металлической дифракционной решетки. Экспериментально показано, что эффективность преобразования электрической мощности (при токе в решетке 0.4 мА) в оптическую составляет 26%, что на 8% превышает аналогичный параметр светодиода с обычным контактом.

Светодиодная структура (рис.1), с верхней частью в виде цилиндрического слоя с внешним и внутренним диаметрами 50 и 30 мкм, соответственно, выращивалась методом МOCVD с травлением мезаструктуры ЭЦР плазмой. Формирование Au/Ni ленточной решетки производилось электронно-лучевой литографией. Параметры решетки выбраны на основе моделирования ее частотных спектров отражения. В расчетах предполагалось, что активная область представляет собой источник плоской монохроматической волны с волновым вектором \vec{k}_0 , падающей под углом α на решетку с периодом $\Lambda = 1$ мкм, шириной и толщиной лент $2\ell = h = 0.1$ мкм, соответственно, и зазором между лентами $d\ell$. В слое GaN длина волны излучения 0.18 мкм, в дальней зоне диода 0.45 мкм при коэффициенте преломления GaN, равном 2.5. \vec{k}^{\pm} обозначают прошедшие и отраженные спектральные порядки.

2. Расчеты плотности тока в области р-п перехода структуры, проведенные в приближении планарной конфигурации электродов (решетки и центрального контакта), показали существенно неоднородное

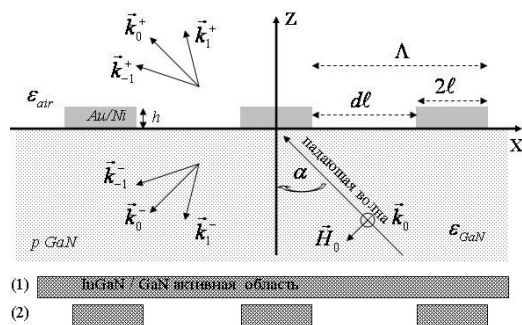
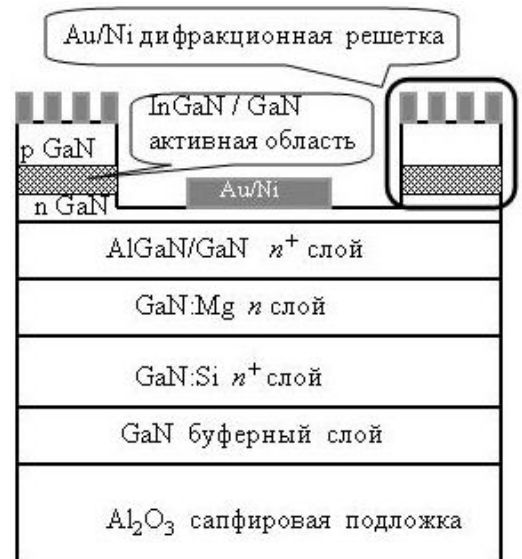


Рисунок 1.

Схематическое изображение сечения структуры светодиода с р-контактом в виде дифракционной решетки. Верхняя часть структуры приведена более детально в нижней части рисунка. Стрелками изображено излучение активной области, падающее на решетку, а также прошедшие и отраженные спектральные порядки излучения. Заштрихованные прямоугольники изображают сечение активной области в виде плоскости (1) или периодической системы полосковых источников (2).

распределение плотности тока по элементарной ячейке электрода-решетки: плотность тока в центральной части уменьшается по мере увеличения периода решетки и приложенного напряжения, т.е. величины тока, протекающего по решетке. Поэтому, предположено, что область люминесценции представляет собой либо плоскость (см. область (1) на рис.1) при малых токах, либо периодическую систему ленточных источников (см. область (2) на рис.1), находящихся под направляющими решеткой-контакта.

3. Измерения диаграмм направленности на СИД с контактом-решеткой показали возможность вариации углового распределения излучения изменением электрического смещения на решетке. Предложено объяснение этого эффект. Используемая в эксперименте решетка имеет 11 однородных спектральных порядков, определяющих мощность излучения СИД в дальней зоне. Однородные порядки определяются неравенством $|\mu_{prop}| \leq \Lambda / \lambda = 5.6$, а направление распространения задается формулой (рис.1) $\sin \alpha_\mu = (\lambda / \Lambda) \mu_{prop}$, где α_μ - угол между вектором \vec{k}_μ^+ и осью z. Например, угол наибольшего порядка равен $\alpha_{\mu=\pm 5} = \pm 64.2^\circ$ при нормальном падении волны на решетку, $\alpha = 0$. При малых токах в контакте-решетке активная область имеет вид светящейся плоскости. Пусть плоскость излучает волны с волновым вектором \vec{k}_0 , параллельным оси z, т.е. угол падения на решетку $\alpha = 0$. Очевидно, что при соотношении площадей лент решетки и зазора между ними $(0.1/0.9)^2 \sim 0.01$, вклад дифракции на решетке в прошедшее поле будет минимален. Основной вклад в измеряемую в дальней зоне мощность излучения дает нулевой спектральный порядок. При больших токах излучает уже не плоскость, а система ленточных источников. В том же приближении нормально падающей волны, дифракция на лентах решетки будет приводить к энергетическому наполнению более высоких спектральных порядков. Наполнение этих порядков обусловит угловое уширение детектируемого спектра излучения. Численные расчеты для изложенной физической модели проведены на основе модели комбинированной двухрусной решетки и метода уравнения Риккати [1].

