

Ошский государственный университет  
Институт природных ресурсов южного отделения  
Национальной академии наук Кыргызской Республики  
Жалал-Абадский государственный университет

Диссертационный совет К 01.19.599

На правах рукописи  
УДК 535.548.

**Орозбаева Айнагул Асланбековна**

**Исследование ионно-диффузионной кинетики распада радиационных  
наноструктурных дефектов в ЩГК**

01.04.07– физика конденсированного состояния

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени кандидата  
физико-математических наук

Ош – 2021

Работа выполнена на кафедре экспериментальной и теоретической физики  
Ошского государственного университета

**Научный руководитель:** **Арапов Байыш**, Академик Российской академии естественных наук, Заслуженный деятель науки КР, доктор физико-математических наук, профессор

**Официальные оппоненты** **Юлдашев Носиржон Хайдарович**, академик МОАН и Турон, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физики Ферганского политехнического института (Озбекистан, г. Фергана)

**Кадыров Кудайберди Сайдиевич**, кандидат физико-математических наук, ученый секретарь НАН КР ЮО (Кыргызстан, г. Ош)

**Ведущая организация:** Андижанской государственной университет, кафедра физика, Адрес: 170100, Республика Узбекистан, г. Андижан, ул. Университетская, д. 129

Защита диссертации состоится 17-декабря 2021 г. в 10.00 часов на заседании Диссертационного совета К 01.19.599 по защите диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук при Ошском государственном университете, Жалал-Абадском государственном университете и Институте природных ресурсов Южного отделения НАН Кыргызской Республики по адресу: 723500, г.Ош, Ленина 331, ауд. 203

Идентификационный код онлайн трансляции защиты диссертации:  
<https://vc.vak.kg/b/k01-wvo-b11-2lm>

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной библиотеке Ошского государственного университета и на сайте диссертационного совета: oshsu.kg

Автореферат разослан “15” ноября 2021 г.

Ученый секретарь диссертационного Совета,  
к.ф.-м.н., доцент:



Бекешов Т.О.

## *Общая характеристика работы*

**Актуальность темы:** Изучение твердых тел основано, во-первых, на повреждениях, вызванных излучением в ионных кристаллах, так же, как распадаются дефекты в ядерных реакторах, и, во-вторых, на памяти компьютера, основанной на множественных центрах окраски в ионных кристаллах. Изучение ионных кристаллов актуален, потому что они хранят в десятки раз больше информации, используются как память компьютера и широко используются в дозиметрических приборах.

Большинство свойств твердых тел определяются взаимными процессами взаимопревращения и преобразования радиационных дефектов в этих веществах. Образования распады радиационных дефектов в щелочно-галогидных кристаллах широко изучены многими учеными ( Ч.Б. Лушик, В.Б. Антонов-Романовский, В.М. Лысицин, Ф.Н. Заитов, Ю.Л. Луканцев, А. Алыбаков, М.М. Кидибаев, Б. Арапов, М.М. Тайиров, К. Осмоналиев, Ы. Ташполотов, М.Ч. Осконбаев и др.). Взаимопревращение однородных дефектов в дефекты другого рода в процессе распада радиационных дефектов, т.е. промежуточные, короткоживущие наноструктурные дефекты создаются, и они определяют особенности физических процессов в твердых телах. Поэтому, определение образования короткоживущих промежуточных наноструктурных дефектов и их роли является одним из актуальных вопросов кристаллофизики и одним из основных задачи в моих исследованиях.

Наряду с быстрой обработкой информации с помощью квантового компьютера, его безопасности или надежности является особенностью квантового компьютера. Поэтому использование центров окраски в квантовых компьютерах в качестве памяти важно и актуально для изучения твердых тел и определения состава и структуры центров окраски, механизмов, связанных с пространствами, кинетики, трансформации центров окраски.

**Связь темы диссертации с крупными научными программами (проектами) и основными научно-исследовательскими работами.** Работа по теме диссертации выполнялись в соответствии с планами научно-исследовательских работ Ошского государственного университета и по теме научно-исследовательского проекта № ОФГН 031 2015-2020, финансируемым ГАНИСом при правительстве и департаментом науки и инновационной технологии Министерства образования и науки КР.

**Цель и задачи исследования:** Целью диссертации является определение состава и структуры наноструктурных дефектов, а также изучение процессов

образования, взаимопревращения, ионно-диффузионной кинетики радиационных наноструктурных дефектов в ЩГК.

*Задачи исследования.*

- Изучить структуры группы преобразований центров окраски и центров свечения.

- С использованием теории матриц и групп применяя к квазичастицам описаны структуры электронных центров окраски и их возможных преобразований и взаимопревращения центров друг в друга.

- С помощью методами ЭПР и теоретическим путем определить структуры промежуточных дефектов.

- Получение кинетического уравнение и его решение для промежуточных и подвижных диффузионных дефектов в ионных кристаллах.

- Определить структура и свойства радиационных наноструктурных дефектов в щелочно-галогидных кристаллах, и их изменения в процессе преобразований и взаимопревращения.

