

Наименование института: **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт химии высокочистых веществ им. Г.Г.Девярых Российской академии наук  
(ИХВВ РАН)**

**Отчет по основной референтной группе 7 Неорганическая химия, химия твердого  
тела, материаловедение**

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 науч- ных организаций, выполняющих научно-исследовательские, опытно-конструк- торские 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 институте 9 лабораторий и Постоянно действующая выставка-коллекция веществ особой чистоты, в составе которых на конец 2015 года было 13 докторов наук, 41 кандидат наук, 16 научных сотрудников без степени и аспирантов, 29 инженерно-технических работников.

Лаборатория веществ особой чистоты.

– Разработка физико-химических основ и методов получения высокочистых летучих веществ для изотопного обогащения.

– Разработка физико-химических основ и процессов получения высокочистых моноизотопных простых веществ с высокой химической и изотопной чистотой.

– Разработка физико-химических основ получения и технологии высокочистых моноизотопных кремния и германия гидридным методом; получение моноизотопного кремния-28 для международных метрологических проектов «Авогадро и «Килограмм».

– Исследование свойств высокочистых изотопно-обогащенных элементарных полупроводников (Si, Ge, Se).

Лаборатория химии высокочистых бескислородных стекол.



– Разработка физико-химических основ и методов получения особо чистых халькогенидных стекол с предельно низкими оптическими потерями.

– Исследование свойств высокочистых стекол.

– Методы изготовления и исследование свойств световодов с малыми оптическими потерями из халькогенидных стекол.

– Разработка методов получения активированных халькогенидных стекол и функциональных устройств на их основе.

– Получение волоконных халькогенидных световодов различного типа, их исследование и практическое применение.

Лаборатория летучих соединений металлов.

– Разработка физико-химических основ получения эпитаксиальных слоев соединений А2В6 химическим осаждением из газовой фазы.

– Разработка физико-химических основ и методов получения высокочистых теллуридных стекол и световодов на их основе.

Лаборатория технологии волоконных световодов.

– Разработка физико-химических основ и способов изготовления волоконных световодов на основе высокочистого кварцевого стекла, легированного редкоземельными и другими элементами, для волоконных усилителей и лазеров.

– Разработка физико-химических основ получения волоконных световодов на основе высокочистого кварцевого стекла с предельно низкими оптическими потерями и высокой концентрацией легирующих добавок для специальных применений.

Лаборатория высокочистых оптических материалов

– Создание физико-химических основ технологии получения и обработки особо чистых керамических материалов на основе халькогенидов цинка, легированных переходными металлами для ИК и лазерной техники.

– Исследование влияния баротермического воздействия на структуру и оптические свойства кристаллических материалов в процессе их легирования.

– Разработка химических основ получения нанодисперсных порошков на основе оксидов алюминия, магния и редкоземельных элементов со стабильным химическим, фазовым и гранулометрическим составом для оптической керамики и исследование их свойств.

Лаборатория физических методов исследования высокочистых веществ

– Масс-спектрометрическое, ИК-спектроскопическое и рентгеновское изучение состава высокочистых веществ и материалов, в том числе обогащенных стабильных изотопов.

– Разработка и совершенствование метода лазерной масс-спектрометрии, его приборной и методической базы с целью высокочувствительного определения элементного состава твердых высокочистых веществ для фотоники и полупроводниковой техники.

– Разработка методик высокоточного определения макросостава халькогенидных стекол методами рентгенофлуоресцентного и микроспектрального рентгеновского анализа.



– Разработка масс-спектрометрических методик высокоточного определения изотопного состава изотопно-обогащенных веществ с низкими пределами обнаружения «примесных» изотопов.

– Разработка МС ИСП методик высокочувствительного определения примесей 3d-переходных металлов в соединениях РЗЭ, используемых для легирования заготовок волоконных световодов.

– Изучение методом ИК-спектроскопии оптических свойств высокочистых обогащенных изотопов кремния, германия, серы и селена в виде поли-, монокристаллов и стекол на их основе.

– Развитие МС ИСП и ИК-спектроскопических методик определения примесей в моноизотопных полупроводниковых материалах и стеклах с пределами обнаружения до 10-8 %.

Лаборатория аналитической химии высокочистых веществ

– Развитие методик анализа высокочистых летучих соединений элементов.

– Анализ высокочистых оптических материалов и изотопно-обогащенных веществ хроматографическим и атомно-спектральными методами. Разработка методик определения примесей с низкими пределами обнаружения и макрокомпонентов с высокой точностью, исследование примесного и матричного состава проб.

– Определение микро- и наноразмерных гетерофазных включений в высокочистых стеклообразных и поликристаллических средах и исследование их влияния на оптические свойства ИК-материалов.

Лаборатория теории высокочистого состояния и разделения смесей веществ

– Установление закономерностей формирования примесного состава высокочистых веществ различных химических классов.

– Разработка теоретических основ методов глубокой очистки веществ.

– Разработка физико-химических основ процессов и состояний стеклообразующих систем. Статтермодинамические и кинетические модели обработки экспериментов по фазовым переходам в стеклах.

– Разработка математических моделей процессов получения высокочистых веществ и материалов.

Лаборатория плазмохимических методов получения высокочистых веществ

– Разработка физико-химических основ получения стабильных изотопов различных элементов и их соединений водородным восстановлением их галогенидов в низкотемпературной плазме.

– Исследование ИК спектров высокого разрешения изотопно-обогащенных гидридов германия.

– ИК спектроскопическое изучение примесного состава изотопно-обогащенных летучих галогенидов и гидридов.

Постоянно действующая выставка-коллекция веществ особой чистоты



– Развитие системы мониторинга уровня чистоты высокочистых веществ и материалов, исследование закономерностей их примесного состава и его влияния на свойства веществ. Приобретение и аттестация Выставкой-коллекцией веществ особой чистоты ежегодно 10–15 образцов высокочистых веществ и материалов, выпускаемых в России. Формирование новых разделов Выставки-коллекции (изотопно-обогащенных веществ, оксидов, стекол, оптических материалов).

– Информационное обеспечение разработок по созданию новых функциональных материалов и устройств. Обновление и совершенствование программных возможностей Информационно-расчетной системы «Высокочистые вещества и материалы» и входящих в нее баз данных.

– Развитие и совершенствование методик прогнозирования полного примесного состава по неполным данным анализа для различных классов высокочистых веществ

– Изучение мировых тенденций повышения уровня чистоты высокочистых веществ и материалов. Составление полной и достоверной картины о современной чистоте химических элементов и ключевых материалов.

### **3. Научно-исследовательская инфраструктура**

Институт имеет развитую инфраструктуру и включает в себя научные подразделения, службы технического обеспечения, службы общего назначения, вспомогательные научно-технические службы. В ИХВВ РАН 9 научно-исследовательских лабораторий; Испытательный аналитико-сертификационный центр (ИАСЦ ИХВВ РАН); Всероссийская постоянно действующая Выставка-коллекция веществ особой чистоты и банк данных; опытный цех по изготовлению нестандартного оборудования; водородная станция; опытные участки по выпуску малых серий высокочистых веществ и материалов.

Институт располагает уникальными комплексами оборудования, в том числе собственной разработки, предназначенными для:

- изготовления поликристаллического CVD–ZnSe и CVD–ZnS для силовой ИК-оптики и лазерной керамики;
- глубокой очистки моноизотопных гидридов кремния и германия;
- кристаллизационной очистки и выращивания поли- и монокристаллов элементарных полупроводников;
- MOCVD выращивания эпитаксиальных слоев твердых растворов CdHgTe;
- изготовления специальных световодов из кварцевых и неоксидных стекол.

В том числе:

– Комплекс научно-технологического оборудования по изготовлению CVD-методом крупногабаритных оптических элементов из поликристаллического селенида и сульфида цинка для силовой оптики, для лазерной керамики.

- Установка для бестигельной зонной плавки FZ350-15.



– Модуль SAA-800 и SAA-20 для установки осаждения моноизотопных разновидностей кремния.

Исследовательское оборудование включает приборы для анализа и исследования свойств твердых, жидких и газообразных веществ и материалов.

– Масс-спектрометр с индуктивно связанной плазмой ELEMENT-2; Thermo Scientific, Германия.

– Атомно-эмиссионный спектрометр с индуктивно связанной плазмой iCAP-6300 Duo Thermo Electron Corporation, США.

– Атомно-абсорбционный спектрометр Perkin-Elmer 5100PC.

– ИК-Фурье-спектрометр Bruker IFS-125HR.

– ИК-Фурье-спектрометр IRprestige-21, Shimadzu, Япония.

– ИК-Фурье-спектрометр Tenzor 27, Bruker, Германия.

– ИК-Фурье-спектрометр Nicolet-6700.

– Рентгено-флуоресцентный спектрометр Optim'X.

– Сканирующий электронный микроскоп SEM-515.

– Оптический микроскоп AxioPlan-2.

– Axio Imager M2, Carl Zeiss, Германия.

– ИК-микроскоп Hyperion.

– Дифференциальный сканирующий блок (калориметр) DSC 404 F1 Pegasus.

– Синхронный термоанализатор STA-409 PC LUXX.

– Хромато-масс-спектрометр Agilent 6890/5973N.

– Хроматографический комплекс «Кристаллюкс 4000M», Россия.

– Газовый хроматограф «Цвет-800».

– Микроволновая система для пробоподготовки MDS-6 «Sineo», КНР.

– Установка получения деионизированной воды.

– Высокопроизводительный вычислительный комплекс в составе 2-х серверов и 2-х рабочих станций.