4. Приведены оценки возможности применения светодиода с варьируемым угловым распределением излучения в неинвазивных методах морфофункциональной диагностики и визуализации биотканей с использованием зондирующего электромагнитного излучения оптического диапазона. Речь идет о применении низкокогерентного излучения в спектроскопии когерентного обратного рассеяния, основанного на эффекте слабой локализации волнового поля.

Исследования могут быть продолжены в следующих направлениях: (1) решетка на поверхности СИД, вероятно, позволит сделать пространственно частично когерентными световые волны, испущенные несогласованными между собой источниками в активной области структуры СИД; (2) эффективность вклада эванесцентных волн активной области в дальнюю зону СИД с решеткой-контактом.

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. M.Yu.Barabanenkov, V.V.Kazmiruk, and S.Yu.Shapoval, Method of matrix Riccati equation for nanoshape control of diffraction gratings, Proc. SPIE, v.7390, pp.73900K1 – K10
2. M.Yu.Barabanenkov, V.V.Kazmiruk, Resonance optical effects and artificial microphotonic electromagnetic materials, The Electrochemical Society Transactions, v.23, № 1, pp.469 – 478.
3. М.Ю.Барабаненков, Исследование оптических свойств метаматериалов на основе матричного уравнения Риккати, Сб. докладов Международного семинара по теоретической и математической физике к 80-летию профессора А.В.Свидзинского, Вольнский национальный университет имени Леси Украинки, Украина, г.Луцк, 27 февраля - 1 марта 2009 г.

12.1. Исследование оптических и электрических свойств нанокompозитных твердых материалов и процессов энергонакопления на границах компонент нанопористый углерод/суперионик, углеродные нанотрубы – суперионик.

Руководитель проекта:

Компан Михаил Евгеньевич

ФТИ им.А.Ф.Иоффе РАН

194021 Санкт-Петербург Политехническая 26.

тел. (812) 2927396; факс: (812) 2971017

E-mail: kompan@mail.ioffe.ru

Участники проекта: Малышкин В.Г., Аксянов И.Г., Кулькова И.В.

Накопление энергии и заряда на гетерогранице электронный проводник/ионный проводник лежит в основе одного из типов приборов для энергонакопления – суперконденсаторов. Наиболее совершенные приборы такого типа (саморазряд 30% за 10 лет хранения, плотность накапливаемой энергии до 150 Дж/гр активного материала) создаются на базе нанопористых углей и суперионного проводника RbAg_4I_5 .

Тем не менее, растущие потребности техники заставляют искать новые технические решения и более надежные методы прогноза эффективности применения новых материалов. В частности, до сих пор получаемые параметры устройств не соответствуют ожидаемым, оцененным на основании данных предварительных измерений. В данной работе исследовались особенности импедансных и вольт-амперных характеристик макетов энергонакопительных устройств на базе нанопористых углей и суперионного проводника RbAg_4I_5 . Исследования проведены в области напряжений, в которых отсутствует вклад фарадеевской емкости, и при малых переменных напряжениях. Макеты – объекты исследований, были изготовлены по технологии, применяющейся в промышленности для изготовления серийных ионисторов.

В ходе исследований была найдена существенная нелинейность импедансных характеристик. Оказалось, что годографы импеданса существенно зависят от величины переменного напряжения, причем эта зависимость существенно более сильная, чем зависимость тех же годографов от приложенного постоянного напряжения.

Анализ экспериментальных данных показал, что основное отличие между импедансными кривыми, полученными при разных переменных напряжениях, связано с протеканием тока в узких ионных каналах в углеродном каркасе. При этом экспериментальные данные заставляют предположить, что проводимость в подобных каналах возрастает при увеличении тока в каналах. Высказаны предположения относительно механизма такой зависимости.

Также были проведены предварительные опыты по оптической характеристике энергонакопительного композитного материала пористый углерод/суперионик.

Результаты работы имеют значение в качестве диагностической методики для определения перспективности применения тех или иных пористых материалов при создании ионисторов. Наличие и степень выраженности дуги годографа в среднечастотной области характеризует степень открытости поры, независимо от величины эффективного последовательного сопротивления. Такая информация необходима для выбора материала для ионисторов, и очень полезна, поскольку не может быть получена по результатам других измерений.