#### **Научная новизна полученных результатов:**

- В пределах ближайших друг к другу анионных вакансий предсказывается существование некоторых типов электронных центров.

- Изучение структуры группы преобразований центров окраски и центров свечения может позволить в дальнейшем установить пока неизвестные особенности и закономерности взаимопревращения электронных центров в ионных кристаллах.

- С помощью теории матриц и групп применяемых к квазичастицам могут быть описаны структуры электронных центров окраски и их возможных преобразований и взаимопревращения центров друг в друга обусловлены подходом к центру или отходом от него ионно-электронных квазичастиц.

- Неочищенных от  $Br_a^-$  кристаллах KCl-Ag (0,50моль %) в ходе термической релаксации в интервале температур 290-350 К с радиационными  $Ag_c^{++}(Br)$ ,  $V_2(Br)$  и  $V_{2A}(Br)$  –центрами взаимодействуют подвижные вакансии  $V_c^-$ , отщепленные от  $Ag_a^- \dots V_c^-$ , превращая их в нестабильные промежуточные дефекты. От них затем отщепляются подвижные дырочные  $V_F(Br)$  –центры, которые приводят к распаду электронных  $F, F_A, Ag_c^0, Ag_a^-$  - центров.

- Кинетика термического распада радиационных дефектов определяется соотношениями между начальными концентрациями радиационных центров и подвижных диффузионных дефектов в ионных кристаллах. На основе такого

предположения получено кинетическое уравнение и его решение для изотермического случая.

### **Практическая значимость полученных результатов:**

-Может использоваться как используемое материала для создания памяти электронных вычислительных машин. Определение квазичастиц, влияющих на термическое распада центров окраски в наноструктурах, может быть использовано для управления физическими свойствами твердых тел.

Данное диссертационное работа носит фундаментальный характер.

- Изучены состав и структуры примесных и собственных наноструктурных дефектов в ионных кристаллов. Результаты отражены в авторском свидетельстве (Кыргызпатент, №3645, 24.06.2019; №3618, 15.05.2019).

### **Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Теоретическо обосновано термического распада наноструктурных дефектов в ЩГК с учетом структурной и чувствительной характеристики кристаллов.

2. Результаты исследования центров окраски и структуры преобразования, позволившие разработать законы взаимодействия электронного центра окраски в ЩГК.

3. Кинетики тушения свечения центров в ЩГК можно провести, исходя из различных соотношений между начальными концентрациями фотовозбужденных центров и подвижных дефектов тушителей. На основе этой гипотезы определено кинетическое уравнение и его решение для изотермического случая.

4. Кинетика термического распада радиационных дефектов определяется соотношениями между начальными концентрациями радиационных центров и подвижных диффузионных дефектов в ионных кристаллах. На основе такого предположения получено кинетическое уравнение и его решение для изотермического случая.

5.Полученные экспериментальные результаты и теоретические расуждение позволяет определить структуры и управлять процессы закономерностей нано- и микроструктурных дефектов в щелочно-галоидных кристаллах, которые имеет важное прикладные применения

**Личный вклад соискателя.** Определение объекта, метода исследования в диссертации и постановка целей исследования принадлежит научному руководителю д.ф.-м.н., профессор Б. Арапову. В соавторских (Т.Б. Арапов, Б. Каденова, Аманбай к. А., Г. Кайназарова, С. Какиев, А. Садыкбекова и др.) научных статьях, остальные несут ответственность за подготовку и публикацию материалов, а основные результаты принадлежат А.А. Орозбаеву.

**Апробации результатов диссертации.** Результаты исследований были заслушаны, обсуждены и одобрены на следующих Международных и Республиканских научных конференциях:

- ОшМУнун иондук кристаллдардын физикасы илимий лабораториясындагы кафедралар аралык ар жылы өтүп туруучу илимий семинарларында (2016-2021- жылдар, Ош шаары);
- XI Иссык-Кульская международная школа-конференция по радиационной физике твердого тела SCORPh-2015, ( Иссык-Куль-2015).
- 12-я Республиканская научно- практическая конференция «Актуальная проблемы образовательного процесса в школе и вузе», посвященная 70-летию профессора Э. Мамбетакунова (Бишкек-2015);
- Международная конференция «информационные технологии и математическое моделирование в науке, технике и образовании» Посвященной 75-летию академика А. Жайнакова и 20-летию кафедры «Информационные технологии и математическое моделирование имени академика А. Жайнакова» (Бишкек, 2016)
- ОшМУнун магистратура жана PhD докторантура бөлүмү тарабынан уюштурулган “Магистратуранын келечеги жана учурдагы маселелер” аттуу илимий-практикалык конференция (Ош, 2017-ж.)
- Международная научная конференция посвященной 60-летию профессора Р.У. Алиева, Андижанский государственной университет, Республика Узбекистан. (Андижан, 2018-ж.).
- Ош Технологиялык университетинде М.А. Асановдун жаркын элесине жана “Физика” кафедрасынын 25 жылдык юбилейине арналып уюштурулган “Билим берүү жана илимдеги физика-техникалык проблемалар” аттуу республикалык илимий-практикалык конференция (Ош, 2018-ж.)
- IV (2018 г.) и V (2020 г.) Международные конференции по “Оптическим и фотоэлектрическим явлениям в полупроводниковых микро- и наноструктурах”, Ферганский политехнический институт, Республика Узбекистан. (Фергана).
- I Международный научный конгресс «Кыргызско-турецких и тюркоязычных стран по естественным и медицинским наукам» (21-24 апрель 2019г. г. Ош).
- Международной научно-практической конференции посвященной 70-летию профессор Ж. Арзиев, “Наука и инновационные технологии – основа развития Кыргызской Республики” (11-12 октября 2019 г., г. Ош).

