

Наименование института: **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем технологий микроэлектроники и особочистых материалов Российской академии наук
(ИПТМ РАН)**

Отчет по основной референтной группе 23 Компьютерные науки, включая информационные и телекоммуникационные технологии, робототехнику

Дата формирования отчета: **22.05.2017**

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НАУЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Инфраструктура научной организации

1. Профиль деятельности согласно перечню, утвержденному протоколом заседания

Межведомственной комиссии по оценке результативности деятельности научных организаций, выполняющих научно-исследовательские, опытно-конструкторские и технологические работы гражданского назначения от 19 января 2016 г. № ДЛ-2/14пр

«Генерация знаний». Организация преимущественно ориентирована на получение новых знаний. Характеризуется высоким уровнем публикационной активности, в т.ч. в ведущих мировых журналах. Исследования и разработки, связанные с получением прикладных результатов и их практическим применением, занимают незначительную часть, что отражается в относительно невысоких показателях по созданию РИД и небольших объемах доходов от оказания научно-технических услуг. (1)

2. Информация о структурных подразделениях научной организации

В период 2013-2015 гг. в состав ИПТМ РАН входило 19 лабораторий и 2 группы, работающие в рамках следующих научных направлений Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы, утвержденной Правительством Российской Федерации 3 декабря 2012 г. № 2237-р:

Раздел IV «Информатика и информационные технологии»:

40. Элементная база микроэлектроники, наноэлектроники и квантовых компьютеров.

Материалы для микро- и наноэлектроники. Нано- и микросистемная техника. Твердотельная электроника.

41. Опто-, радио- и акустоэлектроника, оптическая и СВЧ-связь, лазерные технологии.

43. Нанотехнологии, нанобиотехнологии, наносистемы, наноматериалы, нанодиагностика, наноэлектроника и нанофotonika.

Лаборатории и группы ИПТМ РАН и их специализация:

Лаборатория теоретической физики (рук. д.ф.-м.н. С.И. Зайцев) Специализация: Теоретические исследования фундаментальных основ микро- и наноэлектроники, включая



057162

технологические аспекты. Развитие физических методов исследования кристаллов, пленок и структур: электронно-микроскопических, рентгеновских (включая томографию), оптических и акустических. Создание теоретических основ диагностики полупроводниковых структур методами растровой электронной микроскопии. Создание теоретических основ нанолитографии, включая технологию "впечатывания".

Лаборатория прикладной математики (рук. к.ф.-м.н. В.В. Сироткин) Специализация: Моделирование процессов и явлений, связанных с объектами микро- и наноэлектроники. Разработка методов моделирования для размерных задач микроэлектроники. Развитие методов рентгеновской и электронно-лучевой микротомографии.

Лаборатория квантовой электроники и кинетики металлических наносистем (рук. д.ф.-м.н. Г.М. Михайлов) Специализация: Исследование морфологии и свойств, в том числе магнитных, эпитаксиальных структур из металлов.

Экспериментально-технологическая лаборатория (рук. д.ф.-м.н. А.Н. Редькин) Специализация: получение и исследование свойств новыхnanostructured materials. Развитие методов технологии и разработка оборудования нанесения пленок и многослойных структур. Развитие технологии получения материалов электроники и микросистемной техники.

Лаборатория физики полупроводниковых структур (рук. д.ф.-м.н. С.В. Морозов) Специализация: получение и исследование свойств полупроводниковых структур, включая структуры на основе графена.

Лаборатория эпитаксиальных микро- и nanostructured materials (рук. к.т.н. С.Ю. Шаповал) Специализация: Разработка, создание прототипов и исследование свойств полупроводниковых приборов на основе эпитаксиальных микро- и nanostructured materials, включая СВЧ-приборы. Физика СВЧ плазмы и ее применение в технологии наноэлектроники для прецизионного травления, осаждения тонких слоев и эпитаксии, включая разработку и изготовление промышленного ЭЦР-плазменного оборудования наноэлектроники. Исследование физических основ приборов и интегральных схем на основе широкозонных материалов.

Лаборатория ионной технологии (рук. д.ф.-м.н. А.Ф. Вяткин) Специализация: Исследование влияния ионного облучения на свойства материалов электронной техники; разработка методов модификации материалов электронной техники с использованием ионных пучков. Исследование физических процессов взаимодействия атомных, ионных и молекулярных пучков с твердыми телами с целью определения основных параметров процессов формирования приборных структур микро-, наноэлектроники и микромеханики, зависящих от характеристик этих частиц и от свойств твердых тел.

Лаборатория радиационно-стимулированных процессов (рук. д.ф.-м.н. В.Н. Мордкович) Специализация: Исследование влияния ионизирующего излучения на свойства полупроводниковых материалов и структур. Разработка имплантационной технологии получения структур кристалл на изоляторе (КНИ). Разработка микро и оптоэлектронных приборов на их основе.



Лаборатория рентгеновской кристаллооптики (рук. к.ф.-м.н. Е.В. Шулаков) Специализация: Развитие методов исследования материалов с использованием рентгеновского излучения и их применение для изучения кристаллов и микроструктур. Разработка фокусирующих элементов на основе эффектов дифракции и преломления рентгеновского излучения, разработка рентгеновских волноводов, а так же комбинированных систем на базе фокусирующих элементов и волноводов. Развитие рентгеновских высокоразрешающих топографических экспериментальных схем исследования объектов, включая фазово-контрастные методы.

Лаборатория рентгеновской акустооптики (рук. д.ф.-м.н. Д.В. Рощупкин) Специализация: Исследование характеристик акустических материалов и приборов на их основе с использованием рентгеновского излучения; разработка и исследование свойств рентгенооптических приборов. Исследование структурного совершенства реальных пьезоэлектрических и сегнетоэлектрических кристаллов. Рентгеновская акустооптика на приборах ПАВ. Изготовление и исследование рентгенооптических свойств многоуровневых дифракционных решеток и зонных пластинок скользящего падения.

Лаборатория интегральной оптики (рук. д.ф.-м.н. А.Н. Грузинцев) Специализация: Исследование оптических свойств микро- и нанообъектов, разработка технологии создания приборов на их основе.

Лаборатория локальной диагностики полупроводниковых материалов (рук. д.ф.-м.н. Е.Б. Якимов) Специализация: Диагностика материалов и приборов микро- и наноэлектроники с использованием локальных методов диагностики. Развитие электронно-микроскопических методов локальной диагностики полупроводниковых материалов. Исследования электрических свойств дефектов в полупроводниковых материалах.

Лаборатория растровой электронной микроскопии (рук. к.ф.-м.н. В.В. Казьмирук) Специализация: Разработка и исследование электронно-лучевых приборов, включая нанолитограф и низковакуумный электронный микроскоп.

Лаборатория просвечивающей электронной микроскопии (рук. д.ф.-м.н. И.И. Ходос) Специализация: Исследование материалов и приборов микро- и наноэлектроники с использованием метода просвечивающей электронной микроскопии. Электронно-микроскопические исследования атомной структуры и дефектов полупроводниковых материалов, пленок на их основе. Исследование атомной структуры высокотемпературных сверхпроводников. Разработка методов высоковольтной электронной литографии.

Лаборатория спектроскопии магнитных материалов (рук. д.ф.-м.н. В.А. Тулин)

Специализация: Развитие физических принципов создания элементной базы наноэлектроники, квантовых компьютеров и датчиков физических величин на основе новых свойств материалов и структур различной размерности, в том числе углеродныхnanoструктур.

Лаборатория высокочистых и совершенных пленок (рук. к.т.н. В.Н. Матвеев) Специализация: Разработка технологий и исследование процессов создания высокосовершенных тонких пленок материалов микро- и наноэлектроники. Изготовление джозефсоновских



057162

структур на основе тугоплавких сверхпроводников. Спин-зависящий транспорт в металлических наноструктурах.

Лаборатория тонких пленок (рук. к.ф.-м.н. В.А. Марченко) Специализация: Исследование процессов формирования тонких пленок различных материалов и многослойных структур методом магнетронного напыления в разнообразных модификациях. Методы послойного анализа пленочных структур, основанные на оже-спектроскопии с ионным профилированием. Квантовые эффекты и флуктуации в мезоскопических сверхпроводящих пленочных структурах.

