

ОТЗЫВ

официального оппонента
на диссертацию ВОСТРОВА Д. О.

«Электронные возбуждения, люминесценция и термостимулированные
рекомбинационные процессы в монокристаллах и кристалловолокнах

$\text{Li}_6\text{GdB}_3\text{O}_9:\text{Ce}$ »,

представленную на соискание ученой степени кандидата

физико-математических наук

по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния

Ортоборат лития-гадолиния представляет собой уникальную кристаллическую модельную среду для исследований в области физики конденсированного состояния, а также взаимодействия ионизирующих излучений с веществом. Он перспективен с точки зрения практического использования для сцинтилляционного детектирования нейтронов, что обусловлено, по крайней мере, тремя причинами. Во-первых, в его состав входят литий, бор и гадолиний, стабильные изотопы которых, ${}^6\text{Li}$, ${}^{10}\text{B}$, и ${}^{155,157}\text{Gd}$, характеризуются высокими значениями сечения захвата тепловых нейтронов. Во-вторых, наличие гадолиния в составе кристалла обеспечивает возможность его изоморфного замещения церием, характеризующимся короткими временами высвечивания. Наконец, нельзя не указать на еще одно достоинство этого кристалла – возможность получать из него кристалловолокна, что может существенно повысить эффективность светосбора при регистрации сцинтилляций. При этом, однако, выясняется, что экспериментально определяемые функционально важные для практического использования характеристики названных кристаллов существенно ниже теоретически обоснованных пределов. Более того, не до конца изучена электронная и дефектная структура даже самих кристаллов ортобората лития-гадолиния, а также кристаллов с добавками церия. Не было ясно, каков в этом кристалле возможный механизм передачи энергии возбуждения от матрицы к активатору и какова эффективность преобразования энергии нейтронного излучения в энергию световой вспышки (сцинтилляции). Были пробелы в изучении собственной и примесной люминесценции и термостимулированных рекомбинационных процессов, а также роли в них собственных и примесных дефектов. Наконец, не было ничего известно о том, как скажется на всех этих характеристиках переход от объемных кристаллов к кристалловолоконным образцам. Без получения ответов на все эти вопросы нельзя надеяться на реализацию всех преимуществ названных объектов на основе ортобората лития-гадолиния. Именно необходимость разрешения указанных проблем определила цель диссертационной работы – комплексное исследование электронной структуры и процессов переноса энергии электронных возбуждений в активированных церием объемных кристаллах ортобората лития-гадолиния и полученных из них кристалловолоконных образцах. Поскольку целью Вострова Д. О. фактически было восполнение всех этих

недостатков и пробелов, считаю, что его **диссертационная работы выполнена по актуальной теме.**

Научная новизна диссертационной работы, выполненной Востровым Д. О., сомнений не вызывает. Им получен целый ряд новых научных результатов, среди которых можно назвать следующие.

1. Определены значения минимальной энергии межзонных переходов в анионной подрешетке LGBO ($E_g = 9.4$ эВ, пороги возбуждения анионных и катионных экситонов (7.5 и 6.6 эВ), а также положение полосы переноса заряда O – Gd (6.8 эВ).

2. В кристалловолоконных образцах LGBO:Ce обнаружены центры низкотемпературной «красной» люминесценции (ЦКЛ), которая наблюдается только при наличии переноса энергии электронных возбуждений по схеме $Gd^{3+} \rightarrow Ce^{3+} \rightarrow ЦКЛ$.

3. В широком температурном диапазоне (от 10 до 500 К) изучены спектры фото-, рентгено- и катодолуминесценции, а также спектрально-селективные термостимулированные рекомбинационные процессы, в которых выделены процессы с электронным и дырочным типами рекомбинации в монокристаллах и преимущественно рекомбинация электронного типа в кристалловолоконных образцах.

4. Предложена и обоснована математическая модель, позволяющая объяснить и описать различия в характере рекомбинации в монокристаллических и кристалловолоконных образцах LGBO:Ce, назвать участвующие в рекомбинации электронные и дырочные центры захвата, установить знаки делокализующихся носителей зарядов при варьировании температуры от 80 до 350 К..

Выполненная Востровым Д. О. диссертационная работа характеризуется **высокой практической значимостью**. Прежде всего, отметим, что полученные автором диссертации новые результаты пополняют базу данных о спектрально-люминесцентных характеристиках LGBO:Ce, создают основу для совершенствования детекторов корпускулярного излучения. Наконец, их можно использовать в учебном процессе при подготовке студентов-физиков, специализирующихся в области физики конденсированного состояния, физики твердого тела, детектирования ионизирующих излучений.