В институте действует Испытательный аналитико-сертификационный центр (ИАСЦ ИХВВ РАН), аккредитованный в качестве независимого испытательного центра, компетентного в области количественного химического анализа различных веществ и материалов (с содержанием примесей 10-1 % и менее). Очередная аккредитация ИАСЦ ИХВВ РАН прошла в июле 2013 г.; получен аттестат аккредитации Ассоциации аналитических центров «Аналитика» № ААС.А.00186. Благодаря широкому набору используемых методов (масс-спектрометрия, рентгеновский микроанализ, эмиссионная и абсорбционная атомная спектроскопия, хроматография, лазерная ультрамикроскопия, ИК фурье-спектроскопия высокого разрешения газов и полупроводников) и аттестованных методик анализа ИАСЦ ИХВВ РАН получил право аттестации химического и изотопного состава широкого спектра высокочистых веществ и материалов; ряда объектов окружающей среды и материалов, имеющих экономически важное значение.



Основные научные результаты, полученные в 2013-2015 гг. с использованием объектов научно-исследовательской инфраструктуры:

– Физико-химические основы и технология керамики из ZnSe для силовой и проходной оптики для оптических систем специального назначения. (см пункты 7 и 19)

– Лазерная керамика на основе ZnSe (Cr<sup>+2</sup>, Fe<sup>+2</sup>) и твердотельные лазеры с генерацией в среднем ИК-диапазоне (см. пункты 12 и 21).

– Физико-химические основы и технология моноизотопного поликристаллического <sup>28</sup>Si с изотопной чистотой 5N (18 кг) для международных проектов «Авогадро» и «Килограмм» по уточнению числа Авогадро и для изготовления нового международного эталона массы (см. пункты 11, 12, 21).

**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**

Работа Постоянно действующей Выставки-коллекции веществ особой чистоты, созданной в 1974 году на базе Института химии высокочистых веществ РАН, направлена на исследование примесного состава наиболее чистых веществ, полученных в нашей стране и за рубежом. Результаты определения содержания конкретных примесей составляют реальную картину о степени чистоты веществ и тенденциях ее изменения во времени, об общих закономерностях формирования примесного состава высокочистых веществ. Выставка располагает разработанной методологией и необходимым математическим аппаратом для проведения подобных исследований. Накоплен большой фактический материал, позволяющий воссоздать историю становления химии высокочистых веществ как научного направления в нашей стране и историю развития Выставки-коллекции за годы ее существования.

Выставка-коллекция располагает массивом из 388 наиболее чистых образцов 76-ти простых веществ (элементов), 190 образцов 82-х летучих соединений, 105 образцов 68-ми твердых веществ сложного состава, полученных из более чем 100 научно-исследовательских организаций и промышленных предприятий России и стран СНГ. Сведения об их примесном составе образуют Банк данных, позволяющий составить объективное



представление о достигнутом уровне чистоты простых веществ и некоторых наиболее важных классов соединений.

В 2013-2015 годах на Выставку-коллекцию поступило 15 образцов 6 простых веществ (элементов) и 9 твердых высокочистых веществ и материалов сложного состава из 7 организаций, и к началу 2016 года общее число образцов достигло 675.

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

В Приволжском федеральном округе РФ ИХВВ РАН является одним из партнеров Автономного учреждения «Технопарк-Мордовия» (г. Саранск). Развитие и внедрение технологий создания специальных оптических волокон, а также производство волоконно-оптических приборов – одно из приоритетных направлений деятельности технопарка. В 2015 г. в Саранске было организовано отечественное производство волоконных световодов для линий волоконно-оптической связи с использованием импортных заготовок. В настоящее время ведется работа по организации отечественного производства заготовок, что позволит создать полностью отечественную технологию волоконных световодов. ИХВВ РАН совместно с НЦВО РАН участвует в этой работе.

По договору с АУ «Технопарк-Мордовия» ИХВВ РАН выполняет проект «Разработка технологии и изготовление заготовок перспективных типов оптических волокон» (2013-2017 гг.). В рамках проекта проводится разработка технического задания для проектирования производства высокочистых кварцевых труб, стержней и кварцевой крупки, а также подготовка специалистов (30 человек) в области волоконной оптики. (Договор 45/13 от 22.04.2013 г.).

В 2013-2015 годах ИХВВ РАН и ООО «НН ОПТИКА» (г. Дзержинск, Нижегородской обл.) проведены работы по реализации промышленной технологии химического осаждения селенида цинка из газовой фазы (CVD-ZnSe) для производства оптических элементов для крупногабаритной ИК – оптики. Создано первое отечественное крупнейшее в Евразии производство крупногабаритного материала высшего качества, востребованного российскими и зарубежными производителями оптического и лазерного оборудования. Особая важность созданного производства CVD-ZnSe состоит в решении задачи по обеспечению потребности российской оборонной промышленности в высококачественных оптических элементах из CVD-ZnSe. Сотрудничество ИХВВ РАН и ООО «НН ОПТИКА» представляет собой пример результативного взаимодействия исследовательской организации и промышленного предприятия по созданию высокотехнологичной импортозамещающей продукции в интересах повышения обороноспособности страны. (Письмо от ООО «НН ОПТИКА» №180 от 08.12.2015 г.)

### **8. Стратегическое развитие научной организации**



Миссия ИХВВ РАН - получение, сохранение, распространение и применение передового знания и технологий, как важнейших составляющих технологической модернизации наукоемкого производства в России и развития мировой науки в области химии высокочистых веществ, материаловедения, фотоники. Институт продолжит активно разрабатывать закрепленные за ним направления научных исследований, работу по практической реализации результатов НИР, координировать разработки по химии высокочистых веществ и материалов в стране через Научный совет РАН по химии высокочистых веществ.

Важнейшей стратегической целью, обеспечивающей успешную реализацию миссии института, является повышение степени чистоты большого числа простых веществ и соединений. Достигнутая степень чистоты многих из них недостаточна для надежного установления характера и границ влияния примесей на свойства вещества. Из 82 стабильных элементов земной коры лишь небольшая часть (~5%) получена с содержанием суммы примесей на уровне 10<sup>-6</sup>, около трети – не ниже 10<sup>-3</sup> ат. %. Вещества с относительно высоким содержанием примесей можно рассматривать как резерв еще не установленных свойств, потенциально перспективных для создания новых функциональных материалов. Новое развитие должны получить:

- фундаментальные и прикладные исследования на переднем крае химии и технологии высокочистых веществ и материалов, получение результатов мирового уровня;
- создание на базе полученных данных о свойствах более чистых веществ новых материалов, функциональных устройств и технологий для наукоемких производств и новой техники;
- формирование современной материально-технической базы исследований и разработок;
- поддержание и развитие взаимопольного взаимодействия науки и образования;
- активное участие в международном научно-технологическом сотрудничестве.

В рамках этих целевых установок будет осуществляться:

- развитие теории высокочистого состояния как экстремального по составу состояния индивидуальных веществ и теоретических основ получения высокочистых веществ различных химических классов; составление полной и достоверной картины о современной чистоте химических элементов и ключевых материалов;
- развитие теории разделения смесей и глубокой очистки веществ, изучение физикохимии процессов, разработка математических моделей процессов глубокой очистки;
- поиск новых и развитие известных методов разделения и глубокой очистки веществ, повышающих эффективность процессов по достигаемой степени чистоты, производительность аппаратуры и технологических схем;
- разработка методов и создание аппаратуры определения химических, изотопных и фазовых примесей в высокочистых веществах с низким пределом обнаружения и макрокомпонентов функциональных материалов,





– эффективная реализация потенциала современных методов химического анализа для наиболее полной и достоверной характеристики химического состава новых перспективных актуальных функциональных материалов и их прекурсоров; научные основы и методологии контроля химической, изотопной и фазовой чистоты индивидуальных веществ и материалов с пределами обнаружения до 10<sup>-11</sup>–10<sup>-12</sup> мас. %; до 10<sup>-4</sup> ат. % и 10<sup>-7</sup>–10<sup>-9</sup> об. %, соответственно;

– фундаментальные и прикладные исследования по химии и технологии моноизотопных химических элементов как новых химических индивидов и материалов на их основе с высокой степенью химической и изотопной чистоты, реализация новых знаний о свойствах высокочистых моноизотопных веществ в новых материалах и функциональных устройствах.

– определение собственного значения свойств веществ в высокочистом состоянии, установление характера и границ влияния примесей на свойства индивидуальных веществ, развитие прецизионных методов измерения свойств веществ; повышение степени чистоты до уровня 10<sup>-6</sup> ат. % по сумме примесей для 1-2 типических элементов из каждой подгруппы Периодической системы элементов и прецизионное измерение их свойств;

– разработка методов получения материалов с более высокой степенью химической и фазовой чистоты, с новыми функциональными свойствами, оптические материалы на основе высокочистых веществ: высокочистые кристаллические, стеклообразные, керамические (нанокерамические) оптические материалы различных химических классов и функционального назначения, обладающие высокой прозрачностью в ближнем и среднем ИК-диапазоне, лазерной и механической прочностью, нелинейностью оптических свойств и др.;

– развитие физико-химических основ и технологии новых функциональных материалов, разработка функциональных материалов и устройств, доведение разработок до практической реализации;

– развитие международного сотрудничества, участие в международных проектах и программах;

– подготовка высококвалифицированных научных кадров на основе интеграции учебного процесса с передовыми научными исследованиями, подготовка специалистов высшей квалификации по химии и технологии высокочистых веществ и материалов, укрепление кадрового потенциала института и снижение среднего возраста сотрудников;

– активное взаимодействие института с наукоемкими организациями реального сектора экономики, развитие инновационной деятельности путем создания и мелкосерийного выпуска в подразделениях института института инновационной продукции, разработанной на основе результатов интеллектуальной деятельности ИХВВ РАН;

– обновление приборной и материально-технической базы, систем обеспечения научно-исследовательской и образовательной деятельности института.



