

**ИНСТИТУТ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ И
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ**

Диссертационный совет Д.01.14.002

На правах рукописи

УДК: 535.34+535.35+
535.37+548.4

Бекташов Алмаз Сагындыкович

**РАДИАЦИОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В РЯДЕ
ЩЕЛОЧНО-ГАЛОИДНЫХ КРИСТАЛЛОВ,
АКТИВИРОВАННЫХ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ**

Специальность 01.04.07-Физика конденсированного состояния.

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Бишкек - 2014

Работа выполнена в Институте физико-технических проблем и материаловедения НАН КР, лаборатория Кристаллофизики.

Научный руководитель: доктор физико-математических наук, профессор **Денисов Г.С.** (ИФТПиМ НАН КР)

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, профессор **Касмамытов Н.К.** (КРСУ им. Б.Ельцина)

кандидат физико-математических наук, доцент **Клименко О.И.** (ИГУ им. К.Тыныстанова)

Ведущая организация: Кыргызский Национальный университет им. Ж.Баласагына

Защита состоится «19» декабря 2014 г. в 16-00 часов на заседании диссертационного совета Д.01.14.002 при Институте физико-технических проблем и материаловедения НАН КР по адресу: г. Бишкек, 710072, проспект Чуй, 265-а

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке НАН КР.

Автореферат разослан «17» ноября 2014 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук



С.А. Алымкулов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Щелочно-галлоидные кристаллы (ЩГК) являются весьма удобными модельными объектами для изучения собственных и примесных дефектов в кристаллах. Общеизвестно, что многие свойства кристаллов существенно изменяют свои свойства при введении в них примесей, причем легирование ЩГК может привести как к ухудшению, так и улучшению их характеристик. До настоящего времени не существует однозначных критериев, позволяющих предсказывать изменение свойств легированных ЩГК при радиационном облучении. В связи с этим при синтезе новых примесных ЩГК в первую очередь становится актуальным изучение экспериментальных закономерностей, связанных с электронными возбуждениями и проявлением радиационно-оптических эффектов в кристаллах с целью выявления радиационно-оптических свойств новых материалов. Особую актуальность приобретают детекторные материалы для радиационного мониторинга территорий, в частности, мониторинга селитебной зоны озера Иссык-Куль, персональной, клинической, высокодозной и аварийной дозиметрии.

Интерес, проявляемый в этом плане к ЩГК, обусловлен их высокой радиационной чувствительностью, явно выраженными ионными свойствами, прозрачностью в удобной для исследования области спектра и повышенными функциональными характеристиками. ЩГК давно являются объектами пристального внимания со стороны таких известных научных школ как кыргызская, томская, иркутская, уральская, московская, Санкт-Петербургская, Прибалтийская, а также научных школ Китая, Японии, ЕЭС и США.

В диссертационной работе объектами исследования радиационно-оптических свойств, электронных возбуждений и диссипативных радиационно-термически и оптически-стимулированных процессов были чистые и легированные d и f-элементами щелочно-галлоидные кристаллы $(\text{Na},\text{K})\text{Cl}$ и $(\text{Na},\text{Li})\text{F}$.

Связь темы диссертации с государственными программами. Работы по теме диссертации выполнялись в соответствии с темами лаборатории кристаллофизики Института физико-технических проблем и материаловедения НАН КР.

1. «Исследование радиационно – оптических свойств щелочно – галлоидных кристаллов на основе фторидов лития и натрия» (№ 0003729).

2. «Создание новых оптических материалов различной размерности и исследование их радиационных и люминесцентных свойств» (№ 0005487).

Цель работы: Исследования электронных возбуждений и диссипативных процессов, включая радиационно-стимулированные и пострadiационные термически и оптически стимулированные процессы в ряде чистых и активированных щелочно-галлоидных кристаллах $(\text{Na},\text{K})\text{Cl}$ и $(\text{Na},\text{Li})\text{F}$ в зависимости от условий выращивания кристаллов и условий возбуждения. Найти возможность применения исследуемых кристаллов на практике.

Для достижения цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Изучить спектрально-кинетические характеристики и влияние активаторов на радиационно-оптические свойства исследуемых ШГК и на процессы накопления в них радиационных дефектов. Исследовать влияние активаторов на устойчивость радиационных дефектов и на структурные превращения оптических центров.

2. Исследовать процессы диссипации энергии, протекающие в кристаллах при их облучении ионизирующим излучением. Уточнить механизмы образования и разрушения центров окраски. Исследовать возможные сочетанные механизмы люминесценции: экситонные, примесно-экситонные, остовно-валентные и механизмы, связанные с переносом заряда ($\text{Eu}^{2+} \rightarrow \text{Eu}^{3+}$, $\text{Yb}^{2+} \rightarrow \text{Yb}^{3+}$).

3. Провести анализ люминесцентных и радиационно-оптических свойств чистых и модифицированных по составу кристаллов $(\text{Na,K})\text{Cl}:\text{Eu}$ в расширенном спектральном интервале методами время-разрешенной спектроскопии.

4. Провести для кристаллов $\text{NaF}:\text{U,Yb}$ и $(\text{Na,K})\text{Cl}:\text{Eu}$ поисковые исследования оптически стимулированной люминесценции (ОСЛ) и изучение её спектрально-кинетических характеристик.

5. Определить возможные области практического применения исследуемых кристаллов в плане разработки новых оптических детекторных материалов и устройств в области персональной, клинической, высокодозной и аварийной дозиметрии.

Научная новизна:

1. Обнаружено, что в кристаллах KCl и NaCl , активированных европием, при длительном отжиге на воздухе структура окружения примесных центров европия меняется. Показано, что возможно образование $\text{Eu}^{2+} \text{v}_c^-$ - центров или кластерных $\text{Eu}^{2+}-\text{Eu}^{3+}$ - центров с несколькими функциональными возможностями, влияющими на механизм люминесценции.

2. Впервые установлены особенности переноса электронных возбуждений в исследуемых кристаллах в зависимости от структуры центров свечения и плотности возбуждения путем анализа их кинетических характеристик: в кривых затухания ИКЛ образцов $\text{NaCl}:\text{Eu}$, выращенных в вакууме, для полосы свечения с максимумом при 470-480 нм обнаружена одна экспоненциальная компонента с длительностью $\tau = 830$ нс, а в кривых затухания ИКЛ, образцов, выращенных на воздухе, для этой полосы наблюдаются две компоненты: быстрая с длительностью $\tau_1 = 180$ нс и медленная с $\tau_2 = 1,2$ мкс.

3. При переходе от электронного возбуждения к возбуждению альфа-частицами Pu-239 (имеющими энергию 5,12 МэВ) в спектрах сцинтилляций кристаллов $\text{NaCl}:\text{Eu}$ обнаружена более короткая компонента с длительностью 30 нс, что указывает на возможный внецентровой (экситонный) механизм возбуждения при высокой плотности возбуждения dE/dx , создаваемой альфа-частицами.

4. Впервые в рамках спектрально-кинетического системного подхода изучены радиационно-стимулированные (УФ, рентгеновское и электронное

облучение) и пострadiационные термически и оптически стимулированные процессы в ряде облученных чистых и активированных кристаллов $(\text{Na,Li})\text{F}$ и $(\text{Na,K})\text{Cl}$ в зависимости от условий синтеза.

5. Впервые обнаружена и исследована оптически стимулированная люминесценция кристаллов на основе активированных и неактивированных индивидуальных и смешанных кристаллов NaF , LiF , а также кристаллов NaCl и KCl , для которых измерены кривые ОСЛ и определены её основные параметры: интенсивность, светосумма и времена затухания ОСЛ для различных компонент. Исследования проведены для кристаллов, подвергнутых воздействию рентгеновского излучения для диапазона доз, характерного для персональной дозиметрии. Впервые обнаружена и исследована ОСЛ кристаллов $\text{NaF}:\text{Sc}$, облученных нейтронами, в плане их пригодности для высокодозной дозиметрии нейтронов в каналах ядерных реакторов (флюенс до 10^{17}см^{-2}) и для аварийной дозиметрии.

Практическая значимость работы.

