

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента 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.

### **Актуальность темы диссертационной работы.**

Непрерывно расширяется спектр применений твердотельных лазеров, широко востребованных в различных областях науки и техники. Поэтому актуальными являются исследования, направленные на поиск новых решений для создания источников излучения, а также расширения набора возможных выходных параметров. При этом требуется провести целый набор взаимосвязанных работ от измерения параметров лазерной активной среды до выбора оптической схемы и изготовления необходимых комплектующих. Одним из современных актуальных направлений является создание лазеров с одновременно высокой энергией и частотой следования коротких импульсов. С их помощью возможно создание источников излучения различного спектрального диапазона, имеющих всевозможные научно-технические приложения. Однако создать лазер с высокой средней и пиковой мощностью непросто из-за проблем с высоким тепловыделением, эффектом усиленного спонтанного излучения, а также возможным пробоем оптических элементов. Для преодоления указанных сложностей автором выбраны передовые подходы, заключающиеся в использовании иттербиевых сред в геометрии тонкого диска, а также технологии криогенного охлаждения. Разработанные подходы и полученные результаты позволяют существенно улучшить параметры твердотельных лазеров с одновременно высокой средней и пиковой мощностью.

## Содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, двух глав, заключения и списка использованных источников, включающего и работы автора. Общий объем диссертации составляет 174 страницы, включая 74 рисунка и 3 таблицы. Список цитируемой литературы содержит 205 источников, включая 38 авторских работ.

Во введении представлены мировые результаты по созданию дисковых Yb:YAG лазеров с высокой средней и пиковой мощностью. Большое внимание уделяется технически сложной, но на сегодняшний день безальтернативной технологии криогенно охлаждения, используемой для получения высокой энергии импульсов при высокой частоте повторения. Обсуждаются возникающие при таком подходе проблемы и возможные пути их решения. Определены цели и задачи, а также научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе рассматривается целый ряд общих вопросов, связанных с созданием мощных дисковых иттербиевых лазеров. Предложен новый метод диагностики Yb:YAG для оценки качества материала, представлен новый способ создания композитных активных элементов для подавления эффекта усиленного спонтанного излучения. Для эффективного извлечения запасенной энергии из дискового активного элемента при малом продольном коэффициенте усиления предложена новая многопроходная оптическая схема лазерного усилителя. Также рассмотрены вопросы количественной оценки влияния фазовых искажений на качество излучения.

Вторая глава полностью посвящена криогенному охлаждению активных элементов из Yb:YAG, а также Yb:Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> керамики. Рассматриваются особенности применения данного метода, возникающие проблемы и пути их решения. Представлены выходные параметры различных созданных криогенных дисковых иттербиевых усилителей.

В заключении сформулированы основные результаты выполненной работы, а также обсуждаются перспективы их дальнейшего применения.

## Научная новизна.

Yb:YAG является широко распространенной активной средой для создания мощных лазеров. Однако реальное качество материала очень сильно зависит от производителя. В работе предложен новый метод диагностики качества Yb:YAG при помощи измерения его лазерных и спектральных характеристик при температурах 300 К и 80 К. При помощи указанного метода появляется возможность сравнения качества образцов, имеющих одинаковые лазерные характеристики при комнатной температуре, используя данные, полученные при криогенном охлаждении. Помимо Yb:YAG исследованы также спектральные и лазерные характеристики перспективных полупрозрачных 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>. Используя полученные результаты предложена новая концепция повышения выходной энергии Yb:YAG лазеров с водяным охлаждением при помощи добавления криогенного каскада усиления на Yb:Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, или Yb:Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Данный подход обладает целым рядом преимуществ по сравнению с использованием криогенных Yb:YAG усилителей.

Качественное соединение оптических поверхностей имеет целый ряд различных применений в области лазеростроения. При этом сложно найти баланс между простотой метода и качеством контакта. В работе предложен новый метод, позволяющий получать монолитные композитные элементы с высокой прозрачностью и прочностью контакта при существенно меньших температурах, чем при традиционной термодиффузионной сварке, а также без прикладывания давления, что значительно упрощает проведение процесса.

Помимо перечисленных, в работе имеется еще целый ряд новых результатов. Для решения проблемы небольшого продольного коэффициента усиления предложена удобная оптическая схема для создания многопроходных дисковых усилителей. Проанализированы варианты создания стретчеров и компрессоров с большой дисперсией для криогенных дисковых Yb:YAG лазеров; внедрены недавно появившиеся на рынке

объемные чирпирующие Брэгговские решетки. В работе осуществлялся не только поиск, но и внедрение разрабатываемых методов и подходов. В результате был создан целый ряд криогенных усилителей, в том числе первых в своем классе.

Научную новизну работы подтверждают также 2 полученных патента РФ.