Лаборатория нетрадиционных материалов электроники (рук. к.х.н. Н.В. Личкова) Специализация: Создание новых кристаллических материалов для элементов ИК оптики среднего диапазона на основе галогенидов металлов. Разработка фундаментальных основ создания и диагностики новых функциональных наноматериалов и наноструктур с быстрым ионным транспортом. Структурно-динамический подход к описанию процессов быстрого ионного транспорта в наноионике: развитие, верификация и применение.

Лаборатория ядерно-физических и масс-спектральных методов анализа (рук. к.х.н. В.К. Карадашев) Специализация: Разработка методов химического анализа твердых тел, газа, растворов.

Группа физики и технологий мезоскопических структур (рук. к.т.н. А.И. Ильин) Специализация: Создание экспериментальных объектов микро- и наноэлектроники с использованием метода электронно-лучевой литографии и фотолитографии. Технологии изготовления мезоскопических структур. Магнито-транспортные свойства мезоскопических структур.

Группа физико-химических основ получения веществ особой чистоты (рук. к.т.н. Н.В. Лапин) Специализация: Разработка методов получения и исследования веществ особой чистоты для использования в микро- и наноэлектронике. Синтез сложных оксидов кобальта и никеля наноразмеров, являющихся основой катодных материалов в перезаряжаемых литиевых источниках тока. Исследование закономерностей химических твердотельных реакций при синтезе этих веществ и изучение взаимосвязи условий синтеза со структурой и электрохимическими характеристиками получаемых материалов.

3. Научно-исследовательская инфраструктура

ИПТМ РАН оснащён следующим научно-техническим оборудованием:

1. Установка «Ника 3» для выращивания пьезоэлектрических кристаллов методом Чохральского.
2. Источник рентгеновского излучения с врачающимся анодом Rigaku Rotaflex RU200.
3. Четырехкружный рентгеновский дифрактометр D8 DISCOVER.
4. Камеры Ланга.
5. Электронный микроскоп JEOL JSM840.



057162

6. Установка электронно-лучевой нанолитографии на основе растрового электронного микроскопа ZEISS EVO-50; Литограф на базе ZEISS EVO-50 позволяет создавать элементы с размерами до 20 нм. Возможность осуществления электронно-лучевой литографии реализована путем интегрирования с программно-аппаратным комплексом NanoMaker.

7. Установка фотолитографии.

8. Установка магнетронного напыления тонкопленочных покрытий Alcatel SML - 2 шт.

9. Двухлучевой микроскоп Auriga (Carl Zeiss Cross Beam Auriga).

10. Растровый электронный микроскоп JSM-6490 имеет пространственное разрешение до 3 нм. Микроскоп имеет приставки для рентгеновского микроанализа, катодолюминесценции и дифракции обратно отраженных электронов.

11. Сканирующий электронный микроскоп Philips 525 SEM укомплектованный EDAX-EBIC (система наведённого тока).

12. Сканирующий электронный микроскоп JEOL-840 укомплектованный системой наведённого тока.

13. Рамановский микроскоп Bruker.

14. Инфракрасный спектрометр Bruker.

15. Электронное измерительное оборудование различных производителей, в том числе, цифровые мультиметры KEYTHLEY.

16. Оснащенные контроллерами системы микропозиционирования "Physik Instrumente".

17. Среда программирования для автоматизации экспериментов "LabView-LabWindows".

18. Уникальная научная установка - Ионно-пучковый аналитический комплекс «Сокол-3».

19. Набор рентгеновских, полупроводниковых и сцинтилляционных детекторов производства Ortec, Canberra, Amptec, Bruker.

20. Оборудование для элементного анализа: масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой; атомно-эмиссионная спектроскопия с индуктивно-связанной плазмой:

Квадрупольные масс-спектрометры:

X-7 (Thermo Scientific, США);

X-2 (Thermo Scientific, США);

Масс-спектрометр высокого разрешения:

Element 2 (Thermo Scientific, США);

Система лазерной абляции:

UP-266 Macro (NWR, США).

21. Установка ионной имплантации Varian Extrion 2000.

22. Рентгеновская установка АДП-1 с комплексом модифицирующих узлов.

22. Чистая комната.

23. Просвечивающий электронный микроскоп JEOL JEM-100CX (Япония).



057162

24. Просвечивающий электронный микроскоп JEOL JEM-2000FX, оборудованный системой элементного анализа AN 10000 (Oxford Instruments, Великобритания).

С помощью перечисленного выше оборудования были получены следующие результаты:

(1) Разработан метод создания наноразмерных мелко залегающих слоев атомов бора в кремнии на основе имплантации атомов отдачи бора из тонкой пленки BF₃, сконденсированной на поверхности кремния в твердой фазе. Метод перспективен для создания мелко залегающих p-n переходов в кремнии (патент №2523732 от 28.05.2014 г. А.Ф. Вяткин, В.И. Зиненко, Ю.А. Агафонов, В.В. Сарайкин, "Способ создания мелко залегающих наноразмерных легированных слоев в кремнии").

(2) Разработаны и изготовлены мультилинзовые рентгеновские интерферометры на основе линзовых систем, состоящих из 30 параллельно расположенных составных кремниевых планарных преломляющих линз с фокусным расстоянием 2 и 4 см в диапазоне жесткого рентгеновского излучения с длиной волны от 2 нм до 12 нм. Экспериментально было показано, что в условиях освещения когерентным источником синхротронного излучения на определенных расстояниях наблюдается интерференционная картина с периодом полос от десятков нанометров до десятков микрометров. Новое устройство позволит развить интерференционные методы для локального анализа и диагностики наноматериалов иnanoструктур.

(3) Синтезирован новый углеродный наноматериал, состоящий из нанотрубок и графена (Патент №2548989, 20.04.2015г., Матвеев В.Н., Кононенко О.В., Левашов В.И., Волков В.Т., Ходос И.И., "Способ получения гибрида графена и углеродных нанотрубок"). Исследование свойств материала показало необычно высокую чувствительность к магнитному полю (до 3000 Ом/Т). Из этого материала изготовлены субмикронные холловские сенсоры с размером рабочей области $0.13 \times 0.13 \mu\text{m}^2$. Устройства продемонстрировали чувствительность 1140 Ом/Т, что на 2-3 порядка превосходит известные в литературе результаты. Зависимость холловского сопротивления от магнитного поля – линейная, что позволяет использовать сенсоры для измерений в широком диапазоне величин магнитного поля.

4. Общая площадь опытных полей, закрепленных за учреждением. Заполняется организациями, выбравшими референтную группу № 29 «Технологии растениеводства»

Информация не предоставлена

5. Количество длительных стационарных опытов, проведенных организацией за период с 2013 по 2015 год. Заполняется организациями, выбравшими референтную группу № 29 «Технологии растениеводства»

Информация не предоставлена

6. Показатели деятельности организаций по хранению и приумножению предметной базы научных исследований



057162

Информация не предоставлена

7. Значение деятельности организации для социально-экономического развития соответствующего региона

За отчетный период в ИПТМ РАН велись работы по проекту РФФИ 14-48-03664 р_центр_a Регионального конкурса "ЦЕНТРАЛЬНАЯ РОССИЯ": "Топологический изолятор на основе монокристаллической нанопроволоки висмута" (2015-2016 г.г.).

Наноэлектроника включена в концепцию развитияnanoиндустрии на территории Московской области на период до 2020 года в качестве приоритетного направления. Нанопроволоки висмута, исследованию свойств которых был посвящен данный проект, являются перспективными кандидатами для применения в наноэлектронике, поскольку в них может быть реализовано электронное состояние «топологического изолятора» - материала, проводящего электрический ток только в тончайшем поверхностном слое. Эта проводимость является квантовым эффектом, обладающим разнообразными особенностями (например, невозможность обратного рассеяния электронов, зависимость направления движения электрона от его спина), которые можно применить для создания новых электронных устройств.

Премия Губернатора Московской области «Наше Подмосковье» получена в 2014 году в номинации «Шаг вперед» за проект «Разработка геофона на основе планарного молекулярно-электронного преобразователя, изготовленного с помощью современных микроэлектронных технологий» (В.Г. Криштоп).

В 2017 г. Институт получил благодарность Губернатора Московской области А. Воробьева за большой вклад в реализацию государственной научно-технической политики в Московской области и плодотворную научную деятельность.

8. Стратегическое развитие научной организации

Стратегия программы развития ИПТМ РАН определяется проведением фундаментальных, прикладных и поисковых исследований в области микро- и наноэлектроники.

