

## **Отзыв**

**официального оппонента, доктора физико-математических наук,  
профессора Исаева В.А.**

**о диссертации «Стойкость материалов силовой оптики к воздействию мощных импульсов излучения CO<sub>2</sub>-лазеров», представленной на соискание её автором Рогалиным Владимиром Ефимовичем ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.**

В области физики конденсированного состояния значительный интерес исследователей вызывает создание материалов силовой оптики для мощных лазерных систем на основе CO<sub>2</sub>-лазера, излучение которого находится в области прозрачности атмосферы. Исследованию оптических свойств, реальной оптической стойкости, анализу физических явлений, приводящих к выходу из строя оптических элементов, поиску путей улучшения качества оптических материалов и возможностей их реставрации после использования и посвящена диссертационная работа Рогалина В.Е. В этой связи разработанная автором тема исследований представляется весьма актуальной. В пользу своевременности предлагаемых исследований свидетельствует и тот факт, что по экспертным оценкам в ближайшие двадцать лет 90% материалов будут заменены принципиально новыми, что приведёт к существенным изменениям в структуре производства.

Представленные в последние годы в научной литературе сведения об использовании CO<sub>2</sub>-лазеров, физических свойствах выбранных автором объектов исследования, представляемых собой фундаментальную базу развития лазерной техники в ИК-области, говорит о том, что интерес к ним не угас, а продолжающаяся востребованность их в различных отраслях промышленности требует достоверных знаний о зависимостях между составом, строением и свойствами материалов, а также закономерностях изменения последних под воздействием внешних факторов. Решение этих

задач, поставленных автором в диссертации, кроме чисто научного интереса, представляет собой ещё и важное практическое значение, так как понимание закономерностей физических процессов, протекающих в веществах, с которыми работал диссертант, позволяет достичь значительного прогресса в сфере фундаментального материаловедения.

Структура диссертации состоит из введения, восьми глав, заключения, списков авторской и цитируемой литературы, приложения, списка сокращений и обозначений. Общий объём диссертации 351 страницы со 142 рисунками и 24 таблицами. Список цитируемой литературы состоит из 422 наименований, публикаций автора по теме диссертации – 51 публикаций, основными из которых являются 24 статьи в высокорейтинговых отечественных и зарубежных изданиях. Результаты интеллектуальной деятельности защищены 1 авторским свидетельством СССР, 3 патентами РФ, 3 заявками на патент; более 25 статей опубликованы в сборниках научных трудов Международных и Всероссийских конференций, симпозиумов.

Во введении обосновывается актуальность темы, сформулированы цель и задачи диссертации, изложены научная новизна, теоретическая и практическая значимость, объекты и методы исследований, основные положения, выносимые на защиту, связь работы с научными программами и степень достоверности полученных результатов, личный вклад автора и описана степень их апробации и опубликованности.

В первой главе представлен аналитический обзор литературы об исследуемых объектах, сделан вывод либо о противоречивости данных, либо о недостаточности проведенных ранее исследованиях.

Во второй главе сообщается об используемых приборах и оборудовании, а также о методах исследования. Кроме того приведены результаты исследования спектров поглощения в монокристаллах германия n-типа, показано, что зависимость коэффициента поглощения от длины волны подчиняется выражению  $\beta \sim \lambda^{1,2}$ . Установлена зависимость частот

пиков решеточного поглощения в монокристаллах германия в зависимости от изотопического состава.

В главе 3 приведены результаты исследования порогов плазмообразования вблизи оптической поверхности и ее влияния на прохождение лазерного импульса через оптический элемент, описана морфология возникающих повреждений. Показано, что наиболее стойкими к плазменному пробою на поверхности кристаллов являются германий и арсенид галлия.

В четвертой главе подробно изложены результаты исследования стойкости монокристаллов германия к воздействию излучения импульсного CO<sub>2</sub>-лазера. Определена граница лавинного пробоя в приповерхностном слое германия, которая составила  $4 \times 10^7$  Вт/см<sup>2</sup>.

Пятая глава сообщает о причинах возникновения микропор в щелочно-галлоидных монокристаллах, исследована статистика их распределения по размерам в зависимости от условий воздействия, предложены методы их залечивания. Предложен метод выращивания монокристаллов NaCl и KCl в атмосфере фосгена без следов объемного пробоя.

В шестой главе приведены сведения об эффектах, возникающих при исследовании длительной эксплуатации глухих резонаторных зеркал в импульсных электроразрядных CO<sub>2</sub>-лазерах. Предложен метод лазерно-химической очистки металлических поверхностей.

В седьмой главе показано возможное преимущество алмаза при создании элементной базы для компактных изделий силовой электроники.

В последней восьмой главе приведены примеры практической реализации полученных результатов.

Наиболее важными результатами, полученными в этих разделах работы, на мой взгляд, являются представленные в п.п. 1, 2, 4, 5 научных положений, выносимых на защиту:

1. Результаты анализа воздействия мощных CO<sub>2</sub>-лазеров на оптические элементы и описание механизмов их разрушения. Предложение метода лазерно-химической очистки металлических поверхностей.

2. Определение ограничений использования кристаллического германия в силовой оптике.

3. Зависимость частоты максимума полосы поглощения в германии от его изотопического состава.

4. Использование в лазерной оптике водоохлаждаемого алмазного лазерного окна с монокристаллической центральной частью и поликристаллической периферийной с целью снижения потерь на поглощение и увеличения оптической стойкости.

