

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора физико-математических наук, доцента Дресвянского Владимира Петровича на диссертацию Ананченко Дарьи Владимировны «Радиационно-индуцированные дефекты и люминесценция монокристаллов оксида алюминия», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния

Актуальность темы диссертации

Диссертация Ананченко Д.В. посвящена изучению механизмов образования и термической трансформации радиационных дефектов в кристаллах оксида алюминия, исследованию их парамагнитных и люминесцентных свойств. Обладая большой шириной запрещенной зоны кристаллы $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ являются уникальным оптическим материалом, обеспечивающим светопропускание в широком спектральном диапазоне от вакуумного ультрафиолета до средней инфракрасной области. Функциональные элементы на основе кристаллов оксида алюминия находят широкое применение в различных областях науки и техники.

При воздействии на широкозонные диэлектрики высокоэнергетических ионизирующих полей формируются стабильные продукты взаимодействия излучения и вещества – радиационные дефекты. Радиационные механизмы образования дефектов лежат в основе твердотельной дозиметрии. Дозиметрия смешанных ионизирующих полей, в том числе регистрация высоких доз радиационного излучения, является одной из актуальных проблем физики твердого тела. Интерес к данной научной проблеме находится на чрезвычайно высоком уровне. Неуклонно растет число публикаций по данной тематике, организуются конференции и издаются журналы, специально посвященные проблемам дозиметрии и радиационных измерений.

Возможности существующих промышленных твердотельных дозиметров, в том числе на основе кристаллов оксида алюминия, в той или иной мере ограничены с точки зрения области применения и необходимых функциональных характеристик: чувствительности; диапазону измеряемых доз; федингу. В связи с этим, существует значительный интерес к разработке высокоэффективных твердотельных дозиметров ионизирующего излучения на основе различных кристаллических соединений. В последнее время наряду с термолюминесцентной дозиметрией активно развиваются методы регистрации ионизирующих излучений, основанные на явлениях электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) и оптически стимулированной люминесценции (ОСЛ). Совокупность представленных в диссертационной работе Ананченко Д.В. исследований закономерностей образования и отжига радиационно-индуцированных дефектов в облученных монокристаллах $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, оценка роли данных дефектов в формировании парамагнитных и люминесцентных свойств исследуемых кристаллов, в существенной мере направлена на развитие методов ЭПР и ОСЛ дозиметрии.

Все вышеизложенное определяет актуальность, а также высокую фундаментальную и практическую значимость диссертационного исследования Ананченко Д.В.

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

Положения и выводы диссертации базируются на фундаментальных основах радиационной физики твердого тела. Степень обоснованности научных положений подтверждена совокупностью применяемых в работе теоретических и экспериментальных методик.

Основными экспериментальными методами исследования радиационно-индуцированных дефектов являлись фотолюминесцентная, оптическая, ЭПР спектроскопия, а также импульсная катодолюминесценция и термолюминесценция.

Моделирование энергетических потерь и пробегов ионов в $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ осуществлялось с использованием пакета программ TRIM, реализующего метод Монте-Карло. Моделирование процессов нагрева и плавления $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ под действием импульсных ионных пучков выполнено в специальной программе, составленной на языке «Фортран». Моделирование осуществлялось на основе решения одномерного уравнения теплопроводности для нестационарного температурного поля, вызванного воздействием излучения.

Полученные в работе результаты соответствуют существующим общепринятым научным представлениям. Обоснованность основных научных положений, результатов и выводов диссертации определяется большим объемом проведенных экспериментальных и теоретических исследований, качественной проработкой и анализом полученных данных. Научные положения и выводы, представленные в диссертации, четко аргументированы, строго обоснованы.

Достоверность положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Достоверность и обоснованность полученных научных результатов выводов и рекомендаций диссертационного исследования Ананченко Д.В. сомнений не вызывает. Они обеспечены достаточным количеством экспериментального материала, его высоким теоретическим уровнем, корректным применением комплекса взаимодополняющих экспериментальных методов и теоретических расчетов.