Лаборатории института имеют и развивают научные и деловые контакты с большим числом отечественных и зарубежных организаций. Внутри страны институт имеет многолетние связи с Институтом общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Научным центром волоконной оптики РАН, Институтом общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, Институтом металлургии им. А.А. Байкова РАН, Институтом проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН, Институтом неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Московским государственным университетом им. М.В. Ломоносова, Российским химико-технологическим университетом им. Д.И. Менделеева, АО «ГИРЕДМЕТ», ФГУП «ИРЕА», ВНИИ химических технологий, Нижегородским государственным университетом им. Н.И. Лобачевского, ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», АУ «Технопарк-Мордовия», ООО ИП «НЦВО–Фотоника» и др.

В 2013-2015 годах ИХВВ РАН взаимодействовал (договоры о НИР, см. пункт 21) с:

- ОАО «ПО «Электрохимический завод»
- ОАО «В/О «Изотоп»,
- ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»,
- АУ «Технопарк-Мордовия»,
- ООО ИП «НЦВО – Фотоника»
- ОАО «НПО «Орион» и др.

Наиболее тесные связи установились с НЦВО РАН; сотрудничество в области разработки высокочистых стекол и световодов с новыми функциональными свойствами развивается с 1974 года. За это время вышло более 400 совместных статей, получено более 20 совместных авторских свидетельств и патентов. В 2013-2015 гг. с НЦВО РАН выполнялся ряд договоров – см. пункт 21.

ИХВВ РАН успешно и на высоком уровне осуществляет международную деятельность, включающую проведение совместных научных исследований, участие в международных мероприятиях, поставку образцов высокочистых веществ и материалов зарубежным партнерам, участие в международных проектах.

Среди зарубежных партнеров в 2013-2015 гг.:

– Федеральный физико-технический центр (Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig (РТВ, Германия), Институт роста кристаллов общества им. Лейбница (Leibniz-Institute für Kristallzuchtung, Германия) – в рамках международных проектов «Килограмм-2» и «Килограмм-3», см. пункт 11;

– Лаборатория стекла и керамики Университета г. Ренн (Франция) – в рамках Соглашения между Российской Академией наук и Национальным центром научных исследований Франции.

– Университет г. Лимож (CNSRS-University of Limoges, Франция) – в рамках Программы международного сотрудничества РАН № 19128.



– Лаборатория фотонных стекол Университета г. Ноттингем (Великобритания), Датский технический университет – в рамках Программы FP7 MINERVA 317803, см. пункты 9 и 11;

– фирмы «VISION abc» (Франция), «IRflex Корпорэйшн» (США), «Yangzhou ZTL Crown Materials Co., Ltd.» (Китай) (номера договоров указаны в пункте 21).

## **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**

Институт участвует в:

– Европейском консорциуме по науке и технологии (COST) международный проект MP1401. Цель COST - объединение специалистов в области фундаментальных наук по стеклообразным и лазерным материалам и производителей ИК волоконных лазеров для активного взаимодействия, создания различных ИК лазерных устройств и их эффективного применения в промышленности, биофотонике, здравоохранении и жизнедеятельности. Страны-участники консорциума: 28 европейских стран. ИХВВ РАН – полноправный член консорциума.

– Программе FP7 MINERVA 317803 (международный проект IJP 2013/R2), нацеленной на создание полностью оптико-волоконной системы среднего ИК-диапазона для медицины с целью улучшения диагностики рака на ранней стадии и увеличения продолжительности человеческой жизни. Составными элементами системы являются волоконные световоды, генераторы суперконтинуума, источники накачки среднего ИК-диапазона, сенсорные элементы и высокочувствительные устройства детектирования, обеспечивающие проведение детектирования ткани и биологических органов в спектральном диапазоне 1-10 мкм. Страны-участники: Великобритания, Франция, Дания, Бельгия. Статус ИХВВ РАН: привлекаемый участник из стран, не входящих в ЕС.

### **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**

Проекты «КИЛОГРАММ-2» (2012-2016 гг.) и «КИЛОГРАММ-3» (2015-2018 гг.)  
Участники проектов: ИХВВ РАН, АО «ПО «Электрохимический завод» (г. Зеленогорск), Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Braunschweig, Germany), Leibniz-Institute für Kristallzucht (Berlin, Germany). (TRM 28-2015. Technical Roadmap for the Production of



28Si Single Crystals of the Redefinition of the Mass Unit Kilogram (Project Kilogram-2 and 3).  
Version 01.07.2015)

Цель проектов: получение монокристаллов кремния-28 с высокой химической и изотопной чистотой для создания на их основе нового эталона массы – килограмма и уточнения постоянной Авогадро.

Вклад ИХВВ РАН: разработка физико-химических основ и технологии, получение массивных образцов (до 6 кг) поликристаллического кремния-28 с рекордной химической и изотопной чистотой (содержание основного изотопа  $^{28}\text{Si}$  более 99,999 % ат.).

Международный проект Европейского консорциума по науке и технологии (COST) MP1401 «Advanced fibre laser and coherent source as tools for society, manufacturing and lifescience» («Перспективные волоконные лазеры и когерентные источники как инструменты для общества, промышленности и жизнедеятельности») (2014-2018 гг.) Участники проекта: ИХВВ РАН, Swansea University, Nottingham University (United Kingdom); Rennes University (France); Leibniz Institute of Photonic Technology, Jena (Germany); Institute of Photonics and Nanotechnology, Trento (Italy); Ecole Polytechnique, Paris, (France), Czech Technical University in Pragu.

Цель проекта: разработка волоконно-оптических лазеров ближнего и среднего ИК-диапазонов для различных промышленных, научных, медицинских и бытовых применений, в том числе для создания высокочувствительных сенсоров для определения химического состава органических жидкостей, газов и биологических объектов.

Вклад ИХВВ РАН: разработка физико-химических основ и способа получения особо чистых стекол Ga-Ge-As(Sb)-Se-Pr. Получение световодов из активированных стекол с интенсивной широкополосной люминесценцией в спектральном диапазоне 3,5-5,5 мкм. Моделирование процесса лазерной генерации. Оптимизация параметров световодов. Улучшение эмиссионных характеристик образцов. Совместно с Политехнической школой проведены исследования нелинейных свойств халькогенидных стекол, Пражским технологическим университетом проведены исследования по передаче суперконтинуума по халькогенидным стеклам и их использованию как химических сенсоров.

Международный научный проект (International Joint Project – IJP 2013/R2) «Приборы и системы для медицины на основе оптических волокон среднего ИК диапазона» (2013-2015 гг.). Участники проекта: ИХВВ РАН, Лаборатория фотонных стекол Университета г. Ноттингем (Великобритания), Датский технический университет. Работа выполнялась в рамках соглашения между Российской академией наук и Лондонским Королевским обществом по программе FP7 MINERVA 317803.

Цель проекта: создание полностью оптико-волоконной системы среднего ИК-диапазона для медицины -улучшения диагностики рака на ранней стадии и увеличения продолжительности человеческой жизни.

Вклад ИХВВ РАН: Разработка метода получения высокочистых стекол систем As-Se и Ge-As-Se, получение волоконных световодов с малыми оптическими потерями. Разра-



ботка многостадийного метода синтеза стекол системы Ga-Ge-As-Se с использованием метода транспортных химических реакций для очистки галлия и его вакуумной загрузки в реактор синтеза. Проведены совместные научные исследования по получению высокочистых стекол систем Ga-Ge-As-Se, As-Se и Ge-As-Se, получены двухслойные преформы методом экструзии и вытянуты оптические световоды с низкими оптическими потерями (80 дБ/км). Были проведены совместные с Ноттингемским университетом эксперименты по получению халькогенидных стекол и световодов, исследованию спектрально-оптических и люминесцентных свойств образцов стекол, легированных ионными празеодима. С Датским техническим университетом проводились совместные исследования по передаче терагерцового излучения по халькогенидным стеклам.

## **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**

ИХВВ РАН – известный центр по химии высокочистых веществ, по получению веществ и созданию материалов с новым уровнем чистоты и функциональных свойств. Институт проводит фундаментальные и прикладные исследования в области физикохимии и технологии высокочистых веществ и материалов, в смежных областях химии и физики. Актуальные направления исследований определяются логикой развития химии высокочистых веществ как раздела фундаментального знания, задачами по созданию материалов, наиболее востребованных фундаментальной наукой, наукоемким производством (см. пункт 8 – цели и задачи ИХВВ РАН).

Институт в 2013-2015 годах осуществлял исследования в рамках Раздела V «Химические науки и науки о материалах» Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы по следующим научным направлениям Программы:

44. Фундаментальные основы химии;

45. Научные основы создания новых материалов с заданными свойствами и функциями, в том числе высокочистых и наноматериалов.

В рамках этих двух направлений основными направлениями научно-исследовательской деятельности ИХВВ РАН являются:

– развитие научных основ процессов разделения смесей и получения высокочистых веществ;

– разработка методов глубокой очистки веществ различных химических классов;

– развитие методов анализа высокочистых веществ;



- получение и исследование свойств веществ с новым уровнем изотопной, химической и фазовой чистоты;
- создание новых материалов на основе высокочистых веществ;
- разработка научных основ технологии высокочистых веществ и материалов, функциональных устройств из них.

По всем направлениям имеются выдающиеся результаты, получившие международное признание.

Основные научные результаты 2013-2015 г.

#### 44. Фундаментальные основы химии

1. Завершен цикл работ по созданию физико-химических основ гидридного метода получения высокочистых монокристаллов стабильных изотопов кремния и германия. Разработаны физико-химические методы получения и глубокой очистки высокообогащенных  $^{32}\text{S}$  и  $^{80}\text{Se}$ .

