

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Пирпоинт Ксении Александровны

на тему:

*«Исследование спектральных и генерационных свойств  
оптических центров ионов Тm и Ho*

*во фторидных кристаллах и керамиках для лазеров ИК-диапазона»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-  
математических наук, по специальности 04.01.21 - Лазерная физика*

Фторидные материалы являются хорошо зарекомендовавшими себя лазерными средами. В настоящее время легированные ионами тулия и гольмия фториды широко используются для создания твердотельных лазеров в важной спектральной области двухмикронного диапазона. Исследованию именно таких сред на основе матрицы фторида кальция  $\text{CaF}_2$  посвящена диссертация Пирпоинт Ксении Александровны. Особенностью рассматриваемых в диссертации материалов является образование в них ряда оптических центров редкоземельного иона, обладающих различной симметрией. Центральной состав кристаллов меняется даже при незначительных вариациях состава матрицы. С одной стороны, исследование таких материалов является хорошей научной задачей для систематического кропотливого научного исследования. С другой стороны, наличие таких центров открывает возможность перестройки длины волны генерации, важную для практики. Поэтому исследование закономерностей формирования центров, а также их спектральных и генерационных свойств на переходах, имеющих практическое значение, является важной и актуальной задачей современной лазерной физики.

Существенное перекрытие полос поглощения и люминесценции различных по симметрии оптически активных центров редкой земли приводит к определенным трудностям в отнесении наблюдаемых спектральных линий к тому или иному типу оптических центров. С использованием методики селективного возбуждения, в представленной к защите диссертации, Ксенией Александровной получен ряд новых важных результатов – проведено систематическое исследование большого количества образцов, получены спектры возбуждения и люминесценции различных по симметрии оптических центров трехвалентных ионов тулия и гольмия на двухмикронных лазерных переходах, обнаружено формирование центров тулия, ранее не описанных в литературе. Хочу отметить как большой положительный момент, что автор диссертации не ограничился сугубо спектроскопическим исследованием, а довел дело до практики, осуществив лазерную генерацию на новых центрах редкой земли, обнаруженных в данной же работе.

Диссертационная работа состоит из введения, обзора литературы, главы с изложением экспериментальных методов исследования, четырех глав с результатами исследований, заключения, списка цитируемой литературы и приложения.

Во введении подчеркивается актуальность тематики диссертационной работы, сформулирована цель исследования, поставлены научные задачи, описана научная новизна и практическая значимость полученных результатов, сформулированы защищаемые положения, даны сведения об апробации работы, личном вкладе автора, достоверности результатов, представлена структура диссертации.

Первая глава представляет собой обзор литературы и посвящена анализу научных данных по теме исследования, имевшихся до начала выполнения задач, решавшихся в процессе работы над диссертацией. В данной главе показано, что щелочноземельные фториды обладают рядом преимуществ для использования в лазерах ИК-диапазона. Рассмотрены основные структурные модели оптических центров редкоземельных ионов в щелочноземельных фторидах, проанализировано текущее состояние исследований по теме диссертации.

Во второй главе описаны технология роста изучаемых образцов в различных формах: как в виде кристаллов, выращиваемых по методу Бриджмена–Стокбаргера, так и в виде керамики, изготавливаемой из кристаллов путём горячего формования. Далее рассмотрены основные методы исследования и приведены характеристики оборудования, используемого в эксперименте.

В третьей главе исследованы спектроскопические свойства оптических центров тулия в кристаллах  $\text{CaF}_2$  на переходах  $^3\text{F}_4 \rightarrow ^3\text{H}_6$  и  $^1\text{G}_4 \rightarrow ^3\text{H}_5$ . Обнаружен новый долгоживущий оптический туллиевый центр и исследованы его спектрально-кинетические характеристики, включая времена жизни уровней  $^1\text{G}_4$  и  $^3\text{F}_4$ , и спектры люминесценции переходов  $^3\text{F}_4 \rightarrow ^3\text{H}_6$  и  $^1\text{G}_4 \rightarrow ^3\text{H}_5$ . Исследовано влияние концентрации иона тулия в кристаллах  $\text{CaF}_2$  на динамику формирования впервые обнаруженного активного центра и показано, что с ростом концентрации растёт и количество новых долгоживущих оптических центров. Впервые получена лазерная генерация на новом долгоживущем центре при диодной накачке. Важно, что длина волны генерации данного центра оказалась выше, чем - для кластеризованных центров. На лазерном переходе  $^3\text{F}_4 \rightarrow ^3\text{H}_6$  были впервые выделены индивидуальные спектры люминесценции и определены времена жизни верхнего лазерного уровня  $^3\text{F}_4$  как для кластеризованного, так и для тетрагонального, оптических центров иона тулия.

Четвёртая глава диссертации посвящена исследованию центрального состава фторидной керамики  $\text{CaF}_2:\text{Tm}$ . Показано, что в керамическом материале присутствует новый тип оптического центра трехвалентного тулия в сравнении с кристаллической матрицей аналогичного состава. Исследованы его спектроскопические свойства на лазерном двухмикронном переходе и показано

отличие кривых перестройки длины волны лазерной генерации для кристалла и керамики аналогичного состава.