На основе оптимального сочетания и взаимодействия фундаментальных, поисковых и прикладных исследований в микро- и наноэлектроники будут реализованы следующие направления:

- (1) Развитие новой перспективной элементной базы микро - и наноэлектроники.
 - (2) Разработка прорывных технологий получения функциональных материалов для нано- и микроэлектроники, микросистемной техники, опто- и акустоэлектроники, фотоники.
 - (3) Создание на основе новых материалов интеллектуальных устройств для передачи и обработки информации в режиме реального времени.
 - (4) Разработка новых материалов и технологий для возобновляемых источников энергии.
- Приоритетные задачи исследований:



057162

(1) Развитие электронной и ионной литографии, наноимпринтинга для проведения фундаментальных и прикладных исследований в области создания перспективной элементной базы электроники на новых физических принципах с размерами элементов до 10 нм.

(2) Проведение фундаментальных исследований, направленных на создание новых перспективных функциональных материалов дляnano- и микроэлектроники, микросистемной техники, опто- и акустоэлектроники, фотоники и разработку на их основе интеллектуальных устройств для передачи и обработки информации в режиме реального времени.

(3) Проведение исследований электрических, магнитных и оптических свойств nano-размерных и квантоворазмерных структур с целью поиска новых физических принципов построения элементной базы nano- и микроэлектроники, микросистемной техники, фотоники.

(4) Развитие электронно-микроскопических и рентгеновских методов диагностики и материаловедения новых функциональных материалов и приборов.

(5) Проведение исследований в области возобновляемых источников энергии: солнечная энергетика, водородная энергетика, пьезоэлектрические генераторы.

Долгосрочные партнеры:

(1) НИИ Молекулярной Электроники (НИИМЭ, г. Зеленоград, www.niime.ru),

(2) ОАО "ФОМОС Материалс" (г. Москва, <http://newpiezo.com>),

(3) Московский физико-технический институт (Государственный университет) (МФТИ, г. Долгопрудный),

(4) Национальный исследовательский технологический университет МИСиС (г. Москва),

(5) Федеральный балтийский университет им. Э. Канта (г. Калининград).

С 2015 г. ИПТМ РАН участвует в работе консорциума «Перспективные материалы и элементная база для микро- и наноэлектроники» в составе: Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники» (АО «НИИМЭ»), Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов Российской академии наук (ИПТМ РАН), Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технологический институт Российской академии наук (ФТИАН РАН), Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт сверхвысокочастотной полупроводниковой электроники Российской академии наук (ИСВЧПЭ РАН).

Интеграция в мировое научное сообщество

9. Участие в крупных международных консорциумах (например - CERN, ОИЯИ, FAIR, DESY, МКС и другие) в период с 2013 по 2015 год



057162

(1) Начиная с 2006 года между ИПТМ РАН и HELMHOLTZ-ZENTRUM BERLIN FUR MATERIALRN UND ENERGY GMBH (г. Берлин, Германия) подписан ряд соглашений в области MegaScience по созданию элементов высокоразрешающей рентгеновской оптики для источника синхротронного излучения BESSY II (дифракционные решетки, фокусирующая рентгеновская оптика, элементы управления пространственно-временной структурой рентгеновского излучения).

(2) В 2008 году подписан меморандум о сотрудничестве с Quantum Functional Research Center (QSRC) Университета Донггука (г. Сеул, Корея). Главная цель сотрудничества состоит в создании новых квантовых функциональных приборов. Параллельно целями сотрудничества являются создание многофункциональных приборов и новых квантовофункциональных материалов, которые расширяют горизонты физики полупроводников и создают новую концепцию квантовых структур и приборов в направлении физики мезоскопических и квантовых явлений.

(3) Протокол об академическом сотрудничестве с Zhejiang University of Technology (People's Republic of China) был подписан в 2012 году. Сотрудничество направлено на создание рентгенооптических элементов для фокусировки рентгеновского излучения и реализации методов рентгеновского микрофлуоресцентного анализа для анализа структур микро- и наноэлектроники.

(4) В 2013 году было подписано соглашение с «Nazarbayev University Research and Innovation System» по проведению совместных исследований в области создания наноструктурированных материалов на основе графена и углеродных материалов в рамках программы «Энергосберегающая технология современных мембран для орошения воды».

10. Включение полевых опытов организации в российские и международные исследовательские сети. Заполняется организациями, выбравшими референтную группу № 29 «Технологии растениеводства»

Информация не предоставлена

11. Наличие зарубежных грантов, международных исследовательских программ или проектов за период с 2013 по 2015 год

(1) QSRC-IMT RAS-FOMOS project "Research and development of smart piezo-electric light emitting devices for sustainable energy applications", 2011-2014 г.г., финансирование проекта осуществлялось за счет средств QSRC (Dongguk University, Seoul, Korea). ИПТМ РАН: Исследование электрооптических свойств структур GaN/La₃Ga₅SiO₁₄ (полупроводник/пьезоэлектрик).

(2) Договор с Частным учреждением «Nazarbayev University Research and Innovation System» (Казахстан) по «Разработке методик визуализации и исследования процесса распространения ПАВ в системе графен/пьезоэлектрический кристалл» по проекту «Энергосберегающая технология современных мембран для орошения воды», ИПТМ



РАН: синтез графена, создание акустоэлектронных устройств, исследование процесса распространения поверхностных акустических волн в графене. Финансирование за счёт средств «Nazarbayev University Research and Innovation System». Период реализации - с 2014 г. по настоящее время.

(3) РФФИ 14-02-91700 российско-корейский проект НИФ_а "Акустостимулированный транспорт носителей заряда в твердых телах и многослойных структурах с пьезо-фотовольтаическим взаимодействием", ИПТМ РАН - Донггукский университет (Корея), ИПТМ РАН: изготовление перспективных солнечных элементов и исследование акустостимулированного транспорта носителей заряда в твердых телаах и многослойных структурах с пьезо-фотовольтаическим взаимодействием. Период реализации: 2014-2015 г.г.

(4) РФФИ 15-52-53101 российско-китайский проект ГФЕН_а "Создания мультиферроидных устройств памяти на основе структуры BiFeO₃/графен/лангасит с использованием ионной имплантации", ИПТМ РАН - Wuhan University (Китай). ИПТМ РАН: исследование проблемы создания мультифункциональных электронных материалов и структур BiFeO₃/графен/лангасит, позволяющих контролировать как заряд, так и спин электрона, используя магнитное или электрическое поле. Период реализации: 2015-2016 г.г.,

(5) РФФИ КО_а Конкурс совместных инициативных российско-британских научно-исследовательских проектов " Оптический контроль туннелирования электронов через квантовую точку в вертикальных наногетеросистемах", ИПТМ РАН: исследование физических свойств многослойных полупроводниковых структур. Период реализации: 2013-2014 г.г.,

(6) Cooperation agreement IMT RAS - HELMHOLTZ-ZENTRUM BERLIN FUR MATERIALRN UND ENERGY GMBH "Joint research developing next generation in X-ray spectroscopy and ultrafast X-ray science at accelerator driven photon sources" BMBF-05K12CB4, ИПТМ РАН: создание элементов рентгеновской оптики для управления рентгеновским излучением, исследование дифракционных свойств рентгенооптических элементов на лабораторных и синхротронных источниках рентгеновского излучения. Период реализации: 2013 - н/в,

(7) Scientific collaborative framework between SuperSTEM Laboratory (UK EPSRC National Facility for Aberration-Corrected STEM, Daresbury, UK) and the IMT-RAS in developing and applying advanced materials characterization methodologies of complex oxides and ceramics, graphene-related materials, or other advanced functional materials – Сотрудничество между лабораторией суперсканирующей просвечивающей электронной микроскопии (Даресбери, Великобритания) и ИПТМ РАН в области развития и применения современных методов электронной микроскопии для характеристики сложных оксидов и керамик, материалов на основе графена и других современных функциональных материалов. Период реализации: 2013-2016 гг.

(8) В сотрудничестве лаборатории физики полупроводниковых структур ИПТМ РАН (рук. С.В. Морозов) с Университетом г. Манчестера (Великобритания) были проведены



пионерские эксперименты по физике графена. Основные направления исследований - транспортные явления в планарных графитовых структурах с двумерным электронным газом, управляемых эффектом поля. Результат сотрудничества - совместные публикации. Период реализации: с 2002 г. по наст. время.