Впервые в мире получены высокочистые монокристаллы  $^{28}\text{Si}$ ,  $^{29}\text{Si}$ ,  $^{30}\text{Si}$  с содержанием основного изотопа  $>99,999$ ;  $99,92$ ;  $99,97$  ат. %, соответственно. Установлено существенное различие в ряде свойств моноизотопных разновидностей кремния между собой и со свойствами кремния природного изотопного состава: теплопроводности, интенсивности низкотемпературной фотолюминесценции, тонкой структуре спектров, в показателе преломления и др. Высокочистые монокристаллы изотопов кремния перспективны для создания элементов квантовых компьютеров, изделий спиновой электроники, нового поколения детекторов ядерных частиц и ионизирующих излучений. Высокочистый моноизотопный кремний-28 полученный в институте, используется для создания нового эталона массы. В рамках Международных метрологических проектов «Килограмм-2» и «Килограмм-3» по уточнению постоянной Авогадро и созданию эталона массы по гидридной технологии впервые получены образцы поликристаллического кремния-28 массой более 6 кг с содержанием основного изотопа более 99,999 % ат. и соотношением концентраций  $^{29}\text{Si}/^{30}\text{Si}=11$ . Содержание 68 примесей металлов находится ниже пределов обнаружения метода лазерной масс-спектрометрии ( $1 \times 10^{-5}$  ат. %). Достигнутая изотопная чистота кремния-28 дает возможность получить значение молярной массы кремния на уровне 27,9769322143 с рекордно низкой относительной погрешностью  $9,7 \times 10^{-10}$ .

Методом низкотемпературной ректификации впервые получены высокочистые моноизотопные гидриды  $^{74}\text{GeH}_4$ ,  $^{73}\text{GeH}_4$  и  $^{72}\text{GeH}_4$  с высокой изотопной и химической чистотой. Из этих гидридов выделены высокочистые разновидности поликристаллического германия и впервые выращены монокристаллы с высоким содержанием основного изотопа:  $^{72}\text{Ge}$  -  $99,98439 \pm 0,00091$ ,  $^{73}\text{Ge}$  -  $99,8995 \pm 0,0155$ ,  $^{74}\text{Ge}$  -  $99,9207 \pm 0,0102$  ат. %. Содержание примесей в образцах не превышает  $10^{-5}$ - $10^{-6}$  мас. %. Исследованы электрофизические, теплофизические и оптические свойства монокристаллов изотопов германия: измерена ширины запрещенной зоны, изучены ИК и КР -спектры монокристаллов изотопов германия,



теплопроводность  $^{74}\text{Ge}$ , теплоемкость  $^{76}\text{Ge}$ . Установлено влияние изотопного состава на свойства.

Разработан способ глубокой очистки малых количеств (20 г) высокообогащенных  $^{32}\text{S}$  и  $^{80}\text{Se}$ . Получены образцы высокочистых  $^{32}\text{S}$  и  $^{80}\text{Se}$ , по химической чистоте сопоставимые с высокочистыми халькогенами природного изотопного состава. Содержание примесей в  $^{80}\text{Se}$ :  $\text{O} \leq 8 \cdot 10^{-6}$  мас.%,  $\text{C} \leq 1,5 \cdot 10^{-4}$  мас.%,  $\text{Si} - 4,5 \cdot 10^{-6}$  мас.%,  $\text{H} - 9 \cdot 10^{-4}$  ат.%, металлов – ниже  $(0,02-2) \cdot 10^{-4}$  мас. %.

Исследованы возможности получения изотопнообогащенных кремния, германия и серы методом плазмохимического восстановления их фторидов. Установлено влияние условий проведения реакции водородного восстановления на выход, состав и дисперсность твердых продуктов. Определены оптимальные условия проведения процесса для достижения максимальной степени конверсии: выход составил для кремния - 60%, германия 90 – 95%, серы 70%. Создан и испытан макет промышленной установки для одностадийного получения изотопнообогащенного германия с выходом ~95% и скоростью осаждения до 10 г/час без изотопного разбавления.

2. Разработаны новые методики определения химических, изотопных и фазовых примесей в твердотельных и летучих высокочистых веществах, перспективных оптических и полупроводниковых материалах.

Разработаны методики определения химических и изотопных примесей в моноизотопных гидридах кремния и германия высокой чистоты. Примеси летучих веществ определены методами газовой хроматографии и хромато-масс-спектрометрии. Методики позволили определять в моносиланах  $^{28}\text{SiH}_4$ ,  $^{29}\text{SiH}_4$ ,  $^{30}\text{SiH}_4$  и моногерманах  $^{72}\text{GeH}_4$ ,  $^{73}\text{GeH}_4$ ,  $^{74}\text{GeH}_4$  и  $^{76}\text{GeH}_4$  40 - 60 примесных веществ с содержанием  $10^{-5}$  -  $10^{-9}$  мол. %. Выявлены источники ряда примесей, в том числе загрязняющее действие аппаратуры при разделении изотопов в газовых центрифугах.

Разработана методика определения изотопного состава высокообогащенного кремния-28 методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (МС-ИСП), впервые позволяющая измерять изотопный состав кремния-28 с обогащением более 99,999%. Систематическая составляющая погрешности измеренного значения концентрации основного изотопа снижена до 0,0001% при сходимости измерений 0,0005%. Разработана методика определения содержания примесных изотопов методом МС-ИСП, позволившая снизить пределы обнаружения изотопов кремния  $^{29}\text{Si}$  и  $^{30}\text{Si}$  в моносилане  $^{28}\text{SiH}_4$  до  $5 \cdot 10^{-5}$  мол. %. Оптимизация операционных параметров прибора на высоком разрешении при изотопном анализе германов позволила реализовать пределы обнаружения изотопов германия на уровне  $10^{-4}$  мол. %.

3. Разработан метод математического моделирования газодинамических условий осаждения монокристаллических эпитаксиальных слоев кадмий-ртуть-теллур МOCVD-методом в вертикальном реакторе с учетом сжимаемости сред, турбулизации потока, конвективной и диффузионной теплопередачи. Целью математического моделирования являлся



поиск оптимальных геометрических и физических параметров процесса для обеспечения лучшего перемешивания основных и легирующих соединений, а также однородного распределения всех компонентов газовой смеси над подложкой. Выявлены оптимальные по однородности распределения концентраций реагентов в реакторе геометрические параметры каналов ввода МОС и легирующих соединений, оптимальные соотношение скоростей потоков и давление в реакторе.

Публикации по направлению 44.

1. М.Ф. Чурбанов, А.В. Гусев, А.Д. Буланов, А.М. Потапов / Моноизотопные разновидности кремния и германия с высокой химической и изотопной чистотой. // Известия Академии наук. Серия химическая. 2013. №2. С.275-280. (Churbanov M.F., Gusev A.V., Bulanov A.D., Potapov A.M. Monoisotopic varieties of silicon and germanium with a high chemical and isotopic purity. // Russian Chemical Bulletin. 2013. V. 62. No. 2. P. 270-275.) Импакт-фактор - 0,56; Статья индексирована в РИНЦ, WoS, Scopus; DOI: 10.1007/s11172-013-0040-24

2. P.G. Sennikov, R.A. Kornev, N.V. Abrosimov. / Production of stable silicon and germanium isotopes via their enriched volatile compounds. // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2015. V.306. Iss. 1. P.21-30. Импакт-фактор 0,983. Статья индексирована в РИНЦ, WoS, Scopus. DOI: 10.1007/s10967-015-4192-4.

3. А.В. Гусев, А.М. Гибин, И.А. Андрищенко, В.А. Гавва, Е.А. Козырев / Теплоемкость высокочистого изотопно-обогащенного германия-76 // Физика твердого тела. 2015, т. 57, вып. 9, с.1868-1870. (A.V. Gusev, A. M. Gibin, I. A. Andryushchenko, V. A. Gavva, E. A. Kozuyev // Heat capacity of high-purity isotope-enriched germanium-76 in the temperature range of 2–15 K // Physics of the Solid State. 2015, Volume 57, Issue 9, pp. 1917–1919). Импакт-фактор 0,831. Статья индексирована в РИНЦ, WoS, Scopus. DOI: 10.1134/S1063783415090097.

4. Ketkova L.A. //Nature of heterophase inclusions in high-purity optical fiber materials as studied with 3D laser ultramicroscopy. // Optical Materials. 2015. V.47. P.251-255. Импакт-фактор 2,183; Статья индексирована в WoS, Scopus. DOI: 10.1016/j.optmat.2015.05.034.

5. И.Д. Ковалев, Карпов Ю.А., Потапов А.М., Пименов В.Г., Малышев К.К., Лазукина О.П., Волкова Е.Н., Чурбанов М.Ф. / Оценка межлабораторных и межметодных расхождений при аттестации состава твёрдых высокочистых простых веществ и наноматериалов. // Неорганические материалы. 2013. Т.49. №4. С.381-388. (Kovalev I.D., Karpov Yu.A., Potapov A.M. et al. / Assessment of interlaboratory and between-method discrepancies in composition certification of high-purity solid elemental substances and nanomaterials //Inorganic Materials. 2013. V.49. №4. P.368-375.) Импакт-фактор 0,51. Статья индексирована в РИНЦ, WoS, Scopus. DOI:10.1134/S0020168513030102.

45. Научные основы создания новых материалов с заданными свойствами и функциями, в том числе высокочистых и наноматериалов.





1. Разработаны физико-химические основы и способы получения радиационно-стойких и легированных волоконных световодов на основе высокочистого кварцевого стекла.

