

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента

Гречина Сергея Гавриловича – кандидата технических наук,  
старшего научного сотрудника Московского государственного технического  
университета им. Н.Э. Баумана

на диссертацию Кузнецова Ивана Игоревича «Лазеры с высокой средней  
мощностью на основе Yb:YAG элементов перспективных геометрий», пред-  
ставленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических  
наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика

### **Актуальность темы диссертации.**

Традиционно актуальной является разработка и исследование различных схмотехнических решений твердотельных лазеров. Связано это с тем, что расширяются области их применения, и требуются источники с самыми различными параметрами выходного излучения. Одновременно с этим появление новых активных сред со специфичными спектроскопическими и теплофизическими свойствами требует пересмотра не только используемых схмотехнических решений, но и решения задачи разработки новых типов квантронов, обеспечивающих эффективную накачку и охлаждение активных элементов. В этом случае необходим полный цикл исследований – от определения свойств материалов активных сред, их усилительных характеристик, термооптических искажений, наведенной деполяризации, до разработки конструкции и формы активных элементов. Полученные в ходе этих исследований результаты позволят разработать новые схмотехнические решения для усилителей и генераторов, и определить оптимальные режимы их работы.

Одним из актуальных направлений работ является создание лазеров с высокой средней мощностью. В настоящее время для решения различных прикладных задач требуются лазеры, способные формировать излучение как в непрерывном, так и импульсном режимах, с длительностями импульсов до десятков-сотен фемтосекунд и мощностью десятки-сотни ватт. Все это дела-

ет необходимым проведение связанных комплексных исследований.

В свете этого, тема работы, безусловно, является актуальной, и позволяет определить свойства новой активной среды  $YAG:Yb^{3+}$ , оптимальную конструкцию и форму активных элементов, и реализацию с их использованием лазерных излучателей с различными режимами генерации, имеющими КПД на уровне лучших мировых образцов. Результаты работы показывают пути дальнейшего развития, которые позволят значительно улучшить характеристики излучения с более высоким уровнем средней мощности.

### **Научная новизна.**

Для новой активной среды  $YAG:Yb^{3+}$ , перспективной для создания лазеров с высокой средней мощностью излучения, проводились отдельные исследования ее физических свойств, и исследования усилительных и генерационных характеристик для отдельных схемных решений. Эти данные были получены различными авторами, и не имели необходимой согласованности.

В работе И.И. Кузнецов первой задачей работы является проведение измерений свойств этой активной среды. Важным моментом является то, что это связанные исследования, направленные на решение конечной задачи создания лазеров с высокой средней мощностью. Полученные результаты являются новыми, и имеют большую практическую ценность.

Впервые представлены активные элементы оригинальной и перспективной конструкции (композитный и стержневой). Проведенные исследования их усилительных характеристик показали, что есть предпосылки для создания лазеров с высокой эффективностью и высоким уровнем средней мощности. Это полностью подтвердили результаты экспериментальных исследований. Конструкция композитного активного элемента с оптимальными параметрами позволяет уменьшить фазовые аберрации.

Нетрадиционным является подход по организации накачки и усиления в стержневом активном элементе, когда обеспечивается равномерная по длине стержневого активного элемента плотность мощности накачки. Пока-

зана возможность реализации 4-х проходного усилителя, обеспечивающего рекордно высокий коэффициент усиления, и проведены соответствующие экспериментальные исследования.

Научную новизну работы подтверждают публикации в ведущих высокорейтинговых журналах, и представление их на конференциях.

## **Содержание работы**

Диссертационная работа состоит из Введения, трех глав, заключения и списка цитируемой литературы, включающего и работы автора. Общий объем диссертации составляет 102 страницы, включая 37 рисунков и 3 таблицы. Список цитируемой литературы содержит 85 источников.

