

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Роголина Владимира Ефимовича «Стойкость материалов силовой оптики к воздействию мощных импульсов излучения  $\text{CO}_2$  – лазеров», представленной на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния.

$\text{CO}_2$  – лазеры, излучающие на нескольких десятках линий в спектральном диапазоне 9 – 11 мкм, самой сильной из которых является 10,6 мкм, изучены весьма подробно.  $\text{CO}_2$  – лазеры широко применяются в лазерных технологиях обработки материалов, медицине, для стимулирования химических реакций, разделения изотопов, для оптической накачки лазеров дальнего ИК – и терагерцового диапазонов и т.д. Так как излучение  $\text{CO}_2$  – лазеров находится в окне прозрачности атмосферы 8 ÷ 14 мкм, то это существенно расширяет возможности их применения, тем более, что в этом диапазоне нет других лазерных источников, сопоставимых с  $\text{CO}_2$  – лазерами по мощности и КПД. Эти лазеры могут излучать в непрерывном, импульсном и частотно-импульсном режимах с КПД ~10%. Физические процессы при взаимодействии излучения с материалами в этих режимах заметно различаются.

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. Зачастую выходной элемент может совмещать функции окна и полупрозрачного зеркала. Недостаточно высокая лучевая (оптическая) стойкость материалов силовой оптики заметно ограничивает технические характеристики  $\text{CO}_2$  – лазеров. Так, предельно достижимая интенсивность излучения реальной лазерной системы в настоящее время определяется, как



правило, оптической стойкостью зеркал резонатора, в том числе, выходного элемента. Поэтому весьма актуальной является задача исследования физики процесса взаимодействия мощного лазерного луча с оптическими элементами.

Работа В.Е. Рогалина посвящена исследованию материалов силовой оптики для импульсного режима работы  $\text{CO}_2$  – лазеров. Несмотря на, казалось бы, сравнительно узкое направление, с точки зрения оптики лазеров, работа содержит разнообразные исследования 20 различных оптических материалов, весьма удачно объединённые в единую работу.

Особо отметим полученные автором интересные результаты по сдвигу частот максимумов поглощения с изменением массового числа изотопов германия. Было бы желательно провести подобные исследования с алмазом, имея ввиду изменение его фононной теплопроводности как прикладной результат.

**Работа не свободна от недостатков.** Они касаются главы 4.

Излишне много внимания уделено изучению макроразрушений поверхности германия, однако не анализируются причины появления упорядоченных микроразрушений в режимах околорогового разрушения поверхности германия серией импульсов излучения. Хорошо известны механизмы такого разрушения, базирующиеся на: образовании динамических пространственно ограниченных волноводных структур (в материалах с  $dn/dT > 0$ ) и возбуждении волноводных мод (см., например, [Письма ЖТФ. Т.16. Вып.8. С. 20. 1990; Optical Memory and Neural Network Modeling. 2012. No 1. P. 52]); образовании слоя расплава и возбуждении в слоистой структуре поверхностных плазмон поляритонов под действием линейно поляризованного излучения. Действие излучения с более сложным состоянием поляризации вызовет появление не линейных решеток, а более сложных поверхностных структур (см., например, [Оптика и Спектроскопия Т. 15. 1. С. 151-155 (2013)]).

Например, на рис. 4.7 б, в диссертации приведен результат взаимодействия с



германием серии импульсов  $\text{CO}_2$  излучения и характерный пространственный масштаб (периферия области разрушения) структур разрушения составил 2,6 мкм – величину, типичную для разрушения в режиме образования динамического волновода, когда пространственный период структур есть  $d \sim \lambda/n \sim 2,4$  мкм. Более того, как видно из рисунка 4.7в, гребни сформированного рельефа оказываются пространственно промодулированными, что может быть связано с возбуждением и интерференцией с участием канальных поверхностных плазмон поляритонов, см., например, Оптика и Спектроскопия Т. 120. 4. С. 118-123 (2016). Таким образом, в диссертации не рассматривается векторный характер взаимодействия импульсного лазерного излучения с конденсированной средой.

Однако, отмеченные недостатки не затрагивают основные защищаемые положения диссертации.

Работа является законченной и выполнена автором самостоятельно на достаточно высоком научном уровне. Проведенные исследования можно характеризовать как научно обоснованные, обеспечивающие решение важных задач в областях физики конденсированного состояния и лазерной техники. Представленные в работе экспериментальные и теоретические исследования достоверны, выводы диссертации обоснованы.

По материалам исследования автором опубликована 51 работа, в том числе, 2 монографии, 22 статьи в журналах, рекомендуемых ВАК для диссертаций по данной специальности, а также в 1 авторском свидетельстве СССР, 3 патентах РФ и 3 заявках на патент РФ.

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

Диссертация содержит ряд новых научных положений и опробована на уникальной стендовой базе НПО «Астрофизика». Диссертация отвечает



требованиям п.9 Положения ВАК о порядке присуждения ученых степеней наук (Постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842), а её автор Рогалин Владимир Ефимович достоин присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния.

Ведущий научный сотрудник

АО Научно-исследовательский институт оптико-электронного приборостроения

доктор физико-математических наук

Макин Владимир Сергеевич

e-mail: [makin@sbor.net](mailto:makin@sbor.net), служ. тел.(81369)68669

188540, г. Сосновый Бор Ленинградской обл., а/я 23

Макин В.С.

Подпись В.С. Макина заверяю

Ученый секретарь ОАО «НИИ ОЭП»

Осипов В.М.