

ОТЗЫВ

официального оппонента

доктора физико-математических наук Цветкова Владимира Борисовича на диссертационную работу Пушкина Андрея Владимировича «Генерация и усиление лазерных импульсов в среднем ИК диапазоне в эрбьевых кристаллах и халькогенидах, легированных ионами железа», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – лазерная физика»
(Диссертационный совет МГУ.013.4 Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова)

Актуальность работы

В последние годы наблюдается растущий интерес к созданию лазерных источников излучения, работающих в средневолновой инфракрасной области (MWIR, 3...8 мкм),, поскольку именно в среднем ИК диапазоне находятся фундаментальные колебательные полосы и линии поглощения большинства жидкостей, газов, пластмасс, стекол и биологических тканей. Поэтому актуальность темы исследований Пушкина А.В., направленных на исследование физических механизмов генерации и усиления в эрбьевых и халькогенидных лазерных средах, легированных двухвалентными ионами переходных металлов, не вызывает сомнения.

Научная новизна результатов работы определяется тем, что в ней:

- Впервые получен режим модуляции добротности в лазере Er:YLF с боковой диодной накачкой в среднем ИК диапазоне с высокой пиковой мощностью (~ МВт);
- Впервые продемонстрирована непрерывная генерация в кристалле Fe:ZnSe с выходной мощностью 2,1 Вт на длине волны 4,2 мкм с прямой оптической накачкой волоконным лазером Er:ZBLAN (2,8мкм);
- Впервые исследованы свойства усиления широкополосных лазерных импульсов в среде Fe:CdSe. Показано, что на основе данной активной среды могут быть созданы системы усиления чирпированных лазерных импульсов среднего ИК диапазона с длиной волны дальше 5 мкм;
- Впервые получена пассивная синхронизация мод в лазерном генераторе на основе Fe:ZnSe на основе насыщающегося поглощения в графене.

Практическая значимость диссертации определяется необходимостью создания эффективных методов генерации лазерных импульсов с высокой энергией и пиковой мощностью излучения в среднем ИК диапазоне.

Анализ содержания диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и изложена на 114 страницах машинописного текста, включая 56 рисунков, 5 таблиц и список литературы, содержащий 142 наименования. Следует отметить, что подробный анализ данных, полученных в ранее сделанных работах, не выносится в отдельную главу, а представлен отдельными параграфами в главах, посвященных описанию проведенной работы.

Во введении приведен очень краткий обзор научных исследований по тематике диссертации, описаны полученные на настоящий момент результаты, и обоснована актуальность темы диссертации. Автором сформулированы цели и задачи диссертационной работы, представлены основные положения, выносимые на защиту, а также научная и практическая значимость проведенных исследований. Представлена структура диссертации и краткое содержание работы, приведены сведения о публикациях и апробации работы на семинарах и конференциях.

В первой главе приведен подробный обзор спектроскопических свойств эрбьевых активных сред и физических эффектов, ограничивающих возможность получения наносекундных лазерных импульсов в 3-мкм лазерах на их основе, изложены результаты экспериментов по изучению усиления в кристаллах, легированных ионами эрбия при импульсной ламповой и диодной накачке. Также описаны результаты экспериментов по работе 3-мкм лазеров в режиме модуляции добротности с акустооптическими, электрооптическими модуляторами добротности и вращающимся зеркалом. Описано наблюдение и теоретическое объяснение интересного факта переключения длины волны генерации кристалла Er:YLF от коротких длин волн к более длинным по мере развития процесса генерации при длинном (несколько сотен микросекунд) импульсе накачки. Приведены результаты демонстрационных экспериментов по применению 3-мкм наносекундных лазерных импульсов в задачах лазерно-индуцированных процессов жидкостного травления прозрачных материалов и прямого переноса для задач биопечати.

Во второй главе приведено описание результатов исследования свойств лазера на монокристалле Fe:ZnSe, работающего в режимах непрерывной генерации и синхронизации мод в лазере на основе.

Приведен обзор литературных данных по спектроскопическим и кинетическим свойствам активной среды Fe:ZnSe, важнейшими из которых являются спектры поглощения и усиления и зависимость времени жизни верхнего лазерного уровня от температуры. Описано создание диссидентом непрерывного волоконного лазера с выходной мощностью до 10 Вт на основе Er:ZBLAN для накачки кристалла Fe:ZnSe. Приведено описание экспериментальных результатов по исследованию характеристик непрерывной генерации в монокристаллических активных элементах Fe:ZnSe при криогенном охлаждении с непрерывной накачкой (температурные зависимости выходной

мощности, поглощения излучения накачки активным элементом, пороговой мощности накачки, и центральной длины волны генерации в неселективном резонаторе). Интересно отметить наблюдение смещения спектра генерации в длинноволновую область при увеличении выходной мощности, что связано с локальным нагревом кристалла в области накачки. Также подробно описаны исследования режима синхронизации мод в лазере Fe:ZnSe с использованием насыщающегося поглотителя на графене.

В третьей главе представлены результаты исследования свойств усиления лазерных импульсов с большой шириной спектра в активной среде Fe:CdSe.