Результаты проведенных фундаментально-прикладных исследований могут быть использованы для более глубокого понимания механизмов создания дефектов в активированных ионных кристаллах, а также для разработки новых детекторных материалов и устройств.

Предложены новые рабочие вещества для персональных ОСЛ-дозиметров на основе:

- $\text{NaF}:\text{}^6\text{Li,Cu}$ для применения в смешанных полях ионизирующих излучений (рентгеновское, гамма, β -излучение и тепловые нейтроны);
- $\text{NaF}:\text{Sc}$ для регистрации рентгеновского и β -излучения;
- NaCl и $\text{NaCl}:\text{Eu}$ для регистрации рентгеновского и β -излучения.

Предложено новое рабочее вещество для высокодозных ОСЛ-дозиметров нейтронов на основе $\text{NaF}:\text{Sc}$, пригодных для использования в каналах ядерных реакторов с флюенсом нейтронов вплоть до 10^{17}см^{-2} , а также для решения задач аварийной дозиметрии.

Предложен новый детектор ионизирующих излучений (патент РФ на полезную модель № 131502) многофункционального типа, содержащий блок, обеспечивающий регистрацию сцинтилляционных и ОСЛ-сигналов.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту.

На основе результатов комплексных исследований электронных возбуждений, радиационно-стимулированных и пострadiационных термически и оптически стимулированных процессов в ряде ШГК $(\text{Na,Li})\text{F}$ и $(\text{Na,K})\text{Cl}$ сформулированы следующие защищаемые положения:

1. Обнаруженное с помощью спектрально-кинетических исследований в кристаллах $(\text{Na,K})\text{Cl}:\text{Eu}$ изменение ближайшего окружения ионов Eu находит объяснение в рамках известных моделей и может быть связано с образованием активаторных центров различной структуры:

- заменой вакансии катиона в ближайшем окружении примесного иона европия на ион кислорода;

- образованием (в случае гетеровалентного вхождения примеси европия в кристалл) кластерных центров типа $\text{Eu}^{2+} - \text{Eu}^{3+}$ с разной возможной конфигурацией (в приближении модели Кристоффеля - Писаренко);

или с процессами, относящимися к экситонной люминесценции:

- формированием центра излучательной рекомбинации для автолокализованных или локализованных около дефектов (ионов европия или иттербия) экситонов (в приближении модели Аболтыня-Плеханова);

- формированием канала переноса заряда типа $\text{Eu}^{2+} - \text{Eu}^{3+}$ (а в системе NaF:Yb канала типа $\text{Yb}^{2+} \rightarrow \text{Yb}^{3+}$) в процессе акта свечения ионов Eu^{2+} или Yb^{2+} (в приближении модели Кобаяши).

2. Наблюдаемое в кривых затухания ИКЛ образцов NaCl:Eu , выращенных в вакууме, для полосы свечения 470-480 нм только одной компоненты с длительностью $\tau = 830$ нс указывает на наличие только одного типа центров свечения (одноцентровая модель); наблюдаемое в кривых затухания ИКЛ образцов NaCl:Eu , выращенных на воздухе двух компонент с длительностью $\tau_1 = 180$ нс и $\tau_2 = 1200$ нс объясняется формированием новых кислородосодержащих центров свечения, то есть образованием дополнительного оксигалогенидного центра свечения (двухцентровая модель).

3. Впервые обнаруженная оптически стимулированная люминесценция для чистых и активированных кристаллов $(\text{Na,Li})\text{F:Yb}$ и $(\text{Na,K})\text{Cl:Eu}$ обусловлена оптической ионизацией уровней захвата носителей заряда, заполненных при (предварительном) облучении кристаллов рентгеновским, гамма-, электронным излучением или нейтронами (ядерного реактора) с последующим высвечиванием запасенной светосуммы, обусловленным рекомбинацией освобожденных носителей на центрах люминесценции с участием процессов излучательной рекомбинации экситонных возбуждений.

4. Наблюдаемая во время-разрешенных спектрах рентгенолюминесценции кристаллов NaCl:Eu при $T=10\text{K}$ короткая компонента свечения ($\tau = 10$ нс) связана с излучательной рекомбинацией автолокализованных экситонов. Короткая компонента ($\tau = 30$ нс) наблюдаемая в сцинтилляционных сигналах для кристаллов NaCl:Eu при α -возбуждении (высокие приповерхностные потери dE/dx при возможном перекрывании треков заряженных частиц) при комнатной температуре, также может быть связана с излучательной аннигиляцией экситонов.

5. Впервые обнаруженная для кристаллов $(\text{Na, Li})\text{F}$ и $(\text{Na, K})\text{Cl}$ оптически стимулированная люминесценция, связанная с экситонными процессами локализации и автолокализации возбуждений, уже сегодня представляет практический интерес для создания новых детекторных материалов и нового типа многофункциональных устройств (патент РФ на полезную модель № 131502) для регистрации ионизирующих излучений и открывает перспективы для нового научного направления в области радиационной оптики.

Личный вклад соискателя

Синтез кристаллов и измерения радиационно-оптических свойств проведены соискателем в Институте физико-технических проблем и материаловедения НАН КР. Все исследованные кристаллы выращены соискателем лично и им же измерены спектрально-кинетические характеристики радиолюминесценции, включая ИКЛ, а также параметры затухания ОСЛ всех исследуемых образцов (во время научных стажировок в 2010 и 2013 гг. в Уральском федеральном университете, Екатеринбург, Россия). Там же соискателем проведена проверка сохранности дозиметрической информации в облученных нейтронами кристаллах NaF:Sc после 7 лет их хранения и первая проверка возможности получения такой информации ОСЛ-методом.

Обсуждение и интерпретация результатов проведены соискателем с участием научного руководителя и консультантов.

Измерения время-разрешенных спектров образцов NaCl и KCl выполнены к.ф.-м.н., доцентом В.Ю. Ивановым (из УрФУ, Россия) в Германии на установке DESY (Гамбург), однако обработка спектров выполнена лично соискателем, а их интерпретация - совместно с научными консультантами.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных научных конференциях: XIII Международная конференция «Радиационная физика и химия неорганических материалов» (Томск-2006); Иссык-Кульская международная летняя школа по радиационной физике, новым материалам информационным технологиям SCORPh-2008; международная конференция по распространению упругих и упругопластических волн, посвященная 100-летию со дня рождения академика, Героя социалистического труда Х.А. Рахматуллина (Бишкек-2009); XIV Международная конференция «Радиационная физика и химия неорганических материалов» (Томск-2009); VIII Иссык-Кульская международная конференция по инновационным материалам посвященная 60-летию чл.-корр. НАН КР М.М. Кидибаева (SCORPh-2010); международная научная конференция «Образование через науку» ИГУ им. К.Тыныстанова, посвященная 60-летию д.ф.-м.н., К.Шаршеева. (Каракол-2010).

Полнота отражения результатов диссертации в публикациях. Основное содержание диссертации отражено в 28 печатных работах, из них: 1 Патент РФ № 131502 на полезную модель детектора ионизирующих излучений, 22 статьи, 5 тезисов докладов на международных конференциях.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения с выводами и списка использованной литературы, содержит 146 страницы машинописного текста, включая 42 рисунка, 14 таблиц и список литературы из 178 библиографических наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснованы актуальность темы и выбор объектов исследования, формулируются цели и задачи диссертационной работы, основные положения, выносимые на защиту. Описаны результаты, полученные автором, их научная новизна и практическая ценность, личный вклад автора.

В первой главе содержит литературный обзор. В ней рассмотрены радиационно-оптические свойства и радиационная устойчивость активированных ЦГК. На основе анализа литературных данных, в конце главы сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе приведены результаты исследований, связанные с выбором образцов, с методами выращивания и методами контроля входящих примесей в кристаллы; кратко описаны методы исследования, параметры и принципы работы используемых экспериментальных установок. Во всех экспериментах определялась погрешность измерений, максимальная величина которой не превышала 20%. Экспериментальные результаты, представленные в настоящей работе, получены в Институте физико-технических проблем и материаловедения Национальной академии наук Кыргызской Республики и в различных зарубежных научных центрах и лабораториях (РФ, Германия).

