



ГИРЕДМЕТ
РОСАТОМ



**ГОДОВОЙ
НАУЧНЫЙ ОТЧЕТ**

2021

Акционерное общество
«Государственный научно-исследовательский и проектный институт
редкометаллической промышленности «Гиредмет» имени Н.П. Сажина
(АО «Гиредмет» имени Н.П. Сажина)

ГОДОВОЙ НАУЧНЫЙ ОТЧЕТ ГИРЕДМЕТ - 2021

Под редакцией Ю.Н. Пархоменко, К.В. Ивановских, Е.А. Нескоромной

Москва 2021



УДК 001.89: 66

ГРНТИ 61; 53.37.35; 53, 41; 29.19.31

ББК 35

Код ОКНТИ В.10.4.; В.11.3.; В.11.5., В.11.2.2

Научный годовой отчет АО «Гиредмет» имени Н.П. Сажина (отчет об основных научно-исследовательских работах, выполненных в 2021 г.) / под общей ред. д-ра физ.-мат. наук Ю.Н. Пархоменко. — Москва: АО «Гиредмет» имени Н.П. Сажина, 2022. – 173 с.

Отчет содержит краткую ретроспективу научно-исследовательской деятельности АО «Гиредмет», исторический очерк о выдающихся ученых, работавших в институте, а также сведения по основным направлениям деятельности лабораторий в 2021 году и перспективам их развития, среди которых: получение высокочистых редких металлов, материалов для оптики и фотоники, технологии получения веществ особой чистоты; технологии разделения редкоземельных металлов, технологии получения рассеянных элементов, полупроводниковых соединений АПВV и АПВVI, материалов накопителей и преобразователей энергии и др. В отчете отражены основные показатели научного развития, включающие в себя наукометрические показатели сотрудников института.

Отчет предназначен для сотрудников научно-исследовательских организаций, предприятий атомной промышленности и студентов соответствующих специальностей.

Над выпуском отчета работали: д-р. физ.-мат. наук Пархоменко Ю.Н. (научный руководитель), канд. техн. наук Нескоромная Е.А. (ученый секретарь), канд. физ.-мат. наук Ивановских К.В. (зам. директора по науке и инновациям), канд. техн. наук Едренникова Е.Е. (научный консультант), канд. техн. наук Карцев В.Е. (эксперт).

Утвержден объединенным научно-техническим советом Акционерного общества «Государственный научно-исследовательский и проектный институт редкометаллической промышленности» имени Н.П. Сажина

АО «Гиредмет» имени Н.П. Сажина, 2022



СОДЕРЖАНИЕ

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО ДИРЕКТОРА	5
СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ЦЕЛИ И ОРИЕНТИРЫ ИНСТИТУТА.....	6
КОНВЕРГЕНЦИЯ НАУКИ И ПРОИЗВОДСТВА, КАК ОСНОВА	
УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ГИРЕДМЕТ.....	9
ОБ ИНСТИТУТЕ.....	13
Краткая ретроспектива деятельности, исторический очерк о выдающихся ученым, работавших в Институте.....	13
Основные направления научных исследований и роль Института в российском научном сообществе.....	21
Структура научного блока.....	25
Кадровый потенциал Института.....	33
РЕЗУЛЬТАТЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО ОСНОВНЫМ	
НАПРАВЛЕНИЯМ	37
Лаборатория технологии получения редких тугоплавких высокочистых металлов – Отделение редких и редкоземельных металлов.....	37
Лаборатория технологии получения редкоземельных металлов, порошков и сплавов – Отделение особо чистых веществ и монокристаллов	41
Лаборатория высокочистых галогенидных материалов для оптики – Отделение особо чистых веществ и монокристаллов	44
Лаборатория технологии получения веществ особой чистоты – Отделение особо чистых веществ и монокристаллов.....	48
Лаборатория технологии разделения редкоземельных металлов и соединений – Отделение особо чистых веществ и монокристаллов.....	52
Лаборатория технологии получения рассеянных элементов – Отделение особо чистых веществ и монокристаллов.....	60
Лаборатория высокотемпературных полупроводниковых соединений АПВV – Отделение полупроводниковых соединений.....	62
Лаборатория полупроводниковых соединений АПВVI – Отделение полупроводниковых соединений.....	69
Лаборатория обработки полупроводниковых материалов – Отделение полупроводниковых соединений.....	78
Лаборатория низкотемпературных полупроводниковых соединений АПВV – Отделение полупроводниковых соединений.....	84
Лаборатория технологий и материалов современной энергетики – Отделение материалов накопителей и преобразователей энергии.....	91
Лаборатория твердооксидных электрохимических устройств – Отделение материалов накопителей и преобразователей энергии.....	95
Лаборатория термоэлектрических материалов – Отделение материалов накопителей и преобразователей энергии.....	98



Испытательный аналитико-сертификационный центр.....	105
ВНЕДРЕНИЕ СОЗДАНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В 2021 ГОДУ	108
Ключевые результаты НИОКР, выполненных в рамках ЕОТП Госкорпорации «Росатом».....	112
Правовая охрана созданных результатов научно-технической деятельности в 2021 году.....	116
Взаимодействие с инновационными территориальными кластерами по внедрению созданных результатов научно-технической деятельности в 2021 году	119
МЕРОПРИЯТИЯ В ОБЛАСТИ ОСВОЕНИЯ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	121
Материалы для специальной оптики, оптоэлектроники, фотоники, электронной компонентной базы, сцинтилляторы.....	121
Редкие металлы (включая методы химической диагностики).....	126
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ИНСТИТУТА	131
Международное сотрудничество и внешнеэкономическая деятельность в научно-технической сфере.....	131
Основные мероприятия в области развития сотрудничества с вузами и научными организациями.....	131
Научно-технический совет АО «Гиредмет».....	133
Статистические показатели научного развития Института.....	145
Перечень полученных премий и наград.....	148
Издательская деятельность Института.....	150
Научно-технические мероприятия.....	151
Конференция «Редкие металлы и материалы на их основе: технологии, свойства и применение» (РЕДМЕТ-2021)	158
ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОЕ СЛОВО НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ	161
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И СПЕЦИАЛЬНЫХ ТЕРМИНОВ	172

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО ДИРЕКТОРА

«90 лет со дня основания Института АО «Гиредмет» – не просто славная дата из истории головного НИИ отрасли, эта дата символизирует девяностолетний юбилей отечественной науки редкоземельных металлов.

Развитие собственного производства по разработке новых материалов на основе редких и драгоценных металлов, их соединений и сплавов, высокочистых веществ, полупроводниковых и наноматериалов, начало которому в Советской России было положено в далеком 1931 году, и в наши дни продолжает оставаться приоритетной задачей национальной экономики.

Институт «Гиредмет» является фундаментом отрасли и демонстрирует органичное сочетание фундаментальной и прикладной науки, обеспечивающее создание и развитие перспективных научных направлений и практическую реализацию исследовательских разработок и проектно-конструкторских решений.

Ключевым фактором успеха АО «Гиредмет» является непрерывное совершенствование применяемых нами технологических решений, чаще всего эксклюзивных, нетиповых и всегда современных. Накопленный нами опыт и специализированные знания, позволяют обеспечить инновационное развитие базовых отраслей российской экономики, продвижения наукоемкой продукции на рынки. Необходимо придать новый импульс стратегии развития института АО «Гиредмет», сохраняя глубокие традиции, созданные несколькими поколениями ученых и научных работников. Совместными усилиями институт и дальше будет гордо нести имя одного из лучших ученых – академика Н.П. Сажина».



Андрей Иванович Голиней



СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ЦЕЛИ И ОРИЕНТИРЫ ИНСТИТУТА

Конкурентоспособность и устойчивость любой экономики определяется, прежде всего, уровнем развитием науки и высокотехнологичных отраслей промышленности – авиационной, атомной, электронной, приборостроительной, машиностроительной, химической, оборонной и т.п. Научеёмкие технологии являются основой для обеспечения технологического приоритета и конкурентоспособности экономики России на глобальном мировом рынке, а также для обеспечения безопасности страны. Исходя из этого, стратегически важным является создание всех условий для их интенсивного развития, и главная роль здесь принадлежит материальному обеспечению данных производств. Важнейшую роль здесь играют редкие металлы (РМ), которые нередко называют «витаминами промышленности» – это индексационная продукция, по уровню которой судят о научно-техническом уровне развитии страны. Мировые объёмы производства, спектр продукции, уровень и состояние технологии редких металлов находятся в постоянном развитии несмотря на высокую чувствительность соответствующего рынка к различным геополитическим процессам. Одним из основных результатов постоянного расширения сфер применения РМ является повышение качества продукции, снижение энергозатрат, экономия природных ресурсов, материалов и др.

Согласно принятой научной и промышленной классификации, РМ включают в себя пять групп, классифицируемых в зависимости от их фундаментальных физико-химических свойств, методов их добычи и выделения из сырья: легкие, рассеянные, тугоплавкие, редкоземельные металлы (РЗМ) и радиоактивные (таблица 1).

Таблица 1 Классификация редких металлов

Группа редких металлов	Элементы	Группа периодической системы
Легкие	Литий, бериллий, рубидий, Цезий	II
Тугоплавкие	Титан, цирконий, гафний	IV
	Ванадий, ниобий, тантал	V



Группа редких металлов	Элементы	Группа периодической системы
	Молибден, вольфрам	VI
Рассеянные	Галлий, индий, таллий	III
	Германий	IV
	Селен, теллур	VI
	Рений	VII
Редкоземельные	Скандий, иттрий, лантан и лантаниды от церия до лютеция	III
Радиоактивные	Франций	I
	Радий	II
	Актиний, торий, протактиний, уран, плутоний и др. трансурановые элементы	VI
	Полоний, технеций	VII

АО «Гиредмет» является научно-исследовательским и научно-производственным учреждением, имеющим богатейший опыт в области разработки технологий добычи, переработки, очистки металлов всех указанных групп, а также создания различных материалов и изделий на их основе для электронной, атомной, химической, авиационной, космической, оборонной и других высокотехнологических отраслей промышленности. Отдельно следует отметить роль материалов на основе РМ в развитии современной фундаментальной и прикладной науки. В настоящее время и в ближайшие десятилетия сохраняется и будет сохраняться устойчивый рост потребления и производства РМ. Объемы производства и потребления РМ в большинстве промышленно развитых стран мира являются показателями экономического и технологического развития, а также национальной безопасности. Качественный и количественный объем потребления РМ в мире с каждым годом только увеличивается, растут объемы добычи и переработки природного и техногенного редкометаллического сырья. В то же время наблюдается ограниченность редкометаллических ресурсов, что порождает скрытую и открытую борьбу за них, являясь одним из триггеров геополитической напряженности, которая заметно нарастала в течение 2021 года.

В настоящее время АО «Гиредмет» развивает основные научные и научно-производственные ресурсы в области технологий редких металлов, а также полупроводниковых и оптических материалов на их основе с целью



удовлетворения внутренних потребностей российской промышленности, а также укрепления роли и обеспечения приоритета России на мировом рынке высоких технологий.

Среди заказчиков и партнеров АО «Гиредмет» выступают АО «НИИПП», ООО «Йоффе ЛЕД», а также организации Госкорпорации «Росатом», среди которых АО «ТВЭЛ», ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», АО «НИИ НПО «ЛУЧ», ФГУП «Комбинат «Электрохимприбор», АО «ЧМЗ», АО «Атомредметзолото», АО «ВНИИХТ», ООО «Русатом Аддитивные Технологии», ПАО «ВСМПО-Ависма», АО «СМЗ», АО «ЦНИИ Электрон», АО «НПО Орион», ФГУП «ВНИИА», АО «ВНИИХТ», АО «НИИТФА», АО «ВНИПИпромтехнологии», АО «ГНЦ РФ – ФЭИ», ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, АО «ФНПЦ «ПО «Старт» им. М.В. Проценко», ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ» и др.



КОНВЕРГЕНЦИЯ НАУКИ И ПРОИЗВОДСТВА, КАК ОСНОВА УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ГИРЕДМЕТ

*Заместитель директора по науке и инновациям АО «Гиредмет» имени
Н.П. Сажина – канд. физ.-мат. наук К.В. Ивановских*

Рожденный в 30-е годы XX века на заре становления новой эпохи научного и технологического развития, Гиредмет внес огромный вклад в развитие технологий редких металлов, их соединений и сплавов, а также полупроводниковых и оптических материалов для отечественных стратегически важных отраслей промышленности. В институте сформировались уникальные научные школы материаловедческого и химико-технологического профиля, конструкторские и проектные группы, силами которых разработаны и успешно внедрены производственные технологии на десятках предприятий России и зарубежья, работающих как в области добычи и переработки минерального сырья, содержащего редкие и драгоценные металлы, так и в сфере атомной энергетики, приборостроения, авиа- и ракетостроения, электроники, оптики, сверхпроводниковой техники и проч. Все это определило формирование особого характера и бренда нашего института, с которыми он достойно пережил непростые периоды кризисных явлений в экономике страны, и сегодня активно и прагматично встраивается в новые условия. Успех в этом процессе определяется уже не только экономическими факторами или уровнем внутреннего научного и технологического потенциала, но и возможностью видеть и адекватно воспринимать свою роль в мире технологий, который стал сегодня глобален, скор в развитии и тесен в конкуренции.



*К.В. Ивановских
канд. физ.-мат. наук,
заместитель директора по науке
и инновациям*

90 лет – это не только богатая и славная история, не только имя и заслуженный авторитет ведущей научной организации редкометаллической



промышленности, но и своего рода инерция накопленного опыта и годами отработанных технологий, та инерция, которая с одной стороны нередко помогает пройти неторенные дороги научного поиска, а с другой может иметь негативный эффект, не давая институту правильно и своевременно реагировать на требования рынка. В связи с этим современное развитие АО «Гиредмет» направлено на построение качественно новой и соответствующей мировому уровню системы научных и прикладных исследований и разработок, а также инновационных производств, которые позволили бы обеспечить высокую конкурентоспособность услуг и продукции института, тем самым создав условия для непрерывного устойчивого развития. Одной из основ этой новой системы становится модульность и открытость к внутренней кооперации, когда каждый лабораторный или производственный участок института, сохраняя свою базовую специализацию, должен иметь возможность при необходимости встроиться в новый научно-исследовательский или технологический процесс. И такие процессы все чаще становятся не только внутриинститутскими, но и отраслевыми, когда подразделения Гиредмета активно участвуют в решении производственных и научных задач других предприятий и институтов Госкорпорации «Росатом». Наиболее представительным примером такой кооперации сегодня является тесное взаимодействие подразделений АО «Гиредмет», АО «ВНИИХТ» и АО «НИИГрафит» в рамках химико-технологического кластера.

Развитие АО «Гиредмет» в ближайшие годы потребует постановки и решения принципиально новых научных и научно-прикладных задач, в т.ч. междисциплинарных и нацеленных на разработку и создание продуктов и технологий с высокой добавленной стоимостью, а также имеющих экспортный потенциал. Так, помимо целого ряда перспективных продуктов и технологий, освоенных в последние два-три года в рамках выполнения задельных НИОКР (научно-исследовательских и опытно конструкторских работ) и проектов Единого отраслевого тематического плана (ЕОТП),



началось формирование группы новых для института научных направлений, связанных с разработкой материалов и технологий водородной энергетики (твердооксидных и протонно-керамических топливных элементов и электролизеров, электрохимических насосов и датчиков, накопителей H_2 и др.), а также металл-ионных накопителей энергии. При этом важно отметить, что становление новых направлений в немалой степени базируется на уже имеющемся научно-техническом заделе института в части технологий анодных и катодных материалов, высокодисперсных материалов, гидридов металлов и др. Среди экспортно-ориентированных продуктовых линеек АО «Гиредмет» можно отметить особо чистые соединения, индивидуальные РЗМ, материалы ИК (инфракрасной) оптики и фотоники, полупроводниковые материалы, сцинтилляционные кристаллы и др. (рисунок 1). Соответствующие производственные участки целенаправленно модернизируются и оснащаются дополнительным оборудованием, как за счет внутренних ресурсов института, так и в рамках инвестиционных проектов интегратора АО «Наука и инновации». Таким образом, в Гиредмет выстраивается инновационная цепочка, способная довести каждую разработку до внедрения в собственное опытное производство и обеспечить ее конкурентоспособность на рынке.



Рисунок 1. Основные научные направления АО «Гиредмет»

Несмотря на свой почтенный возраст, сегодня Гиредмет молодеет людьми и идеями. В институте формируется критическая масса людей, которые мыслят по-новому, обладают новыми компетенциями в науке,

менеджменте и коммерции, и готовы к инициированию и созданию новых прорывных разработок, сохраняя и развивая при этом потенциал специалистов и сложившихся научных школ. Все это создает особую корпоративную культуру, в которой право на поддержку имеют творческие инициативы любого специалиста и руководителя в непростом балансе между свободой и независимостью каждого и взаимной ответственностью за общий результат. Через малые и большие победы, поиски и решения, Гиредмет должен уверенно закрепить свою роль ведущего российского научного центра в области технологий редких металлов и материалов на их основе, – центра, который будет следовать не только высоким стандартам, но и задавать их.



ОБ ИНСТИТУТЕ

Краткая ретроспектива деятельности, исторический очерк о выдающихся ученых, работавших в Институте

6 сентября 2021 года Гиредмету исполнилось 90 лет. Хочется вспомнить о руководителях института, ведь среди них были выдающиеся ученые, талантливые организаторы, чью роль в истории, по крайней мере одной, отдельно взятой организации, трудно переоценить. Вспомнить или представить себе каждого из 14 директоров и немного те вехи, которыми были отмечены периоды их руководства. На одном из заседаний Объединенного научно-технического совета института профессор И.В. Шманенков полушутливо резюмировал: «Гиредмет – это, пожалуй, единственная научная организация, которая произошла естественным путем – от женщины». Женщиной, которой Гиредмет обязан своим созданием, была Вера Ильинична Глебова.

Из БСЭ: Вера Ильинична Глебова (17(29)10.1885, Самара, – 16.12.1938 г., Москва), советский ученый в области химии и минералогии, доктор естественных наук (1913). Член ВКП(б) с 1904 г. Окончила Лозаннский университет в Швейцарии (1911). Участница Великой Октябрьской социалистической революции и Гражданской войны. В 1921 – 1930 гг. на руководящей работе в системе ВСНХ СССР. В 1922 г. организовала при научно-техническом отделе ВСНХ Бюро по исследованию и промышленному применению редких элементов (БЮРЭЛ) – первую в СССР научно-исследовательскую организацию по редким элементам. Внесла большой вклад в освоение месторождений редких элементов в восточных районах страны. Возглавляла директораты радиевой (1925) и химической (1926) промышленности Центрального управления государственной промышленности ВСНХ. По предложению В.И. Глебовой в 1931 г. основан



В.И. Глебова

Государственный научно-исследовательский институт редких элементов ВСНХ СССР (Гиредмет); в 1931-1934 гг. была его директором.

Даже из скупых энциклопедических данных виден масштаб государственного мышления этой женщины. Не погрешив против истины, можно утверждать, что образование специализированного института по редким металлам было целью жизни и лебединой песней Веры Ильиничны, к началу 30-х гг. уже не самого здорового человека. Состояние здоровья не позволило В.И. Глебовой дольше трех лет возглавлять Гиредмет. Но уже первые шаги ее детища показали его силу и возможности, если уже в 1935 году страна позволила сократить импорт соединений ванадия, развернуть работы по извлечению из сложного по химическому составу сырья ниобия и тантала.

Вторым директором Гиредмета, сменившим В.И. Глебову, стал Василий Александрович Норкин. Он возглавлял институт с 1935 по 1937 год. Очевидно, В.А. Норкин был способным организатором, если после Гиредмета его направили в другой институт заместителем директора по административно-хозяйственной работе. Гиредмет же в этот период обзавелся опытным заводом, на котором на первых порах осуществлялось усовершенствование методов получения металлического бериллия и его солей, разрабатывал способы обогащения руд, создавал технологическую схему вскрытия лопаритового концентрата газообразным хлором и т.д.

С 1937 по 1941 гг. Гиредметом руководил его третий директор Михаил Эммануилович Авраменко. Вероятно, и этот руководитель был скорее организатором, а не научным лидером. По некоторым «эксклюзивным» данным, работник Госконтроля. Институт же творческой деятельностью обеспечил прекращение с 1939 г. импорта висмута в страну, искал источники сырья и технологические способы извлечения индия и галлия как попутных компонентов цинкового и алюминиевого производств, опытно-



А.П. Зефирова



промышленные способы получения солей лития, рубидия и цезия и многое другое, в том числе добился уникальных результатов в работе над атомным проектом СССР по получению урана. В 1941 г. впервые присуждавшейся Государственной премией была отмечена работа Гиредмета по получению электролитной сурьмы. В этом же году вышел в свет первый сборник научных трудов Гиредмета.

В военные годы (1941–1944 гг.) руководство института было поручено Георгию Авраамовичу Ковде. На его долю выпала сложная задача частично эвакуировать Гиредмет (часть лабораторий была отправлена в Новосибирск и другие точки страны, часть осталась в Москве для работы прежде всего над урановой проблемой), а затем вновь собрать институт в Москве. Можно предположить, что из-за такого «рассеяния» Гиредмета в этот период фигурирует фамилия еще одного директора, Василия Алексеевича Горлова. Впрочем, причина – это лишь догадка. Гиредмет же обеспечивал нужды фронта легирующими металлами, светосоставами, многими стратегическими материалами. В 1943 г. Гиредмет возобновил свою деятельность в столице.

В 1944 г. к руководству Гиредметом пришел Алексей Петрович Зефиров, который был директором института до 1947 года.

Из БСЭ: Алексей Петрович Зефиров (род. 12(25).3.07 г., Гомель, советский специалист по химии и металлургии редких и благородных металлов, член-корреспондент АН СССР (1968 г.). Окончил Московский институт цветных металлов и золота (1932 г.). Занимался инженерной, научно-исследовательской и педагогической деятельностью. Профессор (1958 г.) Московского инженерно-физического института; заведовал кафедрой в Московском химико-технологическом институте им. Д.И. Менделеева. Награжден орденами и медалями. Период руководства Гиредмета А.П. Зефировым характеризуется началом постановки работ по приобретающим все большее значение для атомной энергетики, радиоэлектроники и других новых для народного хозяйства отраслей редким



металлам (в том числе ультравысокой чистоты), полупроводниковым материалам и композиционным сплавам.

С 1947 по 1957 гг. институт возглавлял Федор Григорьевич Корнеев. Стране, восстанавливающей разрушенное войной хозяйство, нужна была стабильность. А Гиредмет, как отмечают многие, это капля страны, в которой отражается все. Не следует пытаться перечислить хотя бы часть из того, что делал институт в это время, но необходимо упомянуть отмеченные Государственной премией СССР в 1950 г. работы по электролитическому получению легких редких металлов (в составе авторского коллектива и Ф.Г. Корнеев), в 1951 г. – разработку оригинальной технологии получения индивидуальных РЗЭ. В 1948 г. впервые в Советском Союзе, в цехе ОХМЗ был начат выпуск монокристаллического германия. Ф.Г. Корнеев был и в числе авторского коллектива, получившего в 1952 г. еще одну Государственную премию уже по германиевой тематике. Начались работы по полупроводниковому кремнию.



Ф.Г. Корнеев

Страна тем не менее открывала новую страницу своей истории. И, конечно, это вновь отразилось на Гиредмете. Метеором пронесся на его директорском небосклоне в 1957–1958 гг. Николай Дмитриевич Кужель, ставший затем директором ОХМЗ. В 1958 г. вошел в строй Пышминский опытный завод.

1958–1961 годы – крупнейшая веха в истории Гиредмета. Не складывается впечатления, что идея объединения научной организации с проектным институтом и ее реализация принадлежали лишь только что назначенному новому директору Гиредмета. Но где бы ни витала эта идея, воплотил ее и возглавил коллектив комплексного Государственного научно-исследовательского и проектного института редкометаллической промышленности Владимир Николаевич Костин, который руководил Гиредметом в течение 3 лет. С объединением научных сотрудников,

проектировщиков и конструкторов Гиредмет стал крупнейшим в мире институтом подобного профиля, заняв здание по адресу Б. Толмачевский переулок.

В 1961–1963 гг. институт возглавлял Серафим Михайлович Мельников. С.М. Мельников был в числе авторского коллектива Гиредмета, удостоенного в 1961 г. Ленинской премии за разработку производства титана и ее промышленное внедрение.

Отдавая должное руководителям Гиредмета, нельзя не вспомнить Николая Петровича Сажина.



Н.П. Сажин

Из БСЭ: Сажин Николай Петрович [2(14).3.1897, Екатеринбург, – 23.2.1969, Москва], советский металлург, академик АН СССР (1964 г., чл.-корр. 1953), Герой Социалистического Труда (1967 г.). В 1931 г. окончил МХТИ им. Д.И. Менделеева. С 1933 г. в институте «Гиредмет» (с 1941 г. — научный руководитель института). Профессор МХТИ (с 1949 г.). Председатель секции химии и технологии полупроводниковых материалов Совета по физике и химии полупроводников АН СССР (1964–1969 гг.).

Основные труды в области технологии редких металлов, чистых веществ и полупроводниковых материалов. Государственные премии (1946, 1952 гг.), Ленинская премия (1961 г.). Награжден двумя орденами Ленина и другими орденами, а также медалями.

После того, как в 1941 г. Н.П. Сажин стал научным руководителем Гиредмета, в институт директорами могли приходиться научные работники, администраторы, хозяйственники, но стиль Гиредмета был непоколебим. Научное руководство Н.П. Сажина обеспечивало курс, высочайшую результативность деятельности, особую атмосферу Гиредмета, характеризовавшуюся творческим поиском, товариществом, если угодно, человеческой теплотой.

На десятилетие (1963-1973 гг.) у руля института стал Борис Андреевич Сахаров.

Из БСЭ: Сахаров Борис Андреевич [15(28)3.14, Петербург, - 12.4.73, Москва], советский химик и металлург, член-корреспондент АН СССР (1970 г.). В 1934 – 1936 гг. работал в



Б.А. Сахаров

Гиредмете. По окончании (1944) МИТХТ им. М.В. Ломоносова служил в Советской Армии. С 1953 г. снова в Гиредмете (с 1963 г. - директор). Профессор МИТХТ (с 1963 г.). В 1966 – 1973 гг. вице-президент Международной комиссии по шахматной композиции ФИДЕ.

Основные труды по полупроводниковым материалам и металлам высокой чистоты. Награжден шестью орденами, а также медалями. В 1964 г. за работу в области полупроводников авторский коллектив Гиредмета, в составе которого был и Б.А. Сахаров, удостоен Ленинской премии. В 1972 г. разработка теории и методов анализа полупроводниковых материалов и реактивов высокой чистоты была удостоена Государственной премии.

По случаю 40-летия института Гиредмет был награжден орденом Октябрьской Революции – вторым после ордена Ленина государственным знаком отличия.

Долгое время директором Гиредмета (с 1973 по 1999 гг.) был Эллин Петрович Бочкарев, член-корреспондент АН СССР, лауреат Ленинской премии, кавалер орденов Октябрьской Революции, Трудового Красного

Знамени. В 1987 г. в государственном реестре открытий под номером 341 было зарегистрировано открытие сотрудниками Гиредмета явления образования суперпозиционных твердых растворов в полупроводниковых соединениях (в соответствующем дипломе фамилии авторов: М.Г. Мильвидского, В.Б. Освенского, В.В. Каратаева, А.П. Вевюрского, В.Т. Бублика – от МИСиС). На период руководства



Э.П. Бочкарев

институтом Э.П. Бочкарева пришлось и годы относительного благоденствия института, и трудные времена т.н. перестройки, и тяжелейшие – перехода на новые экономические условия. Несмотря ни на что, Гиредмет выжил.

Александр Вячеславович Елютин, 13-й директор института, с 1999 по 2006 гг. Следует привести некоторый его послужной список. Доктор технических наук, академик РАН, профессор. Около 400 научных трудов, в т.ч. монография, около 170 изобретений и патентов. Награды: ордена «Знак почета» (1974 г.), Трудового Красного Знамени (1981 г.), Дружбы народов (1986 г.), медали. Государственная премия, 1976 г.; премия Совета Министров СССР, 1986 г.; премия Правительства РФ, 1998 г.; Государственная премия РФ, 2002 год. Кредо А.В. Елютина – воспитание молодой смены.



А.В. Елютин

Многое для Гиредмета сделал Юрий Николаевич Пархоменко, возглавлявший наши институт с 2006 по 2013 гг. На время его руководства пришли тяжелейшие годы кризисных явлений в экономике страны, преодоление которых позволило институту занять достойное место в атомной отрасли. Под его руководством значительно расширены работы по нанотехнологиям и международному сотрудничеству, начал



Ю.Н. Пархоменко

функционировать Центр коллективного пользования (ЦКП) научным оборудованием, активизированы работы по выполнению заданий ФЦП. В настоящее время профессор, доктор физико-математических наук, лауреат премии Правительства Российской Федерации Ю.Н. Пархоменко осуществляет научное руководство институтом Гиредмет.

Булатов Марат Фатыхович работал в должности директора АО «Гиредмет» с 2013 по 2014 гг. Под руководством М.Ф. Булатова проведена



М.Ф. Булатов

подготовка к перемещению института на новую производственную площадку по адресу Электродная ул., д.2.

В 2015 году директором АО «Гиредмет» назначен Евгений Павлович Маянов. Под его руководством осуществлен масштабный проект – переезд Института на площадку НИИГрафит. Ведется техническое перевооружение научно-производственных подразделений.

Отремонтированные помещения ЦКП полностью соответствуют Новому облику научного предприятия Госкорпорации «Росатом». Своевременно завершены все работы в рамках выполнения проекта федеральной целевой программы. Осуществлялась оптимизация организационной структуры Института, направленная на объединение вспомогательных функций Гиредмет и НИИГрафит.



Е.П. Маянов

Особое внимание Е.П. Маянов уделял научно-исследовательским работам по новым продуктам и нанотехнологиям.

В 2020 году Андрей Иванович Голиней вступил в должность директора АО «Наука и инновации» - управляющей организации АО «НИИГрафит», АО «Гиредмет», АО «ВНИИХТ». Под его руководством сформировался единый химико-технологический кластер, в который включены АО «НИИГрафит», АО «Гиредмет», АО «ВНИИХТ».



А.И. Голиней

Основные направления научных исследований и роль Института в российском научном сообществе

Современное развитие АО «Гиредмет» направлено на построение качественно новой и соответствующей мировому уровню системы научных и прикладных исследований и разработок, а также инновационных производств, которые позволили бы обеспечить высокую конкурентоспособность услуг и продукции института, тем самым создав условия для непрерывного устойчивого развития. Одной из основ этой новой системы становится модульность и открытость к внутренней кооперации, когда каждый лабораторный или производственный участок института, сохраняя свою базовую специализацию, должен иметь возможность при необходимости встроиться в новый научно-исследовательский или технологический процесс. Такие процессы могут быть распространены и на дивизиональный и отраслевой уровни, когда подразделения АО «Гиредмет» активно участвуют в решении производственных и научных задач других предприятий и институтов Госкорпорации «Росатом». Наиболее представительным примером такой кооперации сегодня является тесное взаимодействие подразделений АО «Гиредмет», АО «ВНИИХТ» и АО «НИИГрафит» в рамках т.н. химико-технологического кластера.

В 2021 году в АО «Гиредмет» были приложены усилия по постановке и решению новых научных и научно-прикладных задач, в т.ч. в междисциплинарных и нацеленных на разработку и создание продуктов и

технологий с высокой добавленной стоимостью, а также имеющих экспортный потенциал. Так, помимо целого ряда перспективных продуктов и технологий, освоенных в рамках выполнения ряда задельных НИОКР и проектов ЕОТП, началось формирование группы новых для института научных направлений, связанных с разработкой материалов и технологий водородной энергетики, а также металл-ионных накопителей энергии. При этом важно отметить, что становление новых направления в немалой степени базируется на уже имеющемся научно-техническом заделе института в части технологий анодных и катодных материалов, высокодисперсных материалов, гидридов металлов и др. Среди экспортно ориентированных продуктов АО «Гиредмет» можно отметить особо чистые соединения РМ и РЗМ, индивидуальные РЗМ, материалы ИК оптики и фотоники, пластины антимонида индия, полупроводниковые материалы, сцинтилляционные кристаллы и др.

В целях усиления роли АО «Гиредмет» в развитии отечественной наукоемкой промышленности, инициирования новых, прорывных разработок, сохранения и дальнейшего развития творческого потенциала специалистов и научных школ, в долгосрочной стратегии развития АО «Гиредмет» определены и сформулированы следующие приоритетные направления.

1) Полупроводниковые материалы

- Технологии роста монокристаллов АПВV.
- Технологии роста монокристаллов АПВVI.
- Технологии получения особо чистого кристаллического германия детекторного качества.
- Технология выращивания широкозонных монокристаллов Ga_2O_3 для силовой электроники.
- Технологии получения фоточувствительных структур CdHgTe и матричных ИК фотоприемников на их основе.
- Технологии получения полированных пластин АПВV класса «epi-ready».



- Технологии термоэлектрических материалов и генераторных устройств на их основе.

2) Оптические материалы и материалы для фотоники

- Технологии получения монокристаллических сцинтилляторов на основе неорганических материалов с РМ и РЗМ.

- Технологии изготовления материалов и элементов ИК оптики и фотоники на основе галогенидов серебра и таллия.

- Технологии получения оптики ИК диапазона на основе кристаллов галогенидов таллия с градиентом показателя преломления.

- Технологии ИК градиентных линз.

3) Особо чистые РМ и РЗМ и их соединения

- Технологии получения соединений РМ и РЗМ высокой чистоты.

- Технологии сложных химических соединений для высокотемпературной сверхпроводимости.

- Технологии получения нанокристаллических оксидов РЗМ.

- Технологии дистилляции и ректификации Li.

- Разделение и аффинирование драгоценных металлов из их концентратов.

4) Гидрометаллургические технологии разделения и извлечения РМ, РЗМ и драгоценных металлов

- Технологии экстракционного разделения концентратов РЗМ.

- Технологии сорбционного извлечения РМ, РЗМ и драгоценных металлов.

5) Технологии получения редких и редкоземельных металлов, сплавов и порошков на их основе

- Технологии сферических порошков тугоплавких металлов.

- Технологии порошков на основе РМ и РЗМ.

- Технологии сплавов и лигатур на основе РМ и РЗМ.



- Технологии получения индивидуальных РМ и РЗМ высокой чистоты.

6) Материалы и технологии электрохимических преобразователей энергии

- Электрохимические генераторы электроэнергии и тепла на твердооксидных и протонно-керамических топливных элементах.
- Электрохимические генераторы высокочистого водорода.
- Твердооксидные и протонно-керамические электрохимические насосы и датчики.

7) Материалы и технологии электрохимических накопителей энергии

- Технологии изготовления электродных (катодных и анодных) материалов, электролита и аккумуляторов.
- Разработка и конструирование аккумуляторных и суперконденсаторных систем.
- «Пост-литий-ионные» технологии электрохимического хранения энергии.