**Полнота отражения результатов диссертации в публикациях:** Основные научные результаты диссертации отражены в 18 статьях и 2 авторских свидетельствах. Основа диссертации опубликована в 16 научных журналах, зарегистрированных ВАК КР, и 2 статьи в журнале «Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований» (импакт-фактор РИНЦ (2016) - 0,764, (2020) – 0,564, Москва, Россия ). Общие набранные баллы составляет более 220 баллов.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из трех глав, заключения и списка литературы. Общий объем диссертации 151 страниц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

Во введении представлены актуальность диссертационного исследования, его цель, научная новизна работы, практическая значимость полученных результатов и основные положения, которые приводят к защите работы.

Первая глава диссертации “РАДИАЦИОННЫЕ ДЕФЕКТЫ В ЩЕЛОЧНО-ГАЛОИДНЫХ КРИСТАЛЛАХ” состоит из двух параграфов, причем первый параграф состоит из 2-х частей, а второй-из 1-х частей.

В основном, первая глава посвящена собственным и примесным дефектам в щелочно-галоидных кристаллах, их видам и процессам в них на основе литературных исследований.

Вторая глава «ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ» состоит из двух параграфов: «Объект исследования» и «Методы исследования», каждый из которых состоит из отдельного параграфа. В этой главе представлены в целом объекты исследования, полученные оптическими и люминесцентными методами.

Рассмотрены спектры поглощения и излучения центров окраски ионных кристаллов, метод определения процесса термического распада центров окраски в щелочно-галоидных кристаллах, и подробно описаны метод исследования нано- и микродефектов, методы исследования термообесвечивание центров окраски.

Основные научные результаты диссертации представлены в третьей главе «ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ РАСПАДА РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В ЩЕЛОЧНО-ГАЛОИДНЫХ КРИСТАЛЛАХ». Третья глава состоит из 7 параграфов, первые 4 параграфа рассматриваются термические распады центров окраски и люминесценции, влияние пластической деформации кристалла и т.д., а последние 3 параграфы показывают и объясняют основные результаты.

В щелочно-галогидных кристаллах (ЩГК), легированных ионами  $\text{Ag}^+$ , при облучении рентгеновскими лучами образуется ряд электронных и дырочных центров окраски. В Ошском государственном университете под руководством профессор Б. Араповым, применяя различные методы исследования, детально изучены структуры и механизмы образования этих радиационно-наведенных дефектов.

Используя люминесцентные, оптические и электрические методы нами были изучены механизмы термического распада дырочных ( $\text{Ag}_c^{++}, V_2, V_{2A}$ ) и электронных ( $F, F_A, \text{Ag}_c^0, \text{Ag}_a^-$ ) центров и возникновения рекомбинационной люминесценции в облученных рентгеновскими лучами кристаллах  $\text{KCl-Ag}$ . Термический распад дырочных и электронных центров окраски в этих кристаллах происходит в трех интервалы температур (для  $\text{KCl-Ag}$ : I-300-350K, II-350÷410K, III-410÷550K).

Установлено, что в результате взаимодействия  $V_c$  с дырочными  $\text{Ag}_c^{++}, V_2$  - центрами в начале образуются промежуточные дефекты. Затем из этих промежуточных дефектов отщепляются подвижные  $V_F$  и Н –центры, окраски. Образующимся промежуточные продукты взаимодействия неустойчивы и входе термической релаксации быстро распадаются. Поэтому до сих пор не выяснен детальный механизм взаимодействия подвижных  $V_c^-$  с этим дырочными дефектами и не определены структуры промежуточных дефектов.

Для решения этой задачи методом ЭПР нами изучены структуры первичных парамагнитных радиационных дефектов и промежуточных в кристаллах  $\text{KCl-Ag}$ , а также рассчитаны возможные теоретические значения проекции магнитных моментов в различных сочетания ядер  $\text{Ag}^{109}$ ,  $\text{K}^{39}$ ,  $\text{Cl}^{35}$  и  $\text{Br}^{91}$ , содержащихся в кристалле  $\text{KCl-Ag}$ .

На рис.1 приведены спектры ЭПР первичных дефектов и их продукты взаимодействия  $V_c^-$  в кристалле  $\text{KCl-Ag}$ . В облученных рентгеновским лучами при 290 К и прогретых в первом интервале температур до 350 К и затем быстро, охлажденных до 125 К кристаллах обнаружен спектр ЭПР, состоящий из 28 эквидистантных линий с  $H=9,5\text{Гс}$  при измерении по направлению  $H \parallel \langle 110 \rangle$  оси кристалла (см., рис. 1). Предварительно не прогретых, но охлажденных до 120 К рентгенизированных кристаллах  $\text{KCl-Ag}$  наблюдаются два вида спектров. В спектре ЭПР измеренном при  $H \parallel \langle 100 \rangle$  проявляется шесть линий, объединенных в две группы по три линии и восемь дублетов.



