

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Институт
лазерной физики Сибирского отделения
Российской академии наук

чл.-к. РАН  А.В.Тайченачев

«18» сентября 2020 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Институт лазерной физики Сибирского отделения
Российской академии наук (ИЛФ СО РАН)

на диссертационную работу ВОЛКОВА Михаила Романовича
«Подавление тепловых эффектов в иттербиевых дисковых лазерах
киловаттного уровня средней мощности»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.21 – Лазерная физика

Диссертационная работа М.Р.Волкова посвящена решению актуальной задачи – подавлению тепловых эффектов в иттербиевых дисковых лазерах киловаттного уровня мощности, которые имеют широкое применение в многочисленных прикладных задачах, включая оптическую томографию в медицине, интроскопию в сфере безопасности, прецизионную резку и обработку материалов в промышленности. В работе подробно представлены результаты комплексных исследований источников тепловыделения и структуры тепловых потоков дисковых активных элементов, их генерационные характеристики, а также обосновано применение таких элементов для генерации и усиления излучения киловаттного уровня мощности. В частности, выполнены подробные исследования базовых параметров легированных иттербием лазерных сред, таких как сечение усиления, время жизни, потери на поглощение, подробно обсужден эффект дополнительного тепловыделения. Проведена разработка оптимальных способов накачки и охлаждения дисковых

активных элементов и путей подавления возникающих термонаведенных искажений излучения. Представленные в диссертационной работе результаты и методики имеют важное значение для создания высокоэффективных дисковых иттербиевых лазеров с высокой средней и пиковой мощностью.

Актуальность

В настоящее время источники когерентного излучения, а также оптические приборы и системы на их основе используются практически во всех областях человеческой деятельности, включая научные исследования, промышленное производство, телекоммуникацию и связь, метрологию, навигацию, медицину, ряд военных применений. В этой связи разработка новых принципов и подходов для реализации лазерных излучателей с высокой средней мощностью, с большой энергией и частотой повторения импульсов и хорошим оптическим качеством пучка является актуальной научно-технической задачей, имеющей большой прикладной потенциал. Дисковые активные элементы на основе лазерных кристаллов и керамик позволяют существенно улучшить характеристики генерации и выйти на рекордные параметры по средней мощности и энергетике пучка при заданных массогабаритных характеристиках излучателя. Важное значение имеют исследования новых материалов для дисковых лазеров, в том числе разупорядоченных сред и композитных структур, обладающих улучшенными спектральными и/или тепловыми характеристиками.

Таким образом, актуальность темы диссертационной работы Волкова М.Р. обусловлена как комплексным подходом к исследованию дисковых активных элементов лазерных излучателей киловаттного класса, так и рядом практических результатов, представляющих значительный интерес для разработки эффективных лазерных источников с высокой мощностью.

Анализ содержания диссертации

Диссертация Волкова М.Р. состоит из введения, трех глав, заключения, двух приложений, и списка цитируемой литературы, включающего и работы

автора. Общий объем диссертации составляет 117 страниц, включая 45 рисунков и 5 таблиц. Список цитируемой литературы содержит 87 источников.

Во **Введении** кратко представлены основные области использования мощных твердотельных лазеров, обсуждены проблемы получения лазерного излучения большой мощности, в том числе связанные со значительным тепловыделением в активном элементе. Одним из возможных технических решений, уменьшающих термооптические искажения при высоких уровнях накачки, является использование активных элементов дисковой формы, диаметр которых существенно превышает толщину активного слоя. Обсуждены основные преимущества и недостатки дисковых активных элементов, сделан вывод о перспективности их использования для создания твердотельных лазеров и оптических усилителей с высокой средней и пиковой мощностью. Далее по тексту автором сформулированы предмет исследования и актуальность темы, цели и задачи диссертационной работы, научная новизна и практическая значимость, а также основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена описанию результатов исследований лазерных и термоопических характеристик твердотельных материалов, допированных ионами трехвалентного иттербия. Предложен метод диагностики лазерных сред, легированных иттербием, на предмет величины дополнительного тепловыделения, основанный на измерении нагрева образца. Исследован эффект нелинейного дополнительного тепловыделения в различных лазерных средах (Yb:YAG, Yb:Y₂O₃, Yb:LuAG и др.). Предложен способ улучшения технологии роста лазерных кристаллов по методу Багдасарова. Исследован эффект нелинейного дополнительного тепловыделения в зависимости от температуры материала для дисковых и композитных активных элементов. Предложена модификация метода измерения сечения усиления и времени жизни в легированных иттербием активных средах с учетом перепоглощения излучения.