Для выращивания монокристаллов на основе фторида лития и натрия, хлорида калия и натрия применен усовершенствованный метод Киропулоса в рамках подхода Алыбакова-Добржанского.

Для изучения спектров оптического поглощения (СОП) исследуемых кристаллов использовались спектрофотометры «SP8-100» и Specord IR75. СОП регистрировались при комнатной температуре. Использовались образцы размером от $5 \times 5 \times 0,2$ до $10 \times 10 \times 0,5$ мм³, выколотые по плоскостям спайности (100).

Для образования центров окраски и радиационных примесных центров применялись рентгеновские лучи. Образцы облучались на рентгеновском аппарате УРС-70 с трубкой УБПВУ-60 с вольфрамовым антикатодом при напряжении 55 кВ и силе тока 10 мА.

Термолюминесценция (ТЛ) кристаллов измерялась на специальной установке, состоящей из блока нагрева, высоковольтного блока, ФЭУ-79, усилителя постоянного тока и самопишущего потенциометра КСП-4. Скорость нагрева выдерживалась постоянной - 10 К/мин.

Экспериментальные результаты изучения ВУФ-спектров, представленные в настоящей работе, получены на наших образцах к.ф.-м.н., доцентом В.Ю. Ивановым на станции SUPERLUMI лаборатории HASYLAB (Hamburger Synchrotronstrahlungslabor) синхротрона DESY (Deutsche Elektronen-Synchrotron) (г. Гамбург, Германия). Обработка результатов проведена автором лично. Станция SUPERLUMI обеспечивает широкие возможности для проведения исследований в области люминесцентной ВУФ-спектроскопии с временным и энергетическим разрешением. Исследуемые образцы помещались в рабочую камеру на медный кристаллодержатель продувного гелиевого криостата, обеспечивающего безмасляный сверхвысокий вакуум не хуже

$2 \cdot 10^{-10}$ торр, что гарантировало чистоту поверхности кристаллов при низкотемпературных экспериментах.

Для возбуждения люминесценции использовался первичный двухметровый вакуумный монохроматор (спектральное разрешение 3.2 \AA или $25 \cdot 10^{-3} \text{ эВ}$ для области энергий $\sim 10 \text{ эВ}$), выполненный по схеме McPherson 15° с линейной дисперсией $\sim 4 \text{ Е/мм}$. Спектры люминесценции (СЛ) были проанализированы при помощи 0,3-х метрового монохроматора ARC Spectro Pro-380i и фотоэлектронного умножителя (ФЭУ) R6358P (Hamamatsu). СЛ и спектры возбуждения люминесценции (СВЛ) измерены для временноинтегрированной люминесценции и для люминесценции, детектируемой во временных окнах шириной t_i , задержанных относительно возбуждающего импульса синхротронного излучения (СИ) на δt_i . Параметры временных окон ВУФ-области: $\delta t_1 = 3 \text{ нс}$, $\Delta t_1 = 14 \text{ нс}$ и $\delta t_2 = 46 \text{ нс}$, $\Delta t_2 = 140 \text{ нс}$. СВЛ корректировались на одинаковое число падающих фотонов возбуждающего излучения, а СЛ приведены без корректировки. Параметры кинетик затухания люминесценции рассчитывались методом свертки.

Измерение спектров оптически стимулированной люминесценции (ОСЛ) проведены нами на блоке регистрации ОСЛ. В состав блока регистрации входил фотоэлектронный умножитель (ФЭУ-142), фильтр УФС-2 (выделение области 270 – 380 нм), сверхяркий светодиод (СДК-С469-5-10 с силой света от 3,5 до 5,0 кд с длиной волны излучения 470 нм и полушириной около 10 нм) и блок питания для светодиода. Использовался непрерывный режим стимуляции, при выбранной геометрии – «на просвет». Применение оптического фильтра является необходимым для исключения влияния излучения светодиода на ФЭУ.

В третьей главе представлены результаты исследования примесных и радиационных центров в щелочно-галогидных кристаллах, активированных редкоземельными элементами.

Измерены спектры рентгенолюминесценции (РЛ) кристаллов NaCl, NaCl:Eu, KCl и KCl:Eu при температурах $T=10$ и 300 К на канале BW3 (возбуждение мягким рентгеновским излучением) синхротрона DORIS.

Приведены данные о спектрах РЛ и кинетических параметрах исследуемых кристаллов, выполненные при ранее не применявшихся условиях возбуждения в области 50 -250 эВ.

Спектры люминесценции, спектры возбуждения люминесценции (СВЛ) и кривые затухания РЛ приведены на рис 1-5. Спектры рентгенолюминесценции образцов чистого кристалла NaCl и с европием (рис.1) измерены при температурах 10 и 300К при энергии возбуждения 130 эВ. При $T=10\text{К}$ основные полосы расположены при 3,5 и 5.3 эВ (355 и 234 нм). (Измерения проведены к.ф.-м.н., доцентом В.Ю. Ивановым. Обработка спектров проведена нами).

На рис.2 представлены спектры возбуждения рентгенолюминесценции NaCl при температуре 10К. В спектре наблюдается выраженный провал, обусловленный резким ростом поглощения вследствие электронных переходов из основных 2р-состояний ионов галоида на разрешенные состояния зоны проводимости. Подобные спектры обычно мало зависят от температуры.

Характер спектра свидетельствует о непосредственном участии подрешетки соответствующего элемента (в данном случае ионов галоида) в формировании излучательных состояний. Для ЩГК, где надежно установлена природа автолокализованных экситонов (АЛЭ) с дырочным ядром в виде X_2^- (где X – ион галоида) и их роль в возникновении обычно низкотемпературного свечения АЛЭ или в последующей передаче энергии другим центрам свечения, наблюдаемый выраженный провал в области остоного поглощения галоида подтверждает ранее сделанные выводы об участии подрешетки галоида в процессах диссипации энергии.

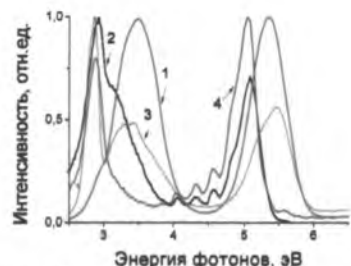


Рис. 1. Спектры рентгенолюминесценции кристаллов NaCl (1,2) и NaCl:Eu (3,4) при температурах $T=10\text{ K}$ (1,3) и $T=300\text{ K}$ (2,4) и энергии возбуждения $E=130\text{ эВ}$.

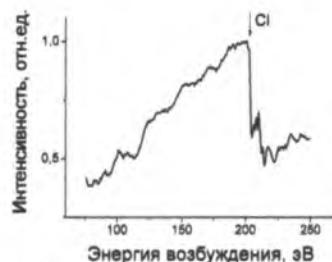


Рис. 2. Спектры возбуждения для полосы люминесценции 5,4 эВ кристалла NaCl при температуре $T=10\text{ K}$ (стрелкой показан провал в спектре возбуждения, соответствующий остоному уровню поглощения иона хлора).

Кинетические характеристики для кристаллов NaCl и NaCl:Eu приведены на рис. 3. Как показывают наши эксперименты, введение ионов европия стимулирует туннельные процессы переноса энергии возбуждения, удлиняет процесс послесвечения и усиливает общий световыход.

Нормированные спектры РЛ кристаллов KCl и KCl:Eu приведены на рис. 4 в сопоставлении с таковыми для кристаллов NaCl и NaCl:Eu. Экситонные полосы УФ-диапазона в кристаллах KCl и KCl:Eu при 3,2; 3,6; 4,2 – 4,6; 5,1 и 5,3 эВ в отличие от составов NaCl и NaCl:Eu уже не доминируют в спектре рентгенолюминесценции. Наиболее интенсивными становятся полосы в фиолетовой области спектра при 2,9 эВ (428 нм).

Полученные данные для спектров РЛ при СИ-возбуждении показывают более низкий световыход у кристаллов KCl и KCl:Eu, нежели у кристаллов на базе NaCl, согласуются с данными для случая возбуждения аналогичных кристаллов фото- и рентгеновским излучением стандартными методами, а также подтверждают данные об экситонном характере наблюдаемой люминесценции.

