

## **Отзыв**

официального оппонента, доктора физико-математических наук, профессора Яшина Владимира Евгеньевича, на диссертационную работу Волкова Михаила Романовича «Подавление тепловых эффектов в иттербиевых дисковых лазерах киловаттного уровня средней мощности», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

### **Актуальность темы диссертационной работы**

Конструкция дискового лазера позволяет получать рекордные сочетания средней и пиковой мощности, но дальнейшее их увеличение ограничено характерными для твердотельных лазеров проблемами – тепловыми искажениями излучения и эффектом усиленного спонтанного излучения. Причем, эти ограничения взаимосвязаны с геометрией активного элемента, что приводит к необходимости решения комплексной задачи оптимизации характеристик лазерной среды, геометрии активного элемента, его накачки и схем лазерной генерации и усиления. Такой подход применен в рамках диссертационной работы, что позволило получить перспективные для применения в дисковых лазерах научные результаты.

### **Содержание работы**

Основное содержание работы представлено в трёх главах и двух приложениях.

В первой главе исследованы новые подходы к диагностике лазерных сред. Применение калориметрического метода измерения поглощения материалов с использованием излучения на различных длинах волн позволило обнаружить и исследовать дополнительные источники тепловыделения в иттербиевых средах, связанные с нелинейным «распадом» возбужденных состояний. Экспериментально показано, что такое дополнительное тепловыделение значительно влияет на эффективность лазерной генерации и может быть подавлено улучшением качества изготовления лазерной среды. Также, с использованием разработанного калориметрического метода оптимизирован метод горизонтально направленного роста кристаллов, что открывает возможности изготовления широкоапертурных кристаллов наилучшего лазерного качества.

Другими важными параметрами лазерной среды являются сечение усиления и время релаксации верхнего лазерного уровня. В данной работе оптимизирован стандартный подход к измерению этих величин и, выполнено измерение этих величин как в кристаллах Yb:YAG различного способа роста и легирования так и в других, ранее не исследованных

иттербиевых средах. В совокупности с калориметрическим методом эти измерения позволяют наиболее качественно охарактеризовать качество лазерных сред и отбирать наилучшие из них, что применялось в других главах диссертации.

Во второй главе диссертации представлены результаты разработки технологии монтажа и охлаждения дисковых активных элементов, что позволило осуществлять эффективный теплосъём в сотни Вт/см<sup>2</sup>, характерный для дисковых лазеров. В первой и во второй главах исследованы особенности применения композитных дисковых активных элементов. Сама концепция предложена давно, однако рекордные мощности дисковых лазеров по сей день получают с использованием «классических» дисковых элементов. Между тем преимущества композитной геометрии очевидны, а отсутствие значительных результатов обусловлено, в основном, трудностью создания прочного и однородного контакта между двумя оптическими элементами. В диссертации соискателя выполнено сравнение термонаведенных искажений и усиления в композитном дисковом активном элементе Yb:YAG/YAG и «классическом» дисковом активном элементе. Показано, что композитная структура активного элемента позволяет уменьшить величину дополнительного тепловыделения несмотря на большой уровень инверсии. Для подавления дополнительных тепловых искажений предложен и разработан способ изготовления нового типа композитных активных элементов из Yb:YAG/sapphire. Продемонстрирована высокоэффективная лазерная генерация и значительное уменьшение термонаведенных искажений излучения.

В третьей главе диссертации представлены результаты разработок дисковых лазеров, а также подходов к их масштабированию в субкиловатный диапазон мощности. Выполнена оптимизация параметров активного элемента и излучения накачки, при которой возможно получить максимальную мощность для одного лазерного модуля и изготовлены лазерные модули, демонстрирующие непрерывную лазерную генерацию мощностью 500-600Вт. В резонаторе с двумя одинаковыми модулями продемонстрирована мощность 1 кВт. Одним из основных подходов масштабирования дисковых лазеров является увеличение диаметра пятна накачки, что накладывает ограничения на достижение высокой яркости излучения при использовании таких квантронов в устойчивом резонаторе. Во втором разделе третьей главы, для масштабирования мощности путём увеличения апертуры предложено использовать неустойчивый резонатор совместно с многопроходной схемой усиления сигнала для компенсации слабой величины усиления в дисковом элементе. В представленном

неустойчивом резонаторе продемонстрирована лазерная генерация с дифференциальным КПД около 30% с близким к дифракционному качеством пучка.

### **Научная новизна**

Научная новизна данной работы подтверждается большим числом публикуемых по тематике данного диссертационного исследования работ в высоко рейтинговых журналах. В работе предложены новые методы исследования лазерных сред и на основе этих методов выполнены измерения ряда новых материалов. Исследования в области оптимизации геометрии дисковых и композитных дисковых активных элементов позволили разработать дисковый лазерный квантрон, по своим характеристикам соответствующий мировому уровню. Предложен, разработан и изготовлен новый тип композитных дисковых элементов из разнородных материалов (Yb:YAG/sapphire). На основе выполненных исследований разработан дисковый лазер кВт уровня средней мощности, предложена и реализована оригинальная схема неустойчивого резонатора для повышения оптического качества генерируемого лазерного излучения.

### **Достоверность и обоснованность результатов**

Результаты, представленные соискателем, хорошо согласуются с результатами других научных групп, работающих с данной тематикой. Настоящая диссертация является качественным продолжением работ, выполненных соавторами соискателя в предыдущие годы, поэтому является обоснованной. Достоверность представленной информации не вызывает сомнений.

### **Замечания к диссертации**

В диссертации экспериментально исследуется важный эффект дополнительного значительного нелинейного тепловыделения в дисковых активных элементах из Yb:YAG с высокой степенью легирования. Однако отсутствует теоретическая модель этого эффекта, что делает невозможным сравнение теории и эксперимента.

В работе используется понятие усиленного спонтанного излучения (УСИ) и исследуется его влияние на характеристики лазеров. Однако из-за высокого коэффициента отражения излучения люминесценции на границе раздела активной среды и воздуха а также при отражении люминесценции от зеркал возможна генерация паразитных объемных мод, которая влияет на усиление сильнее чем УСИ. К сожалению автор этот вопрос не обсуждает.

Существует небрежность в оформлении списка литературы. В отдельных местах не хватает года выпуска издания, вместо SPIE Proceedings используется просто SPIE без указания тома.

На стр.5 диссертации говорится о преимуществе дисковых лазеров, состоящей в из высокой апертуре, по сравнению с волоконными лазерами и с лазерами на основе прямоугольных активных элементов. Если со сравнением с волоконными лазерами можно согласиться, то при сравнение со вторым типом лазеров это утверждение неверно. Прямоугольные или слэб активные элементы могут обладать такой же большой апертурой, что и дисковые с отличающейся геометрией сечения пучка.

### Заключение

Диссертация Волкова Михаила Романовича полностью удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

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

Ведущий инженер, факультет фотоники и оптоинформатики ИТМО

доктор физико-математических наук, профессор

(специальность 01.04.21 – лазерная физика)

В.Е. Яшин

Контактная информация

Яшин Владимир Евгеньевич

Адрес 197191 Россия, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д.49, Университет ИТМО

тел: +7-911-217-2114, E-mail: vyashin@yandex.ru

Подпись доктора физ.-мат. наук, профессора В.Е. Яшина заверяю



*С.И. Корнилова*  
03.09.2020.