

УТВЕРЖДАЮ

Ито первого проректора
РХТУ им. Д.И. Менделеева
д.х.н., профессор

Козловский Р.А.

_____ 2026 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» на диссертационную работу Пермина Дмитрия Алексеевича «Наноконпозиционные керамические материалы на основе оксидов магния и редкоземельных элементов для инфракрасной техники», представленную на соискание ученой степени доктора химических наук по специальности 1.4.1. – Неорганическая химия

Актуальность темы исследования

Исследования, посвященные способам получения и изучению характеристик керамик, прозрачных в видимой и инфракрасной областях спектра, ведутся на протяжении более 50 лет. На сегодняшний день оптическая керамика широко применяется в качестве лазерных сред, прозрачной брони, в магнитооптических приложениях. Благодаря поликристаллической структуре она превосходит стекла по термостойкости и механической прочности, а гибкость керамической технологии позволяет экономически эффективно изготавливать крупные и сложные оптические элементы.

Особое значение имеют материалы для среднего ИК-диапазона, где находятся окна прозрачности атмосферы, критичные для систем связи и оборонных применений в экстремальных условиях. В этом случае, помимо оптического пропускания, критичными становятся механические и теплофизические свойства, определяющие возможность эксплуатации в условиях механических и термических нагрузок. Для этих целей широко используются такие материалы как шпинель, оксинитрид алюминия или оксид иттрия. Однако номенклатура химических соединений для изготовления прозрачных керамик ограничена требованиями изотропности свойств, а свойства перечисленных материалов уже практически исчерпаны, что сдерживает дальнейший прогресс.

Перспективным путем повышения эксплуатационных свойств износостойкой инфракрасной техники является создание композиционных

керамик. Преодолеть рассеяние на границах зерен в таких материалах возможно только путем уменьшения размера зерен до величин, существенно меньших длины волны излучения (менее 100 нм). За последние 10-15 лет композиты Y_2O_3 -MgO продемонстрировали характеристики, способные конкурировать с традиционными оптическими материалами или даже превосходить их.

Несмотря на достигнутые локальные успехи, нерешенными остается целый ряд вопросов. Отсутствуют целостные модельные представления о связи пористости, размера зерен и светорассеяния в композитах RE_2O_3 -MgO. Результаты исследований методов синтеза порошков и их консолидации разрозненны и противоречивы, а сравнительные анализы технологий спекания не проведены в полном объеме. Кроме того, подавляющее большинство работ сосредоточено лишь на иттрийсодержащих композитах для проходной оптики, тогда как данные о люминесцентных и магнитооптических свойствах систем с другими редкоземельными элементами остаются фрагментарными, что ограничивает их применение в лазерной технике.

В связи с этим, тематика работы Пермина Дмитрия Алексеевича «Наноконпозиционные керамические материалы на основе оксидов магния и редкоземельных элементов для инфракрасной техники» представляется несомненно актуальной и важной.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Обоснованность результатов диссертационного исследования подтверждается использованием физико-химических методов анализа, реализованных на современном аналитическом оборудовании с применением широко известных методик, согласованностью полученных результатов с имеющимися в литературных источниках данными, а также публикациями результатов работы в рецензируемых тематических журналах из перечня ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации и систем цитирования Web of Science и Scopus.

Научная новизна полученных результатов

Научная новизна формулируется следующими основными утверждениями.

Впервые синтезировано и охарактеризовано более 20 новых композиционных материалов RE_2O_3 -MgO (где RE = Y, Gd, Sc, Lu, Dy), включая композиты на основе индивидуальных оксидов РЗЭ и их твердых растворов, что существенно расширяет класс ИК-прозрачных керамик.

Впервые выполнено термодинамическое исследование реакций в системах «нитрат металла – органическое горючее», позволяющее прогнозировать состав продуктов и условия протекания самораспространяющегося

высокотемпературного синтеза (СВС) оксидов РЗЭ и композита Y_2O_3-MgO .

Впервые количественно оценено влияние степени чистоты исходных соединений на формирование примесного состава и, как следствие, на уровень оптического пропускания композиционной керамики Y_2O_3-MgO в ИК-диапазоне.

Впервые синтезированы и исследованы люминесцентные свойства композитов RE_2O_3-MgO , легированных ионами Er^{3+} , Tm^{3+} , Ho^{3+} , Yb^{3+} . Ключевым достижением является установление интенсивной анти-стоксовой люминесценции в материалах с Ho^{3+} и солегированных $Er^{3+}:Yb^{3+}$, что открывает перспективу их использования в качестве визуализаторов ИК-излучения.

