

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Федерального  
государственного бюджетного  
учреждения науки Институт  
общей физики им. А.М. Прохорова  
Российской академии наук (ИОФ РАН)



Член-корреспондент РАН  
Гарнов С.В.

« 29 » августа 2019 г.

### ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Перевезенцева Евгения Александровича «Особенности создания мощных дисковых лазеров на иттербиевых средах с криогенным охлаждением», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

Задача увеличения как средней, так и пиковой мощности лазерного излучения является актуальной для различных промышленных и научных приложений. Высоких результатов в данном направлении удается достичь, используя дисковые Yb:YAG активные элементы с диодной накачкой благодаря небольшому дефекту кванта, высокой теплопроводности и эффективному теплоотводу. Импульсно-периодические Yb:YAG лазеры используются для генерации и усиления излучения в широком диапазоне длин волн, однако для ряда приложений необходимо увеличение энергии импульсов до джоульного уровня при килогерцовой частоте повторения. Данная задача решается при помощи криогенного охлаждения активных

элементов, которое улучшает тепловые и лазерные характеристики Yb:YAG.

В диссертации исследуются различные научные и технические проблемы, связанные с созданием мощных дисковых иттербиевых лазеров: выбор подходящих лазерных сред и оценка их качества, борьба с усиленным спонтанным излучением, разработка многопроходных схем, выбор системы стретчер-компрессор и другие. Особое внимание уделяется применению сложной в реализации, но эффективной технологии криогенного охлаждения активных элементов.

Структурно диссертация состоит из введения, двух глав, заключения и списка цитируемой литературы.

**Во введении** обосновывается актуальность работы, выполнен обзор литературы по теме диссертации, сформулированы цели, кратко излагается содержание диссертации, приведены выносимые на защиту положения. В обзоре литературы рассказывается об особенностях применения иттербиевых сред для создания дисковых лазеров с высокой средней мощностью и энергией в импульсе, об истории применения технологии криогенного охлаждения лазерных активных элементов, а также приводятся результаты основных работ в данной области.

**В первой главе** исследован целый ряд важных аспектов, связанных с построением мощных дисковых иттербиевых лазеров. Измерены лазерные характеристики наиболее распространенной среды Yb:YAG, а также перспективных на сегодняшний день полторных оксидов Yb:Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Yb:Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Yb:Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в диапазоне температур от 300 К до 80 К. на основе анализа полученных результатов был выработан полезный критерий качества данных сред. Разработана технология соединения оптических поверхностей кристаллов различных гранатов. Прочность и качество контакта, получаемые данным методом, не хуже, чем при использовании

классической термодиффузионной сварки, однако сам процесс значительно проще. Для решения одной из принципиальных проблем дисковых лазеров – малого продольного коэффициента усиления – предложена оптическая схема, при помощи которой можно обеспечить десятки проходов усиливаемого излучения через активный элемент. Схема состоит из небольшого набора оптических элементов, легко настраивается и позволяет регулировать количество проходов, а использование телескопа позволяет сохранять неизменным размер пучка на активном элементе.

Помимо вопросов создания лазеров затронута важная проблема оценки качества выходного излучения. В работе вычисляются и сравниваются между собой три критерия: интеграл перекрытия  $\chi$ , показывающий долю мощности неискаженного поля в искаженном; число Штреля  $S$ , соответствующее уменьшению интенсивности на оси пучка в фокальной плоскости, связанному с фазовыми искажениями; а также наиболее часто используемый параметр  $M^2$ , равный отношению расходимости искаженного и гауссова пучков. Для расчетов выбраны супергауссовы пучки и три наиболее часто встречающихся типа фазовых искажений: тепловая линза, самофокусировка и сферические aberrации. Одним из интересных результатов является то, что во всех рассмотренных случаях после выделения неискаженного (входного) поля в искаженном (выходном) увеличивается интенсивность на оси пучка в фокальной плоскости линзы, хотя полная мощность излучения при этом уменьшается.

Новизна предложенных решений по созданию резонаторов дисковых лазеров подтверждается двумя полученными патентами РФ. Результаты первой главы легли в основу работ, выполненных во второй главе.