Разработан метод получения радиационно-стойких кварцевых световодов, легированных эрбием, для оптических усилителей. Изготовлены серии волоконных световодов с различными концентрациями  $\text{Er}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  и  $\text{GeO}_2$  в сердцевине на основе кварцевого стекла и с отражающей оболочкой из нелегированного кварцевого стекла. Исследованы зависимости радиационно-наведенных потерь после гамма-облучения дозой 3,0-4,5 кГр от содержания  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , и  $\text{Er}_2\text{O}_3$ . Установлено, что высокочистое кварцевое стекло, легированное  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{GeO}_2$ , является лучшим материалом для изготовления радиационно-стойких световодов, легированных эрбием. Исследовано влияние условий процесса изготовления волоконных световодов на их радиационную стойкость в спектральном интервале 1,1 – 1,7 мкм в процессе гамма-облучения до дозы 8,1 кГр. Оптимизированы технологические режимы, влияющие на радиационно-наведенное поглощение, что позволило снизить наведенные потери в полученных световодах до 10 дБ/км при дозе 8,1 кГр, что сравнимо с радиационной стойкостью зарубежных аналогов.

Разработаны физико-химические основы и способ получения волоконных световодов на основе высокочистого кварцевого стекла, легированного оксидом висмута. Впервые изготовлены волоконные световоды из кварцевого стекла, легированного оксидами фосфора, алюминия, германия и висмута. Найдено, что положение полосы люминесценции висмута зависит от состава стекла сердцевины. В НЦВО РАН на разработанных световодах получена непрерывная лазерная генерация с КПД до 50% при комнатной температуре в спектральном диапазоне 1140- 1550 нм. Это может быть использовано для расширения рабочего спектрального диапазона линий волоконно-оптической связи.

2. Разработаны физико-химические основы и уникальная методика создания лазерных сред на основе  $\text{ZnSe}:\text{Cr}^{2+}$  с заданным профилем концентрации активного иона в объеме и нулевой концентрацией на поверхности. Лазерная стойкость синтезированных образцов более чем в два раза выше аналогичных образцов, полученных по традиционной технологии. Изготовлен высокоэффективный импульсно – периодический лазер, перестраиваемый в диапазоне 2140-2870 нм. Разработан способ изготовления халькогенидов цинка, легированных ионами железа, обладающих высокой степенью чистоты и заданным профилем распределения легирующего иона. С использованием различных способов легирования изготовлены активные лазерные элементы  $\text{ZnSe}:\text{Fe}^{2+}$  и проведены исследования их генерационных характеристик. Энергия генерации составила 550-705 мДж с КПД по поглощенной мощности 41- 55%. Это лучшие из опубликованных результатов. Продемонстрирована возможность использования разработанных лазеров для определения концентрации окиси углерода, двуокиси углерода, закиси азота, метана, аммиака, фтористого водорода и других загрязняющих примесей с целью экологической диагностики и мониторинга атмосферы.



3. Совместно с ИЦВО РАН разработаны физико-химические основы и методы получения высокочистых халькогенидных и халькоиодидных стекол с новыми функциональными свойствами. Исследованы свойства и определены составы стекол, оптимальных для изготовления волоконных лазеров и усилителей различного назначения.

С использованием нового способа глубокой очистки соединений мышьяка получены сульфидно-мышьяковые стекла с содержанием примесных OH-групп  $\sim 1$  ppb wt; SH-групп (5-3).10<sup>-6</sup> мас. %. Изготовлены волоконные световоды с наиболее низкими оптическими потерями в среднем ИК-диапазоне: 12 дБ/км на 3,0 и 4,8 мкм. Получены образцы стекол системы As-Se с рекордно низким содержанием примесей: [O] – 0,5 ppm, [C] - <0,8 ppm, [H] – 0,02 ppm, [Si] – 0,1 ppm, переходные металлы - <0,05 ppm. Из стекла As<sub>35</sub>Se<sub>65</sub> получены световоды с минимальными оптическими потерями <50 дБ/км на длине волны 2,7 мкм. Световоды перспективны в оптическом приборостроении.

Исследована адгезия стекол систем As-S и As-Se к кварцевому стеклу. Показано возрастание адгезионной прочности границы твердых фаз с увеличением содержания халькогенов. Установлено, что для стекол системы As-S с содержанием серы >65 ат. % адгезия к кварцевому стеклу при температурно-временных условиях формования халькогенидных заготовок сопоставима с пределом прочности кварцевого стекла. Показано, что величина адгезионной прочности границы твердых фаз является достаточной для отрыва частиц от стенок кварцевого реактора и переноса их в халькогенидное стекло в процессах синтеза и формования заготовок.

Разработана методика, найдены составы стекол в системе Ge-As-S и условия получения объемных образцов для изготовления двухслойных световодов, сердцевина которых легирована висмутом. Изучена люминесценция висмута, введенного в халькогенидные стекла системы Ge-As-S и установлены составы, характеризующиеся интенсивной люминесценцией в области 1,2 - 2,6 мкм. Впервые изготовлены волоконные двухслойные световоды с сердцевиной из стекол Ge<sub>32</sub>As<sub>10</sub>S<sub>58</sub> и Ge<sub>35</sub>As<sub>10</sub>S<sub>55</sub>, содержащие 1000 и 300 ppm wt висмута, соответственно, с оптическими потерями 2,6 дБ/м на длине волны 5,5 мкм. Результаты исследования могут быть использованы при создании активных сред для лазеров и оптических усилителей, работающих в ближнем ИК-диапазоне.

Разработан способ получения особо чистых образцов стекол GeS<sub>1.35</sub>, As<sub>38</sub>S<sub>62</sub>, As<sub>35</sub>Se<sub>65</sub> с изотопно-обогащенным германием <sup>72</sup>Ge, <sup>73</sup>Ge, <sup>74</sup>Ge, <sup>76</sup>Ge (обогащение по основному изотопу 52–99,9 ат. %), серой <sup>32</sup>S (99,6 ат. %), селеном <sup>80</sup>Se (99,9 ат. %). Исследованы оптические и термические свойства образцов стекол. Стекла охарактеризованы с помощью рентгеноспектрального микроанализа, ИК- и КР-спектроскопии. Исследованы спектры пропускания в видимом и ИК-диапазоне, КР-спектры стекол GeS<sub>1.35</sub>, As<sub>38</sub>S<sub>62</sub>, As<sub>35</sub>Se<sub>65</sub>, содержащие изотопно-обогащенные германий <sup>72</sup>Ge, <sup>73</sup>Ge, <sup>74</sup>Ge, <sup>76</sup>Ge, серу <sup>32</sup>S, селен <sup>80</sup>Se. Результаты исследований представляют фундаментальный интерес в области изучения строения халькогенидных стекол и получения знаний о влиянии изотопного состава неорганических материалов на некоторые их свойства.



Публикации по направлению 45.

1. Koptev M.Yu., Anashkina E.A., Andrianov A.V., Dorofeev V.V., Kosolapov A.F., Muravyev S.V., Kim A.V. / Widely tunable mid-infrared fiber laser source based on soliton self-frequency shift in microstructured tellurite fiber. // *Optics Letters*. 2015. V.40. №17. P.4094-4097. Импакт-фактор 3,18. Статья индексирована в РИНЦ, WoS, Scopus. DOI: 10.1364/OL.40.004094.
2. V.S. Shiryaev, M.F. Churbanov / Trends and prospects of development of chalcogenide fibers for mid infrared transmission // *Journal of Non-Crystalline Solids*. 2013. V.377. P.225-230. Импакт-фактор 1,825. Статья индексирована в РИНЦ, WoS, Scopus. DOI: 10.1016/j.jnoncrysol.2012.12.048/
3. P.F. Kashaykin, A.L. Tomashuk, M.Yu. Salgansky, A.N. Abramov, K.N. Nishchev, A.N. Guryanov, E.M. Dianov / Radiation-induced attenuation in silica optical fibers fabricated in high O2 excess conditions. // *Journal of Lightwave Technology*. 2015. V.33. №9. P.1788-1793. Импакт-фактор 2,567. Статья индексирована в РИНЦ, WoS, Scopus. DOI: 10.1109/JLT.2015.2394806.
4. K.N. Firsov, S.Yu. Kazantsev, I.G. Kononov, E.M. Gavrishchuk, S.A. Rodin / Increasing the radiation energy of ZnSe:Fe<sup>2+</sup> laser at room temperature // *Laser Physics Letters*. 2014. V.11. №8. Article Number: 085001. Импакт-фактор 2,458. Статья индексирована в РИНЦ, WoS, Scopus. DOI: 10.1088/1612-2011/11/8/085001.
5. S.S. Balabanov, Yu.V. Bykov, S.V. Egorov, A.G. Ereemeev, E.M. Gavrishchuk, E.A. Khazanov, I.B. Mukhin, O.V. Palashov, D.A. Permin, V.V. Zelenogorsky. / Transparent Yb:(YLa)2O3 ceramic by self-propagating high temperature synthesis (SHS) and microwave sintering // *Optical materials*. 2013. Volume 35, Issue 4, Pages 727–730. Импакт-фактор 2,183. Статья индексирована в РИНЦ, WoS, Scopus. DOI: 10.1016/j.optmat.2012.09.010.