Впервые проведено систематическое сравнительное исследование трех методов спекания (электроимпульсное плазменное спекание, горячее прессование и микроволновое спекание) для керамики Y_2O_3-MgO . Установлены оптимальные условия формирования плотной структуры и температурные интервалы усадки, а также выявлены спектральные особенности оптических потерь, характерные для каждого метода.

Впервые проведена оценка коротковолнового края пропускания и спектрального характера потерь на рассеяние в композитах Y_2O_3-MgO с учетом эффектов взаимного влияния фаз (интерференционное просветление и аномальное рассеяние). Предложенная модель дает значительно более точное описание межзёренного рассеяния в концентрированных системах по сравнению с приближением независимых рассеивателей, что позволяет лучше согласовать теоретические расчеты с экспериментальными данными.

Практическая значимость полученных автором результатов

Практическая значимость работы оценивается как **высокая** и выражается в создании готовых технологических решений и функциональных устройств. Работа выходит за рамки фундаментального исследования и предлагает конкретные продукты и методики, пригодные для внедрения.

Основные пункты, подтверждающие практическую ценность:

Благодаря комплексному исследованию свойств порошков и термодинамическим расчетам, разработаны практические рекомендации по выбору составов прекурсоров, позволяющих получать высокодисперсные слабоагломерированные порошки оксидов магния и редкоземельных элементов.

Экспериментально установлены и описаны условия, при которых новые композиты (RE_2O_3-MgO) достигают пропускания в среднем ИК-диапазоне, сравнимого с монокристаллами. Потенциально это позволяет масштабировать разработанные методы для производства оптических элементов высокого качества.

Разработана оригинальная методика, позволяющая идентифицировать природу оптических потерь - важный практический инструмент для дальнейшего развития технологии, позволяющий не просто констатировать уровень пропускания конкретного керамического образца, а определять его причину (границы зерен или дефекты пористости) и, соответственно, корректировать условия консолидации для устранения причин оптических потерь.

На основе новых материалов созданы работающие устройства — визуализаторы лазерного излучения. Указаны конкретные, измеренные характеристики (порог лазерного пробоя более 4 кВт/см² и 8,5 МВт/см²), что подтверждает их пригодность для реальной эксплуатации в условиях высоких мощностей.

Впервые продемонстрирован магнитооптический эффект в керамике Dy₂O₃-MgO. На основе сравнения свойств показано, что эти композиты перспективны для создания изоляторов и вращателей Фарадея, что открывает для них новый путь применения в лазерной технике и фотонике.

Рекомендации по использованию результатов диссертационной работы

Результаты диссертационной работы можно рекомендовать предприятиям реального сектора экономики РФ, включая предприятия ГК «Росатом», ООО «ЛАССАРД», ООО «Лазеруан», ФГБУН Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, АО «НПО ГОИ им. СИ. Вавилова».

Общая характеристика работы

Диссертационная работа состоит из введения, восьми глав, выводов и приложения, а также библиографического списка цитируемой литературы.

Во Введении представлена актуальность диссертационной работы, сформулирована цель и поставлены задачи для ее достижения. Описана научная новизна, теоретическая и практическая значимость, методология и методы исследования, указаны положения, выносимые на защиту, обоснована степень достоверности полученных результатов, приведены сведения об апробации результатов диссертационной работы, личный вклад Д.А. Пермина в проделанную работу.

Глава 1 посвящена обзору современного состояния исследований композиционных материалов для инфракрасной техники, включая анализ кристаллической структуры и фазовых диаграмм оксида магния и оксидов редкоземельных элементов, а также основных классов оптических материалов и их целевых характеристик. Особый упор сделан на рассмотрении достоинств и недостатков наноконпозиционных керамик RE₂O₃-MgO, в сравнении с лучшими

однофазными оптическими материалами. Показано, что рассматриваемые керамики имеют конкурентные или превосходящие свойства по сравнению с лучшими традиционными оптическими материалами. Обоснован выбор перспективных областей применения композитных керамик, в первую очередь изготовление проходной оптики среднего ИК-диапазона, а также создание люминесцентных и магнитооптических материалов. Продемонстрирована актуальность поиска и разработки новых подходов к синтезу исходных порошков и методов консолидации плотных беспористых композиционных керамик, исследования влияния химического состава, метода и условий спекания на их микроструктуру и свойства, а также изготовление материалов с учетом теоретических представлений о физической природе оптических потерь и вкладе в них структурных неоднородностей.