Краткие итоги по работе в 2009 г.

1. Определены характеристики энергонакопления на гетерогранице углерод/суперионный проводник для макетов ионисторов.

2. Исследованы спектры импеданса ионисторов в широкой области параметров. Обнаружена нелинейность импедансных характеристик.

3. Предложен механизм, обеспечивающий возникновение обнаруженной нелинейности.

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. Компан М.Е. Кузнецов В.П. Малышкин В.Г. «Нелинейный импеданс твердотельных энергонакопительных конденсаторов-ионисторов» // Журнал Технической Физики 2009 в печати
2. Компан М.Е. Кузнецов В.П. «Суперконденсаторы – энергонакопительные устройства современной энергетики.» // Тезисы Всероссийской конференции «Проблемы водородной энергетики». Изд.ФТИ РАН,2009, в печати.

12.2. Гетероструктуры «неорганический протонный проводник – гидрируемый металл»: протонный гетеропереход, перенос протонов в твердых гидроксидах поликристаллической и наноразмерной текстуры, изотопные и квантовые эффекты.

Руководитель проекта:

Байков Юрий Михайлович

ФТИ им.А.Ф.Иоффе РАН

194021 Санкт-Петербург, Политехническая, 26.

тел. (812) 292-7937; факс: (812) 297-1017

E-mail: baikov.solid@mail.ioffe.ru

Участники проекта: В.М. Егоров, В.А. Климов, Е.И. Никулин, Б.Т. Мелех.

В 2009 году основные усилия были направлены на совершенствование дизайна исследуемых ионных гетероструктур с целью расширения температурного интервала (ниже комнатной температуры), создания условий получения возможно более полной электрохимической информации и резкого увеличения длительной и устойчивой работы. Разработки в этом направлении способствовали не только повышению надежности результатов представленных ниже фундаментальных исследований новых протонных проводников и протонных гетеропереходов на их основе, но и пионерскому установлению электрохимической активности ионных гетероструктур типа $\text{Pd}|\text{KOH}\cdot\text{H}_2\text{O}|\text{C}$, $\text{PdH}_x|\text{KOH}+\text{NaOH}|\text{PdO}_y$, $\text{Ti}|\text{KOH}\cdot\text{H}_2\text{O}|\text{C}$, способных работать как маломощные батареи и аккумуляторы (rechargeable batteries) с ЭДС ~ 1.3 В в области температур 300 – 450 К. Хотя детальное изучение прикладного аспекта не входит в план исследований, но уже полученные, как и предполагаемые результаты фундаментальных исследований протонных гетеропереходов свидетельствуют о перспективности поиска фактически новых электрохимических устройств на базе протонпроводящих гетероструктур [1,2].

1. Изучена ионная проводимость твердых неорганических проводников на основе KOH , NaOH и H_2O , доказан протонный характер их проводимости методом изотопного эффекта, в твердых эвтектиках найдены фазовые переходы в состояние суперпротонной проводимости и обсуждается значимость самоорганизующейся микрогетерогенности твердых эвтектик для её формирования [3,4]

Впервые показано, что $\text{KOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ и две эквимольные эвтектики $\text{KOH}\backslash\text{NaOH}$ и $\text{KOH}\backslash\text{KOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ в интервалах температур 310 – 458 К, 360 -370 К и 320 – 420 К, соответственно. являются твердыми суперпротониками. Их проводимости выше 1 mS/cm и энергии активации меньше 0,4 eV. Эти данные представлены на рис.1, совместно с литературными данными для широко исследуемого суперпротоника CsHSO_4 . Аномалии температурного хода проводимости эвтектик коррелируют с таковыми у теплоемкости в области 360 ± 1 К.(Рис.2). Изотопный эффект ($\text{H}\leftrightarrow\text{D}$) протонной проводимости для $\text{KOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ и для высокотемпературной формы $\text{KOH}\backslash\text{NaOH}$ составляет в среднем $1,4 \pm 0.15$ (Рис.3). Твердый моногидрат $\text{NaOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ в области 300 – 335 К - протоник (0. 4 mS/cm) с энергией активации ≈ 0.3 eV. Интересно также отметить, что при формальной экстраполяции проводимости $\text{NaOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ на область 400-450 К, т.е. уже расплава, она близка по величине к суперпротонной проводимости CsHSO_4 твердого.