8) Химическая аналитика, испытания и сертификация минерального сырья, металлов и материалов

- Анализ элементного и изотопного состава.
- Фазовый (структурный) анализ.
- Анализ химического состава ОСЧ (особочистых) веществ.
- Анализ гранулометрического состава дисперсных материалов.
- Минералого-петрографический анализ минерального сырья.
- Разработка и аттестация методики измерения и стандартных образцов химического состава.

9) Конструирование и проектирование

- Проектирование и создание мало- и среднемасштабных установок для производства металлических порошков, получения особо чистых

металлических РМ и их соединений, выращивания монокристаллов, опытных и промышленных установок переработки минерального сырья и др.

– Авторский надзор и модернизация установок, ранее разработанных в АО «Гиредмет».

Кроме того, АО «Гиредмет» продолжит выполнять и развивать свои функции как ведущего и координирующего центра в области разработки материалов электронной, атомной, авиационной, космической и оборонной промышленности.

Структура научного блока

В 2021 году структура блока по науке и инновациям АО «Гиредмет» включала четыре отделения и Испытательный аналитико-сертификационный центр (ИАСЦ).

В **Отделение редких и редкоземельных металлов** под руководством канд. техн. наук А.В. Гурских (на момент выпуска Отчета не работает в АО «Гиредмет») входит две лаборатории:

- лаборатория технологии получения редкоземельных металлов, порошков и сплавов (начальник лаборатории – канд. техн. наук А.М. Чапыгин);

- лаборатория технологии получения редких тугоплавких высокочистых металлов (начальник лаборатории – Д.А. Ишмаметов).

История Отделения уходит своим корнями в далекую эпоху создания редкоземельной отрасли в СССР.

За годы своего существования сотрудниками Отделения накоплен уникальный опыт в области получения редкоземельных металлов. Работники участвовали в проектировании более 20 горно-обогатительных и химико-металлургических комбинатов, под авторским надзором которых были налажены десятки отдельных производств на предприятиях цветной металлургии: Верхнеднепровский ГМК, Усть-Каменогорский ТМК, Запорожский ТМК, КГМК, ИГМЗ, Березняковский ТМК, ЗЧМ, СМЗ, ЛГОК,

ВРУ, БЗОРП и другие, которые превосходили по объемам производства и качеству продукции зарубежные аналоги.

В настоящее время основной упор в работе Отделения направлен на:

- исследование и разработки технологий получения порошков РЗМ, редких металлов;
- исследование и разработки технологий получения лигатур редких и цветных металлов;
- исследование и разработки технологий получения сплавов редких металлов;
- производство порошков РЗМ как методом водородного восстановления, так и методом водородного охрупчивания;
- производство лигатур на основе РЗМ.

Сотрудниками Отделения разработана технология получения натриетермического циркония, который имеет стратегическое значения для страны; освоено малотоннажное производство по выпуску новых видов металлургической продукции – многокомпонентных лигатур и металлов – легирующих добавок для создания супержаростойких сплавов с жаропрочностью при температурах не ниже 1500-1600 °С, ниобий-хром-ванадиевых лигатур для производства титановых сплавов нового поколения, интерметаллидов, в т.ч. порошков для производства постоянных магнитов повышенной единичной мощности; технология получения резонаторного ниобия чистотой 99,99 % и элементов резонаторов линейных ускорителей, работающих в режиме сверхпроводимости.

Отделение развивает существующие компетенции, а также активно осваивает новые технологии и виды продукции. В последнее время в мире активно развиваются аддитивные технологии. Сотрудниками Отделения разрабатываются методы получения сферических порошков РЗМ. Применение метода плазменной сфероидизации позволяет придать порошкам РЗМ неправильной формы – форму идеального шара, что позволяет расширить сферу применения РЗМ.



Также применение сферических порошков РЗМ открывает широкие возможности в области микроэлектроники, в частности это приводит к миниатюризации производимых изделий.

Еще одним перспективным направлением является создание высокоэнтропийных сплавов на основе РЗМ. Согласно литературным данным, применение этого вида сплавов позволит существенно расширить эксплуатационные свойства изделий за счет повышенной химической стойкости, механической прочности и т.д.

Помимо развития научно-технологических компетенций большое внимание уделяется сохранению преемственности. В Отделении ведется постоянная работа по передаче знаний от опытных сотрудников начинающим специалистам.

В Отделение особо чистых веществ и монокристаллов под руководством канд. техн. наук А.А. Быкова входят четыре лаборатории:

- лаборатория высокочистых галогенидных материалов для оптики (начальник – М.С. Кузнецов);
- лаборатория технологии получения веществ особой чистоты (начальник – канд. техн. наук О.В. Юрасова);
- лаборатория технологии разделения редкоземельных металлов и соединений (начальник – С.А. Василенко);
- лаборатория технологии получения рассеянных элементов (начальник – канд. техн. наук А.Н. Почтарев).

Специалистами Отделения выполняются как исследования, направленные на разработку комплексных технологий получения химических соединений (лабораторные исследования, математическое моделирование, разработка оборудования и выдача исходных данных для проектирования) с заданными свойствами, так и синтез особо чистых веществ в укрупненно-лабораторном масштабе.

В настоящее время основными направлениями исследований в Отделении являются:



- технология получения металлического скандия и его соединений;
- технология получения металлов иттриевой группы и их соединений;
- технология получения и переработки циркония, гафния и их соединений;
- технология получения галогенидов таллия и материалов на их основе для оптического материаловедения;
- технология выращивания кристаллов сцинтилляторов на основе соединений лютеция;
- технологии получения и переработки индия, галлия и их соединений для нужд высокотехнологичных областей экономики.

Отделение особо чистых веществ и монокристаллов можно считать самым молодым Отделением, в лабораториях которого работают сотрудники, возраст которых преимущественно до 35 лет.

Отделение полупроводниковых соединений включает в себя следующие лаборатории:

- лаборатория высокотемпературных полупроводниковых соединений АПВV (начальник – канд. техн. наук С.Н. Князев);
- лаборатория полупроводниковых соединений АПВVI (начальник – канд. техн. наук И.А. Денисов);
- лаборатория обработки полупроводниковых материалов (начальник – Д.А. Завражин);
- лаборатория низкотемпературных полупроводниковых соединений АПВV (начальник – Р.Ю. Козлов).

В настоящее время проходит конкурс на вакансию начальника Отделения полупроводниковых соединений.

На протяжении всей истории развития работ по полупроводникам Гиредмет имел самые тесные творческие контакты с ведущими академическими институтами страны (ЛФТИ им. А.Ф. Иоффе, ИМЕТ, ФИАН, ИФТТ, ИРЭ, ИКАН, ИФП СОАН, ИНХ СОАН, Курчатовский институт и др.),



а также с рядом ведущих высших учебных заведений (МИСиС, МГУ, МИТХТ, МХТИ, ЛПТИ, ЛЭТИ и др.). Далеко не формальные, теплые отношения связывали нас с коллективами предприятий полупроводниковой подотрасли (ПХМЗ, ЗЧМ, ЗТМК, КЗЦМ и др.), а также с нашими «Заказчиками» и «Потребителями» – институтами и предприятиями министерств электронной, оборонной, радио- и электротехнической промышленности. Все это в значительной степени способствовало успешному выполнению многочисленных и весьма ответственных Правительственных заданий.

За прошедшие годы сотрудниками института по полупроводниковой тематике защищены 23 докторские и более 100 кандидатских диссертаций, написано более 20 монографий, опубликовано более 1200 статей в ведущих отечественных и международных научно-технических периодических изданиях, сделано около 1500 докладов на представительных отечественных и международных конференциях и совещаниях, получено более 1100 авторских свидетельств и патентов. Многие наши ученые приобрели широкую мировую известность.

Накопленный коллективом научно-технический потенциал позволяет с оптимизмом оценивать перспективы дальнейшего развития в институте работ по созданию новых полупроводниковых материалов, в том числе материалов, обеспечивающих развитие в стране нанoeлектроники, микрофотоники, спинтроники, солнечной энергетики, сенсорной и других новейших областей техники. Необходимыми предпосылками для успешного решения этих новых, актуальных задач являются: освоение приобретенного современного технологического и диагностического оборудования, создание условий для притока и закрепления в институте талантливой творческой молодежи. Сегодня институту и всем сотрудникам необходимо сделать все возможное для того, чтобы бренд «Гиредмет» по-прежнему оставался олицетворением высокого научно-технического уровня, эффективности и надежности выполняемых разработок.



Развиваясь в ногу со временем, в АО «Гиредмет» в 2021 году было создано **Отделение материалов накопителей и преобразователей энергии**, начальником которого был назначен новый сотрудник – д-р хим. наук, доцент М.В. Ананьев.

Развитие новых технологий преобразования энергии с использованием водорода естественным образом встанет на базовые компетенции института: ведь функциональные материалы, используемые в твердооксидных и протонно-керамических устройствах, – это оксидные соединения, содержащие цирконий, церий, скандий, иттрий, празеодим, лантан и др. Глубокое понимание методов синтеза оксидных и композитных материалов, принципов работы твердооксидных и протонно-керамических электрохимических устройств и технологий их формирования заложат основу для создания новых высокоэффективных и стабильных функциональных материалов и электрохимических устройств на их основе: топливных элементов и электролизеров для водородной энергетики.

Отделение включает в себя три лаборатории:

- лаборатория технологий и материалов современной энергетики (начальник – канд. хим. наук В.В. Ключев);
- лаборатория твердооксидных электрохимических устройств (начальник – д-р хим. наук М.В. Ананьев);
- лаборатория термоэлектрических материалов (начальник – В.П. Панченко)

Усилия новой лаборатории термоэлектрических материалов будут направлены на разработку новых материалов и технологий для создания высокоэффективных функциональных материалов твердооксидных и протонно-керамических электрохимических устройств на основе фундаментальных взаимосвязей между кристаллической, электронной структурой, микроструктурой и электрохимическими свойствами функциональных материалов, а также понимания механизма процессов,

протекающих в рабочих условиях электрохимических ячеек, включая эксперименты в условиях длительных испытаний.

Работа лаборатории термоэлектрических материалов вместе с лабораториями, занимающимися материалами для накопителей энергии термоэлектрических преобразователей в составе Отделения позволит заложить основы для создания стационарных энергоустановок с высоким коэффициентом полезного действия (КПД), направленных на генерацию электроэнергии и тепла, вместе с аккумулированием излишек электроэнергии с помощью металл-ионных накопителей и аккумулированием тепла с помощью термоэлектрических преобразователей. Разработки твердооксидных электрохимических датчиков на водород, кислород и воду, а также алгоритмов систем обратной связи для управления энергоустановками заложат основы для цифровизации технологий и устройств для водородной и распределенной энергетики.

Испытательный аналитико-сертификационный центр в 2021 году отмечал свое 90-летие.

Днем рождения Испытательного аналитико-сертификационного центра АО «Гиредмет», а ранее аналитической службы, по праву можно считать 15 сентября 1931 года. В этот день в штат института Гиредмет был зачислен Юлий Абелевич Чернихов – основатель и бессменный руководитель аналитической службы в течении 30 лет.

Развитие аналитического контроля постоянно стимулируется потребностями промышленности. За последние полтора-два десятилетия гигантски выросли масштабы мирового производства, резко интенсифицировались технологические процессы, многократно расширилась номенклатура изготавливаемых материалов в различных областях промышленности, науки и техники. Одновременно значительно повысились требования к химическому анализу сырья, исходных материалов и готовой продукции. В последнее время резко повысились требования к оценке качества особо чистых материалов, применение которых существенно

выросло за последние годы в связи с развитием технологий в области электроники, оптики, лазерной техники, СВЧ техники, магнитных материалов, детекторных материалов и других. Возможности повышения качества соответствующей продукции и эффективности работы предприятий высокотехнологических отраслей в значительной степени определяются состоянием средств аналитического контроля, их действенностью, надежностью и экспрессностью.

Сфера деятельности Гиредмета очень широка – редкие и редкоземельные, рассеянные и драгоценные металлы, высокочистые вещества и полупроводники, вторичное и минеральное сырье и многое другое. Технологические процессы сложны и многообразны, состоят из стадий переработки исходного сырья, получения полупродуктов и сотен видов конечных продуктов. И на каждой стадии технологического процесса необходим аналитический контроль качества материалов.

Развитие аналитической химии редких, редкоземельных и драгоценных металлов неразрывно связано с выдающимися учеными, трудившимися в аналитической службе Гиредмета, такими как Ю.А. Чернихов, В.Г. Горюшина, Р.Ф. Трамм, Б.М. Добкина, В.В. Недлер, Л.Н. Филимонов, В.В. Налимов, Б.Я. Каплан, Н.А. Аракелян, Т.М. Малютина, Г.Г. Главин и, конечно же, человек, который смог сохранить заданный высокий уровень и поднять планку еще выше, Юрий Александрович Карпов.

С 1962 года под руководством Юрия Александровича разработан комплекс государственных стандартов на методы анализа продукции производства редких и благородных металлов; разработаны методы анализа вторичного сырья, содержащего редкие и драгоценные металлы. Он стоял у истоков Российской системы сертификации высокочистых веществ и материалов по химическому составу, провел колоссальную работу и совместно с Госстандартом и ассоциацией «Аналитика» разработал российскую систему аккредитации аналитических лабораторий. Аналитическая служба Гиредмета стала первой лабораторией,

аккредитованной в этой системе. В процессе аккредитации аналитическая служба Института получила название Испытательный аналитико-сертификационный центр, так и называется по сегодняшний день.

С 2019 года начальником ИАСЦ АО «Гиредмет» была назначена канд. хим. наук Кошель Е.С. Сегодня ИАСЦ состоит из 21 человека, 10 из которых имеют степень кандидата наук, 1 – доктора наук, а также, 2 аспиранта и 9 сотрудников моложе 35 лет.

Кадровый потенциал Института

В отчетном году в институте работало 3 доктора наук и 43 кандидата наук, в том числе совместители и лица, выполняющие работы по договорам гражданско-правового характера.

Одним из приоритетных направлений работы института является объединение процесса обучения с решением научно-исследовательских и производственных задач, возможность расширения спектра квалификационных знаний молодых специалистов, получение практических навыков профессиональной деятельности. Эти задачи решаются в активном взаимодействии с профильными кафедрами Московского института стали и сплавов, Московской государственной академии тонкой химической технологии им. М.В. Ломоносова, Российского химико – технологического университета им. Д.И. Менделеева.

АО «Гиредмет» проводит активную работу в области сотрудничества с институтами и вузами. Здесь можно отметить педагогическую деятельность наших сотрудников:

- д-р физ.-мат. наук Ю.Н. Пархоменко по совместительству осуществляет трудовую деятельность в НИТУ «МИСиС» в должности научного руководителя кафедры материаловедения полупроводников и диэлектриков.

- канд. техн. наук К.С. Крысанов по совместительству осуществляет трудовую деятельность в МГУТУ им К.Г. Разумовского в должности доцента кафедры противопожарной безопасности и низкотемпературных систем.



- канд. техн. наук А.В. Бабкин по совместительству осуществлял трудовую деятельность в ФГБОУ ВО «ТГТУ» в должности доцента кафедры техники и технологии производства нанопродуктов.

Кроме педагогической деятельности институт принимает на договорной основе студентов на практику, с дальнейшей возможностью их устройства на работу в лаборатории АО «Гиредмет». Наш институт сотрудничает в рамках проведения практики студентов с НИТУ «МИСиС», РТУ МИРЭА, Санкт-Петербургский горный университет (Горный институт). В 2021 году в лаборатории низкоуглеродных полупроводниковых соединений АПВVI, лаборатории высокотемпературных полупроводниковых соединений АПВV, лаборатории высокочистых галогенидных материалов для оптики, лаборатории технологии получения редких тугоплавких высокочистых металлов практику прошли 9 студентов. После окончания один из них был оформлен в институт в качестве стажера. В 2022 году планируется принять на практику 12 студентов. Информация об общем количестве стажеров и стажеров, принятых в 2021 году, представлена в таблице 2.

Таблица 2 Статистика приема стажеров по подразделениям

<i>Подразделение</i>	<i>Кол-во стажеров</i>	<i>Из них, принято в 2021 г</i>	<i>План 2022 г</i>
<i>Группа перспективных проектов</i>	2	2	-
<i>Лаборатория высокотемпературных полупроводниковых соединений АПВV</i>	3	-	-
<i>Лаборатория высокочистых галогенидных материалов для оптики</i>	1	1	1
<i>Лаборатория обработки полупроводниковых материалов</i>	2	1	-
<i>Лаборатория термоэлектрических материалов</i>	3	-	-

<i>Подразделение</i>	<i>Кол-во стажеров</i>	<i>Из них, принято в 2021 г</i>	<i>План 2022 г</i>
<i>Лаборатория технологии получения веществ особой чистоты</i>	1	1	1
<i>Лаборатория технологии получения редкоземельных металлов, порошков и сплавов</i>	1	1	1
<i>Лаборатория технологии разделения редкоземельных металлов и соединений</i>	5	5	-
<i>Лаборатория технологии получения редких тугоплавких высокочистых металлов</i>	-	-	2
<i>Лаборатория низкотемпературных полупроводниковых соединений АПВУ</i>	-	-	1

Большое внимание в институте уделяется сотрудникам, обучающимся в аспирантуре, и тем работникам, которые являются соискателями ученых степеней. В таблице 3 представлен список аспирантов, докторантов и соискателей, числившихся в институте в 2021 году. В их распоряжении находится вся инфраструктура лабораторий, позволяющая им проводить научные исследования и эксперименты необходимые для подготовки диссертационной работы.

Таблица 3 Список аспирантов, докторантов и соискателей АО «Гиредмет»

№ п/п	ФИО	Организация	Год окончания аспирантуры	Подразделение института
Аспиранты				
1.	Гришечкин Михаил Борисович	РХТУ им. Д.И. Менделеева	планируемая защита 2022	Научный сотрудник Лаборатории полупроводниковых соединений АПВУ
2.	Козлов Роман Юрьевич	НИТУ МИСиС 11.06.01 – Материаловедение и технология материалов электронной технике 11.06.01	2023 планируемая защита 2023	Начальник лаборатории низкотемпературных полупроводниковых соединений АПВУ

3.	Короткова Наталья Александровна	ИОНХ 04.06.01 – Химические науки	2023 планируемая защита 2024	Инженер-технолог 2-й категории АО «Гиредмет»
4.	Ишмаматов Дмитрий Амирович	МГТУ им. Н.Э. Баумана 22.06.01 Технологии материалов	2024 планируемая защита 2024	Начальник лаборатории технологии получения редких тугоплавких высокочистых металлов
5.	Межевая Лилия Юрьевна	НИТУ МИСиС 04.06.01 – Химические науки	2024 планируемая защита 2024	Ведущий инженер-технолог ИАСЦ
6.	Комаровский Никита Юрьевич	НИТУ МИСиС 22.06.01 – Технологии материалов	2025 -	Стажер-исследователь Лаборатория высокотемпературных полупроводниковых соединений АПВV
7.	Ющук Вячеслав Васильевич	НИТУ МИСиС 22.06.01 – Технологии материалов	2025 -	Стажер-исследователь Лаборатория высокотемпературных полупроводниковых соединений АПВV
8.	Кормилицина Светлана Сергеевна	НИТУ МИСиС 11.06.01 – Материаловедение и технология материалов электронной технике	2025 -	М.н.с. Лаборатория низкотемпературных полупроводниковых соединений АПВV
Докторанты				
9.	Ивановских Константин Васильевич	УрФУ 01.04.07 – Физика конденсированного состояния, организация Защита докторской	в плане на 2024	Заместитель директора по науке и инновациям
Соискатели				
10.	Самиева Динара Акжолтоевна	РХТУ им. Д.И. Менделеева	2024	Ведущий инженер-технолог. Лаборатория технологии получения веществ особой чистоты
11.	Силина Александра Андреевна	МИТХТ РТУ МИРЭА	2024	Научный сотрудник Лаборатория полупроводниковых соединений АПВVI

Институт активно проводит работы по интеграции научного и образовательного потенциала научных организаций и высших учебных заведений, созданию исследовательской и учебной базы, учебных специализированных программ, созданию условий для подготовки и переподготовки высококвалифицированных научных и научно-педагогических кадров, активизации участия в исследованиях молодых ученых, аспирантов и студентов, совместному осуществлению инновационной деятельности в научной и образовательной сферах.



РЕЗУЛЬТАТЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО ОСНОВНЫМ НАПРАВЛЕНИЯМ

Лаборатория технологии получения редких тугоплавких высокочистых металлов – Отделение редких и редкоземельных металлов

Начальник лаборатории – Д.А. Ишмаматов

Основные направления деятельности лаборатории связаны с разработкой технологий получения высокочистых тугоплавких металлов, используемых в различных отраслях отечественной промышленности, в том числе микроэлектроники, авиации и машиностроения.

В этой связи в состав лаборатории входят следующие участки:

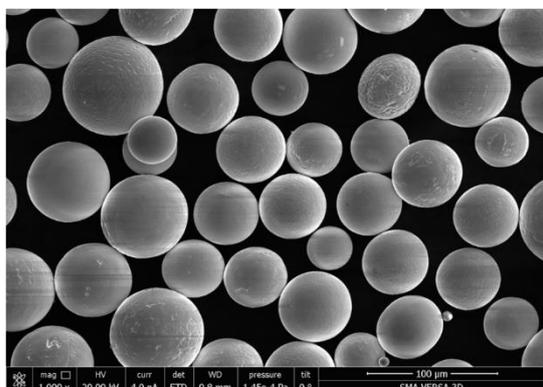
- плавильный;
- водородного восстановления тугоплавких металлов;
- алюминотермического восстановления оксидов тугоплавких металлов;
- получения мелкодисперсных порошков тугоплавких металлов, в том числе титансодержащих порошков для аддитивных технологий;
- подготовки материалов для проведения процессов выплавки специальных сплавов.

На каждом участке работают высококвалифицированные специалисты, инженеры, техники и лаборанты.

Лаборатория прошла техническое перевооружение в рамках Федеральной целевой программы (ФЦП) «Стратегические материалы», что позволило оснастить ее самым современным и высокотехнологическим оборудованием. В частности, в парк оборудования лаборатории вошла новейшая универсальная вакуумная установка, предназначенная для исследования и производства применяемых в аддитивных технологиях ультрадисперсных металлических порошков (в том числе на основе титана).

Универсальность установки отвечает наладке выпуска такого вида наукоемкой продукции, как полигональные ультрадисперсные порошки. В частности, речь идет об обработке технологией сфероидизации порошков

титана и сплавов на его основе (BT6, BT14 и BT20), получаемых в низкотемпературной плазме после процесса гидрирования-дегидрирования металла (рисунок 2).



а



б

Рисунок 2. Сферический порошок титана: *а* – электронная микроскопия порошка, *б* – экспериментальные образцы титанового порошка

Также прогнозируется, что с вводом печи в эксплуатацию заметно возрастут объемы сплавов магнетронного распыления. Эти и другие виды металлических порошков с нетерпением и интересом ждут на многих адресах предприятий страны, занятых производством высокочувствительных преобразовательных элементов, измерителей малых и больших токов, магнетометров, многофункциональных диагностических устройств и т.д.

В лаборатории размещено и эффективно работает следующее технологическое оборудование:

- Электродуговая печь с нерасходуемым электродом.
- Аргоновой классификатор металлических порошков.
- Горизонтальные трубчатые печи сопротивления.
- Печь типа СШВЛ.
- Установка гидрирования/дегидрирования металлических порошков с замкнутым циклом водорода.
- Аргоновый бокс с регенерируемой атмосферой.
- Установка дистилляции скандия.
- Печь вакуумная индукционная.
- Прокатные станы ДУО и КВАТРО.

- Мелящее оборудование для измельчения металлических порошков.

- Просеивающее оборудование для металлических порошков.

Производственное использование установленного в лаборатории оборудования позволяет получать металлические порошки различных металлов и сплавов, качество которых полностью соответствует требованиям зарубежных аналогов.

Лаборатория располагает следующими уникальными установками:

- Установка получения титанового прутка методом иодидного осаждения титана на молибденовую проволоку, позволяющая получать титановые прутки, из которых изготавливаются геттеры для геттерно-ионных насосов для дальнейшего их использования в космосе. Данная установка создана по архивной документации АО «Гиредмет» 1970-х годов с доработками и является единственной в России, позволяющая получать подобные прутки (именно титан, осажденный на молибден). На сегодняшний день ведутся работы совместно с АО «НПО «Алмаз».

- Установка плазмохимической сфероидизации металлических порошков. Данная установка разработана и создана в ИМЕТ РАН по заказу АО «Гиредмет» в 2013-2017 гг. Позволяет изменять морфологию частиц, сохраняя исходные химический и гранулометрический составы. На данной установке впервые в России показана возможность изготовления сферического порошка титана и титановых сплавов методом плазмохимической сфероидизации. На установке возможно реализовать технологии получения порошка, соответствующего высоким авиационным требованиям.

- Установка обработки металлических порошков парами активных металлов. Данная установка разработана в АО «Гиредмет» и создана в 2020 году силами подрядной организации. На данной установке показана принципиальная возможность раскисления порошка тантала. После обработки

магнием количество кислорода в порошке уменьшилось практически вдвое. Стоит отметить, что аналогичные установки в России отсутствуют.

В 2021 году сотрудниками лаборатории завершена исследовательская часть по инвестиционному мероприятию «Тантал». Цель работы – разработать порошок конденсаторного класса. Разработана технология производства порошка тантала конденсаторного класса. Образцы были опробованы на крупнейшем в РФ изготовителе танталовых конденсаторов АО «Элеконд». Порошки, созданные в АО «Гиредмет», соответствуют по качеству и могут быть использованы для изготовления конденсаторов. Научная новизна состоит в сферической форме порошка, которая позволяет снизить токи утечки и тангенс угла потерь конденсаторов. На данный момент ведутся работы по улучшению качества продукции и созданию более высокозарядного порошка.

В отчетный период лабораторией разработана технология получения скандия металлического методом вакуумной дистилляции чистотой не менее 99.99 % масс. по сумме всех примесей, включая газовые.

Успешная работа лаборатории в большой мере обеспечивается ее научным, техническим и технологическим персоналом (рисунок 3).

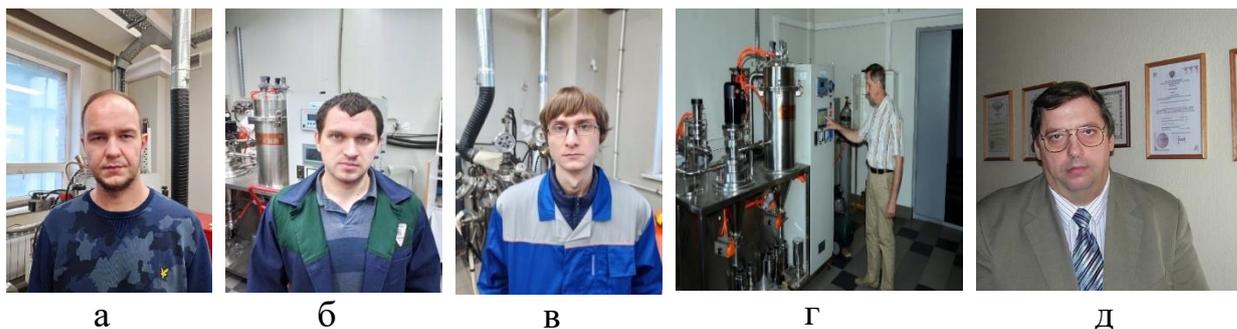


Рисунок 3. Коллектив лаборатории:

а – Дмитрий Амирович Ишмаметов, начальник лаборатории; *б* – Александр Викторович Жиров, инженер-технолог 3 кат.; *в* – Иван Анатольевич Чашка, стажер-исследователь; *г* – Владимир Иванович Котляров, канд. техн. наук, научный сотрудник; *д* – Александр Никитич Задиранов, д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник

В работе молодой и перспективной смене лаборатории помогают более опытные старшие товарищи, отдавшие профессии десятки лет своей жизни.

Это бывший заведующий лабораторией, канд. техн. наук. Владимир Иванович Котляров (рисунок 3г), ведущий научный сотрудник лаборатории, д-р техн. наук, профессор Александр Никитич Задиранов (рисунок 3д) и др.

Лаборатория технологии получения редкоземельных металлов, порошков и сплавов – Отделение особо чистых веществ и монокристаллов

Начальник лаборатории – А.М. Чапыгин

Отделение по разработке технологий получения лигатур и порошков тугоплавких металлов и сплавов было создано в институте «Гиредмет» более 60 лет назад. Одними из основателей этого направления являлись д-р техн. наук Патрикеев Юрий Борисович и канд. техн. наук Воробьева Наталия Сергеевна. До 2015 года на основании исследований и разработок возглавляемым ими коллективом с участием сотрудников З.Х. Ялалатдиновой В.В. Бадовским, Ю.М. Филянд, О.А. Бахтилиной, Н.К. Челнобоковой были созданы технологические схемы получения порошков тугоплавких металлов и получение лигатур с использованием РЗМ, а также геттеров на их основе.

В настоящее время лаборатория осуществляет выполнение работ связанных с получением лигатур и сплавов на основе РМ и РЗМ, получением порошков определенного гранулометрического состава различных металлов, а также выполнением НИОКР по получению порошков тугоплавких сплавов.

В рамках лаборатории проводятся работы по совершенствованию технологий получения порошков металлов, разработанных еще в 70-е годы, такие как порошки тугоплавких металлов и циркония.

На базе последних достижений в области металлургии индивидуальных РЗМ, порошков и сплавов разработаны исходные требования по техническому перевооружению и на проектирование участков малотоннажных производств большой группы редкометаллической продукции. В перечень продукции входят все индивидуальные лантаноиды, иттрий, скандий различной квалификации, в том числе особо чистые, сплавы РЗМ, иттрия и скандия с другими металлами, лигатуры с участием

редкоземельных металлов, металлический рений и рений-содержащие лигатуры, порошки редкоземельных металлов.

Основными областями применения порошков редких металлов являются: легированные и конструкционные стали (35%) нержавеющей стали (25%); коррозионностойкие сплавы, материалы для химической промышленности (14%); инструментальные быстрорежущие стали (9%); чугун (6%); спецсплавы (6%); пигменты, смазочные средства (5%).

Объемы производства в зависимости от конкретных требований к продукции колеблются от нескольких десятков килограмм до нескольких тонн в год.

Лаборатория получила в свое распоряжение полный комплект оборудования, начиная от подготовки и вскрытия первичного сырья до получения компактных металлов.

Имеющееся в наличии технологическое оборудование позволяет реализовать все существующие металлургические способы производства редкоземельных металлов (фторидную, оксидную и хлоридные технологические схемы).

Коллектив лаборатории выполняет заказы на производство никель-рутениевой лигатуры для производства супержаропрочных сплавов, а также заказы на никель-гафниевые лигатуры.

Существенным событием в производственной биографии коллектива является создание участка по малотоннажному производству порошка тантала по заказу ФГУП Комбинат «ЭХП». Коллектив лаборатории имеет компетенции в области получения порошков тугоплавких металлов, в частности, ранее была разработана технология производства порошков ниобия конденсаторной квалификации. На базе этих знаний и с учетом накопившегося опыта коллектив лаборатории разработал исходные данные для проектирования и реализовал проект по созданию участка производства порошков металлов.



Участок оснащен современным технологическим оборудованием собственной конструкторской разработки.

Разработка защищена патентом РФ № 2582414, 17.10.2014, 27.04.2016, «Способ получения порошков тантала» и подана заявка 2016111705 29.03.2016 «Способ получения порошков ниобия». По данным технологиям имеется ряд Ноу-Хау.

В рамках инвестиционного проекта «Цирконий» в лаборатории разработана технология и создан опытный участок по получению порошка циркония натриетермического отвечающим требованиям ТУ-48-4-376-76.

Порошки циркония, обладающие низкой температурой вспышки и высокой скоростью горения, используются в качестве воспламенителя в смесях для капсулей – детонаторов. Также порошок циркония входит в состав пиротехнических смесей, применяемых для изготовления дистанционных трубок, трассеров и др. Области применения циркониевого порошка определяют технические требования к этому материалу. Во-первых, это определенная дисперсность порошка, которая обеспечивает соответствующие скорости горения пиросоставов. Специфика технических требований к циркониевому порошку и его свойствам, а также требуемые объемы потребления привели к тому, что изготовление таких порошков было выделено в отдельное производство.

В перспективе работ лаборатории предусматривается разработка новых видов лигатур с использованием различных материалов РЗМ, освоение и изучение процессов металлотермии хлоридных и фторидных соединений РЗМ, совершенствование технологий получения порошков тугоплавких металлов, заданного гранулометрического состава, а также разработка технологии получения сплавов-накопителей водорода на основе интерметаллических соединений РЗМ с переходными металлами для создания нового вида продукции для экологически чистых источников тока.



**Лаборатория высокочистых галогенидных материалов для оптики
- Отделение особо чистых веществ и монокристаллов**

Начальник лаборатории – М.С. Кузнецов

Лаборатория оснащена уникальным оборудованием - ультрапрецизионный токарный экспериментальный станок модели УТМ-100 (рисунок 4).

Ультрапрецизионный токарный экспериментальный станок модели УТМ-100 (далее станок УТМ-100) является ключевым элементом при подготовке экструзионных заготовок требуемого качества для получения оптического волокна инфракрасного диапазона на основе галогенидов серебра и таллия.

Станок УТМ-100 был специально спроектирован и изготовлен под задачи АО «Гиредмет» на предприятии ООО «НПП Станкостроительный завод «Туламаш». Станок предназначен для производительной комплексной обработки в режиме квазипластичного резания цилиндрических заготовок из кристаллов галогенидов таллия и галогенидов серебра типа тел вращения: плоскость, цилиндр (наружный и внутренний) (рисунок 5). Класс точности станка - А по ГОСТ 18097-93. Основные характеристики оборудования приведены в таблице 4.

