

Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу Сумачева Кирилла Эдуардовича «Исследование ап-конверсии в ионах No^{3+} при возбуждении лазерным излучением в области 2 мкм», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19. – Лазерная физика.

Общие сведения

Диссертационная работа Сумачева Кирилла Эдуардовича «Исследование ап-конверсии в ионах No^{3+} при возбуждении лазерным излучением в области 2 мкм» выполнена на кафедре квантовой радиофизики и электроники радиофизического факультета Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского».

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, основных результатов диссертации, списка работ по теме диссертации и списка цитируемой литературы. Общий объем диссертации – 118 страниц, включая 51 рисунок, 5 таблиц и список литературы из 104 наименований.

Актуальность темы выполненной работы

В последние годы лазерные источники инфракрасного излучения в спектральной области около 2 мкм находят широкое применение для задач диагностической медицины, хирургии, биологии, в системах контроля для обнаружения примесей в атмосфере, а также при создании оптоэлектронных устройств. Поскольку излучение в данной спектральной области является невидимым для человеческого глаза, возникают определенные трудности при юстировке и визуализации профиля пучка двухмикронных лазеров. В соответствии с этим исследование и синтез эффективных ап-конверсионных

визуализаторов, преобразующих инфракрасное излучение в видимый свет, остается **актуальной** задачей. Ион Ho^{3+} в кристаллических и стеклянных матрицах характеризуется сильным поглощением в области длин волн 1.9–2.1 мкм, поэтому кристаллы и стекла, легированные этими ионами, можно использовать для визуализации ИК-излучения в данной спектральной области. Помимо задач визуализации лазерного излучения ап-конверсионные материалы в виде наночастиц используются при визуализации биологических тканей, в фотодинамической терапии, а также технологиях, используемых для изготовления дисплеев и солнечных батарей.

В диссертационной работе Сумачева Кирилла Эдуардовича проведено исследование механизмов ап-конверсионного преобразования при возбуждении ионов Ho^{3+} и Yb^{3+} в матрице ZBLAN лазерным излучением в области 2 мкм. Выполнены экспериментальные исследования ап-конверсионного преобразования в синтезированных матрицах ZBLAN, LiYF_4 и $\text{ZrF}_4 - \text{BiF}_3$, предложен и реализован метод регистрации 2-х микронного лазерного излучения ПЗС-матрицей с использованием ап-конверсионного преобразования в излучение видимого диапазона спектра.

Краткое содержание диссертационной работы

Во введении обосновывается актуальность диссертационной работы, формулируются цели и задачи, приводятся данные о структуре и объеме диссертации, обсуждается степень разработанности темы, научная новизна, практическая значимость и достоверность полученных результатов, изложены положения, выносимые на защиту. Приводятся сведения об апробации результатов работы, излагается краткое содержание диссертации.

В **первой главе** дан обзор литературы, посвященный характеристике процессов межионного переноса энергии, нерезонансного поглощения, описаны механизмы ап-конверсионного преобразования. Приводятся выражения для нахождения вероятностей процессов межионного взаимодействия, отвечающих за наблюдение люминесценции в видимой

области спектра при возбуждении материалов, легированных редкоземельными ионами, излучением в ИК-спектральном диапазоне.

Вторая глава посвящена исследованию ап-конверсионного преобразования 2-х микронного лазерного излучения в образцах стекла ZBLAN, легированном ионами Ho^{3+} . Произведен анализ процессов, происходящих в матрице $\text{ZBLAN}:\text{Ho}^{3+}$, выявлены основные каналы заселения состояний, отвечающих за люминесценцию в видимой области спектра. Смоделирована система балансных уравнений, описывающая кинетику населённостей состояний иона Ho^{3+} с учетом величин вероятностей нерезонансных процессов межионного обмена энергией. Для оценки влияния процессов межионного переноса энергии результаты моделирования сопоставляются с результатами модели, выполненной без учета процессов межионного переноса. Приводятся необходимые численные расчёты вероятностей процессов и обсуждаются полученные результаты.

Третья глава посвящена исследованию ап-конверсионного преобразования 2-х микронного лазерного излучения в образцах стекла ZBLAN с двухкомпонентным легированием ионами Ho^{3+} и Yb^{3+} . Описываются процессы, возникающие при дополнительном легировании матрицы ионами Yb^{3+} . Приводятся экспериментально полученные спектры и кинетики затухания ап-конверсионной люминесценции. Балансная модель для матрицы с двухкомпонентным легированием дополняется необходимыми слагаемыми. Показано, что при возбуждении излучением в спектральной области 2 мкм донорно-акцепторные роли между ионами Ho^{3+} и Yb^{3+} поочередно изменяются. Установлено, что дополнительное легирование ионами Yb^{3+} приводит увеличению интенсивности ап-конверсионной люминесценции.

Четвертая глава посвящена исследованию влияния состава матрицы на явление ап-конверсии ионов Ho^{3+} . Приведена оценка влияния величины энергии фононов на процессы внутрицентральной безызлучательной релаксации и процессы межионного переноса энергии. Приводится

полученная зависимость эффективности ап-конверсионного преобразования при возбуждении излучением в области 2 мкм от энергии фононов для известных матриц. На основе приведенных оценок, были синтезированы матрицы LiYF_4 , BiF_3 и $\text{ZrF}_4\text{-BiF}_3$. Использование матрицы $\text{ZrF}_4 - \text{BiF}_3$ показало большую эффективность ап-конверсионной люминесценции, чем в матрицах LiYF_4 и ZBLAN. Проведены измерения коэффициента переноса на основе экспериментально полученных временных характеристик затухания люминесценции образцов.

