

## ОТЗЫВ

официального оппонента кандидата физико-математических наук

Колесникова Ильи Евгеньевича

на диссертационную работу Ореховой Ксении Николаевны на тему:

«Катодолюминесценция монокристаллов и керамик на основе иттрий-алюминиевого граната»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по

специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния»

Диссертационная работа К. Н. Ореховой посвящена изучению монокристаллов и лазерных керамик YAG, легированных ионами  $Nd^{3+}$  и  $Eu^{3+}$ . Эти материалы могут применяться в качестве рабочего тела твердотельных лазеров видимого и ИК-диапазонов, сцинтилляторов и детекторов высокоэнергетического излучения. При разработке перспективных сцинтилляторов, катодо- и рентгенолюминофоров с высоким выходом люминесценции важно знать механизмы возбуждения и процессы передачи энергии между высокоэнергетическими уровнями, которые недостаточно подробно освещены в современной литературе. В данной диссертации проведены детальные исследования люминесцентных свойств материалов на основе YAG:Nd и YAG:Eu, позволяющие существенно продвинуться в понимании процессов, происходящих между высокоэнергетическими уровнями, что определяет **актуальность** работы.

Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, благодарностей, списка сокращений, списка литературы и одного приложения. Работа содержит 128 страниц машинописного текста, включая 66 рисунков, 13 таблиц и библиографию из 160 наименований. Автореферат верно отражает основные положения диссертации и соответствует ее содержанию.

Во **введении** приведена общая характеристика работы, обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследований, изложена новизна и практическая ценность работы, сформулированы основные защищаемые положения.

В **первой главе** представлен обзор исследований монокристаллов и керамик на основе иттрий-алюминиевого граната. Также в главе приведено описание взаимодействия электронного пучка с твердым телом, в частности, приведена подробная схема релаксации электронных возбуждений в твердом теле.

Во **второй главе** описаны основные методы исследования и методики, применяющиеся в ходе работы над диссертацией. Проведено моделирование температуры нагрева образца при облучении электронным пучком в стационарном и динамическом режиме. Дано математическое описание трехуровневой модели катодолюминесценции, разработанной автором для описания наблюдаемых экспериментальных результатов.

**В третьей главе** приведено описание синтеза исследуемых образцов и результаты исследования элементного состава, морфологии и фазового состава различными методами.

**В четвертой главе** представлены результаты экспериментальных исследований катодолюминесцентных свойств монокристаллов и керамик на основе иттрий-алюминиевого граната. В частности, представлены спектры катодолюминесценции собственных дефектов матрицы иттрий-алюминиевого граната и катодолюминесценции редкоземельных ионов неодима и европия в широком оптическом диапазоне. Также представлена кинетика затухания основных полос катодолюминесценции монокристаллов и керамик на основе иттрий-алюминиевого граната, активированного редкоземельными ионами и сделан вывод о связи интерфейсов с кинетикой затухания. Также исследована передача энергии в материалах на основе иттрий-алюминиевого граната, активированного европием.

**В пятой главе** исследовано влияние локализации носителей заряда на люминесцентные свойства материалов на основе иттрий-алюминиевого граната. Определены параметры ловушек, отвечающих за изменение интенсивности полос катодолюминесценции неодима при непрерывном облучении электронным пучком в нанокерамике на основе иттрий-алюминиевого граната.

**В заключении** сформулированы основные результаты, полученные в диссертационной работе.

Отдельно можно выделить наиболее важные **результаты**:

1. Получены и интерпретированы спектры КЛ  $\text{Nd}^{3+}$  и  $\text{Eu}^{3+}$  в монокристаллах и керамиках YAG. В видимой (YAG:Eu, YAG:Nd) и УФ (YAG:Nd) областях спектров наблюдаются переходы с высокоэнергетических уровней, не наблюдаемые при фотовозбуждении. Показано, что интенсивность полос КЛ в образцах с близким содержанием активатора в керамиках ниже, чем в монокристаллах, а их полуширина – больше.
2. При исследовании кинетики затухания полос КЛ  $\text{Eu}^{3+}$  и  $\text{Nd}^{3+}$  в образцах было выявлено, что в случае присутствия большой доли интерфейсов в области генерации КЛ (в приповерхностной области в монокристаллах и по всему объему в керамиках) кинетика затухания описывается суммой двух экспонент. По результатам исследования соотношения вкладов экспонент от энергии электронного пучка показано, что люминесцентные центры, расположенные вблизи границ зерен в керамике характеризуются меньшим временем затухания.
3. При исследовании кинетики разгорания интенсивности полос КЛ  $\text{Eu}^{3+}$  и  $\text{Nd}^{3+}$  в образцах было обнаружено, что кинетика разгорания полос КЛ, отвечающих переходам с энергетического уровня  $^5\text{D}_0 \text{ Eu}^{3+}$ , как в монокристалле, так и в нанокерамике YAG, описывается суммой двух экспонент. Предложена трехуровневая модель КЛ, которая объясняет дополнительный канал возбуждения уровня  $^5\text{D}_0 \text{ Eu}^{3+}$ .