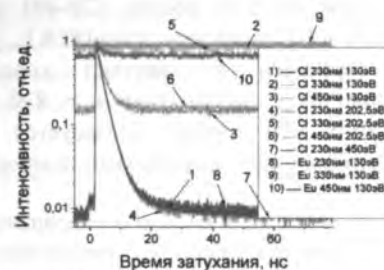


Рис. 3. Кинетики в разных точках спектра люминесценции кристаллов NaCl (Cl) и NaCl:Eu (Eu) при разных энергиях возбуждения, измеренные при $T=10\text{ K}$.

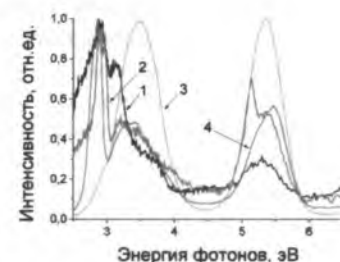


Рис. 4. Спектры рентгенолюминесценции кристаллов KCl (1) и KCl:Eu (2) в сравнении со спектрами рентгенолюминесценции кристаллов NaCl (3) и NaCl:Eu (4), измеренные при энергии возбуждающих фотонов $E=130\text{ эВ}$ ($T=10\text{ K}$).

Кинетические характеристики для кристаллов KCl и KCl:Eu приведены на рис.5. Картина весьма похожа на ту, что имеет место для кристаллов NaCl рис.3. Имеются короткие компоненты, связанные со свечением автолокализованных экситонов и экситонов, локализованных на дефектах, и длинные компоненты, обусловленные туннельными экситонными процессами.

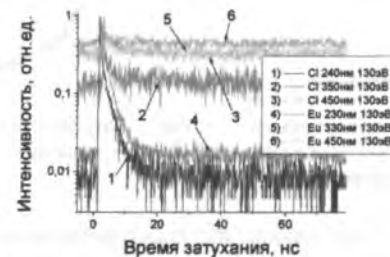


Рис. 5. Кинетики в разных точках спектра люминесценции кристаллов KCl (Cl) и KCl:Eu (Eu) при энергии возбуждения $E=130\text{ эВ}$, измеренные при $T=10\text{ K}$.

В четвертой главе рассмотрены импульсная катодолуминесценция и термолуминесценция щелочно-галоидных кристаллов.

Исследованы и приведены данные по кинетике ИКЛ образцов NaCl:Eu, полученные при возбуждении образцов импульсным пучком электронов с более низкой (на три порядка) плотностью, что не могло не сказаться на особенностях дефектообразования в исследуемых кристаллах.

Регистрацию кривых затухания ИКЛ для кристаллов NaCl:Eu осуществляли в области основного максимума спектра свечения ионов Eu^{2+} 420-490 нм.

Результаты измерений кривых затухания ИКЛ (в полосе 420-490 нм) кристаллов NaCl:Eu приведены на рисунках 6 и 7. Кривая затухания ИКЛ $I_{отн.ед}$ бескислородного кристалла NaCl:Eu (выращен в вакууме) хорошо аппроксимируется одной экспонентой (рис. 6) с параметром $\tau = 830$ нс (критерий качества аппроксимации $\chi^2 < 10^{-3}$), что хорошо согласуется по порядку величины с $\tau = 700$ нс, полученными при воздействии импульса электронного пучка с током 1000 А.

Кривые затухания кристалла NaCl:Eu, содержащего кислород (выращен на воздухе), аппроксимируются суммой двух экспонент (рис. 7) с параметрами: $\tau_1 = 180$ нс (быстрая компонента, более интенсивная) и $\tau_2 = 1,2$ мкс (медленная компонента); отношение начальных ($t = 0$) амплитуд компонент $U_{01}/U_{02} = 1,5$.

Новым является обнаружение двух компонент послесвечения в кислородсодержащих образцах NaCl:Eu длительностью 180 нс и 1,2 мкс, связанных с $O^2 \cdot Eu^{2+}$ и $O \cdot Eu^{2+} v_c^-$ - центрами (в предположении, что центр, содержащий вакансию, имеет большую длительность послесвечения).

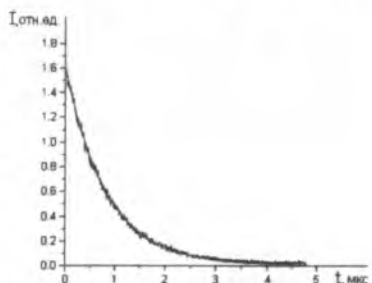


Рис. 6. Затухание ИКЛ для кристалла NaCl:Eu, выращенных в вакууме и линия тренда (результат аппроксимации)

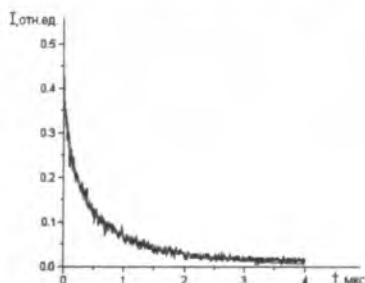


Рис. 7. Затухание ИКЛ для кристалла NaCl:Eu, выращенного на воздухе

Изучено влияние кислорода на термолюминесцентные (ТЛ) свойства кристаллов NaCl:Eu. Термолюминесценция кристаллов с любыми примесями, выращенных в вакууме, крайне слабая (рис. 8, кр.1). По-видимому, в номинально чистых кристаллах, не содержащих кислорода, имеется небольшое количество двухвалентных примесей, которые способствуют возникновению пика ТЛ при 335 К. Возможно и другое объяснение происхождения этого термопика. Наблюдение за М-полосой (рис. 10, кр.3) показало, что при этой температуре она уменьшается наиболее быстро. Логично предположить, что за пик 335К ответственны разрушающиеся М-центры.

Кристаллы, синтезированные в воздушной среде, люминесцируют гораздо сильнее (рис. 8, кривая 2). Видимо, в таких кристаллах содержится достаточно большое количество кислорода.

В кристаллах, выращенных на воздухе и содержащих европий, интенсивность всех пиков растёт, и появляется новый, около 515 К (рис. 9, кр.3). Это говорит о том, что возникают новые диполи, состоящие из ионов

европия и кислорода. Наиболее вероятно создание устойчивого центра типа $O^2 \cdot Eu^{2+}$, хотя возможны и другие варианты. Нейтральный комплекс получается, например, если в его состав входит одновалентный кислород и анионная вакансия ($O \cdot Eu^{2+} v_c^-$).

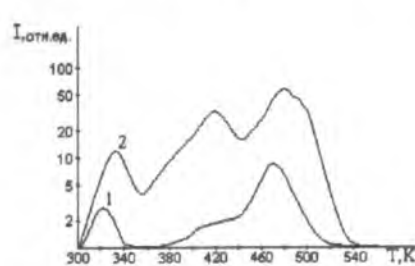


Рис. 8. ТЛ кристаллов NaCl выращенных в вакууме (1) и на воздухе (2) (обл. 5 мин.)

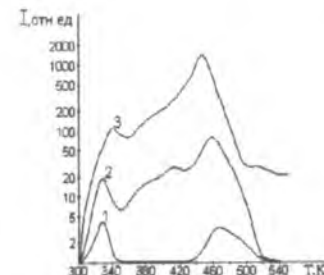


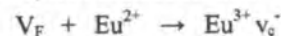
Рис. 9. ТЛ кристаллов NaCl выращенных в вакууме (1); на воздухе чистый (2) и с примесью европия (3) (обл. 1 час.)

При нагревании кристалла двухвалентный кислород, захватывая дырки, переходит в одновалентное состояние и может порождать F-центры



В дальнейшем F-центры рекомбинируют, вызывая свечение.

Мигрирующая вакансия может создавать V_F - центры, которые в дальнейшем взаимодействуют с электронными центрами, что в свою очередь приводит к возникновению термолюминесценции.