В пятой главе рассмотрен и реализован метод регистрации 2-х микронного лазерного излучения ПЗС-матрицей посредством ап-конверсионного преобразования излучения в видимую люминесценцию в синтезированных визуализаторах. Приведены измерительные схемы, описаны характеристики и технические особенности используемой ПЗС-камеры. Представлены результаты проведенных измерений – распределение интенсивности излучения в поперечном сечении, перетяжка лазерного пучка.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

Замечания по диссертационной работе

1. Автор диссертационной работы оценивает волновые числа, соответствующие термам ионов Ho^{3+} , которые в дальнейшем им используются для оценки вероятностей переходов, из максимумов спектральных линий в спектрах поглощения для соответствующих оптических переходов. Требуется пояснение этому, так как в формуле для вероятности спонтанного излучения фигурирует длина волны (волновое число), соответствующая середине интервала межмультиплетного оптического перехода $J-J'$ в спектре поглощения.

2. Автор работы позиционирует, что заселение уровня $^5\text{S}_2$ ионов Ho^{3+} при возбуждении на уровень $^5\text{I}_7$ происходит главным образом при поглощении кванта лазерного излучения из состояния $^5\text{I}_4$. Этим объясняется

наблюдаемый на осциллограмме резкий фронт нарастания интенсивности ап-конверсионной люминесценции в зеленой области спектра для стекла ZBLAN:Ho. Это утверждение вызывает вопросы. При регистрации кинетик для возбуждения люминесценции использовался лазер, генерирующий излучение с длиной волны 1940 нм, длительностью импульса 200 нс и частотой повторения 300 Гц. При такой частоте повторения импульсов (время между импульсами 3 мс) не успевает разгружаться уровень 5I_7 ионов Ho^{3+} , на который осуществляется возбуждение (время жизни уровня 5I_7 , согласно литературным данным, представленным в диссертации, составляет 13,10 мс). Поэтому делать заключение о том, что с уровня 5I_4 ионов Ho^{3+} происходит резонансное поглощение некорректно. Чтобы однозначно делать заключение о том, как именно заселяется уровень 5S_2 , необходимо зарегистрировать кинетики с уровнями 5I_7 , 5I_6 , 5I_4 и проводить комплексный анализ с учетом характера кривых распада с уровнями 5I_7 , 5I_6 , 5I_4 , 5F_5 , 4S_2 . При этом целесообразно использовать возбуждение лазером с минимальной длительностью импульса и меньшей частотой повторения.

3. На стр. 86 автор сравнивает интенсивности линий в спектрах люминесценции двух различных образцов $\text{Li}(\text{Y}_{0.95}\text{Ho}_{0.05})\text{F}_4$ и $[(\text{ZrF}_4)_{0.4}(\text{BiF}_3)_{0.6}]_{0.95}$. Это некорректно, если при регистрации спектров люминесценции не использовалась интегрирующая сфера.

4. На рис. 4.4 (стр. 80) приведен спектр КРС керамики $40\%\text{ZrF}_4$ - $60\%\text{BiF}_3$, который содержит ряд полос. Автор отмечает, что полоса с максимумом 600 см^{-1} соответствует валентным колебаниям ZrF_4 . Непонятно чему соответствуют другие полосы, и почему автор акцентирует внимание именно на этой полосе, хотя в спектре присутствует полоса с большей частотой.

5. В диссертационной работе встречаются грамматические ошибки и стилистические неточности.

Указанные замечания и недостатки **не снижают** научную ценность диссертационной работы и не влияют на ее общую положительную оценку.

Обоснованность и **достоверность** научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, подтверждаются физической аргументированностью и согласованностью экспериментальных результатов с теоретическими моделями и результатами, известными из литературных источников.

Материалы диссертации полностью соответствуют специальности 1.3.19. – Лазерная физика.

Заключение

Диссертационная работа Сумачева Кирилла Эдуардовича «Исследование ап-конверсии в ионах No^{3+} при возбуждении лазерным излучением в области 2 мкм» представляет собой сформированную научно-квалификационную работу на актуальную тему. Полученные автором результаты являются **новыми, обоснованными и достоверными**, имеют практическую и теоретическую **значимость**. Автореферат полностью **раскрывает** основное содержание диссертации.

Диссертационная работа Сумачева Кирилла Эдуардовича «Исследование ап-конверсии в ионах No^{3+} при возбуждении лазерным излучением в области 2 мкм», представленная в совет **24.2.340.03** при Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», соответствует **критериям**, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Сумачев Кирилл Эдуардович **заслуживает** присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19. – Лазерная физика.

Официальный оппонент

Профессор кафедры, и.о. заведующего кафедрой
фотоники Федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Национальный исследовательский
Мордовский государственный
университет им. Н.П. Огарёва»
(ФГБОУ ВО МГУ им. Н.П. Огарёва),
доктор физико-математических наук
по специальности 01.04.07 –
физика конденсированного состояния
профессор Рябочкина Полина Анатольевна

06.07.2022

Почтовый адрес: 430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, 68;
телефон: +7(927)1726647; e-mail: ryabochkina@freemail.mrsu.ru.
Согласна на обработку персональных данных