В главе 2 приводится описание исходных материалов, условий их подготовки, методик и аппаратурного оформления основных экспериментальных этапов работы. В частности, подробно описаны методы и оборудование получения композиционных керамик Y_2O_3 -MgO, а также материалов, легированных ионами Tm, Ho, Er, и магнитооптической керамики Dy_2O_3 -MgO, включая синтез прекурсоров и порошков методом СВС с последующим исследованием их структурных и морфологических свойств, а также консолидацию материалов методами горячего прессования, электроимпульсного плазменного спекания и микроволнового спекания.

Представлены методы и аппаратурное оформление, применяемое для анализа и исследования свойств полученных керамик. В том числе оборудование синхронного термоанализа и расчётные методики термодинамических расчётов, регистрации спектров пропускания в инфракрасном диапазоне, измерения микротвёрдости, спектров и времён затухания люминесценции для легированных образцов, расчётов постоянной Верде для магнитооптической керамики, а также метода инфракрасной микроскопии и оценка вкладов рассеяния на базовой структуре и дефектах пористости в общий уровень оптических потерь на основе интерференционного приближения.

Глава 3 целиком посвящена изучению физико-химических закономерностей протекания процессов получения высокодисперсных порошков системы RE_2O_3 -MgO ($RE = Y, Sc, Lu, Gd$) методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) с использованием различных видов горючего.

В рамках первого этапа выполнено исследование термического поведения исходных компонентов и их смесей методом синхронного термоанализа, позволившее определить температурные интервалы инициирования реакций СВС, идентифицировать природу термических эффектов и обосновать выбор

глицина как оптимального горючего, обеспечивающего получение порошков с наиболее однородным составом и низкой степенью агломерации. Вторым этапом включал термодинамическое моделирование равновесного состава продуктов и расчёт адиабатической температуры синтеза в зависимости от соотношения окислителя и горючего (параметр φ) для системы $Y(NO_3)_3 - Mg(NO_3)_2 - NH_2CH_2COOH$.

В результате проведенных исследований определены условия инициирования СВС-процесса, характеризующиеся одновременным разложением горючего и окислителя с интенсивным экзотермическим эффектом при температурах выше 200 °С, выявлены закономерности влияния состава реакционной смеси на параметры синтеза и фазовый состав продуктов, а также установлен оптимальный диапазон соотношения компонентов ($\varphi = 0,15-0,25$), обеспечивающий формирование целевых оксидов Y_2O_3 и MgO , максимальный выход газообразных продуктов и минимизацию рисков загрязнения углеродом или снижения дисперсности порошков.

Глава 4 посвящена подробнейшему исследованию морфологических и структурных свойств нанопорошков RE_2O_3-MgO ($RE = Y, Sc, Lu, Gd$), полученных методом глицин-нитратного синтеза. Используя методы просвечивающей электронной микроскопии, рентгенофазового анализа и адсорбционно-структурного анализа, автор проводит описание морфологии, фазового состава и дисперсности материалов. Автором наглядно продемонстрировано, что продукт синтеза представляет собой однородную аморфную структуру с размером первичных частиц 30-50 нм, состоящих из смеси кубических фаз Y_2O_3 и MgO без следов примесей. Исключение данного правила наблюдается для системы Gd_2O_3-MgO , где при нагреве до 1300°С происходит частичное превращение кубической фазы оксида гадолиния в моноклинную. При этом также установлено, что благодаря регулированию соотношения окислителя и горючего (глицина) в прекурсор можно управлять дисперсностью конечного продукта: увеличение доли горючего способствует росту объема газообразных продуктов и, как следствие, уменьшению среднего диаметра частиц. В конце главы сделан обоснованный вывод о том, что глицин-нитратный метод СВС позволяет получать порошки $RE_2O_3 - MgO$ по совокупности структурных и морфологических свойств, удовлетворяющие требованиям для спекания оптической керамики.

