



**Уральский
федеральный
университет**

имени первого Президента
России Б.Н.Ельцина

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (УрФУ)

ул. Мира, 19, Екатеринбург, 620002,
факс: +7 (343) 375-97-78; тел.: +7 (343) 374-38-84
контакт-центр: +7 (343) 375-44-44, 8-800-100-50-44 (звонок бесплатный)
e-mail: rector@urfu.ru, www.urfu.ru
ОКПО 02069208, ОГРН 1026604939855, ИНН/КПП 6660003190/667001001

27.09.2016 № 05-19/1-112

На № _____ от _____

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по науке

ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого

Президента России Б.Н. Ельцина»

Кружаев Владимир Венедиктович



«27» сентября 2016 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»
на диссертационную работу Рогалина Владимира Ефимовича
**«Стойкость материалов силовой оптики к воздействию мощных
импульсов излучения CO₂ – лазеров»,**
представленную на соискание учёной степени
доктора физико-математических наук
по специальности 01.04.07 - Физика конденсированного состояния

Диссертация Е.В. Рогалина посвящена выявлению физических закономерностей, определяющих реальную оптическую стойкость материалов, используемых для изготовления силовой оптики, к воздействию излучения мощного импульсного CO₂-лазера в условиях, приближённых к реальным условиям эксплуатации.

Мощные лазерные системы на CO₂ широко применяются в различных лазерных технологиях. Одним из ключевых узлов лазера, определяющим его рабочие характеристики, является оптический резонатор. В газовых лазерах резонатор обычно состоит из двух или более зеркал, одно из которых

является выходным, и прозрачного окна разделяющего активную среду и атмосферу. Недостаточно высокая лучевая стойкость материалов силовой оптики ограничивает технические характеристики CO_2 -лазеров и предельно достижимая интенсивность излучения лазерной системы определяется, как правило, оптической стойкостью зеркал и выходного элемента. Поэтому задача исследования физики процесса взаимодействия мощного лазерного луча с оптическими элементами является весьма **актуальной**.

Диссертационная работа Рогалина Владимира Ефимовича состоит из введения, восьми глав, заключения, приложения.

Во введении обоснована актуальность, новизна, теоретическая и практическая значимость исследования; указывается цель, задачи, объекты; формулируются выносимые на защиту положения; обосновывается методология и методы исследования, достоверность результатов.

В главе 1 рассмотрены общие сведения о современных мощных импульсных CO_2 -лазерах и особенностях их конструкции, условиях работы выходных зеркал и окон, а также основные факторы, влияющие на работоспособность таких лазеров. Рассмотрены основные физико-химические свойства прозрачных и высоко отражающих материалов для области спектра 10 мкм, включая алмазы и материалы металлооптики, а также проанализированы перспективы их применения в CO_2 -лазерах. Сформулированы требования и критерии для выбора оптических материалов для мощных лазеров.

В главе 2 изложены методики и результаты спектрофотометрических исследований использовавшихся в работе оптических материалов.

В главе 3 представлены результаты исследования порогов плазмообразования вблизи оптической поверхности и влияния плазмы на прохождение лазерного импульса через прозрачный оптический элемент, а также морфологии возникающих повреждений.

В главе 4 изложены экспериментальные результаты исследования морфологии повреждений в монокристаллах Ge после воздействия излучения мощного импульсного CO_2 -лазера. Исследования проводились на серийно выпускаемых монокристаллах, обработанных по традиционной технологии, и на бездислокационных кристаллах с химической полировкой поверхности.

В главе 5 изложены результаты исследований морфологии объёмных и поверхностных повреждений в щёлочно-галогидных монокристаллах в

результате воздействия излучением мощного импульсного CO₂-лазера. Наряду с серийно выпускаемыми монокристаллами, исследовались кристаллы с контролируемыми примесями.

В главе 6 представлены результаты исследования оптической стойкости медных зеркал для мощных импульсных CO₂-лазеров.

Глава 7 посвящена исследованию возможности применения поликристаллических алмазов для оптических элементов мощных лазеров. Проведён анализ технологий их получения и обработки, а также на примере приборов силовой оптики и силовой электроники показана высокая эффективность применения алмазов.

В главе 8 подводятся итоги изучения физико-химических особенностей материалов для силовой оптики CO₂-лазеров и исследования лазерных систем, выполненных в АО «НЦЛСК «Астрофизика».

В заключении сформулированы основные результаты и выводы работы и приводится список публикаций по теме диссертации.