Достоверность изложенных в работе основных результатов базируется на экспериментальных данных, полученных на аттестованных образцах с помощью апробированных методик. Воспроизводимость экспериментальных данных обеспечена многократностью измерений и подтверждается хорошей повторяемостью результатов. Достоверность выводов подтверждается также сравнительным анализом результатов, полученных автором с аналогичными данными, приведенными в публикациях других авторов.

Основные результаты исследований изложены в 18 научных публикациях, из них 8 статей, опубликованных в рецензируемых научных журналах, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ и входящих в международные наукометрические базы Scopus и Web of science, 10 тезисов докладов на международных и всероссийских конференциях.

Результаты, полученные в работе, достаточно широко были представлены на научных симпозиумах, конференциях и семинарах: Международная молодежная научная конференция "Физика. Технологии. Инновации" (г. Екатеринбург, 2016, 2017 гг.), Всероссийская школа-семинар по проблемам физики конденсированного состояния вещества СПФКС (г. Екатеринбург, 2017 г.), XV Международная конференция по люминесценции и лазерной физике (Иркутская обл., п. Аршан, июль 2016 г.), 18th International Conference on Solid State Dosimetry SSD 18 (Германия, г. Мюнхен, июль 2016 г.), Europhysical Conference on Defects in Insulating Materials EURODIM'18 (Польша, г. Быдгощ, июль 2018 г.), 6th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects (Россия, г. Томск, сентябрь 2018 г.), 10th International Conference on Luminescent Detectors and Transformers of Ionized Radiation (LUMDETR-2018) (Прага, сентябрь 2018 г.), 20th International Conference on Radiation Effects in Insulators (REI-20) (Казахстан, г. Нур-Султан, август 2019 г.), 7th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects (Россия, г. Томск, октябрь 2020 г.).

Полученные в рамках диссертационного исследования результаты имеют практическое значение. Данные о термической стабильности радиационных дефектов в облученных монокристаллах $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ могут использоваться для разработки физических принципов управления дефектной структурой и люминесцентными свойствами исследуемых кристаллов. Установленные в работе закономерности могут быть применимы в люминесцентной и ЭПР-дозиметрии ионизирующих излучений. Данные о термической устойчивости и механизме отжига радиационных дефектов, образуемых в стехиометрических монокристаллах $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ под воздействием мощных импульсных ионных пучков с разной плотностью энергии, могут быть полезны при разработке радиационно-стойких диэлектрических материалов микроэлектроники.

Все изложенное позволяет сделать заключение о достоверности положений, выносимых на защиту.

Характеристика структуры и содержания диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений и обозначений и списка литературы. Работа изложена на 157 страницах текста, содержит 8 таблиц, 73 рисунка. Список литературы включает 286 источников.

Во введении представлены обоснование актуальности темы диссертационного исследования и анализ степени ее разработанности, сформулирована цель диссертационной работы, пути достижения цели, научная новизна и практическая значимость работы, приведено обоснование

достоверности полученных результатов, выдвинуты положения, выносимые на защиту, сформулирован личный вклад соискателя.

В первой главе представлен литературный обзор, посвященный рассмотрению вопросов и проблем, определяющих совокупность задач диссертационной работы. Особое внимание уделено процессам взаимодействия ионизирующего излучения с диэлектриками и механизмам образования радиационных дефектов. Отмечается недостаточность литературных данных о процессах образования, природе и термической стабильности радиационно-индуцированных дефектов, образующихся в $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ при облучении импульсными ионными пучками. Приводятся сведения о структуре, оптических и люминесцентных свойствах, а также термической стабильности дефектов в анионной и катионной подрешетке монокристаллического $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. Отдельное внимание уделено механизмам формирования дефектов F- и F₂- типа и методам их идентификации. Представлены результаты исследований радиационно-индуцированных дефектов методом ЭПР в кристаллах $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. Указывается на недостаточное количество публикаций об исследованиях парамагнитных свойств термохимически окрашенных кристаллов $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ с высокой концентрацией кислородных вакансий. Рассмотрена роль центров свечения F- типа в процессах ТЛ в монокристаллах $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. Подчеркивается противоречивость представлений о роли термической ионизации возбужденных состояний F-центров в формировании ТЛ свойств. Отмечена необходимость получения новых доказательств существования термической ионизации F-центров.