Таблица 4 Основные данные и характеристики станка УТМ-100

ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ

<i>Максимальный диаметр обрабатываемой заготовки, мм</i>	Не менее 100
<i>Максимальная длина обрабатываемой заготовки, мм</i>	Не менее 100
<i>Параметры обработанной поверхности заготовки:</i>	
<i>Шероховатость обрабатываемой цилиндрической поверхности Ra, мкм</i>	Не более 0,01
<i>Точность формы обрабатываемой поверхности:</i>	
<i>Нецилиндричность, мкм</i>	0,2
<i>Некруглость, мкм</i>	0,1
<i>Непрямолинейность, мкм</i>	1
<i>Основные оси станда</i>	S, Z, X



Шпиндельный узел, ось S:

<i>Диапазон рабочих частот, об/мин</i>	100...3000
<i>Крутящий момент, Нм</i>	Не более 0,5
<i>Мощность, кВт</i>	11

Суппорт продольного перемещения, ось Z:

<i>Перемещение по оси Z, мм</i>	Не менее 160
<i>Разрешение датчика обратной связи, мкм</i>	0,01
<i>Скорость рабочих перемещений с бесступенчатым регулированием, м/мин</i>	0...1
<i>Скорость быстрых перемещений, м/мин</i>	Не менее 10

Суппорт поперечного перемещения, ось X:

<i>Перемещение по оси X, мм</i>	Не менее 60
<i>Разрешение датчика обратной связи, мкм</i>	0,1

Другие данные

<i>Давление подводимого воздуха, бар</i>	не более 8
<i>Степень фильтрации подводимого воздуха, мкм</i>	не менее 0,1
<i>Давление подводимого вакуума, бар</i>	не более 5
<i>Максимальная мощность шкафа электроприводов и автоматики</i>	16,5 кВт
<i>Габариты станка без агрегатов, ДхШхВ</i>	1250x750x1500
<i>Масса станка без агрегатов</i>	2543 кг

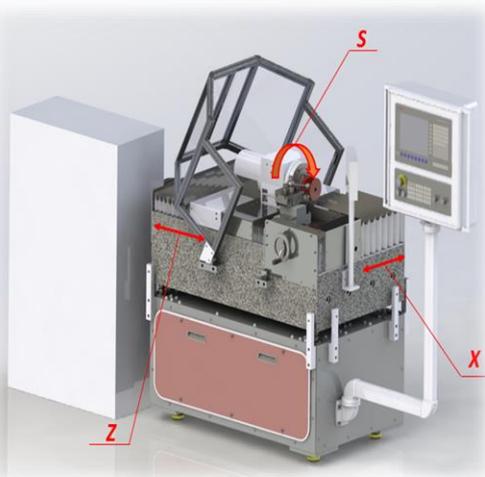


Рисунок 4. Схематическое изображение конструкции с обозначением осей и фото станка УТМ-100

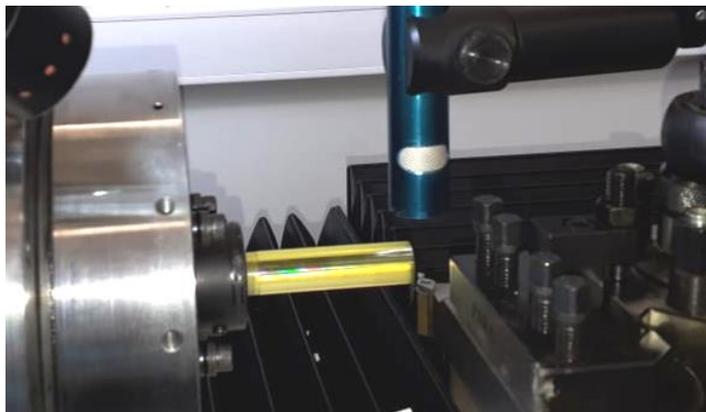


Рисунок 5. Оптическая заготовка после токарной обработки на станке УТМ-100

Сотрудниками лаборатории в 2021 году были проведены НИОКР на тему «Разработка технологии и выпуск опытной партии оптического волокна ИК-диапазона из галогенидов серебра и таллия».

Волоконные зонды, работающие в ближней и средней инфракрасной области спектра, важны и необходимы в нефтепереработке и нефтехимии для контроля процессов внутри реактора в режиме реального времени, фармацевтического и органического синтеза, космических исследований, атомной энергетики, экологического мониторинга, а также ИК диагностики и лечения.

В данный момент используют кварцевые длинные световоды, однако получаемый сигнал мало информативен, что обусловлено ограничением диапазона пропускания кварца (только видимая область и ближний ИК-диапазон). Производимые аналоги для средней ИК-области не превышают 2,5 метра в длину ввиду оптических потерь, что недостаточно для крупных производств. Для решения существующей проблемы необходимы волокна, работающие в ближней и средней ИК-области спектра, длиной по крайней мере 10 метров.

Применение в таких волокнах в качестве основного светопроводящего материала твердых растворов галогенидов серебра и одновалентного таллия позволяет получать рабочий диапазон зонда 0,6-30 мкм. В случае появления на рынке оптического волокна ИК диапазона из галогенидов серебра и таллия длиной порядка 10 метров, ожидается высокий спрос со стороны

производителей измерительного оборудования для нужд нефтехимической, фармацевтической, химической отрасли, а также других направлений органического синтеза.

Таким образом, основаниями проведения НИОКР являлись:

- актуальность и востребованность;
- возможность своевременно занять свободную «нишу» на рынке;
- характеристики продукта лучше, чем у конкурентов.

НИОКР соответствует приоритетам деятельности Госкорпорации «Росатом» в сфере создания новых материалов и технологий.

Цель НИОКР – разработка технологии и выпуск экспериментальных образцов оптических волокон ИК-диапазона из галогенидов серебра и таллия с последующим оформлением интеллектуальной собственности на технологию.

При проведении НИОКР проведены патентные исследования по технологии получения оптического волокна ИК диапазона, создана лабораторная линия получения оптоволокна, наработаны партии высокочистых солей галогенидов серебра и таллия, а также партии монокристаллов галогенидов серебра и таллия высокого структурного совершенства, оптимизирована технология получения оболочечных поликристаллических волокон для различных областей инфракрасной техники и специальной волоконной оптики.

По результатам проведенных исследований подготовлены материалы для представления на Всероссийской конференции по волоконной оптике ВКВО-2021, также поданы 2 статьи в рецензируемый научно-технический журнал «Фотон-экспресс».

Оформлен РИД (результат интеллектуальной деятельности) – заявка на патент «Способ получения оболочечного поликристаллического волоконного световода инфракрасного диапазона».

По итогам выполнения НИОКР достигнут уровень готовности технологии TRL 4: лабораторные (экспериментальные) образцы изготовлены

на лабораторном оборудовании, проведены испытания базовых функций, разработана стратегия защиты интеллектуальной собственности.

По результатам оценки качества полученных образцов установлено, что полученное оптоволокно соответствует требованиям по характеристикам, а также является перспективным для получения зондов ИК-диапазона для рынков медицинского, промышленного и специального применений.

Работы проводились с привлечением специалистов Научного центра волоконной оптики им. Е.М. Дианова РАН – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт общей физики имени А.М. Прохорова Российской академии наук».

***Лаборатория технологии получения веществ особой чистоты –
Отделение особо чистых веществ и монокристаллов***

Начальник лаборатории – канд. техн. наук О.В. Юрасова

В 2021 году лабораторией успешно завершены работы в рамках ЕОТП по теме: «Разработка технологии получения монокристаллических сцинтилляторов на основе редкоземельных металлов и детекторных модулей для позитронно-эмиссионного томографа с время пролетной технологией» в рамках ЕОТП В результате работ был создан участок подготовки шихты, участок выращивания кристаллов и участок обработки кристаллов. Необходимое оборудование и устройства участков представлено на рисунке 6.



а



б



а



z

Рисунок 6. Оборудование лаборатории технологии получения веществ особой чистоты, необходимое для выращивания кристаллов: *а* – устройство для гомогенизации шихты; *б* – оборудование для выращивания кристаллов; *в* – станок для резки кристаллов; *z* – станок для шлифовки и полировки кристаллических элементов

На вышеописанном оборудовании выращен крупный кристалл оксиортосиликата лютеция диаметром 75 мм и весом ~5 кг. Из данного кристалла изготовлены кристаллические элементы-пиксели размером 3×3×20 мм в количестве 550 шт. и 2 шт. размером 2020×20 мм. и переданы заказчику для изготовления модели детектора позитронно-эмиссионного томографа (ПЭТ) (рисунок 7).



а



б

Рисунок 7. Самый большой кристалл оксиортосиликата лютеция, выращенный в лаборатории АО «Гиредмет»: *а* – кристалл оксиортосиликата лютеция диаметром 75 мм и весом ~5 кг; *б* – кристаллические элементы, полученные из него

Кристаллические элементы обладали следующими характеристиками:

- световой выход находится интервале от 32400 до 33900 фотонов/МэВ,
- время высвечивания сцинтилляций кристаллов 36 нс;
- плотность материала составила для верхней части кристалла: 7,345

- 7,358 г/см³.

В лаборатории имеется экстракционный каскад, состоящий из экстракторов центробежного типа модели ЭЦ-10ФА, изготовленных ГК «Скайград» (рисунок 8).



Рисунок 8. Экстракционный каскад, состоящий из экстракторов центробежного типа модели ЭЦ-10ФА

Экстракционный каскад состоит из 20 экстракторов.

Основные параметры и размеры лабораторного экстрактора приведены в таблице 5.

Таблица 5 Параметры лабораторного экстрактора центробежного типа модели ЭЦ-10ФА

Производительность, л/ч	до 10
Отношение расходов исх. Растворов	любое
Рабочий объем камеры смешения, мл	22
Рабочий объем камеры разделения, мл	32
Радиус камеры разделения, мм	17
Радиус перелива тяжелой фазы, мм	9
Радиус перелива легкой фазы, мм	регулируемый
Привод – асинхронный трехфазный электродвигатель ДАТ75-40-3,0-УЗ, об/мин	2750
– установочная мощность, Вт	40
– трехфазное напряжение электродвигателя, В	380
– частота эл. сети, Гц	50

– частота вращения ротора номинальная, об/мин	2620
Габаритные размеры (Д×Ш×В), мм	180×120×240
Масса аппарата, кг	3,5
Конструкционный материал корпуса	фторопласт Ф4 (ГОСТ 10007-80)

С его помощью успешно была реализована разработанная АО «Гиредмет» технология получения диоксид церия (CeO_2) чистотой выше 99,5%. Также, этот экстракционный каскад может быть использован для выделения и разделения РЗМ с применением экстрагентов различных классов за счет варьирования числа ступеней. В частности, планируется его применение для извлечения и очистки оксида скандия в рамках работы «Анализ способов и технологических решений глубокой очистки соединений скандия и производства лигатур на его основе».

Сегодня деятельность лаборатории направлена на разработку и внедрение технологий получения соединений (оксидов, солей и др.), содержащих редкие/редкоземельные, цветные и драгоценные металлы, а также получение опытных партий веществ по разработанным решениям. В качестве сырья исследуются минеральные и техногенные источники, концентраты и отходы производств. Исследователи сохранили преемственность поколений – опыт и знания передаются молодым специалистам (рисунок 9). Средний возраст сотрудников составляет менее 45 лет.



Рисунок 9. Сотрудники лаборатории технологии получения веществ особой чистоты – Отделение особо чистых веществ и монокристаллов

Лаборатория технологии разделения редкоземельных металлов и соединений – Отделение особо чистых веществ и монокристаллов

Начальник лаборатории – С.А. Василенко

Лаборатория была создана в 2014 году в ходе очередной трансформации структуры АО «Гиредмет на базе других лабораторий института. Руководителем лаборатории был А.В. Штырев (2014-2015 гг.), затем ее возглавлял В.В. Апанасенко (2015-2020 гг.). В настоящее время начальником лаборатории является С.А. Василенко.

Основным направлением деятельности лаборатории является химия и технология РЗМ. В последние годы в России РЗМ уделяется большое внимание, учитывая их активную вовлеченность в сферу высокотехнологичных производств, в том числе, для выпуска изделий военно-технического назначения.

Оборудование и установки Лаборатории технологии разделения редкоземельных металлов и соединений:

- установка дистилляции скандия металлического;
- установка хлорирования оксида гафния;
- установка хлорирования оксида циркония в кипящем слое.

Установка дистилляции скандия металлического

Изготовленная по договору № 62/4687-Д печь для дистилляции РЗМ включает в себя вакуумную систему, состоящую из вакуумного пластинчато-роторного насоса 2НВР-60Д и диффузионного паромасляного насоса АВДМ-250 с шиберным затвором, вакуумную печь с графитовым тепловым узлом, вольфрамовым тиглем внутренним диаметром 100 мм, высотой 120 мм и сменными водоохлаждаемыми конденсаторами из нержавеющей стали. Внешний вид установки представлен на рисунке 10.





Рисунок 10. Печь дистиляции РЗМ

Печь для дистиляции РЗМ изготовлена со значительными конструктивными улучшениями. Современные технические решения позволили решить несколько технологических проблем, в частности, терморегуляторы «Термодат» позволяют программно задавать уровень и скорость нагрева, что приводит к более равномерному нагреванию теплового узла.

Рабочая температура в печи допустима до 2000°C, а вакуум в печи достигает 10^{-6} мм.рт.ст.

Тепловой узел, изготовленный из графита, имеет большее рабочее пространство и позволяет загружать в него более крупный тигель, конденсаторы также имеют увеличенные размеры. Увеличение геометрии основных узлов позволило повысить загрузку материала в тигель и, как следствие, получить большее количество дистиллированного материала. Максимальная загрузка в новой печи составила 600 г, против 350 г в ранее использованной. Повышение глубины вакуума позволило снизить температуру процесса и уменьшить остаточное содержание газовых примесей в продукте за один процесс дистиляции до требуемых значений. Масса полученного продукта за процесс возросла до 500 г на новой печи, против 280 ранее.

Установка хлорирования оксида гафния

На основе экспериментальных данных, накопленного опыта работы по хлорированию веществ, а также опираясь на литературные данные и отчетные материалы по работам на тему «Создание лабораторной установки хлорирования в псевдокипящем слое. Исследование процесса хлорирования диоксида циркония в псевдокипящем слое. Разработка исходных данных для создания опытно – промышленной установки хлорирования в псевдокипящем слое производительностью 10 кг/ч по $ZrCl_4$ », была сконструирована установка, изображенная на рисунке 11. Она включает кварцевый реактор новой конструкции, который позволяет разделять фракции в процессе хлорирования, тем самым увеличивая чистоту готового продукта. В зависимости от температур кипения хлоридов контролируемых на выходе примесей они будут либо оседать на разных частях реактора, либо оставаться в кубовой части, либо улетать в нейтрализацию с потоками выходных газов, не попадая в приемник готового продукта.

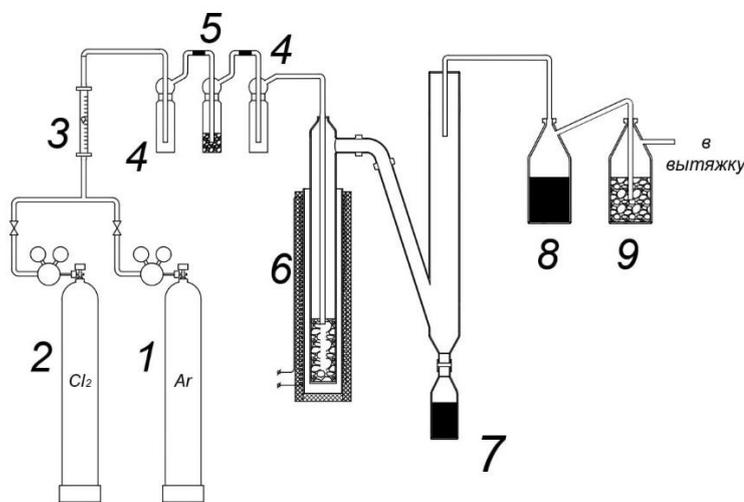


Рисунок 11. Установка хлорирования оксида гафния в реакторе N-типа:
 1 – баллон с аргоном; 2 – баллон с хлором; 3 – ротаметр; 4 – предохранительные емкости; 5 – емкость с осушителем газов; 6 – печь сопротивления трубчатого типа; 7 – банка-приемник; 8 – предохранительная емкость; 9 – емкость с нейтрализующим раствором

Установка хлорирования оксида циркония в кипящем слое

Для изучения (демонстрации) процесса хлорирования гранул на основе диоксида циркония в режиме псевдооживленного слоя была разработана и изготовлена лабораторная модель установки непрерывного действия с вертикальным кварцевым реактором, способная работать в непрерывном режиме. Схема лабораторной модели установки приведена на рисунке 12.

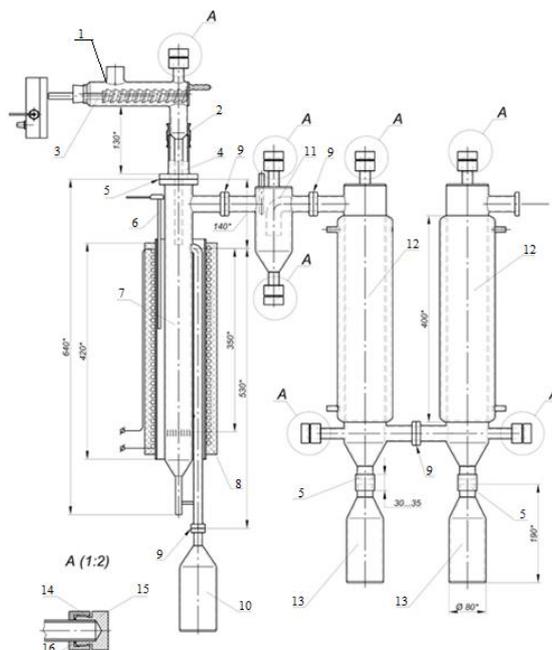


Рисунок 12. Лабораторная модель установки непрерывного действия с вертикальным кварцевым реактором для изучения процесса хлорирования гранул на основе диоксида циркония в режиме псевдооживленного слоя

В состав лабораторной модели установки входят следующие компоненты: 1 – дозатор гранул; 2 – фторопластовый герметизирующий переходник; 3 – шнек дозатора гранул; 4 – крышка хлоратора; 5 – торцевой шлиф хлоратора; 6 – термопара; 7 – хлоратор; 8 – печь сопротивления; 9 – торцевой шлиф патрубка; 10 – приемник огарка; 11 – циклон; 12 – конденсатор; 13 – приемная емкость материала; 14 – корпус заглушки; 15 – гайка накидная; 16 – кольцо уплотнительное.

Обогрев реактора и циклона обеспечивается при помощи электрической печи сопротивления. Регулирование и измерение температуры в реакторе и циклоне проводится с помощью термопары и одноканального

микропроцессорного программируемого измерителя – регулятора температуры ТРМ 101.

Подача в хлоратор хлора и аргона осуществляется при помощи трехходового крана. Газы поступают из баллонов, а их расход регулируется с помощью ротаметров.

Из хлоратора продукты хлорирования поступают в циклон, в котором происходит осаждение мелких частиц материала ($\leq 0,05$ мм), которые могут уноситься из аппарата.

Выполнение НИОКР на тему «Разработка технологии производства особо чистого скандия». Целью работы явилась разработка технологии производства особо чистого скандия, а также создание на основе этой разработки участка маломасштабного производства.

На основе выполненного анализа литературных источников сделан выбор основной технологической цепочки процесса получения особо чистого скандия, включающий хлорирование оксида скандия тетрахлоридом углерода с получением трихлорида скандия, последующее металлотермическое восстановление хлорида скандия металлическим литием с образованием в результате кристаллического металлического скандия и, наконец, вакуумная дистилляционная очистка полученного металла до требуемой степени чистоты.

Разработаны технические условия на особо чистый скандий, закуплено необходимое оборудование, исходное сырье и материалы для проведения технологических процессов. На основании проведенных исследований и выполненных мероприятий разработаны соответствующие поставленной цели технологические решения получения особо чистого скандия.

Создан участок маломасштабного производства скандия, выполнены его монтаж и отладка. На созданном участке скандиевого производства осуществлена наработка образцов особо чистого металлического скандия чистотой 99,993-99,994 % (по сумме лимитирующих металлических примесей), с содержанием кислорода не более 200 ppm, что полностью

удовлетворяет поставленной задаче (рисунок 13).

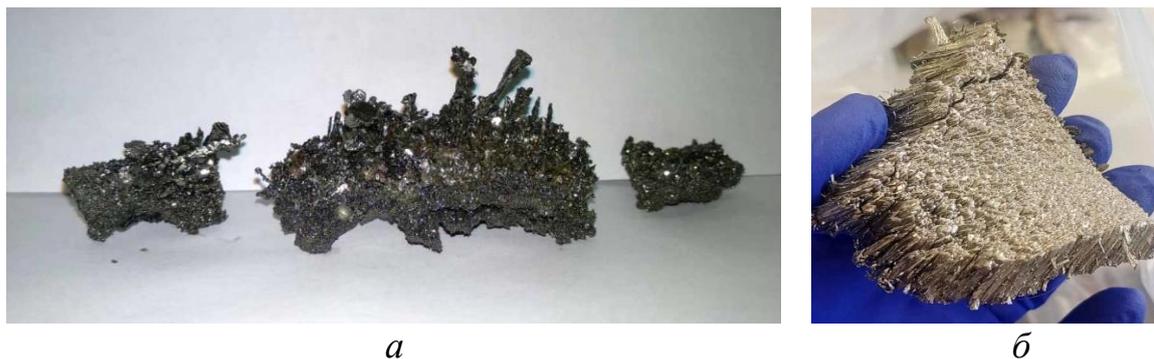


Рисунок 13. Полученный в лаборатории скандий: *а* - губчатый скандий; *б* - дистиллят скандия

Участок маломасштабного производства скандия предназначен для наработки партий особо чистого металла покупателям продукции, в частности, АО «ТВЭЛ». Разработанная технология может быть масштабирована для удовлетворения спроса дополнительных заказов на продукт.

Схема экспериментальной установки хлорирования оксида скандия представлена на рисунке 14.

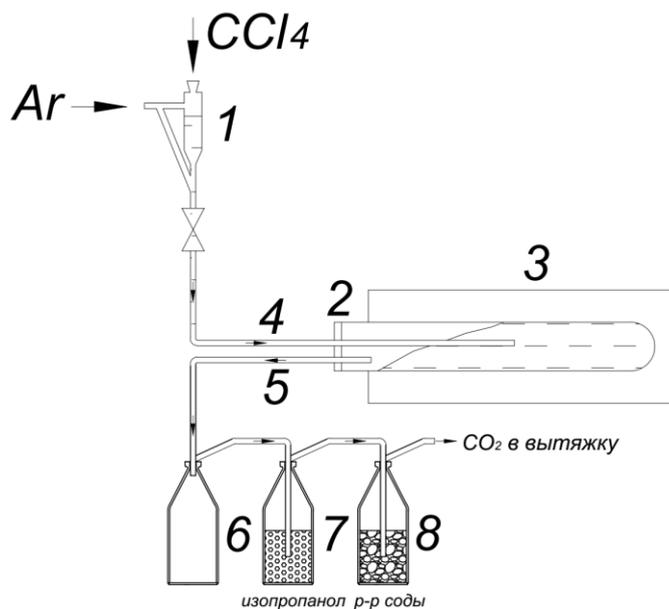


Рисунок 14. Схема лабораторной установки хлорирования оксида скандия тетрахлоридом углерода: 1 – делительная воронка; 2 – реактор; 3 – печь; 4 – входная кварцевая трубка; 5 – выходная трубка; 6 – пустая емкость; 7 – емкость с изопропанолом; 8 – емкость с раствором соды

Отработка технологических режимов литийтермического восстановления хлорида скандия осуществляли на лабораторной установке, приведенной на рисунке 15.

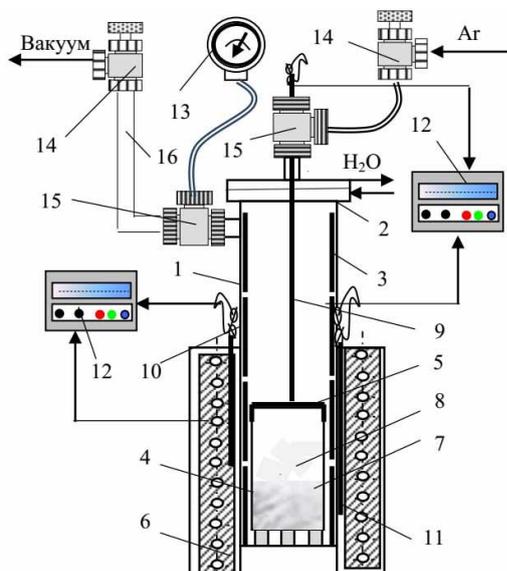


Рисунок 15. Лабораторная установка получения металлического скандия восстановлением его хлорида металлическим литием

В состав установки входит следующее оборудование: 1 – реторта из нержавеющей стали, 2 – водоохлаждаемая крышка, 3 – защитные экраны из молибдена, 4 – тигель из ниобия, 5 – крышка тигля из ниобия, 6 – печь сопротивления, 7 – слой трихлорида скандия, 8 – слой металлического лития, 9 – термопара внутри реторты, 10 – термопара внутри печи, 11 – термопара снаружи реторты, 12 – приборы КИПиА, 13 – мановакуумметр, 14 – фторопластовые краны, 15 – фторопластовые переходники, 16 – контрольная кварцевая трубка для вакуума.

Выполнение НИОКР на тему «Разработка технологии производства тетрахлорида гафния». Объектом разработки является способ получения тетрахлорида гафния из исходного гидроксида гафния.

Целью НИОКР является разработка экономически целесообразной технологии производства тетрахлорида гафния требуемого качества из его гидроксида.

В работе были применены следующие методы: подготовка исходного материала путем сушки и прокаливанию, брикетирование, затем –

хлорирование подготовленного сырья с целью его конверсии в хлорид гафния, дистилляционная очистка полученного тетрахлорида гафния от примесей, упаковка готового продукта, утилизация отходов производства.

В ходе выполнения данной работы определены режимные параметры прокаливания исходного сырья и шихтоподготовки, разработана технология хлорирования оксида гафния и очистки образующегося при хлорировании тетрахлорида гафния, создана опытная установка для получения продукта, получены экспериментальные образцы готовой продукции и опытная партия тетрахлорида гафния (рисунок 16).

Результаты данной работы планируется использовать на АО «ЧМЗ» при создании опытно-промышленного участка производства тетрахлорида гафния. Тетрахлорид гафния необходим, в частности, для получения металлического гафния, который, в свою очередь важен в некоторых областях атомной техники и металлургии.

Товарный тетрахлорид гафния представляет интерес для ряда потенциальных потребителей, обращающихся с запросами на АО «ЧМЗ».

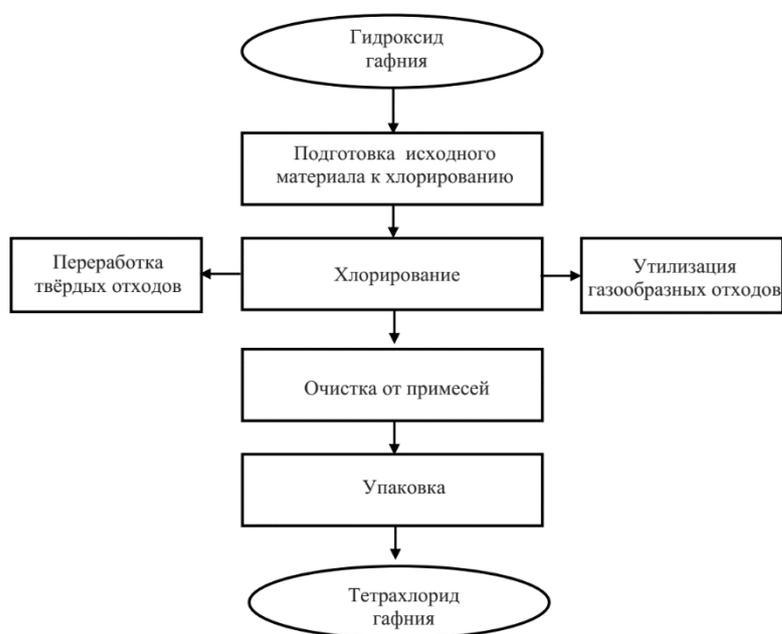


Рисунок 16. Принципиальная схема технологии (схема проведения НИОКР) переработки концентратов

Выполнение работ по проекту ЕОТП на тему «Разработка технологии получения металлических индивидуальных РЗМ иттриевой подгруппы (Gd, Tb, Dy, Ho, Er), чистотой не менее 99,95% из оксидов». В 2021 году начата работа в рамках ЕОТП, заказчик – частное учреждение «Наука и инновации». Целью НИОКР является создание экономически эффективной технологии получения РЗМ иттриевой подгруппы – Gd, Tb, Dy, Ho, Er высокой чистоты (не менее 99,95%) из оксидов для удовлетворения спроса заказчиков из высокотехнологичных отраслей российской и (преимущественно) зарубежной промышленности с возможностью создания гибкой линейки продуктов, синтезируемых под специальные требования (в части примесного состава, структуры, формы и др.) с себестоимостью ниже рыночной стоимости в 1,5-2 раза.

За первый этап на основании аналитического обзора литературы были подобраны хлорирующие агенты и режимы хлорирования исходных оксидов для каждого указанного РЗМ. Были выбраны способы восстановления РЗМ из безводных хлоридов, подобраны металлы-восстановители и температурные режимы металлотермического восстановления, а также предложены способы получения дистиллятов РЗМ.

Выбранные способы будут опробованы экспериментально в рамках данной НИОКР на следующем этапе. Также, будет оценена экономическая эффективность выбранных способов, и скорректированы параметры процессов в соответствии с экспериментальными данными.

***Лаборатория технологии получения рассеянных элементов –
Отделение особо чистых веществ и монокристаллов***

Начальник лаборатории – канд. техн. наук А.Н. Почтарев

К последним достижениям лаборатории следует отнести разработку технологии получения анодного и катодного материалов для литий-ионных аккумуляторов, а также разработки в области получения сложных оксидных композиций на основе редких металлов для получения топливных элементов и создания нового поколения приборов с использованием пьезо- и



сегнетоэлектриков оборонного назначения. По результатам проведенных исследований сотрудниками лаборатории в период с 2012 года было опубликовано 12 статей, получено 5 патентов.

В распоряжении лаборатории имеется установка для получения оксида галлия 6N из галлия металлического производительностью до 20 кг в месяц; установка очистки металлического галлия, позволяющая очищать исходный галлий чистотой 4-5N до уровня 6-7N методами кристаллизационной очистки; установка очистки металлического индия (вакуумная установка двойной дистилляционной очистки индия, производит очистку до уровня 6N из индия марки Ин00), производительностью до 30 кг в месяц; опытный стенд очистки перрената аммония (позволяет производить электродиализную очистку перрената аммония от марки AP-1 до марки AP-00), производительностью до 15 кг в месяц (рисунок 17).



а



б



в



г

Рисунок 17. Парк нестандартного опытного оборудования лаборатории:
а – установка очистки металлического галлия, *б* – установка очистки металлического индия; *в* – установка для получения оксида галлия 6N из галлия металлического, *г* – опытный стенд очистки перрената аммония

В 2021 году был разработан способ синтеза оксида сурьмы (III) чистотой 5N, изготовлен опытный стенд, получен опытный образец материала. Проведены работы по выбору исходного сырья и режимов очистки получаемого оксида сурьмы (III), без примеси оксида сурьмы (V). Выбраны оптимальные параметры получения сурьмы оксида сурьмы (III) методом вакуумной дистилляции, из сурьмы металлической чистотой 99,99%. В результате проведенных работ удалось получить целевой продукт чистотой 5N по микропримесям, с содержанием оксида сурьмы (V) не более 0,2%. По полученным результатам оформляется РИД, а также прорабатывается вопрос масштабирования разработанной технологии для целей коммерциализации продукта.

Лаборатория высокотемпературных полупроводниковых соединений АШВУ – Отделение полупроводниковых соединений

Начальник лаборатории – канд. техн. наук С.Н. Князев

Полупроводниковые материалы по праву занимают одно из ведущих мест в ряду важнейших материалов, определяющих уровень развития мировой цивилизации. Они составляют основу элементной базы современной электронной техники, без которой сегодня немыслим научно-технический прогресс. С развитием твердотельной электроники (и, прежде всего, микроэлектроники) связано успешное решение проблем крупномасштабной компьютеризации и информатизации, создания современных систем связи и телевидения, эффективной передачи и преобразования электроэнергии, разнообразной бытовой, медицинской и специальной электронной аппаратуры. Большую роль играют эти материалы в решении задач развития экологически чистой энергетики и холодильной техники, создания современных систем мониторинга загрязнений окружающей среды, а также высокочувствительной сенсорной техники широкого функционального назначения.

Развитию элементной базы твердотельной электроники уделяется большое внимание во всех передовых странах мира. Ежегодно в развитие этой



области науки и техники вкладываются миллиарды долларов. Достижения физики, физикохимии и технологии полупроводниковых материалов, а также полупроводникового материаловедения в значительной степени определяют прогресс в развитии твердотельной электроники. Наша страна традиционно занимала (и занимает сейчас) ведущие позиции в материаловедческой науке и располагает высококвалифицированными научными и инженерными кадрами, которые способны на современном уровне решать самые сложные научно-технические задачи развития технологии производства полупроводниковых материалов.

Уже с конца 50-х годов в Гиредмете были развернуты исследования по разработке технологий получения монокристаллов полупроводниковых соединений АПВV: антимонидов, арсенидов и фосфидов индия и галлия, призванных обеспечить развитие элементной базы современной оптоэлектроники и СВЧ-техники. Особенно остро стоял вопрос о разработке в кратчайшие сроки технологии получения монокристаллов арсенида галлия, второго (после кремния) по значению полупроводникового материала, и об организации их крупномасштабного промышленного производства. Для решения этой важной государственной задачи в институте в 1963 г. была создана специализированная лаборатория. Как и для кремния, в данном случае потребовало решение целого ряда далеко непростых смежных вопросов обеспечения разработок особо чистыми исходными и контейнерными материалами, создания специализированного технологического оборудования, разработки методов контроля чистоты используемых материалов и качества выращиваемых монокристаллов.

Коллективом лаборатории был выполнен широкий комплекс исследований физико-химических свойств арсенида галлия, включающий изучение особенностей взаимодействия расплава с паровой фазой и различными контейнерными материалами; особенностей поведения легирующих примесей при выращивании монокристаллов; изучение фактов, определяющих устойчивый рост монокристаллов. Особое внимание было



уделено изучению процессов дефектообразования, связанных с отклонением от стехиометрии, и условий выращивания однородных по свойствам монокристаллов. Были разработаны высокоэффективные технологии синтеза арсенида галлия и выращивания монокристаллов методом Чохральского из-под слоя флюса.

На протяжении 2021 года в соответствии с общемировыми тенденциями, основное внимание было сосредоточено на совершенствовании технологии получения полуизолирующего GaAs, используемого в производстве дискретных приборов и интегральных схем СВЧ диапазона для систем телекоммуникации, и сильно легированных монокристаллов с низкой плотностью дислокаций для производства оптоэлектронных приборов, прежде всего, светодиодов и лазеров. При этом одновременно решалась задача увеличения диаметра выращиваемых кристаллов. В настоящее время модернизировано и автоматизировано отечественное оборудование, на котором отработана технология получения арсенида галлия диаметром до 100 мм включительно. Была изучена роль фоновых примесей и, прежде всего, углерода в достижении полуизолирующих свойств в монокристаллах: выявлено существенное влияние плотности и характера распределения дислокаций на макро- и микрооднородность распределения свойств в объеме выращиваемых монокристаллов; установлена существенная роль термообработки монокристаллов и вырезаемых из них пластин в формировании их электрофизических и механических свойств.

В целом разработанные в лаборатории АО «Гиредмет» технологии обеспечивают получение монокристаллов арсенида галлия с качественными характеристиками, не уступающими мировому уровню и отвечающими всем требованиям отечественных производителей СВЧ и оптоэлектронных приборов.