Результаты расчета расщепления спектральных линий ЭПР для отдельных ионов  $Ag_c^+$ ,  $(ClBr)_{aa}^-$  и их совокупности приведены на рис.2. Спектры ЭПР для совокупности указанных дефектов состоят из 28 эквидистантных линий (а).

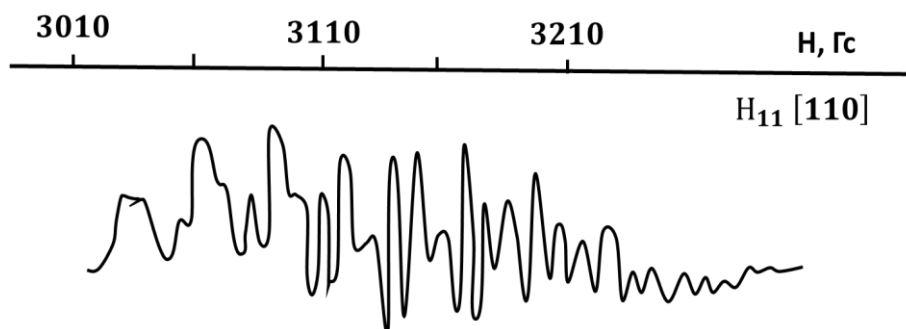


Рисунок 1 – Спектры ЭПР кристалла KCl-Ag (0,5 моль %); Кристалл после рентгенизации нагреть до 350 К, затем быстро охлажден до 125 К и измерен по направлению  $\langle 110 \rangle$

Расщепления линий спектров ЭПР при  $H \parallel \langle 110 \rangle$  на семь линий в каждой группе и постоянной сверхтонкой структуры (СТР) равной 38 Гс, обусловлено системой ядер  $(ClBr)_{aa}^-$  (а). Расщепления линий спектров ЭПР при  $H \parallel \langle 110 \rangle$  на семь линий в каждой групп расщепляются на две линии с постоянной СТС 9,5 Гс ядром  $Ag_c^+$  (г) и на четыре линии с постоянной СТС также равной 9,5 Гс – ядром  $Ag_c^+$  (г) и на четыре линии с постоянной СТС также равной 9,5 Гс – ядром  $K_c^+$  (б). Кроме того расщепленные 14 линии для дефекта  $[Ag_c^+(BrCl)_{aa}^- V_c^-]$  совпадают с 14 линиями для  $[K_c^+(BrCl)_{aa}^- V_c^-]$  (сравните, б и г рис.2).

Поэтому в эксперименте появляются только 28 линий (см.рис.1).

В ходе нагрева кристалла, если  $V_c^-$  подходит к дефекту типа  $[Br_a^- Ag_c^{++} Cl_a^- K_c^+]$  с «калиевыми» концами (а), к пустому узлу переходят ионы  $K_c^+$  и образуются парамагнитные промежуточные дефекты типа  $[Br_a^- Ag_c^{++} Cl_a^- V_c^+]$ . Так как электронные средство  $Br_a^-$  меньше чем  $Cl_a^-$ , поэтому в ходе термической релаксации электроны от иона  $Br_a^-$  перехватывается ионом  $Ag_c^{++}$ .

При этом образуется промежуточный дефект типа  $[Ag_c^+(BrCl)_{aa}^- V_c^-]$  (в). Эти дефекты термически не стабильны и быстро распадаются, образуя подвижные  $V_F(Br)$  -центры.

Реакцию этих процессов можно записать в следующем виде:

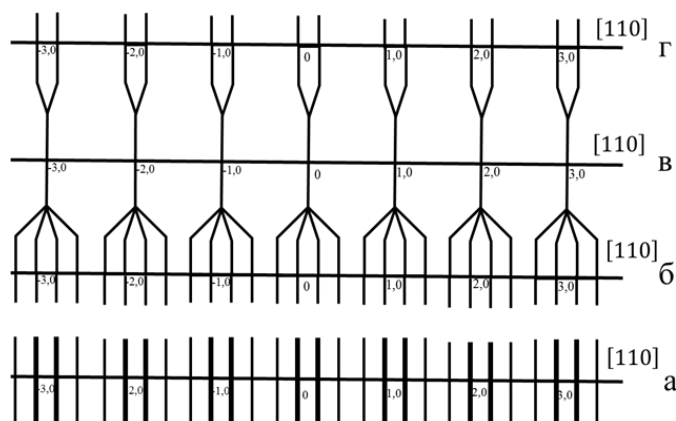
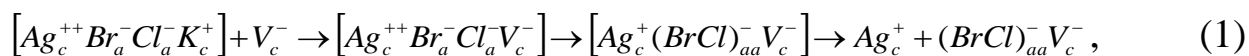