На основе проведенного обзора литературы автором сформулирована цель и основные задачи исследования.

Вторая глава посвящена рассмотрению материалов, экспериментальных и теоретических методов, используемых в диссертационной работе. Приводится описание методов и подходов при проведении экспериментов по облучению, исследуемых в работе кристаллов различными видами ионизирующих излучений. Описаны методики измерения спектров фотолюминесценции, спектров оптического поглощения и спектров импульсной катодолуминесценции. Особое место занимает описание термолуминесцентных исследований и методов электронного парамагнитного резонанса.

Отдельно рассмотрены инструменты и расчетные методы, используемые для моделирования пробегов ионов и температурных полей в $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ при облучении мощным импульсным ионным пучком C^+/H^+ .

В третьей главе представлены результаты комплексного экспериментального исследования спектров ЭПР, оптического поглощения и люминесцентных свойств термохимически окрашенных анион-дефектных монокристаллов $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, подвергнутых воздействию гамма-, бета-излучения, облучению импульсным электронным пучком и термооптической обработке.

В результате проведенных экспериментальных исследований показано, что облучение бета-источником, импульсным электронным пучком (130 кэВ) и термооптическая обработка кристаллов $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ приводят к образованию в них парамагнитных центров и появлению в спектрах ЭПР соответствующей линии с $g = 2,008$. Доказана идентичность природы данной линии, индуцируемой при различных типах облучения.

Установлено, что радиационно-индуцированные центры, связанные с линией ЭПР с $g = 2,008$, теряют стабильность в интервале температур 773–973 К. Уменьшение интенсивности указанной линии при нагреве облученных образцов сопровождается ростом фотолюминесценции F^- и F^+ - центров, а также падением интенсивности люминесценции агрегатных центров F_2 -типа. По мнению автора, исчезновение ЭПР линии поглощения с $g = 2,008$ после термической обработки может быть связано с разрушением агрегатного дефекта F_2 -типа и с конверсией зарядового состояния парамагнитного центра в результате высвобождения носителей заряда из глубоких ловушек при $T = 773\text{--}973$ К. В частности, полученные температурные зависимости ЭПР и фотолюминесценции указывают на участие агрегатных центров F_2 -типа в формировании парамагнитных центров с $g = 2,008$.

Показано, что высокодозное бета- и гамма-излучение (более 200 Гр) приводит к появлению в ЭПР спектре комплексного сигнала, состоящего из линии поглощения с $g = 2,008$ и широкой (500 Гс) линии с $g = 2,11$. Автор предполагает, что линия поглощения с $g = 2,11$ может быть обусловлена наличием в образцах кластеров ионов железа. Данная линия термически стабильна до температуры 1200 К и полностью исчезает после отжига монокристаллов при 1300–1423 К. Спектры ЭПР образцов, подвергнутых термооптической обработке при 573 К, наряду с линией с $g = 2,008$, содержат дополнительную линию поглощения с $g = 1,955$. Данная линия ЭПР имеет различную интенсивность от образца к образцу и может быть связана с изолированным ионом Cr^{3+} в измененном локальном окружении.

Четвертая глава диссертации посвящена исследованию радиационно-индуцированных дефектов, образующихся в стехиометрических монокристаллах $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ при воздействии мощного импульсного пучка ионов C^+/H^+ с энергией 300 кэВ с плотностью энергии от 0,4 до 2,0 Дж/см².

Автором с помощью программного пакета TRIM были проведены расчеты неупругих и упругих потерь энергии ионов C^+ и H^+ при прохождении через кристалл $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. Полученные значения неупругих потерь энергии в $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ для ионов C^+ и H^+ составляют 82 кэВ/мкм и 144 кэВ/мкм соответственно, что значительно меньше порогового значения (20 МэВ/мкм) образования треков в данном материале. Делается вывод, что эффект образования треков при облучении импульсным ионным пучком C^+/H^+ не имеет места в исследуемых образцах $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$.