Для моногидрата $\text{KOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ (кривая 1), являющегося химическим соединением, характерно плавное изменение проводимости в ~ 60 раз (от 0.3(310 К) до 20(458 К) mS/cm), а для эвтектик (кривые 2 и 3) исследуемый интервал температур распадается

на два: выше и ниже 360 К. Выше этой температуры проводимость эвтектик (от 15 до 80 mS/cm) выше таковой у моногидрата, а энергия активации не превышает 0.28 eV. Температурная зависимость проводимости твердого KOH·H₂O во всем исследованном интервале температур соответствует энергии активации ~0.4 eV. (Кривая 1 переходит в кривую 7, соответствующую расплаву этого моногидрата).

Обсуждается значимость для высокой проводимости самоорганизующейся микро (нано?)гетерогенности твердой эвтектики KOH/NaOH (Рис.2) и для особенностей кинетики электродных процессов. Наиболее вероятным вариантом предполагается существенная модификация физических свойств KOH и NaOH при формировании твердых микро(нано?)частиц эвтектики, например сдвиг температур фазовых переходов из диэлектрического в суперпротонное состояние.

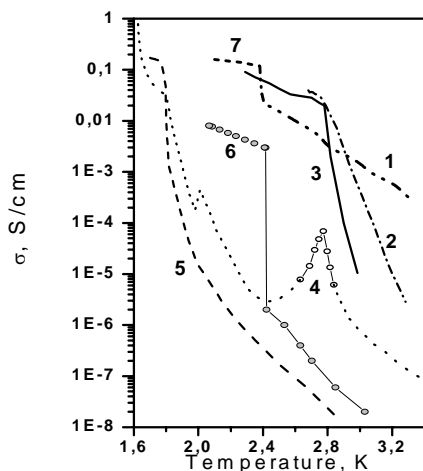


Рис.1. Ионная проводимость-температура: 1-KOH·H₂O; 2-KOH+KOH·H₂O; (эвтектка) 3- KOH+NaOH; (эвтектика) 4-KOH; 5- NaOH; 6- CsHSO₄ (литература)

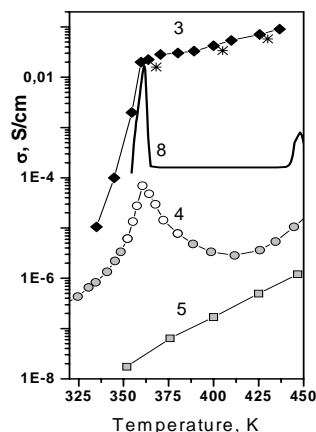


Рис.2. Проводимость эвтектики NaOH+KOH (3) суперпротонная и существенно выше проводимости у «родительских» KOH(4) и NaOH (5) в основном электронной. 8- кривая ДСК эвтектики

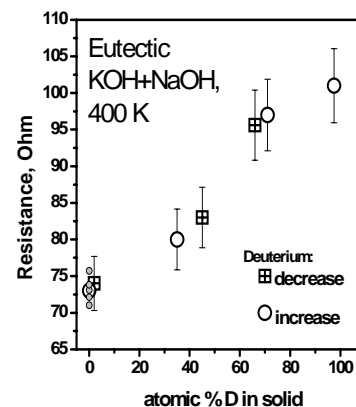
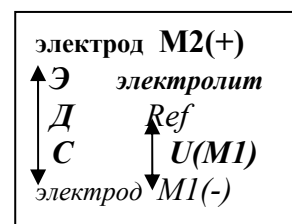


Рис.3. Изотопный эффект проводимости эвтектики NaOH + KOH. Изменение соотношения H/D через изотопный обмен газ-твердое тело

2. Изучен изотопный эффект потенциалов протонных гетеропереходов U(M₁)

Электроды Ref/M ₁	Электролит	Электрод M ₂	-U(M ₁) мВ	T, К
Pd/PdH _x	KOH·H ₂ O	C	800	368
Pd/PdD _x	KOD·D ₂ O(95%D)	C	920	368
Pd/PdH _x	NaOH\KOH	PdO/Pd	900	408
Pd/PdD _x	NaOD\KOD(60%D)	PdO/Pd	960	408



Электроды: M1 –исследуемый, Ref –референсный, M2 - вспомогательный

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. Yu.M.Baikov. New Electrochemical Cells with Membrane-Electrode-Assembly generating Protonic Heterojunctions "Inorganic Proton Conductor-Hydrogenated Metal" J. of Power Sources 2009, V.193, P. 371-375.
2. Yurii Baikov. New Solid Electrolytes Based on Hydroxides: Fundamental and Applied Aspects. In: The 60th Annual Meeting of the International Society of

Electrochemistry, Beijing, 16-21 August, 2009, China. Program of Symposium 5th "Electrochemical Energy Conversion and Storage".

3. Ю.М.Байков, В.М.Егоров. Твердогидроксидные протонные проводники: суперионная проводимость, фазовые переходы, изотопные эффекты, и самоорганизующаяся микрогетерогенность. Физика Твёрдого Тела 2009, Т.51, Вып.1, С.33 – 42.
4. Ю.М.Байков. Протонный перенос в электрохимически активных гетероструктурах «твердогидроксидный протонный проводник–гидрируемый металл» Электрохимия 2009 Т.45, Вып.4, 388-397.