Рисунок 2 – Спектры ЭПР теоретически рассчитанные для дефектов следующего типа: а)  $Ag_c^+ + (BrCl)_{aa}^-V_c^-$  и  $K_c^+ + (BrCl)_{aa}^-V_c^-$ , б)  $K_c^+(BrCl)_{aa}^-$ , в)  $(BrCl)_{aa}^-$ ; г)  $Ag_c^+(BrCl)_{aa}^-$ ;

Если вакансия подходит к дефекту типа  $[Br_a^-K_c^+Cl_a^-Ag_c^+]$  с «калиевыми» и «серебряными» концами, тогда образуются дефекты типа  $[K_c^+Br_a^-Cl_a^-V_c^-]$  за тем  $[Ag_c^+Br_a^-Cl_a^-V_c^-]$ . Эти промежуточные дефекты также термически не стабильны. В ходе нагрева кристалла они распадаются, также образуя подвижные дефекты типа  $V_c^-(ClBr)_{aa}^-$ . В целом по кристаллу вероятность протекания этих двух процессов одинакова. Поэтому в ходе нагрева кристалла одновременно появляются оба эти промежуточные дефекты:  $[Ag_c^+(BrCl)_{aa}^-V_c^-]$  и  $[K_c^+(BrCl)_{aa}^-V_c^-]$ .

Теоретические расчеты спектров ЭПР показывает, что такие спектры дают центры типа  $[V_c^+Cl_a^-Ag_c^{++}Br_a^-Ag_c^+]$ , которые содержат в своем составе одновременно два иона серебра. Этот комплекс является аналогом  $Ag_c^0$ -центрах в кристаллах KCl-Ag не очищенного от ионов  $Br_a^-$ . Действительно, для таких дефектов спектр ЭПР состоит из шести линий объединенных в две группы. Интервал между двумя группами линий ( $0,52\mu$ ) в двое превышает интервал между линиями ЭПР в каждой группе ( $0,26\mu$ ).

Из полученных результатов следует, что неочищенных от  $Br_a^-$  кристаллах KCl-Ag ( $0,50\text{моль } \%$ ) в ходе термической релаксации в интервале температур  $290-350\text{ K}$  с радиационными  $Ag_c^{++}(Br)$ ,  $V_2(Br)$  и  $V_{2A}(Br)$ -центрами взаимодействуют подвижные вакансии  $V_c^-$ , отщепленные от  $Ag_a^- \dots V_c^-$ , превращая их в нестабильные

промежуточные дефекты. От них затем отщепляются подвижные дырочные  $V_F(Br)$  –центры, которые приводят к распаду электронных  $F, F_A, Ag_c^0, Ag_a^-$  - центров.

На рис. 3 приведены кривые ТО  $F$  ,  $V_2$  - центров (кр. 1-2), ТСЛ (кр. 3) и относительной концентрации  $V_c^-$  (кр. 4) и относительных концентрации нейтральных комплексов (кр. 5) в кристаллах NaCl ХЧ. Указанные процессы протекают в трех температурных стадиях: В NaCl ХЧ I- 550- 590 К, II-390- 460 К, III -460- 550 К.

В кристаллах NaCl ХЧ вначале до 330 К происходит рост концентрации  $V_c^-$  , затем в интервале температур 330-390 К уменьшение  $V_c^-$  , а во втором интервале рост и уменьшение концентрации  $V_c^-$  . В третьем происходит рост концентрации  $V_c^-$  . В этих же интервалах температур в NaCl ХЧ происходит термический распад  $F$  и  $V_2$ - центров и возникает ТСЛ кристалла, спектральный состав которого совпадает со спектром ТСЛ в температурной области прыжковой диффузии  $V_F$ -центров (3.0 эВ) (см. кр. 6. рис. 3). Этот результат показывает, что в кристаллах NaCl ХЧ имеются неконтролируемые одно и двухвалентные примеси типа Ag и Ca.

Аналогичные исследования были выполнены для кристаллов KCl.

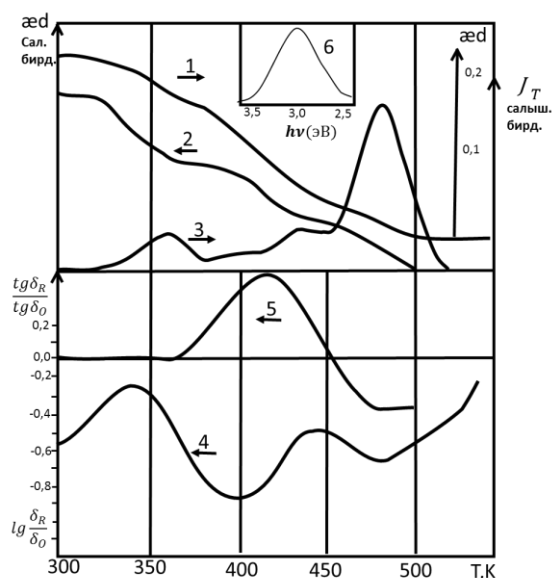


Рисунок 3 – Неизотермические релаксационные процессы в NaCl ХЧ:  $V_2$  (1),  $F$ (2), ТСЛ кристалла (3), температурная зависимость относительной ИП (4), относительных ДП, измеренных на частоте 1.0 кГц и спектр ТСЛ в максимуме  $J_T$

Определение состава наноструктурных центров окраски и центров свечения в кристаллах представляют важную задачу в теоретическом и практическом отношении.