Глава 5 является ключевой с технологической точки зрения, так как в ней решается задача выбора метода консолидации нанопорошков для получения высокопрозрачной керамики Y_2O_3-MgO . Для этого были использованы три современных подхода к спеканию: электроимпульсное плазменное спекание (ЭИПС), микроволновое спекание и горячее прессование (ГП) с резистивным

нагревом. Для каждого метода исследована кинетика усадки материалов, их микроструктура и оптическое пропускание в ИК-диапазоне в зависимости от температурных режимов. Установлено, что метод ЭИПС позволяет на порядок сократить время спекания, однако из-за образования закрытой пористости до полного удаления адсорбированных газов затрудняется создание композита с однородной плотной микроструктурой. При рассмотрении микроволнового спекания установлены закономерности влияния состава прекурсора (соотношения окислителя и горючего) на свойства керамики: увеличение доли глицина повышает дисперсность исходных порошков, что обеспечивает наибольшую движущую силу спекания и ведет к росту пропускания керамики Y_2O_3-MgO . Обнаружена важная особенность микроволнового спекания — отсутствие полос поглощения, характерных для графитовой оснастки, что улучшает чистоту материала. Выявлена высокая эффективность метода горячего прессования, позволяющая плавно контролировать параметры процесса. Полученные результаты являются уникальными, поскольку исследования выполнены в близких условиях с использованием одних и тех же порошков, что обеспечивает отличную возможность для сравнения их возможностей. Наилучшим образом для целей работы подходит метод горячего прессования, так как именно он позволяет сформировать требуемую плотную мелкозернистую структуру спекаемого компакта, обеспечивающую максимальные оптические характеристики в целевом диапазоне длин волн.

Глава 6 посвящена более подробному изучению условий горячего прессования композиционной керамики Y_2O_3-MgO , установлению взаимосвязи состава и чистоты исходных материалов с их микроструктурой и оптическими свойствами, а также оптимизации подготовки порошков перед спеканием.

В рамках проведенных исследований определены закономерности влияния объемного соотношения фаз на свойства керамики: установлено, что композит с равным содержанием оксидов иттрия и магния (50:50 об. %) обладает наименьшим средним размером зерна (173 нм) и максимальным пропусканием в коротковолновой ИК-области благодаря взаимным диффузионным ограничениям, подавляющим рекристаллизацию. Выявлено также значительное влияние примесного состава исходных реактивов: использование более чистых прекурсоров (квалификации ОСЧ и ХЧ) позволяет снизить содержание кальция, железа и серы, что напрямую коррелирует с повышением оптического пропускания керамики за счет уменьшения рассеяния на порах, образующихся при разложении примесных фаз. Особый акцент сделан на изучении роли деагломерации нанопорошков перед спеканием. Используя метод сканирующей электронной микроскопии в сочетании с инфракрасной микроскопией и спектрофотометрией, автор наглядно демонстрирует, что предварительный

помол позволяет устранить локальные неоднородности распределения фаз и существенно замедлить рост зерен при горячем прессовании. В результате применения деагломерированных порошков достигнуто снижение температуры формирования плотного материала примерно на 100 °С, сужение гистограммы распределения зерен по размерам и, что наиболее важно, увеличение оптического пропускания керамики практически в два раза (с 40 % до 78 % на длине волны 2 мкм), что подтверждает эффективность разработанного подхода.

В главе 7 приводятся результаты исследования свойств композиционных керамик RE_2O_3-MgO с другими редкоземельными элементами ($RE = Y, Sc, Lu, Gd$), включая материалы, активированные ионами $Er^{3+}, Ho^{3+}, Tm^{3+}$, а также магнитооптической керамики на основе Dy_2O_3-MgO . В первой части проведено изучение керамики Gd_2O_3-MgO при сравнении с близким по микроструктуре композитом Y_2O_3-MgO . Несмотря на высокое пропускание Gd_2O_3-MgO в среднем ИК-диапазоне (до 83,5 % на 6 мкм), по совокупности механических и теплофизических свойств композит на основе оксида иттрия представляется более технологичным материалом с минимальными оптическими потерями. Далее проведена наработка серии активированных композиционных керамик $Er:Lu_2O_3-MgO, Er:Sc_2O_3-MgO, Ho:RE_2O_3-MgO$ и $Tm:RE_2O_3-MgO$. Установлено, что спектрально-люминесцентные свойства активаторов в композитах в целом соответствуют однофазным оксидным матрицам, при этом наиболее перспективными для лазерной техники являются составы на основе Y_2O_3 и Lu_2O_3 , обеспечивающие устойчивую двухфазную структуру и высокое пропускание в коротковолновой ИК-области. Полученные композиты демонстрируют ярко выраженную антистоксовую люминесценцию, визуально наблюдаемую в виде синего и желто-зеленого свечения даже при минимальной мощности возбуждения, что представляет перспективу к использованию этих материалов в качестве визуализаторов лазерного излучения.