(9) Долгосрочное сотрудничество лаборатории спектроскопии магнитных материалов ИПТМ РАН (рук. В.А. Тулин) с Школой Физики и Астрономии Университета Ноттингема (Великобритания) по следующим основным направлениям: туннелирование в вертикальных вандерваальсовских гетероструктурах графен/нитрид бора/графен; магнитотуннельная спектроскопия полупроводниковых наноструктур; многочастичные, корреляционные и спиновые эффекты в низкоразмерных системах; фотоэлектрические явления в наноструктурах. Результат сотрудничества - совместные публикации. Период реализации: с 2000 г. по наст. время.

НАУЧНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ОРГАНИЗАЦИИ

Наиболее значимые результаты фундаментальных исследований

12. Научные направления исследований, проводимых организацией, и их наиболее значимые результаты, полученные в период с 2013 по 2015 год

За отчётный период в ИПТМ РАН проводились научные исследования по следующим 5 темам:

1) 0070-2014-0001. «Физические принципы создания элементной базы наноэлектроники, квантовых компьютеров и датчиков физических величин на основе новых свойств материалов и структур различной размерности, в том числе углеродных наноструктур», рук. Тулин В.А., № гос.регистрации – 01201374763.

2) 0070-2014-0003. «Теоретическое и математическое исследование технологии, диагностики и функционирования приборов микро- и наноэлектроники, включая микро-, нано- электромеханические системы», рук. Зайцев С.И., № гос.регистрации – 01201374762.

3) 0070-2014-0005. «Исследование физических основ и разработка технологии элементной базы сенсорной наноэлектроники и наноструктур СВЧ и ТГц диапазонов», рук. Шаповал С.Ю., № гос.регистрации – 01201374761.

4) 0070-2014-0007. «Физико-химические основы перспективных технологий формирования приборных структур наноэлектроники,nanoфотоники и энергетики на базе атомных, молекулярных, ионных пучков и плазмы», рук. Вяткин А.Ф., № гос.регистрации – 01201375762.

5) 0070-2014-0009. «Разработка физико-химических основ материаловедения, технологии и диагностики материалов и структур микро- и наноэлектроники, микросистемной техники, акусто- и оптоэлектроники и микрофотоники», рук. Аристов В.В., № гос.регистрации – 01201374760.



057162

Указанные темы исследований реализовывались в рамках следующих научных направлений Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы, утвержденной Правительством Российской Федерации 3 декабря 2012 г. № 2237-р:

Раздел IV «Информатика и информационные технологии»:

40. Элементная база микроэлектроники, наноэлектроники и квантовых компьютеров.

Материалы для микро- и наноэлектроники. Нано- и микросистемная техника. Твердотельная электроника.

41. Опто-, радио- и акустоэлектроника, оптическая и СВЧ-связь, лазерные технологии.

43. Нанотехнологии, нанобиотехнологии, наносистемы, наноматериалы, нанодиагностика, наноэлектроника и нанофotonika.

За отчётный период можно отметить следующие результаты, полученные по каждому из перечисленных научных направлений:

40 – (1) Спин-инжекционное ТГц излучение контакта ФМ(Fe)-АФМ(FeMn).

Установлено, что при пропускании тока через контакт ФМ (Fe)-АФМ(FeMn) происходит генерация излучения в области ТГц диапазона. Частота полосы излучения возрастает с увеличением тока спиновой инжекции, а полная мощность ТГц излучения составляет единицы мВт. Полученные результаты могут служить основой для создания твердотельных спин-инжекционных излучателей микро- и нанометровых размеров с высокой плотностью ТГц излучения на основе магнитных металлов.

40 – (2) Вертикальный тунNELНЫЙ транзистор на основе графена. Разработан вертикальный тунNELНЫЙ транзистор, использующий атомарно-тонкие полупроводниковые слои дисульфида вольфрама или нитрида бора в качестве тунNELного барьера между двумя слоями графена. Такие транзисторы демонстрируют рекордную модуляцию тока, превышающую один миллион при комнатной температуре. Показано, что взаимная кристаллографическая ориентация слоев графена приводит к появлению резонансного пика и области с отрицательным дифференциальным сопротивлением. Такие транзисторы перспективны в цифровой микроэлектронике и могут быть использованы в прозрачных и гибких приборах.

40 – (3) Проявление хиральности в резонансном туннелировании между взаимно-ориентированными листами графена в квантующих магнитных полях.

Впервые изготовлены принципиально новые вандерваальсовские гетероструктуры, состоящие из механически совмещенных моноатомных слоев различных материалов, а именно □ многослойные вертикальные тунNELНЫЕ структуры на основе графена и нитрида бора с контролируемой кристаллографической ориентацией смежных слоев графена. Исследовано влияние магнитного поля, перпендикулярного плоскости графеновых слоев, на туннелирование электронов. Наблюдались переходы между отдельными уровнями Ландау, и было впервые показано, что не только энергия, квазимпульс, но и хиральность электронов сохраняются в процессе туннелирования. Полученный фундаментальный ре-



057162

зультат открывает возможности для разработки новых поколений наноэлектронных устройств, работающих на новых принципах.

Статьи:

(1) Micromagnetic states in Fe (001) rectangular epitaxial microstructures: The effect of magnetic anisotropy and aspect ratio / L.A. Fomin, V.Yu.Vinnichenko, I.V.Malikov, G.M.Mikhailov // J Magnetism and Magnetic Materials. —2013. —V. 330. — P. 6-11.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2012.08.001>

IF JCR: 2,357 (Web of Science)

(2) Vertical field-effect transistor based on graphene-WS₂ heterostructures for flexible and transparent electronics / T. Georgiou, R. Jalil, B.D. Belle, L. Britnell, R.V. Gorbachev, S.V. Morozov, Y.-J. Kim, (...), A. Mishchenko // Nature Nanotechnology. —2013. —V. 8. —№ 2. —P. 100-103.

DOI:10.1038/nnano.2012.224

IF JCR: 35.267 (Web of Science)

(3) Evidence for interacting two-level systems from the 1/f noise of a superconducting resonator / J. Burnett, L. Faoro, I. Wisby, V.L. Gurtovoi, A.V. Chernykh, G.M. Mikhailov, V.A. Tulin, R. Shaikhaidarov, V. Antonov, P.J. Meeson, A.Ya. Tzalenchuk, T. Lindstroem // Nature communications. —2014. —V. 5. —4119.

DOI:10.1038/ncomms5119

IF JCR : 11.329 (Web of Science)

(4) Superconducting quantum interference device without Josephson junctions / Burlakov, A. A., Gurtovoi, V. L., Il'in, A. I., Nikulov, A. V., Tulin, V. A.// - JETP LETTERS - 2014 - Vol. 99 , Issue 3, p. 169-173.

DOI:10.1134/S0021364014030059

IF JCR: 1,172 (Web of Science)

(5) Size and orientation effect on micromagnetic states in rectangular epitaxial Fe (011) microstructures / VY Vinnichenko, LA Fomin, IV Malikov, GM Mikhailov // Journal of Magnetism and Magnetic Materials – 2015. – V. 385. – P. 451-456.

DOI: 10.1016/j.jmmm.2015.02.075

IF JCR: 2014 – 2,357 (Web of Science)

41 – (1) Синтез нового перспективного пьезоэлектрического кристалла. Методом Чохральского синтезирован новый перспективный пьезоэлектрический кристалл группы кальций галло-германата La₃Ga_{5.3}Ta_{0.5}Al_{0.2}O₁₄ (LGTA) для высокотемпературных сенсорных устройств. Исследовано структурное совершенство кристалла LGTA. Измерены независимые пьезоэлектрические константы, скорости распространения поверхностных акустических волн и углы сноса потока акустической энергии.

41 – (2) Акустостимулированный транспорт носителей заряда в графене. Исследована возможность управления током в пленке графена за счет управления амплитудой поверхностных акустических волн (ПАВ). Изменение амплитуды ПАВ позволяет управлять ве-



057162

личиной и направлением тока в пленке графена. Возможность управления током в графене представляет интерес для солнечной энергетики, где акустостимулированный транспорт носителей заряда позволит увеличить КПД солнечных элементов до 60÷80%. Управление током с помощью ПАВ позволяет создавать гибридные устройства, соединяющие в себе электрические, оптические и акустические свойства.