В течении 2021 года выполнялись работы по выращиванию и поставке монокристаллов арсенида галлия в рамках договоров с АО «Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов» (АО «НИИПП»)



г. Томск. Работы полностью выполнены в соответствии с техническим заданием (ТЗ) и графиком поставки продукции. Получены и поставлены монокристаллы арсенида галлия диаметром 40 мм в кристаллографической ориентации (100), легированные теллуром и оловом. В результате успешного выполнения работ, по инициативе заказчика на 2022 год был заключен договор о продолжении работ по изготовлению и поставке арсенида галлия.

В целях обеспечения производственного плана института были проведены работы в рамках доходного договора, по результатам которых была изготовлена партия монокристаллов арсенида индия диаметром 50 мм, ориентацией (100), легированных оловом. Продукция поставлена заказчику в строгом соответствии с ТЗ и графиком поставки. Заказчиком были успешно проведены испытания разработанного материала, в результате чего был заключен новый доходный договор на 2022 г.

В части выполнения НИОКР в 2021 году завершена работа по теме «Разработка технологии роста монокристаллов арсенида галлия диаметром до 100 мм в магнитном поле». Подготовлен комплект технической документации ТД 00198396.021.2021 и выпущены новые технические условия «Арсенид галлия монокристаллический» ТУ 24.13.42-021-00198396-2021.

Цель работы заключалась в достижении значений плотности дислокаций в выращиваемых монокристаллах арсенида галлия до $5 \times 10^3 \text{ см}^{-2}$ и однородного их распределения за счет применения в ростовой камере существующей установки «Арсенид-1М» оптимального перемешивания расплава подвижным магнитным полем.

Научная новизна работы заключается в разработке индуктора из графита, размещенного не вне камеры установки, а внутри непосредственно за основным нагревателем и максимально приближен к тиглю с расплавом.

Задачей работы являлось модернизация исходной установки выращивания монокристаллов арсенида галлия (GaAs) методом Чохральского на ориентированную затравку из-под слоя флюса «Арсенид-1М» за счет реализации эффективной системы «нагреватель-индуктор», позволяющей

создавать в ростовой камере одновременно тепловое и подвижное магнитное поле и достигать управляемого перемешивания расплава потоками, ориентированными вдоль вертикальной оси ростовой камеры.

В ростовой установке было решено использовать вариант конструкции с разделением нагревателя и индуктора, установленных в рамках единого теплового узла. Это позволило применить для управления индуктором представленный на рынке промышленный источник питания Chroma ТЕКО-61612, позволяющий синтезировать выходное напряжение в диапазоне 0~300 В, частоту в диапазоне от 15 до 1500 Гц, мощность выходного сигнала до 18 кВА. Также данное решение позволило оставить для нагревателя существующую систему управления с тиристорным регулятором мощности, с электрической мощностью до 45 кВА.

Общий вид модернизированной установки для выращивания кристаллов арсенида галлия в магнитном поле показан на рисунке 18.



Рисунок 18. Общий вид модернизированной установки для выращивания кристаллов арсенида галлия в магнитном поле:

1 – ростовая камера; 2 – стойка управления; 3 – силовой шкаф;
4 – трехфазный блок регулирования магнитного поля

Разработанный индуктор был помещен в камеру ростовой установки. Схема ростовой камеры модернизированной установки для выращивания кристаллов арсенида галлия в магнитном поле показана на рисунке 19.

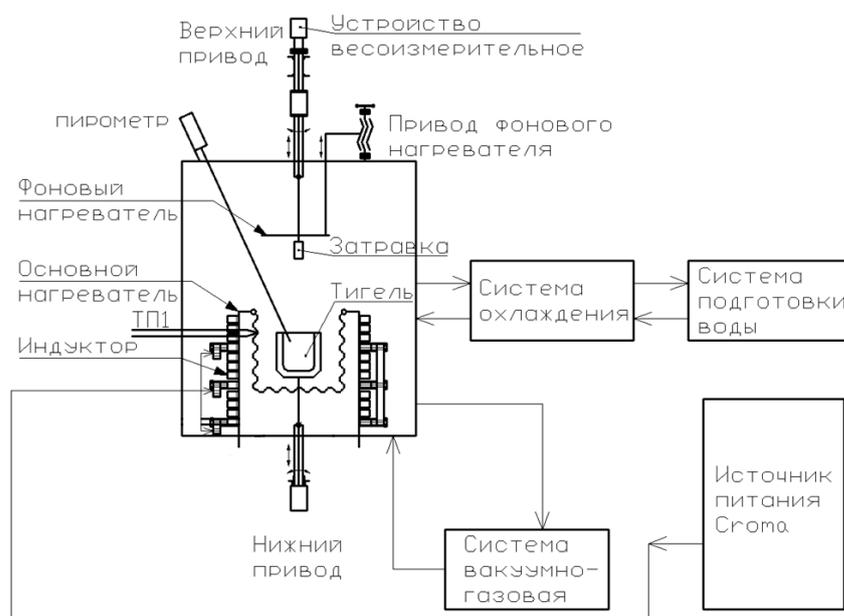


Рисунок 19. Схема ростовой камеры модернизированной установки для выращивания кристаллов арсенида галлия в магнитном поле

В модернизированной установке, в которой вокруг основного нагревателя был установлен графитовый индуктор, создающий бегущее магнитное поле, была выращена серия монокристаллов арсенида галлия, легированных теллуром. При этом, изменяли частоту магнитного поля, угол сдвига фаз между катушками, а также скорости вращения тигля с расплавом и затравки. При этом в каждом выращенном кристалле контролировали плотность дислокаций ND , распределение дислокаций по поперечному сечению кристалла, форму фронта кристаллизации, а также расстояние между полосами роста d . В ходе выполнения работы было исследовано влияние частоты магнитного поля на величину плотности дислокаций и их распределение по поперечному сечению кристаллов.

Дальнейшее развитие данной тематики требует доработки системы автоматического управления технологическим процессом выращивания слитков (для исключения человеческого фактора), усовершенствование конструкции индуктора, а также применение методов математического моделирования для получения воспроизводимых результатов. Это позволит перейти к этапу получения опытно-промышленной (мелкосерийной) партии монокристаллов арсенида галлия с использованием всех возможностей

технологии магнитного перемешивания расплава и открывает путь коммерциализации данного проекта.

В 2021 году были завершены работы на тему «Разработка технологии получения монокристаллов арсенида индия диаметром 100 мм и изготовления из них пластин качества «epi-ready», используемых для оптоэлектронных устройств наземного и космического базирования». Основной областью применения монокристаллов арсенида индия (InAs) является производство оптоэлектронных приборов (светодиодов, лазеров, фотоприемников) для среднего ИК-диапазона спектра.

Цель работы заключалась в получении монокристаллов и пластин арсенида индия диаметром 100 в кристаллографической ориентации (100) легированный серой с концентрацией основных носителей заряда в диапазоне от $1,5 \times 10^{18}$ до $3,0 \times 10^{18}$ см⁻³ и плотностью дислокаций не более 5×10^4 см⁻².

Научная новизна работы заключается в разработке новой конструкции нагревателя и теплового узла из графита, параметров роста и режимов посткристаллизационного отжига монокристаллов.

Задачи, которые были решены в рамках выполнения темы:

- разработана новая конструкция теплового узла и его изготовление;
- отработана технология выращивания монокристаллов арсенида индия диаметром 100мм. Получен лабораторный образец монокристалла диаметром 100 мм в кристаллографической ориентации (100), с плотностью дислокаций не более 5×10^4 см⁻², легированный серой с концентрацией основных носителей заряда в диапазоне от $1,5 \times 10^{18}$ до $3,0 \times 10^{18}$ см⁻³;
- отработана технология посткристаллизационного отжига монокристаллов диаметром 100 мм кристаллографической ориентации (100), с плотностью дислокаций не более 5×10^4 см⁻², легированных серой с концентрацией основных носителей заряда в диапазоне от $1,5 \times 10^{18}$ до $3,0 \times 10^{18}$ см⁻³;
- составлен технологический регламент на процесс выращивания монокристаллов арсенида индия диаметром 100 мм кристаллографической

ориентации (100), с плотностью дислокаций не более $5 \times 10^4 \text{ см}^{-2}$, легированных серой с концентрацией основных носителей заряда в диапазоне от $1,5 \times 10^{18}$ до $3,0 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$ (ТД 00198396.010.20).

- изготовлена лабораторная партия образцов пластин арсенида индия диаметром 100 мм кристаллографической ориентации (100), с плотностью дислокаций не более $5 \times 10^4 \text{ см}^{-2}$, легированных серой с концентрацией основных носителей заряда в диапазоне от $1,5 \times 10^{18}$ до $3,0 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$ под требования потенциального потребителя.

Лаборатория полупроводниковых соединений АПВVI – Отделение полупроводниковых соединений

Начальник лаборатории – канд. техн. наук И.А. Денисов

Результаты деятельности лаборатории за 2021 год:

1. НИР «Теоретические и экспериментальные исследования по созданию монокристаллов КЦТ и первичной подготовки подложек»

Цель работы – теоретические и экспериментальные исследования по созданию монокристаллов кадмий-цинк-теллур (КЦТ) и первичной подготовке подложек с кристаллографической ориентацией $\langle 211 \rangle$, направленные на создание технологии изготовления монокристаллов КЦТ и первичной подготовки подложек для молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) технологии выращивания фоточувствительных слоев кадмий-ртуть-теллур.

В ходе выполнения работ получены следующие основные результаты:

– проведен анализ научно-технической литературы в предметной области выращивания кристаллов КЦТ и первичной подготовки поверхности пластин на их основе. Из рассмотренных методов выращивания кристаллов КЦТ для решения поставленных задач и достижения целей работы определен метод вертикальной направленной кристаллизации (ВНК) в конфигурации Бриджмена. Определены физико-химические и теплофизические константы кристаллов и расплавов КЦТ, а также конструкционных материалов, необходимые для проведения математического моделирования процессов ВНК КЦТ;

– проведены патентные исследования, по результатам которых сделан вывод о патентной чистоте разрабатываемых решений в отношении России. Результаты работ соответствуют мировому техническому уровню;

– проведены выбор и обоснование направлений исследований, способов и путей их реализации. Проведен технико-экономический анализ, определена себестоимость пластин-подложек КЦТ с предварительной обработкой поверхности на стадии разработки. В сравнении с мировым уровнем цен на аналогичные изделия можно дать высокую технико-экономическую оценку эффективности разрабатываемых решений;

– проведено численное исследование процессов тепломассопереноса в процессах выращивания кристаллов КЦТ методом ВНК в конфигурации Бриджмена с привлечением двухмерной математической модели на основе уравнений Навье-Стокса с учетом зависимости плотности жидкой фазы от температуры и содержания ZnTe в рамках приближения Обербека-Буссинеска, что позволило оптимизировать тепловые условия выращивания кристаллов КЦТ, сократить количество и время проведения натуральных экспериментов;

– проведены экспериментальные работы по оптимизации режимов выращивания кристаллов КЦТ методом ВНК в конфигурации Бриджмена на монокристаллическую ориентированную затравку с использованием вставных тиглей из стеклоуглерода для исключения контакта и взаимодействия (смачивания и прилипания) расплава со стенками кварцевой ампулы;

– доработана действующая в АО «Гиредмет» технологии изготовления подложек КЦТ в части изменения кристаллографической ориентации подложек с (111) на (211), в том числе, переработан этап химико-механического полирования (ХМП) с финишной подготовки поверхности на первичную обработку поверхности для МЛЭ технологии;

– разработана программа и методика испытаний образцов малодефектных подложек на основе КЦТ;

– проведены исследования характеристик экспериментальных образцов малодефектных подложек на основе твердого раствора КЦТ. Плотность дислокаций в образцах составила $2 \times 10^4 \text{ см}^{-2}$, состав в интервале от 0,03 до 0,05 мольных долей ZnTe, кристаллографическая ориентация поверхности (211), что соответствует требованиям ТЗ на проведение работ;

– разработан и утвержден в установленном порядке временный технологический регламент «Выращивание кристаллов кадмий-цинк-теллур методом Бриджмена и первичная подготовка поверхности пластин-подложек» ВТР 721950.018-2021.

Результаты работ предназначены для дальнейшего использования в разработке технологии изготовления «epi-ready» подложек КЦТ для выращивания эпитаксиальных слоев кадмий-ртуть-теллур методом МЛЭ, что позволит обеспечить разработки и организацию серийного производства отечественных широкоформатных матричных фотоприемных устройств (МФПУ) ИК диапазона спектра фоточувствительным материалом с показателями качества на уровне зарубежных аналогов.

2. ОКР на тему «Разработка технологии выращивания кристаллов твердого раствора кадмий-цинк-теллур и первичной подготовки подложек на их основе для эпитаксиального выращивания фоточувствительных слоев кадмий-ртуть-теллур».

Цель работы заключалась в разработке и освоении в производстве технологии получения слитков на основе твердого раствора кадмий-цинк-теллур, разработка технологии изготовления и первичной обработки поверхности пластин-подложек на основе твердого раствора кадмий-цинк-теллур.

В ходе выполнения работ в 2021 г. получены следующие основные результаты:

– для увеличения монокристаллической доли слитка классический метод Бриджмена совмещен с кристаллизацией расплава в градиенте температуры;



– для улучшения структурных характеристик слитков КЦТ использованы тигли из стеклоуглерода конической формы с плоским дном;

– отработаны технологические переделы изготовления затравки, синтеза поликристаллической заготовки и компоновки ростового контейнера для проведения ВНК;

– отработаны технологические режимы выращивания слитков КЦТ ВНК расплава модифицированным методом Бриджмена с охлаждением в градиенте температур;

– отработан технологический передел резки кристаллов КЦТ на пластины с кристаллографической ориентацией поверхности (211). Величина нарушенного слоя на поверхности пластин после резки не превышает 100 мкм при толщине пластин до 1,5 мм;

– отработаны технологические операции выделения монокристаллической области, скругления до диаметра 50,8 мм и контроля плотности дислокаций в пластинах КЦТ. Для выявления границ зерен в слитках, выявления тонкой структуры и измерения плотности дислокаций в пластинах КЦТ с кристаллографической ориентацией поверхности (211), а также, для определения полярности кристаллографической плоскости (211) и, соответственно, стороны пластины КЦТ соответствующей кристаллографической плоскости (211), использован травильный раствор состава:

– кислота фтористоводородная – 3 объемных части;

– кислота соляная - 1 объемная часть;

– 25 % водный раствор оксида хрома (VI) - 1 объемная часть;

– время обработки: 1 минута при комнатной температуре;

– отработана технологическая операция двусторонней шлифовки пластин-подложек КЦТ. Толщина вносимого шлифовкой нарушенного слоя на поверхности пластин-подложек не превышает 30 мкм;

– отработаны режимы двусторонней ХМП полностью удаляющей нарушенный слой с поверхности пластин-подложек и обеспечивающей



значения неплоскостности рабочей поверхности пластин-подложек на базовой длине 20 мкм не более 3 мкм;

– методом ВНК на затравку в конфигурации Бриджмена в градиенте температуры изготовлен экспериментальный образец слитка КЦТ, из которого после измерения параметров слитка изготовлены экспериментальные образцы пластин-подложек диаметром 50,8 мм с кристаллографической ориентацией поверхности (211) в количестве 4-х (четырёх) шт. Проведена первичная обработка поверхности экспериментальных образцов пластин-подложек шлифовкой и химико-механической полировкой (рисунок 20);

– проведены измерения параметров экспериментальных образцов слитка и пластин-подложек с первичной обработкой поверхности. Параметры экспериментальных образцов слитка и пластин-подложек с первичной обработкой поверхности соответствуют требованиям ТЗ составной части опытно-конструкторских работ (СЧ ОКР) ПЭТ «Базис-Кристалл»;

– экспериментальные образцы пластин-подложек в количестве 4-х (четырёх) шт., переданы заказчику;

– разработана конструкторская и эксплуатационная документация на слитки КЦТ в составе: комплект КД «Слиток КЦТ» БУТИ.714211.002; проект технических условий «Слиток кадмий-цинк-теллур» БУТИ.714211.002ТУ; паспорт качества на слиток КЦТ БУТИ.714211.002ПС;

– разработаны и оформлены в форме маршрутно-операционного описания комплекты технологической документации «Технология выращивания слитков кадмий-цинк-теллур» КТД 00198396.027.2021 и «Технология изготовления и первичной обработки поверхности пластин-подложек кадмий-цинк-теллур» КТД 00198396.028.2021;

– разработаны разделы программы и методик предварительных испытаний опытных образцов слитков КЦТ БУТИ.714211.002, установлены состав и методы проведения испытаний;

– разработана КД и изготовлена технологическая оснастка для выполнения технологических процессов резки кристаллов и ХМП поверхности пластин-подложек:

- держатель с накладкой НО.173-00.00.000;
- держатель для слитка НО.177-00.00.000;
- притир НО.178-00.00.000;

– разработан Отчет о проверке оптимальности принятых конструктивно-технологических решений при выполнении СЧ ОКР «Разработка технологии выращивания кристаллов твердого раствора кадмий-цинк-теллур и первичной подготовки подложек на их основе для эпитаксиального выращивания фоточувствительных слоев кадмий-ртуть-теллур». Сделан и обоснован вывод о том, что разработанные технологические процессы отвечают современным тенденциям зарубежных разработок аналогичных технологий, а выбранные направления исследований и конструкторско-технологические решения по их реализации методологически обоснованы и позволяют изготовить экспериментальные образцы материалов-слитков КЦТ и пластин-подложек КЦТ с предварительной обработкой поверхности, удовлетворяющие требованиям ТЗ на СЧ ОКР «Базис-Кристалл»;

– разработан график по подготовке производства слитков КЦТ, в который вошли Программа обеспечения качества на этапах разработки и освоения в серийном производстве, и Программа метрологического обеспечения на этапах разработки и освоения в серийном производстве слитков КЦТ. Обе Программы утверждены в установленном порядке и согласованы с Главным исполнителем ОКР (опытно-конструкторских работ) «Базис» - АО НПО «ОРИОН».

Результаты работ предназначены для подготовки к проведению предварительных испытаний разрабатываемых материалов и дальнейшего использования в разработке технологии изготовления «epi-ready» подложек КЦТ для выращивания эпитаксиальных слоев кадмий-ртуть-теллур методом

МЛЭ в рамках ОКР «Базис», что позволит обеспечить разработки и организацию серийного производства отечественных широкоформатных МФПУ ИК диапазона спектра фоточувствительным материалом с показателями качества на уровне лучших зарубежных аналогов.

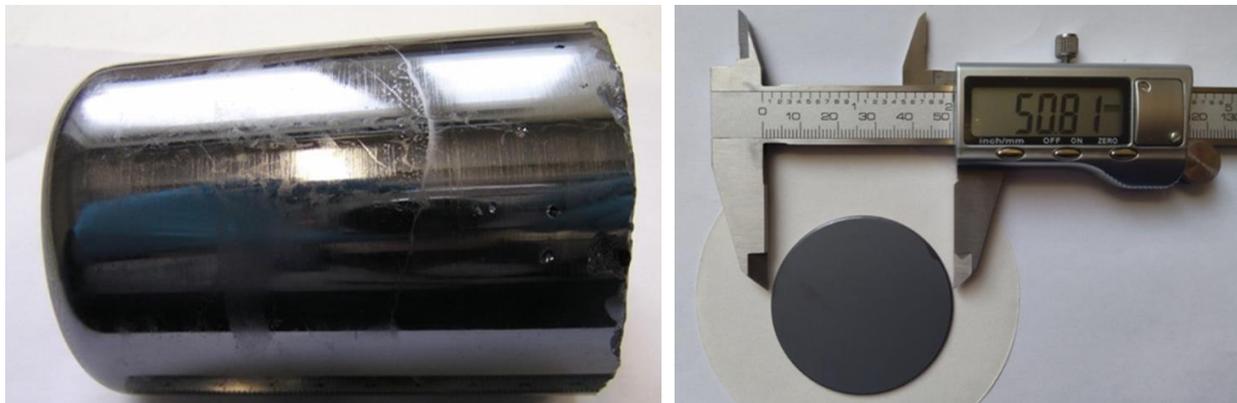


Рисунок 20. Образцы, полученные в лаборатории:

а – слиток КЦТ, выращенный модифицированным методом Бриджмена; *б* – подложка КЦТ

3. Работы на тему «Разработка технологии изготовления ИК фотодиодов на основе эпитаксиальных слоев кадмий – ртуть – теллур».

Цели проекта:

- разработка технологии изготовления ИК фотодиодов на основе гетероструктур КРТ;
- разработка технологии изготовления малоформатной матрицы на основе кадмий-ртуть-теллур.

В ходе выполнения работ в 2021 г. получены следующие основные результаты:

- методом ЖФЭ (жидкофазная эпитаксия) из раствора на основе теллура изготовлены гетероструктуры с фоточувствительным слоем $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$. Параметры гетероструктур удовлетворяют требованиям к изготовлению фотодиодов спектрального диапазона (3–5) и (8 – 12) мкм;
- разработаны и изготовлены комплекты фотошаблонов для изготовления единичных фотодиодов и малоформатных матриц;
- проведена отработка основных технологических переделов изготовления фотодиодов (нанесение диэлектрика, фотолитография,

изготовление эмиттера, нанесение металлизации). Реализованы варианты с однослойным (CdTe) и двухслойным (YScO₃/CdTe) диэлектрическим покрытием. Оработаны режимы изготовления n⁺ эмиттера обработкой p - Cd_xHg_{1-x}Te в плазме Ar;

- разработана методика выполнения «Измерений концентрации основных носителей заряда в эпитаксиальном слое Cd_xHg_{1-x}Te, выращенном на подложке Cd_{1-y}Zn_yTe по вольт-фарадным характеристикам»;

- разработана методика выполнения измерений вольт-амперных характеристик фотодиодов на основе КРТ;

- приобретено оборудование и организован участок измерения и контроля электрофизических параметров фотодиодов (рисунок 21);

- разработана технологическая инструкция «Изготовление фотодиодов на основе эпитаксиальных слоев кадмий-ртуть-теллур» ТИ 00198396.034.2021;

- по планарной технологии изготовлены двумерные массивы тестовых фотодиодов (рисунок 22).

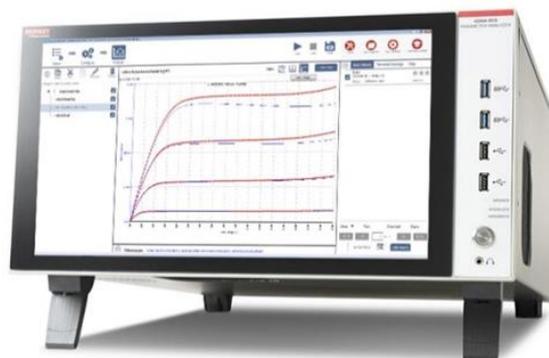


Рисунок 21. Криогенная зондовая станция CPS-100-CF-77K и параметрический анализатор Keithley 4200F-SCS с модулем 4210-CVU

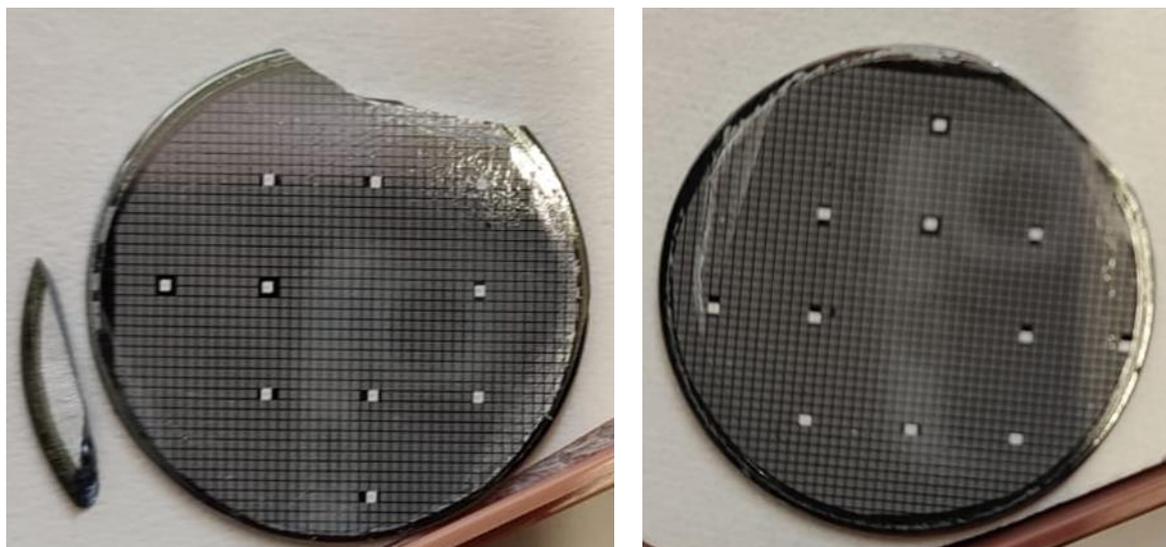


Рисунок 22. Двумерные массивы фотодиодов, изготовленные на эпитаксиальных структурах с фоточувствительным слоем КРТ: *а* – метки совмещения для проведения фотолитографии; *б* – чипы фотодиодов 16×16

Изготовленные образцы представляют собой регулярно расположенные чипы 16×16 , разделенные дорожками, по которым можно осуществить резку и разделение чипов, или использовать в качестве токосъемных дорожек. Каждый чип 16×16 содержит в себе микрочипы 4×4 фотодиодов (16 шт.) с размерами фоточувствительных площадок (точнее с размерами окон для имплантации) 10×10 мкм, 7×7 мкм, 5×5 мкм и 3×3 мкм.

Проведены измерения вольт-амперных характеристик (ВАХ) тестовых фотодиодов в криогенной зондовой установке (рисунок 23). Форма ВАХ, а именно обратной ветви, свидетельствует о достижении диффузионного ограничения при значениях тока в обратной ветви при смещении минус 0,3 В от единиц при $T = 90$ К до сотен нА при $T = 95$ К.

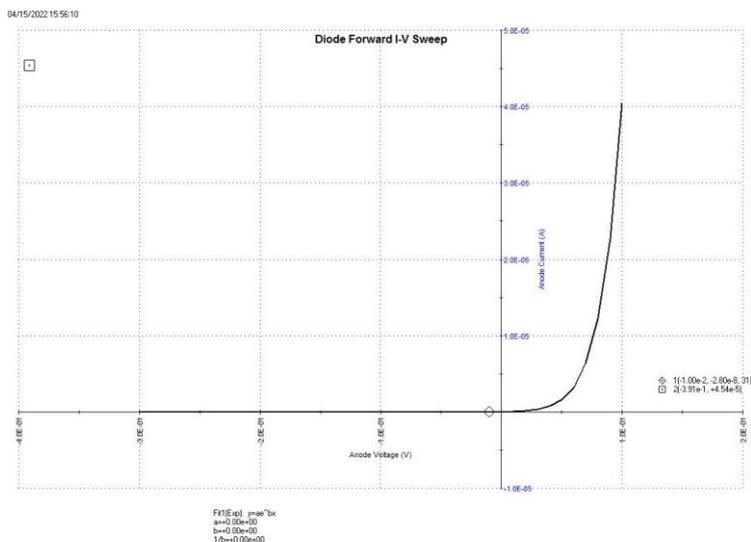


Рисунок 23. Пример ВАХ фотодиода, изготовленного на основе эпитаксиального слоя КРТ

Работы по ИМ «КРТ» продолжаются в 2022 г.

Результаты ИМ предназначены для проверки правильности принятых технических решений, и снижении рисков при принятии решения о целесообразности перехода к реализации доходного инвестиционного проекта.

***Лаборатория обработки полупроводниковых материалов –
Отделение полупроводниковых соединений***

Начальник лаборатории – Д.А. Завражин

В 2021 году была создана лаборатория обработки полупроводниковых материалов для создания полного технологического цикла обработки полупроводниковых соединений и получения товарной продукции в АО «Гиредмет» – полированных пластин международного качества «epi-ready». На протяжении 10 лет тематика обработки полупроводниковых соединений АПШВУ зарождалась в лаборатории высокотемпературных полупроводниковых соединений АПШВУ в АО «Гиредмет». На сегодняшний день лаборатория обработки полупроводниковых материалов самостоятельно занимается разработкой технологии и запуском научно-производственной линии изготовления пластин из выращенных в институте монокристаллов полупроводниковых соединений АПШВУ.



Технологический маршрут изготовления полированных пластин включает полтора десятка разнообразных операций механического, химического, химико-механического характера, большинство из которых проводятся в особых чистых помещениях класса ISO 6 и ISO 4. Лаборатория обработки полупроводниковых материалов реализует следующие технологические этапы: разделение калиброванного и ориентированного монокристалла на пластины, очистка резаных пластин, обработка торцевой поверхности резаных пластин (нанесение фаски), механическое шлифование пластин, травление и сортировка пластин, двухстадийное химико-механическое полирование пластин, очистка от органических загрязнений, отмывка и упаковка полированных пластин. Также лаборатория проводит контроль получаемых полированных пластин на предмет соответствия продукции техническим требованиям организации-потребителя. Для достижения необходимых параметров разработаны определенные технологические подходы, которые выполняются в ходе последовательного прохождения по технологическому маршруту. Работники лаборатории занимаются научно-исследовательской деятельностью, регулярно участвуют в научных конференциях, работают над статьями.

Для функционирования научно-производственной линии имеется полупромышленное, лабораторное и контрольно-измерительное оборудование ведущих мировых производителей, основные и вспомогательные материалы, разработаны приспособления и оснастка (рисунок 24). Ведется завершающий этап ее комплектования. Плановая производительность полной пилотной линии 10 000 пластин в год. Для реализации планов лаборатории специально были созданы магистральные инженерные структуры, обеспечивающие научно-производственную линию сжатым воздухом высокой чистоты, инертными газами, деионизованной водой марки А (18 МОм); смонтированы производственные помещения с классом чистоты ISO 6 и ISO 4.



В распоряжении лаборатории имеются пилотная линия обработки полупроводниковых монокристаллов и пластин, а также комплекс вспомогательного оборудования и оснастки включающие в себя: систему проволочной резки TAKATORI MWS-45SN; станок обработки кромки пластин СОФ-150М и СОФ-80М; станок двухсторонней шлифовки Anda NTSDL9B5L/TN; промывочную ультразвуковую машину МН-5МW18D; установку химического травления пластин; станок двухстороннего ХМП модель SF DSM-10.5В-5Р; станок полировальный ХJ-36; станок двухсторонней полировки АС-530Р; установку химической отмывки пластин в органических растворителях; систему двусторонней отмывки DCSe606; установку контроля геометрических параметров пластин MicroProf-200; установку контроля поверхности пластин «Рефлекс 532»; комплект оборудования для упаковки полировальных пластин МХ-АVМ409.



Рисунок 24. Парк оборудования лаборатории

Молодой коллектив лаборатории обработки полупроводниковых материалов возглавляет начальник лаборатории, выпускник МГТУ им. Н.Э. Баумана, Дмитрий Алексеевич Завражин, занимающийся обработкой полупроводников более 5 лет. Вместе с начальником лаборатории научно-исследовательской, наставнической деятельностью, подготовкой молодых,

перспективных специалистов, передачей опыта в области обработки полупроводниковых материалов занимается Анатолий Ильич Хохлов – канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории (опыт в области обработки более 40 лет), выпускник МИСиС. Около 10 лет назад Анатолий Ильич был приглашен в АО «Гиредмет» для создания и освоения технологической линии обработки полированных пластин и разработки необходимого инженерного обеспечения. Так после производственной практики и написания научных и дипломных работ в лаборатории остались и работают А.А. Зареченская – младший научный сотрудник, студент магистратуры НИТУ «МИСиС», М.С. Нестюркин – стажер-исследователь, студент магистратуры НИТУ «МИСиС». Разносторонний специалист, ведущий научный сотрудник – П.В. Павлов (рисунок 25).



Рисунок 25. Коллектив лаборатории обработки полупроводниковых материалов. Слева направо: А.И. Хохлов, М.С. Нестюркин, Д.А. Завражин, П.В. Павлов, А.А. Зареченская

В части выполнения НИОКР в 2021 г. были проведены следующие работы:

1. *Выполнение НИОКР «Арсенид индия»:* Разработка технологии получения монокристаллов арсенида индия диаметром 100 мм и изготовление из них пластин качества «epi-ready», используемых для оптоэлектронных устройств наземного и космического базирования.

Целью выполнения НИОКР является разработка технологии изготовления и освоение отечественного производства полированных пластин арсенида индия (InAs) диаметром до 100 мм, изготовленных из структурно-совершенных монокристаллических слитков.

В обеспечение такими слитками на этапе 1 ОКР стояли задачи:

- определение режимов выращивания монокристаллов арсенида индия диаметром 100 мм в кристаллографическом направлении $\langle 100 \rangle$;
- определение режимов приготовления серосодержащей лигатуры;
- определение режимов выращивания монокристаллов, легированных серой.

На этапе 2 стояли задачи:

- разработка технологического маршрута изготовления пластин с учетом особенностей монокристаллов большого диаметра;
- разработка и согласование между собой отдельных технологических операций по резке монокристаллических слитков и изготовлению полированных пластин, определение направления по достижению оптимальности решений;
- разработка, изготовление и испытание оснастки для выполнения отдельных операций технологического маршрута;
- определение параметров и процессов, после которых необходимо выполнять межоперационные контрольные измерения по всему технологическому маршруту для его оперативного контроля;

Разработанные в результате проведения НИОКР «Арсенид индия» лабораторные технологии, а также полученные опыт и знания в области обработки полупроводниковых пластин из монокристаллического арсенида индия, могут быть внедрены в производство, при достаточном финансировании, в интересах предприятий микроэлектронной промышленности.

2. *Участие в НИОКР «Антимонид индия»:* «Разработка технологии получения монокристаллов антимонида индия диаметром 100 мм и

изготовлению из них пластин качества «epi-ready», используемых для создания тепловизионных и фотопреобразовательных приборов».

Впервые в России будет создана технология выращивания монокристаллов антимонида индия и изготовления из них полированных пластин, по своим геометрическим и качественным характеристикам соответствующих мировому уровню, используемых при производстве приборов nano-, опто-, микроэлектроники.

В рамках последующего инвестиционного проекта, на основании полученного опыта при проведении НИОКР «Антимонид индия» будет создано производство по выпуску монокристаллов антимонида индия и полированных пластин.

3. *Участие в ЕОТП «Антимонид галлия».* По заказу частного учреждения «Наука и инновации» в 2021 году в рамках ЕОТП успешно выполнен первый этап НИОКР «Разработка технологии получения полированных пластин на основе монокристаллов антимонида галлия, сильнолегированных теллуrom».

Целью НИОКР является разработка технологий получения монокристаллов антимонида галлия, сильнолегированных теллуrom, диаметром не менее 100 мм высокого структурного совершенства в кристаллографическом направлении [100] и изготовления на их основе полированных пластин диаметром 50,8 мм и 100 мм с кристаллографической ориентацией (100).