12.3 Разработка высокоэффективных электродов на основе пленок наноструктурированного кремния для литий-ионных аккумуляторов второго поколения.

Руководитель проекта:

Теруков Евгений Иванович

ФТИ им.А.Ф.Иоффе РАН

194021 Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 26

Тел : (812) 2927173; факс (812) 2911017

E-mail: eug.terukov@mail.ioffe.ru

Участники проекта: Астрова Е.В., Гуревич С.А., Коньков О.И., Трапезникова И.Н., Кожевин В.М., Явсин Д.А., Терукова Е.Е.

1. Проведена оптимизация пленок аморфного гидрогенизированного кремния для использования в качестве отрицательного электрода твердотельного тонкопленочного литий-ионного аккумулятора./1,2,3/. Получена интеркаляционная емкость порядка 3200 мАч/г и 2500 мАч/г при первом и двухсотом циклах.

2. Методом лазерного электродиспергирования получены аморфные нанокластерные пленки кремния. Надежно показано, что пленка состоит из аморфных нанокластеров кремния размером порядка 2 нм. Исследованы их свойства и осуществлены первые эксперименты по интеркаляции лития./ 4/. При первом цикле достигнута интеркаляционная емкость 10 000 мАч/г, что почти в три раза превышает теоретический предел, составляющий 4200 мАч/г.

3. Разработана оригинальная технология положительного электрода тонкопленочного литий-ионного аккумулятора на основе пентоксида ванадия /5/. При теоретической емкости 294.5 мАч/г получено значение 224 мАч/г и деградация в процессе длительного циклирования (порядка 120 циклов) составила 0.1 % за цикл.

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. А.Г.Казанский, Е.И.Теруков, П.А.Форш, J.P.Kleider Фотопроводимость пленок гидрированного кремния с двухфазной структурой. ФТП, т.44, №4 (2010), в печати.
2. Ю.А.Ундалов, Е.И.Теруков, О.Б.Гусев, В.М.Лебедев, И.Н.Трапезникова. Аморфный гидрогенизированный субокисел кремния, легированный эрбием: комплексное исследование условий получения плазменным dc-магнетронным распылением, состав и свойства. Тезисы докладов VI Международной конференции « Кремний- 2009», Новосибирск, 7-10 июля 2009, стр.109-110
3. O.Gusev, E.Terukov, K.Tsendin, Yu.Undalov, S.Minissale, T.Gregorkiewicz. Thermally induced defect photoluminescence in hydrogenated amorphous silicon upon intense interband pumping Phys B (2009), in press
4. А.А.Кукин, Д.В.Кошкина, С.А.Гуревич, В.В.Кожевин, Д.А.Явсин, Е.И.Теруков, В.Ю.Давыдов. Формирование и свойства наночастиц аморфного кремния, получаемого методом лазерного электродиспергирования. 13 Научная молодежная школа по твердотельной электронике « Физика и технология микро- и наносистем», Санкт-Петербург, 10-11 октября (2009), стр. 45-46
5. Е.И.Теруков, С.Е.Никитин, Ю.А.Николаев, Т.Л.Кулова, А.М.Скундин. Внедрение лития в тонкие пленки оксидов ванадия. Письма в ЖТФ, т.35, №23 (2009), стр.82-87

12.4. Протонпроводящие материалы на основе микро- и нано-структурированного кремния.

Руководитель проекта:

Астрова Екатерина Владимировна

Учреждение Российской Академии наук Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе,
194021, С.Петербург, Политехническая 26
тел. (812) 292 79 57; факс: (812) 292 71 23,
E-mail: east@mail.ioffe.ru

Участники проекта: Сресели О.М., Томасов А.А., Нечитайлов А.А.

В 2009 г была

1. Изучена возможность получения протонпроводящих материалов путем модифицирования кремнегелей и мезопористого кремния ортофосфорной и серной кислотами [1,2,10].

2. Предложены различные методы химического и электрохимического платинирования мезопористого кремния и проведены исследования их каталитической активности в воздушно-водородных топливных элементах [9] и по реакции окисления метанола методом циклической вольтамперометрии [11]. Наиболее высокая активность 1700 mW/mg получена при химическом осаждении Pt на мезопористый кремний при пониженных температурах.

3. Разработаны и исследованы воздушно-водородные микротопливные элементы с кремниевыми электродами разной конструкции. Показано, что одноуровневый щелевой кремний на катоде позволяет обеспечить высокую влагонезависимость элемента [5,12]. Двухуровневый щелевой кремний повышает удельную мощность элемента за счет улучшения функции газораспределения при использовании на катодной стороне и дает выигрыш по мощности при использовании на стороне анода, если активный слой сформирован не на мембране, а в верхнем слое щелевой структуры [13].