Во введении представлена информация о современной ситуации по лазерным излучателям на  $YAG:Yb^{3+}$ , особенности характеристик этого активного элемента, которая накладывает ограничения на используемые конструкции активных элементов и режимы работы. Представлены результаты по достижимым значениям выходной мощности в лазерах с  $YAG:Yb^{3+}$  активными элементами различной конфигурации. Рассмотренные вопросы определили цели и задачи работы, ее новизну и актуальность.

В первой главе представлены результаты экспериментальных исследований теплофизических параметров активного элемента  $YAG:Yb^{3+}$ , и коэффициентов теплопередачи на границах раздела сред, проведенные на основе предложенной автором оригинальной методики измерений.

Во второй главе представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований термооптических искажений и усилительные характеристики двух типов активных элементов – композитного дискового и стержневого. Определены оптимальные параметры соотношения размеров, при которых получены минимальные термооптические характеристики, и максимальное усиление.

В третьей главе, на основе проведенных предварительных исследований по основным вопросам, представлены результаты экспериментальных

исследований двух типов лазеров – непрерывного режима на основе композитного активного элемента, и лазера, генерирующего импульсы субпикосекундной длительности, с усилителем на основе стержневого активного элемента.

В заключении сформулированы основные наиболее важные результаты диссертационной работы.

Полученные результаты являются оригинальными, и представляют большой интерес с научной и практической точки зрения. Положения, выносимые на защиту, являются обоснованными.

### **Научная и практическая значимость диссертационной работы.**

Практическую значимость работы представляет разработка метода измерения коэффициента теплопроводности, так как существующие технические средства позволяют проводить измерения до единиц Вт/м/К.

Полученное хорошее согласие результатов теоретических и экспериментальных исследований показывает, что используемые модели при теоретических исследованиях могут быть использованы для решения подобного типа задач, и позволяют получать достоверные результаты.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования для композитных активных элементов показали возможность увеличения эффективности при уменьшении влияния усиленной люминесценции и уменьшения термооптических искажений. Определены оптимальные параметры элементов, при которых наиболее полно реализуются эти свойства. Решение этого круга задач традиционно имеет большую научную значимость.

Большой практический интерес представляют результаты для стержневого активного элемента, с использованием которого реализован 4-х проходный усилитель, имеющий рекордно большую величину коэффициента усиления. За этими элементами большое будущее, так как они позволяют реализовать эффективное использование запасаемой в элементе энергии при минимальном тепловыделении.

Проведенные экспериментальные исследования параметров излучения лазеров на двух типах активных элементах в различных режимах генерации представляют большой практический интерес. Результаты работы показывают возможность дальнейшего развития их для достижения более высоких значений средней мощности излучения.

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

Диссертантом изучены и проанализированы все основные результаты по ключевым вопросам измерения параметров активных элементов и полученным результатам, конструкциям активных элементов, полученным ранее результатам их усилительных и термооптических характеристик, генерационным параметрам излучения лазеров в различных режимах генерации. Список использованной литературы в диссертации содержит 85 наименования.

Теоретические исследования выполнены с использованием моделей, учитывающим все основные процессы и действие всех основных механизмов. Для всех полученных результатов расчетов дается физическая интерпретация. Полученные результаты теоретических исследований сопоставляются с полученными автором экспериментальными данными, и значениями полученных ранее результатов в близких условиях.

Достоверность результатов экспериментальных исследований обосновывается использованием типовых и отработанных методик измерений исследований, соответствующих решаемым задачам; использованием стандартных средств измерения.

### **Замечания по диссертационной работе**

По тексту диссертации можно отметить следующие замечания:

1. Нет описания и не приводятся технические характеристики используемых в настоящее время устройств для измерения коэффициента теплопроводности. Их недостатки и ограничения.
2. Для предложенной автором методики измерения коэффициента теплопро-

водности не учитывается коэффициент теплоотдачи боковых поверхностей. Этим можно, очевидно, пренебречь при больших поперечных размерах образцов. Но их величины в работе не приводятся.