Детальное знакомство с диссертационной работой Вострова Д. О. позволяет сделать уверенный вывод о **надежности и достоверности его результатов**. В пользу этого утверждения свидетельствует, во-первых, сам выбор объектов исследования, которые относятся к числу материалов, информация о многих свойствах которых имеется в справочной и научной периодической литературе. Во-вторых, синтез объектов исследования проводился в известных научных учреждениях. В-третьих, в работе использован очень широкий набор экспериментальных и теоретических методов исследования. В-четвертых, многие эксперименты проводились учеными высокой научной квалификации в других учреждениях науки (лаборатория HASYLAB в г. Гамбург, Германия) и образования (Томский национальный исследовательский политехнический университет), что

способствовало получению новых результатов и их обсуждению и анализу не только в своем родном, но и в других научных коллективах, что, конечно, повышает степень надежности результатов и обоснованности сделанных на их основе выводов.

Результаты, полученные автором, прошли **хорошую апробацию** на 5 международных конференциях, на которых представлено 6 докладов, 7 статей опубликованы автором в рекомендованных ВАК РФ для изложения результатов диссертационных работ реферируемых научных изданиях, что означает их серьезное рецензирование на стадии подготовки рукописей к печати.

Несмотря на явные достоинства диссертации нельзя не высказать ряд замечаний.

1. Автор ставил одной из своих целей сопоставление кристаллических и кристалловолоконных образцов ортобората лития-гадолиния во всех исследуемых процессах. У читателя может возникнуть ощущение, что химический состав при переходе от одних объектов к другим остается одним и тем же, хотя, как показано в работе, это не так. Поэтому следовало бы при сравнительном анализе указывать на это различие и следовало бы также упомянуть об этом в автореферате.

2. Пытаясь дать объяснение результатам по импульсной катодолюдминесценции, автор говорит о том, что «воздействие электронного пучка при возбуждении ИКЛ приводит к формированию короткоживущих дефектов решетки в виде электронных центров (Li^0), окруженных четырехвалентными ионами церия». Возникает вопрос, как при заведомо несопоставимых концентрациях лития (элемента, входящего в состав матрицы) и церия (добавки, вводимой в матрицу в небольших количествах) может возникнуть такое окружение у лития, особенно с учетом того факта, что не весь церий в кристаллах реализован в виде четырехзарядных ионов. А какова его доля в общем содержании церия? Ответить на этот вопрос без анализа спектров поглощения ионов Ce^{3+} и Ce^{4+} нельзя, в работе этот анализ не проведен.

3. Автор высказывает идею о туннельном переносе электрона между центрами Li^0 и Ce^{4+} , которая «приводит к перезарядке примесного иона и формированию короткоживущего примесного центра Ce^{3+} в возбужденном состоянии», высвечивание которого приводит к дополнительному вкладу в полосу люминесценции ионов Ce^{3+} . Вместе с тем, для доказательства правомочности идеи о туннельном характере переноса электрона следовало бы привести данные о том, что в определенном диапазоне изменения температуры, пока она остается ниже температуры, при которой происходило возбуждение системы, характеристики рекомбинационной люминесценции (например, ее кинетика) не изменяются. К сожалению этого сделано не было.

4. На стр. 120 читаем, что «интенсивность катодолюдминесценции ... существенно выше таковой для фотолюминесценции и рентгенолюминесценции». Можно сопоставлять только эффективность люминесценции при разных видах возбуждения, а вовсе не ее интенсивность.

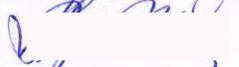
5. Часто при описании рисунков встречаются названия типа «Спектры ВФЛ монокристаллов $LGBO:Ce$, зарегистрированные при 80 К,

наблюдаемой люминесценции при E_m » (подпись к рис. 4.10); «Кривые спектрально-селективной ТСЛ при скорости линейного нагрева 0.3 К/с, зарегистрированной люминесценции кристалла LGBO:Ce в полосах при...». Такие названия выглядят тяжеловесно, а слово «люминесценция» встречается дважды: сначала в аббревиатурах ВФЛ и ТСЛ, а потом в полной форме.

6. В списке публикаций по теме диссертации следовало бы указать места проведения конференций (публикации 8 – 13).

Отмеченные замечания не сказывается на общей высокой оценке диссертационной работы Вострова Д. О., являясь скорее пожеланиями автору учесть их в своих последующих работах. Диссертация в целом написана хорошим языком, оригинальной ее части предпослан обстоятельный обзор литературы по объектам и методам исследований. Она хорошо структурирована, графически прекрасно оформлена, автореферат в полной мере передает содержание диссертации. Все это говорит о принадлежности автора к серьезной научной школе.

Считаю, что в целом Востров Д. О. достиг поставленной перед собой цели. Рецензируемая диссертационная работа отвечает требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям по физике, ее название соответствует шифру и номеру специальности, а ее автор – ВОСТРОВ Дмитрий Олегович – заслуживает присуждения ему искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент – профессор кафедры оптоинформационных технологий и материалов Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики (ИТМО), доктор физико-математических наук, профессор  Арбузов Валерий Иванович

E-mail: arbutov@oi.ifmo.ru, viarb@yandex.ru
199034, Санкт-Петербург, Биржевая линия, д. 4
17 ноября 2015 г., г. Санкт-Петербург.

Подпись 
удостоверяю
Специалист ОК
Университета ИТМО