**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. O.N. Ulenikov, O.V. Gromova, E.S. Bekhtereva, N.I. Raspopova, P.G. Sennikov, M.A. Koshelev, I.A. Velmuzhova, A.P. Velmuzhov, A.D. Bulanov. High resolution study of MGeH<sub>4</sub> (M=76, 74) in the dyad region. // *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*. 2014. Vol.144. P. 11–26. Импакт-фактор 2,859. Статья индексирована в РИНЦ, WoS, Scopus. DOI:10.1016/j.jqsrt.2014.03.027
2. A.M. Kutysin, E.Ye. Rostokina, E.M. Gavrishchuk, V.V. Drobotenko, A.D. Plekhovich, P.A. Yunin / Kinetics and formation mechanism of yttrium aluminum garnet from an amorphous



phase prepared by the sol-gel method // *Ceramics International*. 2015. Volume 41, Issue 9, Part A, Pages 10343-11580. Импакт-фактор 2,758. Стаття індексована в Scopus, WoS. DOI: 10.1016/j.ceramint.2015.04.161.

3. L.A. Mochalov, R.A. Kornev, M.F. Churbanov, P.G. Sennikov / Investigation of the process of hydrogen reduction of 32S from 32SF<sub>6</sub> via RF capacitive plasma discharge // *Journal of Fluorine Chemistry*. 2014. V.160. P.48-51. Импакт-фактор 1,948. Стаття індексована в РИНЦ, WoS, Scopus. DOI: 10.1016/j.jfluchem.2014.01.011.

4. D.A. Mansfeld, A.V. Vodopyanov, S.V. Golubev, P.G. Sennikov, L.A. Mochalov, B.A. Andreev. Yu.N. Drozdov, M.N. Drozdov, V.I. Shashkin, P. Bulkin, P. Roca I Cabarrocas. Deposition of microcrystalline silicon in electron-cyclotron resonance discharge (24 GHz) plasma from silicon tetrafluoride precursor. // *Thin Solid Films*. 2014. V.562. P.114-117. Импакт-фактор 1,759. Стаття індексована в РИНЦ, WoS, Scopus. DOI: 10.1016/j.tsf.2014.03.091.

5. Conseil C., Shiryaev V.S., Cui, S., Boussard-Pledel C., Troles J., Velmuzhov A.P., Potapov A.M., Suchkov A.I., Churbanov M.F., Bureau B. / Preparation of high purity Te-rich Ge-Te-Se fibers for 5–15 μm infrared range // *Journal of Lightwave Technology*. 2013. V.31. №11. P.1703–1707. Импакт-фактор 2,862. Стаття індексована в РИНЦ, WoS, Scopus. DOI: 10.1109/JLT.2013.2257163.

6. Plotnichenko V.G., Philippovskiy D.V., Sokolov V.O., Dianov E.M., Sukhanov M.V., Velmuzhov A.P., Churbanov M.F. / Infrared luminescence in Bi-doped Ge-S and As-Ge-S chalcogenide glasses and fibers. // *Optical Materials Express*. 2014. V.4. №2. P.366-374. Импакт-фактор 2,844. Стаття індексована в РИНЦ, WoS, Scopus. DOI: 10.1364/OME.4.000366.

7. I.A. Bufetov, M.A. Melkumov, S.V. Firstov, K.E. Rimkin, A.V. Shubin, V.F. Khopin, A.N. Guryanov, E.M. Dianov // Bi-doped optical fibers and fiber lasers // *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics* (invited paper). 2014. V.20. №5. P.111–125. Article Number: 0903815. Импакт-фактор 2,828. Стаття індексована в WoS, Scopus. DOI: 10.1109/JSTQE.2014.2312926.

8. M.E. Likhachev, M.M. Bubnov; K.V. Zotov; A.L. Tomashuk, D.S. Lipatov, M.V. Yashkov, A.N. Guryanov // Radiation Resistance of Er-Doped Silica Fibers: Effect of Host Glass Composition // *Journal of Lightwave Technology*, 2013. V. 31. Issue: 5. P. 749-755. Импакт-фактор 2,862. Стаття індексована в РИНЦ, WoS, Scopus. DOI: 10.1109/JLT.2012.2233196.

9. Spectral and temporal characteristics of a ZnSe:Fe<sup>2+</sup> laser pumped by a non-chain HF(DF) laser at room temperature Автор: Firsov, K. N.; Gavrishchuk, E. M.; Kazantsev, S. Yu; и др. *Laser Physics Letters* 2014. V: 11 Is: 12 , 125004. Импакт-фактор 2,458. Стаття індексована в РИНЦ, WoS, Scopus. DOI: 10.1088/1612-2011/11/12/125004.

10. Balabanov, S.S.; Yavetskiy, R.P.; Belyaev, A.V.; E.M. Gavrishchuk, V.V. Drobotenko, I.I. Evdokimov, A.V. Novikova, D.A. Permin, V.G. Pimenov Fabrication of transparent MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ceramics by hot-pressing of sol-gel-derived nanopowders/ *Ceramics International* 2015. Volume 41, Issue 10, Part A, Pages 13366-13371 . Импакт-фактор 2,758. Стаття індексована в WoS, Scopus. DOI:10.1016/j.ceramint.2015.07.123.



Монографии, учебные пособия:

1. V. Shiryayev, M. Churbanov, Preparation of high-purity chalcogenide glasses, DOI: 10.1533/9780857093561.1.3. Chapter 1 in the book «Chalcogenide glasses: preparation, properties and applications». PP.3-35. Series in Electronic and Optical Materials: Number 44. 2013. Oxford Cambridge Philadelphia New Delhi. Woodhead Publishing Limited, 2014. – 682 pp. ISBN 978-0-85709-345-5 (print), ISBN 978-0-85709-356-1 (online). Книга в печатном виде вышла в 2014 г., тираж не указан.
2. В.М. Степанов, А.Н. Колесников. Термодинамика межфазного распределения примесей при получении высокочистых веществ. Нижний Новгород: ИХВВ РАН. 2013. – 204 с. ISBN 978-5-905946-20-2, тираж 300 экз.
3. Гавришук Е.М. «Материалы для инфракрасной оптики. Получение. Свойства. Применение»: учебное пособие – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2015. – 265 с. ISBN 978-5-91326-356-8, тираж 100 экз.
4. М.Ф. Чурбанов, А.П. Вельмузов. «Химия высокочистых неорганических веществ» Учебное пособие, Нижний Новгород: ННГУ им. Н.И. Лобачевского, ИХВВ РАН, 2015 г. - 170 с. ISBN 978-5-91326-324-7. тираж 200 экз.

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

Всего в ИХВВ РАН в 2013-2015 гг. выполнялось 2 гранта РНФ и 21 грант РФФИ. Наиболее значимые гранты:

1. Грант РНФ №15-13-10028 «Изучение фундаментальных закономерностей формирования лазерных сред и люминофоров среднего ИК-диапазона, на основе халькогенидов цинка, легированных d-элементами» (2015-2017 г.). Ежегодный объем финансирования 8,0 млн. руб., всего за три года 24 млн. руб.

2015. Разработана методика определения сверхстехиометрических компонентов в не легированном ZnS (Se) и легированных d-элементами ZnSe и ZnS. Проведены исследования краевой и дефектно-примесной люминесценции в области 0,46 - 0,73 мкм. не легированных и легированных d-элементами образцов ZnSe с использованием двухфотонной конфокальной микроскопии. Получены карты распределения интенсивности люминесценции на глубине до 1 мм с пространственным разрешением в несколько мкм. Разработаны схемные решения и изготовлены экспериментальные стенды на основе твердотельных лазеров в диапазоне длин волн 1,5-2 мкм с модуляцией добротности, работающих в импульсно-периодическом режиме генерации для исследования лучевой прочности, нелинейного пропускания и генерационных характеристик кристаллов  $Fe^{2+}(Cr^{2+}):ZnSe$  и  $Fe^{2+}(Cr^{2+}):ZnS$ .

2. Грант РНФ №15-12-20040 «Разработка материалов и технологий волоконной и волноводной оптики среднего инфракрасного диапазона для фотонных и аналитических



устройств нового поколения» (2015-2017 г.). Ежегодный объем финансирования 10,0 млн. руб., всего за три года 30 млн. руб.

2015. Разработан и испытан способ получения серы и селена, особо чистых по содержанию углерода и углеродсодержащих примесей. Способ основан на использовании низкотемпературного каталитического крекинга, обеспечивающего глубокую конверсию примесных углеводородов в сере и селене в элементарный углерод, отделяемый затем вакуумной дистилляцией. Разработан способ изготовления одномодовых волоконных световодов из высокочистых халькогенидных стекол с оптическими характеристиками, пригодными для изготовления оптических разветвителей в среднем ИК-диапазоне и для канализации ИК-излучения в спектральных приборах. Длина волны отсечки для волокон составляет от 1,60 до 2,36 мкм, оптические потери на уровне 0,35–0,4 дБ/м. Получены стекла системы Ge–S–Bi, обладающие высоким выходом люминесценции в области от 1400 до 3000 нм с максимумом вблизи 1700 нм и временем жизни люминесценции около 6 мкс.

3. Грант РФФИ №12-03-31213-мол\_а «Исследование физико-химических основ изготовления волоконных световодов на основе стекол системы Yb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-SiO<sub>2</sub>, дополнительно легированных фтором и оксидом бора» (2012-2013). Общий объем финансирования в 2012-2013 гг. 650,0 тыс. руб.

Разработан MCVD метод одновременного легирования кварцевого стекла Yb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/F из газовой фазы, обеспечивающий высокую концентрацию активной добавки и однородность стекла сердцевины. Обнаружено, в размягченных F-Yb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-SiO<sub>2</sub> стеклах протекает реакция взаимодействия фосфора со фтором с образованием PO<sub>2</sub>F<sub>3</sub>, что приводит к образованию пузырей в стекле сердцевины и высоким оптическим потерям в световодах. Введение B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в Yb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-SiO<sub>2</sub> стекло эффективно снижает показатель преломления и позволяет увеличить содержание Yb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> до 1 мол. % при сохранении малой Δn (0.002). Добавка B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> оказывает существенное влияние только на показатель преломления многокомпонентного стекла и не снижает усилительных свойств световодов. Изготовлен не темнеющий одномодовый световод с 20 мкм Yb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-SiO<sub>2</sub> сердцевиной, содержащей 5 мас. % Yb с увеличенным в 10 раз по сравнению с алюмофосфосиликатным световодом порогом нелинейных эффектов.