Научная новизна. По мнению ведущей организации, к наиболее значимым результатам, полученным автором и определяющим соответствие диссертации требованиям ВАК, следует отнести нижеследующие.

1) Впервые проведенное комплексное исследование реальной оптической стойкости материалов прозрачной силовой оптики CO₂-лазеров, которое показало, что основной причиной повреждения оптических элементов является плазма пробоя воздуха у поверхности образца.

2) Анализ оптических элементов из германия, показавший, что при облучении повреждается только приповерхностный слой.

3) Впервые проведенное систематически исследование возникновения объёмных полостей в щёлочно-галогидных кристаллах при воздействии лазерного импульса и апробированный механизм их залечивания.

4) Создание оригинальной лазерной очистки рабочей поверхности, позволяющей в сочетании с последующей химической обработкой сохранить в процессе эксплуатации оптическое качество зеркал.

5) Значительное увеличение выходной энергии излучения импульсного электроразрядного CO₂-лазера за счет оптимизации параметров зеркал и получение рекордных значений коэффициента полезного действия.

6) Демонстрация того, что водоохлаждаемые алмазные окна и зеркала способны выдерживать воздействие излучения с мультимегаваттной

плотностью мощности и возможность корректировать неизбежно возникающую при температурных градиентах тепловую линзу.

7) Разработка, изготовление и испытание монокристаллических германиевых окон диаметром 420 мм в составе уникального 4-х лучевого лазерного комплекса.

Достоверность полученных результатов базируется на использовании экспериментальных средств и технологических методов, адекватных изучаемым объектам, а также на соответствии полученных результатов опубликованным данным других исследовательских групп.

Научная и практическая значимость работы не подвергается сомнению. Практическая значимость работы выражается в том, что эксперименты проводились в условиях, максимально приближенных к реальным условиям эксплуатации, поэтому полученные результаты могут быть использованы при разработке реальных элементов силовой оптики мощных импульсных СО₂-лазеров, а научная – в исследованиях физики процессов взаимодействия лазерного излучения с веществом.

Необходимо отметить ряд замечания по диссертационной работе:

1) В работе недостаточно отражено влияние технологических особенностей выращивания исследованных кристаллов на оптическую стойкость изготовленных из них оптических элементов;

2) Работа в значительной степени перегружена экспериментальными результатами в ущерб их анализу;

3) Автор неоправданно использует жаргонные выражения, например: «глухие зеркала», «приповерхностный слой зеркала *шаржируется* частицами абразива»;

4) Неудачна подпись к Рисунку 2 – «Зависимость массы материала, вынесенного из полости, от энергии решетки кристалла»;

5) Ошибочно утверждение «коэффициент 0,23 имеет размерность $\frac{1}{2}kT$ ».

Указанные недостатки не носят принципиального характера и, естественно, не снижают ценности диссертации.

Заключение. Диссертационная работа Рогалина Владимира Ефимовича является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена крупная научная проблема, имеющая важное практическое значение для повышения

оптической стойкости силовой оптики при создании мощных CO₂-лазеров.

По материалам исследования автором опубликована 51 работа, в том числе две монографии и 22 статьи в журналах, рекомендуемых ВАК для диссертаций по данной специальности.

Результаты апробированы на всероссийских и международных конференциях и достаточно полно опубликованы в реферируемых журналах.

Содержание **автореферата полностью** соответствует диссертации.

По актуальности, научной новизне, объему проведенных исследований и практической значимости диссертационная работа «Стойкость материалов силовой оптики к воздействию мощных импульсов излучения CO₂ – лазеров» содержит ряд новых научных положений и апробирована на уникальных стендах НПО «Астрофизика». Диссертация отвечает требованиям Положения ВАК о порядке присуждения ученых степеней наук (Постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842), а её автор Рогалин Владимир Ефимович заслуживает присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния.

Отзыв заслушан и обсужден на семинаре Лаборатории сегнетоэлектриков отдела оптоэлектроники и полупроводниковой техники Научно-исследовательского института физики и прикладной математики Института естественных наук и математики ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» 23 сентября 2016 г. (протокол №2/3 от 23 сентября 2016 г.).

Доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией сегнетоэлектриков отдела оптоэлектроники и полупроводниковой техники Научно-исследовательского института физики и прикладной математики, профессор кафедры компьютерной физики Института естественных наук и математики Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
Адрес: Екатеринбург, 620000, пр. Ленина, 51
Моб. тел.: +7-912-613-4834
e-mail: vladimir.shur@urfu.ru

 (В.Я. Шур)
Шур Владимир Яковлевич