На первом этапе выполнены следующие работы:

- проведены патентные исследования, включая анализ состояния рынков;
- разработано ТЗ на экспериментальный стенд для выращивания монокристаллов и антимонида галлия, сильнолегированных теллуrom, диаметром не менее 100 мм;

- разработано ТЗ на экспериментальный стенд для получения полированных пластин на основе монокристаллов антимонида галлия, сильнолегированных теллуром;

- разработана рабочая конструкторская документация (РКД) теплового узла для выращивания сильнолегированных теллуром монокристаллов антимонида галлия диаметром не менее 100 мм;

Выполненные работы 1 этапа являются подготовительными и обеспечивают возможность проведения НИОКР по разработке современных технологий получения монокристаллов антимонида галлия, сильнолегированных теллуром, диаметром не менее 100 мм и изготовления на их основе полированных пластин диаметром 100 мм.

Лаборатория низкотемпературных полупроводниковых соединений АИИВУ – Отделение полупроводниковых соединений

Начальник лаборатории – Р.Ю. Козлов

В 2021 году совместно с НИТУ «МИСиС» выполнен первый этап НИОКР по теме «Получение монокристаллов антимонида индия в кристаллографическом направлении [211] и полированных пластин на их основе с ориентацией (211) (100) (111)».

Целью первого этапа работы являлось получение по новой технологии монокристаллов антимонида индия диаметром более 52 мм в кристаллографическом направлении [211] и сравнение их электрофизических и структурных свойств со свойствами монокристаллов, выращенных в направлении [100].

На первом этапе были выполнены следующие работы:

– впервые в России получены монокристаллы антимонида индия в кристаллографическом направлении [211] диаметром вписанной окружности более 52 мм (в количестве 3 шт.);

– для получения устойчивого роста монокристаллов в направлении [211] были подобраны тепловые и динамические условия процесса, которые значительно отличались от условий получения монокристаллов в



кристаллографическом направлении [100]. Оптимизированы скорости выращивания монокристаллов [211] и подобран тепловой графитовый узел, обеспечивающий их устойчивый рост. Интервал скоростей выращивания защищен на уровне «ноу-хау»;

- измерены электрофизические параметры выращенных монокристаллов;

- проведена вырезка пластин с различной ориентацией (211), (111) и (100) из полученных кристаллов. Исследованы структурные свойства этих пластин. Проведена оценка плотности дислокаций на пластинах различной ориентации, а также сравнение ее величины с плотностью дислокаций в монокристаллах, выращенных в направлении [100].

Полученные результаты могут быть полезны при выборе материала с определенными структурными свойствами для различных ИК ФПУ.

2. По заказу Частного учреждения «Наука и инновации» в 2021 году в рамках ЕОТП успешно выполнен первый этап НИОКР «Разработка технологии получения полированных пластин на основе монокристаллов антимонида галлия, сильнолегированных теллуром».

Целью НИОКР является разработка технологий получения монокристаллов антимонида галлия, сильнолегированных теллуром, диаметром не менее 100 мм высокого структурного совершенства в кристаллографическом направлении [100] и изготовления на их основе полированных пластин диаметром 50,8 мм и 100 мм с кристаллографической ориентацией (100).

На первом этапе выполнены следующие работы:

- проведены патентные исследования, включая анализ состояния рынков;

- разработано ТЗ на экспериментальный стенд для выращивания монокристаллов и антимонида галлия, сильнолегированных теллуром, диаметром не менее 100 мм;

– разработано ТЗ на экспериментальный стенд для получения полированных пластин на основе монокристаллов антимонида галлия, сильнолегированных теллуrom;

– разработана РКД теплового узла для выращивания сильнолегированных теллуrom монокристаллов антимонида галлия диаметром не менее 100 мм.

Выполненные работы 1 этапа являются подготовительными и обеспечивают возможность проведения НИОКР по разработке современных технологий получения монокристаллов антимонида галлия, сильнолегированных теллуrom, диаметром не менее 100 мм и изготовления на их основе полированных пластин диаметром 100 мм.

Лаборатория располагает следующим оборудованием:

1. Установка ДШАК-043

Ростовая установка ДШАК-043 предназначена для плавления, синтезирования и выращивания монокристаллов антимонида индия и антимонида галлия методом Чохральского. Данная установка позволяет выращивать кристаллы диаметром до 110 мм и длиной до 350 мм (рисунок 26).



Рисунок 26. Экспериментально-стендовая база лаборатории низкотемпературных полупроводниковых соединений АШВV

Основные технические характеристики:

- тип нагрева: резистивный;
- максимальная температура на нагревателе: 1200 °С;
- рабочая температура в зоне плавления: 520...800 °С;
- точность поддержания температуры, не хуже: $\pm 0,2$ °С;
- величина осевого перемещения: верхнего штока: 650 мм, нижнего штока: 200 мм;
- скорость перемещения нижнего штока: рабочая – 1,0...50,0 мм/час; ускоренная – 80 мм/мин;
- стенки ростовой камеры и штоки водоохлаждаемые: расход воды, не более: 4,0 м³/час.

Процесс выращивания кристаллов антимонида индия проводится в статическом вакууме, который обеспечивается с помощью масляного форвакуумного насоса. В ростовой установке ДШАК-043 также предусмотрена возможность подключения к газовой линии для проведения процессов в атмосфере инертного газа (аргона) или в потоке водорода.

2. Круглошлифовальный станок М-400

Калибровка выращенных монокристаллов до заданного значения диаметра цилиндрической части производится на круглошлифовальном станке М-400 (рисунок 27). Он обеспечивает возможность калибровки слитков диаметром от 40 до 100 мм путем установки в центрах и шлифовки их алмазной чашей.



Рисунок 27. Круглошлифовальный станок М-400

Процесс калибровки монокристаллических слитков значительно упростился и ускорился после модернизации исходного специализированного прецизионного станка. В рамках модернизации была установлена система управления на основе микропроцессорного контроллера для управления частотными преобразователями асинхронных двигателей, осуществляющих перемещение слитка относительно абразивного диска, а также обеспечивающих вращение алмазной чаши и обрабатываемой заготовки. Была проведена модернизация системы смазки, а также установлен защитный кожух от брызг смазочно-охлаждающая жидкость (СОЖ).

3. Дифрактометр ДРОН-7М

Рентгеновский дифрактометр общего назначения «ДРОН-7М» используется для точного определения кристаллографической ориентации получаемых монокристаллов (рисунок 28). При изготовлении контрольных образцов необходимо оперативно определять ориентацию слитков для выведения торцов на необходимую кристаллографическую плоскость, а также базовых срезов на слитках. После разделения цилиндров на пластины требуется оперативное определение кристаллографической ориентации пластин.



Рисунок 28. Рентгеновский дифрактометр общего назначения «ДРОН-7М»

Основные технические параметры оборудования:

Для материалов InSb, GaSb, GaAs, InAs, Si, Ge основные кристаллографические ориентации – (100), (110), (111), (211), (013). Для материала – SiC, требуемые политипы 2H, 4H, 6H, 8H, 15R, основные кристаллографические ориентации – (0001), (1010), (1120).

Измеряемая разориентация – от 0 до 10°. Размеры пластин/цилиндров - Ø от 40 до 108 мм, толщина от 0,15 до 50 мм. Размеры слитков - Ø от 40 до 108 мм, длина – от 40 до 250 мм.

В рамках модернизации данной единицы оборудования была создана система автоматизированного контроля угла среза с гониометрической приставкой; разработано дополнительное программное обеспечение по расчету ориентации образца; произведена отладка автоматизированной системы управления работой дифрактометра.

4. Станок вертикально-фрезерный X6323A1

Для нанесения базовых срезов в заданных кристаллографических плоскостях кристалла в лаборатории используется вертикально-фрезерный

станок (рисунок 29). Станок обеспечивает возможность шлифовки базового и дополнительного среза для калиброванных слитков диаметром 40, 50, 76 и 100 мм шириной 5-40 и 5-16 мм соответственно, с допуском $+2-0$ мм благодаря модернизированной системе позиционирования с лазерным лучом и фиксации слитка на фрезерном столе. Также предусмотрена возможность высверливания из слитков кристаллов с заданной кристаллографической ориентацией благодаря технологической оснастке для установки алмазных цилиндрических сверл (коронки) в шпинделе станка. Система автоматической подачи фрезерного стола обеспечивает возможность подачи алмазного инструмента со скоростью 2 – 4 мм/мин, при отсутствии зависимости скорости подачи от усилия перемещения стола обеспечивает возвратно-поступательное движение стола со скоростью 1- 10 мм/мин и вертикальное перемещение 0,02-1 мм за один шаг при формировании базового среза на слитке.



Рисунок 29. Станок вертикально-фрезерный X6323A1

***Лаборатория технологий и материалов современной энергетики –
Отделение материалов накопителей и преобразователей энергии***

Начальник лаборатории – канд. хим. наук В.В. Клюев

Разработка новых электрохимических накопителей энергии на отечественной базе является чрезвычайно актуальной и критически важной задачей, что отражено в ряде таких стратегических и программных документов Российской Федерации, как Стратегия научно-технологического развития и национальной безопасности, Доктрина энергетической безопасности, Концепция развития электротранспорта и др. Без массового производства современных химических источников тока на отечественной материально-технической базе невозможен переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, формирование новых источников, способов транспортировки и хранения энергии, обеспечение связанности регионов и освоение космического и воздушного пространств, Мирового океана, Арктики и Антарктики, обеспечение управляемости и живучести инфраструктуры топливно-энергетического комплекса, повышение защищенности и устойчивости функционирования информационно-коммуникационной инфраструктуры, развитие электротранспорта и решение других приоритетных направлений развития страны. В рамках Стратегии деятельности корпорации «Росатом» запланировано развитие направления «Производство накопителей энергии», что не только потенциально затрагивает такие традиционные сферы деятельности корпорации, как обеспечение выполнения государственных задач в сфере обороноспособности и соблюдение промышленной безопасности на объектах энергетики, но и способствует развитию таких смежных новых направлений, как ветроэнергетика, цифровые платформы, робототехника, «умный город», а также добыча лития и его соединений. В целях развития данного направления на базе АО «ТВЭЛ» создан отраслевой интегратор в области систем накопления электроэнергии ООО «РЭНЕРА», целевой продукцией которого будут литий-ионные аккумуляторы (ЛИА) и батареи на их основе.



Основными нишами применения накопителей, планируемых к производству на базе ООО «РЭНЕРА» являются электротранспорт, энергетика и промышленный сектор, что коррелирует с общемировыми трендами: по некоторым оценкам, на данные сегменты в 2019 году приходилось соответственно 30%, 17% и 13% мирового рынка аккумуляторов. Наиболее заметный рост наблюдается в секторах электротранспорта (17-кратный рост продаж в период с 2010 по 2019 год) и автономной энергетике (до 2011 года данный сегмент практически отсутствовал).

Появление новых областей применения, равно как и взрывной рост производства ЛИА, стали возможными благодаря разработке и внедрению новых электродных материалов: катодных – LiMn_2O_4 (LMO), $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Mn}_z\text{O}_2$ (NCM), $\text{LiNi}_{0,8}\text{Co}_{0,15}\text{Al}_{0,05}\text{O}_2$ (NCA) и LiFePO_4 (LFP) и анодных – искусственного графита с добавкой кремния и $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ (LTO). Благодаря этому удельная энергия ЛИА увеличилась с 90 Вт·ч/кг и 200 Вт·ч/л в 1991 году до 268 Вт·ч/кг и 684 Вт·ч/л сегодня, ресурс – с 500 до десятков тысяч циклов, минимальное время их заряда уменьшилось с 60 до 10-15 минут, а стоимость в пересчете на 1 кВт·ч запасенной энергии – с 7 500 долларов США в 1991 году до современного уровня чуть выше 100 долларов, достижение которого, по мнению специалистов, позволит электромобилям достичь ценового паритета с классическими автомобилями, оснащенными двигателями внутреннего сгорания.

Несмотря на достигнутый прогресс, параметры ЛИА во многом не удовлетворяют возрастающим требованиям потребителей. Основной проблемой является то, что энергоемкие ЛИА не соответствуют требованиям условий эксплуатации в части удельной мощности, длительности быстрого заряда, циклического ресурса, срока службы и безопасности, а ЛИА, удовлетворяющие требованиям по мощности, ресурсу и безопасности, характеризуются малой энергоемкостью. Кроме того, требуемое производителями систем электродвижения увеличение удельной энергоемкости (400–600 Вт·ч/кг / 800–1000 Вт·ч/л) неосуществимо в рамках



литий-ионных электрохимических систем на основе интеркаляционных материалов. Таким образом, требуется реализация иных подходов на основе качественно новых технических решений. В частности, повышение удельной энергии возможно за счет перехода от углеродных анодов к кремниевым и литий-металлическим и от применяемых сегодня катодных материалов к NCM с увеличенным содержанием лития в ближайшем будущем и к NCM с повышенным содержанием лития и марганца (LMRNCM) или «высоковольтным» шпинелям – в дальней перспективе.

Специфической проблемой российских производителей является низкое качество ЛИА, которые в некоторых случаях по техническим характеристикам уступают продукции мировых лидеров в несколько раз. Ряд организаций, позиционирующих себя как российские производители, на самом деле реализуют аккумуляторы и батареи, произведенные за рубежом; некоторые компании собирают батареи из импортных аккумуляторов. Единицы предприятий производят продукцию на уровне ячеек для спецприменений, в основном слаботочных, таких как электроника и оборудование связи и, в силу этого неприменимых в транспорте, энергетике и на промышленных объектах. Продукция данных производителей в основном характеризуется малыми объемами производства с использованием устаревших конструкций, технологий и оборудования. В масштабах мирового рынка роль России сводится к поставкам сырья (никель, в меньшей степени кобальт, медь и алюминий) с низкой добавленной стоимостью, в пределах 5% от цены готовой батареи. Особо острой является проблема отсутствия качественных отечественных материалов, как электродных, так и для применения в сепараторах и электролитах. Несмотря на то, что в ряде ведущих российских исследовательских центров разработаны материалы, по параметрам не уступающие или даже превосходящие мировые аналоги, данные технические решения по ряду причин реализованы лишь на лабораторном уровне.

В целях поиска путей решения указанных проблем на базе



АО «Гиредмет» в 2021 году создана лаборатория материалов и технологий современной энергетики. Предпосылками для этого, помимо многолетнего опыта АО «Гиредмет» в области получения редких металлов, сплавов и полупроводниковых материалов, а также разработки сопутствующих технологий, является задел института в виде ранее разработанных опытных технологий получения электродных материалов ЛИА – как катодных (NCM), так и анодных (LTO, получено 2 патента на изобретение). Основной сферой деятельности лаборатории будет являться разработка материалов для ЛИА, пост-литиевых аккумуляторов и суперконденсаторов, а также масштабируемых технологий их производства. Предметами перспективных НИР будут как совершенствование и преодоление недостатков существующих активных материалов (циклическая и термическая нестабильность и медленный заряд высокоэнергоемкого NCM, низкая энергоемкость и медленный заряд LFP, низкая энергоемкость и взаимодействие с электролитом LTO) и поиск их альтернатив, так и решение проблем, препятствующих широкой коммерциализации материалов нового поколения (низкая мощность, спад напряжения и емкости, взаимодействие с электролитом LMRNCM, механическая нестабильность кремния в процессе циклирования, токовая и циклическая нестабильность и небезопасность металлического лития, низкая проводимость, механические свойства и температурные характеристики, а также низкая технологичность получения твердых электролитов). Преодоление указанных проблем возможно за счет привлечения широкого спектра стратегий, таких как варьирование состава, структуры, кристаллографической ориентации, морфологии и размеров частиц материалов, применение композитов и защитных покрытий, разработка новых составов электролитов, подбор метода и условий синтеза и т.д.

Работу лаборатории планируется выстраивать в тесном взаимодействии как с ведущими научно-исследовательскими институтами страны, так и с основными производителями накопителей. Ожидается, что



разработанные технологии смогут найти применение на профильных промышленных предприятиях Госкорпорации «Росатом».

***Лаборатория твердооксидных электрохимических устройств –
Отделение материалов накопителей и преобразователей энергии***

Начальник лаборатории – д-р хим. наук М.В. Ананьев

В октябре 2020 года Правительством Российской Федерации утвержден план мероприятий «Развитие водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 года». Переход к новым энергоносителям, таким как водород или аммиак, а также реализация концепции распределенной энергетики невозможны без эффективных электрохимических устройств для генерации электроэнергии и получения водорода. К наиболее энергоемким устройствам, преобразующим энергию реакции сгорания топлива в электрическую энергию и тепло являются топливные элементы. Среди многообразия видов топливных элементов, таких как щелочные, с твердополимерной протонно-обменной мембраной, фосфорно-кислотные, среднетемпературные на основе кислых солей, расплавкарбонатные, наибольшую удельную энергоемкость можно достичь с помощью высокотемпературных твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ). А гибридные энергоустановки на основе ТОТЭ и газовых турбин считаются на данный момент технологией с наиболее высоким КПД.

Технология ТОТЭ может быть использована для создания стационарных и мобильных энергоустановок для генерации электроэнергии и тепла мощностью от нескольких десятков Вт до сотен кВт: для электро- и теплоснабжения частных хозяйств, стратегических объектов, радиолокационных станций, станций операторов сотовой связи, станций катодной защиты газотрубопроводов. ТОТЭ могут работать на водороде или углеводородном топливе, включая продукты переработки твердых бытовых отходов, газификации угля, биотопливо.

Другой перспективной технологией для водородной энергетики являются твердооксидные электролизеры. С их помощью можно довольно

эффективно получать из воды или водяного пара чистые водород и кислород. Твердооксидные электролизеры могут быть использованы для создания накопителей, работающих на принципе power-to-gas, для электростанций. Кроме того, с их помощью можно получать кислород и угарный газ из углекислого газа, а эта технология уже нашла применение при освоении Марса, ведь атмосфера на нем на более чем 95% состоит из CO₂.

Твердооксидные электрохимические насосы могут быть использованы для создания стационарных и мобильных генераторов кислорода и гипероксических смесей, в том числе для применения в медицине для лечения больных с легочной недостаточностью различного генеза, включая COVID-19.

Особо стоит отметить новый тип оксидных электрохимических устройств: среднетемпературные протонно-керамические топливные элементы и электролизеры. Первый тип устройств может работать при более низких температурах, чем ТОТЭ, тем самым обладая большей долговечностью. Кроме того, благодаря оксидной керамической мембране с протонной проводимостью, возможна разработка технологий генерации электроэнергии с помощью углеводородного топлива с нулевым выбросом углерода в атмосферу. А углерод будет накапливаться в виде продуктов с высокой добавочной стоимостью, таких как метанол, диметиловый эфир и др. по принципу power-to-liquid. Протонно-керамические топливные элементы подходят, если в качестве топлива использовать аммиак – как одно из самых энергоемких или водородоемких соединений. В результате реакции образуется вода и азот. Это является также зеленой технологией и основой для будущей, возможно, аммиачной энергетики.

Использование протонно-керамических электролизеров для электролиза воды является более экономичным по сравнению с высокотемпературными твердооксидными с кислородно-ионным электролитом. Кроме электролиза воды, протонно-керамические электролизеры перспективны в химической промышленности для электролиза углеводородов с образованием димеров, например, этилена и ацетилена из

метана и водорода. А это может быть использовано для создания заправочных водородных станций с использованием уже имеющейся газовой инфраструктурой. Электрохимические насосы на протонно-керамической мембране могут быть использованы для очистки водорода, полученного другими методами, а также в процессах извлечения водорода при транспортировке или из отработанных газовых скважин. Изотопные эффекты проводимости позволяют использовать протонно-керамические устройства для получения изотопов водорода, таких как протий, дейтерий и тритий, востребованных в термоядерной энергетике.

Создание в 2021 году лаборатории твердооксидных электрохимических устройств в АО «Гиредмет» является своевременным шагом. В лаборатории планируется работа по следующим направлениям:

1) Разработка новых функциональных материалов для твердооксидных электрохимических устройств и изучение их электрофизических и электрохимических свойств. Среди различных групп материалов стоит отметить кислородно-ионные и протонные электролиты, электродные материалы со смешанной кислородно-ионной и электронно-дырочной проводимостями, материалы с тройной проводимостью, металлокерамические композиционные материалы для топливных электродов, интерконнекторы и защитные покрытия к ним, коммутационные и герметизирующие высокотемпературные материалы.

2) Формирование электрохимических ячеек и сборок из нескольких ячеек для испытания материалов на совместимость, а также для получения электрохимических характеристик топливных и электролизных ячеек, электрохимических кислородных и водородных насосов и электрохимических газовых сенсоров.

3) Ресурсные испытания функциональных материалов и электрохимических ячеек и сборок на их основе в режимах работы электрохимических устройств.

4) Изучение процессов, протекающих в твердооксидных и протонно-керамических электрохимических ячейках для выявления механизма протекающих процессов и лимитирующих стадий. Знание лимитирующих стадий позволит разрабатывать подходы для целенаправленного влияния на них с целью повышения эффективности работы электрохимических устройств и их долговечности.

5) Моделирование электрохимических процессов, в том числе с использованием нейросетевых алгоритмов, алгоритмов клеточного автомата и др. для прогнозирования производительности разрабатываемых электрохимических устройств, в том числе и в условиях длительной эксплуатации.

Решение этих задач позволит при грамотной организации работы создать научную основу для технологий получения как материалов, так и твердооксидных электрохимических устройств, и внести весомый вклад в развитие энергетики будущего.

Лаборатория термоэлектрических материалов – Отделение материалов накопителей и преобразователей энергии

Начальник лаборатории – В.П. Панченко

Лаборатория материаловедения и технологии термоэлектрических материалов была создана в 1994 г. Ее основателем и первым руководителем был Владимир Борисович Освенский – доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, академик Международной академии холода, лауреат Государственной премии, соавтор научного открытия. Основными предпосылками создания лаборатории было резкое сокращение финансирования и падения спроса на традиционные полупроводниковые материалы со стороны основных потребителей, что послужило стимулом продолжать исследования не только в традиционных, но и в новых для него направлениях. Одновременно с этим, в мире возрос интерес к термоэлектрическому преобразованию энергии, основными преимуществами которого является его абсолютная экологическая чистота, поскольку роль

рабочего вещества играет электронный и дырочный газ полупроводника. Также следует добавить отсутствие движущихся частей, надежность, практически неограниченный ресурс работы (до 20 лет), бесшумность, малая инерционность, возможность плавного и точного регулирования режима работы, устойчивость к динамическим и статическим перегрузкам и др.

Лабораторией совместно с Институтом химических проблем микроэлектроники (ИХПМ) были начаты работы в области термоэлектрического материаловедения и приборостроения, основной целью которых являлась как разработка новых, так и совершенствование традиционных материалов, а также создание многофункциональной технологии получения высокоэффективных охлаждающих и генераторных модулей с высоким значением коэффициента полезного действия.

Первые работы были направлены на разработку физико-химических основ и технологии получения методом вертикальной направленной и зонной кристаллизации текстурированных кристаллов твердых растворов халькогенидов висмута и сурьмы, а также охлаждающих термоэлектрических модулей на их основе с эксплуатационными характеристиками на уровне лучших мировых достижений. Была разработана технология получения термоэлектрических материалов на основе халькогенидов висмута и сурьмы для термогенераторов электроэнергии, работающих в диапазоне температур 100-300 °С. Разработаны оптимизированные термоэлектрические материалы, используемые для создания многокаскадных охлаждающих модулей на рабочие температуры до -110 °С. Основной вклад в работу внесли В.Б. Освенский, В.В. Каратаев, Н.В. Луткова, Н.В. Малькова, Г.В. Шепекина и Г.П. Лимаренко.

Начиная с 2008 г., впервые в России сотрудниками лаборатории были начаты работы по получению объемных наноструктурированных термоэлектрических материалов. Был выполнен комплекс исследований закономерностей формирования наноструктуры и термоэлектрических свойств в зависимости от условий получения материала. Экспериментальные

исследования проводили параллельно с теоретическим анализом механизмов тепло- и электропереноса, определяющих термоэлектрическую добротность. В этих работах был использован эффективный метод консолидации нанопорошков – искровое плазменное спекание (ИПС).

В период 2011-2013 гг. были выполнены работы по созданию технологии производства нового класса объемных термоэлектрических материалов с нано-, микро- и субмикронными элементами структуры. Под руководством Ю.Н. Пархоменко, в институте АО «Гиредмет», велась масштабная работа по модернизации технологического парка научно-производственного комплекса, благодаря чему лаборатория термоэлектрических материалов получила передовое оборудование, например, измерительную установку Ulvac ZEM-3 (Япония), установку искрового плазменного спекания DR SINTER SPS-511S (Япония), планетарно-шаровую мельницу Retsch PM400MA (Германия), гидравлические прессы ИП-1000, ИП-2500 (Россия) и т.д., что позволило успешно решить поставленные задачи. Одновременно были начаты работы по созданию технологии получения низкотемпературных термоэлектрических материалов на основе халькогенидов висмута и сурьмы методом экструзии. В результате были созданы два технологических участка получения высокоэффективных объемных термоэлектрических материалов: методами горячей экструзии и искрового плазменного спекания (рисунок 30-31). В таблице 6 представлены термоэлектрические характеристики материалов на основе теллурида висмута, полученных по разработанной сотрудниками лаборатории технологии.

Таблица 6 Термоэлектрические характеристики материалов на основе теллурида висмута

Материал	Электропроводность, $\sigma, \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{ см}^{-1}$	ТермоЭДС $\alpha, \text{ мкВ/К}$	Термоэлектрическая эффективность $Z, 10^{-3} \cdot \text{ К}^{-1}$
Р-тип	850-1200	230-195	3,0 – 3,2
Н-тип			2,7 – 2,9

Наиболее активное участие в выполнении работ по разработке технологии получения термоэлектрического материала методом экструзии и ИПС приняли В.Б. Освенский, В.В. Каратаев, И.А. Драбкин, М.Г. Лаврентьев, В.П. Панченко, М.В. Воронов, А.А. Иванов, А.А. Игонина и А.И. Сорокин.

С 2014 г. в соответствии с основными тенденциями развития науки о термоэлектрических материалах в мире акцент в проводимых в лаборатории исследованиях сместился в сторону получения новых среднетемпературных (500 – 900 К) термоэлектрических материалов, предназначенных для создания высокоэффективных термоэлектрических генераторов электроэнергии.

В направлениях работ лаборатории следует отметить новые направления:

- исследования и разработка технологии получения средне- и высокотемпературных термоэлектрических материалов;
- проведение комплекса теоретических и расчетных работ по обоснованию свойств термоэлектрических материалов методом функционала плотности и электронных свойств, разработка конструкции термоэлектрической батареи из высокоэффективных термоэлектрических материалов и создание ее цифровой модели;
- разработка высокоэффективных малогабаритных термоэлектрических микрогенераторных модулей.

В настоящее время лаборатория располагает парком современного технологического и измерительного оборудования, необходимого для решения следующих задач:

- синтез композиционного материала (методы сплавления компонентов, индукционная плавка, твердотельных реакций, включая механохимический синтез);
- получение нано- и микропорошков (механоактивационная обработка в высокоэнергетических шаровых мельницах);
- работа с нанопорошками в защитной атмосфере с контролем содержания кислорода и влаги;

- консолидация порошков (искровое плазменное спекание, горячее прессование, экструзия);
- измерение термоэлектрических свойств при температурах до 800 °С.

Стоит отметить, что все достигнутые результаты были бы невозможны без участия ведущих научных организаций РФ, таких как:

- НИТУ МИСиС в лице В.Т. Бублика, Н.Ю. Табачковой, Б.Р. Сенатулина.
- ФГБНУ ТИСНУМ в лице В.Д. Бланка, Г.И. Пивоварова.
- Университет ИТМО в лице Л.П. Булата, А.В. Новотельновой, А.С. Тукмаковой.
- ФТИ им. А.Ф. Иоффе в лице Д.А. Пшенай-Северина.
- Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского в лице А.И. Простомолотова.



Рисунок 30. Получение термоэлектрического материала методом искрового плазменного спекания

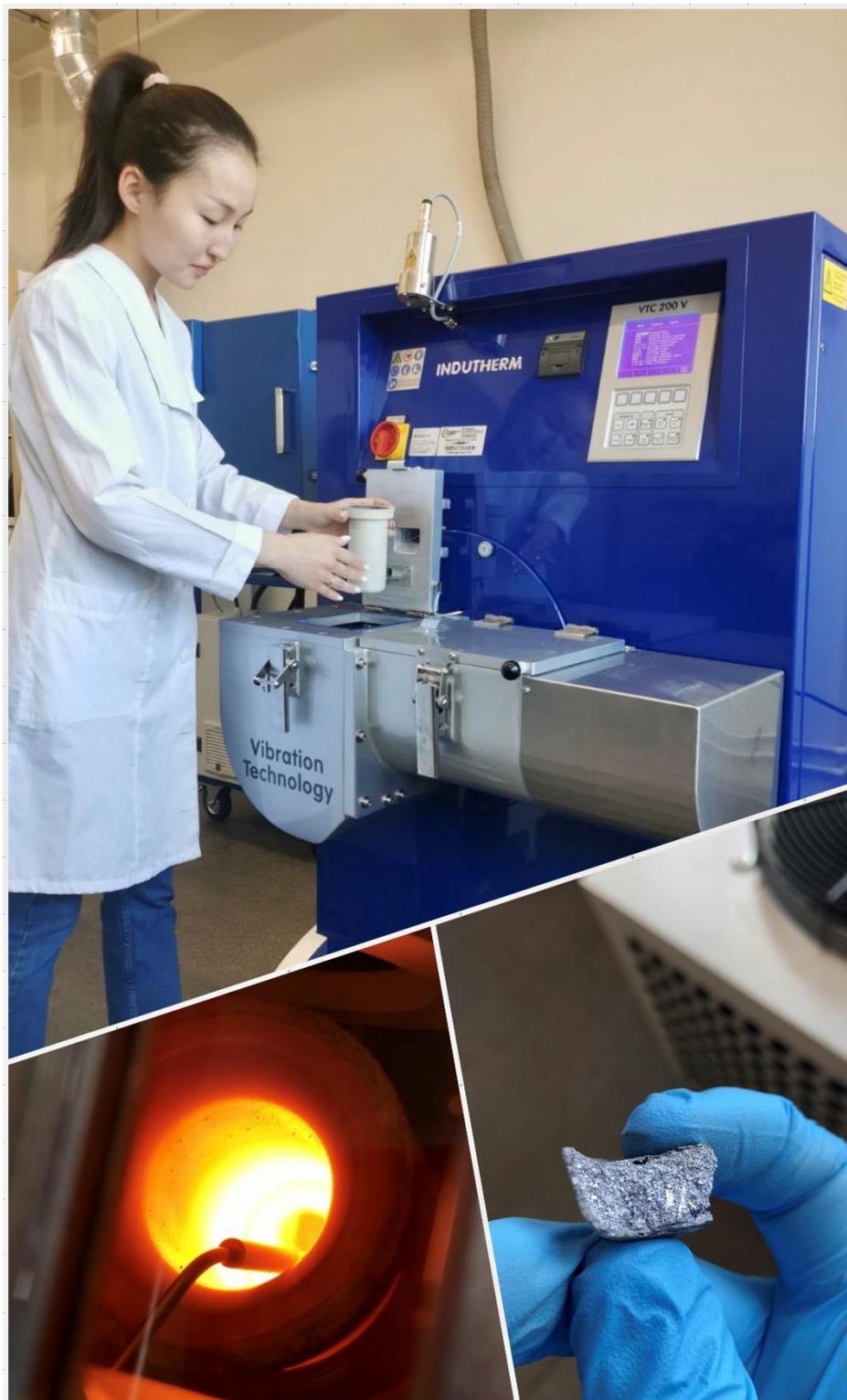


Рисунок 31. Получение термоэлектрического материала в индукционной литейной машине Indutherm VTC200V

Испытательный аналитико-сертификационный центр

Начальник – канд. хим. наук Е.С. Кошель

ИАСЦ располагает уникальным комплектом аналитических приборов и оборудования отечественного и зарубежного производства, позволяющим решать сложные аналитические задачи:

– Масс-спектрометрия: Искровой масс-спектрометр с двойной фокусировкой JMS-01BM-2 (JEOL); Масс-спектрометр высокого разрешения с ионизацией в тлеющем разряде ELEMENT GD (Thermo Fisher Scientific); Масс-спектрометр с индуктивно-связанной плазмой (ИСП) XSeries II (Thermo Fisher Scientific) – анализ примесного состава (от Li до U) чистых и высокочистых веществ и материалов с рекордной чувствительностью 10^{-7} – 10^{-8} % масс.

– Рентгенофлуоресцентная спектрометрия (Рентгенофлуоресцентный спектрометр ARL OPTIM'X (Thermo Fisher Scientific); Портативный рентгенофлуоресцентный анализатор AL.SERIES (INNOV-X SYSTEMS) – качественное и количественное определение химического состава веществ и материалов от 10^{-3} – 100 % масс.

– Атомно-эмиссионная спектрометрия (Спектрометр с анализатором МАЭС «Гранд-Экстра» (ВМК-Оптоэлектроника), Атомно-эмиссионный спектрометр с ИСП iCAP 6300 (Thermo Fisher Scientific) – количественное определение химического состава веществ и материалов от 10^{-6} – 90 % масс.

– Инфракрасная спектрометрия: Анализатор кислорода, азота, водорода ONH836 (LECO), Анализатор углерода и серы в металлах SC844 (LECO) – определение газообразующих примесей в металлах и материалах на их основе от 10^{-5} – 1 %.

– Атомно-абсорбционная спектрометрия: Атомно-абсорбционный спектрометр ZEEMAN-3030 (PERKIN ELMER), Атомно-абсорбционный спектрометр contraa 600 с источником сплошного спектра (Analytik Jena AG) – количественное определение химического состава веществ и материалов от 10^{-6} – 10 % масс.



– Рентгеновская дифракция. Порошковый дифрактометр D2 PHASER (Bruker) – определение фазового состава порошковых проб.

– Лазерная дифракция. Лазерный анализатор размера частиц LS13 320 (Beckman Coulter) – определение размера частиц в диапазоне прямых измерений: 10 нм – 3 500 мкм.

– Газовая сорбция. Высокоскоростной анализатор площади поверхности и размеров пор Nova 1200e (Quantachrome, США) – определение площади поверхности от 0,01 м²/г, размера пор от 0,35 до 500 нм (от 3,5 до 5000 Å).

– Вспомогательное оборудование для химической и механической подготовки проб: Аналитическая просеивающая машина Retsch; Лабораторная вибрационная дисковая мельница Retsch; Лабораторный гидравлический пресс Carver; Планерная шаровая мельница Retsch; Станок отрезной настольный; Станок шлифовальный, Печь высокотемпературная Linn High Therm и другое).