4. Грант РФФИ №13-03-97107\_p\_поволжье\_а «Электрофизическое и диффузионное поведение примесных атомов мышьяка и йода в MOCVD эпитаксиальных слоях Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te» (2013-2014). Ежегодный объем финансирования 420 тыс. руб., всего за два года 840 тыс. руб.

Исследовано легирование эпитаксиальных слоев (ЭС) CdTe (КТ) и Cd<sub>x</sub>Hg<sub>1-x</sub>Te (КРТ) примесью мышьяка и йода в MOCVD (IMP)-процессе. Изучена зависимость вхождения примесей в ЭС КТ и КРТ от концентрации прекурсоров, соотношения МОС кадмия и теллура в газовой смеси, кристаллографической ориентации слоя при типичной темпера-



туре выращивания ЭС КРТ (350оС). Исследована электрическая активность примесей As и I, введенных в эпитаксиальные слои КТ и КРТ. Показано, что доля электрически активного мышьяка в слоях КТ и КРТ зависела от условий осаждения и отжига. Полученные результаты необходимы для создания отечественной технологии МOCVD-метода изготовления *in situ* p-п перехода в ЭС КРТ для современных матричных фотоприемных устройств.

5. Грант РФФИ №13-03-01091\_а. «Разработка физико-химических основ и метода получения особочистых кристаллических и стеклообразных халькогенидов р-элементов III и IV групп Периодической системы через их летучие йодиды» (2013-2015). Общий объем финансирования в 2013-2015 гг. 1449,3 тыс. руб.

Разработан способ получения особо чистых поликристаллических халькогенидов Ga<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, Ga<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>, In<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, In<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>, ZnS, ZnSe, ZnGa<sub>2</sub>S<sub>4</sub>, ZnGa<sub>2</sub>Se<sub>4</sub> взаимодействием соответствующих йодидов с серой и селеном с практическим выходом 70–96%, остаточным содержанием йода 0.04–0.5 ат %. и низким содержанием примесей. Получены образцы особо чистых стекол системы Ge – S – I с низким содержанием примесей кислорода, водорода и кремния, с высокой прозрачностью в спектральном диапазоне 0.5–10 мкм. Исследованы некоторые термические и оптические свойства стекол, их устойчивость к кристаллизации.

6. Грант РФФИ №14-03-31940 мол\_а «Самораспространяющийся высокотемпературный синтез нанодисперсных порошков оксида скандия для оптической керамики» (2014-2015). Ежегодный объем финансирования 400 тыс. руб., всего за два года 800 тыс. руб.

С использованием модели валентных состояний атомов в химическом соединении выполнен расчет значений стандартной энтальпии образования ацетатонитратов и ацетилацетонато-нитратов скандия и лютеция широкого диапазона составов. Выявлены оптимальные области составов соответствующих смесей для проведения СВС, которые составили  $x = 0,65-0,7$  для систем Sc(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>x(CH<sub>3</sub>COO)<sub>3</sub>(1-x) и Lu(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>x(CH<sub>3</sub>COO)<sub>3</sub>(1-x), 0,85–0,9 для Sc(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>x(C<sub>5</sub>H<sub>7</sub>O<sub>2</sub>)<sub>3</sub>(1-x) и 0,4–0,5 для xSc(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> - (1-x)NH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>COOH. Получены высокодисперсные порошки оксида скандия методом СВС с использованием в качестве горючего ацетата и ацетилацетоната скандия, а также глицина. Введение добавки Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в количестве 5–20 мол. % позволяет увеличить светопропускание керамики на основе Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (чистота 99,5%) до ~ 60%.

7. Грант РФФИ №15-03-04299\_а «Создание новых оптических керамик на основе алюмомагниево-шпинели с добавками редкоземельных элементов» (2015-2016). Объем финансирования в 2015 – 500 тыс. руб., в 2016 – 350 тыс. руб. Всего за 2 года 850 тыс. руб.

2015. Проведены исследования процесса получения лазерной керамики MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, легированной ионами иттербия, тербия, церия и тулия, с использованием метода горячего прессования. Предложен метод синтеза исходного нанопорошка алюмомагниево-шпинели с однородным распределением ионов РЗМ, определены пределы растворимости РЗМ в матрице шпинели. Исследованы лазерные характеристики керамики, легированной иттер-



бием. Определены сечения поглощения и усиления, время жизни в возбужденном состоянии, зарегистрировано усиление излучения. Проведены измерения магнитооптических свойств чистой шпинели и легированной тербием.

8. Грант РФФИ №15-03-03471\_a «Исследование процесса получения многокомпонентных высокочистых халькогенидных стекол, активированных редкоземельными элементами, перспективных для создания волоконных лазеров и преобразователей среднего ИК диапазона» (2015-2016). Объем финансирования в 2015 – 500 тыс. руб., в 2016 – 400 тыс. руб. Всего за 2 года 900 тыс. руб.

2015. Разработана методика получения особо чистых многокомпонентных стекол систем Ga(In)-Ge-As(Sb)-Se (Ga и In по 3 ат. %), легированных Pr(3+). Легированные стекла и световоды обладают интенсивной широкополосной люминесценцией в спектральной области 3,5-5,5 мкм, временем жизни люминесценции на длине волны 4,7 мкм 3-7 мс. Оптические потери в образцах вблизи длин волн накачки (1-3 мкм) не превышает 1 дБ/м, что соответствует требованиям к материалам для активной волоконной оптики.

9. Грант РФФИ №13-03-01178\_a. «Высокочистые вольфрамат-теллуридные стёкла для волоконной оптики: получение и исследование источников оптических потерь» (2013-2014). Общий объем финансирования в 2013-2014 гг. 899,4 тыс. руб.

Разработаны физико-химические основы получения высокочистых вольфрамат-теллуридных стёкол, преформ из них, волоконных световодов для применения в волоконной оптике. Определены главные источники оптических потерь в ИК-области в преформах и волоконных световодах. Лучшие образцы стёкол характеризуются рекордно низкой концентрацией гидроксильных групп, волоконные световоды обладают низкими оптическими потерями, в том числе в максимуме поглощения гидроксильных групп.

**16. Гранты, реализованные на основе полевой опытной работы организации при поддержке российских и международных научных фондов. Заполняется организациями, выбравшими референтную группу № 29 «Технологии растениеводства».**

Информация не предоставлена

## **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**

Информация не предоставлена





## Внедренческий потенциал научной организации

### 18. Наличие технологической инфраструктуры для прикладных исследований

Фундаментальные исследования институт сопровождает прикладными разработками методов и технологий высокочистых веществ, материалов на их основе и изделий из этих материалов.

Результатом проводимых исследований являются новые научные сведения о процессах разделения смеси веществ, глубокой очистки веществ, свойствах полученных веществ, образцы высокочистых веществ и материалов, способы их получения.

Развитие инновационной деятельности происходит путем создания и мелкосерийного выпуска в подразделениях института инновационной продукции, разработанной на основе результатов проведенных НИР.

Форма реализации результатов НИР:

- получение опытных образцов новых материалов для исследования функциональных свойств;
- создание укрупненно-лабораторных технологий получения высокочистых веществ и материалов;
- составление исходных данных для проектирования производств;
- выпуск и поставка опытных образцов и малых партий высокочистых веществ и материалов по договорам и контрактам;
- авторское сопровождение технологий;
- оформление патентов и ноу-хау.

В силу специфики развиваемых научных направлений институт проводит проверку полученных результатов, создавая пилотные установки для изготовления ряда важных высокочистых материалов, в том числе для специальных применений. Это волоконные световоды из высокочистого кварцевого стекла с высоким уровнем легирования оксидами германия, фосфора, РЗЭ; световоды из халькогенидных и теллуридных стекол с малыми оптическими потерями в ИК-диапазоне; оптические элементы на основе поликристаллических халькогенидов цинка для силовой ИК-оптики; высокочистые летучие гидриды и хлориды для полупроводниковой техники и волоконной оптики; МOCVD-технология монокристаллических пленок твердых растворов CdHgTe для фотоприемников и др. Опытные партии продукции реализуются на внутреннем рынке и за рубежом. Такой подход повышает степень готовности разработок к практической реализации через инновационные проекты.

В 2013-2015 годах ИХВВ РАН произвел и поставил научно-технической продукции в объеме свыше 119 млн. руб. Ряд материалов и изделий уникальны для мирового рынка или существенно превосходят аналоги по ключевым характеристикам, например, кварцевые световоды, легированные висмутом и редкоземельными элементами, халькогенидные



стёкла и световоды, моноизотопные разновидности кремния и германия, активные среды на основе CVD-ZnS и CVD-ZnSe для создания лазеров среднего ИК-диапазона длин волн. В 2013-2015 гг. получено 10 патентов РФ; Испытательным аналитико-сертификационным центром ИХВВ РАН для научных и промышленных предприятий Нижегородского региона выполнено ~ 50 анализов с целью аттестации химического состава высокочистых веществ и материалов на сумму более 475 тыс.руб.