Из наноструктурных электронных центров окраски в беспримесных щелочно-галогидных кристаллах (ЩГК) в достаточной степени достоверно определены электронный состав, установлен только у более простых F<sup>-</sup>, M<sup>-</sup>, R- центров.

Прямое экспериментальное определение состава более сложных наноструктурных центров окраски (ЦО) и центров свечения (ЦС) является весьма трудной задачей.

Поэтому при изучении структуры и состава центров окраски начали применять различные косвенные методы. Рассмотрена идея метода квазичастиц, согласно которого электронные центры окраски могут рассматриваться как электронно-ионные квазичастицы.

В данной работе предпринята, попытка применить групповой подход к исследованию состава сложных наноструктурных электронно-ионных квазичастиц в кристаллах NaCl. В качестве характеристики центров окраски и центров свечения выбрано спектральное положение максимума полосы оптического поглощения соответствующих центров  $E_m^{\infty}$ . Такой выбор основывается тем, что энергия изучаемых систем непосредственно связана с их нано- и микроструктурой и симметрией, причем состоянием с меньшей энергией имеющей более простую структуру и симметрию.

В табл. 1 приведены значения  $E_m^{\infty}$  для некоторых центров окраски и свечения в NaCl, возбужденных рентгеновскими лучами. Здесь приведены также некоторые значения  $\Delta E_m^{\infty}$ , указывающие изменения  $\Delta E_m^{\infty}$  при переходе от одного типа центров к другим.

Во многих явлениях люминесценции точечные дефекты и центры окраски перемещаются и меняют свое положение вдоль кристаллической решетки. Однако вопрос перехода дефектов от одного центра к другому остается открытым. Изучено взаимодействие центров окраски и примесных дефектов в кристалле NaCl-Ag в отдельных мультиплетах.

В табл. 2. приведены значения  $E_m^{\infty}$  для некоторых центров окраски и свечения в NaCl-Ag, возбужденным рентгеновскими лучами. Здесь приведены также некоторые значения  $E_m^{\infty}$  соответствующие изменениям  $\Delta E_m^{\infty}$ , при переходе от одного типа к другим.

Таблица 1. – Значения  $E_m^x$  для некоторых центров окраски и свечения в NaCl, возбужденных рентгеновскими лучами

Таблица 2. – Значения  $E_m^x$  для некоторых центров окраски и свечения в NaCl, возбужденных рентгеновскими лучами

13

Однако кинетика и характер процессов, приводящих к многостадийному распаду этих дефектов, теоретически обоснованы недостаточно.

Для моделирования многостадийного характера термического отжига дефектов в твердых телах необходимо сперва остановить процесс отжига на определенной стадии процесса, за тем надо приводить к отжигу дефектов в следующей стадии процесса.

При использовании диффузионной теории рекомбинации, получены дифференциальные уравнения для отжига радиационных дефектов для коррелированной пары частиц.

Однако некоррелированные между собой радиационно-наведенные центры и подвижные дефекты на основе выше указанной теории не рассмотрены.

При этом было использовано дифференциальное уравнение для описания рекомбинации генетически не связанных между собой пар в следующем виде (центры окраски  $N$  и подвижные дефекты  $n$ ). Для некоррелированных между собой рекомбинационных частиц каждый тип частиц характеризуется своей концентрацией  $N(t)$  и  $n(t)$ .

Концентрации некоррелированных частиц можно теперь изменять различно, увеличивая одни и уменьшая другие. Тогда закономерности их рекомбинаций будут определяться от рекомбинации некоррелированных между собой частиц  $N$  и  $n$ .

Исходя из представлений диффузионной теории рекомбинации для генетически несвязанных между собой центров и дефектов-разрушителей, многостадийные кривые термического отжига (ТО), происходящие по реакции первого порядка, получить не удалось.

Для решение этого вопроса в этом случае были использованы представления диффузионной теории рекомбинации, когда корреляция подвижных дефектов с концентрацией центров окраски данного типа происходит частичной взаимодействует так же, как генетически связанные, коррелированные пары.

Если  $N$ - концентрация всех распадающихся дефектов данного типа, а  $(N - \Delta N_0)$  – концентрации центров коррелированных с дефектами-разрушителями, то после рекомбинации концентрация оставшихся центров –  $\Delta N_0$ .

Если исчерпается концентрация центров  $N_0$  на концентрации  $\frac{\Delta N_{01}}{N_0}$ , то после первой стадии термического отжига процесс должен остановиться после первой стадии.

