

О Т З Ы В

официального оппонента о диссертации

Ватника Сергея Марковича

на тему: «Высокоэффективные лазерные излучатели на основе кристаллов двойных калий-редкоземельных вольфраматов, активированных ионами тулия и гольмия»,

представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.19 – лазерная физика

Актуальность темы. Диссертация С.М. Ватника посвящена функциональным характеристикам активных сред на основе кристаллов двойных калий-редкоземельных вольфраматов, которые предназначены для генерации когерентного излучения в двухмикронной области спектра. В рамках диссертационного исследования решена актуальная научная проблема комплексного исследования спектроскопических, генерационных и термооптических характеристик семейства анизотропных кристаллов двойных вольфраматов, активированных трехвалентными ионами тулия и гольмия. На базе проведенных фундаментальных исследований был оптимизирован состав кристаллов, проведены эксперименты с активными элементами различной геометрии - стержнями, слезами, дисками, композитными структурами, продемонстрирована высокая эффективность генерации как в непрерывном режиме, так и в режиме пассивной модуляции добротности

В настоящее время рост интереса к исследованиям в области когерентных источников излучения двухмикронного диапазона обусловлен широкими возможностями их практического применения, т.к. они востребованы в целом ряде технологических, биомедицинских и информационных приложений. В частности, можно отметить их использование в обработке пластмасс, медицинских приложениях (малоинвазивная хирургия, офтальмология, косметология), дистанционный газоанализ двуокиси углерода. В целом, актуальность темы диссертационной работы обусловлена не только результатами фундаментальных исследований ионов тулия и гольмия в анизотропных кристаллических матрицах, но и разработкой лабораторных макетов лазерных излучателей, которые фактически являются прототипами специализированных технологических лазеров двухмикронного диапазона.

Достоверность и новизна научных положений, выводов и заключений. В ходе выполнения диссертационной работы автором был получен ряд оригинальных научных результатов. Их достоверность была подтверждена независимыми исследованиями научных групп из Республики Беларусь, Испании и Германии. Все экспериментальные данные, представленные в диссертации, были выполнены на современном лабораторном оборудовании. Численное моделирование основных особенностей энергообмена в анизотропных кристаллах позволило добиться хорошей точности описания

1.23456

экспериментальных результатов и получить достоверные значения физических параметров, которые в ряде случаев были подтверждены независимыми измерениями.

В целом основные результаты, представленные в работе, являются новыми и имеют научный приоритет на момент их опубликования. Из них можно выделить следующие:

- Предложен и реализован новый метод измерения термических коэффициентов оптического пути (ТКОП). Для кристаллов двойных калий-редкоземельных вольфраматов с различными концентрациями ионов-активаторов впервые определены спектральные зависимости ТКОП в интервале 400...2100 нм, сделан вывод о наличии в кристаллах «атермальных» направлений с нулевым ТКОП;
- Получен и проанализирован полный набор данных по спектроскопическим и кинетическим характеристикам кристаллов двойных калий-редкоземельных вольфраматов, активированных ионами тулия и гольмия, на его основе сформулированы критерии оптимизации состава активных элементов;
- Проведены комплексные исследования эффекта «фотонной лавины» в кристаллах двойных калий-иттриевых и калий-иттербий-иттриевых вольфраматов, активированных тулием. Экспериментально показано, что в режиме «фотонной лавины» величина инверсии заселенностей тулия может достигать 70...80%;
- Для кристаллов двойных калий-редкоземельных вольфраматов с тулием впервые проведен сравнительный анализ генерационных характеристик различных форм активных элементов (пластины, диски, слэбы, стержни), получены рекордные для данного класса кристаллов выходная мощность, величина энергосъема и диапазон спектральной перестройки;
- Детально исследован режим пассивной модуляции тулиевых лазеров с помощью насыщающихся поглотителей, получены световые импульсы с длительностью 7 нс и пиковой мощностью 40 кВт;
- В приближении локального термодинамического равновесия впервые проведен полный расчет заселенности метастабильных уровней тулия и гольмия в со-допированных кристаллах при произвольных уровнях возбуждения. На этой основе были сформулированы критерии оптимизации состава кристаллов для непрерывных и импульсных лазерных излучателей двухмикронного диапазона на переходе $^5I_7 \rightarrow ^5I_8$ ионов гольмия;
- Впервые проведены комплексные исследования спектрально-генерационных характеристик дисковых активных элементов $\text{Ho:KY}(\text{WO}_4)_2$ с накачкой волоконным тулиевым лазером, получена генерация на длинах волн 2073 нм и 2060 нм с дифференциальной эффективностью до 66%;
- На основании всей совокупности полученных результатов сделан вывод о перспективности использования кристаллов двойных вольфраматов, активированных тулием и гольмием, для разработки компактных источников лазерного излучения с выходной мощностью 50...100 Вт.

Все результаты были опубликованы в высокорейтинговых рецензируемых научных изданиях, широко апробированы на международных семинарах и конференциях, что также подтверждает обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений диссертационной работы.

Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов. В диссертации Ватника С.М. представлен большой объем экспериментальных данных по спектроскопическим, генерационным и термооптическим характеристикам активных сред двухмикронного диапазона на основе кристаллов двойных калий-редкоземельных вольфраматов, активированных тулием и гольмием. Особое значение имеет самосогласованный характер этих данных, который подтвержден не только публикациями других научных групп, но и аналитическими и численными моделями, представленными в диссертационной работе, что позволило провести полную систематизацию экспериментальных результатов и на этой основе оптимизировать состав и форму активных элементов для получения эффективной генерации в различных режимах накачки. На основе полученного научного задела были реализованы лабораторные макеты излучателей двухмикронного диапазона с выходной мощностью свыше 15 Вт и удельным энергопотреблением на уровне 1 кВт/кв.см., что представляет существенный интерес для разработки специализированных лазерных источников двухмикронного диапазона.