4. Изучено влияние локализации носителей заряда на люминесцентные свойства материалов на основе YAG. Показано, что в монокристаллах YAG:Nd и YAG:Eu и микрокерамике на YAG:Nd присутствуют зарядовые ловушки электронного типа, которые заполняются в процессе облучения электронным пучком, что увеличивает поглощенный ток и одновременно снижет интенсивность КЛ излучающих центров. В нанокерамиках на основе YAG:Nd и YAG:Eu присутствуют два типа ловушек – как электронные ловушки с тем же характерным временем заполнения, что и в монокристаллах, так и дырочные ловушки, с характерным временем заполнения в сотни секунд. Эти ловушки отвечают за эффект памяти в нанокерамиках. Термolumинесцентным методом определены основные параметры ловушек в нанокерамике на основе YAG:Nd. Предложена модель, описывающая взаимодействие ловушек носителей заряда с излучательными уровнями РЗИ.

По представленной работе можно сделать следующие **замечания**.

1. Результаты моделирования температуры нагрева при облучении электронным пучком образца YAG в стационарном режиме представлены в Таблице 4. Непонятно, в каких единицах измерения приведена температура. Максимальное значение температуры  $T_{max}$  не превышает 323 К(?), однако при изучении динамики нагрева YAG значение  $\Delta T = 247,17$  К (Таблица 6). Откуда мог взяться такой сильный нагрев?

2. На рисунке 56 приведены спектры возбуждения люминесценции YAG:Eu 2 ат.%. Автор не приводит значения длин волн люминесценции, при которых эти спектры были измерены. В чем отличие спектров, представленных на рисунках 56b и 56c?

3. При изучении динамики КЛ при непрерывном облучении электронным пучком было показано, что интенсивность КЛ полосы 550.8 нм в нанокерамике YAG:Nd почти не меняется, а интенсивность КЛ полосы 401.1 нм существенно увеличивается. В чем принципиальное отличие, если оба полосы соответствуют переходам с уровня  $2F(2)5/2$ ? В отличии от разгорания интенсивности КЛ характерного для нанокерамики YAG:Nd в монокристалле наблюдается затухание КЛ для длины волны 401.1 нм. В чем причина такого поведения в случае монокристаллического образца?

Изучалась ли динамика интенсивности КЛ для микрокерамики YAG:Nd? Было бы интересно сравнить поведение интенсивности КЛ микро- и нанокерамики.

Отмеченные замечания носят частный характер и не снижают общей положительной оценки диссертационной работы К. Н. Ореховой. Диссертация выполнена на высоком научном уровне, хорошо оформлена и практически не содержит опечаток и стилистических погрешностей. Однако на некоторых приведенных в диссертации рисунках размер шрифта подписей, численных значений

и параметров аппроксимации слишком маленький, что затрудняет понимание материала. Основные результаты диссертационной работы являются оригинальными и получены впервые. Они были апробированы на международных конференциях и опубликованы в ведущих журналах, что подтверждает обоснованность и достоверность положений и выводов диссертации. Результаты диссертационного исследования представляют интерес с фундаментальной точки зрения, а также обладают практической ценностью для разработки новых сцинтилляционных материалов на основе иттрий-алюминиевого граната.

По значимости полученных результатов и научному уровню диссертация соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Автор диссертации, Орехова Ксения Николаевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния».

Официальный оппонент,

Колесников Илья Евгеньевич

кандидат физико-математических наук,

специалист ресурсного центра «Оптические и лазерные методы исследования вещества»

Санкт-Петербургский государственный университет

199034, г. Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7/9

+79500300452

[ilya.kolesnikov@spbu.ru](mailto:ilya.kolesnikov@spbu.ru)

И.Е. Колесников