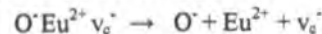
Высокотемпературные пики термостимулированной люминесценции могут быть связаны с образованием кластеров, представляющих собой скопления дивакансий в регулярной решетке. Распад электронных возбуждений на первичную F-H пару в окрестности V_2 - центра может привести к захвату последним F-центра



В связи с этим пики при 440 и 460К можно отнести к рекомбинации дырочных центров с катионными вакансиями, освобождённых от дефектов $Eu^{2+} v_c^-$.



При добавлении кислорода дополнительно возникающие дефекты немного смещают термопики в низкотемпературную область. Рекомбинация происходит также с вакансиями, освобождённых от дефектов



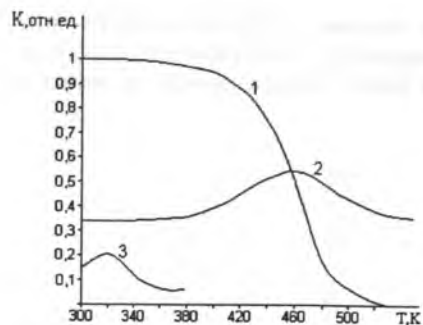


Рис. 10. Изменение концентрации F-центров (1), дифференциальные кривые разрушения F- (2) и M- (3) центров.

Нами были проведены эксперименты по определению термической стабильности F-центров. Кривые 1 и 2 на рис. 10 показывают, что наиболее быстро F-центры разрушаются при температуре 460 К.

Спектр излучения всех термопиков одинаков. Он состоит из одного максимума длиной волны 430 нм. Излучение Eu^{2+} происходит в результате $4f^6 5d \rightarrow 4f^7$ перехода. Влияние кристаллического поля решетки на этот переход незначительно, поэтому во многих щелочно - галоидных кристаллах наблюдается рентгенолюминесценция на этой длине волны.

Таким образом, при разрушении любой ловушки энергия передается ионам европия, которые люминесцируют в синей области.

В пятой главе исследована оптическая стимулированная люминесценция детекторных материалов на основе кристаллов фторида натрия.

В последнее время все большее внимание стало уделяться оптически стимулированной люминесценции (ОСЛ) и ОСЛ-запоминающим детекторам, которые постепенно переходят в разряд доминирующих радиационных детекторов и всё более широко внедряются в практику персональной дозиметрии.

При проведении измерений кривых ОСЛ исследуемых кристаллов учитывалось, что в спектрах стимулированного свечения кристаллов $\text{NaF}:\text{Cu}$ наблюдается интенсивная полоса 3,75 эВ (330 нм) и слабая полоса 2,08 эВ (600 нм). Первая из полос обусловлена примесным свечением, точнее обусловлена медьсвязанным экситоном ($\text{Cu}^{2+} + e_{\text{св}}$ - модель Педрини), излучательный распад которого отвечает за природу этой полосы. Полоса 2,08 эВ, как было показано еще в работе Кидибаева М.М., может быть связана со свечением F_2 -центров. В процессе ОСЛ при измерении со светофильтром УФС-2 полоса 2,08эВ (600нм) не регистрируется, в зачет идет лишь полоса 3,75 эВ (330 нм). Для номинально чистых кристаллов NaF , в которых, однако, обнаружены следы урана и меди (возможно, из-за загрязнения тигля) на уровне 10^{-4} %, также наблюдается УФ- полоса 3,75 - 4,2эВ (295 - 330нм), которая обладает достаточно высокой интенсивностью при регистрации ОСЛ кривой затухания. Эта полоса пропускается светофильтром УФС-2. Для кристаллов $\text{NaF}:\text{Sc}$ при измерении ОСЛ также фиксировалась только синяя полоса, обусловленная излучательным распадом экситонов на примесных и структурных дефектах.

Во время ОСЛ происходит освобождение зарядов с одной или нескольких ловушек. Возможно, освобожденные заряды захватываются другими ловушками (бимолекулярная реакция). Для количественного описания

процессов, происходящих в кристаллах во время обесцвечивания видимым светом, была использована следующая математическая модель.

Обозначим через n - концентрацию зарядов в более глубоких ловушках, а через N - концентрацию зарядов в других, более мелких ловушках в кристалле. Под действием света носители переселяются из одной ловушки в другую (с вероятностью α и β) или рекомбинируют (с вероятностью γ и ϵ) как показано на рис. 11.

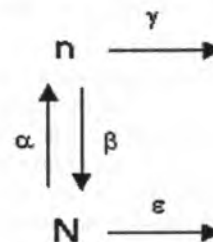


Рис. 11. Вероятности перехода электронов между ловушками.

Процесс изменения концентраций этих носителей зарядов можно описать следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dn}{dt} = \alpha N - (\beta + \gamma)n, \\ \frac{dN}{dt} = -(\alpha + \epsilon)N, \end{cases} \quad (1)$$

где α , β , γ и ϵ - константы скорости (вероятности переходов в единицу времени), характеризующие процессы: перехода носителей зарядов.

В зависимости от конкретных физических процессов некоторыми параметрами можно пренебречь. В частности, электроны, освобожденные из мелких ловушек, захватываются более глубокими, а не наоборот, поэтому можно полагать $\beta = 0$.

Решение системы (1) дифференциальных уравнений с учетом некоторых предположений имеет вид:

$$\begin{cases} N = N_0 e^{-b_1 t}, \\ n = n_0 + a(1 - e^{-b_1 t}) - (a + n_0)(1 - e^{-b_2 t}), \end{cases} \quad (2)$$

здесь скоростной параметр накопления носителями заряда $b_1 = \alpha$, а разрушения $b_2 = \gamma$. N_0 и n_0 - концентрации электронов в глубокой и мелкой ловушках соответственно, при $t = 0$; a - предельно достижимая концентрация (без учета начального количества n_0).

В зависимости от соотношений параметров, кривые затухания ОСЛ будут иметь разную форму. Возможны два варианта.

1. Две ловушки опустошаются независимо друг от друга. Первая кривая описывается уравнением (2). Для второй ловушки в уравнении (3) надо

полагать $a = 0$ и кинетика люминесценции описывается экспоненциальной кривой $n(t) = n_0 \cdot e^{-b_2 \cdot t}$. Таким образом, суммарная кинетика затухания ОСЛ будет состоять из двух экспонент

$$I(t) = N_0 \cdot e^{-b_1 \cdot t} + n_0 \cdot e^{-b_2 \cdot t}, \quad (4)$$

При замене $b_1 = 1/t_1$ и $b_2 = 1/t_2$, эта формула переходит в формулу

$$I = I_0 + A_1 e^{-t/t_1} + A_2 e^{-t/t_2}, \quad (5)$$

без учета постоянной составляющей I_0 .

2. Носители зарядов при освобождении из одних ловушек могут быть захвачены на других ловушках. Для описания процесса ОСЛ с повторным захватом электронов вероятностью α на рис. 11 пренебрегать нельзя и кинетическая кривая в этом случае будет описываться формулой (3).

В зависимости от параметров a , b_1 и b_2 , форма кривой ОСЛ будет различной. Находя указанные параметры, можно делать выводы о протекании физических процессов в кристаллах.

Выход ОСЛ, отн.ед.

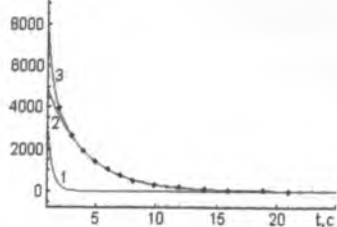


Рис. 12. ОСЛ кристалла NaF. Точки – экспериментальные данные. 1 – быстрая стадия; 2 – медленная; 3 – сумма кривых 1 и 2.

атомы меди увеличивают количество ловушек обоого вида.

Что касается устойчивости, то здесь картина обратная. Для чистого кристалла скоростные параметры b_1 и b_2 , характеризующие стабильность ловушек, больше соответствующих параметров кристаллов NaF:Cu. Физически это означает, что в легированных кристаллах процессы накопления протекают медленнее, но и процессы разложения тоже замедлены, т.е. радиационные центры в активированных медью кристаллах более устойчивы.