В 2021 году ИАСЦ были проведены следующие работы:

– разработана методика определения европия в титанате лития, допированного европием, как анодного материала для литий-ионных аккумуляторов;

– разработана методика количественного определения содержания иттрия в сплавах на основе титана;

– разработана методика анализа оксида лютеция без предварительного растворения пробы с расширенным кругом определяемых примесей и улучшенными метрологическими характеристиками по сравнению со стандартизованными методиками;

– разработана методика дугового атомно-эмиссионного анализа оксида церия, удовлетворяющая современным требованиям по точности и чувствительности определения примесей;

– разработана технологическая схема селективного сорбционного извлечения всех благородных металлов из отработанных

(сбросных) реальных растворов после аффинажных процессов завода «Красцветмет». Достигнуто полное, выше 99,9% извлечение серебра, золота, платины, палладия, иридия, рутения в концентраты сорбентов собственной разработки;

– продолжены работы по синтезу и исследованию свойств аминотиоэфирных сорбентов, разработан способ синтеза нового сорбента и усовершенствована технология получения ранее разработанного сорбента.

В 2021 году сотрудники ИАСЦ приняли участие в программе Российского научного фонда на тему «Исследование и разработка комплекса аналитических методов определения целевой химической чистоты редкоземельных металлов и материалов на их основе».

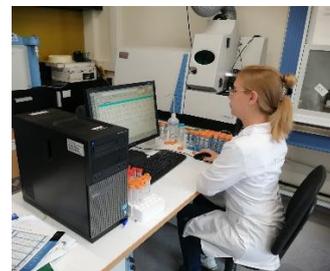
Особенностью работы ИАСЦ является большое количество нестереотипных задач, решение которых требует применения, как совокупности методов аналитического контроля, так и кардинально новых методических подходов. Требования к выпускаемой продукции постоянно растут и, как следствие, необходима постоянная актуализация устаревших, не универсальных методик и замены на новые, обладающие многоэлементностью, экспрессностью и высокими метрологическими показателями. Постоянно ведется работа по поиску нового современного оборудования и оптимизации процессов подготовки проб к анализу (рисунок 32).



а



б



в

Рисунок 32. Сотрудники ИАСЦ на рабочем месте: *а* – В.В. Орлов, старший научный сотрудник ИАСЦ; *б* – Л.Ю. Межевая, ведущий инженер-технолог; *в* – Н.А. Короткова, инженер-технолог 2 категории

ВНЕДРЕНИЕ СОЗДАНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В 2021 ГОДУ

Ключевые проекты, завершённые в отчетном году – НИОКР в рамках ЕОТП Госкорпорации «Росатом»:

– по приоритетному направлению научно-технологического развития (ПННТР) «Ядерная медицина» – «Разработка технологии получения монокристаллических сцинтилляторов на основе редкоземельных металлов и детекторных модулей для позитронно-эмиссионного томографа с время пролетной технологией» (заказчик по договору – АО «НИИТФА»);

– вне ПННТР – «Разработка новых высокоэффективных среднетемпературных термоэлектрических материалов для создания генератора с КПД не менее 15%» (ЕОТП-ВНЕ-144, заказчик по договору – АО «Наука и инновации»). В 2021 году выполнены заключительные этапы. Технологический уровень готовности (TRL) заключительных этапов работ установлен на уровне TRL 4.

По итогам заявочной кампании 2021 года в состав ЕОТП Госкорпорации «Росатом» по ПННТР «Материалы и технологии» вошли НИОКР АО «Гиредмет» по трем темам: «Разработка технологии получения полированных пластин на основе монокристаллов антимонида галлия, сильнолегированных теллуrom» (ЕОТП-МТ-442), «Разработка технологии получения металлических индивидуальных РЗМ иттриевой подгруппы (Gd, Tb, Dy, Ho, Er) чистотой не менее 99,95 % из оксидов» (ЕОТП-МТ-454) и «Создание материалоэффективного производства порошков титановых сплавов для аддитивных технологий на основе отечественных наукоемких технологий» (ЕОТП-МТ-455). Работы запланированы на период 2021-2023 гг. По итогам этапов 2021 года установлен технологический уровень готовности TRL 2, а по завершении всех работ TRL достигнет уровня не ниже TRL 5.

В 2021 году успешно выполнены промежуточные этапы НИОКР в рамках одобренных в 2019 году АО «Наука и инновации» затратных инвестиционных мероприятий (ИМ):

– НИОКР по теме «Разработка технологии производства циркониевых порошков» (ИМ шифр «Цирконий», ID 054-002-655).

– НИОКР по теме «Разработка технологии и создание образцов конденсаторного тантала» (ИМ шифр «Тантал», ID 054-002-654).

– НИОКР по теме «Разработка технологии производства особо чистого скандия» (ИМ шифр «Скандий», ID 054-002-663).

– НИОКР по теме «Разработка технологии получения монокристаллов антимонида индия диаметром 100 мм и изготовление из них пластин качества «epi-ready», используемых для создания тепловизионных и фотопреобразовательных приборов» (ИМ шифр «Антимонид индия», ID 054-002-652).

– НИОКР по теме «Разработка технологии получения монокристаллов арсенида индия диаметром 100 мм и изготовление из них пластин качества «epi-ready», используемых для оптоэлектронных устройств наземного и космического базирования» (ИМ шифр «Арсенид индия», ID 054-002-660).

– НИОКР по теме «Разработка технологии роста монокристаллов арсенида галлия диаметром до 100 мм в магнитном поле» (ИМ шифр «Магнит», ID 054-002-661).

– НИОКР по теме «Разработка технологии изготовления ИК фотодиодов на основе эпитаксиальных слоев кадмий-ртуть-теллур» (ИМ шифр «КРТ», ID 054-002-674).

– НИОКР по теме «Разработка методов химической диагностики неядерных материалов атомной промышленности» (ИМ шифр «ИАСЦ», ID 054-002-653).

– НИОКР по теме «Разработка технологии и выпуск опытной партии оптического волокна ИК-диапазона из галогенидов серебра и таллия» (ИМ шифр «Оптоволокно», ID 054-002651).

– НИОКР по теме «Разработка технологии ультрапрецизионной обработки линз и светоделительных колец методом квазипластичного

алмазного точения» в рамках инвестиционного проекта «Создание участка ультрапрецизионной обработки оптических элементов ИК-диапазона из галогенидов таллия методом квазипластичного алмазного точения» (ИМ шифр «Линзы», ID 054-003-377).

Закупка оборудования в рамках заделных НИОКР и модернизация технологического оборудования на производственных участках позволила повысить качество выращиваемых монокристаллов арсенида галлия GaAs для совершенствования (электрофизические характеристики) пластин на его основе, монокристаллов антимонида индия InSb и арсенида индия InAs диаметром 100 мм для изготовления из них пластин качества «epi-ready», кристаллов ортосиликата лютеция из расплава методом Чохральского для выпуска монокристаллов-сцинтилляторов детекторных ПЭТ-модулей, изготовленных ИК фотодиодов на основе эпитаксиальных слоев КРТ, оптического волокна ИК-диапазона из галогенидов серебра и таллия, произведенного особо чистого скандия.

По завершении затратных инвестиционных мероприятий АО «Гиредмет», проводимых в период 2019-2023 гг., запланирован вывод на рынок высокотехнологичной продукции нового качества. В отчетном периоде технологический уровень готовности технологий получения материалов и продукции, выпускаемой на их основе (циркониевые порошки, монокристаллы и пластины арсенида индия, монокристаллы арсенида галлия, др.), достиг уровней TRL3 - TRL4 (монокристаллы/ пластины) и TRL 5 (металлические порошки).

В результате выполнения планируется создать концепции новых доходных проектов. Так, в 2021 году на основе инвестиционного мероприятия «Оптоволокно» («Разработка технологии и выпуск опытной партии оптического волокна ИК-диапазона из галогенидов серебра и таллия») подготовлен и утвержден новый инвестиционный проект «Линзы» («Создание участка ультрапрецизионной обработки оптических элементов ИК-диапазона из галогенидов таллия методом квазипластичного алмазного точения»),

реализуемый с запланированным выходом на доходный проект к концу 2022 года.

Среди наиболее значимых научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, научно-технических услуг, выполненных АО «Гиредмет» для научных организаций и предприятий реального сектора экономики, следует отметить следующие:

– СЧ ОКР по теме «Разработка технологии выращивания кристаллов твердого раствора кадмий-цинк-теллур и первичной подготовки подложек на их основе для эпитаксиального наращивания фоточувствительных слоев кадмий-ртуть-теллур» шифр «Базис» (заказчик по договору – АО «НПО «Орион»);

– НИОКР по теме «Разработка технологии выращивания кристаллов твердого раствора кадмий-цинк-теллур и первичной подготовки подложек на их основе для эпитаксиального наращивания фоточувствительных слоев кадмий-ртуть-теллур», кроме того, теоретические и экспериментальные исследования по созданию монокристаллов КЦТ и первичной подготовке подложек для АО «НПО «Орион»;

– НИОКР «Создание лабораторной установки хлорирования в псевдокипящем слое. Исследование процесса хлорирования диоксида циркония в псевдокипящем слое. Разработка исходных данных для создания опытно-промышленной установки хлорирования в псевдокипящем слое производительностью 10 кг/ч по $ZrCl_4$ » для АО «ЧМЗ»;

– НИОКР «Разработка технологии производства тетрахлорида гафния» (заказчик по договору – АО «ЧМЗ»);

– НИР «Подбор и исследование сорбентов для извлечения драгоценных металлов» (заказчик по договору – ОАО «Красцветмет»);

– НИОКР «Исследование процесса получения тугоплавких металлов (вольфрам, рений) на горизонтальных трубчатых печах с выпуском опытной партии» для АО «ВНИИХТ»;

– НИР «Разработка технологии получения малых партий высокочистых щелочных металлов»;

– количественный и качественный анализ образцов и проб, аналитический контроль качества для российских и зарубежных (ТОО KAZ GELBERT INVEST) заказчиков, в том числе оказание услуг предприятиям Госкорпорации «Росатом» в области исследований, измерений, испытаний и сертификации материалов, предоставления учтенных экземпляров нормативно-технической документации.

Все соответствующие сведения своевременно вносятся в Информационную систему Госкорпорации «Росатом» – УКСС «База данных НИОКР».

Ключевые результаты НИОКР, выполненных в рамках ЕОП Госкорпорации «Росатом»

Разработка технологии получения высокоэффективных среднетемпературных термоэлектрических материалов для изготовления генераторов и систем электроснабжения децентрализованных потребителей малой мощности.

Существует проблема обеспечения устойчивого энергоснабжения удаленных от централизованных сетей объектов специального и гражданского назначения, в том числе, расположенных в северном и Арктическом регионах. В настоящее время энергоснабжение автономных объектов в условиях Арктики осуществляется в основном с помощью дизельных электрогенераторов с использованием машинного способа преобразования тепловой энергии сгорания топлива. Термоэлектрические устройства генераторного типа, обеспечивающие прямое преобразование тепловой энергии в электрическую, удовлетворяют требованиям безопасности, экологичности, автономности, надежности и простоты эксплуатации.

Основными определяющими параметрами эффективности конечного термоэлектрического изделия являются ресурс его работоспособности с удовлетворительными параметрами (электрическая мощность, выходное

напряжение и т. п.) и коэффициент полезного действия. В настоящее время основным сдерживающим фактором для более широкого применения термоэлектрических генераторных устройств является их низкий КПД, определяемый качеством материалов, используемых при сборке генераторных устройств. Таким образом основной задачей является повышение термоэлектрической эффективности материалов.

Сотрудниками АО «Гиредмет» при решении задачи был применен комплексный подход: разработаны технологии получения высокоэффективных и термостабильных материалов (PbTe, GeTe, Mg₂(Si,Sn), PbSnTe, ZnSb, Zn₄Sb₃), разработана методика прогнозных расчетов термоэлектрических материалов, разработана цифровая модель термоэлектрического элемента, которая учитывает электрофизические свойства используемых материалов, изготовлены экспериментальные образцы термоэлектрической батареи с повышенным КПД термоэлектрического преобразования. Все термоэлектрические материалы, которые были получены в ходе выполнения работ, продемонстрировали термоэлектрические характеристики, которые превосходят существующий мировой уровень. Проведенные испытания термоэлектрической батареи, в состав которой входили полученные материалы, продемонстрировали значение КПД термоэлектрического преобразования >15%, что на 20% превышает существующие на рынке решения.

Разрабатываемые решения могут быть использованы при решении проблемы энергообеспечения автономных объектов, располагаемых в северных труднодоступных и удаленных регионах Российской Федерации, таких как удаленно расположенные населенные пункты, метеорологические и навигационные станции, специальные объекты Министерства обороны, что будет способствовать достижению стратегических целей и приоритетов развития в соответствии со Стратегией развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года.

Публикации:

1. A.A. Ivanov, D.I. Bogomolov, V.T. Bublik, M.V. Voronov, M.G. Lavrentev, V.P. Panchenko, Y.N. Parkhomenko, N.Y. Tabachkova. Phase Composition and Thermoelectric Properties of Materials Based on Cu_{2-x}Se ($0,03 \leq x \leq 0,23$). Nanotechnol Russia 16, 351–356 (2021). <https://doi.org/10.1134/S2635167621030083>.

2. M.G. Lavrentev, V.T. Bublik, V.P. Panchenko, Y.N. Parkhomenko, N.Y. Tabachkova, M.V. Voronov. Regularities of Structure Formation in 30 mm Rods of Thermoelectric Material during Hot Extrusion. Materials. 2021; 14(22):7059. <https://doi.org/10.3390/ma14227059>.

3. «Способ получения термоэлектрического материала на основе теллурида свинца», ноу-хау.

Разработка технологии получения монокристаллических сцинтилляторов на основе редкоземельных металлов и детекторных модулей для позитронно-эмиссионного томографа с времяпролетной технологией.

ПЭТ является одним из наиболее эффективных методов диагностики. Детектирующие элементы (кристаллы – пиксели) модулей ПЭТ томографов последнего поколения изготовлены из монокристаллических сцинтилляторов на основе ортосиликата лютеция, активированного церием ($\text{Lu}_2\text{SiO}_5:\text{Ce}^{3+}$). Функциональные характеристики кристаллов позволяют сократить время сканирования и повысить качество получаемого изображения.

Успешное выполнение АО «Гиредмет» ранее проведенных работ по разработке технологии получения компонентов шихты (субмикронных порошков высокочистых оксидов РЗМ (лютеция, церия) и оксида кремния) для синтеза сцинтилляционных кристаллических материалов квалификационного уровня, требуемого для выращивания оптических кристаллов (Lu_2SiO_5 РЗМ (LSO)), применяемых в производстве ПЭТ томографов, гарантировало получение монокристаллов с минимальным содержанием примесей, вызывающих нарушение качества материала.

Разработка получила дальнейшее развитие в рамках приоритетного научно-технологического направления Госкорпорации «Росатом» «Ядерная медицина» в целях достижения результатов мирового уровня в области изготовления детекторных модулей на основе мультилегированного оксиортосиликата лютеция для отечественного медицинского приборостроения. В 2021 году на этапе создания сцинтилляторов для времяпролетного ПЭТ томографа (TOF-PET) специалистами института АО «Гиредмет» был выращен методом Чохральского самый крупный в мире (диаметр 75 мм, высота более 15 см, вес 5 кг) монокристалл ортосиликата лютеция, активированного церием ($\text{Lu}_2\text{SiO}_5:\text{Ce}^{3+}$), соответствующий требуемым параметрам качества – высокая плотность и световыход, короткое время затухания, хорошая радиационная стойкость (рисунок 33). Технологическая возможность синтеза кристаллов крупного размера позволяет значительно снизить удельную стоимость отдельного пикселя для ПЭТ томографа, поскольку сцинтилляционные кристаллы составляют до 40% стоимости ПЭТ-сканера.



Рисунок 33. Монокристалл ортосиликата лютеция, активированного церием ($\text{Lu}_2\text{SiO}_5:\text{Ce}^{3+}$), выращенный в АО «Гиредмет»

Публикации:

1. Юрасова О.В., Самиева Д.А., Федулова Т.В. Экстракционная технология получения высокочистого оксида лютеция для кристаллов-сцинтилляторов ортосиликатов лютеция // Международный научно-исследовательский журнал. 2019. № 11. С. 79-82.

2. Технологические и аналитические решения в схеме получения высокочистых оксидов лютеция и церия для кристаллов-сцинтилляторов. Юрасова О.В., Самиева Д.А., др. В книге: Функциональные наноматериалы и высокочистые вещества. VIII Международная конференция с элементами научной школы для молодежи. ИМЕТ РАН, 2020. С. 307-308.

3. «Установка для выращивания высокотемпературных кристаллов большого размера методом Чохральского для фотоники», ноу-хау.

Правовая охрана созданных результатов научно-технической деятельности в 2021 году

Правовая охрана разработанных технологий и продукции выполнена как в отношении секретов производства (ноу-хау), так и в отношении произведений науки (РИД НТД). В таблице 7 представлен список созданных РИД.

Таблица 7 Перечень созданных РИД

<i>Показатель</i>	<i>Наименование РИД</i>	<i>Реквизиты заявки или патента (номер, дата), приказа ноу-хау</i>	<i>Правообладатель</i>
<i>Поданные заявки на получение патентов на изобретения</i>	1. Способ получения оболочечного поликристаллического волоконного световода инфракрасного диапазона	Заявка № 2021123217 от 04.08.2021	АО «Гиредмет»



<i>Показатель</i>	<i>Наименование РИД</i>	<i>Реквизиты заявки или патента (номер, дата), приказа ноу-хау</i>	<i>Правообладатель</i>
-------------------	-------------------------	--	------------------------

<i>Оформленные секреты производства (ноу-хау)</i>	2. Устройство для выращивания монокристаллов арсенида галлия методом Чохральского	Заявка № 2021139506 от 29.12.2021	АО «Гиредмет»
	3. Способ получения монокристаллов антимонида индия диаметром более 50 мм в кристаллографическом направлении <211>	Приказ от 24.08.2021 № 62/205-П	АО «Гиредмет»
<i>Оформленные секреты производства (ноу-хау)</i>	4. Способ гидростатического прессования шихты для выращивания кристаллов ортосиликата лютеция	Приказ от 24.08.2021 № 62/204-П	АО «Наука и инновации»
	5. Отчет о НИОКР «Разработка высокоэффективных среднетемпературных термоэлектрических материалов для создания генератора с КПД не менее 15 %» (промежуточный, этап 2) инв. №9050/отч. п/п 843	Приказ от 06.07.2021 № 62/180-П	АО «Наука и инновации»
	6. Способ получения термоэлектрического материала на основе теллурида свинца	Приказ от 27.10.2021 № 62/282-П	АО «Наука и инновации»

АО «Гиредмет» предоставляет право использования созданных результатов интеллектуальной деятельности предприятиям реального сектора экономики различных форм собственности, в том числе относящихся к



субъектам малого и среднего предпринимательства (МСП), на основании заключенных долгосрочных лицензионных договоров (таблица 8).

Таблица 8 Перечень использованных РИД

№	Наименование РИД	Правообладатель	Лицензиар/ лицензиат
1	Изобретение «Способ получения эпитаксиальных слоев CdxHg1-xTe р-типа проводимости», охраняемое патентом РФ № 2602123	АО «Гиредмет»	АО «Гиредмет»/ ЗАО «НПЦ «Реагент»,
2	Изобретение «Способ получения эпитаксиальных слоев CdxHg1-xTe из раствора на основе теллура», охраняемое патентом РФ № 2633901	АО «Гиредмет»	АО «Гиредмет»/ ЗАО «НПЦ «Реагент»
3	Изобретение «Способ получения композиционного материала на основе полимерной матрицы для микроэлектроники», охраняемое патентом РФ № 2610606	АО «Гиредмет»	АО «Гиредмет»/ ООО «РедМетПром999»
4	Изобретение «Способ получения тетрахлорида кремния высокой чистоты», охраняемое патентом РФ № 2672428	АО «Гиредмет»	АО «Гиредмет»/ ООО «Ланхит»
5	Изобретение «Способ электроокисления ионов церия (III)», охраняемое патентом РФ № 2673809	АО «Гиредмет»	АО «Гиредмет»/ ООО «Ланхит»
6	Ноу-хау «Способ получения оксида лютетия из его концентрата» от 22.08.2018 № 62/168-П	АО «Гиредмет»	АО «Гиредмет»/ ООО «Ланхит»
7	Ноу-хау «Способ получения нанокристаллических порошков оксида цинка ZnO» от 27.12.2016 № 62/195-П	АО «Гиредмет»	АО «Гиредмет»/ ООО «РедМетПром999»

Созданные ранее результаты интеллектуальной деятельности обеспечили выпуск инновационной продукции в 2021 году и способствовали выполнению Программы инновационного развития и технологической модернизации Госкорпорации «Росатом» на период до 2030 года (в гражданской части) (приказ Госкорпорации «Росатом» от 31.03.2021 № 1/396-П) (таблица 9).



Таблица 9 Сводные данные по созданным РИД, обеспечивающим выпуск инновационной продукции в 2021 году

<i>Вид инновационной продукции</i>	<i>Описание объекта интеллектуальной собственности, используемого для получения инновационной продукции (номер, год закрепления приоритета, срок полезного использования)</i>
<i>Предоставление права использования РИД внешним заказчикам</i>	ИЗ № RU 2610606, 2017, 18 лет ИЗ № RU 2602123, 2016, 19 лет ИЗ № RU 2633901, 2017, 19 лет ИЗ № RU 2672428, 2018, 19 лет ИЗ № RU 2673809, 2018, 20 лет ИЗ № RU 2416494, 2018, 11 лет
<i>Металлургическая продукция, в том числе порошки, лигатуры, сплавы (ЗАО «СМЗ», ПО «Вольфрам», пр.)</i>	
<i>Монокристаллы, пластины из монокристаллов (АО «НИИПП», пр.)</i>	ИЗ № RU 2531514, 2019, 14 лет
<i>Гетероэпитаксиальные структуры, подложки (АО «НПО «Орион», пр.)</i>	ИЗ № RU 2633901, 2017, 19 лет
<i>Услуги качественного и количественного анализа, сертификация образцов и проб, (ООО «Ансертэко», АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха, ООО «Дондрагмет», ПАО «Ашинский метзавод», ООО «СОЛАР кремниевые технологии», АО «ЧЗЗ», АО «МСЗ», АО «НИИГрафит», АО «ВНИИХТ», ПАО «Русгидро», пр.)</i>	ИЗ № RU 2436071, 2018, 12 лет ИЗ № RU 2605255, 2016, 19 лет

Взаимодействие с инновационными территориальными кластерами по внедрению созданных результатов научно-технической деятельности в 2021 году

АО «Гиредмет» является коллективным членом Лазерной ассоциации, входит в состав и участвует в деятельности профильных технологических платформ: «Развитие российских светодиодных технологий», «Материалы и технологии металлургии», «Перспективные технологии возобновляемой энергетики», «Инновационные лазерные, оптические и оптоэлектронные технологии» - «Фотоника», «Моделирование и технологии эксплуатации высокотехнологичных систем». За отчетный период состоялся один съезд Лазерной ассоциации, повесткой которого стало подведение итогов работы 2018-2020 гг. и принятие программы на срок 2021-2022 гг.

АО «Гиредмет» взаимодействует с территориальными кластерами для развития научной и производственной кооперации. В 2021 году мероприятия по сотрудничеству с ООО «Томский научно-промышленный кластер» (Координационный центр Томского научно-промышленного кластера



двойного назначения «Комплексные автоматизированные системы») включали формирование дорожной карты по развитию высокотехнологичной области «Технологии новых материалов и веществ» в рамках продуктового направления «Особо чистые вещества и материалы различного функционального назначения, включая микроэлектронику и фотонику» (оператор - АО «Гиредмет») (Распоряжение Правительства Российской Федерации от 08.07.2019 №1484-р). Проект ООО «Томский научно-промышленный кластер» (совместно с НИ ТГУ, НИ ТПУ, ТУСУР) по развитию электронной промышленности «Создание производства структур и электронной компонентной базы функциональной и сенсорной электроники из арсенида галлия для технологий двойного и гражданского назначения» рассмотрен для включения в дорожную карту продуктового направления.



МЕРОПРИЯТИЯ В ОБЛАСТИ ОСВОЕНИЯ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Внедрение результатов затратных инвестиционных мероприятий, проводимых АО «Гиредмет» в период 2019-2021 гг. и запланированных до 2023 года, осуществляется на имеющихся мощностях и основном технологическом оборудовании АО «Гиредмет», модернизируемом для реализации современных технических решений и последних технологических достижений в областях разработки технологий и изготовления функциональных материалов:

- материалы для специальной оптики, оптоэлектроники, фотоники, электронной компонентной базы, сцинтилляторы;
- редкие металлы, включая методы химической диагностики.

Материалы для специальной оптики, оптоэлектроники, фотоники, электронной компонентной базы, сцинтилляторы

Технология опытной партии оптического волокна ИК диапазона из галогенидов серебра и таллия, разрабатываемая и внедряемая в рамках ИМ «Оптоволокно».

Задачей данной работы было обеспечение российских производителей приборов волоконными световодами ИК-диапазона (в настоящее время используют продукцию зарубежного производства), а также потребностей атомной отрасли (производство и применение волоконных световодов ИК-диапазона для дистанционного контроля состава и температуры в местах хранения радиоактивных отходов, и пр.). Ввиду отсутствия поставщиков, предлагающих комплексные поставки (как заготовок для экструзии оптоволокна, так и готовых волокон) актуальность разработки и внедрения технологии получения опытной партии оптического волокна ИК диапазона из галогенидов серебра и таллия для перехода на производство продукции более высокого передела не вызывала сомнения.

Для решения поставленных задач необходимо было оптимизировать технологию и создать линию получения оболочечных поликристаллических

волокон для различных областей инфракрасной техники и специальной волоконной оптики (из галогенидов серебра и таллия), экструдированных из сборок типа «сердцевина-оболочка».

Выпуск опытной партии оптического волокна ИК-диапазона показал, что можно создавать оптические волокна для отечественных потребителей, и в ряде случаев заменить импортные аналоги благодаря:

- расширению рабочего диапазона ИК-приборов;
- увеличению длины волоконных световодов;
- уменьшению поглощения лазерного излучения (оптических потерь).

Выполнение проекта позволило перейти на производство продукции более высокого передела, в перспективе АО «Гиредмет» может выйти на рынок с комплексным предложением: заготовок для экструзии оптоволокна и готовых волокон.

Разработано, изготовлено, введено в эксплуатацию нестандартное технологическое оборудование получения оптоволокна. Разработаны: процесс получения оптических заготовок для экструзии, процесс экструзии с получением готового оптоволокна. Выпущены опытные партии оптического волокна ИК-диапазона.

Работа выполняется в интересах подтвержденных и потенциальных заказчиков продукции.

Технология ультрапрецизионной обработки линз и светоделительных колец методом квазипластичного алмазного точения, разрабатываемая и внедряемая в рамках ИМ «Линза».

Необходимость наращивания компетенций в области обработки линз и светоделительных колец для создания следующего передела к существующему (изготовление заготовок) за счет применения технологии ультрапрецизионной обработки линз и светоделительных колец методом квазипластичного алмазного точения, а также отсутствие на рынке негигроскопичных, работающих в области 0,6 - 25 мкм оптических материалов

(частные компании активно ищут поставщиков как заготовок для обработки, так и готовых оптических элементов) подтверждает актуальность и востребованность инвестиционного проекта, перспективность его успешных результатов.

Для повышения конкурентоспособности выпускаемой продукции была выбрана технология ультрапрецизионной обработки на установке алмазного точения (основа будущей технологической линии), обладающей преимуществом по сравнению с традиционными установками механической обработки оптических изделий.

В настоящее время проект находится в активной фазе реализации. Промежуточные результаты показали принципиальную возможность получения по его завершению следующих технологических эффектов:

- подтверждение рабочего диапазона 0,6-50,0 мкм (в данном диапазоне пропускания негигроскопичных аналогов на рынке нет);

- увеличение (до 90 мм) максимального диаметра изделия без ухудшения характеристик, что сделает его использование технологически обоснованным;

- подтверждение устойчивости материала к влаге, радиации, что является критическим фактором в оптико-электронных системах ответственного (в том числе двойного) назначения (для нужд МО РФ, ЯОК, контроля РАО и ОЯТ);

- создание участка ультрапрецизионной обработки оптических изделий оптических элементов ИК диапазона из галогенидов таллия методом квазипластичного алмазного точения. Применение технологий штрипсовой резки и алмазного точения увеличивает скорость производства в 3-5 раз, уменьшает расходы на сырье на 25%, уменьшает трудозатраты на 50%. Технология позволяет вернуть обратно в процесс до 70% дорогостоящего материала.

Работа выполняется в интересах потребителей.



Технология получения монокристаллов антимонида индия диаметром 100 мм, изготовление из них пластин качества «epi-ready», используемых для создания тепловизионных и фотопреобразовательных приборов, разрабатываемая и внедряемая в рамках ИМ «Антимонид индия».

На сегодняшний день актуальна проблема создания современных широкоформатных фотоприемных устройств, базирующихся на летательных аппаратах для зондирования поверхности Земли, а также инфракрасных фотоприемных устройств следующего поколения для мониторинга удаленных источников. В высокотехнологичном производстве оптоэлектронных приборов последнего поколения используют полированные пластины высокого («epi-ready») качества на основе монокристаллов арсенида индия (InAs) большого (≥ 100 мм) диаметра. Объемы таких производств преимущественно сконцентрированы за рубежом.

Целью ИМ «Антимонид индия» являлась разработка комплекса технологий для получения продукции, соответствующей мировому уровню по геометрическим и качественным характеристикам, включающего:

- технологию выращивания монокристаллов арсенида индия диаметром 100 мм,
- технологию обработки монокристаллов арсенида индия,
- технологию обработки пластин арсенида индия до получения качества «epi-ready».

В ходе работы модернизировано имеющееся в АО «Гиредмет» оборудование (выращивание, обработка), которое позволило увеличить объем производства крупногабаритных (100 мм) монокристаллов и полированных высококачественных пластин большого диаметра. Отработаны технологии травления пластин на малом диаметре, финишная отмывка пластин антимонида индия на малом диаметре.

На полученных образцах показано, что технология выращивания монокристаллов арсенида индия и изготовления из них полированных пластин, по своим геометрическим и качественным характеристикам

соответствующим мировому уровню, используемым при производстве приборов опто- и микроэлектроники.

Работа выполняется в интересах заказчиков и потенциальных потребителей.

Технология изготовления ИК фотодиодов на основе эпитаксиальных слоев кадмий-ртуть-теллур, разрабатываемая и внедряемая в рамках ИМ «КРТ».

Актуальна проблема создания отечественных тепловизионных измерительных приборов (тепловизоров) уровня телевизионных форматов - на сегодняшний день производства опτικο-электронных приборов такого класса в России нет. В большинстве фотоприемных устройств появление дефектных пикселей связано с дефектностью рабочего материала – структурной и химической неоднородностью в используемых эпитаксиальных слоях.

Необходимо было доработать технологию получения гетероэпитаксиальных слоев кадмий-ртуть-теллур (CdHgTe , ЭК ЖФЭ КРТ), разработать технологию изготовления ионоимплантированных фотодиодов, разработать технологию макетов фотодиодных матриц, изготовить макеты, а также на базе имеющейся в АО «Гиредмет» технологии изготовления ИК-фоточувствительных эпитаксиальных структур CdHgTe разработать и организовать изготовление чипов фоточувствительных в спектральном диапазоне 3-5 мкм с дальнейшим развитием на диапазоны 8-14 мкм и свыше 16 мкм.

Цель ИМ: отработка основных технологических переделов изготовления фотодиодов в архитектуре n^+ на p на основе эпитаксиальных слоев $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$, выращенных методом жидкофазной эпитаксии, изготовление и проведение испытаний экспериментальных образцов малоформатных матриц фотодиодов. По результатам испытаний должно приниматься решение о целесообразности перехода к доходному инвестиционному проекту «Разработка технологии и организация производства чипов матричных фотоприемных устройств на основе кадмий –



ртуть – теллур» с конечной целью разработки чипов матриц фокальной плоскости (МФП) формата 512x640 пикселей и освоения их производства.

В результате разработана технология производства ионоимплантированных ИК-фотодиодов и малоразмерных матриц. Изготовлены макета МФП. Успешно завершена проверка результатов технологии: измерение фотоэлектрических параметров (ФЭП) тестового чипа МФП на растре с засветкой со стороны подложки. Изготовлены и аттестованы образцы ЭС ЖФЭ КРТ. Разработаны технологические процессы изготовления фотодиодов и малоформатных матриц.

Работа выполнена в интересах перспективных потребителей.

Выполнение проекта позволило перейти на производство продукции более высокого передела, в перспективе - доходный инвестиционный проект с целью получения следующей продукции в цепочке – фотодиодов и чипов.

Редкие металлы (включая методы химической диагностики)

Технология и изготовление образцов конденсаторного тантала, разрабатываемая и внедряемая в рамках ИМ «Тантал».

В результате ИМ «Тантал» разработана технология получения сферического танталового порошка конденсаторного класса. Разработанная технология позволяет значительно снизить содержание газовых примесей и, за счет сферической формы, снизить токи утечки и тангенс угла потерь.

Получена опытная партия сферического порошка тантала. Разработаны ТУ 24.45.30-019-00198396-2021, методика по определению содержания примесей и фракций в порошках, температуры воспламенения порошков и величины удельной поверхности сферического порошка тантала, ТИ по изготовлению порошка тантала сферического 00198396.019.2021.

После отработки сферического танталового порошка производителем АО «Элеконд» планируется запуск мелкосерийного выпуска продукции, также будет необходимо масштабирование участка.

На данный момент продолжают работы по улучшению свойств сферического танталового порошка конденсаторного класса.

Работа выполнена в интересах перспективных потребителей.

Технология производства особо чистого скандия, разрабатываемая и внедряемая в рамках ИМ «Скандий».

Ввиду отсутствия производства высокочистого металлического скандия в Российской Федерации (мировой лидер по производству металлического скандия – Китай) целью проекта являлось создание новой технологии получения металла чистотой не ниже 99,99 % (по металлическим примесям) при максимальном содержании газовых примесей (кислорода) на уровне 200 ppm.

Особенностью разрабатываемой технологии получения особо чистого скандия является проведение процессов хлорирования, металлотермического восстановления и вакуумной дистилляции в режимах, гарантирующих последующее производство особо чистого скандия – металлического скандия чистотой 99,993-99,994 % по металлическим примесям, при этом содержание кислорода не превышает 200 ppm. Получение скандия с низким содержанием газовых примесей обеспечивает возможность проведения холодной пластической деформации дистиллированного скандия со степенью деформации не менее 70 % без проведения дополнительных обжигов, что важно для применения этого металла в микроэлектронике.

В ходе внедрения на основе данной разработки предполагается создание малотоннажного участка по выпуску металла вышеуказанного качества (100-120 кг/год). Производство особо чистого скандия позволит удовлетворить спрос в микроэлектронике. На созданной малотоннажной установке предполагается выпуск экспортно ориентированного особо чистого скандия.

Работа выполняется в интересах потенциальных потребителей импортозамещаемого скандия и скандийсодержащей продукции.

Технология производства циркониевых порошков, разрабатываемая и внедряемая в рамках ИМ «Цирконий».