Представлены результаты теоретических оценок термического воздействия импульсного ионного пучка C^+/H^+ с энергией 300 кэВ на $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$.

Установлено, что температура поверхности монокристалла $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ достигает точки плавления при плотности энергии ионного пучка $W = 0,6 \text{ Дж/см}^2$, а испарения при $W \sim 1,0 \text{ Дж/см}^2$. Согласно расчетам максимальная глубина расплава при плотности энергии ионного пучка $1,5 \text{ Дж/см}^2$ достигает $0,8 \text{ мкм}$. Методом рентгеновской дифракции показано, что облучение монокристаллов $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ импульсным ионным пучком с плотностью энергии $1,25 \text{ Дж/см}^2$ не приводит к заметному изменению кристаллической структуры, сформировавшейся на поверхности при рекристаллизации расплавленного при облучении слоя, по сравнению с исходной.

Совокупностью спектрально-люминесцентных методик показано, что облучение импульсным ионным пучком (ИИП) C^+/H^+ приводит к образованию в стехиометрических монокристаллах $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ F- и F^+ -центров, а также агрегатных центров F_2 -типа. Увеличение плотности энергии ионного пучка от $0,4$ до 2 Дж/см^2 приводит к монотонному росту интенсивности фотолюминесценции F-центров. Согласно экспериментальным данным интенсивность люминесценции F^+ -центров растет в диапазоне $0,4\text{--}0,8 \text{ Дж/см}^2$, а при дальнейшем увеличении до $2,0 \text{ Дж/см}^2$ падает. По мнению автора, данная закономерность может быть обусловлена образованием при больших плотностях энергии импульсного ионного пучка агрегатных центров F_2 -типа.

В спектре фотолюминесценции облученных ионным пучком монокристаллов $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ обнаружено появление новой полосы свечения при $2,85 \text{ эВ}$ с максимумом возбуждения при $4,3 \text{ эВ}$. Автор предполагает, что природа данной полосы может быть связана с образованием агрегатных F_2^{2+} центров, либо более сложных вакансионно-примесных комплексов.

Показано, что термическая стабильность радиационно-индуцированных дефектов, связанных с кислородными вакансиями, образуемых под воздействием импульсного ионного пучка в оксиде алюминия, сравнима с термической стабильностью тех же дефектов в облученных нейтронами кристаллах. Установлено, что отжиг F^+ -центров происходит в результате их рекомбинации с подвижными межузельными атомами кислорода O_i .

Пятая глава диссертации посвящена получению новых экспериментальных доказательств существования процесса термической ионизации возбужденных состояний F-центров путем исследования эффекта разгорания ТЛ. По мнению автора работы, заметное разгорание ТЛ в пике $500\text{--}600 \text{ К}$, наблюдаемое в полосе свечения F-центров, а также отсутствие этого эффекта в полосах люминесценции F_2^{2+} -центров и ионов хрома является прямым доказательством связи эффекта разгорания с термической ионизацией возбужденных состояний F-центров. Изотермическое разгорание ТЛ в пике при 573 К наблюдается в образцах, облученных УФ излучением, и практически отсутствует после облучения образца импульсным электронным пучком. Предполагается, что в образцах, облученных УФ, заполняются только электронные глубокие ловушки при ионизации F-центров. В случае импульсного облучения электронным пучком заполняются как электронные,

так и дырочные ловушки, что приводит к менее выраженному разгоранию ТЛ. Эффект разгорания ТЛ отсутствует в пике при 800–870 К, что согласуется с моделью разгорания ТЛ, учитывающей термическую ионизацию возбужденных состояний F-центров, и подтверждает дырочную природу ловушки, ответственной за данный пик.

В заключении сформулированы основные научные результаты диссертационной работы и предложены перспективы дальнейших исследований.

Научная новизна исследования

В рамках диссертационного исследования автор получил целый ряд интересных **научных результатов**, часть из которых получена **впервые**:

1. Впервые обнаружено, что облучение бета-источником $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$, импульсным электронным пучком (130 кэВ), а также термооптическая обработка при температурах 573–773 К термохимически окрашенных кристаллов $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ приводят к образованию в них парамагнитных центров идентичной природы с $g = 2,008$ (п. 3 и 4 Паспорта специальности ВАК).