Эти и другие результаты, описанные в работе, несомненно, достоверны и надежны, что подтверждается путем сравнения теоретических и экспериментальных результатов, их хорошем совпадении.

Работа содержит материал, который, несомненно, обладает научной новизной:

1. Прямое экспериментальное доказательство взаимосвязи оптической стойкости с фундаментальными свойствами материала, такими как ширина запрещенной зоны и энергия кристаллической решетки.

2. Влияние плазмы низкопорогового пробоя воздуха на процесс деградации лазерных зеркал и окон при импульсном воздействии излучения.

3. Влияние дефектов кристаллической структуры на оптическую стойкость материалов.

4. Методы лазерно-химической очистки металлических поверхностей.

5. Использование в лазерной оптике водоохлаждаемого алмазного лазерного окна с монокристаллической центральной частью и поликристаллической периферийной с целью снижения потерь на поглощение и увеличения оптической стойкости.

Следует отметить высокий профессиональный уровень проведения исследований, основанный на широком использовании многочисленных взаимодополняющих экспериментальных методов исследования.

К достоинствам работы относится:

В работе экспериментальное доказано взаимосвязь оптической стойкости с фундаментальными свойствами материала, такими как ширина запрещенной зоны и энергия кристаллической решетки, что представляет несомненный научный и методологический интерес.

Определены уровни предельно допустимых лучевых нагрузок на оптические элементы мощных широкоапертурных импульсных CO<sub>2</sub>-лазеров.

Предложены методы лазерно-химической очистки металлических поверхностей.

Работа прошла тщательную апробацию не только на уровне Международных конференций, но и в существенной части представлена в престижных научных изданиях.

В силу выше изложенного работа В.Е. Рогалина обладает теоретической и практической значимостью.

Однако, несмотря на то, что представленное диссертационное исследование, безусловно, решает фундаментальные задачи физики конденсированного состояния, оно не лишено недостатков.

1. Автор работы на стр. 47 утверждает, что «в области 10 мкм прозрачны некоторые нелинейные кристаллы, например, прустит, ZnGeP<sub>2</sub>. Однако применение этих кристаллов ограничивается традиционными областями нелинейной оптики, так как они дороги и обладают высоким поглощением, а технология их получения крайне сложна». При этом автор ссылается на работу Сониной А.С. и Василевской А.С. «Электрооптические кристаллы» 1971 года.

Очевидно, что с того времени появились новые материалы, в частности сложные теллуриды и селениды (свойства которых описаны в работах,

например, Бадикова В.В.), которые обладают высоким оптическим качеством в области 10 мкм, и могут быть использованы для указанных автором целей.

2. В тексте рукописи присутствует некоторое количество опечаток и неточностей. Так в оформлении глав слово «Глава» не пишется. Запятая в выражении «СО<sub>2</sub>-лазеров» на стр. 5 явно лишняя. В подписях к рисункам используется то короткое тире, то длинное, а в некоторых полностью отсутствует знаки препинания. Аналогичное замечание относится и к подписям к таблицам. На рисунке 7.11 нет обозначений осей.

3. В работе слабо отражено влияние технологических особенностей выращивания испытываемых кристаллов на их коэффициент поглощения и, как следствие, оптическую стойкость созданных из них оптических элементов.

4. Работа несколько перегружена экспериментальными результатами, что затрудняет чтение диссертации.

В заключении констатирую, что докторская диссертация В.Е. Рогалина **«Стойкость материалов силовой оптики к воздействию мощных импульсов излучения СО<sub>2</sub>-лазеров»** соответствует п.п. 1,3,6 паспорта специальности:

п.1. Теоретическое и экспериментальное изучение физической природы свойств металлов и их сплавов, неорганических и органических соединений, диэлектриков и в том числе материалов световодов как в твёрдом, так и в аморфном состоянии в зависимости от их химического, изотопного состава, температуры и давления;

п.3. Изучение экспериментального состояния конденсированных веществ (сильное сжатие, ударные воздействия, изменение гравитационных полей, низкие температуры), фазовых переходов в них и их фазовые диаграммы состояния;

п.6. Разработка экспериментальных методов изучения физических свойств и создание физических основ промышленной технологии получения материалов с определёнными свойствами.

Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации; основные результаты отражены в более чем достаточном количестве опубликованных статей в признанных ведущих Международных изданиях, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации, и апробированы на конференциях, симпозиумах совещаниях различного уровня.

Считаю, что докторская диссертация В.Е. Рогалина **«Стойкость материалов силовой оптики к воздействию мощных импульсов излучения CO<sub>2</sub>-лазеров»** соответствует требованиям ВАК Министерства образования и науки РФ к докторским диссертациям и, в частности, п.п. 9-14 «Положения о порядке присуждении учёных степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013, а её автор – Рогалин Владимир Ефимович – заслуживает присуждения ему учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 физика конденсированного состояния.

Доктор физико-математических наук  
профессор кафедры физики и  
информационных систем ФГБОУ ВО  
Кубанского государственного  
университета

Исаев Владислав Андреевич

**28.09.2016**

350058, Краснодар, ул. Кубанская, 54, кв. 69

Телефон +79181323379

E-mail: vlisaev@rambler.ru

Профессор кафедры физики и информационных систем, Физико-технический факультет, федеральное государственное бюджетное образовательное

учреждение высшего образования «Кубанский государственный университет

Адрес: 350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская, д. 149.

Тел.: +7 (861) 219-95-01

веб-сайт: <https://www.kubsu.ru/>

E-mail: rector@kubsu.ru