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

Статьи

1. А.А. Нечитайлов, Т.В. Хамова, А.Д. Ременюк, О.А. Шилова, А.А. Томасов. Свойства протонпроводящих материалов, формируемых золь-гель методом. ЖПХ, 2009, Т. 82, № 6, с. 931-934
2. А.Д. Ременюк, Т.В. Хамова, А.А. Нечитайлов, О.А. Шилова, А.А. Томасов, И.Н. Трапезникова. Термическая стабильность протонпроводящих силикофосфатных материалов, формируемых золь-гель методом. Электрохимия, 2009, т. 45, № 5, с. 645 – 650.
3. Глебова Н.В., Нечитайлов А.А. Электрокаталитическая активность поверхностных атомов платины на кремнии, Письма в ЖТФ, принята к печати.
4. С.А. Гуревич, М.В. Горохов, Н.К. Зеленина, В.М. Кожевин, Е.Е. Терукова, А.А. Томасов. Оптимизация мембранно-электродных блоков на основе полимерно-электролитных мембран для топливных элементов. Письма в ЖТФ, 2009, том 35, вып. 20.

Конференции

1. С.А. Гуревич, Д.А. Андроников, Е.В. Астрова, М.В. Горохов, Н.К. Зеленина, В.М. Кожевин, Е.И. Теруков, А.А. Томасов. Влагонезависимые портативные мембранно-

электродные блоки со свободно-дышащим катодом на основе щелевого кремния. 5-ая российская конференция «Физические проблемы водородной энергетики», С.Петербург, 16-18 ноября 2009

2. С.А. Гуревич, М.В. Горохов, Н.К. Зеленина, В.М. Кожевин, Е.Е. Терукова, А.А. Томасов. Мембранно-электродные блоки с высокой удельной мощностью (200 мВт/см^2 , 20^0С) для твердополимерных топливных элементов. Труды 3-го Международного симпозиума по Водородной энергетике, Москва, 1-2 декабря 2009

3. Глебова Н.В., Нечитайлов А.А., Звонарева Т.К. Физико-химические превращения при термическом воздействии на наноструктурированный углеродный материал, полученный магнетронным распылением графита., Тезисы доклада 6-ой Международной конференции «Углерод: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, технология» (Новые углеродные конструкционные и функциональные материалы) 28–30 октября 2009 г., г.Троицк Московской области (доклад принят)

4. Глебова Н.В., Нечитайлов А.А. Физико-химические свойства углеродных материалов, предназначенных в качестве компонента каталитического нанокompозита, для низкотемпературных топливных элементов. доклад, будет издан как научные труды Всероссийской конференции "Функциональные наноматериалы и высокочистые вещества" (доклад принят)

Д.Н.Горячев, О.С. Ельцина, О.М. Сресели. Каталитическая активность платины на пористых кремниевых электродах. 5-ая российская конференция «Физические проблемы водородной энергетики», С.Петербург, 16-18 ноября 2009

5. А.А. Нечитайлов, Н. В. Глебова, Е.В. Астрова, А.А. Томасов. Придание ионной проводимости мезопористому кремнию. 5-ая российская конференция «Физические проблемы водородной энергетики», С.Петербург, 16-18 ноября 2009

6. Н. В. Глебова, А. А. Нечитайлов. Электрокаталитическая активность поверхностных атомов платины на различных носителях. Труды 3-го Международного симпозиума по Водородной энергетике, 1-2 декабря 2009 г., Москва.

7. С.А. Гуревич, Д.А. Андроников, Е.В. Астрова, М.В. Горохов, Н.К. Зеленина, В.М. Кожевин, Е.И. Теруков, А.А. Томасов. Новый газодиффузионный элемент - электрод на основе щелевого Si для портативных ТПТЭ со “свободно-дышащим” катодом. Труды 3-го Международного симпозиума по Водородной энергетике, 1-2 декабря 2009 г., Москва

8. Е.В.Астрова, А.А. Томасов, Д.Н.Горячев, Н.К. Зеленина, Е.Е. Терукова. Воздушно-водородные топливные элементы с двухуровневым щелевым электродом на основе кремния. . 5-ая российская конференция «Физические проблемы водородной энергетики», С.Петербург, 16-18 ноября 2009.

9. С.А. Гуревич, М.В. Горохов, Н.К. Зеленина, В.М. Кожевин, Е.Е. Терукова, А.А. Томасов. Оптимизация характеристик каталитических слоев мембранно-электродных блоков (200 мВт/см^2 , 20^0С) на основе полимерных протонопроводящих мембран для топливных элементов. 5-ая российская конференция «Физические проблемы водородной энергетики», С.Петербург, 16-18 ноября 2009

12.6 Исследование особенностей ионного транспорта в материалах с ионной и смешанной ионно-электронной проводимостью.

