

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертационной работе
Трофимовой Елены Сергеевны «Время-разрешённая
спектроскопия фосфатов, легированных редкоземельными ионами»,
представленной на соискание учёной степени кандидата
физико-математических наук по специальности 1.3.6. Оптика

Диссертационная работа Е.С. Трофимовой посвящена исследованию вопросов, связанных с люминесценцией редкоземельных ионов в фосфатных матрицах. Современный интерес к люминесцентным материалам на основе редкоземельных ионов обусловлен, в первую очередь, широким рядом их возможных применений. Среди этих применений выделяются источники освещения и детекторы ионизирующего излучения (сцинтилляторы), в том числе для медицинских применений. Однако, в этих областях продолжают существовать научные проблемы, связанные с недостатками широко используемых в текущее время люминесцентных материалов.

В частности, в сцинтилляционных материалах важной характеристикой является время затухания люминесценции, прямо влияющее на точность результатов измерений. В этой связи большой интерес привлекают ионы Pr^{3+} , характерные временем затухания люминесценции в два-три раза короче, чем у широко используемых в настоящее время в сцинтилляторах ионов Ce^{3+} .

В то же время активно исследуются новые люминофоры для источников белого света. Проблемы, связанные с ними, как, например, недостаточное качество света (воспроизведение цвета, цветовая температура), могут быть решены благодаря таким особенным свойствам редкоземельных ионов, как широкий спектр и узкие линии излучения.

Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения и списка литературы. Объем диссертации составляет 124 страницы, включая 57 рисунков, 3 таблицы. Список литературы содержит 117 наименований.

Во **введении** обосновывается актуальность темы исследования, формулируются цели и задачи работы, научная новизна диссертационной работы и практическая значимость полученных результатов, представлены положения, выносимые на защиту, а также сведения об апробации диссертационной работы.

В **первой главе** «Люминесцентные материалы на основе фосфатов, легированных ионами празеодима» приводится краткий обзор литературных данных по теме диссертации, определение базовых понятий и анализ текущих

научных проблем в данной области.

Во **второй главе** «Объекты и методы исследования» описываются объекты и методы исследования: детали процессов синтеза исследуемых материалов, и технические данные использованного экспериментального оборудования. Приводятся результаты аттестации объектов исследования.

В **третьей главе** «Внутрицентровая люминесценция ионов празеодима в фосфатах» показаны результаты спектрально-люминесцентных исследований LiSrPO_4 , $\text{Sr}_9\text{Lu}(\text{PO}_4)_7$ и $\text{Sr}_9\text{Sc}(\text{PO}_4)_7$, KLuP_2O_7 , легированных ионами Pr^{3+} , при разных видах возбуждения в широком диапазоне энергий в диапазоне температур от 5 до 700 К.

В **четвёртой главе** «Люминесцентные свойства $\text{LiSrPO}_4:\text{Pr}^{3+}$, солегированного ионами Na^+ , Mg^{2+} » исследуется влияние солегирования $\text{LiSrPO}_4:\text{Pr}^{3+}$ ионами Na^+ и Mg^{2+} на люминесцентные свойства объектов, а именно изменения в характеристиках межконфигурационных излучательных переходов ионов Pr^{3+} .

В **пятой главе** «Люминесцентные свойства $\text{LiSrPO}_4:\text{Pr}^{3+}$, солегированного ионами Dy^{3+} , Sm^{3+} » исследуются образцы $\text{LiSrPO}_4:\text{Pr}^{3+}$, солегированные ионами Sm^{3+} и Dy^{3+} . В отличие от других рассмотренных в данной работе объектов, в данной главе большое внимание уделяется использованию возбуждения люминесценции фотонами видимого диапазона.

В **шестой главе** «Дефекты в матрицах фосфатов» проводится анализ проявления дефектов кристаллической структуры в спектрах люминесценции всех исследованных в предыдущих главах материалах, а также приводятся примеры похожих явлений в других материалах из литературных источников.

В **заключении** приводятся основные выводы работы и формулируются задачи для продолжения исследований по теме диссертации.

Автореферат соответствует тексту диссертационной работы.

Диссертационная работа выполнена на хорошем научном уровне, апробирована публикациями в авторитетных журналах и докладами на российских и международных конференциях.

В качестве основных **достоинств работы** можно выделить следующие:

1. Представлен большой объём экспериментальных данных, полученных для широкого ряда объектов исследования, что позволяет как обоснованно определять закономерности, так и описывать различия в характеристиках люминесценции ионов празеодима в фосфатах, в том числе с опорой на имеющиеся литературные данные.

2. В работе впервые отмечено свойство, общее для многих фосфатов, в том числе изученных в работах других авторов, а именно: наличие характерного дефекта кристаллической структуры, заметно влияющего на люминесценцию празеодима. Сформулированы предварительные предположения о природе этого явления. Такие дефекты и их проявление в спектрах люминесценции фосфатов ранее детально не обсуждались, а закономерностей не обнаруживалось.

3. Работа не оставляет без внимания разнообразие возможных применений празеодима. Помимо изучения его с точки зрения активатора для быстрых сцинтилляторов, рассмотрено и его использование в паре с другими редкоземельными ионами в совершенно другом качестве — в люминофорах с излучением в видимой области спектра.