Результаты диссертационной работы можно рекомендовать для применения в тематических исследованиях в Институте автоматики и электрометрии СО РАН, Институте лазерной физики СО РАН, Институте физики КНЦ СО РАН, Институте прикладной физики РАН, Институте общей физики РАН, АО НИИ «Полюс». Практическое значение работы подтверждается двумя актами внедрения от ООО «НТО ИРЭ-Полюс» и ООО «Лаборатория оптических кристаллов».

Оценка содержания диссертации, ее завершенность. Диссертация С.М. Ватника состоит из Введения, 7 глав и Заключения. В первых трех главах подробно раскрыты спектроскопические характеристики кристаллов двойных вольфраматов, активированных тулием гольмием. В приближении парного взаимодействия ионов получены основные кинетические параметры их взаимодействия, изучены особенности формирования фотонной лавины и даны оценки предельно достижимых величин инверсии заселенностей, на уровне 70...80%. В четвертой и пятой главах проведено детальное изучение параметров генерации активных элементов специальной формы – слэбов, стержней, дисков и композитов, обеспечивающих существенное увеличение выходной мощности за счет эффективного охлаждения поверхностей генерирующих структур, реализована средняя мощность генерации на уровне 10 Вт и более. В шестой главе представлены генерационные и термооптические параметры эпитаксиальных дисковых структур с гольмием, получена эффективность генерации на уровне 66%, а также реализован режим пассивной модуляции добротности с помощью насыщающегося поглотителя SESAM на

основе InGaSb. В заключительной седьмой главе подробно обсуждается представленная автором модель локального термодинамического равновесия для расчета заселенности метастабильных уровней тулия и гольмия в содопированных кристаллах, которая была подтверждена спектроскопическими исследованиями кристалла 1%Ho:7%Tm:KYW. Результаты моделирования были использованы для оптимизации состава кристаллов Ho:Tm:KYW, что позволило реализовать эффективный энергообмен между ионами тулия и гольмия и получить генерацию на длине волны 2072 нм с эффективностью свыше 30%.

В целом, диссертационная работа Ватника С.М. представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, результаты которой представляют значительный интерес в области комплексного исследования спектрально-генерационных характеристик анизотропных активных сред и разработки эффективных лазерных источников двухмикронного диапазона. Содержание диссертации, научные положения и выводы соответствуют паспорту специальности, по которой она представляется, 1.3.19 – лазерная физика.

Замечания по содержанию диссертации.

1. В результате испытаний дисковой структуры 3%Ho:KYW/KYW в режиме пассивной модуляции добротности лазерного резонатора полупроводниковым насыщающимся поглотителем SESAM сделан вывод о том, что оптимизация параметров SESAM даст возможность существенно увеличить энергию импульсов и сократить их длительность. Необходимо привести аргументы в пользу этого вывода.
2. В заключении утверждается о перспективности использования исследованных кристаллов для разработки **малогабаритных** источников лазерного излучения, однако, габариты источников могут быть существенно больше при введении в их резонаторы дополнительных элементов, необходимых для реализации пользовательских функций этих источников (перестройка длины волны излучения, сужение линии излучения и т.д.). Необходим комментарий к такому выводу.
3. На рисунке 6.19 неточно указан масштаб времени – миллисекунды вместо наносекунд.
4. На рисунке 7.7(а) неточно указан масштаб мощности генерации – милливатты вместо ватт.

Указанные замечания имеют частный характер и не влияют на общую положительную оценку всей работы в целом.

Соответствие автореферата основным положениям диссертации

В автореферате подробно обоснованы защищаемые положения, научная новизна и достоверность результатов диссертационной работы. Структура автореферата соответствует структуре диссертации и в тезисной форме излагает ее основное содержание. Все наиболее существенные положения и выводы, представленные в автореферате, полностью обоснованы

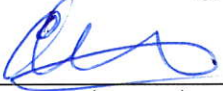
экспериментальными данными и иллюстративным материалом. Оформление диссертации и автореферата выполнено в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.11-2011.

**Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным
Положением о порядке присуждения ученых степеней.**

Диссертационное исследование Ватника Сергея Марковича является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержатся новые решения актуальных проблем спектроскопии и лазерной генерации анизотропных активных сред, а совокупность ее основных результатов соответствует научно-техническому заданию в области разработки эффективных лазерных источников двухмикронного диапазона.

Работа соответствует требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842, а ее автор, Ватник Сергей Маркович, заслуживает присуждение ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.19 «Лазерная физика».

Официальный оппонент Кобцев Сергей Михайлович,
доктор физико-математических наук по специальности 01.04.05 "Оптика",
Заведующий Отделом лазерной физики и инновационных технологий
Федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский
государственный университет»,
630090, Новосибирская обл., г. Новосибирск, ул. Пирогова, д. 2,
т. +7-(383)-363-42-65, 363-41-65, e-mail: kobtsev@lab.nsu.ru


(подпись)

С.М. Кобцев
(инициалы, фамилия)

02 мая 2024 г.

Я, Кобцев Сергей Михайлович, даю согласие на включение своих персональных данных, содержащихся в настоящем отзыве, в документы, связанные с защитой диссертации Ватником Сергеем Марковичем и их дальнейшую обработку.

02 мая 2024 г.


(подпись)

С.М. Кобцев
(инициалы, фамилия)

Подпись С.М. Кобцева заверяю,
Учёный секретарь НГУ, к.х.н.





Е.А. Тарабан