2. В облученных термохимически окрашенных монокристаллах $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ впервые обнаружена прямая корреляция интенсивности линии ЭПР с $g = 2,008$ и полос оптического поглощения (ОП) и фотолюминесценции (ФЛ) агрегатных центров F_2 -типа, а также обратная корреляция интенсивности указанной линии ЭПР с ФЛ и ОП одиночных центров F-типа (п. 1 и 2 Паспорта специальности ВАК).

3. В термохимически окрашенных монокристаллах $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ впервые исследована термическая стабильность радиационно-индуцированных парамагнитных центров с $g = 2,008$. Установлено, что отжиг данных дефектов происходит в интервале температур 773–973 К (пп. 1 и 3 Паспорта специальности ВАК).

4. На основе комплексного исследования оптических и люминесцентных свойств, впервые доказано, что облучение ИИП C^+/H^+ (энергия 300 кэВ) приводит к образованию в монокристаллах $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ одиночных F- и F^+ -центров, агрегатных центров F_2 -типа, а также дефектов неустановленной природы, ответственных за полосу ФЛ при 2,85 эВ с максимумом возбуждения при 4,3 эВ (п. 1 и 4 Паспорта специальности ВАК).

5. Впервые установлено, что F^+ -центры в монокристаллах оксида алюминия, облученных ИИП C^+/H^+ , теряют стабильность при $T = 723\text{--}1123$ К в результате их рекомбинации с подвижными межузельными атомами кислорода O_i (п. 3 и 4 Паспорта специальности ВАК).

6. На основе результатов измерений спектрально-разрешенной ТЛ доказана взаимосвязь эффекта разгорания ТЛ в пике при 573 К с термической ионизацией возбужденных состояний F-центров в термохимически окрашенном $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (п. 1 и 3 Паспорта специальности ВАК).

Замечания по диссертации

Положительно оценивая диссертацию Ананченко Д.В. в целом, полученные новые научные результаты, их обоснованность и достоверность, необходимо отметить следующие дискуссионные положения, недостатки и замечания.

1. Методы спектроскопической дифференциации квантовых систем, в различных средах, как правило, основаны на систематизации их спектральных полос. Наличие сильного электрон-фононного взаимодействия в диэлектрических кристаллах обуславливает однородное уширение спектральных линий, превращающихся в широкие перекрывающиеся полосы. Два типа центров могут иметь одинаковые полосы поглощения и люминесценции. В рамках диссертационного исследования для идентификации радиационных дефектов, индуцируемых в исследуемых кристаллических образцах различными видами ионизирующих излучений, применяется совокупность спектроскопических методик, основанных на измерении спектров поглощения, возбуждения и люминесценции. Между тем, метод люминесцентной спектроскопии в качестве дополнительного идентификационного признака предусматривает определение кинетических параметров центров окраски, характеризующихся временами разгорания и затухания люминесценции. По моему мнению, измерение временных характеристик фотолюминесценции в значительной мере облегчило бы задачу дифференциации радиационно-индуцируемых дефектов.

2. Исследования термической стабильности радиационно-индуцированных центров окраски в $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ проводились с использованием метода фотолюминесцентной спектроскопии. Автор справедливо отмечает, что достоинством ФЛ спектроскопии в сравнении с методом ОП является его большая чувствительность к изменению концентрации дефектов. Необходимо заметить, что адекватное применение данного метода возможно только при низких концентрациях центров окраски (как правило, значение оптической плотности не должно превышать 0,05), а его реализация требует использования стабильного источника возбуждения люминесценции и существенно зависит от геометрии эксперимента. Какие меры предпринимались для обеспечения линейной зависимости интенсивности фотолюминесценции от концентрации дефектов в ходе реализации метода фотолюминесцентной спектроскопии?