Руководитель проекта:

Бредихин Сергей Иванович

Институт физики твёрдого тела РАН

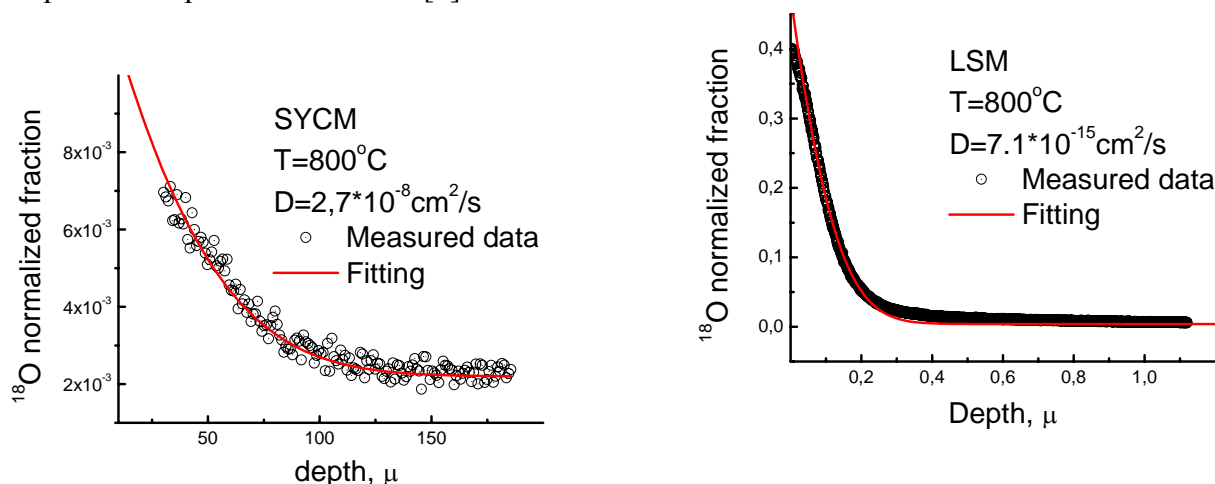
142432 Черноголовка, Московская обл.,

тел. (496) 5249702; факс: (496) 5249701,

E-mail: bredikh@issp.ac.ru

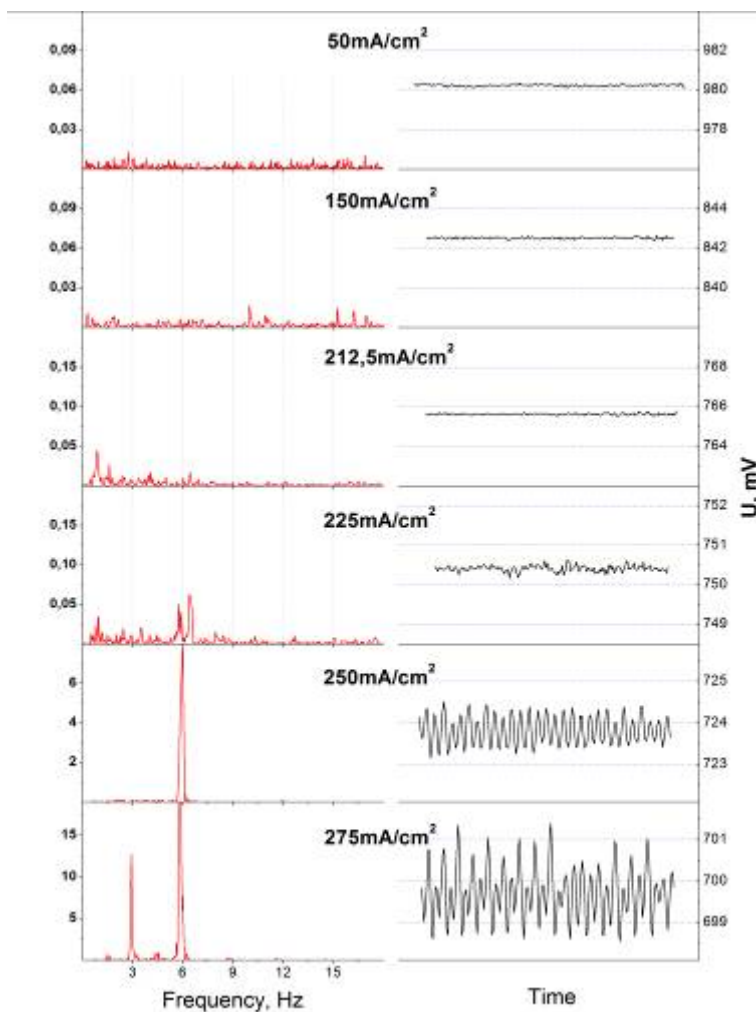
Участники проекта: В.В.Синицын, А.В.Дубовицкий, Е.В.Коровкин, И.Н.Бурмистров, И.С.Бредихин, Е.А.Фролова.