С практической точки зрения важным является создание магнитооптической керамики Dy_2O_3-MgO с постоянной Верде $7,0 \pm 0,3$ рад/(Т·м) на длине волны 1940 нм. Несмотря на то, что магнитооптическая эффективность композита уступает однофазному оксиду диспрозия пропорционально объемной доле парамагнитной фазы, впервые изготовленные керамические оптические элементы, обладают более чем трехкратным преимуществом по теплопроводности при комнатной температуре, вдвое большей трещиностойкостью и существенно более высокой микротвердостью по сравнению с известными магнитооптическими материалами на основе оксида диспрозия.

На основании полученных данных автор справедливо делает заключение о том, что разработанные композиционные керамики RE_2O_3-MgO открывают

новые возможности для создания механически прочных и термостабильных элементов ИК-оптики, лазерных сред с контролируемой микроструктурой, визуализаторов лазерного излучения с высокой лучевой стойкостью (до 4,5 кВт/см²) и магнитооптических устройств среднего ИК-диапазона.

Глава 8 посвящена разработке методики прогнозирования спектрального характера потерь на рассеяние на зёрненной наноструктуре и микродефектах в композитах Y₂O₃-MgO. Для этого совместно использованы результаты многоуровневого исследования микроструктуры (данные сканирующей электронной микроскопии, инфракрасной микроскопии) и современные теоретические подходы к описанию рассеяния в концентрированных дисперсных системах - интерференционное приближение (модель ИТА) и теория Ми для крупных дефектов. По сравнению с ранее опубликованными оценками, основанными на модели независимых рассеивателей (INA), разработанный подход учитывает эффекты межзёрненной интерференции, что позволяет корректно описывать аномальное рассеяние и интерференционное просветление, характерные для оптически «мягких» композитов с высоким содержанием второй фазы. В совокупности это позволило не только верифицировать теоретические модели на экспериментальных спектрах наиболее прозрачных образцов, но и разработать аналитическую методику идентификации вкладов различных рассеивающих центров в общие оптические потери.

Более того, предложенный подход дал возможность количественно разделить потери на межзёрненное рассеяние ($\gamma d \sim \lambda^{-p}$ с $p > 4$, достигающим 6,5) и рассеяние на дефектах пористости ($\gamma D \sim \lambda^{-p}$ с $0 \leq p < 4$, включая «серую» составляющую $\gamma \sim \lambda^0$). Применение методики к серии образцов, спеченных при разных температурах, показало, что увеличение температуры горячего прессования сопровождается ростом вклада межзёрненного рассеяния (из-за укрупнения зерен со 125 до 185 нм) и снижением потерь на дефектах (уменьшение их концентрации на порядок). Подобные исследования для композиционных ИК-материалов выполнены впервые. Наряду с прикладной значимостью работы, этот факт обуславливает ее фундаментальную ценность: разработанная методика может служить инструментом оптимизации технологических параметров спекания, позволяя целенаправленно управлять микроструктурой для достижения минимальных оптических потерь в заданном спектральном диапазоне.

Текст диссертационной работы заканчивается **«Заключением»**, в котором сформулированы наиболее значимые результаты научной работы. В диссертации имеется одно приложение, в котором приведены данные о полученном авторе патента РФ.

Апробация полученных результатов

Апробация работы подтверждается 20 публикациями в ведущих рецензируемых изданиях из перечня ВАК и международных баз Web of Science / Scopus, из которых 10 статей относятся к первому квартилю (Q1). Дополнительно материалы диссертации отражены в 19 тезисах и трудах конференций различного уровня. Новизна технических решений защищена патентом РФ на изобретение. Результаты исследования прошли всестороннее обсуждение на престижных российских и международных научных мероприятиях.