### **Достоверность и обоснованность результатов исследований.**

Соискателем рассмотрены и проанализированы основные научные работы в области создания иттербиевых лазеров с одновременно высокой средней и пиковой мощностью. Особое внимание уделялось перспективной технологии криогенного охлаждения активных элементов. В списке использованной литературы диссертации 167 сторонних источников. Е.А. Перевезенцевым проведен полный цикл исследований, необходимых для создания криогенного лазера. Все предлагаемые методы и подходы проходили экспериментальную верификацию. Достоверность результатов экспериментальных исследований не вызывает сомнений благодаря использованию соответствующего стандартного оборудования и методик измерения. Экспериментальные данные подтверждаются численными расчетами. О работоспособности предлагаемых научных и технологических подходов свидетельствуют созданные на их базе криогенные лазерные усилители с различными выходными параметрами.

Достоверность работы подтверждается публикациями в ведущих высокорейтинговых рецензируемых российских и зарубежных журналах, а также докладами на большом количестве международных совещаний и конференций.

Работа, конечно же, не лишена некоторых недостатков, в частности:

1. Удивляет структура диссертации. Ее объем более 170 страниц, и при этом в ней всего две главы, а обзор литературы в отдельную главу не вынесен. На наш взгляд, многовато (шесть) защищаемых положений, равно как и пунктов в разделе «Научная новизна» (семь). При этом содержание многих пунктов в обоих перечнях по сути совпадает. Это не совсем корректно.
2. Без чтения диссертации первое защищаемое положение кажется по сути очевидным, а последнее, шестое, защищаемое положение выглядит и вовсе нелогичным – либо в системе обеспечен высокий вакуум, что означает и отсутствие каких либо натеканий в ней, либо натекания есть, и тогда говорить о вакууме нельзя.
3. В разделе 1.3 на рис.16 и 17 приведены оптические схемы матричных многопроходовых систем. К сожалению, ни из показанных двумерных схем, ни из комментариев к ним нам так и не удалось до конца понять ход лучей в данных схемах, равно как и их отличия. Вероятно, использование трехмерной схемы (аксонометрического изображения) в данном случае было бы более уместным.
4. Раздел 1.4 посвящен попыткам автора выработать единый критерий качества лазерного пучка. На стр. 56 он формулирует эту задачу так «В любом случае возникает необходимость количественно, с помощью одного числа, описать качество пучка.» Это довольно удивительно, т.к. попытки решения этой задачи предпринимались многократно, и, собственно, еще в 80-е годы XX века рядом авторов, и в частности, Ю.А.Ананьевым, было строго показано, что эта задача не имеет решения. Даже для задач с высокой степенью монотонности и симметрии поперечной зависимости интенсивности и фазы пучка для того, чтобы охарактеризовать отличие волнового фронта пучка от гауссова или сферического, необходимо как минимум два числовых параметра, а в общем случае надо с той или иной степени точности анализировать двумерную функцию комплексной амплитуды. Нам этот раздел представляется если не лишним, то уж по

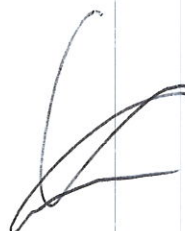
крайней мере неоправданно растянутым. Многие его результаты можно было бы, вероятно, найти в литературе. Еще удивляет в этом разделе следующее. На той же странице 56 автор говорит «На данный момент наиболее часто используются три количественных критерия: интеграл перекрытия  $\chi$ , число Штреля S (Strehl intensity ratio) и параметр  $M^2$  ( $M^2$  factor).» Второй и третий критерии из этого перечня и в самом деле постоянно на слуху, а вот что касается интеграла перекрытия, то, вообще говоря, оппонент практически впервые в своей практике встречает его использование в таком качестве. Ссылок на такое его использование мы в работе не нашли, а поиск в Интернете дал лишь отрывочные и весьма давние упоминания (например, в давних работах В.В.Любимова и его учеников). При этом физическая сущность такого критерия для нас осталась не вполне понятной. Автор диссертации формулирует эту сущность достаточно туманно, а именно (стр.56) « $\chi$  характеризует долю мощности неискаженного (входного) поля в искаженном (выходном) поле.» Вероятно, это определение требует дополнительной расшифровки.

Разумеется, высказанные замечания не снижают общую высокую оценку диссертации.

## **Заключение.**

Полученные в работе результаты являются новыми и имеют высокую практическую ценность при решении различных задач по созданию мощных дисковых иттербиевых лазеров. Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений. Работа выполнена на высоком научном уровне, личный вклад автора очевиден. 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.

Главный научный сотрудник кафедры  
Лазерных измерительных и  
навигационных систем (ЛИНС),  
доктор физико-математических наук по  
специальности 01.04.05 - оптика, доцент



Венедиктов  
Владимир Юрьевич

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

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Санкт-Петербургский государственный  
электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»,  
197376, г. Санкт-Петербург, улица Профессора Попова, дом 5.  
Тел +7 (921)9421846 [vlad.venediktov@mail.ru](mailto:vlad.venediktov@mail.ru)

