

«УТВЕРЖДАЮ»

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

(ИОФ РАН)



*[Handwritten signature]*

академик  
Щербаков И. А.

« 14 » апреля 2016 г.

### ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу  
Кузнецова Ивана Игоревича  
**«Лазеры с высокой средней мощностью на основе Yb:YAG элементов  
перспективных геометрий»,**  
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-  
математических наук  
по специальности 01.04.21 — «лазерная физика»

В последнее время быстро расширяется использование твердотельных лазеров с высокой средней мощностью излучения в промышленности, медицине и в научных исследованиях. Одним из самых перспективных типов лазеров, позволяющих достигать высокую среднюю мощность, является твердотельный лазер на основе кристалла Yb:YAG с диодной накачкой. Такие лазеры активно разрабатываются во всем мире, и это направление исследований безусловно является актуальным. Главной проблемой, возникающей при разработке твердотельных лазеров с высокой средней мощностью, является тепловыделение в активном элементе, которое приводит к вредным тепловым эффектам. В диссертационной работе Кузнецова И. И. предлагается оригинальный комплексный подход к решению представленной научной проблемы, включающий решение четырех основных задач: выбор геометрии активного элемента лазера, исследование тепловых параметров лазерной системы, определяющих распределение температуры в активном элементе, теоретическое и экспериментальное исследование термонаведенных фазовых и поляризационных искажений излучения в активном элементе лазера, разработка лазерного квантрона и оптической схемы лазера.

Автором получен целый ряд новых значимых результатов:

1) Предложен, теоретически исследован и экспериментально реализован относительный способ измерения теплопроводности твердых тел и коэффициента теплопередачи при контакте твердых тел в стационарном режиме, включающий создание одномерного теплового потока через исследуемый объект, находящийся между двумя эталонными прозрачными телами, и измерение температуры в эталонных телах методом фазово-сдвиговой интерферометрии. Измерена теплопроводность новых оптических сред и коэффициент теплопередачи ряда контактов, используемых в лазерной технике. Получены значения коэффициента теплопроводности керамики Ce:TAG, керамики  $MgAl_2O_4$  и магнитооптического стекла  $Tb_2O_3-B_2O_3-GeO_2$ , равные  $5 \pm 0.35$  Вт/(м\*К),  $12 \pm 0.5$  Вт/(м\*К) и  $1.45 \pm 0.1$  Вт/(м\*К) соответственно.

2) Проведен теоретический и экспериментальный сравнительный анализ оптической силы тепловой линзы, термонаведенной деполяризации и коэффициента усиления в дисковом Yb:YAG и композитном дисковом Yb:YAG/YAG активных элементах с торцевой диодной накачкой. Концентрация активных ионов в кристалле Yb:YAG составляла 10 at.%. Показано, что в композитном активном элементе ослабляется эффект нелинейного тепловыделения в Yb:YAG, возникающий при высокой плотности поглощенной мощности накачки ( $>30$  кВт/см<sup>3</sup>). Ослабление нелинейного тепловыделения происходит благодаря меньшей плотности мощности излучения люминесценции из-за отсутствия полного внутреннего отражения на границе Yb:YAG и YAG.

3) Проведено теоретическое исследование термонаведенных фазовых aberrаций в дисковом Yb:YAG и композитном дисковом Yb:YAG/YAG активных элементах с одинаковой геометрией активного кристалла и прямоугольным пространственным профилем торцевой диодной накачки. Показано, что величина фазовых aberrаций в композитном активном элементе меньше, чем в простом монокристаллическом АЭ в том случае, если отношение толщины диска Yb:YAG к диаметру накачки больше 0.05, а отношение толщины диска YAG к диаметру накачки больше 0.3.

