

«УТВЕРЖДАЮ»

ВРИО Директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт общей физики им. А. М. Прохорова

Российской академии наук

(ИОФ РАН)



Член-корреспондент
Гарнов С.В.

«16 апреля 2018 г.»

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук

на диссертационную работу Антипова Олега Леонидовича

«Высокоэффективные твердотельные лазеры с нелинейно-оптическим управлением и преобразованием параметров излучения», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика

Твердотельные лазеры, недавно отметившие свой 55-летний юбилей, продолжают оставаться одной из самых динамично развивающихся областей квантовой электроники. Дальнейшее расширение сферы применения твердотельных лазеров требует освоения новых спектральных диапазонов и улучшения пространственно-временных характеристик мощного лазерного излучения. Возникающие при этом научные проблемы являются, без сомнения, актуальными задачами современной лазерной физики.

Диссертационная работа О.Л. Антипова является результатом длительной и высокопрофессиональной работы в области физики твердотельных лазеров и нелинейной оптики и подводит промежуточный итог многолетних экспериментальных и теоретических исследований автора и возглавляемой им научной группы. Среди основных достоинств диссертации можно отметить глубину рассмотрения проблем исследования, использование различных экспериментальных методов, сочетание экспериментов с аналитическими оценками и численными расчётами, значительное число объектов исследования (включая волоконные лазеры и лазеры на оптической керамике).

Диссертация охватывает широкий круг вопросов, включающий исследование механизмов оптической нелинейности лазерных кристаллов и стёкол, взаимодействия световых пучков в активной среде, генерацию излучения в резонаторах с нелинейно-оптическими зеркалами, исследование неустойчивости пространственно-временной структуры излучения, когерентного сложения пучков, лазерную и параметрическую генерацию в среднем инфракрасном (ИК) диапазоне длин волн, применение лазеров в медицине. Актуальность данной работы обусловлена как необходимостью объяснения новых физических эффектов, возникающих в лазерных системах на новом этапе их развития, так и потребностями развития применения лазеров в различных областях.

Диссертация содержит 353 страницы и состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Список литературы включает 428 наименований.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертационной работы, формулируются цель и задачи исследования. Отмечена научная новизна и практическая значимость работы. Приводятся основные положения, выносимые на защиту; сведения об апробации работы, личном вкладе автора, структуре и объеме диссертации.

Первая глава посвящена детальным экспериментальным и теоретическим исследованиям различных механизмов изменения показателя преломления лазерных кристаллов и стёкол при интенсивной накачке. Наряду с тепловыми изменениями рассматривается электронная компонента, обусловленная различием поляризуемости возбуждённых и невозбуждённых ионов активатора. С использованием трёх различных экспериментальных методов (интерферометрических исследований, изучения динамических решёток, дифференциальной спектроскопии) проведены исследования изменений показателя преломления в ряде лазерных кристаллов и стёкол, активированных ионами Nd^{3+} и Yb^{3+} . Следует отметить, что результаты этих измерений электронной компоненты изменения показателя преломления получили подтверждение в работах других авторов, а данное направление в мировой науке прочно ассоциируется с работами О.Л. Антипова.

Вторая глава посвящена экспериментальным и теоретическим исследованиям параметрической генерации при четырёхволновом взаимодействии на динамических решётках, формируемых с участием внешнего оптического сигнала в нелинейной среде с обратной связью. В качестве нелинейных сред использовались нематические жидкие кристаллы и лазерные кристаллы. Целью этих работ было исследование и разработка новых обращающих волновой фронт зеркал, пригодных для работы с мощным лазерным излучением в различных спектральных диапазонах.

Третья глава посвящена экспериментальным и теоретическим исследованиям «самостартующих» твердотельных лазеров, резонаторы которых формируются с участием динамических решёток, возбуждаемых в активной среде самими волнами генерации. В теоретической части этой главы основное внимание уделено условиям генерации в самоорганизующейся системе, а также описанию пространственно-временных параметров лазеров с самостартующим резонатором. Экспериментальные исследования направлены на создание мощных

твердотельных лазеров (со средней мощностью в несколько сотен Ватт) с высоким качеством излучения.

Четвёртая глава посвящена исследованиям электронных изменений показателя преломления в иттербиевых волоконных усилителях и возможности их использования для когерентного сложения пучков многоканальных лазерных систем. Приведены результаты исследований механизма изменения показателя преломления с использованием волоконных интерферометров, а также когерентного сложения пучков в двухканальной волоконно-лазерной системе. Здесь же приведены результаты исследований поперечной модовой неустойчивости в маломодовых иттербиевых волоконных усилителях с малым порогом возникновения. Эти результаты также получили высокую оценку и широко цитируются исследователями различных групп всего мира.