**Во второй главе** исследуются особенности использования весьма перспективной, однако технически сложно реализуемой, технологии криогенного охлаждения дисковых активных элементов при помощи

жидкого азота, а также представлены полученные лазерные результаты. Для выбора параметров активных элементов проведена оценка количества запасенной энергии в криогенном дисковом Yb:YAG усилителе. Рассмотрена задача сильного растяжения во времени узкополосного излучения, актуальная при использовании метода усиления чирпированных импульсов для создания криогенных иттербиевых лазеров с высокой пиковой мощностью. В работе рассмотрены варианты создания стретчера и компрессора не только при помощи широко распространенных и зарекомендовавших себя голографических дифракционных решеток, но и с использованием объемных чирпирующих брэгговских решеток. Исследована возможность подавления эффекта усиленного спонтанного излучения за счет изменения формы активного элемента и/или использования поглощающих накладок (клинга). Наилучшие результаты продемонстрированы при использовании композитного Yb:YAG/YAG элемента, изготовленного методом термодиффузионной сварки, описанным в первой главе. Для получения высокой средней мощности разработано и изготовлено две системы проточного охлаждения жидким азотом: при помощи погружного насоса для крупногабаритных криостатов и с использованием внешней помпы для компактных квантронов. Проведенные исследования и разработанные технологии позволили получить высокие, в том числе уникальные, результаты при создании криогенных дисковых иттербиевых лазеров.

**В заключении** обсуждаются результаты работы и формулируются планы на будущее. В результате проведенной работы исследован целый ряд научных и технических проблем, возникающих при создании дисковых иттербиевых импульсно-периодических лазеров с одновременно высокой средней и пиковой мощностью, а также разработана и внедрена сложная технология криогенного охлаждения лазерных активных

элементов. Полученные научно-технологические решения успешно применяются для создания дисковых лазеров, в том числе с уникальными выходными параметрами.

Необходимо указать на следующие замечания:

1. Описание качества лазерного пучка только с помощью параметра  $M^2$  неоднократно критиковалось Ананьевым Ю.В., в том числе указывалось на неверность этого описания для пучков с фазовой коррекцией и негауссовых пучков. Хорошо было бы рассмотреть его работы, опубликованные в журнале «Оптика и спектроскопия» в 1994 и 1999 гг.
2. В образовании усиленной спонтанной люминесценции (УСИ) рассматривается только один фактор, а именно многочисленные переотражения вдоль оптической оси диска (приблизительно перпендикулярно его поверхности). Однако возможен и другой вариант – усиление спонтанного излучения в направлении вдоль пятна накачки, параллельно поверхности диска. В этом случае существует возможность даже за один проход получить усиление, достаточное для начала генерации или УСИ. В больших активных элементах (дисках и пластинах, а также в цилиндрических стержнях) именно этот процесс рассматривается как основной. Требуется доказать, что в вашем варианте вероятность возникновения УСИ больше.

Высказанные выше замечания несколько не снижают общей высокой оценки работы. Данная диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне. Она предоставляет широкое поле для научных дискуссий и стимулирует развитие новых исследований. В целом, можно отметить, что диссертация Е.А. Перевезенцева написана хорошим и грамотным



языком с подробным описанием результатов теоретических и экспериментальных исследований.

Диссертация отвечает требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК РФ, утвержденного постановлением правительства Российской Федерации от 24.09.2013г. № 842, а ее автор Перевезенцев Евгений Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

Отзыв составил



Цветков В.Б.

Руководитель Научного центра лазерных материалов и технологий  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук  
119991, Москва, ул. Вавилова, 38  
тел. +7(499)503-87-77 +390 (или 274)  
e-mail: [tsvetkov@lsk.gpi.ru](mailto:tsvetkov@lsk.gpi.ru)

**Выражаю свое согласие на обработку моих персональных данных,  
связанных с защитой диссертации.**

Подпись Цветкова В.Б. заверяю

ВРИО Учёного секретаря ИОФ РАН

д.ф.-м.н.




Глушков В.В.