В пятой главе исследуется влияние внедрения фторида иттрия на формирование оптических центров иона тулия, приводятся результаты исследования спектрально-кинетических свойств кристаллов  $\text{CaF}_2:\text{Y,Tm}$ . В кристаллах, легированных одновременно туллием и иттрием, удалось выделить долгоживущий центр, аналогичный обнаруженному ранее в кристаллах  $\text{CaF}_2:\text{Tm}$ . Обнаружены кластеризованные центры разного вида с близкими временами жизни уровня  $^3\text{F}_4$ , но существенно различными спектрами люминесценции.

В шестой главе приведены результаты исследования оптических центров гольмия в кристаллах  $\text{CaF}_2$ . Исследованы спектральные свойства на переходе  $^5\text{I}_7 \rightarrow ^5\text{I}_8$  при резонансном возбуждении. Впервые были разделены спектры люминесценции и возбуждения и измерены времена жизни для трех типов оптических центров – кластеризованного, тетрагонального и кубического.

В заключении сформулированы основные выводы по проведённым в диссертационной работе исследованиям.

Достоверность полученных в диссертационной работе результатов не вызывает сомнений в силу многих обстоятельств, среди которых перечислим использование современного экспериментального оборудования и известных наработанных методов, согласие экспериментальных данных с численными расчётами и имеющимися литературными данными, применением современных методов обработки при анализе данных.

По теме диссертации опубликовано 8 статей в рецензируемых российских и зарубежных журналах, цитируемых в международных базах Scopus и Web of Science, результаты диссертации неоднократно докладывались на всероссийских и международных научных конференциях.

Полученные автором результаты можно использовать при создании новых источников света для применений в медицине и телекоммуникациях.

В целом диссертационная работа Пирпоинт К.А. выполнена на высоком научном уровне, в ней получен большой объем новой и важной для исследуемых соединений информации, достоверность которых не вызывает сомнения.

В качестве замечаний можно отметить следующие:

- 1) Для кристаллов  $\text{CaF}_2:\text{Tm}$  в диссертационной работе обнаружены новые спектральные переходы, однако отсутствует обсуждение природы центров, которым бы эти переходы могли принадлежать.

- 2) Считаю недостатком работы отсутствие схем штарковских расщеплений для редкоземельных центров различной симметрии. Такие схемы помогли бы и читателю легче разобраться в выводах, и автору лучше систематизировать материал.
- 3) На рис. 3.14 и 3.17 кривые кинетик затухания аппроксимируются трехэкспоненциальной моделью. При этом вид самих кривых имеет плавный характер без намека на наличие изломов. В работе не объясняется, почему выбрана именно такая модель с тремя экспонентами. Кроме этого, в качестве замечания, можно выдвинуть предположение, что кластеры, к которым относится быстрая часть кинетики, в действительности могут давать непрерывный набор времен распада.
- 4) В диссертации имеется также несколько описок и неточностей. Например, в таблицах Приложения А представления обозначены строчными греческими символами «гамма», в то время как общепринято использовать заглавные буквы. Надписи на рисунке 3.3 приведены на разных языках – и на русском и на английском. Встречаются англоязычные «кальки», которых следует избегать. Например, по-русски правильно писать «симметрия  $C_{4v}$ », а не « $C_{4v}$  симметрия». Последнее выражение явно напоминает прямой перевод английского « $C_{4v}$  symmetry».

Отмеченные замечания не снижают общего высокого уровня диссертационной работы. Диссертант показала хорошее владение спектроскопическими методиками. Результаты работы хорошо известны научной общественности. Автореферат правильно и полностью отражает содержание работы, основные её выводы соответствуют тексту диссертации.

Содержание диссертационной работы соответствует указанной специальности, а автореферат в полной мере отражает ее содержание.

Таким образом, диссертационная работа Пирпойнт Ксении Александровны на тему: «Исследование спектральных и генерационных свойств оптических центров ионов Tm и Ho во фторидных кристаллах и керамиках для лазеров ИК-диапазона», представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 04.01.21 – Лазерная физика, является завершённой научной квалификационной работой, в которой исследованы интересные, с практической точки зрения, материалы и актуальной в современной лазерной физике.

По актуальности, научной новизне, практической значимости и достоверности полученных результатов диссертационная работа К.А. Пирпойнт удовлетворяет всем требованиям «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённого постановлением

Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Пирпоинт Ксения Александровна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 04.01.21 - Лазерная физика.

**Официальный оппонент,**

ведущий научный сотрудник отдела спектроскопии конденсированных сред  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Институт спектроскопии Российской академии наук (ИСАН)

Климин Сергей Анатольевич  
28.05.2021

Адрес: 108840 г. Москва, г.Троицк, ул. Физическая, 5, Институт спектроскопии РАН.

Телефон: +7 495 8510235.

Электронная почта: klimin@isan.troitsk.ru

Ученая степень: кандидат физико-математических наук

Подпись к.ф.-м.н. Климина С.А. заверяю:

*Ученой секретаре ИСАН*

*Климина С.А.*