Во второй главе представлено подробное описание способов подавления тепловых искажений излучения в активных элементах. В частности, экспериментально исследовано влияние качества монтажа дискового активного элемента на эффективность его охлаждения и на фазовые искажения излучения. Показано, что наилучшим способом монтажа является приклейка дискового активного элемента на высокотеплопроводный диэлектрический радиатор. Экспериментально и теоретически исследовано влияние толщины и легирования дискового активного элемента на эффективность лазерной генерации. Показано, что уменьшение толщины диска с одновременным увеличением числа проходов накачки через активный элемент позволяет увеличить эффективность непрерывной лазерной генерации. При этом, минимальная толщина диска (~ 150 мкм) ограничена эффектом УСИ. Выполнено экспериментальное и теоретическое сравнение тепловых эффектов и усиления в дисковом Yb:YAG и композитном дисковом Yb:YAG/YAG активных элементах. Показано, что композитная структура активного элемента позволяет значительно улучшить эффективность охлаждения инверсной области, а также подавить такие эффекты как УСИ и нелинейное дополнительное тепловыделение. Разработан новый тип композитных дисковых активных элементов из разнородных материалов Yb:YAG/sapphire. Показано, что в таком типе композитных активных элементов можно обеспечить увеличенное (по сравнению с Yb:YAG/YAG) усиление и уменьшенную величину фазовых искажений за счёт более высокой теплопроводности сапфира. Экспериментально продемонстрировано, что величина фазовых искажений в композитном дисковом активном элементе может быть уменьшена путём наиболее оптимального подбора геометрии охлаждения его задней и боковой поверхностей.

Третья глава посвящена экспериментальной реализации дисковых лазеров с выходной мощностью киловаттного уровня. Представлены результаты экспериментальных и теоретических исследований влияния

толщины/легирования дискового активного элемента на эффективность лазерной генерации. Показано, что уменьшение толщины диска с одновременным увеличением числа проходов накачки через активный элемент позволяет увеличить эффективность непрерывной лазерной генерации. При этом, минимальная толщина диска (~ 150 мкм) ограничена эффектом УСИ. На основе разработанных дисковых лазерных квантронов создан двухквантронный непрерывный дисковый лазер с выходной мощностью до 1 кВт и эффективностью лазерной генерации ~ 50%, работающий в режиме многомодовой генерации поперечных мод. Представлена новая схема неустойчивого кольцевого резонатора для дискового активного элемента с многопроходной геометрией распространения излучения, обеспечивающая качество лазерного излучения близкое к дифракционному при большом диаметре пучка накачки на активном элементе. Экспериментально показана работоспособность данной схемы, получен лазерный пучок хорошего качества, в том числе, и в непрерывном режиме работы лазера.

В Заключении представлен перечень основных результатов работы.

Оценка новизны исследования

В рамках диссертации М.Р.Волковым были разработаны и предложены новые методы диагностики лазерных сред, в том числе по изучению и способам подавления эффекта нелинейного дополнительного тепловыделения. Исследования в области оптимизации геометрии дисковых и композитных дисковых активных элементов позволили разработать дисковый лазерный квантрон, по своим характеристикам соответствующий мировому уровню, а также раскрыли особенности термонаведенных фазовых искажений в дисковых и композитных дисковых активных элементах. В частности, на этой основе был разработан и изготовлен новый тип композитных дисковых элементов из разнородных материалов (Yb:YAG/sapphire). На основе выполненных исследований разработан дисковый лазер киловаттного уровня средней мощности, а также реализована оригинальная схема неустойчивого резонатора.

Выносимые на защиту положения отражают новизну исследования и оригинальность полученных результатов.