Подробно обсуждены условия её применимости подхода Франца-Нодвика для сред с высоким коэффициентом усиления, эффекты сужения и смещения спектра усиленного импульса, связанные с зависимостью сечения усиления от длины волны, различные схемы многопроходного усиления. Приведены результаты исследования однопроходного усиления импульсов с большой шириной спектра в кристалле Fe:CdSe при накачке наносекундным лазером Er:YAG. Показано, что максимальное усиление с коэффициентом $g_0=3.1 \text{ см}^{-1}$ достигается вблизи длины волны 4,8 мкм и значительно уменьшается на длинах волн около 5,5-6,0 мкм. Также приведены результаты исследования многопроходного усилителя на кристалле Fe:CdSe chirпированных лазерных импульсов. Анализ результатов, проведенный на основе модели Франца-Нодвика позволил определить плотность энергии насыщения кристалла Fe:CdSe, которая составила 13 мДж/см².

В заключении сформулированы основные результаты работы.

Новизна работы обоснована проведением оригинальных экспериментальных исследований перспективных 3-мкм активных сред на основе монокристалла Er:YLF с боковой диодной накачкой, впервые проведенными исследованиями усилительных свойств активной среды Fe:CdSe в режиме усиления импульсов с большой шириной спектра и получением режима пассивной синхронизации мод на кристалле Fe:ZnSe с использованием насыщающегося поглощения в графене.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность результатов работы основана на анализе автором выполненных ранее научно-исследовательских работ по предмету исследования, повторяемостью получаемых экспериментальных данных и сравнением полученных результатов с расчетными соотношениями.

Диссертационная работа представляет целостное исследование. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации А.В. Пушкина, являются обоснованными. Достоверность научных положений, выводов и практических результатов, полученных в диссертационной работе, обсуждается автором в тексте диссертации, основана на анализе автором выполненных ранее научно-исследовательских

работ по предмету исследования и подтверждается сравнением полученных А.В. Пушкиным в ходе выполнения работы экспериментальных данных и результатов математического моделирования с известными из литературы теоретическими и экспериментальными результатами.

Публикации, отражающие основное содержание диссертации

Основные результаты диссертации изложены в 12 публикациях в научных журналах, в том числе в 8 статьях, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, входящих в Перечень изданий МГУ и рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Министерстве образования и науки Российской Федерации и для опубликования основных научных результатов диссертаций. В публикациях достаточно полно отражены главные результаты диссертации. Результаты работы были также представлены на 4 международных конференциях.

Автореферат

Автореферат полностью соответствует диссертации и опубликованным по ней работам.

Замечания по работе

Представленная работа выполнена на высоком научном уровне. Вместе с тем, по диссертационной работе можно сделать следующие замечания.

1. В Главе 1 в качестве пробного излучения автор использует импульсное излучение 3-мкм лазера с энергией 10 мДж. При этом не проводится обсуждение вопроса, является ли такой импульс малым сигналом и как энергия пробного импульса сравнима с энергией насыщения усиливающей активной среды.

2. В Главе 1, при описании исследования тепловой линзы в 3-мкм лазерах и методов ее компенсации не приводится данных о геометрических размерах резонатора и точных данных о расстановке оптических элементов, что является важным для понимания реального воздействия тепловой линзы на генерационные характеристики лазера.

3. В Главе 2, при анализе спектроскопических свойств кристалла Fe:ZnSe автор делает слишком сильный вывод о зависимости положения потенциальных ям основного и возбужденного состояний от температуры. Такая ситуация возможна, но требует отдельной экспериментальной работы по доказательству ее существования.

Заключение.

Указанные замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы. Диссертационная работа «Генерация и усиление лазерных импульсов в среднем ИК диапазоне в эрбиевых кристаллах и халькогенидах, легированных ионами железа» Пушкина Андрея Владимировича является законченным исследованием, выводы основаны на большом и достоверном экспериментальном

материале и подтверждаются математическими расчетами, выполненными с использованием адекватных моделей и исходных данных. Выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, хорошо обоснованы, обладают научной новизной и представляют как научную, так и практическую ценность. Сочетание научной новизны, достоверности результатов и практической значимости позволяет заключить, что диссертационная работа Пушкина Андрея Владимировича является законченной научно-квалифицированной работой на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук и отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.3.19 – «лазерная физика» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также оформлена согласно приложениям № 5, б Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова, а ее автор А.В. Пушкин заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – «лазерная физика».

Официальный оппонент,
доктор физико-математических наук,
заместитель директора по научно-
организационной работе Федерального
государственного бюджетного учреждения
науки Федеральный исследовательский центр
«Институт общей физики им. А.М. Прохорова
Российской академии наук» (ИОФ РАН)

Владимир
Борисович
Цветков

Выражаю свое согласие на обработку моих персональных данных, связанных с защитой диссертации Пушкина А.В.

В.Б. Цветков

Подпись В.Б. Цветкова заверяю:

Заместитель директора ИОФ РАН

В.В. Глушков

Сведения об оппоненте

Цветков Владимир Борисович
доктор физико-математических наук
Стаж научной работы: 01.04.21

Специальность 01.04.21
Адрес: 119991, Москва, ул. Вавилова, 38
Телефон +7 (499) 503-8777+390
e-mail: tsvetkov@lsk.gpi.ru

Место работы: Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук
Должность: заместитель директора по научно-организационной работе



23.11.2022