3. При анализе результатов исследования термической стабильности радиационно-индуцированных центров (п. 4.5) автор работы отмечает, что близость параметров кинетики отжига, рассчитанных в данной диссертационной работе, с параметрами, известными для облученных нейтронами образцов, указывают на идентичность механизмов отжига радиационных F^+ - центров, формируемых при облучении ИИП и нейтронами. При этом сам механизм не раскрывается. В чем суть данного механизма?

4. Автором диссертации широко применяется термин «одиочный центр». При этом, все исследования, представленные в работе проведены на

ансамблях дефектов. По всей видимости, в данном случае речь идет о конкретном типе центров окраски. По моему мнению, существует необходимость конкретизации указанного термина, учитывая то обстоятельство, что в настоящее время бурно развиваются прецизионные методы микроспектроскопии одиночных молекул и квантовых систем.

5. Несмотря на то, что диссертация написана хорошим, грамотным языком, в тексте диссертации встречаются неточности и опечатки. В частности, на стр. 20 (последний абзац), на стр. 26 (последний абзац), в подписи к рис. 4.25.

Указанные выше замечания, являются частными, носят рекомендательный характер и не влияют на общую положительную оценку работы.

Заключение

Диссертация Ананченко Дарьи Владимировны на тему «Радиационно-индуцированные дефекты и люминесценция монокристаллов оксида алюминия», представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком уровне. Достижение поставленной в диссертационном исследовании цели сопряжено с решением целого комплекса задач, имеющих фундаментальное и прикладное значение.

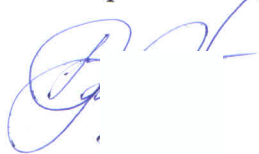
Диссертация и автореферат соответствуют пунктам Паспорта специальности 1.3.8 Физика конденсированного состояния: 1. Теоретическое и экспериментальное изучение физической природы и свойств неорганических и органических соединений как в кристаллическом (моно- и поликристаллы), так и в аморфном состоянии, в том числе композитов и гетероструктур, в зависимости от их химического, изотопного состава, температуры и давления; 2. Теоретическое и экспериментальное исследование физических свойств упорядоченных и неупорядоченных неорганических и органических систем, включая классические и квантовые жидкости, стекла различной природы, дисперсные и квантовые системы, системы пониженной размерности; 3. Теоретическое и экспериментальное изучение свойств конденсированных веществ в экстремальном состоянии (сильное сжатие, ударные воздействия, сильные магнитные поля, изменение гравитационных полей, низкие и высокие температуры), фазовых переходов в них и их фазовых диаграмм состояния; 4. Теоретическое и экспериментальное исследование воздействия различных видов излучений, высокотемпературной плазмы на природу изменений физических свойств конденсированных веществ.

Автореферат диссертации Д.В. Ананченко полностью соответствует тексту диссертации, отражает ее основное содержание, имеет логически грамотное построение и последовательность изложения результатов исследования.

По результатам диссертационного исследования автором опубликовано достаточное количество научных работ. Диссертационная работа удовлетворяет требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, а ее автор, Ананченко Дарья Владимировна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 Физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт лазерной физики Сибирского отделения
Российской академии наук,
г. Иркутск, заведующий Иркутским филиалом
ФГБУН Институт лазерной физики Сибирского отделения
Российской академии наук
Дресвянский Владимир Петрович

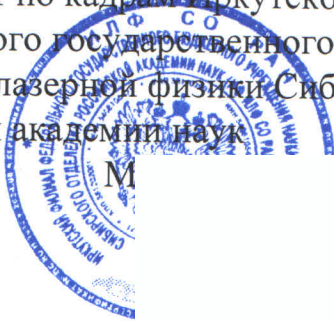


Контактная информация:

Федеральное государственное
бюджетное учреждение науки Институт лазерной физики
Сибирского отделения Российской академии наук
630090, Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, д. 15Б;
8 (3952) 51-14-38; ibchief@ilph.irk.ru; [https:// http://laser-physics.ru/](https://http://laser-physics.ru/)

«04» сентября 2024 г.

Подпись В.П. Дресвянского удостоверяю
Специалист по кадрам Иркутского филиала
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института лазерной физики Сибирского отделения
Российской академии наук



Ф.А. Степанов