41 – (3) Теоретическая модель расчета характерных длин волн для усиления спонтанной люминесценции. Методом твердофазного синтеза из оксидов редкоземельных элементов получены люминофоры состава Y₂O₃:Er с разной концентрацией эрбия и различной формы. Обнаружено изменение относительной интенсивности красной и желтой стоксовой люминесценции при сферической форме частиц люминофора Y₂O₃:Er в зависимости от размера наночастиц. Предложена теоретическая модель расчета характерных длин волн связанных мод наносфер и величины Парселл-фактора для усиления спонтанной люминесценции в эти моды. Обнаружено хорошее согласие экспериментальных данных и теоретических результатов для собственного свечения фотонных стекол с различным диаметром сфер диоксида кремния и сферических нанокристаллических частиц Y₂O₃:Er разного состава и размера.

Статьи:

(1) Surface acoustic wave propagation in graphene film/ Roshchupkin D., Ortega L., Zizak I., Plotitcyna O., Matveev V., Kononenko O., Emelin E., Erko A., Tynyshtykayev K., Irzhak D., Insepov Z. // Journal of Applied Physics. – 2015. – V. 118. - № 10. - Art. 104901.

DOI: 10.1063/1.4930050

IF JCR: 2,101 (Web of Science)

(2) Advanced piezoelectric crystal Ca₃TaGa₃Si₂O₁₄: growth, crystal structure perfection, and acoustic properties / D. Roshchupkin, L. Ortega, O. Plotitcyna, A. Erko, I. Zizak, D. Irzhak, R. Fahrtdinov, O. Buzanov // Applied Physics A. —2014. —V. 114. —№ 4. —P.1105-1112.

DOI: 10.1007/s00339-013-7790-4

IF JCR: 1,444 (Web of Science)

(3) X-ray diffraction on the X-cut of a Ca₃TaGa₃Si₂O₁₄ single crystal modulated by a surface acoustic wave / D. Irzhak, D. Roshchupkin // Journal of Applied Physics. —2014. —V. 115. —№24. —244903.

DOI: 10.1063/1.4884875

IF JCR: 2,101 (Web of Science)

(4) Geometry effect on spontaneous emission decay in nanosized Y₂O₃–Eu³⁺ particles / S.V. Zaitsev, Yu.V. Yermolayev, A.N. Gruzintsev, E.A. Kudrenko, I.I. Zverkovaa, O. Bezkravnyi, A.V. Tolmachev, G.A. Emelchenko // Optical Materials. —2014. —V. 37. —P. 714-717.

DOI: 10.1016/j.optmat.2014.08.018

IF JCR: 2,183 (Web of Science)



057162

(5) Recording of domains by an electron beam on the surface of +Z cuts of lithium niobate / E.V. Emelin, A.I. Il'in, L.S. Kokhanchik // Physics of the Solid State. —2013. —V. 55. —№ 3. —P. 540-546.

DOI: 10.1134/S1063783413030086

IF JCR: 0,831 (Web of Science)

43 – (1) Холловские сенсоры на основе гибридного углеродного материала. Синтезирован новый углеродный наноматериал, состоящий из нанотрубок и графена. Исследование свойств материала показало необычно высокую чувствительность к магнитному полю (до 3000 Ом/Т). Из этого материала изготовлены субмикронные холловские сенсоры с размером рабочей области $0.13 \times 0.13 \mu\text{m}^2$. Устройства продемонстрировали чувствительность 1140 Ом/Т, что на 2-3 порядка превосходит известные в литературе результаты. Зависимость холловского сопротивления от магнитного поля – линейная, что позволяет использовать сенсоры для измерений в широком диапазоне величин магнитного поля.

43 – (2) Селективный рост графеноподобных пленок на поверхности окисленного кремния. Впервые реализован селективный рост графеноподобных пленок на поверхности окисленного кремния. Показано, что предварительная обработка подложки электронным лучом заметно влияет на скорость роста на ней углеродных пленок. На основании полученных данных сделаны предположения о механизмах процессов, происходящих во время экспонирования поверхностного слоя SiO₂. Представленные результаты свидетельствуют о том, что селективное выращивание тонких углеродных пленок на предварительно заряженной поверхности SiO₂/Si является перспективным способом микроструктурирования образцов на предварительном этапе и позволяет исключить процесс пост-литографии.

43 – (3) Высокочувствительные микроэлектронные датчики внешних воздействий с повышенной устойчивостью в экстремальных радиационных и температурных условиях. Проведено физическое моделирование и экспериментальное исследование диапазона рабочих температур магниточувствительных элементов холловского типа на основе тонкопленочного двухзатворного КНИ транзистора со встроенным аккумулированным каналом и частичным обеднением тела элемента. Показано, что такой магниточувствительный элемент позволяет получить рекордно широкий диапазон рабочих температур (от температуры жидкого гелия до, по крайней мере, 400°C). Экспериментально получена рекордная рабочая температура (350°C) для любых кремниевых приборов, которая ограничивалась отсутствием высокотемпературных корпусов микроэлектронных приборов на отечественном и мировом рынке, а не физическими причинами. Зарубежных аналогов не имеет.

Статьи:

(1) Hall effect sensors on the basis of carbon material / V.N. Matveev V.I., Levashov O.V., Kononenko Yu.A., Kasumov I.I., Khodos, V.T., Volkov // Materials Letters. — 2015. — V. 158. — P. 384–387.

DOI: 10.1016/j.matlet.2015.06.055

IF JCR: 2,437 (Web of Science)



057162

(2) What is the real value of diffusion length in GaN? / E.B. Yakimov // Journal of Alloys and Compounds. –2015. –V.627–P.344-351.

<https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2014.11.229>

IF JCR: 3,014 (Web of Science)

(3) Surface acoustic wave amplification by direct current-voltage supplied to graphene film/ Z. Insepov, E. Emelin, O. Kononenko, D. V. Roshchupkin, K. B. Tnyshtykbayev and K. A. Baigarin // Applied Physics Letters. – 2015. – V.106, Iss.2. – Article Number: 023505

DOI:10.1063/1.4906033

IF JCR: 3,142 (Web of Science)

(4) Maxwell displacement current and nature of Jonsher's "universal" dynamic response in nanoionics / Despotuli, Alexandr; Andreeva, Alexandra // Ionics. – 2015. – V.21. – Issu. 2. – P. 459-469.

DOI: 10.1007/s11581-014-1183-3

IF JCR: 2,119 (Web of Science)

(5) Патент N2500616, Матвеев В.Н., Кононенко О.В., Левашов В.И., Волков В.Т., Капитанова О.О, "Способ получения графеновой пленки", получен 10.12. 2013г.

13. Защищенные диссертационные работы, подготовленные период с 2013 по 2015

год на основе полевой опытной работы учреждения. Заполняется организациями, выбравшими референтную группу № 29 «Технологии растениеводства».

Информация не предоставлена

14. Перечень наиболее значимых публикаций и монографий, подготовленных сотрудниками научной организации за период с 2013 по 2015 год

1) Vertical field-effect transistor based on graphene-WS₂ heterostructures for flexible and transparent electronics / T. Georgiou, R. Jalil, B.D. Belle, L. Britnell, R.V. Gorbachev, S.V. Morozov, Y.-J. Kim, (...), A. Mishchenko // Nature Nanotechnology. —2013. —V. 8. —№ 2. —P. 100-103.

doi:10.1038/nnano.2012.224

IF JCR: 35.267 (Web of Science)

2) Interaction phenomena in graphene seen through quantum capacitance / G.L. Yu, R. Jalil, B. Belle, A.S. Mayorov, P. Blake, F. Schedin, S.V. Morozov, (...), D.C. Elias // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. —2013. —V. 110. —№ 9. —P. 3282-3286.

doi:10.1073/pnas.1300599110

IF JCR: 9.423 (Web of Science)

3) Strong light-matter interactions in heterostructures of atomically thin films / L. Britnell, R.M. Ribeiro, A. Eckmann, R. Jalil, B.D. Belle, A. Mishchenko, Y.-J. Kim, R.V. Gorbachev,



057162

T. Georgiou, S. V. Morozov, A.N. Grigorenko, A.K. Geim, C. Casiraghi, A.H. Castro Neto, K.S. Novoselov// *Science*. —2013. —V. 340. —P. 1311-1314.