Иногда на кривых ОСЛ наблюдается максимум. На рисунках 13 и 14 кривые 3) приведены нормированные кинетики затухания ОСЛ кристаллов Al_2O_3 и NaCl:Re. Видно, что зависимость интенсивности послесвечения резко отличается от приведенной выше формой и временными параметрами. В первом кристалле, при выключении стимуляции первые 120 с, имеет место разгорание ОСЛ, а затем следует ее затухание с большой постоянной времени. У кристалла NaCl:Re максимум появляется раньше, а кривая спада – более крутая.

В соответствии с формулой (3) были проведены расчеты экспериментальных результатов для различных электронных центров в этих кристаллах.

Поскольку предельно достижимая концентрация a (0.754) для кристалла NaCl:Re в два раза больше чем для анион-дефектного корунда, то можно сделать вывод о том, что в последнем перекачка электронов из мелких ловушек в более глубокие происходит не так эффективно.

Выход ОСЛ, отн.ед.

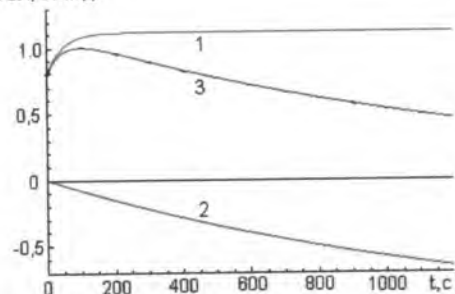


Рис. 13. ОСЛ кристалла Al_2O_3 . 1- стадия накопления; 2- стадия разрушения; 3- экспериментальная кривая (сумма кривых 1 и 2).

Выход ОСЛ, отн.ед.

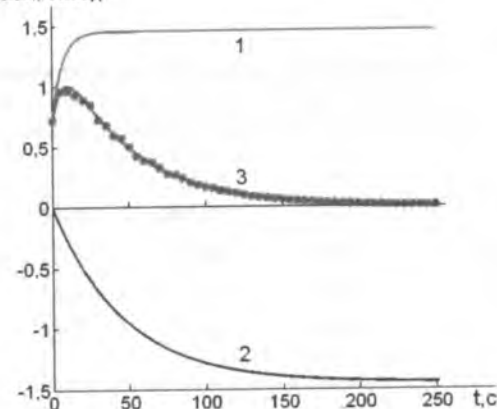


Рис. 14. ОСЛ кристалла NaCl:Re. 1- стадия накопления; 2- стадия разрушения; 3- экспериментальная кривая (сумма кривых 1 и 2).

Для чистого кристалла NaF и для NaF:0,1 мол. % Cu результаты измерения кривых ОСЛ представлены на рис. 15. На рис. 16 приведены кривые ОСЛ кристаллов NaF:Sc и *NaF:Sc, облученных реакторными нейтронами (они имели коричневую окраску, флюенс 10^{17} см^{-2} .)

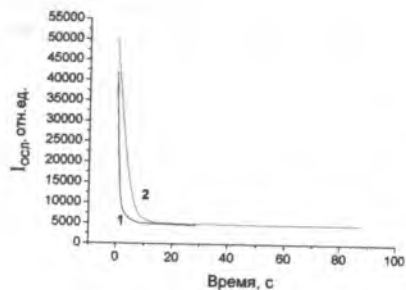


Рис. 15. Кривая ОСЛ образцов NaF (1) и NaF:0,1 мол.% Cu (2)

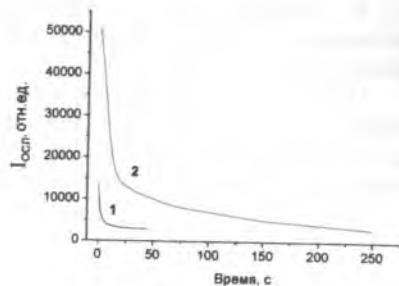


Рис. 16. Кривая ОСЛ образцов NaF:Sc (1) и *NaF:Sc (2)

Представленные на рис. 15 и 16 кривые затухания ОСЛ достаточно хорошо описываются суммой двух экспонент в соответствии с уравнением (5), где A_1 и A_2 – предэкспоненциальные множители, t_1 и t_2 – постоянные времени затухания. Светосумма определялась как результат сложения экспериментально найденной интенсивности люминесценции (I_i) за времени затухания ОСЛ с учетом постоянной составляющей I_0 , найденной из (5):

$$S \approx \sum I_i - I_0 \quad (6)$$

Результаты разложения экспериментальных кривых ОСЛ на элементарные составляющие приведены в таблице.

Таблица.

Характеристики экспериментальных кривых ОСЛ кристаллов NaF, NaF:0,1 мол.% Cu и NaF:Sc, облученных тестовой дозой рентгеновского излучения

	I_0	A_1	t_1	A_2	t_2
NaF	4099	31188	0,44	6628	3,24
NaF:0,1 мол.% Cu	3061	40193	1,07	7768	10,14
NaF:Sc	6667	37542	6,03	10415	47,69
*NaF:Sc	2895	6942	1,16	3292	6,72

*Образец NaF:Sc, облученный в активной зоне ядерного реактора (флюенс 10^{17} см⁻²).

Наибольшей интенсивностью ОСЛ и светосуммой, обладают кристаллы NaF:Sc. Оказалось, что они чувствительны не только к рентгеновскому излучению, но к нейтронам ядерного реактора. Обнаружение эффектов ОСЛ для образца *NaF:Sc, облученного в активной зоне ядерного реактора, указывает на возможность практического применения этих кристаллов для разработки новых оптических детекторных материалов и устройств в области высокодозной реакторной дозиметрии, включая аварийную.

На полезную модель детектора ионизирующих излучений получен патент РФ №131502. Эта модель детектора ионизирующих излучений относится к области устройств персональной дозиметрии, связанных с оптически стимулированными люминесцентными детекторами и сцинтилляционными детекторами рентгеновского и гамма-излучения.

ВЫВОДЫ

1. Для измеренных в рентгеновском диапазоне синхротронного возбуждения время-разрешенных спектров рентгенолюминесценции (РЛ) кристаллов NaCl и NaCl:Eu, а также KCl и KCl:Eu при температурах T=10 и 300K впервые дано объяснение их природы. Выявлена более сложная картина и структура полос свечения, наблюдаемых при СИ – возбуждении в рентгеновском диапазоне спектра, нежели таковая, известная для случая классической рентгенолюминесценции. Природа полос связывается со свечением экситонов, автолокализованных или локализованных на дефектах решетки, частично с европий-связанными экситонами.

2. Исследованы спектрально-кинетические характеристики кристаллов NaCl:Eu²⁺, выращенных в различных условиях (в вакууме и на воздухе) при возбуждении импульсным электронным пучком (E=150 кэВ, τ = 15 нс, ток пучка 1 А). В спектрах импульсной катодолюминесценции (ИКЛ) кристаллов NaCl:Eu²⁺ наблюдается полоса свечения, расположенная в области 400-600 нм (основной максимум при 470-480 нм). Она носит неэлементарный характер и связана с центрами Eu²⁺. Для свечения с максимумом 470-480 нм в кривых затухания ИКЛ образцов, выращенных в вакууме, обнаружена одна экспоненциальная компонента τ = 830 нс, а в кривых затухания ИКЛ образцов, выращенных на воздухе, наблюдаются две компоненты: новая быстрая с длительностью τ₁ = 180 нс и медленная τ₂ = 1,2 мкс.

3. Впервые обнаружена ОСЛ для материалов на основе NaF. Измеренные характеристики ОСЛ детекторных материалов на основе NaF показали, что эти материалы являются перспективными для применения в ОСЛ дозиметрии.

4. Разработана физико-математическая модель, описывающая ОСЛ. Найденным коэффициентам приписан определенный физический смысл. С помощью этой модели, определяя численные значения коэффициентов, были сделаны выводы о процессах, протекающих в различных кристаллах.