Знакомясь с диссертацией, я пришёл к выводу, что сам диссертант из большого числа полученных результатов к наиболее значимым относит совокупность вопросов, сфокусированных вокруг необычных свойств дефектов фосфатов. Я, в принципе, согласен с таким пониманием диссертантом своих работ.

Однако, поскольку я много лет занимался проблемами подпороговой радиационной физики, причём применительно к средам с чрезвычайно многообразными химическими связями (на прежних этапах РФТТ) и для объектов с многообразными структурными характеристиками (на современном этапе РФТТ), то я бы хотел обозначить ряд соображений, которые можно рассматривать как замечания к данной работе, так и как её перспективы, что является положительным моментом для диссертации.

I. Мне представляется, что можно было бы уделить гораздо больше внимания такому методологическому подходу как схеме Плацмана — Стародубцева, что позволило бы в большей степени и детальнее понять следующие моменты:

- 1) на какой стадии появляется сложность объектов: то ли это первичные продукты, то ли продукты постдиффузионной стадии;
- 2) какова роль степени неравновесности при технологическом приготовлении материалов;
- 3) не вносит ли вклад в нерегулярность проявляющихся свойств радиационная тряска при электронных переходах;
- 4) какова роль радиационного отжига при рекомбинационно-стимулированных атомных процессах;
- 5) имело бы смысл обсудить такой ракурс как роль спиновой химии,

прекрасно управляемой внешним магнитным полем, и в связи с этим можно было бы обдумать роль спинового катализа (flip-flop процессы), в том числе и участие ядерных спинов некоторых легирующих примесей;

- б) особенно интересным представляется вопрос современного понимания деструкции по механизму Декстера — Варли (1960), при котором найдена форма конкурентной зависимости электронно-релаксационных и атомно-релаксационных процессов. Впервые эта задача была решена в 1976 году Оксенгендлером Б.Л. и др. (Phys. St. Sol. (a). 1976, 35, K145) и несколько позже повторена (с ошибкой) Клингером М.И. и др. (ФТП, 1978, 12, 1887); а совсем недавно именно этот вопрос (при наличии фосфора) оказался решающим в проблеме деструкции РНК вируса SARS при воздействии рентгеновского и УФ излучения (Oksengendler B.L., Zatsepin A.F. et.al. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 2022, 512, pp. 66–75)

Представляется, что указанную совокупность вопросов очень интересно было бы сфокусировать на будущие исследования объектов данного типа (с макроскопическим числом ионов фосфора).

II. В то же время к работе имеется ряд формальных **замечаний**:

1. На большинстве графиков единицы измерения интенсивности обозначены как "усл.ед.", но на некоторых встречается и обозначение "отн.ед.". Хотя это не несёт значительной важности, и, вероятнее всего, было сделано по невнимательности, следует соблюдать постоянство в обозначениях.
2. Последний вывод к главе 3 сформулирован нечётко: "...предположительно связанные с эмиссией дефектов кристаллической структуры схожей природы". Следовало бы уточнить, что "схожей природы" относится к предположению об их идентичности.
3. Прослеживается непостоянство обозначений дважды легированных веществ: в одних местах между примесными ионами ставится "/", в других местах — запятая.
4. Во введении к главе 4 упоминается метод "bandgap engineering". Было бы целесообразно уточнить, что с использованной концентрацией примесей (1 мол%) эффект изменения ширины запрещённой зоны заведомо незначителен. Однако, далее в тексте автор отмечает это ограничение при рассмотрении экспериментальных данных.

5. На рисунке 5.7 не дано уточнение обозначению “ET”. К тому же ось графика подписана по-русски. А “ET”, вероятнее всего, означает “Energy Transfer”, т.е. обозначение на латинице.

Указанные замечания не умаляют заслуг соискателя в получении важных и интересных результатов, равно как и их высокой оценки и не влияют на общее впечатление от диссертации.

Таким образом, результаты, представленные в диссертационной работе, вносят существенный вклад в исследование люминесцентных материалов на основе фосфатных матриц, в частности, активированных ионами Pt^{3+} . Общее впечатление о диссертационной работе Е.С. Трофимовой положительное.

Считаю, что диссертация «Время-разрешённая спектроскопия фосфатов, легированных редкоземельными ионами» соответствует специальности 1.3.6. «Оптика» и требованиям «Положения о присуждении учёных степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор — Трофимова Елена Сергеевна — заслуживает присуждения искомой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. «Оптика».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, профессор,
ведущий научный сотрудник лаборатории высокотемпературных композитных материалов и покрытий Института материаловедения НПО «Физика-Солнце» Академии наук Республики Узбекистан

Оксенгендлер Борис Леонидович

19.09.2023

Узбекистан, 100084, г. Ташкент, ул. Чингиза Айтматова, д. 2Б
Телефон: +998 (97) 100-42-08, e-mail: ftikans@uzsci.net

Подпись профессора Б.Л. Оксенгендлера заверяю:

Учёный секретарь

/ Саидханов Н.Ш. /