Пятая глава посвящена высокоэффективным твердотельным лазерам с параметрическим преобразованием излучения в средний ИК диапазон. Приведены результаты исследований лазеров на кристаллах $\text{Nd}^{3+}:\text{YVO}_4$, $\text{Tm}^{3+}:\text{YLF}$, $\text{Ho}^{3+}:\text{YAG}$, а также керамике $\text{Tm}^{3+}:\text{Lu}_2\text{O}_3$ с диодно-лазерной и волоконно-лазерной накачкой. Пионерские работы автора по исследованию керамики $\text{Tm}^{3+}:\text{Lu}_2\text{O}_3$ и лазеров на её основе получили признание во всём мире. Рассмотрены гибридные лазерные системы, в которых излучение волоконных лазеров усиливается в усилителях на керамике. Значительное внимание уделено в этой главе исследованиям параметрических генераторов, преобразующих излучение гибридных лазерных систем в средний ИК диапазон длин волн. Приводятся также результаты разработки твердотельных лазеров двухмикронного диапазона для применения в медицине (для хирургии мягких биотканей и дробления камней в урологии).

В заключении приводятся основные результаты исследований.

Список цитируемой литературы включает 428 работ, значительная часть которых является публикациями самого автора диссертации (74 работы в рецензируемых журналах и изданиях, входящих в перечень ВАК).

Необходимо указать на следующие замечания:

1. Исследование когерентного сложения излучения двухканальной волоконно-лазерной системы выполнено с использованием эрбиевых усилителей со средней мощностью излучения на уровне 1 Вт. Эти результаты, на наш взгляд, нельзя автоматически переносить на гораздо более мощные лазерные системы (со средней мощностью от сотен Ватт до единиц килоВатт), которые в настоящее время являются наиболее актуальными. Возможность использования такого метода оптического управления фазовым набегом и компенсации фазовых искажений для лазерных систем с высокой мощностью остаётся открытым.

2. При рассмотрении медицинского применения лазеров на кристаллах $\text{Ho}^{3+}:\text{YAG}$ и керамике $\text{Tm}^{3+}:\text{Lu}_2\text{O}_3$ исследования разрушения почечных камней проводятся в открытом пространстве (на воздухе). Эти результаты следует рассматривать как предварительные и нельзя автоматически распространять на реальные условия урологических клинических операций.

3. В диссертации приводятся результаты экспериментальных исследований электронного механизма изменения показателя преломления как для кристаллов с кубической симметрией кристаллической решетки, так для анизотропных кристаллов и стекол с неоднородным уширением спектральных линий. Однако теоретическое рассмотрение данного механизма проведено только для оптически изотропных активных сред с однородным уширением спектральных линий. Возможность распространения данного теоретического подхода на стекла и анизотропные кристаллы не показана.

Высказанные выше замечания нисколько не снижают общей высокой оценки работы. Данная диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне. Она предоставляет широкое поле для научных дискуссий и стимулирует развитие новых исследований. В целом, можно отметить, что диссертация О.Л. Антипова написана хорошим и грамотным языком с

подробным описанием результатов теоретических и экспериментальных исследований.

Заключение: В целом, можно отметить, что диссертационная работа О.Л. Антипова представляет собой систематическое законченное научное исследование в области лазерной физики и нелинейной оптики. Материал диссертации изложен достаточно ясно и полно, на высоком научном уровне, сопровождается подробными иллюстрациями. Автореферат правильно и в полной мере отражает содержание диссертации.

Результаты диссертации обоснованы и достоверны, они несомненно обладают научной и практической ценностью. Все основные результаты работы опубликованы в отечественной и зарубежной печати, докладывались на различных научных конференциях в России и за рубежом. Они хорошо известны специалистам в области лазерной физики.

Совокупность результатов и положений, содержащихся в диссертации, позволяет квалифицировать её как значительное достижение в развитии физики твердотельных лазеров и нелинейной оптики. Основные результаты работы представляют большой интерес, как для фундаментальной науки, так и для приложений (в медицине, обработке материалов, дистанционном зондировании и для решения других задач). Результаты работы могут быть рекомендованы для использования в учреждениях Российской академии наук (ИОФ РАН, ФИ РАН, ИПФ РАН, ИЛФ СО РАН, Институте оптики атмосферы СО РАН и др.), а также в других организациях (таких как АО “НПО Полюс”, АО “Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова”, ИЛФИ РФЯЦ-ВНИИЭФ и др.), в которых, в частности, проводятся исследования и разработки новых твердотельных лазерных систем для различных применений.

Диссертация докладывалась на семинаре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук 16 апреля 2018 года.

Таким образом, можно заключить, что диссертация О.Л. Антипова является законченным научным исследованием и соответствует всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым ВАК Российской Федерации к диссертационным работам на соискание ученой степени доктора наук. Автор диссертации, Олег Леонидович Антипов, несомненно, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

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



Цветков В.Б.