5. Создан детектор ионизирующих излучений выполненный из выращенных нами монокристаллов NaF с примесями Cu и Sc. Он способен к ОСЛ-высвечиванию запасенной в нем светосуммы, так и к сцинтилляционному отклику на радиационное воздействие. Таким образом созданный детектор может работать как в режиме накопления дозиметрической информации, так и в сцинтилляционном режиме реального времени. На этот детектор получен патент РФ.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ
ДИССЕРТАЦИИ:

1. Бекташов, А.С. Влияние примеси иттербия на термолюминесценцию кристалла NaF:U [Текст] / А.С. Бекташов, Г.С. Денисов // Вестник ИГУ №15 Каракол. 2005.- С. 32-35.
2. Бекташов, А.С. Спектры рентгенолюминесценции кристаллов NaF:Yb [Текст] / Г.С. Денисов, А.С. Бекташов, Е.Н. Варакина и др. // Проблемы спектроскопии и спектрометрии. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2005. Вып. 20. - С.67-70.
3. Bektashov, A.S. Optical Properties of Sodium Fluoride Crystals, Activated by Ytterbium [Text] / M.M. Kidibaev, G.S.Denisov, A.S. Bektashov // 13-th International Conference on Radiation Physics and Chemistry of Inorganic Materials». Tomsk, Russia, 10-15 September, 2006.- P.49-50.
4. Бекташов, А.С. Термолюминесценция кристаллов NaCl:Eu [Текст] / М.М. Кидибаев, Г.С. Денисов, А.С. Бекташов // ФТТ "Материалы 10-й международной конференции" Караганда. 3-5 апреля, 2008.- С.26-30.
5. Бекташов, А.С. Исследование кристаллов KCl, активированных европием [Текст] / М.М. Кидибаев, Г.С. Денисов, А.С. Бекташов // Известия НАН КР. №1, 2008.- С. 41-43.
6. Бекташов, А.С. Импульсная катодолюминесценция хлористого натрия, активированного европием [Текст] / А.С. Бекташов // Иссык-Кульская международная летняя школа по радиационной физике, новым материалам информационным технологиям SCORPh-2008.- С. 50.
7. Бекташов, А.С. Эволюция агрегатных центров свечения кристаллов (Li,Na)F под воздействием пучков He⁺ [Текст] / Т.С.Королева, А.С. Бекташов // Труды международной конференции по распространению упругих и упругопластических волн, посвященной 100-летию со дня рождения академика, Героя социалистического труда Х.А.Рахматулина. Бишкек 2009. - С.162-164.
8. Бекташов, А.С. Радиоэкологический мониторинг прииссыккуля как пример международного сотрудничества в области безопасности биосферы [Текст] / У.К. Мамытбеков, А.С. Бекташов, Т.М. Асаналиева и др. // Сборник тезисов докладов Международного молодежного научного симпозиума «Безопасность биосферы-2009», Екатеринбург УГТУ-УПИ, 2009.- С.126.
9. Bektashov, A.S. Luminescence features of (Li,Na) F crystals under beams of He⁺ ions and high energy electrons [Text] / B.V. Shulgin, A.N. Tcherepanov, F.G. Neshov, D.V. Raikov, T.S. Koroleva, M.M. Kidibaev, A.S. Bektashov // 14th International Conference on Radiation Physics & Chemistry of Inorganic Materials. Tomsk-2009.- P.204-207.
10. Бекташов, А.С. Термостимулированные процессы в облученных большеразмерных и низкоразмерных кристаллах фторида натрия [Текст] / М.М. Кидибаев, А.С. Бекташов // Известия НАН КР. №1, 2010.- С. 59-61.
11. Бекташов, А.С. Синтез и люминесцентные свойства кристалловолокон LGBO:Ce [Текст] / Т.С. Королева, М.М. Кидибаев., А.С. Бекташов и др. // Проблемы спектроскопии и спектрометрии. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2010. Вып. 27.- С.22-28.
12. Бекташов, А.С. Кинетические характеристики импульсной катодолюминесценции кристаллов NaCl:Eu [Текст] / А.С. Бекташов // Проблемы спектроскопии и спектрометрии. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2010. Вып. 27.- С.38-41.
13. Бекташов, А.С. Синтез монокристаллических волокон боратов лития [Текст] / Т.С. Королева, М.М. Кидибаев., А.С. Бекташов и др. // Научный журнал Физика. Бишкек. №1. 2010.- С.71-77.
14. Бекташов, А.С. Использование ионно-лучевых технологий для создания волоконных гетероструктур [Текст] / А.Н. Черепанов, Б.В. Шульгин, А.С. Бекташов и др. // Научный журнал Физика. Бишкек. №1. 2010.- С.104-108.
15. Бекташов, А.С. Импульсная катодолюминесценция кристаллов NaF:U, легированных иттербием [Текст] / А.С. Бекташов // Научный журнал Физика. Бишкек. №1. 2010.- С.220-223.
16. Bektashov, A.S. Influence of type of radiation on effectiveness of color centers creation in NaF single crystals [Text] / A.N.Tcherepanov, V.Yu.Ivanov, A.S. Bektashov, T.S.Koroleva, Yu.Yu.Uporova, M.M.Kidibaev, F. G.Neshov, F.M.Klinov, B.V.Shulgin // Book of Abstracts 11th Europhysical Conference on Defects in Insulating Materials EURODIM2010, Pécs, Hungary. 12-16 July 2010. - A 71.
17. Бекташов, А.С. Исследование внутренней структуры кристаллов фторидов натрия [Текст] / М.М. Кидибаев, Т.С. Королева, А.С. Бекташов // Вестник ИГУ, №27, 2010.- С.43-52.
18. Бекташов, А.С. Импульсная катодолюминесценция хлористого калия, активированного европием [Текст] / А.С. Бекташов // Вестник ИГУ, №27, 2010.- С.109-113.
19. Бекташов, А.С. Спектры импульсной катодолюминесценции наноразмерных и большеразмерных кристаллов NaF [Текст] / А.С. Бекташов // 13-я научная Молодежная школа по твердотельной электронике «Физика и нанотехнология микро- и наносистем». г. Санкт-Петербург, Россия. Тезисы докладов 12-13 ноября 2010.- С.22
20. Бекташов, А.С. Время-разрешенная спектроскопия кристаллов NaCl:Eu [Текст] / В.Ю. Иванов, А.С. Бекташов, М.М. Кидибаев, Г.С. Денисов // Сборник статей Одиннадцатой международной научно-практической конференции "Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и

применение высоких технологий в промышленности". Высокие технологии, образование, промышленность. Т. 1: 27-29 апреля Санкт-Петербург, Россия. 2011.- С.146

21. Бекташов, А.С. Сцинтилляционные свойства кристаллов $\text{SrF}_2:\text{Ce}$ [Текст] / Б.В. Шульгин, М.М. Кидибаев, А.С. Бекташов и др. // Научный журнал Физика. Бишкек. №1. 2011.- С.3-6.
22. Бекташов, А.С. Изучение термооптических свойств легированных кристаллов NaF [Текст] / М.М. Кидибаев, Г.С. Денисов, А.С. Бекташов // Наука и новые технологии №4, 2011.- С.15-20.
23. Bektashov, A.S. The integrated geoinformation system for remote radiation monitoring [Text] / M.M. Kidibaev, A.V.Ishchenko, L.V. Victorov, K.O. Khokhlov, T.S. Koroleva, V.Yu. Ivanov, B.V. Shulgin // 3rd International Congress on Radiation Physics and Chemistry of Condensed Matter. National Research Tomsk Polytechnic University, September, Tomsk. 2012.- P.123-124.
24. Бекташов, А.С. Оптически стимулированная люминесценция детекторных материалов на основе кристаллов фторида натрия [Текст] / А.С. Бекташов, М.М. Кидибаев, Г.С. Денисов и др. // Проблемы спектроскопии и спектрометрии. Екатеринбург: УрФУ, 2012. Вып. 31.- С.56-62.
25. Бекташов, А.С. Спектры люминесценции чистых и активированных кристаллов $\text{NaCl}:\text{Eu}$ и $\text{KCl}:\text{Eu}$ при мягком рентгеновском возбуждении [Текст] / А.С. Бекташов, Б.В. Шульгин, В.Ю. Иванов и др. // Проблемы спектроскопии и спектрометрии. Екатеринбург: УрФУ, 2012. Вып. 31.- С.75-81.
26. Бекташов, А.С. Детектор ионизирующих излучений (Патент РФ) [Текст] / Б.В. Шульгин, А.С. Бекташов, Е.В. Моисейкин и др. // Заявка на полезную модель 2013113024/28, 22.03.2013. Патент РФ № 131502, опубликован 20.08.2013. Бюл.23.
27. Бекташов, А.С. ОСЛ-детектор тепловых нейтронов [Текст] / А.С. Бекташов // Научный журнал Физика. Бишкек. №3. 2013.- С.97-100.
28. Бекташов, А.С. Оптически стимулированная люминесценция активированных кристаллов NaF [Текст] / Г.С. Денисов, А.С. Бекташов, М.М. Кидибаев // Известия НАН КР. №1, 2014.- С. 6-9.