3. Нет обоснования принятого для измерений значения коэффициента теплопроводности для эталонного YAG(9,5 Вт/м/К). По данным А.А. Каминского, W. Koeschner он равен 11-13 Вт/м/К. В дальнейшем это требует своего уточнения.
4. Нет описания границ применимости используемых математических моделей.
5. Нет детального пояснения к рис.10(а) причин меньшего коэффициента усиления с композитным активным элементом по сравнению с дисковым, тогда как автор определил, что заметную роль играет усиленная люминесценция, и величину ее можно уменьшить при использовании композитных элементов. Тепловыделение в активном элементе при частоте следования импульсов 7 Гц мало. В тексте приводится, что в композитном элементе усиленное спонтанное излучение слабее, и нелинейное тепловыделение не обнаружено.
6. В работе проведен большой цикл исследований. Но названия разделов сформулированы неудачно «Измерение ...», «Непрерывный лазер ...», и др.

Отмеченные замечания не снижают целостности и качества работы, и не влияют на положительную оценку.

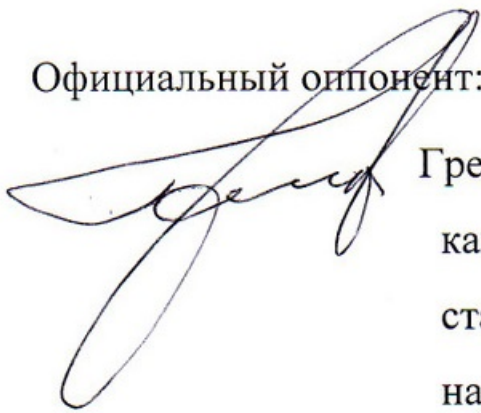
### **Заключение.**

Диссертация выполнена автором самостоятельно на высоком научном уровне. Результаты работы были опубликованы 27 работ, из них 8 в журналах, рекомендованных ВАК РФ; представлены на 15 конференциях; получены 3 патента РФ. Автореферат и опубликованные работы отражают основное содержание диссертации.

Диссертационная работа Кузнецова Ивана Игоревича «Лазеры с высокой средней мощностью на основе YAG:Yb<sup>3+</sup> элементов перспективных гео-

метрий», является законченной научно-квалификационной работой. Содержание работы соответствует паспорту специальности 01.04.21 – лазерная физика, и удовлетворяет всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» (п. 9-14), утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года, №842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

Официальный оппонент:



Гречин Сергей Гаврилович,  
кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник  
научно-учебного комплекса «Фундаментальные науки»  
МГТУ им. Н.Э. Баумана

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский Государственный Технический Университет имени Н.Э. Баумана» (МГТУ им. Н.Э. Баумана), 105005 Россия, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.  
Тел. +7 (499) 263 63 91, e-mail: bauman@bmstu.ru

Подпись официального оппонента Гречина Сергея Гавриловича заверяю.

Первый проректор – проректор по научной работе  
МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
доктор технических наук, профессор



Зимин В.Н.

«    »      2016 г.

## Список публикаций

официального оппонента Гречина Сергея Гавриловича,  
опубликованных в 2011 по 2016 гг.

по теме диссертации 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.