4) Предложена, теоретически исследована и экспериментально реализована схема лазерного усилителя на основе активного элемента в форме тонкого конического стержня из кристалла Yb:YAG, в котором излучение диодной накачки распространяется волноводным образом от большего торца к меньшему, а усиливаемое лазерное излучение распространяется прямолинейно. Показано, что в такой схеме можно получить высокий погонный коэффициент усиления на всей длине стержня, что приводит к увеличению коэффициента усиления не менее чем в 2 раза и более эффективному извлечению запасаемой мощности, по сравнению с обычным стержнем такой же длины и диаметром, равным диаметру большего торца.

5) Реализован четырехпроходный лазерный усилитель на основе активного элемента в форме тонкого конического стержня из кристалла

Yb:YAG (диаметры торцов 1.2 и 0.6 мм, длина 30 мм). Достигнуто высокое значение коэффициента усиления слабого сигнала ( $G > 10$ ) за один проход. Сигнал задающего субпикосекундного волоконного лазера мощностью 0.22 Вт с частотой повторения 3 МГц усилен до выходной мощности 15 Вт при оптической эффективности 20 % и сохранении хорошего качества пучка.

б) Разработан квантрон на композитном дисковом Yb:YAG/YAG активном элементе (толщина Yb:YAG 300 мкм, легирование 10 at.%; толщина YAG 0.7 мм, диаметр диска 10 мм, диаметр пятна накачки 6 мм). За счет ослабления влияния эффектов усиленного спонтанного излучения и нелинейного тепловыделения достигнуто усиление по слабому сигналу  $G = 1.25$  и запасенная энергия 400 мДж при непрерывной накачке. На базе квантрона создан высокоэффективный непрерывный лазер с мощностью генерации равной 440 Вт и КПД 37 %.

Практическое значение диссертации заключается в том, что полученные результаты могут быть использованы при создании лазеров высокой средней мощности с различными выходными параметрами для применения в научных и производственных организациях. В диссертации описаны решения как физических, так и инженерных задач, возникающих при создании твердотельных дисковых лазеров. Кроме того, предложенные впервые методы, а именно метод измерения теплопроводности твердых тел и метод измерения коэффициента теплопередачи контактов твердых тел, имеют широкий спектр применения и могут быть использованы как в научных лабораториях, так и на производстве для исследования оптических материалов (кристаллы, стекла) и материалов термоинтерфейсов (термопасты, термоклей).

Основным недостатком работы является краткость литературного обзора, что затрудняет оценку значимости проведенных расчетов и экспериментального исследования.

Тем не менее, диссертационная работа представляет несомненную ценность как с научной, так и с практической точки зрения.

По теме диссертации опубликовано 8 статей в реферируемых научных журналах из списка ВАК, 3 статьи в сборниках трудов конференций, 13 тезисов докладов на конференциях и 3 патента РФ.

Диссертация Кузнецова И. И. является законченной научно-квалификационной работой, содержащей новые решения актуальной научной задачи разработки твердотельных лазеров высокой средней мощности на кристаллах Yb:YAG. Задачи и содержание работы отвечают паспорту специальности 01.04.21 — «лазерная физика».

Диссертационная работа отвечает критериям пункта 9 «Положения о порядке присвоения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., а Кузнецов И. И. заслуживает присуждения искомой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 — «лазерная физика».

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертационной работы.

Диссертационная работа Кузнецова И. И. рассмотрена на заседании научного семинара Отдела лазерных кристаллов ИОФРАН. Отзыв на работу утвержден на заседании Ученого совета Отдела лазерных кристаллов ИОФРАН (протокол №3 от 14.04.2016).

Руководитель семинара  
директор ИОФРАН  
академик

Щербаков И. А.

Ученый секретарь  
Отдела лазерных кристаллов  
к. т. н.

Субботин К.А.

Отзыв составил  
заведующий лабораторией  
д.ф.-м.н.

Цветков В.Б.

Цветков Владимир Борисович, д. ф.-м. н., зав. лаб.  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Института общей физики им. А.М. Прохорова  
Российской академии наук (ИОФ РАН),  
119991, Москва, ул. Вавилова, д. 38,  
тел. +7(499)503-8274, e-mail: tsvetkov@lsk.gpi.ru