В результате разработана технология натриетермического получения порошка циркония, основанная на высокоскоростных производительных методах, обеспечивающих максимальный съем металла с единицы оборудования.

Создан опытный участок по производству пиррофорных порошков циркония производительностью 3 кг/месяц.

Получены две опытные партии порошка циркония в количестве по 3 кг каждая, соответствующие требованиям к порошку циркония марок ПЦрН-А и Б по ТУ 48-4-376-76 по всем параметрам.

В связи с прямыми технологическими рисками при организации укрупненной установки, связанной с пожаро-взрывоопасностью, производство значительных объемов на площадке АО «Гиредмет» невозможно. Показано, что созданная инфраструктура с успехом может быть использована для производства различных РЗМ без дополнительных затрат с перспективой масштабирования их производства.

Методы химической диагностики неядерных материалов атомной промышленности, разрабатываемые и внедряемые в рамках ИМ «ИАСЦ».

АО «Гиредмет» традиционно обладает высоким уровнем компетенций в сфере анализа и сертификации веществ и материалов. Предпосылками разработки новых методов диагностики стали как ужесточение требований по сертификации к выпускаемой продукции, так и необходимость единой организации аналитико-сертификационного контроля качества неядерных материалов. Высокотехнологической базой для разработки методов стало закупленное новое оборудование – в результате ИМ «ИАСЦ» повышен уровень материально-технического оснащения ИАСЦ.

Проект направлен на модернизацию и исследование комплекса методов аналитического контроля качества неядерных материалов атомной промышленности:



- высокочистых металлов, их соединений, сплавов, с выделением в отдельную группу редких, редкоземельных и благородных металлов, как наиболее перспективных для создания новых материалов;

- функциональных материалов (материалов электронной техники, датчиков, магнитных материалов, композиционных материалов и др.).

Основные направления совершенствования методов анализа:

- увеличение чувствительности определения примесей;
- расширение круга определяемых примесей;
- повышение точности получаемых результатов анализа;
- снижение временных и финансовых затрат.

В ходе разработки и внедрения новых методов химической диагностики неядерных материалов обеспечивается:

- расширение аппаратных и функциональных возможностей ИАСЦ (современная инфраструктура для научных исследований и сертификации продукции предприятий Госкорпорации и других отраслей промышленности РФ с целью выполнения задач технологического лидерства);

- увеличение объема услуг ИАСЦ и в целом качества выпускаемой продукции АО «Гиредмет» (новые методы, кооперация при выполнении сертификации, глобальное объединение отраслевых и внешних научно-технических компетенций, синергия ресурсов для создания инновационной продукции).

В первую очередь результаты направлены на качественное оказание услуг предприятиям Госкорпорации «Росатом» (АО «Далур», АО «ТВЭЛ», АО «МСЗ», АО «НИИГрафит», АО «ВНИИХТ», пр.) в области исследований, измерений, испытаний и сертификации материалов. Кроме того, работа актуальна и своевременна в связи с большим числом запросов постоянных и перспективных заказчиков на проведение ИАСЦ Гиредмета аналитико-сертификационных работ с нестандартными новыми неядерными материалами с применением современного оборудования. Спектр потребителей широк и представлен – от российских заказчиков



(работающих как в гражданской части, так и с соблюдением 275-ФЗ) до зарубежных (TOO KAZ GELBERT INVEST), от публичных акционерных обществ (ПАО «Русгидро», ПАО «Ашинский метзавод», пр.), предприятий в составе вертикально-интегрированных холдингов (АО «ЧЦЗ», пр.), научно-исследовательских организаций (АО «НИИ «Полнос» ИМ. М.Ф. Стельмаха, пр.) до малых предприятий (ООО «Ансертэко», ООО «Дондрагмет», ООО «СОЛАР кремниевые технологии», пр.) и субъектов малого и среднего предпринимательства.



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ИНСТИТУТА

Международное сотрудничество и внешнеэкономическая деятельность в научно-технической сфере

В первом полугодии 2021 года заключено соглашение о сотрудничестве с SIA «Сeram Optec» (Компания «Керамоптек», Рига, Латвия), целью которого является объединение усилий сторон на основе взаимовыгодного сотрудничества в области получения образцов оптического волокна ИК диапазона на основе галогенидов серебра и таллия с улучшенными оптическими характеристиками.

Исполнение целей соглашения в перспективе предусматривает заключение отдельных договоров и соглашений.

Во втором полугодии заключены доходные контракты - с компанией LTS Research Laboratories, Inc., США, на изготовление и поставку химических соединений в соответствии со спецификацией к контракту, и с компанией Powerway Wafer Co., Limited, КНР, на поставку монокристаллов и пластин антимонида индия.

Основные мероприятия в области развития сотрудничества с вузами и научными организациями

АО «Гиредмет» развивает сотрудничество с вузами, в том числе на основе соглашений с НИТУ МИСиС, НИЯУ МИФИ, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», ФГБОУ ВО «РГГУ», ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН» и др. Взаимодействие с вузами осуществляется в направлении разработки специализированных программ практик и стажировок студентов, подготовки/ переподготовки/ повышения квалификации научных работников, формирования базовых кафедр, участия сотрудников в преподавательской работе, проведения совместных исследований, выполнения проектов с привлечением центров коллективного пользования.

Вузы привлечены к разработке перспективных совместных проектов: представители профильных кафедр ведущих вузов включены в состав рабочих

и экспертных групп по оценке мероприятий продуктового направления «Особо чистые вещества и материалы различного функционального назначения, включая микроэлектронику и фотонику» (оператор – АО «Гиредмет») дорожной карты по развитию высокотехнологичной области «Технологии новых материалов и веществ» (Распоряжение Правительства Российской Федерации от 08.07.2019 №1484-р). Проекты вузов (НИТУ МИСиС; Сколковский институт науки и технологий, Сколтех; НИ ТГУ с НИ ТПУ и ТУСУР) по развитию электронной промышленности рассмотрены для включения в дорожную карту продуктового направления.

Заключено соглашение о сотрудничестве в научно-образовательной сфере с АО «ВНИИНМ» для укрепления научных связей, развития стратегического партнерства, достижения качественно нового уровня выполнения научных исследований и разработок. Определены приоритетные научные направления сотрудничества: функциональные и конструкционные материалы, материалы ядерной техники, аналитический контроль качества и сертификация материалов.

Совместно с научными организациями (АО «ГЕРМАНИЙ», АО «Композит», ООО «ТК «НЕФТЕПРОМИНВЕСТ», АО «НИИ МВ», АО «Элма-Малахит», АО «НПП «Исток» им. Шокина»), специализирующимися на исследованиях, разработках технологий, изготовлении материалов, компонентов и изделий отечественной электронной компонентной базы, в том числе отраслевыми (АО «НИИП») и РАН (ИХВВ РАН), вузами, подготовлены проекты мероприятий в паспорт продуктового направления «Особо чистые вещества и материалы различного функционального назначения, включая микроэлектронику и фотонику» дорожной карты по развитию высокотехнологичной области «Технологии новых материалов и веществ» (Распоряжение Правительства Российской Федерации от 08.07.2019 №1484-р).

11 января 2021 года создан научный консорциум по развитию ядерных энерготехнологий нового поколения. В него вошли ФГБУ «ИБРАЭ РАН»,



ФГУП «НИИ НПО «ЛУЧ» АО «Прорыв», АО «ГНЦ РФ – ФЭИ», АО «ВНИИНМ», АО «НИИграфит», АО «Гиредмет», ФГБОУ «НГТУ». В рамках образовательной деятельности участники консорциума будут готовить кадры для научных организаций, участвующих в создании двухкомпонентной ядерной энергетики на базе тепловых и быстрых реакторов с замыканием ядерного топливного цикла, изучать опыт международных организаций, а также разрабатывать новые сетевые образовательные программы. Сообщество организовано по инициативе Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», с целью создания и распространения конкурентоспособных центров научных знаний и отработки лучших практик развития научно-исследовательской и инновационной деятельности по развитию ядерных энерготехнологий нового поколения.

Научно-технический совет АО «Гиредмет»

На базе АО «Гиредмет» действует Объединенный научно-технический совет (ОНТС) – координационный и экспертно-совещательный орган по вопросам научной и проектной деятельности института.

Основными задачами и функциями ОНТС являются:

1. Выработка предложений и рекомендаций по уточнению приоритетных направлений и совершенствованию механизмов научно-технического развития института; по повышению эффективности использования объектов инфраструктуры и результатов (основных показателей) научно-технической деятельности института.
2. Формирование и согласование планов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и опытно-технологических работ, экспертиза научно-технических проектов и отчетов института.
3. Подготовка заключений и отзывов по диссертационным работам и научно-техническим публикациям (на правах экспертной комиссии).

4. Рассмотрение вопросов:

- об участии института и/или его представителей в работе выставок и научных конференций, научно-технических, научно-образовательных и научно-общественных объединениях и органах (ассоциациях, комиссиях и пр.);
- о выдвижении научных проектов и работ на конкурсы и соискание премий различного уровня;
- о представлении сотрудников к государственным и ведомственным наградам.

В состав ОНТС входят 27 человек, из них 2 доктора наук и 20 кандидатов наук.

В 2021 году было проведено 13 заседаний ОНТС. Основные вопросы, выносимые на повестке и решения, принятые членами Совета представлены в таблице 10.

Таблица 10 Результат работы ОНТС АО «Гиредмет» за 2021 год

<i>№ п/п</i>	<i>Тема заседания</i>	<i>Перечень рассмотренных вопросов</i>	<i>Дата проведения</i>
1	Рассмотрение инвестиционного проекта и доклад о наиболее значимых научных достижениях сотрудников АО «Гиредмет» за 2020 г.	1. Рассмотрение проекта «Создание участка ультрапрецизионной обработки оптических элементов ИК-диапазона из галогенидов таллия методом квазипластичного алмазного точения». 2. Наиболее значимые научные достижения АО «Гиредмет» за 2020 год	21 января 2021 г.
2	О предварительных работах по научно-техническим проектам АО «Гиредмет» и сотрудничестве с НИЯУ МИФИ и АО «ВНИИНМ»	1. Рассмотрение информационных материалов по следующим тематикам: 1.1 «Магнестрикционные материалы». 1.2 «Разработка технологии и поставка и установки дистилляции лития ПАО НЗХК». 1.3 «Сорбционное удаление тяжелых металлов». 1.4 «Сорбенты для предварительного концентрирования элементов в аналитических целях».	29 января 2021 г.

		<p>1.5 «Сорбенты для извлечения благородных металлов».</p> <p>1.6 «Утилизация промышленных отходов. Переработка золотошлаковых отвалов ТЭЦ. Переработка пиритных огарков»</p> <p>2. О сотрудничестве с НИЯУ МИФИ и АО «ВНИИНМ».</p>	
3	<p>Рассмотрение заявки на НИР. Подготовка к проведению юбилейных мероприятий АО «Гиредмет»</p>	<p>1. Рассмотрение заявки на НИР «Разработка технологии и создание опытной установки получения из хлорида рубидия малых партий металлического рубидия, дозированных в стеклянные ампулы».</p> <p>2. Создании рабочей группы по организации и проведению юбилейных мероприятий АО «Гиредмет».</p>	<p>29 марта 2021 г.</p>
4	<p>Рассмотрение результатов выполнения проекта</p>	<p>1. Рассмотрение результатов выполнения проекта «Разработка технологии производства циркониевых порошков», подтверждение уровня готовности технологии TRL 4.</p> <p>2. Подготовка предложений по экспонатам для формирования выставочной экспозиции АО «Гиредмет».</p>	<p>12 апреля 2021 г.</p>
5	<p>Рассмотрение результатов выполнения проекта</p>	<p>Рассмотрение результатов выполнения проекта «Разработка технологии и создание образцов конденсаторного тантала», подтверждение уровня готовности технологии TRL 4.</p>	<p>22 апреля 2021 г.</p>
6	<p>Рассмотрение результатов проектов</p>	<p>1. Рассмотрение результатов проекта «Разработка технологии получения монокристаллов арсенида индия диаметром 100 мм и изготовления из них пластин качества «epi-ready», используемых для оптоэлектронных устройств наземного и космического базирования», подтверждение уровня готовности технологии TRL 4.</p> <p>2. Рассмотрение результатов проекта «Разработка технологии роста монокристаллов арсенида галлия диаметром до 100 мм в магнитном поле»,</p>	<p>25 июня 2021 г.</p>

		подтверждение уровня готовности технологии TRL 4.	
7	Рассмотрении результатов проекта	Рассмотрение результатов проекта: «Разработка технологии и выпуск опытной партии оптического волокна ИК-диапазона из галогенидов серебра и таллия», подтверждение уровня готовности технологии TRL 4.	8 июля 2021 г.
8	Рассмотрение заявки в ЕОТП на проект НИОКР	Рассмотрение заявки в ЕОТП, проект НИОКР по теме: «Разработка технологии получения полированных пластин на основе монокристаллов антимонида галлия, легированных теллуrom», намеченной на выполнение в 2021 – 2023 гг.	13 августа 2021 г.
9	Утверждение отчета о НИОКР за 2021 г.	Рассмотрение отчета о НИОКР за 2021 г. по 3-му заключительному этапу работы, выполняемой по договору № № 38/5976-Д от 28.12.2019 г. с АО «НИИТФА» в рамках ЕОТП ГК «Росатом» по теме: «Разработка технологии получения монокристаллических сцинтилляторов на основе редкоземельных металлов и детекторных модулей для позитронно-эмиссионного томографа с время пролетной технологией».	4 октября 2021 г.
10	Рассмотрение диссертационной работы, обсуждение отзыва ведущей организации АО «Гиредмет». Представление отчета о результатах НИОКР.	1. Рассмотрение диссертационной работы Туманова В.В., обсуждение проекта отзыва ведущей организации АО «Гиредмет» (в соответствии с официальным письмом ГНЦ РФ АО «ГНИИХТЭОС» № 1-2-7/3269/03 от 08.09.2021). 2. Отчет о результатах работ первого (промежуточного) этапа «Проведение опытно-технологической работы (часть 1)» составной части опытно-конструкторской работы (СЧ ОКР) «Разработка технологии выращивания кристаллов твердого раствора кадмий-цинк-теллур и первичной подготовки подложек на их основе для эпитаксиального выращивания фоточувствительных слоев кадмий-ртуть-теллур».	18 октября 2021 г.



11	<p>Представление отчета НИОКР. Представление отчета по ИП «Арсенид галлия».</p>	<p>1. Отчет о НИОКР за 2021 г. по 3-му заключительному этапу работы, выполняемой по договору № 313/1664-Д от 05.09.2019 г. с АО «Наука и инновации» в рамках ЕОТП ГК «Росатом» по теме: «Разработка высокоэффективных среднетемпературных термоэлектрических материалов для создания генератора с КПД не менее 15%».</p> <p>2. Отчет о результатах работ по ИП «Арсенид галлия» и возможность включения выручки с продажи монокристаллов и пластин соединений АПВV в отчетность по выручке рассматриваемого проекта.</p>	3 ноября 2021 г.
12	<p>Обсуждение работ по проекту «Цирконий». Предложение АО «Гиредмет» по внесению в план научно-технических мероприятий Госкорпорации «Росатом» проведение Круглых столов. Выдвижение коллектива научных сотрудников АО «Гиредмет» на назначение стипендии.</p>	<p>1. Обсуждение проработки коммерциализации результатов НИР по проекту «Цирконий».</p> <p>2. Обсуждение вопроса о целесообразности заключения доходного инвестиционного проекта с учетом выполнения затратного инвестиционного мероприятия (НИОКР) «Разработка технологии роста монокристаллов арсенида галлия диаметром до 100 мм в магнитном поле» и продолжении работ в рамках доходного договора с ТГУ/ООО – Иксдайткон.</p> <p>3. Предложение АО «Гиредмет» по внесению в план научно-технических мероприятий Госкорпорации «Росатом» проведение Круглого стола по темам «Электрохимические устройства для водородной энергетики» и «Ферромагнитные углеродные нанокпозиционные материалы».</p> <p>4. Выдвижение коллектива научных сотрудников АО «Гиредмет» на назначение стипендии за выдающиеся достижения в создании прорывных технологий и разработке современных образцов вооружения, военной и специальной техники в интересах обеспечения обороны страны и безопасности государства, согласно постановлению Правительства РФ от 22</p>	23 ноября 2021 г.



декабря 2012 г №1381 «О стипендиях работникам организаций оборонно-промышленного комплекса Российской Федерации».

13	<p>Обсуждение результатов работы по ИМ «Разработка технологии производства циркониевых порошков» и ИМ «Разработка технологии и создание образцов конденсаторного тантала». Рассмотрение отчетов о НИР.</p>	<p>1. Обсуждение уровня готовности технологий ИМ:</p> <p>1.1 «Разработка технологии производства циркониевых порошков».</p> <p>1.2 «Разработка технологии и создание образцов конденсаторного тантала».</p> <p>1.3 «Разработка технологии получения монокристаллов антимонида индия диаметром 100 мм и изготовления из них пластин качества «epi-ready», используемых для создания тепловизионных и фотопреобразовательных приборов».</p> <p>2. Рассмотрение отчетов о НИР:</p> <p>2.1 «Синтез сорбентов» по договору № 62/79-П от 12.03.2021.</p> <p>2.2 «Разработка технологии получения полированных пластин на основе монокристаллов антимонида галлия, сильнолегированных теллуrom».</p> <p>2.3 «Разработка технологии материалоеффективного производства порошков титановых сплавов для аддитивных технологий».</p> <p>2.4 «Разработка технологии получения металлических индивидуальных РЗМ иттриевой подгруппы (Gd, Tb, Dy, Ho, Er) чистотой не менее 99,95% из оксидов» (ЕОТП-МТ-454, договор №774/409-Д от 14.12.2021).</p> <p>2.5 «Разработка технологии производства тетраоксида гафния» по договору № 19/23282-Д от 09.04.2021 г.</p> <p>2.6 «Разработка технологии производства особо чистого скандия».</p>	<p>17 декабря 2021 г.</p>
----	--	---	---------------------------



В 2021 году на базе АО «Гиредмет» в целях обеспечения условий для эффективного формирования, функционирования и развития научно-производственного объединения был создан Научно-технический совет научно-производственного объединения АО «Гиредмет», АО «НИИГрафит», АО «ВНИИХТ» (НТС НПО). Совет является постоянно действующим координационным и экспертно-совещательным органом научно-производственного объединения по вопросам научной и проектной деятельности институтов ХТК.

Основными задачами и функциями НТС НПО являются:

- выработка предложений и рекомендаций по формированию и уточнению приоритетных направлений, совершенствованию механизмов научно-технологического развития институтов ХТК; по повышению эффективности использования объектов инфраструктуры и результатов (основных показателей) научно-технической деятельности институтов ХТК;
- координация работы научно-технических советов институтов по приоритетным направлениям деятельности;
- формирование и согласование планов совместных научно-исследовательских, опытно-конструкторских и опытно-технологических работ, экспертиза совместных научно-технических проектов и отчетов институтов ХТК;
- рассмотрение вопросов о совместном участии в работе выставок и научных конференций, научно-технических, научно-образовательных и научно-общественных объединениях и органах (ассоциациях, комиссиях, консорциумах и др.); о выдвижении совместных научных проектов и работ на конкурсы и соискание премий различного уровня.

Совет сформирован из числа руководителей, ведущих ученых и специалистов институтов ХТК и иных организаций (по согласованию) в составе председателя, его заместителей, ученого секретаря и членов Совета.

На тематические заседания Совета приглашаются высококвалифицированные специалисты предприятий, доктора и кандидаты наук научно-исследовательских институтов и образовательных учреждений.

В 2021 году было проведено четыре заседания НТС НПО по перспективным научным направлениям развития институтов ХТК.

1. Заседание на тему «Технологии и материалы для создания литий-ионных аккумуляторов» было проведено 12 мая 2021 г на базе АО «Гиредмет».

На заседании в качестве докладчиков выступили:

Тарасов Вадим Петрович (д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой НИТУ «МИСиС») с презентационными материалами по теме «Современные тенденции развития химических источников тока».

Вошкин Андрей Алексеевич (д-р техн. наук, зам. директора по научной работе ИОНХ РАН) с презентационными материалами по теме «Гибридные экстракционные процессы в технологиях переработки литийсодержащих техногенных отходов».

Косарев Станислав Александрович (руководитель проекта АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ») с презентационными материалами по теме «Создание полимерных сепараторов с улучшенными свойствами с применением трековых технологий для разработки аккумуляторов нового поколения».

Почтарев Александр Николаевич (канд. техн. наук, начальник лаборатории АО «Гиредмет») с презентационными материалами по теме «Разработка технологии синтеза кристаллического катодного материала $\text{LiCo}_{1/3}\text{Ni}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$ для литий-ионных источников тока».

Швецов Алексей Анатольевич (канд. техн. наук, начальник отдела АО «НИИГрафит») с презентационными материалами по теме «Разработка методологии подготовки новых видов углеродных порошков для анодов литий-ионных аккумуляторов».

Новиков Павел Юрьевич (канд. техн. наук, начальник лаборатории АО «ВНИИХТ») с презентационными материалами по теме «Литий-технологии получения – от руды до чистого металла».

Клюев Владимир Владимирович (канд. хим. наук, ведущий консультант Фонда перспективных исследований) с презентационными материалами по теме «Текущее состояние и перспективы разработки новых электрохимических накопителей энергии».

Членами НТС НПО отмечена целесообразность развития работ химико-технологического кластера на базе АО «ВНИИХТ», АО «Гиредмет», АО «НИИГрафит» в области создания перспективных литий-ионных аккумуляторов с улучшенными характеристиками и их экологически безопасной переработки.

По результатам заседания было рекомендовано руководству АО «Гиредмет» сформировать проектный офис по данному направлению работ, целью которого является объединение и развитие рассмотренного направления в рамках химико-технологического контура и с привлечением компетенций внешних организаций, в том числе РАН и ВУЗов. На основании решения Совета необходимо подготовить и направить в АО «Наука и инновации» предложение по реализации комплексного проекта, включающего все технологии от извлечения лития до создания аккумуляторных батарей с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

2. Заседание на тему «Перспективы развития углеродных материалов: от сырья до изделия» было проведено 28 сентября 2021 г на базе АО «НИИГрафит».

С докладом на тему «Технологии композиционных материалов, конструкций и микросистем», выступил приглашенный участник заседания *Бухаров Сергей Викторович* – проф., д-р техн. наук, проф. кафедры «Технологии композиционных материалов, конструкций и микросистем», ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ). Им были затронуты проблемы создания толстостенных углерод-углеродных композиционных материалов (УУКМ) и конструкций на их основе, начиная с исходных преформ и заканчивая изделиями, которые получают из заготовок традиционной

механообработкой. Подробно рассмотрен метод получения толстостенного пространственно-армированного УУКМ, и обозначены тенденции в этом направлении за последние 10 лет, которые развиваются параллельно с полимерной технологией композиционных материалов.

Также, на заседании выступили сотрудники АО «НИИГрафит» *Бейлина Наталья Юрьевна* д-р техн. наук, научный руководитель с докладом на тему «Особенности применения углеродных наноструктур в матрицах углерод-углеродных композиционных материалов» и *Самойлов Владимир Маркович* д-р техн. наук, главный научный сотрудник с докладом «Определение эффективной температуры обработки углеродных волокон на основе ПАН и вискозы методом рамановской спектроскопии».

Были затронуты вопросы материаловедческого и технологического характера, включая вопросы подготовки сырья, в частности, качества и аналитического контроля углеродных материалов и углеродных волокон, подготовки пространственно-армированных структур для получения углерод-углеродных композиционных материалов, а также обработки углеродных волокон.

По результатам заседания членами Совета было рекомендовано использовать представленные материалы докладов и презентаций при разработке проектов научно-производственного объединения с привлечением специалистов ВУЗов и научных учреждений по профилю получения и применения углерод-углеродных композиционных материалов.

Вопрос обсуждения концепции объединения научных компетенций АО «Гиредмет», АО «ВНИИХТ», АО «НИИГрафит» и подведение итогов конференций, организованных АО «НИИГрафит» и АО «Гиредмет» в 2021 году рассматривались на двух заседаниях НТС НПО (15 декабря, 27 декабря 2021 г на базе АО «НИИГрафит»).

На заседаниях слушали *Ивановских Константина Васильевича* (канд. физ.-мат. наук, зам. директора по науке и инновациям АО «Гиредмет») с презентационным материалом на тему «Концепция объединения

АО «Гиредмет», АО «ВНИИХТ», АО «НИИГрафит». Формирование перечня направлений деятельности объединенного института».

По результатам открытого голосования было предложено, с учетом всех озвученных замечаний, утвердить предлагаемую концепцию объединения научных компетенций АО «Гиредмет», АО «ВНИИХТ», АО «НИИГрафит» («за» – 14, «против» – 1, «воздержался» – 1).

По результатам организованных конференций слушали:

- *Бейлину Наталию Юрьевну* (д-р техн. наук, научный руководитель АО «НИИГрафит») об итогах 13-й Международной конференции «Углерод: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, технология» посвященная 125-летию со дня рождения Николая Петровича Сажина. Конференция проходила на базе ТИСНУМ в период с 24 по 26 ноября 2021 года (г. Троицк).

По итогам конференции был выпущен сборник тезисов докладов в электронном виде, а все участники, оплатившие оргвзнос или имеющие льготу по оплате оргвзноса, получили именные сертификаты, а лучшие доклады, представленные на конференции, будут опубликованы в журнале из списка Scopus/WoS.

Программа конференции включала следующие тематические направления:

- последние достижения в области синтеза алмазов;
- методы исследования и компьютерного моделирования структуры и свойств алмазов и новых форм углерода (наноалмазов, фуллеренов, нанотрубок, онионов, карбинов, графенов и др.);
- углеродосодержащие композиты функционального и конструкционного назначения, перспективы создания и применения в различных областях;
- новые физические и химические подходы при создании углеродных материалов, изучение взаимосвязи структуры и свойств, применение в биологии и медицине;

- сорбционные и каталитические свойства углеродных, в том числе наноструктурированных, материалов;
- методы синтеза наноструктурированных углеродных материалов.

Работа конференции проходила по двум секциям «Исследования и разработка углеродных материалов», «Фундаментальные исследования». В данной конференции приняли участие сотрудники АО «НИИГрафит» и АО «Гиредмет».

В работе конференции участвовало 5 пленарных, 56 устных докладов и 51 секционный. Было заявлено в стендовой сессии 64 доклада. От АО «НИИГрафит» было представлено 5 устных докладов и 9 стендовых, от АО «Гиредмет» – 1 стендовый доклад.

- *Нескоромную Елену Анатольевну* (канд. техн. наук, ученый секретарь АО «Гиредмет», АО «ВНИИХТ») об итогах Научно-практической конференции «Редкие металлы и материалы на их основе: технологии, свойства и применение» («РедМет-2021») («Сажинские чтения»), посвященная юбилею АО «Гиредмет». Конференция проходила в период с 9 по 10 декабря 2021 года в АО «Гиредмет».

На конференцию «РедМет-2021» было зарегистрировано около 150 участников. Участие в конференции можно было принять в качестве докладчика, слушателя или заочном формате, который подразумевал только подачу тезисов. Стоит отметить географию участников – в работе Конференции приняли участие представители 13 городов и регионов России (Апатиты, Екатеринбург, Нижний-Новгород, Санкт-Петербург, Чита, Северск, Ставрополь, Красноярск, Черноголовка, Москва, Подольск, Королев, Троицк), а также наши коллеги из Республики Казахстан (г. Караганда).

Состав участников конференции достаточно разнообразен: 2 член-корр. РАН, более 20 докторов и 50 кандидатов наук, студентов/магистрантов/аспирантов всего 37 человек, инженеров, научных сотрудников и других работников, не имеющих ученую степень – 30 чел., руководителей различных предприятий и организаций – 6 чел.

Оргкомитетом Конференции сформирован и выпущен сборник Трудов конференции, с содержанием которого можно ознакомиться на сайте конференции <http://redmet.giredmet.ru>.

Членами совета была отмечена необходимость привлекать к участию в проводимых конференциях молодых ученых и специалистов. Рекомендовано провести следующую Научно-практическую конференцию «Редкие металлы и материалы на их основе: технологии, свойства и применение» («Сажинские чтения») во второй половине 2022 года и далее с периодичностью раз в два года. Обеспечить участие международных сотрудников в работе конференции. Для проведения конференции предусмотреть деление на пленарные (обзорные), секционные и стендовые доклады с различным временным регламентом; включить проведение школы молодых ученых, аспирантов и студентов с проведением конкурса докладчиков в программу конференции; сформировать сборник трудов конференции, который будет индексироваться в РИНЦ; предусмотреть публикацию расширенных тезисов в журнале, входящем в Международные базы цитирования WoS или Scopus; ввести организационный взнос за участие в конференции.

Статистические показатели научного развития Института

В 2021 году наблюдается увеличение публикационной активности сотрудников института как в Российских, так и зарубежных журналах. Всего было опубликовано около 80 научных трудов, из них 45 работ в российских журналах и 31 в журналах, индексируемых в международных базах цитирования. Наблюдается рост публикаций в зарубежных журналах с импакт-фактором от 3,5 до 13,1. Список журналов, в которых были опубликованы наиболее значимые работы наших сотрудников кратко представлен в таблице 11.



Таблица 11 Сводные данные по наиболее значимым научным публикациям сотрудников Института за 2021 год

Журнал	Кол-во статей	Импакт-фактор	Journal Quartile
<i>ACS Catalysis, Journal of Catalysis, Nanoscale, Journal of Materials Chemistry C, Journal of Molecular Liquids, Journal of Alloys and Compounds, Nanomaterials, Surfaces and Interfaces, Journal of Luminescence</i>	11	3,5 до 13,1	Q1
<i>Arabian Journal of Chemistry, Optical Materials, Sensors Materials, New Journal of Chemistry</i>	5	3,5 до 5,9	Q2

Публикационная активность некоторых сотрудников можно оценить по их Индексу Хирша (h-индекс), наукометрическому показателю, который дает комплексную оценку одновременно числу публикаций ученого и их цитируемости. В таблице 12 представлены данные по сотрудникам, опубликовавшим в 2021 году большее количество научных работы.

Таблица 12 Индекс Хирша работников института, подготовившие большее количество работ в 2021 году

ФИО сотрудника	Ученая степень	РИНЦ*		SCOPUS		Цитирование
		Публикации	Индекс Хирша	Публикации	Индекс Хирша	
Ю.Н. Пархоменко	д-р физ.-мат. наук	290	19	131	15	804
К.В. Ивановских	канд. физ.-мат. наук	63	11	48	13	611
М.В. Ананьев	д-р хим. наук	174	18	83	18	985
А.В. Бабкин	канд. техн. наук	62	6	23	6	207
Е.А. Нескоромная	канд. техн. наук	58	4	21	5	164
В.Б. Барановская	д-р хим. наук	138	7	54	5	124
К.С. Зараменских	канд. техн. наук	44	6	13	5	107
И.А. Денисов	канд. техн. наук	58	7	25	6	83
М.С. Кузнецов	б/с	1	0	22	5	60
О.В. Юрасова	канд. техн. наук	38	4	10	3	20

* данные не актуализируются

Сотрудники института входят в редакционную коллегию журналов:

- Sensors (MDPI).
- Russian Microelectronics.
- Modern Electronic Materials.
- Российские нанотехнологии.
- Электрохимия.



- Известия ВУЗов: Материалы электронной техники.
- Альтернативная энергетика и экология.
- Перспективные Материалы.
- Наноиндустрия.
- Заводская Лаборатория. Диагностика Материалов и др.

Также, отдельные работники института являются постоянными рецензентами журналов: Journal of Luminescence, Optical Materials, Journal of Chemical Sciences, Journal of Molecular Structure, Biomaterials Science, Sensors, Physical Chemistry Chemical Physics, Dalton Transactions, Electrochimica Acta, Journal of Power Sources, Intern. Journal of Hydrogen Energy, MDPI Energies, Environmental Pollution, Физика твердого тела.

Руководством планируется поддерживать рост наукометрических показателей института путем разработки программ поддержки (мотивирования) сотрудников для увеличения количества научных публикаций, монографий и т.д., подготовленных работниками института, а также способствовать более активному их участию в научных мероприятиях с устными докладами (конференции, симпозиумы, семинары и др.).

Начиная с 2022 года планируется формировать актуальные данные по научным показателям института и размещать их в открытом доступе на официальном сайте АО «Гиредмет» во вкладке «Наука и образование».



Перечень полученных премий и наград

9 февраля в рамках торжественного заседания «Наука в комплексной программе РТТН», приуроченного к Дню российской науки, состоялась церемония вручения государственных и ведомственных наград ученым и исследователям атомной отрасли. Среди награжденных – восемь представителей научного дивизиона. Ордена и медали вручил генеральный директор Госкорпорации «Росатом» Алексей Лихачев. Медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» I степени награжден Ю.Н. Пархоменко, научный руководитель АО «Гиредмет» (рисунок 34).



Рисунок 34. Научный руководитель – Ю.Н. Пархоменко на вручении медали ордена «За заслуги перед Отечеством» I степени

Основные награды сотрудников института представлены в таблице 13.

Таблица 13 Награды сотрудников АО «Гиредмет»

<i>ФИО</i>	<i>Должность</i>	<i>Структурное отделение</i>	<i>Наименование награды, дата</i>
<i>Боровкова Таида Васильевна</i>	Главный специалист	Отдел правовой и корпоративной работы	Благодарность АО «Гиредмет» 19.08.2021 г.
<i>Жучков Дмитрий Николаевич</i>	Ведущий инженер-технолог	Лаборатория низкотемпературных полупроводниковых соединений АПВV	Благодарность АО «Гиредмет» 26.08.2021 г.
<i>Лисицкий Игорь Серафимович</i>	Старший научный сотрудник	Лаборатория высокочистых галогенидных материалов для оптики	Почетная грамота АО "Наука и инновации" 23.07.2021 г.
<i>Мионов Владимир Сергеевич</i>	Ведущий научный сотрудник	Лаборатория термоэлектрических материалов	Благодарность АО «Гиредмет» 14.10.2021 г.
<i>Молодцова Елена Владимировна</i>	Ведущий научный сотрудник	Лаборатория низкотемпературных полупроводниковых соединений АПВV	Знак отличия "За заслуги перед атомной отраслью" 3 степени 25.10.2021 г.
<i>Петрикова Нина Владимировна</i>	научный сотрудник	Лаборатория технологии получения веществ особой чистоты	Знак отличия "За вклад в развитие атомной отрасли" 2 степени 03.03.2021 г.
<i>Соколова Ирина Николаевна</i>	Старший научный сотрудник	Лаборатория технологии разделения редкоземельных металлов и соединений	Благодарность АО «Гиредмет» 14.04.2021 г.
<i>Торчинов Константин Владимирович</i>	Ведущий инженер-технолог	Лаборатория технологии получения редкоземельных металлов, порошков и сплавов	Благодарственное письмо генерального директора Госкорпорации "Росатом" 25.10.2021 г.
<i>Туляков Николай Васильевич</i>	Ведущий научный сотрудник	Лаборатория технологии разделения редкоземельных металлов и соединений	Благодарность АО «Гиредмет» 22.03.2021 г.
<i>Шепекина Галина Валериевна</i>	Инженер-технолог 1 категории	Лаборатория полупроводниковых соединений АПВVI	Благодарность АО «Гиредмет» 02.12.2021 г.
<i>Козлов Роман Юрьевич</i>	Начальник лаборатории	Лаборатория низкотемпературных полупроводниковых соединений АПВV	Благодарность АО «Гиредмет» 12.10.2021 г.
<i>Никитин Михаил Степанович</i>	Ведущий научный сотрудник	Лаборатория полупроводниковых соединений АПВVI	Благодарность АО «Гиредмет» 12.10.2021 г.