DOI: 10.1126/science.1235547

IF JCR: 34,661 (Web of Science)

4) Evidence for interacting two-level systems from the 1/f noise of a superconducting resonator / J. Burnett, L. Faoro, I. Wisby, V.L. Gurtovoi, A.V. Chernykh, G.M. Mikhailov, V.A. Tulin, R. Shaikhaidarov, V. Antonov, P.J. Meeson, A.Ya. Tzalenchuk, T. Lindstroem // *Nature communications*. —2014. —V. 5. —4119.

DOI: 10.1063/1.4884875

IF JCR : 11.329 (Web of Science)

5) Structure and Properties of Platinum, Gold and Mercury Nanowires Grown in Superfluid Helium / E.B. Gordon, A.V. Karabulin, A.A. Morozov, V.I. Matyushenko, V.D. Sizov, I.I. Khodos // *Journal of Physical Chemistry Letters*. —2014. —V. 5. —№7. — P. 1072-1076.

DOI: 10.1021/jz5003583

IF JCR : 8.539 (Web of Science)

6) Twist-controlled resonant tunnelling in graphene/boron nitride/graphene heterostructures / A. Mishchenko, J.S. Tu, Y. Cao, R.V. Gorbachev, J.R. Wallbank, M.T. Greenaway, V.E. Morozov, S.V. Morozov, M.J. Zhu, S.L. Wong, F. Withers, C.R. Woods, Y-J. Kim, K. Watanabe, T. Taniguchi, E.E. Vdovin, O. Makarovsky, T.M. Fromhold, V.I. Fal'ko, A. K. Geim, L. Eaves, K.S. Novoselov // *Nature Nanotechnology*. —2014. —V. 9. —P. 808–813.

DOI:10.1038/nnano.2014.187

IF JCR : 35.267 (Web of Science)

7) Stability and structure of nanowires grown from silver, copper and their alloys by laser ablation into superfluid helium / E. Gordon, A. Karabulin, V. Matyushenko, V. Sizov, I. Khodos // *Physical Chemistry Chemical Physics*. —2014. —V.16. —P. 25229-25233.

DOI: 10.1039/C4CP03471F

IF JCR : 4.449 (Web of Science)

8) Resonant tunnelling between the chiral Landau states of twisted graphene lattices / M.T. Greenaway, E.E. Vdovin, A. Mishchenko, O. Makarovsky, A. Patane, J.R. Wallbank, Y. Cao, A.V. Kretinin, M.J. Zhu, S. V. Morozov, V.I. Fal'ko, K.S. Novoselov, A.K. Geim, T.M. Fromhold., L. Eaves // *Nature Physics*. —2015. —V. 11. — P. 1057. DOI:10.1038/nphys3507

IF JCR – 18,791 (Web of Science)

9) Domain matching epitaxy of GaN films on a novel langasite substrate: an in-plane epitaxial relationship analysis /B.-G. Park, R. S. Kumar, M.-D. Kim, H.-D. Cho, T.-W. Kang, G.N. Panin, D.V. Roschupkin, D.V. Irzhak, V.N. Pavlov // *CrystEngComm*. —2015. —V. 17. —Iss. 24. —P. 4455-4461.

DOI: 10.1039/C5CE00075K

IF JCR : 3,849 (Web of Science)



057162

10) High Broad-Band Photoresponsivity of Mechanically Formed InSe–Graphene van der Waals Heterostructures./ G.W. Mudd, S.A. Svatek, L. Hague, O. Makarovskiy, Z.R. Kudrynskiy, C.J. Mellor, P.H. Beton, L. Eaves, K.S. Novoselov, Z.D. Kovalyuk, E.E. Vdovin, A.J. Marsden, N.R. Wilson, A. Patanè //Advanced Materials. —2015. —V. 27. —Iss. 25. —P. 3760-3766.

DOI: 10.1002/adma.201500889

IF JCR : 18,960 (Web of Science)

Монографии:

1) О. Щербина, М. Палатников, Л. Коханчик. «Синтез, свойства кристаллов LiNbO₃ и LiTaO₃ с микро- иnanoструктурами. Структура и физические характеристики нелинейно-оптических кристаллов». LAP LAMBERT Academic Publishing. —2013. —168 с.

ISBN: 978-3-65938-894-1

тираж не указан

2) С.С. Гражулене, А.Н. Редькин. Сорбенты на основе углеродных нанотрубок. —С. 375-425. — Гл. в книге «Нанообъекты и нанотехнологии в химическом анализе». Под ред. С.Н. Штыкова. М., Наука. —2015.—431 с.

ISBN 978-5-02-039185-7

тираж 300 экз.

3) A. Khaetskii. Spin-orbit interaction and related transport phenomena in 2D electron and hole systems, the chapter in a book "Symmetry and Structural Properties of Condensed Matter".—World Scientific Publishing. — 2015.— 328 p.

ISBN-10: 9814740365

ISBN-13: 978-9814740364

тираж не указан

4) В.Шикин, С.Назин, Ю.Шикина. «Статистика собственных электролитов» LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbrucken. — 2014. —84 с.

ISBN 9783659515149

тираж не указан

5) М.Л. Бараночников. Микромагнитоэлектроника. Том 2, 2-е издание. — ДМК Пресс. — 2014. [ebook, PDF]. —с. 887.

ISBN: 978-5-94074-757-4

тираж не указан

15. Гранты на проведение фундаментальных исследований, реализованные при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Российского гуманитарного научного фонда, Российского научного фонда и другие

За период 2013-2015 гг. на базе ИПТМ РАН проводились работы по 37 грантам, поддержаным Российским фондом фундаментальных исследований, суммарное финансирование по которым составило 70 240 000 рублей. Среди полученных проектов, финансируемых РФФИ, отметим следующие:



057162

- 1) 11-08-00496 «Разработка метода калибровки магнитных кантileверов с помощью наноразмерных датчиков экстраординарного эффекта Холла»,
2011-2013 гг., 1 335 000 р.
- 2) 12-02-12015 «Теоретическое моделирование и экспериментальная верификация электроннолучевым методом бета-активных градиентных нанокомпозиционных полупроводниковых материалов с целью обоснования возможности создания распределительных бета-вольтаических источников питания»,
2012-2013 гг., 5 000 000 р.
- 3) 13-02-00459 «Исследование процессов генерации и распространения псевдоповерхностных акустических волн в пьезоэлектрических кристаллах»,
2013-2015 гг., 1 620 000 р.
- 4) 13-02-12027 «Фундаментальные основы и технология формирования структурно-фазового состава наноразмерных функциональных пленочных слоев на основе металлических сплавов»,
2013-2015 гг., 3 600 000 р.
- 5) 13-07-12179 «Создание и исследование методов и алгоритмов обработки и анализа изображений субмикронного пространственного разрешения для рентгеновской микроскопии и томографии»,
2013-2015 гг., 9 600 000 р.
- 6) 13-02-12426 «Разработка и исследование нового поколения высокопроизводительных композитных плоских мембран для выделения водорода из водородсодержащих газовых смесей на основе совершенных тонкопленочных структур палладиевых сплавов»,
2013-2015 гг., 6 380 000 р.
- 7) 13-07-00259 «Рост, формирование и исследование электротранспортных и магнитных свойств планарных эпитаксиальных структур ферромагнетик – антиферромагнетик»,
2013-2015 гг., 1 800 000 р.
- 8) 14-02-91700 «Акустостимулированный транспорт носителей заряда в твердых телах и многослойных структурах с пьезовольтаическим взаимодействием»,
2014-2015 гг., 2 000 000 р.
- 9) 14-29-04056 «Разработка методических основ созданияnanostructuredированных материалов для энергоэффективного преобразования бета-излучения в электрический ток»,
2014-2016 гг., 7 750 000 р.
- 10) 15-52-53101 «Создание мультиферроидных устройств памяти на основе структуры BiFeO₃/графен/лангасит с использованием ионной имплантации»,
2015-2017 гг., 1 450 000 р.

16. Гранты, реализованные на основе полевой опытной работы организации при поддержке российских и международных научных фондов. Заполняется орга-



057162

низациями, выбравшими референтную группу № 29 «Технологии растениеводства».

Информация не представлена

ИННОВАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ НАУЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Наиболее значимые результаты поисковых и прикладных исследований

17. Поисковые и прикладные проекты, реализованные в рамках федеральных целевых программ, а также при поддержке фондов развития в период с 2013 по 2015 год

В период с 2013 по 2015 гг. на базе ИПТМ РАН выполнялись 4 проекта в рамках 3-х федеральных целевых программ.