На основе диффузионной теории рекомбинации нами предложен уравнение для скорости рекомбинации коррелированных пар  $\frac{dN}{dt}$  под действием частично коррелированных дефектов-разрушителей.

$$-\frac{dN(t)}{dt} = 4\pi r_1 D_1 (N - \Delta N_{01}), \quad (2)$$

Для изотермических условий с учетом  $\beta = \frac{dT}{dt}$  и  $D = D_0 e^{-\frac{\varepsilon}{kT}}$ , тогда это уравнение будет иметь вид:

$$-\frac{dN(T)}{dT} = \frac{4\pi r_0}{\beta} D_{01} e^{-\frac{\varepsilon}{kT}} (N - \Delta N_{01}), \quad (3)$$

Решение этого дифференциального уравнения будет в следующем виде:

$$\frac{N}{N_0} = \left[ \left( 1 - \frac{\Delta N_{01}}{N_0} \right) \exp \left( -\frac{4\pi r_{01}}{\beta} D_{01} \int_{T_0}^T e^{-\frac{\varepsilon}{kT}} dT \right) \right]^{-1} + \left( \frac{\Delta N_{01}}{N_0} \right), \quad (4)$$

Тогда процесс, определяющийся этим выражением, приводит к распаду на первой стадии термического отжига и уменьшению относительной концентрации центров до  $\left( \frac{\Delta N_{01}}{N_0} \right)$ , т.к. второй множитель первого слагаемого уменьшается экспоненциально с ростом температуры и стремится к нулю. Кинетика этого процесса приведена на рис.4.

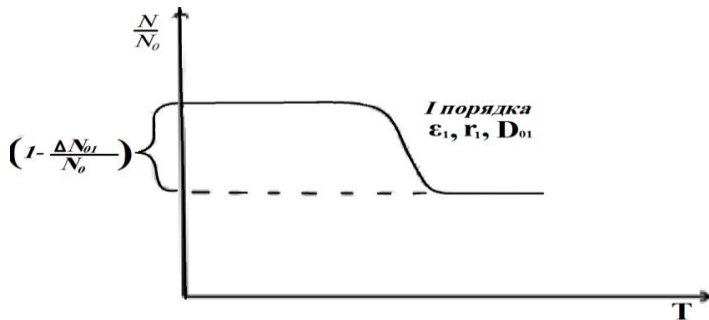


Рисунок 4 – Температурная зависимость относительной концентрации центров окраски в ионных кристаллах

Для дальнейшего распада центров окраски, оставшихся после первой стадии ТО, необходимо дальнейшее действие подвижных дефектов.

Характер дальнейшего распада центров зависит от таких факторов, какие значения имеют величины  $\Delta N_{01}$ , т.е. от концентрации центров, оставшихся после первой стадии термического отжига дефектов.

Рассмотрим отдельные случаи:

1) Если  $\Delta N_{01}$  – коррелированная пара центров и подвижных дефектов, тогда вторая стадия кинетики процесса термического отжига происходит по реакции первого порядка. В этом случае для коррелированных пар центров окраски возможны два случая.

1а) Коррелируемые с центрами окраски подвижные дефекты вызывают отжиг центров окраски на второй стадии ТО того же типа, что и у дефектов разрушителей, вызвавших распад центров окраски на первой стадии. Но дефекты-разрушители, вызывающие распад центров окраски на второй стадии, образуются в ходе релаксации. В этом случае на оставшиеся концентрации центров окраски  $\frac{\Delta N_{01}}{N_0}$  действуют коррелированные дефекты того же типа, но оставшиеся из комплементарных микродефектов. Они доведут эту корреляцию до нуля, и термический отжиг доходит до конца. Тогда имеем двухстадийные кривые ТО, обе стадии которого происходят по реакции первого порядка.

Кинетическое уравнение в этом случае имеет следующий вид:

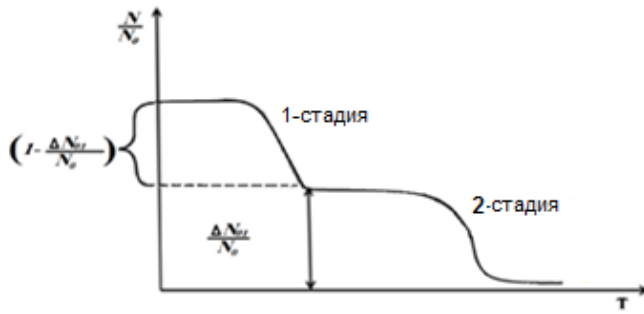
$$\frac{N}{N_0} = \left[ \left( 1 - \frac{\Delta N_{01}}{N_0} \right) \exp \left( - \frac{4\pi r_{01}}{\beta} D_{01} \int_{T_0}^T e^{-\frac{\varepsilon}{kT}} dT \right) + \left( \frac{\Delta N_{01}}{N_0} \right) \right] \times \left[ \exp \left( - \frac{4\pi r_{02}}{\beta} D_{01} \int_{T_0}^T e^{-\frac{\varepsilon_1}{kT}} dT \right) \right], \quad (5)$$

В процессе термической релаксации вторая стадия ТО идет по реакции первого порядка до конца, некоррелированными дефектами того же типа, но образующейся из коррелированных дефектов образующихся в ходе релаксации (см., рис.5. 1а-случай).