Издательская деятельность Института

По инициативе АО «Гиредмет» в свет вышел сборник научных трудов выдающегося металлурга и академика Николая Петровича Сажина «Гиредмет: вчера, сегодня, завтра». В сборнике представлена подборка его научных трудов, статей и рукописей.

Николая Петровича по праву считают основателем школы материаловедения в Гиредмете, которому он посвятил более 40 лет трудовой жизни. Он внес огромный вклад в становление и развитие технологий производства сурьмы, титана, ниобия, циркония, индия, германия, высокочистых элементов, а также полупроводниковых материалов.

«Обладая огромной научной эрудицией, Николай Петрович Сажин проводил техническую политику, позволившую институту в короткие сроки выполнять задания Правительства страны по организации новых производств наукоемкой редкометаллической промышленности. Его научное руководство обеспечивало высочайшую результативность и особую атмосферу в Гиредмете, характеризующуюся творческим поиском и человеческой теплотой», – отметил в предисловии к изданию директор АО «Гиредмет» Андрей Голиней.

Издание сборника приурочено к 90-летию образования научного института редкометаллической промышленности. Кроме этого, руководством института было предложено АО «Гиредмет» присвоить имя академика Николая Петровича Сажина.

К 90-летию института был подготовлен юбилейный сборник, в котором отражены история института, современное состояние АО «Гиредмет», информация о деятельности и становлении его лабораторий, а также достижения в виде научных публикаций (рисунок 35).

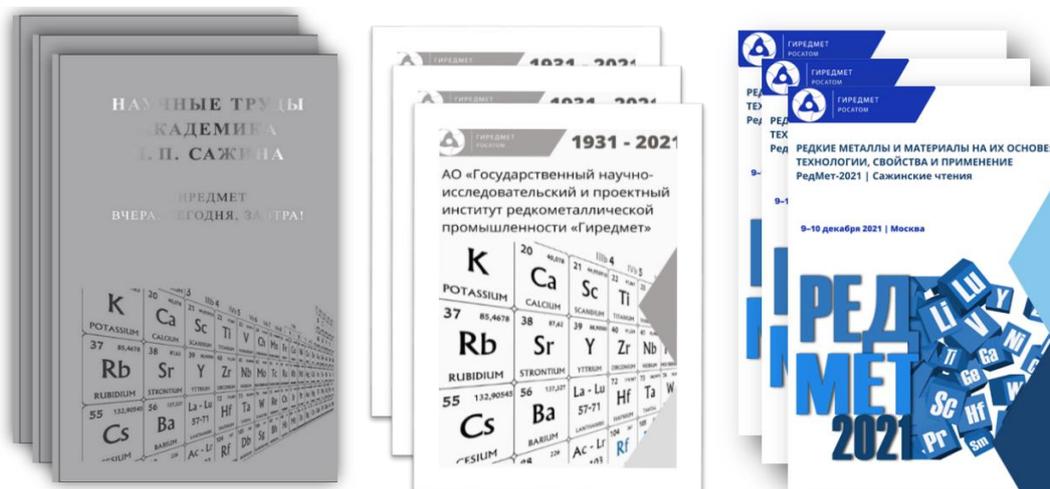


Рисунок 35. Сборники и книги, подготовленные АО «Гиредмет»

В декабре 2021 года институтом проведена Научно-практическая конференция «Редкие металлы и материалы на их основе: технологии, свойства и применение» («РедМет-2021») («Сажинские чтения»). Конференция «РедМет-2021» возобновляет цикл регулярных научных семинаров «Сажинские чтения», проводившихся на базе АО «Гиредмет» с 1970 г. По результатам проведенного мероприятия был подготовлен сборник тезисов докладов. Ознакомиться с книгами можно на сайте института во вкладке «Наука и образование».

Научно-технические мероприятия

Накануне Международного Дня Музеев 18 мая были открыты экспозиции музеев АО «НИИГрафит», АО «Гиредмет» и АО «ВНИИХТ». Экспонаты размещены в проходной институтов (рисунок 36).



Рисунок 36. Музейная экспозиция АО «НИИГрафит», АО «Гиредмет» и АО «ВНИИХТ»

АО «Гиредмет» представил новые образцы продукции для различных отраслей промышленности и современных образцов вооружения и военной техники на международном военно-техническом форуме «Армия-2021». На стенде института были продемонстрированы технологии, связанные с производством и обработкой редкоземельных материалов и полупроводниковых соединений для электронной промышленности. Основным назначением представленных материалов является обеспечение стратегической обороноспособности государства. Возможность быстрого внедрения представленных разработок в оборонные комплексы государства, а также доказанная испытаниями высокая эффективность их применения позволяют АО «Гиредмет» оставаться одними из ключевых участников форума, который был проведен с 22 по 28 августа 2021 года в конгрессно-выставочном центре «Патриот».

Представители АО «Гиредмет» приняли участие в программе международного форум «Микроэлектроника-2021». Специалисты лаборатории низкотемпературных полупроводниковых соединений АШВУ АО «Гиредмет» Р.Ю. Козлов и С.С. Кормилицина приняли очное участие в деловой программе Международного форума «Микроэлектроника-2021», который проходил с 03 по 09 октября 2021 года в Алуште (Республика Крым). Они выступили с докладом на тему «Выращивание монокристаллов антимонида Индия диаметром 100 мм модифицированным методом Чохральского». Докладчики отметили, что в период цифровой трансформации создание и локализация отечественной компонентной базы для микроэлектроники является стратегически важным направлением деятельности для организаций, специализирующихся на разработке и производстве электронных исходных компонентов. Собственное широкое производство таких компонентов как In, Ga, Sb, чистотой 6N – 7N, для



Р.Ю. Козлов - начальник лаборатории

удовлетворения потребностей отраслей народного хозяйства и промышленности способно обеспечить информационную безопасность государства, повысить конкурентоспособность отечественной продукции на мировом и внутреннем рынках сбыта. Международный форум «Микроэлектроника-2021» представлен комплексным событием, включающим в себя научную конференцию, состоящую из 11 секций по направлениям отрасли, деловую программу, выставочную зону, конкурсную программу, а также школу молодых ученых.

Специалисты АО «Гиредмет», АО «ВНИИХТ» приняли участие в деловой программе IV Международной научно-практической конференции «Графен и родственные структуры, производство, синтез и применение», которая проходила с 6 по 8 октября в Тамбове на базе ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» (ТГТУ). В рамках тематических сессий выступила ученый секретарь Елена Анатольевна Нескоромная с темой «Влияние режимных параметров синтеза на эксплуатационные свойства композиционного сорбционного материала на основе модифицированного оксида графена». Представленная работа выполнена в соавторстве с коллективом кафедры «Техника и технологии производства нанопродуктов» ФГБОУ ВО «ТГТУ». Ведущий научный сотрудник Испытательного аналитико-сертификационного центра АО «Гиредмет» Александр Викторович Бабкин выступил с докладом на тему «Алюминиевые токосъемники с углеродным покрытием для катодов литий-ионных аккумуляторов». Представленная работа выполнена в соавторстве с коллегами из МГУ им. М.В. Ломоносова.

Сотрудники АО «Гиредмет» приняли участие в работе Всероссийской конференции с международным участием «Физико-химические проблемы адсорбции, структуры и химии поверхности нанопористых материалов», посвященной 120-летию со дня рождения М.М. Дубинина. Конференция проходила с 18 по 22 октября 2021 года в Москве в Институте физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина РАН. В работе конференции



приняли участие А.В. Бабкин – ведущий научный сотрудник Испытательного аналитико-сертификационного центра АО «Гиредмет», и Е.А. Нескоромная – ученый секретарь АО «Гиредмет» с докладом на тему «Композиционные аэрогели на основе восстановленного оксида графена для адсорбционного хранения и транспортировки метана». Представленная работа выполнена в соавторстве с сотрудниками Инжинирингового центра «Новые материалы и технологии гражданского и двойного назначения» и кафедры «Техника и технологии производства нанопродуктов» ФГБОУ ВО «ТГТУ».

Ученый секретарь АО «Гиредмет» приняла участие со своим научным проектом в XI Национальной научно-технической конференции (ННТК) (рисунок 37). Проект Елены стал призером конкурса инновационных разработок молодых ученых. Финал проходил 10 ноября в Москве в рамках всероссийского форума «Научно-техническое развитие и задачи глобального лидерства». Всего на конкурс было подано 122 заявки со всей России. По результатам предварительных этапов, проходивших в дистанционном формате, в финал было отобрано 45 проектов по 14 отраслевым направлениям.

«ННТК является уникальным мероприятием научно-технической сферы, на которой талантливые молодые специалисты могут представить свои предложения по решению наиболее актуальных производственных, технических, экономических задач на основе внедрения в производство перспективных разработок. Для меня очень ценно, что моя работа, посвященная разработке многофункциональных композиционных сорбентов на основе углеродных наноструктур для комплексной очистки водных сред, получила высокую оценку жюри», – поделилась впечатлением ученый секретарь.





Рисунок 37. Выступление и награждение сотрудника АО «Гиредмет» на XI Национальной научно-технической конференции

Также сотрудники института приняли участие в следующих научных мероприятиях:

– XIII Всероссийская школа-конференция молодых ученых «КоМУ-2021» (18–22 октября 2021 год). С докладом на тему «Исследование качества поверхности пластин антимонида индия после процессов механической обработки» выступили Зареченская А.А. и Д.А. Завражин.

– Молодежная научно-практическая конференция «Материалы и технологии в атомной энергетике» (23–24 июня 2021 год, «ВНИИНМ»). С докладом на тему «Разработка технологии восстановления таллия из его галогенидов металлотермическим методом» выступили сотрудники лаборатории высокочистых галогенидных материалов для оптики. Ученые лаборатории технологии получения веществ особой чистоты представила доклады на тему «Оптимизация синтеза металлоорганической каркасной структуры UIO-66» и «Синтез стекол в системах $PbO-SiO_2$, $PbO-B_2O_3$ и перспективы их применения в качестве прозрачных радиационно-стойких материалов».

– Международная научная конференция «Современные материалы и передовые производственные технологии (СМПТ-2021)» (сентябрь 2021 год, г. Санкт-Петербург). От института был представлен доклад на тему «Выращивание кристаллов ортосиликата лютеция для позитронно-эмиссионной томографии».

– 76-е Дни науки студентов НИТУ «МИСиС» международные, межвузовские и институтские научно-технические конференции. С докладом на тему «Влияния параметров резки монокристаллов GaAs на поверхностные характеристики пластин» выступил стажер М.С. Нестюркин.

– Intelligent Manufacturing and Materials 2021 (1-5 марта 2021 год, г. Ялта, Россия). С докладом на тему «Comparative high-field magnetization study of (Sm,Er)₂Fe₁₇ and Er₂Fe₁₇ compounds and their nitrides» выступила С.В. Веселова.

– Международный молодежный научный форум «ЛОМОНОСОВ-2021» (12-15 апреля 2021 г., Москва), секция «Химия», подсекция «Неорганическая химия II». Доклад на тему «Синтез и изучение влияния механоактивационной обработки на магнитные свойства порошков нитрида Sm_{1,2}Er_{0,8}Fe₁₇N₂» был представлен Веселовой С.В. в формате ВКС.

– IV Международный симпозиум «Фундаментальные вопросы геологии, добычи, разделения редких, редкоземельных, благородных металлов и создания современных материалов на их основе» (16–20 сентября 2021 год, г. Кокшетау, Республика Казахстан). С докладами на тему «Современное состояние АО «Гиредмет» в области химических технологий и металлургии редких и редкоземельных металлов» и «Разработка технологии получения монокристаллов сцинтилляторов на основе ортосиликата лютеция и оксидов редкоземельных металлов для детекторов позитронно-эмиссионных томографов» приняли участие О.В. Юрасова И.М. Ермоченков.

– XXVI Национальная научно-техническая конференция была проведена в рамках XIX Уральской горнопромышленной декады (19-29 мая 2021 год, г. Екатеринбург). В работе конференции в соавторстве с сотрудниками «ФГБУ «ВИМС» и ПАО «Комбинат Южуралникель» принял участие А.А. Семенов с докладом на тему «Переработка окисленной никель-кобальтовой руды III участка Буруктальского месторождения».

– XVII Межгосударственная Конференция «Термоэлектрики и их применения – 2021 (ISCTA-2021) (13–16 сентября 2021 год, г. Санкт-

Петербург). С докладами на тему «Исследование структуры и термоэлектрических свойств твердого раствора на основе Cu_{2-x}Se ($0,03 \leq x \leq 0,23$)» и «Особенности получения термоэлектрического материала Zn_4Sb_3 методом искрового плазменного спекания» выступили сотрудники лаборатории термоэлектрических материалов.

– Всероссийская конференция по волоконной оптике (ВКВО-2021) (5–8 октября 2021 год, г. Пермь). На конференцию свои доклады на тему «Градиентные материалы на основе кристаллов галогенидов таллия для оптических элементов и оптоволоконна ИК-диапазона» и «Получение оболочечных волоконных световодов инфракрасного диапазона из галогенидов серебра и таллия» представили М.С. Кузнецов и К.С. Зараменских.

– International Virtual Conference on Materials and Nanotechnology – 2021 (29-30 апреля, 2021 год, Индия). В конференции с докладом на тему «Host-to-impurity energy transfer in lanthanide-doped luminescence materials» принял участие К.В. Ивановских.

– XVII Международный симпозиум «Применение анализаторов МАЭС в промышленности» (10-12 августа 2021 год, г. Новосибирск, Академгородок, Россия). Сотрудниками ИАСЦ был представлен доклад на тему «Исследование возможностей атомно-эмиссионного комплекса «гранд-глобула» при анализе оксида церия».

– Первая школа молодых ученых «Электрохимические устройства: процессы, материалы, технологии», проводимая с 18 по 19 октября 2021 года в г. Новосибирске. Мероприятие было организовано ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН при финансовой поддержке РФФ. С пленарным докладом на мероприятии выступил М.В. Ананьев.

В конференции «Редкие металлы и материалы на их основе: технологии, свойства и применение» (РедМет-2021), организованной АО «Гиредмет», было заслушано 18 докладов сотрудников института.

Конференция «Редкие металлы и материалы на их основе: технологии, свойства и применение» (РЕДМЕТ-2021)

В декабре 2021 года Институтом была проведена Научно-практическая конференция «Редкие металлы и материалы на их основе: технологии, свойства и применение» (Сажинские чтения).



Конференция «РедМет-2021» возобновляет цикл регулярных научных семинаров «Сажинские чтения», проводившихся на базе АО «Гиредмет» с 1970 г. Основная цель проведения конференции заключалась в обсуждении современных научных и технологических вызовов в области переработки редкометаллического минерального сырья и получения критически важных материалов и изделий на основе редких металлов для применения.

На конференцию было зарегистрировано около 150 участников. В работе конференции приняли участие 78 докладчиков и около 40 слушателей, которые выступили представителями более 40 организаций различного научно-технологического профиля.

Начало пленарной сессии было ознаменовано докладом член-корреспондента РАН, д-ра техн. наук, профессора Бородина Владимира Алексеевича (Заместитель генерального директора по развитию, Экспериментальный завод научного приборостроения со специальным конструкторским бюро РАН, ФГУП ЭЗАН). Также в работе пленарной сессии приняла участие д-р техн. наук, доцент Богатырева Елена Владимировна (НИТУ МИСиС), начальники отделений и лабораторий АО «Гиредмет», представляющих основные перспективы и потенциал научного развития нашего Института.



Учитывая, что представленная тематика на сегодняшний день является актуальной, а Конференция «РедМет-2021» привлекла к себе большое внимание, по ее окончании было решено проводить Конференцию на регулярной основе начиная с 2022 г., но уже с международным участием. В работе конференции планируется участие зарубежных ученых и специалистов из Китая, Индии, Казахстана, Узбекистана, Белоруссии, Киргизии, Таджикистана и др.



Конференция будет охватывать широкий спектр вопросов от переработки минерального сырья, содержащего редкие металлы, до разработки новых материалов на основе редких элементов, их соединений и сплавов, высокочистых веществ, полупроводниковых, оптических и люминесцентных материалов, наноматериалов, материалов современной энергетики и т.д. Работа конференции будет проходить в рамках 7 секций:

- технологии получения редких металлов, сплавов и порошков на их основе;
- технологии получения особо чистых материалов на основе редких металлов;
- полупроводниковые материалы;
- оптические материалы, материалы радиационной и ИК фотоники;
- химическая аналитика, испытания и сертификация минерального сырья, редких металлов и материалов на их основе;

– технологии переработки природного и техногенного минерального сырья

– на основе редких металлов;

– материалы и технологии четвертого энергетического перехода.

Современные функциональные материалы.



ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОЕ СЛОВО НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

*«Можно иметь компанию без исследований,
но исследования без приложения к бизнесу
никому не нужны»*

Уильям Миллер

профессор Стэнфордского университета,
основатель нескольких компаний в Кремниевой долине



*Ю.Н. Пархоменко
д-р физ.-мат. наук,
научный руководитель*

АО «Гиредмет» имеет богатую историю своего становления и развития, основанного на органичном сочетании фундаментальной науки, прикладных исследований и опытного производства. Разработанные институтом технологии внедрены на многих десятках предприятий России и зарубежья, работающих в сфере электроники, атомной энергетики, приборостроения, авиа- и ракетостроения, СВЧ-техники, ИК-оптики, сверхпроводниковой техники и проч., а также в области добычи и переработки минерального сырья, содержащего РМ, РЗМ и драгоценные металлы. АО «Гиредмет» имеет заслуженный авторитет в указанных отраслях промышленности, что обеспечивает благоприятные условия для дальнейшего развития института. Дальнейшее развитие АО «Гиредмет» должно быть направлено на построение качественно новой и соответствующей современному мировому уровню системы научных и прикладных исследований и разработок, которые позволили бы обеспечить высокую конкурентоспособность выполняемых работ.

Миссия АО «Гиредмет» – разработка перспективных материалов, изделий, технологий и оборудования для их производства, обеспечивающих развитие Госкорпорации «Росатом» и имеющих межотраслевой и междисциплинарный характер, гарантирующих технологический суверенитет России.



Весьма актуальными для института являются вопросы финансово-экономического оздоровления и поддержание высокого уровня научных исследований и разработок. Первая часть включает в себя ряд мероприятий, направленных на увеличение выручки института, в том числе путем выхода на новые рынки сбыта наукоемких услуг и продукции, а также диверсификации оказываемых услуг, расширения перечня производимых продуктов, в том числе упреждающих требования рынка. Вторая часть включает комплекс мероприятий, нацеленных на актуализацию направлений научно-исследовательской и научно-производственной деятельности, техническое перевооружение, формирование необходимого научно-технического задела для сохранения конкурентоспособности института в будущем.

Поддержание и развитие научного потенциала АО «Гиредмет» неразрывно связано и с решением задач по обновлению и пополнению кадрового состава. В последние годы наблюдается общее снижение численности научных и инженерных кадров института. Наблюдается дисбаланс возрастной структуры научных кадров, недостаточный приток талантливой и продуктивной молодежи, острый недостаток кадровой прослойки специалистов среднего возраста (35-55 лет). Первой причиной, в связи с создавшейся ситуацией общего падения уровня редкометаллического и полупроводникового производства, является снижение уровня генерации идей, проблем и задач, стоящих перед отраслевыми научно-исследовательскими организациями и, как следствие, снижение интеллектуальной мотивации. Другой причиной, напрямую связанной с первой, сложившейся ситуации стала недостаточно конкурентная заработная плата, что привело к вымыванию наиболее творчески активной и высококомпетентной прослойки научного коллектива и снижению темпов освоения новых знаний и технологий и их внедрения. Кроме того, ослаблен кадровый потенциал в области научного менеджмента, который необходим для трансфера технологий, коммерциализации и внедрения результатов научно-исследовательской деятельности.



Вызывает озабоченность серьезный дисбаланс в структуре доходов и расходов института, отсутствие необходимого уровня финансирования для поддержания и обновления материально-технической базы и научно-исследовательской базы института. Последнее создает нарастающий инфраструктурный дисбаланс в части морального и физического износа оборудования, недостатка современного технологического оборудования для реализации производственных программ, соответствующих запросам рынка (особенно касается технологий получения металлических порошков).

Развитие АО «Гиредмет» в ближайшие годы потребует постановки и решения принципиально новых научных и научно-прикладных задач, в том числе междисциплинарных, нацеленных на разработку и создание продуктов и технологий с высокой добавленной стоимостью и имеющих экспортный потенциал. **Основной задачей** являются выполнение прикладных исследований в области материаловедения и воплощение результатов в новых технологических и конструкторских разработках, обеспечивающих выпуск максимально наукоемкой, конкурентоспособной продукции, внедрение на предприятиях-изготовителях конечной продукции, инновационных технологий и современных методов их контроля и управления.

Основные направления деятельности:

- разработка, внедрение новых материалов, технологий, изделий и оборудования для атомной, электронной промышленности, машиностроения и др.;
- разработка новых и совершенствование существующих методов исследования и контроля структуры, химического состава и свойств материалов;
- сертификация материалов и технологий;
- компьютерное моделирование материалов и технологических процессов их изготовления (с применением методов математического моделирования: оптимизация процесса роста монокристаллов; определение оптимальных вариантов геометрии теплового узла установки и режимов роста

кристаллов; подбор на основании расчетов режимов роста монокристаллов (длина и форма конуса, скорость вытягивания, уровень поверхности расплава), что улучшит характеристики кристаллов – снижение плотности дислокации и повышение однородности вхождения легирующих примесей);

- разработка и конструирование оборудования для изготовления материалов и изделий;
- участие в подготовке научно-технических и инженерных кадров, в том числе высшей квалификации;
- информационная, дискуссионная и рекламная деятельность.

Среди **новых научных направлений института**, которые представляются наиболее перспективными, с точки зрения их дальнейшего развития и коммерциализации, можно выделить следующие:

- разработка новых материалов на основе РМ и РЗМ и способов их применения;
- разработка технологий получения монокристаллических сцинтилляторов на базе $\text{LaBr}_3\text{-Ce}$, LuAP-Ce , LuI-Ce для медицинского имиджинга (ПЭТ томографии, КТ и др.);
- постановка технологии малосерийного синтеза монокристаллов широкозонного полупроводника Ga_2O_3 ;
- разработка технологий и создание участка производства маломасштабных партий композиционных катодов различного назначения;
- разработка технологий и создание участка получения сферических порошков тугоплавких металлов;
- разработка технологии изготовления зондов (фотодиодов) ИК-диапазона и изделий ИК оптики;
- разработка технологии детекторных элементов для ПЭТ на основе TlBr ;
- разработка технологии ИК градиентных кристаллов и изделий из них;

- разработка технологий и организация мелкосерийного производства особо чистого скандия, элементов среднетяжелой и тяжелой групп РЗМ, а также галлия и индия;
- разработка технологии выращивания монокристаллов GaAs и InP диаметром 6 дюймов методом вертикально-направленной кристаллизации (VGF);
- создание лаборатории контроля качества пластин класса «epi-ready»;
- развитие минералого-петрографических методов исследования минерального сырья;
- разработка новейших методик анализа химического состава материалов класса ОСЧ;
- проектирование и создание маломасштабных и среднемасштабных установок для производства металлических порошков различной морфологии и размерности (в т.ч. наноразмерных и высокочистых);
- разработка технологий эффективного извлечения редких и редкоземельных металлов их ранее не перерабатываемого сырья и технологических отходов;
- разработка материаловедения и технологических разработок в области водородной энергетики;
- разработка технологий материалов на основе редких и редкоземельных металлов для микроэлектроники (металлы и химические продукты высокой чистоты и со специальными структурными характеристиками).

Таким образом, **основные принципы деятельности АО «Гиредмет»:**

- в режиме активного импортозамещения и создания экспортного потенциала высокотехнологичной продукции создать многопрофильное малотоннажное производство полупроводниковых материалов (элементарных полупроводников, полупроводниковых соединений и структур и др.), редкоземельных (неодим, диспрозий, тербий, иттрий, церий, европий и др.),



редких тугоплавких (цирконий, титан, ниобий, тантал, ванадий и др.), редких рассеянных (германий, рений, галлий, индий, ртуть и др.), редких легких и щелочных (литий, бериллий, цезий, калий и др.), драгоценных металлов в обеспечение структурной модернизации базовых отраслей экономики России и развития инновационных национальных проектов, приоритетных направлений науки, технологий и техники и критических технологий на базе комплексного освоения отечественных природных и техногенных сырьевых ресурсов в жизненном цикле «сырье - новые материалы – изделия», обеспечение технологического суверенитета России;

- высокий уровень разработок, обеспечивающих ведущие позиции и конкурентоспособность на мировом рынке научно-технической продукции;
- интеграция компетенций;
- генерация идей;
- интеграция и кооперация в использовании оборудования и ресурсов;
- современная экспериментальная лабораторная и опытно-промышленная база;
- профессиональные контакты с российскими и зарубежными специалистами и организациями;
- трансфер знаний и разработок;
- активный маркетинг и реклама;
- коммерциализация результатов;
- формирование высокотехнологичной конкурентоспособной, устойчивой промышленности редких и редкоземельных металлов, обеспечивающей устойчивое развитие отрасли на всех этапах производства;
- снижение доли импорта и развитие внутреннего рынка редких и редкоземельных металлов, их синтезированных соединений и продукции с их участием РФ;

- обеспечение потребностей предприятий оборонно-промышленного комплекса отечественными редкими и редкоземельными металлами;
- высокая изобретательская деятельность;
- высокая научно-техническая публикационная деятельность;
- разработка материалов и технологий их производства на экспортном уровне;
- международные технологические связи в области редкометаллического производства с дружественными странами (КНР, КНДР, Индия, Иран, Афганистан, Сирия и др.);
- создание научно-технических предпосылок для формирования технологического суверенитета России в отрасли и отраслях-потребителях редкометаллической и полупроводниковой продукции;
- ориентированные фундаментальные исследования и прикладные научно-исследовательские, опытно-конструкторские и технологические работы по созданию конкурентоспособной наукоёмкой продукции (работ, услуг), обеспечивающие инновационное развитие важнейшего направления науки, технологий и техники: технологии новых редкометаллических и полупроводниковых материалов.

Все это позволит не только сохранить имеющийся научный потенциал, но и продолжить дальнейшее инновационное развитие АО «Гиредмет», в основу которого положены **следующие основополагающие факторы:**

- совершенствование исследовательской и инновационной инфраструктуры института;
- техническое перевооружение и создание технологической базы производства современной конкурентоспособной продукции специального и гражданского назначения;
- привлечение молодежи и подготовка высококвалифицированных специалистов для научно-исследовательской и производственной деятельности;

– содействие программной и институциональной интеграции науки и образования с целью развития и совместного использования научной, кадровой, опытно-экспериментальной и приборной базы отраслевого, академического и вузовского секторов науки, а также кадрового потенциала в исследовательском и учебном процессах;

– -обеспечение разработки новых передовых технологий, сокращение сроков их освоения, активизация инновационно-технологического обмена между организациями, сохранение уникального научно-исследовательского оборудования.

Основные научные результаты АО «Гиредмет» в 2021 г.:

– выращен самый крупный в мире (диаметр 75 мм, высота более 15 см, вес 5 кг) монокристалл ортосиликата лютеция, активированного церием ($\text{Lu}_2\text{SiO}_5:\text{Ce}^{3+}$), соответствующий требуемым параметрам качества – высокая плотность и световыход, короткое время затухания, хорошая радиационная стойкость. Применяется в производстве ПЭТ томографов последнего поколения. Функциональные характеристики кристаллов позволяют сократить время сканирования и повысить качество получаемого изображения;

– впервые в России получены монокристаллы антимонида индия в кристаллографическом направлении [211] диаметром вписанной окружности более 52 мм. Полученные результаты могут быть полезны при выборе материала с определенными структурными свойствами для различных ИК ФПУ;

– получены термоэлектрические материалы, характеристики которых превосходят существующих мировых аналогов (значение КПД термоэлектрического преобразования $>15\%$, что на 20% превышает существующие на рынке решения);

– разработано, изготовлено и введено в эксплуатацию нестандартное технологическое оборудование получения оптоволокна. Выпущены опытные партии оптического волокна, работающие в ближней и

средней ИК области спектра (длиной около 10 метров). Волоконные зонды важны и необходимы в нефтепереработке и нефтехимии для контроля процессов внутри реактора в режиме реального времени, фармацевтического и органического синтеза, космических исследований, атомной энергетики, экологического мониторинга, а также ИК диагностики и лечения;

– модернизировано имеющееся в АО «Гиредмет» оборудование (выращивание, обработка), которое позволило увеличить объем производства крупногабаритных (100 мм) монокристаллов и полированных высококачественных пластин большого диаметра. Отработаны технологии травления пластин на малом диаметре, финишная отмывка пластин антимонида индия на малом диаметре;

– разработана технология производства ионоимплантированных ИК-фотодиодов и малоразмерных матриц для создания отечественных тепловизионных измерительных приборов (теповизоров) уровня телевизионных форматов. На сегодняшний день производства оптико-электронных приборов такого класса в России нет.

– разработана технология получения сферического танталового порошка, конденсаторного класса. Получена опытная партия сферического порошка тантала в количестве 1 кг;

– создан опытный участок по производству пиррофорных порошков циркония производительностью 3 кг/месяц.

– разработана методика определения европия в титанате лития, допированного европием, как анодного материала для литий-ионных аккумуляторов;

– разработана методика количественного определения содержания иттрия в сплавах на основе титана;

– разработана методика анализа оксида лютеция без предварительного растворения пробы с расширенным кругом определяемых примесей и улучшенными метрологическими характеристиками по сравнению со стандартизованными методиками;

– разработана методика дугового атомно-эмиссионного анализа оксида церия, удовлетворяющая современным требованиям по точности и чувствительности определения примесей;

– разработана технологическая схема селективного сорбционного извлечения всех благородных металлов из отработанных (сбросных) реальных растворов после аффинажных процессов завода «Красцветмет». Достигнуто полное, выше 99,9%, извлечение серебра, золота, платины, палладия, иридия, рутения в концентраты сорбентов собственной разработки.

В 2021 году в АО «Гиредмет» было создано новое отделение (Отделение материалов накопителей и преобразователей энергии), направление исследований которого на сегодняшний день является актуальным и перспективным. Функциональные материалы, используемые в твердооксидных и протонно-керамических устройствах – оксидные соединения, содержащие цирконий, церий, скандий, иттрий, празеодим, лантан и др.

В 2021 году на базе АО «Гиредмет» в целях обеспечения условий для эффективного формирования, функционирования и развития научно-производственного объединения был создан Научно-технический совет научно-производственного объединения АО «Гиредмет», АО «НИИГрафит», АО «ВНИИХТ» (НТС НПО).

По итогам заявочной кампании 2021 года в состав ЕОТП Госкорпорации «Росатом» по ПННТР «Материалы и технологии» вошли НИОКР АО «Гиредмет» по трем темам: «Разработка технологии получения полированных пластин на основе монокристаллов антимионида галлия, сильнолегированных теллуrom», «Разработка технологии получения металлических индивидуальных РЗМ иттриевой подгруппы (Gd, Tb, Dy, Ho, Er) чистотой не менее 99,95 % из оксидов» и «Создание материалоеффективного производства порошков титановых сплавов для аддитивных технологий на основе отечественных наукоемких технологий».



В 2021 году на основании заключенных долгосрочных лицензионных договоров количество использованных РИД составило 7.

За отчетный период сотрудниками института было опубликовано 45 научных работ в российских журналах, и 30 статей – в журналах, индексируемых в Web of Science и/или Scopus. Необходимо отметить рост публикаций в международных журналах с импакт-фактором 8-13 (Q1 – Q2), что показывает высокий уровень научных разработок сотрудников института, т.е. признание в международном научном обществе. Ученые АО «Гиредмет» активно принимают участие в конференциях, симпозиумах, семинарах и других мероприятиях, с целью научной апробации полученных ими результатов исследования.

Проведена Научно-практическая конференция «Редкие металлы и материалы на их основе: технологии, свойства и применение» (РедМет-2021), которая возобновила цикл регулярных научных семинаров «Сажинские чтения», проводившихся на базе АО «Гиредмет» с 1970 г. Учитывая большой интерес к организованному мероприятию со стороны научной общественности, решено провести конференцию с международным участием в 2022 году (РедМет-2022).

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И СПЕЦИАЛЬНЫХ ТЕРМИНОВ

- ВАХ** – вольт-амперные характеристики
- ВНК** – вертикально направленная кристаллизация
- ЕОТП** – Единый отраслевой тематический план
- ИАСЦ** – Испытательный аналитико-сертификационный центр
- ИК** – инфракрасная
- ИМ** – инвестиционное мероприятие
- ИПС** – искровое плазменное спекание
- ИСП** – индуктивно-связанная плазма
- КПД** – коэффициент полезного действия
- КЦТ** – кадмий-цинк-теллур
- ЛИА** – литий-ионные аккумуляторы
- МЛЭ** – молекулярно-лучевая эпитаксия
- МСП** – малое и среднее предпринимательство
- МФП** – матрицы фокальной плоскости
- МФПУ** – матричные фотоприемные устройства
- НИИ** – научно-исследовательский институт
- НИОКР** – научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы
- ННТК** – Национальная научно-техническая конференция
- НТС НПО** – научно-технический совет научно-производственного объединения
- ОКР** – опытно-конструкторские работы
- ОНТС** – объединенный научно-технический совет
- ОСЧ** – особо чистые
- ПННТР** – приоритетное направление научно-технологического развития
- ПЭТ** – позитронно-эмиссионная томография
- РЗМ** – редкоземельные металлы
- РИД** – результат интеллектуальной деятельности
- РИНЦ** – Российский индекс научного цитирования
- РКД** – рабочая конструкторская документация



РМ – редкие металлы

РТТН – программа «Развитие техники, технологий и научных исследований в области использования атомной энергии в Российской Федерации на период до 2024 года»

СОЖ – смазочно-охлаждающая жидкость

СЧ ОКР – составная часть опытно-конструкторской работы

ТЗ – техническое задание

ТОТЭ – твердооксидные топливные элементы

УУКМ – углерод-углеродные композиционные материалы

ФЗП – Федеральная целевая программа

ФЭП – фотоэлектрические параметры

ХМП – химико-механическое полирование

ХТК – химико-технологический кластер

ЦКП – Центр коллективного пользования