(1) «Исследование перспективных конструкций и технологических принципов формирования оптоэлектронных структур и приборов нового поколения («микрофотонные комплексированные системы на основе кремния»)» (ГК 16.426.11.0052);

источник финансирования: ФЦП «Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники» на 2008 – 2015 годы;

срок выполнения: 2012-2013 гг.;

объем финансирования: 8 000 000 рублей;

основные результаты: проведены исследования и разработаны физические основы функционирования и конструктивно-технологических методов формирования элементов (полосковый световод, полосковый мультиплексор/демультиплексор со встроенными фотонными кристаллами и дифракционными решетками различной размерности и топологии) планарных микрофотонных комплексированных систем на основе кремния; созданы лабораторные образцы элементов планарных микрофотонных комплексированных систем на основе кремния и исследованы их характеристики.

(2) «Разработка метода получения тугоплавкого оксидного монокристаллического материала для создания высокотемпературного массочувствительного пьезорезонансного сенсора» (ГК 16.513.12.3027);

источник финансирования: ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007 – 2013 годы»;

срок выполнения: 2012-2013 гг.;

объем финансирования: 14 000 000 рублей;

основные результаты: разработан способ получения высокосовершенного монокристалла КТГС для использования в качестве основы при создании высокотемпературного массо-



057162

чувствительного пьезорезонансного сенсора; разработаны и изготовлены экспериментальные образцы высокотемпературных массочувствительных пьезорезонансных сенсоров.

(3) «Разработка кластерной технологии планаризации поверхности полупроводниковых и металлических материалов (кремний, медь) для создания нового поколения приборов и устройств для микро- и наноэлектроники» (соглашение 14.607.21.0072);

источник финансирования: ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы»;

срок выполнения: 2014-2016 гг.;

объем финансирования: 39 250 000 рублей;

основные результаты: разработана методика получения планаризованных полупроводниковых и металлических материалов (кремний, медь) пучками ускоренных кластерных ионов.

(4) «Разработка технологии получения нанопористых материалов для контролируемого массопереноса жидкостей для применения в энергетике» (соглашение 14.607.21.0047);

источник финансирования: ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы»;

срок выполнения: 2014-2016 гг.;

объем финансирования: 58 000 000 рублей;

основные результаты: разработаны новые высокоэффективные нанопористые материалы на основе графена; разработан, создан и испытан прототип прибора для контролируемого массопереноса жидкостей на основе полученных материалов.

Внедренческий потенциал научной организации

18. Наличие технологической инфраструктуры для прикладных исследований

В ИПТМ РАН имеются следующие объекты инфраструктуры для прикладных исследований и разработок:

(1) Технологическая линейка для создания приборов и устройств микро- и наноэлектроники (чистые комнаты, установки оптической и электронно-лучевой литографии, лазерного скрайбирования, ионно-лучевого и плазмохимического травления, напыления функциональных материалов микроэлектроники).

С помощью данного оборудования были получены следующие результаты:

– Изготовлены мультилинзовые рентгеновские интерферометры на основе кремниевых планарных преломляющих линз в диапазоне жесткого рентгеновского излучения для локального анализа и диагностики наноматериалов иnanoструктур.

– Созданы лабораторные образцы элементов планарных комплексированных микрофотонных систем на основе кремния.

– Разработаны фотоэлектронные детекторы на основе гетероструктур, сформированных из квазидвумерных кристаллов дихалькогенидов переходных металлов и графена. Такие



057162

фотодетекторы обладают высокой квантовой эффективностью и могут быть использованы в гибкой и прозрачной электронике.

(2) Аналитический сертификационный испытательный центр (АСИЦ), аккредитованный в Росаккредитации, по анализу элементного состава широкого спектра объектов: высокочистых веществ, объектов окружающей среды, технологических материалов и сред, биологических объектов, металлов и сплавов, диэлектрических, полупроводниковых, сверхпроводящих материалов, а также образцов неизвестного состава.

За отчётный период АСИЦ выполнил работу по 84 договорам по анализу элементного состава образцов, предоставленных заказчиками.

19. Перечень наиболее значимых разработок организации, которые были внедрены за период с 2013 по 2015 год

(1) Способ получения материала для высокотемпературного массочувствительного пьезорезонансного сенсора на основе монокристалла лантангаллиевого tantalата алюминия.

Разработка апробирована и внедрена на ОАО "Фомос материалс" (г. Москва)

Область применения: Акустоэлектроника

Бизнес-партнер: ОАО "ФОМОС Материалс"

Патент RU 2 534 104 C1, Емелин Евгений Валерьевич, Иржак Дмитрий Вадимович, Рощупкин Дмитрий Валентинович «Способ получения материала для высокотемпературного массочувствительного пьезорезонансного сенсора на основе монокристалла лантангаллиевого tantalата алюминия», 19.06.2013 г.

(2) Создание микроэлектронного многофункционального и многоканального датчика магнитного поля и температуры с частотным выходом на основе КНИ тонкопленочного МДПДМ транзистора в качестве чувствительного элемента. Бизнес-партнер - АО «ПКК Миландр» (г. Зеленоград).

(3) Разработка и изготовление растровых электронных микроскопов и многолучевых литографов. Область применения: производство СБИС и СВЧ МИС, наноэлектроника и нанотехнологии, научные исследования. Бизнес-партёры: «Экспериментальный завод академии наук» (г. Черноголовка, Моск.обл.), фирма НТ-МДТ (г. Зеленоград).

ЭКСПЕРТНАЯ И ДОГОВОРНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ОРГАНИЗАЦИИ

Экспертная деятельность научных организаций

20. Подготовка нормативно-технических документов международного, межгосударственного и национального значения, в том числе стандартов, норм, правил, технических регламентов и иных регулирующих документов, утвержденных



057162

федеральными органами исполнительной власти, международными и межгосударственными органами

Общее число документов: 2

(1) Обозначение и наименование методики выполнения измерений (МВИ): НСАМ 499-АЭС/МС. Определение элементного состава горных пород, почв, грунтов и донных отложений атомно-эмиссионным с индуктивно связанный плазмой и масс-спектральным с индуктивно связанный плазмой методами (ред. 2015 г., замен ред. 2011 г.)

Регистрационный код по отраслевому реестру МВИ: ТПИ 1.1.499.АЭС/МС.2011

Назначение МВИ: Методика предназначена для определения в горных породах, почвах, грунтах и донных отложениях основных и примесных элементов атомно-эмиссионным с индуктивно связанный плазмой (ICP-AES) и масс-спектральным с индуктивно связанный плазмой (ICP-MS) методами анализа.

Дата и номер свидетельства об аттестации: № 499-01.00115-2013-2015 от 03.04.2015, действительно до 03.04.2025 г.

(2) Обозначение и наименование методики выполнения измерений (МВИ): НСАМ 541-МС. Определение ниобия, лантана, церия, празеодима, неодима, самария, европия, гадолиния, тербия, диспрозия, голмия, эрбия, туния, иттербия, лютеция, иттрия, стронция, бария, ванадия, марганца, тория, урана в ниобий-редкоземельной руде месторождения «Томтор» участка «Буранный» масс-спектральным с индуктивно связанный плазмой методом (ред. 2015г.)

Регистрационный код по отраслевому реестру МВИ: ТПИ 1.1.541.МС.2015

Назначение МВИ: Методика количественного химического анализа ниобий-редкоземельных руд месторождения «Томтор» участка «Буранный»

Дата и номер свидетельства об аттестации: № 541-01.00115-2013-2015 от 05.08.2015

**Выполнение научно-исследовательских работ и услуг в интересах
других организаций**

21. Перечень наиболее значимых научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ и услуг, выполненных по договорам за период с 2013 по 2015 год

За отчётный период были проведены работы по 102 договорам на общую сумму 33582140,78 рублей. Подавляющее количество договоров были заключены с Аналитическим сертификационным испытательным центром, функционирующем на базе ИПТМ РАН, который выполнял работы по масс-спектральному и атомно-эмиссионному изучению элементного состава образцов различной природы. Среди других работ можно отметить следующие:



057162

(1) «Исследование и изготовление экспериментальных образцов углеродных нанотрубок для чувствительных элементов датчиков», договор с ОАО НИИФИ.

(2) «Разработка методик определения и измерения относительного световогохода сцинтилляционного элемента при температуре 300 К и 9К», договор с ОАО ФОМОС Материалс.