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

Разработана безотходная технология крупногабаритных профильных изделий из высококчистого поликристаллического селенида цинка. На базе данной разработки, испытанной на опытном производстве ИХВВ РАН, внедренческой фирмой ООО «НН ОПТИКА» создано крупнейшее в Евразии производство оптических изделий из поликристаллического ZnSe, в том числе для специальных применений. Промышленная технология химического осаждения селенида цинка из газовой фазы (CVD-ZnSe) для производства оптических элементов для крупногабаритной ИК – оптики включает оптимизированные условия процесса химического осаждения крупногабаритных пластин поликристаллического CVD-ZnSe, высокопроизводительный (до 6 кг/час) синтез селеноводорода, способ утилизации твердофазных отходов из селенида цинка с выделением высококчистого селена а также условия получения высококачественных поверхностей оптических элементов из селенида цинка диаметром до 350 мм, имеющих плоскую и сферическую форму поверхности. Установлены оптимальные кинетические, температурные и термодинамические параметры и режимы промышленного процесса. (Договор №4/2013 от 01.07.2013 с ООО «НН ОПТИКА»; Письмо от ООО «НН ОПТИКА» №180 от 08.12.2015 г.)

### **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 федеральными органами исполнительной власти, международными и межгосударственными органами**

Информация не предоставлена

#### **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

1. Международные проекты «КИЛОГРАММ-2» и «КИЛОГРАММ-3» (средства иностранных партнеров посредством договоров №331/26/12 от 07.06.2012 между ИХВВ РАН и ОАО «В/О «Изотоп» и № 3/4552-Д от 30.06.2015 между ИХВВ РАН и АО «ПО ЭХЗ») – см. пункт 11. Получены 3 образца поликристаллического кремния-28 массой ~ 6000 г с рекордно высокой изотопной чистотой, 1 образец массой 400 г. Характеристики кристаллов удовлетворяют требованиям заказчика.

2. Развитие базовых технологий роста кристаллов  $Fe^{2+}:ZnSe$  и  $Fe^{2+}:ZnS$  высокого оптического качества и чистоты для лазерной техники (договор №300/15 от 02.02.2015 г. с ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»). Изготовлены и переданы 15 образцов селенида и сульфида цинка, легированных ионами железа, в том числе с оптическими просветляющими и зеркальными покрытиями для создания лазерных элементов и исследования их генерационных характеристик.

3. Разработка технологии и изготовление заготовок перспективных типов оптических волокон (Договор 45/13 от 22.04.2013 г. с АУ «Технопарк-Мордовия») – см. пункт 7.

4. Изучение возможности применения и разработка технологии плазмохимического метода для получения карбида бора из его трифторида (Договор №13/4772-Д от 7 сентября 2015 г. с ОАО «ПО «Электрохимический завод»). Сконструирован и изготовлен плазмотрон, использующий плазму, поддерживаемую ВЧ дуговым разрядом в смеси водород-метан-трифтористый бор. Проведена оптимизация режимов получения карбида бора. Основной фазой в образце является  $B_4C$ . Полученные результаты могут быть положены в основу создания макета промышленной установки получения карбида бора плазмохимическим методом из его трифторида. Получены опытные образцы карбида бора.

5. Разработка оптических заготовок (преформ) и вытяжка опытных образцов волоконных световодов (Договоры с ООО «НЦВО-Фотоника»: №16/12/2013, №14/02/2014, №01/09/2014, №22/01/2015). В 2013-2015 гг. изготовлено и поставлено 47 км волоконных световодов на основе высокочистого кварцевого стекла, легированного  $Yb$ . На базе этих световодов разработано семейство высокоэффективных лазеров и усилителей.

6. Разработка лабораторной технологии изготовления заготовок и волоконных световодов с сердцевиной из германосиликатного стекла, легированного висмутом для источников когерентного излучения и оптических усилителей в спектральной области 1600-1800 нм (Договор №15/05/2015-2 с НЦВО РАН). В 2013-2015 гг. изготовлено и поставлено 98 км волоконных световодов с сердцевиной из кварцевого стекла, легированного оксидами редкоземельных элементов ( $Er-Yb$ ,  $Tm$  и  $Tm-Yb$ ) и оксидом висмута. На базе этих световодов разработано семейство высокоэффективных лазеров и усилителей.



7. Изготовление образцов эпитаксиальных слоев твердого раствора CdHgTe диаметром 2 дюйма согласно ТУ 1778-002-05818248-12 по разработанной ранее в ИХВВ РАН технологии (Договоры №229-К от 13.05.2013 г. и № 293-К от 24.03.2014 г. с ОАО «НПО «Орион»). В 2013-2014 гг. поставлено 15 образцов эпитаксиальных слоев КРТ общей площадью ~300 см<sup>2</sup>. Полученные структуры пригодны для изготовления матричных фотоприемных устройств с числом фоточувствительных элементов в строке до 1000 для различных диапазонов ИК области.

8. Разработка и улучшение характеристик высокочистых сульфидно-мышьяковых и селенидно-мышьяковых стекол для волоконных световодов (Договоры 4/2013 U от 15.11.2013 г., 1/2014 U от 03.02.2014 г., 2/2014 U от 07.05.2014 г. с фирмой «IRFlex Corporation», г. Данвилл, Виргиния, США). Нарботка и поставка опытных партий стекол и световодов.

9. Разработка метода получения, производство, определение оптических характеристик и поставка опытных партий селенида цинка (Договор №3/2011 V от 08.11.2011 г. с фирмой «Vision abc» г. Париж, Франция).

10. Разработка методики определения примесей Sb и Se в As и As<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с пределом обнаружения, удовлетворяющим любому из перечисленных далее условий:  $n \times (20-5)$  ppb для HG-AFS или GFAAS, или  $n \times (100-10)$  ppb для ICP-OES, или  $n \times (5-1)$  ppb для ICP-MS (Договор №1/2013C от 01.11.2013 г. с фирмой «Янгчжоу ЗТЛ Краун Нью Материалз Компани Лимитед» («Yangzhou ZTL Crown New Materials Co., Ltd.»), г. Янгчжоу, Китай). Разработана методика, удовлетворяющая перечисленным выше условиям.

**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**

В Международном рейтинге научных организаций, опубликованном Европейской научно-промышленной палатой в 2014 г., ИХВВ РАН присвоен уровень В, что соответствует «хорошему качеству исследований». В этом рейтинге институт занимает 12 место среди российских научных организаций химического профиля.

ИХВВ РАН регулярно проводит Всероссийские конференции по химии и технологии высокочистых веществ и материалов. В отчетный период состоялась XV Всероссийская конференция и VIII Школа молодых ученых «Высокочистые вещества и материалы. Получение, анализ, применение» (Нижний Новгород, 26-29 мая 2015 г.). На конференции, прошедшей в ИХВВ РАН, обсуждались новые результаты и существующие проблемы в области создания, анализа, исследования свойств и применения высокочистых веществ



и функциональных материалов на их основе. В конференции приняли участие более 150 человек, было сделано 89 устных докладов (из них 4 приглашенных - академик Е. М. Дианов, члены корреспонденты РАН Г. С. Бурханов, И. А. Буфетов, И. Г. Тананаев) и около 100 стендовых докладов. В конференции участвовали ведущие специалисты и молодые сотрудники из научных организаций Москвы и Московской области, Новосибирска, Санкт-Петербурга, Красноярска, Саратова и других городов России, зарубежные специалисты из Болгарии, Беларуси, Германии, Китая. Около 30% устных и 50 % стендовых докладов сделали молодые научные сотрудники.

Высокий международный авторитет института подтвержден проведением 21-26 августа 2016 года в Нижнем Новгороде XX Международного симпозиума по неоксидным и новым стеклам (ISNOG-2016). Главным организатором симпозиума выступал ИХВВ РАН. Симпозиум собрал ~170 участников из 13 стран, включая Великобританию, Германию, Францию, Канаду, Японию, Россию, Чешскую республику, Индию, Республику Корею, Венгрию, Бразилию, Словацкую республику, Китай, Алжир, Швецию и Беларусь. Было сделано 19 приглашенных и 3 пленарных доклада ведущими мировыми учеными и экспертами в области неоксидных и специальных стекол, 54 устных и 38 стендовых докладов. В симпозиуме приняли участие 30 зарубежных ученых.

В 2015 г. в институте выполнялось два гранта РНФ (см. п. 15). К 2017 году их число возросло до пяти. Добавились:

– Грант РНФ № 16-13-10251 «Создание материально-технологической базы для полностью волоконно-оптических высокочувствительных сенсоров спектрального диапазона 2-15 мкм».

– Грант РНФ № 17-13-01027 «Восстановление летучих фторидов элементов III-VI групп различного изотопного состава в ВЧИ плазме высокого давления: аппаратура, механизмы реакций, характеристика получаемых материалов».

– Грант РНФ № 17-13-01343 «Изготовление и свойства световодов на основе кварцевых стекол с высоким содержанием фтора и оксидов редкоземельных элементов».

В 2013 году выполнялись 10 проектов по Программам Президиума РАН и 1 проект по Программе ОХНМ РАН. В 2014-2015 годах выполнялись 6 проектов по Программам Президиума РАН.

В 2015 г. чл.-корр. Бубнову М. М. (ИЦВО РАН) и чл.-корр. Гурьянову А. Н. (ИХВВ РАН) была присуждена премия имени И.В. Гребенщикова за цикл работ «Разработка физико-химических основ получения высокочистых стекол на основе диоксида кремния и световодов из них для волоконных лазеров и усилителей».

ИХВВ РАН ежегодно участвует в Международных и Всероссийских выставках со своими разработками. В 2013-2015 гг. участие института отмечено 4 золотыми, 2 серебряными медалями, дипломами.



Ведущие сотрудники института приглашаются для проведения совместных исследований за рубежом. В 2013-2015 гг. в командировки продолжительностью не менее календарной недели для работы в зарубежных научных организациях выезжало 5 сотрудников.

ФИО руководителя Чурбанов М.Ф. Подпись Чурбанов  
Дата 22.05.2017