Оценка практической значимости результатов диссертационной работы.

Выполненные исследования позволили оптимизировать метод роста кристаллов по технологии Багдасарова и значительно повысить их лазерные характеристики. Разработанный в рамках работы новый вид композитных дисковых активных элементов из Yb:YAG/sapphire имеет благоприятные перспективы использования в высокоэнергетических дисковых лазерных усилителях. Разработанный на основе отечественных технологий дисковый лазер киловаттного уровня мощности, являясь альтернативой зарубежным лазерным системам, может найти широкое применение в области технологической обработки материалов.

Полученные в диссертации результаты можно рекомендовать к использованию при исследованиях и разработках новых образцов лазерной техники в ФКП ГЛП "Радуга", АО "НИИ Полюс им. М.Ф.Стельмаха", АО НИИЭФА им. Д.В.Ефремова и РФЯЦ ВНИИЭФ.

Оценка достоверности и обоснованности научных положений, результатов и выводов базируется на хорошей методической проработке экспериментов, применении современных средств измерения и контроля, воспроизводимости результатов, сопоставлении полученных данных с результатами других исследователей.

Основные результаты диссертации опубликованы в 17 докладах и статьях, среди них 9 статей в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК. Результаты работы были представлены на 6 международных и 2 российских конференциях.

Замечания по диссертационной работе:

Замечаний принципиального характера по содержанию и структуре диссертации нет. Можно отметить некоторую нечеткость и избыточный объем

формулировок основных положений, выносимых на защиту, а также в ряде случаев нехватку количественных характеристик обсуждаемых параметров. Так, например, из текста диссертации неясно, насколько в количественном выражении улучшается точность измерений спектроскопических параметров активной среды по предложенным соискателем методикам по сравнению с общепринятыми способами. Также к недостаткам работы следует отнести отсутствие анализа результатов сравнительного исследования генерационных характеристик дисковых и композитных активных элементов. В частности, автором диссертации не приведены пояснения, почему дифференциальная эффективность дисковых активных элементов выше, чем композитных структур, несмотря на преимущества композитов по силе термической линзы (меньше аналогичной величины для дисков) и коэффициенту одностороннего усиления (больше, чем у дисков), согласно данным рисунков 28(а-в). Кроме того, в приложении 2 значение коэффициента френелевского отражения от границы раздела сапфир - иттрий-алюминиевый гранат занижено на порядок, 0.004% вместо 0.04%.

Заключение

В целом, диссертационная работа Волкова М.Р. является законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно. Работа выполнена на высоком научном уровне, в ней получен ряд перспективных результатов, представляющих значительный интерес для разработки новых эффективных источников лазерного излучения с высокой средней мощностью. Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации, тема которой соответствует специальности 01.04.21 – Лазерная физика. В опубликованных работах содержатся все основные результаты и выносимые на защиту положения. Текст диссертации характеризуется полнотой изложения и научной значимостью представленных результатов, оценок и выводов. Отмеченные недостатки не имеют принципиального

характера и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

Диссертационная работа Волкова Михаила Романовича на тему **«Подавление тепловых эффектов в иттербиевых дисковых лазерах киловаттного уровня средней мощности»** по объему полученных данных, новизне поставленных и решенных задач, научному и практическому значению результатов, соответствует требованиям ВАК Минобрнауки РФ и удовлетворяет требованиям "Положения о присуждении ученых степеней", утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – Лазерная физика.

Диссертация рассмотрена, отзыв обсуждён и одобрен на научном семинаре ИЛФ СО РАН 16 сентября 2020 г.

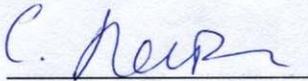
Отзыв составил

Ватник Сергей Маркович

кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук.

Телефон: +7-913-938-75-23

электронная почта: vatnik@laser.nsc.ru

 С.М.Ватник

Сведения о ведущей организации

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук.

Почтовый адрес: Проспект Академика Лаврентьева,

д. 15Б, г. Новосибирск, 630090.

Тел./факс (383) 333-20-67

E-mail: info@laser.nsc.ru

<http://www.laser.nsc.ru>