1. Измерены коэффициенты самодиффузии кислорода, а также константы поверхностного обмена с газовой фазой кислорода у катодных материалов $\text{La}_{0,75}\text{Sr}_{0,25}\text{MnO}_{3-\delta}$ (LSM 0,75), $\text{La}_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{MnO}_{3-\delta}$ (LSM 0,8) и $\text{Sr}_{0,75}\text{Y}_{0,25}\text{Co}_{0,5}\text{Mn}_{0,5}\text{O}_{3-\delta}$ (SYCM). Показано, что коэффициенты диффузии в SYCM превосходят аналогичные значения в LSM на 7(!) порядков и лишь на порядок уступают этому показателю в YSZ (оксид циркония, стабилизированный 8÷10 мол. % оксида иттрия), использующимся в качестве твёрдого электролита в ТОТЭ. Это свидетельствует о значительно большей величине ионной проводимости данного материала по сравнению с LSM [1].



2. На модельных образцах ТОТЭ с $\text{Sr}_{0,75}\text{Y}_{0,25}\text{Co}_{0,5}\text{Mn}_{0,5}\text{O}_{3-\delta}$ катодами обладающими высокой ионно-электронной проводимостью обнаружено возникновение токовой неустойчивости [2,3]

3. Показано, что появление осцилляций потенциала имеет резкий порог, чувствительный к парциальному давлению кислорода в катодной камере. Напряжение на ТОТЭ осциллирует на чётко выраженной частоте, зависящей от толщины катода [2,3].



Зависимость напряжения на топливном элементе с SYCM катодом от времени (справа) и спектры измеренного сигнала (слева), полученные при различных значениях тока нагрузки

В импедансном спектре образца явление токовой неустойчивости сопровождается появлением аномальной низкочастотной индуктивной петли, которую можно описать LC-контуром с потерями. Собственная частота такого LC-контура соответствует частоте осцилляций потенциала при гальваностатических измерениях. Увеличение тока нагрузки приводит к появлению не только гармоник основной частоты осцилляций $f_k = f_0 * 2^k$, но так же колебаний на частотах с общей формулой $f_n = f_0 / 2^n$. Важно отметить, что основные результаты наблюдения явления токовой неустойчивости хорошо согласуются с предложенной нами моделью.

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

1. Y.Fedotov, I.Bredikhin, S.Bredikhin “ A TOF-SIMS study of oxygen tracer diffusion and surface exchange in $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ and $\text{Sr}_{0.75}\text{Y}_{0.25}\text{Co}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{O}_{2.875}$ oxides” 12th European Conference on Solid State Chemistry, Munster, Germany, Proceedings, p.343 (2009).
2. Ilya Burmistrov and Sergey Bredikhin “Current instability in solid oxide fuel cells.” 11th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells, Vienna, Austria, Proceedings, p.1532 (2009).
3. Sergey Bredikhin, Ilya Burmistrov “Current instability in SOFC induced by interaction between mobile ionic and electronic subsystems” The 3rd International Conference on Physics of Solid State Ionics, Kumamoto, Japan, Proceedings, p.8 (2009).

12.6. Влияние размерных характеристик легированных манганитов лантана на транспортные свойства материала.

Руководитель проекта:

Шехтман Вениамин Шоломович
Институт Физики Твёрдого Тела РАН
142432 Черноголовка Моск..обл.
тел. +7 (496) 522 2917;
факс: +7(496) 524 9701
E-mail: shekht@issp.ac.ru

Участники проекта: В.Д.Седых, А.В.Дубовицкий, И.И.Зверькова, Аристова И.М.

1. Сочетание экспериментальных методик рентгендифракционного анализа, оптической и электронной микроскопии использовано для выявления роли режимов синтеза и последующей термической обработки в формировании реальной структуры семейства манганитов лантана (легированные и нелегированные соединения).

2. Выявлено, что синтез методом золь-гель приводит к существенному измельчению микрозерен по сравнению с твердофазным синтезом. Например, твердофазный синтез приводит к формированию зёрен размером в несколько микрон. Размер зерна нелегированного манганита лантана после синтеза методом золь-гель составляет порядка 80 нм.

3. Установлено, что синтезированные образцы являются монодисперсными. Фазовый переход при термообработке приводит, с одной стороны к сильному измельчению частиц, с другой стороны возникает полидисперсность – т.е. возникает заметный разброс по размерам частиц.

Список основных публикаций по проекту 2009 г.

Полученные экспериментальные результаты готовятся к публикации.