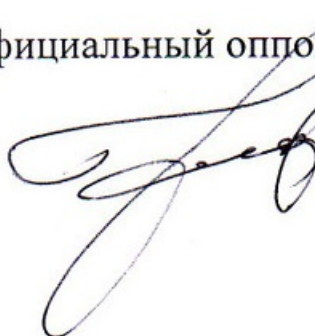
1. С. Г. Гречин, В. Г. Дмитриев, А. С. Чиркин. Прикладная нелинейная оптика в журнале «Квантовая электроника». Квантовая электроника, 2011, т.41, N12, с.1061-1068.
2. A.G. Okhrimchuk, S.G. Grechin, A.E. Kokh and V. Mezentsev. Antisymmetric Distribution of Permanent Refractive Index Change in  $\beta$ -BaB<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Crystal Under Exposure of Femtosecond Pulses. MATEC Web of Conferences 8, 02003 (2013)
3. С.Г. Гречин, П.П. Николаев, А.Г. Охримчук. Спектральный метод расчета распространения лазерного излучения в двухосных кристаллах с учетом разориентации собственных поляризаций. Квантовая электроника, 2014, т.44, N1, с.34-41.
4. С.Г. Гречин, П.П. Николаев, Е.А. Шарандин. Функциональные возможности формирования распределений инверсной населенности в квантронках с поперечной диодной накачкой. Квантовая электроника, 2014, т.44, N1, с.912-920.
5. Mingxin Song, Wenchao Zhang, Yachen Gao, Jinjer Huang, Guohua Zhang, Y.M. Andreev, S.G. Grechin, G. V. Lanskii. Simulation of the Thermo-optic Coupling Effect in Mid-infrared Second Harmonic Generation of ZnGeP<sub>2</sub> Crystal. Materials Science - Poland Conference, 2014, p.00328-01.



6. Yu.D. Arapov, S.G. Grechin, I.V. Kasyanov. Thermo-optical properties of LBO crystal for angular non-critical phase matching for second harmonic generation along X-axis. Laser Optics, 2014 International Conference, Saint Petersburg.
7. Yu.D. Arapov, A.V. Berezin, A.V. Bochkov, A.V. Isaev, A.F. Ivanov, I.V. Kasyanov, A.V. Kolegov, A.V. Lukin, S.G. Grechin. Periodical double frequency YAG:Nd laser for pumping parametric amplifier. Laser Optics, 2014 International Conference, Saint Petersburg.
8. Zhang Wen Chao, Ye Hong An, Yu. M. Andreev, S. G. Grechin, G. V. Lanskii. Simulation of thermo-optic coupling in the thermally anisotropic gallium selenide crystal for second harmonic generation. Laser Phys. Lett., 2014, v.11, N7, p.075402.
9. Yu.D. Arapov, V.A. Dyakov, S.G. Grechin, I.V. Kasyanov. The influence of thermal deformation processes on frequency conversion in an LBO crystal. Laser Physics Letters, 2014, v.11, N12, p.125402.
10. Ю.Д. Арапов, С.Г. Гречин. Влияние термодформационных процессов на температурную ширину синхронизма в различных кристаллах нелинейно-оптического преобразования частоты. IV Международная конференция «Фотоника и информационная оптика». МИФИ, 2015, с.112.
11. Yu.D. Arapov, S.G. Grechin, I.V. Kasyanov. Influence of thermal deformation processes on phase-matching temperature bandwidth in different nonlinear frequency conversion crystals. Conference on Atomic and Molecular Pulsed Lasers, AMPL – 2015, Томск, F-14.
12. Ю.М. Андреев, Ю.Д. Арапов, С.Г. Гречин, И.В. Касьянов, П.П. Николаев. Функциональные возможности нелинейных кристаллов для преобразования частоты: одноосные кристаллы. Квантовая электроника, 2015, т.45, №1, с.33-38.
13. Yu.D. Arapov, S.G. Grechin, I.V. Kasyanov. Influence of thermal defor-

mation processes on phase-matching temperature bandwidth in different non-linear frequency conversion crystals. Proceedings of SPIE, 2015, v.9810, p.1V.

Официальный оппонент:



Гречин Сергей Гаврилович,  
кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник  
научно-учебного комплекса «Фундаментальные науки»  
МГТУ им. Н.Э. Баумана

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский Государственный Технический Университет имени Н.Э. Баумана» (МГТУ им. Н.Э. Баумана), 105005 Россия, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.  
Тел. +7 (499) 263 63 91, e-mail: bauman@bmstu.ru

Подпись официального оппонента Гречина Сергея Гавриловича заверяю.

Первый проректор – проректор по научной работе  
МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
доктор технических наук, профессор



Зимин В.Н.

2016 г.