(3) «Исследование, разработка и тестирование белых светодиодов на основе GaN и электромеханических элементов для новых светоизлучающих электромеханических приборов», договор с ФОМОС Материалс и QSRC Корея.

(4) «Измерение современными методами резерфордовского обратного рассеяния изменений совершенства кристаллической решетки слоя кремния КНИ структур, вызванные бомбардировкой ионов различной химической природы», договор с АО ПКК Миландр.

(5) «Разработка технологии и изготовление образцов "сухого" адгезивного материала», договор с ФГУП "ЦНИИХМ".

(6) «Разработка и проектирование комбинированной установки для визуализации динамики перемещения молекул воды по проекту "Энергосберегающая нанотехнология усовершенствованных мембран для орошения воды"», договор с Частным учреждением Nazarbayev University Research and Innovation System.

(7) «Разработка конструкции и исследование характеристик экспериментальных образцов полупроводникового приемника терагерцового диапазона», договор с МИЭТ.

(8) «Разработка и исследование аналитического и метрологического подходов для оценки качества изготовления элементов рентгеновской преломляющей оптики», договор с ФГАОУ ВПО «БФУ им.И.Канта».

(9) «Проведение разрушающего физического анализа пластин со структурами микросхем, заключающегося в проверке качества металлизации микросхем с помощью растрового электронного микроскопа (РЭМ) по методу 28 ОСТ 11 14 1012», договор с ОАО Экситон.

(10) «Разработка прототипа структурыnanoнасоса на основе системы графен-углеродная нанотрубка (УНТ) и эффекта усиления поверхностных акустических волн (ПАВ) по проекту «Энергосберегающая технология современных мембран для орошения воды»», договор с Частным учреждением Nazarbayev University Research and Innovation System.

Другие показатели, свидетельствующие о лидирующем положении

организации в соответствующем научном направлении

(представляются по желанию организации в свободной форме)

22. Другие показатели, свидетельствующие о лидирующем положении организации в соответствующем научном направлении, а также информация, которую организация хочет сообщить о себе дополнительно

Институту принадлежит приоритет в изучении и развитии трех новых оригинальных научных направлений (мировое признание):



057162

- (1) металлическая наноэлектроника (спинtronика и квантовый компьютер, перспектива для микро- и наноэлектроники);
- (2) рентгеновская оптика (все источники синхротронного излучения оснащены рентгеновской оптикой, создаваемой в ИПТМ РАН);
- (3) 2D кристаллы: графен (графен, оксид графена, нитрид и фторид графена и графеновая электроника).

Практически все публикации института связаны с данными тремя направлениями. Средний импакт-фактор журналов, в которых опубликованы результаты научных исследований, ИПТМ РАН составляет 1.5 при средней цитируемости на 1 исследователя в год более 240. К исследователям в ИПТМ РАН относятся научные сотрудники, инженеры и лаборанты, участвующие в проведении научных исследований. По совокупной цитируемости ИПТМ РАН находится в лидерах.

Дополнительная информация:

(1) Главный научный сотрудник ИПТМ РАН, д.ф.-м.н. Сергей Владимирович Морозов является одним из ведущих мировых специалистов в области исследований графена, многолетним коллегой и соавтором нобелевских лауреатов Андрея Гейма и Константина Новоселова. В 2014 г. стал самым цитируемым российским физиком последнего десятилетия по данным Web of Science. В 2014 году Морозов С.В. награждён премией Thomson Reuters Citation Award: «Самые влиятельные в мире ученые – 2014», как победитель по показателям цитируемости в Web of Science. В 2014 году Сергей Владимирович Морозов был отмечен премией Scopus Awards Russia за выдающиеся успехи в совместной научной деятельности с коллегами из ЕС в области физики материалов в 2009-2013 гг. .

(2) Д.ф.-м.н. Рошупкин Д.В. в октябре 2013 г. был избран академиком Азиато-Тихоокеанской Академии материалов (Academician, Asia-Pacific Academy of Materials).

(3) Д.ф.-м.н. Рошупкин Д.В. в 2013 г. получил награду Award of AIP Publishing за исследование перспективных пьезоэлектрических кристаллов семейства лантангаллиевого силиката.

(4) К.Ф.-м.н. Криштоп В.Г. в 2014 году получил премию Губернатора Московской области «Наше Подмосковье» в номинации «Шаг вперед» за проект «Разработка геофона на основе планарного молекулярно-электронного преобразователя, изготовленного с помощью современных микроэлектронных технологий».

(5) Номинантами программы "УМНИК", финансируемой Фондом содействия инновациям, стали молодые учёные Седловец Д.М. (2013 г.) и Рыжова М.В. (2014 г.).

Награды ИПТМ РАН:

- (1) Золотая медаль за разработку «Высокочастотный акустооптический модулятор рентгеновского излучения» XVI Московского международного Салона изобретений и инновационных технологий «АРХИМЕД – 2013».
- (2) Серебряная медаль за разработку «Разработка технологии получения нанопористых материалов для контролируемого массопереноса жидкостей для применения в энергетике»



057162

XVIII Московского международного Салона изобретений и инновационных технологий «АРХИМЕД – 2015» (совместно с Ассоциацией «АСПЕКТ»).

(3) Золотая медаль за проект «Технологии получения нанопористых материалов для контролируемого массопереноса жидкостей для применения в энергетике» конкурса инновационных проектов и разработок на VII Международном форуме по интеллектуальной собственности «EXPOPRORITY-2015».

(4) В 2017 г. Институт получил благодарность Губернатора Московской области А. Воробьева за большой вклад в реализацию государственной научно-технической политики в Московской области и плодотворную научную деятельность.

Организация и проведение конференций:

(1) XVIII Российской симпозиум по растровой электронной микроскопии и аналитическим методам исследования твердых тел (РЭМ-2013)

(с международным участием, ИПТМ РАН - постоянный организатор), 3 – 7 июня 2013г., г. Черноголовка Московская обл., количество участников: - 230 человек из 95 организаций.

(2)XXI Международная конференция «Взаимодействие ионов с поверхностью» (ВИП-2013),(ИПТМ РАН – со-организатор), 22 -26 августа 2013г., г. Ярославль, количество участников: - 250 человек.

(3) XXV Российская конференция по электронной микроскопии и 2-я Школа молодых ученых «Современные методы электронной и зондовой микроскопии в исследованияхnanoструктур и наноматериалов» (РКЭМ-2014), (ИПТМ РАН – постоянный организатор), 2 – 6 июня 2014г., г. Черноголовка, Московская обл., количество участников: - 340 человек из 85 организаций.

(4) Международная конференция «Рентгеновская оптика – 2014», (ИПТМ РАН - постоянный организатор), 6 – 9 октября 2014г., г. Черноголовка, Московская обл., количество участников: - 108 человек из 27 организаций.

(5) 6-я Всероссийская конференция молодых учёных «Микро-и нанотехнологии и их применение», (организаторы: ИПТМ РАН и ФФКЭ МФТИ (НИУ)), 24 – 27 ноября 2014г., г. Черноголовка, Московская обл, количество участников - 32 человека из 16 организаций.

(6) XIX Российской симпозиум по растровой электронной микроскопии и аналитическим методам исследования твёрдых тел (РЭМ - 2015) и 3-я Школа молодых учёных "Современные методы электронной и зондовой микроскопии в исследованиях nanoструктур и наноматериалов", (ИПТМ РАН - постоянный организатор), 1 - 4 июня 2015г., г. Черноголовка Московской обл., количество участников: - 260 человек из 106 организаций.

(7) Международный симпозиум «The Fundamental and Applied problems of Terahertz Devices and Technologies» (RJUS TeraTech – 2015), (ИПТМ РАН - организатор), 9 – 11 июня 2015г., г. Черноголовка, Московской обл., количество участников: - 59 человек из 23 организаций.



057162

В 2013-2015 гг. создано 7 результатов интеллектуальной собственности, имеющих государственную регистрацию и правовую охрану в РФ (патенты 2501000, 2500616 (2013 г.); 2510062, 2523732, 147920, 2534104 (2014 г.); 2548989 (2015 г.)).

В Совете по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 002.081.01 при ИПТМ РАН (специальность 05.27.01 - твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах (физико-математические науки)) за отчётный период было защищено 3 кандидатских диссертации.

Сайт ИПТМ РАН: <http://www.iptm.ru/index.ru.html>

ФИО руководителя _____

Д. В. РОЩУ ПКИН



057152