Основные замечания и вопросы по работе

1. Из текста диссертации не ясно насколько разработанные технологии являются масштабируемыми в плане получения керамических образцов большого размера.
2. В явном виде не представлены результаты апробация полученных материалов в реальном секторе экономики.
3. Не ясно о какой химической стабильности идет речь в случае Ge и Si? Стр. 22. *«Большинство материалов представляют из себя диэлектрики, но Ge, Si, GaAs и GaP обладают достаточно малыми значениями ширины запрещенной зоны (0,7; 1,1; 1,4 и 2,2 эВ) и являются полупроводниками, в связи с чем, их оптические свойства ухудшаются при температурах, значительно ниже пределов их химической стабильности.»*
4. По стилю изложения литературного обзора иногда складывается впечатление, что это работа коллектива авторов.
Стр. 52 *«Однако **мы** не нашли эквивалента названия данного метода в отечественной литературе и поэтому приводим в авторской редакции.»*
Стр. 53. *«На **наш** взгляд, наиболее точно самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) можно охарактеризовать...»*
Стр. 54 *«Во избежание путаницы **мы** будем использовать термин СВС.»*
5. В тексте диссертации встречаются неудачные формулировки и выражения: «СЭМ-микроснимки», «СЭМ-микрофотографии» «Фотографии СЭМ» вместо СЭМ изображения.

Указанные замечания не умаляют теоретической и практической ценности диссертации.

Заключение

Диссертация написана грамотным научно-техническим языком; ключевые результаты исследования опубликованы в авторитетных научных российских и международных журналах, а также представлены на отечественных и

зарубежных научных форумах. Размещенные на сайте диссертационного совета ННГУ им. Лобачевского текст диссертации и автореферат полностью соответствуют друг другу, при этом автореферат и опубликованные работы исчерпывающе раскрывают содержание диссертации.

Достоверность и новизна научных положений, выводов и практических рекомендаций, а также полученных данных не вызывает сомнений. Полнота исследований подтверждается наличием 20 статей в ведущих рецензируемых иностранных и российских журналах из перечня ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, индексируемых базах данных Web of Science и Scopus, 19 публикациях в сборниках тезисов и трудов всероссийских и международных конференций, а также патентом на изобретение Российской Федерации.

По тематике, методам исследования, предложенным новым научным положениям диссертация соответствует паспорту научной специальности 1.4.1. – Неорганическая химия в пунктах «фундаментальные основы получения объектов исследования неорганической химии и материалов на их основе» (пункт 1); «дизайн и синтез новых неорганических соединений и особо чистых веществ с заданными свойствами» (пункт 2); «взаимосвязь между составом, строением и свойствами неорганических соединений. Неорганические наноструктурированные материалы» (пункт 4).

Диссертационная работа Пермина Д.А. «Нанокпозиционные керамические материалы на основе оксидов магния и редкоземельных элементов для инфракрасной техники» является завершённой научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная задача создания физико-химических и технологических основ получения новых оптических композитов $MgO-RE_2O_3$ для фотоники и оптоэлектроники, имеющая существенное значение для развития страны.

По актуальности, научной новизне, теоретической практической значимости и достоверности результатов диссертация полностью соответствует критериям, установленным пунктами 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней». утверждённым постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (в действующей редакции), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а её автор Пермин Дмитрий Алексеевич заслуживает присуждения учёной степени доктора химических наук по научной специальности 1.4.1. – Неорганическая химия.

Отзыв подготовлен:

1. Профессором кафедры химии и технологии кристаллов, доктором

химических наук, Петровой Ольгой Борисовной.

2. Доцентом кафедры химии и технологии кристаллов, доктором химических наук, Аветисовым Романом Игоревичем.

Диссертационная работа заслушана, отзыв обсужден и единогласно одобрен на заседании кафедры химии и технологии кристаллов ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» (протокол № 10 от 27.03.2026 г.).

Профессор кафедры химии и технологии кристаллов, д.х.н.

Петрова Ольга Борисовна

Доцент кафедры химии и технологии кристаллов, д.х.н.

Аветисов Роман Игоревич

Секретарь, ассистент кафедры химии и технологии кристаллов, к.х.н.

Серкина Ксения Сергеевна

Почтовый адрес: 125047, г. Москва, Миусская пл. 9, ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева»

Тел. +7(495)496-67-81

Сайт: www.muctr.ru

E-mail: petrova.o.b@muctr.ru , avetisov.r.i@muctr.ru

Подписи профессора кафедры химии и технологии кристаллов, д.х.н. Петровой О.Б., доцента кафедры химии и технологии кристаллов, д.х.н. Аветисова Р.И., ассистента кафедры химии и технологии кристаллов, к.х.н. Серкиной К.С. заверяю