Бекташов Алмаз Сагындыковичтин

«Сейрек жер элементтери менен активдештирилген кээ бир жегич-галонддик кристаллдардын радиациялык-оптикалык эффекттери»

деген темадагы 01.04.07-конденсирленген абалдын физикасы адистиги боюнча физика-математика илимдеринин кандидаты окумуштуулук даражасына көрсөтүлгөн диссертациясынын

РЕЗЮМЕСИ

Ачык сөздөр: Жегич-галонддик кристалл, сейрек жер элементтери, жутуу спектри, термолюминесценция, рентгендилюминесценция, импульстук катоддуклюминесценция, оптикалык стимулдаштырылган люминесценция (ОСЛ).

Изилденүүчү объекттер: Сейрек жер элементтери менен активдештирилген $(\text{Na}, \text{K})\text{Cl}$ жана $(\text{Na}, \text{Li})\text{F}$ жегич-галонддик кристаллдары.

Иштин максаты: Электрондук дүүлүгүүлөрдү жана диссипативдик процесстерди, ошондой эле радиациялык-стимулдаштырылган жана радиациядан кийинки термалык жана оптикалык стимулдаштырылган процесстерди, өстүрүү жана дүүлүктүрүү шарттарына карата кээ бир таза жана активдештирилген $(\text{Na}, \text{K})\text{Cl}$ и $(\text{Na}, \text{Li})\text{F}$ түрүндөгү жегич-галонддик кристаллдарды эксперименталдык түрдө изилдөө.

Изилдөө ыкмалары: Оптикалык жутуу спектри, рентген нурлары, термолюминесценция, ВУФ-спектроскопиясы, рентгендилюминесценция, импульстук катоддуклюминесценция, оптикалык стимулдаштырылган люминесценция.

Илимий жаңылык: Биринчилерден болуп негизин кошулма кошулган жана кошулмасы жок кристаллдар түзгөн жекече жана аралашмалуу NaF, LiF кристаллдарынын оптикалык стимулдаштырылган люминесценциясы табылды жана изилденди, ошондой эле NaCl, KCl кристаллдары үчүн ОСЛнын ийрилери өлчөндү жана алардын негизги параметрлери: интенсивдүүлүгү, жарык суммасы жана ар кандай компоненттер үчүн ОСЛнын өчүү убактылары аныкталды. Изилдөөлөр персоналдык дозиметрияга мүнөздүү диалязондогу дозадагы рентген нурларынын таасирине кабылган кристаллдар үчүн жүргүзүлдү. Биринчилерден болуп нейтрондор менен нурдандырылган $\text{NaF}:\text{Sc}$ кристаллдарынын ОСЛсы табылды жана изилденди, о.э. аларды ядролук реакторлордун каналдарындагы (флюенс 10^{17}см^{-2} чейин) жогорку дозадагы нейтрондордун дозасын өлчөөдө жана авариялык доза өлчөөдө колдонууга жарамдуу болоору көрсөтүлдү.

Колдонуу аймагы: Өткөрүлгөн фундаменталдык-прикладдык изилдөөлөрдүн жыйынтыктары активдештирилген иондук кристаллдарда жетишпегендиктерди пайда кылуу механизмдерин терең түшүнүүгө, ошондой эле жаңы детектордук материалдарды жана түзүлүштөрдү иштеп чыгууга колдонууга болот.

РЕЗЮМЕ

диссертации Бекташов Алмаз Сагындыкович на тему:
«Радиационно-оптические эффекты в ряде щелочно-галогидных кристаллов, активированных редкоземельными элементами»

на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07-физика конденсированного состояния

Ключевые слова: Щелочно-галогидный кристалл, редкоземельные элементы, спектр поглощения, термолуминесценция, ренгенолуминесценция, импульсная катодолуминесценция, оптически стимулированная люминесценция (ОСЛ).

Объекты исследования: Щелочно-галогидные кристаллы (Na,K)Cl и (Na, Li)F, активированные редкоземельными элементами.

Цель работы: Экспериментальные исследования электронных возбуждений и диссипативных процессов, включая радиационно-стимулированные и пострadiационные термически и оптически стимулированные процессы в ряде чистых и активированных щелочно-галогидных кристаллах типа (Na,K)Cl и (Na,Li)F в зависимости от условий выращивания кристаллов и условий возбуждения.

Методы исследования: Спектр оптического поглощения, рентгеновские лучи, термолуминесценция, ВУФ-спектроскопия, ренгенолуминесценция, импульсная катодолуминесценция, оптически стимулированная люминесценция.

Научная новизна: Впервые обнаружена и исследована оптически стимулированная люминесценция кристаллов на основе активированных и неактивированных индивидуальных и смешанных кристаллов NaF, LiF, а также кристаллов NaCl и KCl, для которых измерены кривые ОСЛ и определены её основные параметры: интенсивность, светосумма и времена затухания ОСЛ для различных компонент. Исследования проведены для кристаллов, подвергнутых воздействию рентгеновского излучения для диапазона доз, характерного для персональной дозиметрии. Впервые обнаружена и исследована ОСЛ кристаллов NaF:Sc, облученных нейтронами, и показана их пригодность для высокодозной дозиметрии нейтронов в каналах ядерных реакторов (fluence до 10^{17} см^{-2}) и для аварийной дозиметрии.

Область применения: Результаты проведенных фундаментально-прикладных исследований могут быть использованы для более глубокого понимания механизмов создания дефектов в активированных ионных кристаллах, а также для разработки новых детекторных материалов и устройств.

THE SUMMARY

Bektashov Almaz Sagyndykovich
«Radiation-optical effects in some alkali halide crystals activated by rare earth elements»

for competition of a scientific degree of candidate of physical-mathematical sciences (Specialty: 01.04.07-physics of condensed state)

Key words: Alkali-halide crystals, rare earth elements, the absorption spectrum, thermoluminescence, rengenoluminesentsiya, pulsed cathodoluminescence, optically stimulated luminescence (OSL).

Objects of research: Alkali-halide crystals (Na,K)Cl and (Na,Li)F, activated by rare-earth elements.

The research objective: Experimental studies of the electronic excitations and dissipative processes, including radiation-induced and postradiation thermally and optically stimulated processes in some of pure and activated alkali halide crystals of (Na,K)Cl and (Na,Li)F, depending on growing conditions crystals and excitation conditions.

Research methods: Optical absorption spectrum, X-rays, thermoluminescence, VUV spectroscopy, rengenoluminesentsiya, pulsed cathodoluminescence, optically stimulated luminescence.

Scientific innovation: First discovered and investigated optically stimulated luminescence - based crystals activated with individual and mixed crystals of NaF, LiF, and NaCl crystals and KCl, which measured OSL curves and defined its basic parameters : intensity, the light sum and OSL decay times for different components . Investigations were carried out for crystals exposed to X radiation dose range typical for personal dosimetry. First discovered and investigated OSL crystals NaF:Sc, irradiated with neutrons, and shows their suitability for high-neutron dosimetry in nuclear reactors channels (fluence up to 10^{17} cm^{-2}) and for emergency dosimetry.

The field of application: The results of fundamental and applied research can be used for a deeper understanding of the mechanisms of defect formation in activated ionic crystals, as well as to develop new detector materials and devices.

Подписано к печати 12.11.2014 г.
Бумага офсет. Формат 60×84^{1/16}
Объем 1,75 п.л. Тираж 100экз.

Отпечатано в типографии “Университет” КНУ им. Ж.Баласагына
г. Бишкек, просп. Манаса, 101
тел.: +996 (312) 32 31 75; 32 31 91