1б) Коррелируемые с центрами данного типа подвижные дефекты другого типа, чем те, которые вызвали распад центров окраски на первой стадии ТО, и имеют характеристики  $\varepsilon_2, r_{02}, D_{02}$ . В этом случае вторая стадия тоже происходит по кинетике первого порядка. На оставшиеся концентрации центров окраски  $\frac{\Delta N_{01}}{N_0}$  действуют коррелированные подвижные дефекты другого типа:  $\varepsilon_2, r_{02}, D_{02}$ . Тогда также имеем двухстадийную кривую, в которой обе стадии происходят по кинетике первого порядка (см., рис.5. 1б.).



$$\frac{N}{N_0} = \left[ \left( 1 - \frac{\Delta N_{01}}{N_0} \right) \exp \left( - \frac{4\pi r_{01}}{\beta} D_{01} \int_{T_0}^T e^{-\frac{\varepsilon_1}{kT}} dT \right) + \left( \frac{\Delta N_{01}}{N_0} \right) \right] \times \left[ \exp \left( - \frac{4\pi r_{02}}{\beta} D_{02} \int_{T_0}^T e^{-\frac{\varepsilon_2}{kT}} dT \right) \right], \quad (6)$$



**1а-случай:**

1-стадия: I-порядка;  $\varepsilon_1, r_{01}, D_{01}$ ,

2-стадия: I-порядка;  $\varepsilon_1, r_{02}, D_{01}$ ,

**1б-случай:**

1-стадия: I-порядка;  $\varepsilon_1, r_{01}, D_{01}$ ,

2-стадия: I-порядка;  $\varepsilon_2, r_{02}, D_{02}$ ,

Рисунок 5 – Температурная зависимость относительной концентрации центров окраски для некоррелированных (случай «а») и коррелированных (случай «б») дефектов.

2) Если  $\Delta N_{01}$  – некоррелированная пара центров и дефектов-разрушителей. Тогда вторая стадия ТО протекает по реакции второго порядка. В случае для некоррелированных пар центров и дефектов-разрушителей возможны три случая.

2а) Некоррелированными дефектами является дефекты того же типа, что и вызвали распад центров на первой стадии термического отжига, но разлетевшиеся от центра данного типа на более далекие расстояния, чем дефекты-разрушители, вызвавшие первую стадию.

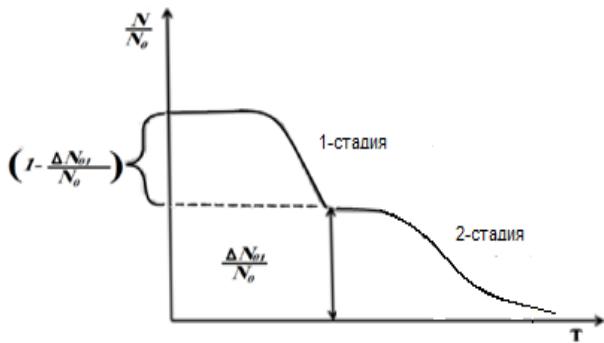
В этом случае на оставшиеся концентрации центров  $\frac{\Delta N_{01}}{N_0}$  действуют некоррелированные дефекты того же типа, что и вызвавшие первую стадию, но разлетевшиеся друг от друга более далекие расстояния. Тогда имеем:

$$\frac{N}{N_0} = \left[ \left( 1 - \frac{\Delta N_{01}}{N_0} \right) \exp \left( - \frac{4\pi r_{01}}{\beta} D_{01} \int_{T_0}^T e^{-\frac{\varepsilon_1}{kT}} dT \right) + \left( \frac{\Delta N_{01}}{N_0} \right) \right] \times \left[ 1 + \frac{4\pi r_{02}}{\beta} D_{01} \Delta N_{01} \int_{T_0}^T e^{-\frac{\varepsilon_1}{kT}} dT \right], \quad (7)$$

Кинетика такого процесса приведена на рис.6 (2а-случай).

2б) Некоррелированными дефектами являются дефекты того же типа, что и те, которые вызвали распад центров данного типа на первой стадии ТО, но которые образуются от микродефектов, некоррелированных с центрами, имеющими очень большую концентрацию. Тогда вторая стадия ТО,

образующаяся от некоррелированных дефектов большой концентрации, идет по реакции второго порядка (см., рис. 6. 2б-случай).



**2а-случай:**

1-стадия: I-порядка;  $\varepsilon_1, r_{01}, D_{01}$ ,

2-стадия: II-порядка;  $\varepsilon_1, r_{02}, D_{01}$ ,

**2б-случай:**

1-стадия: I-порядка;  $\varepsilon_1, r_{01}, D_{01}$ ,

2-стадия: II-порядка;  $\varepsilon_1, r_{01}, D_{01}$ ,

**2в-случай:**

1-стадия: I-порядка  $\varepsilon_1, r_{01}, D_{01}$ ,

2-стадия: II-порядка;  $\varepsilon_2, r_{02}, D_{02}$ ,

Рисунок 6 – Температурная зависимость относительной концентрации для некоррелированных (случай «а»), коррелированных (случай «б») и некоррелированных, имеющие другие характеристики (случай «в»)

В этом случае на оставшиеся концентрации центров окраски действуют некоррелированные дефекты того же типа, образующиеся в ходе релаксации, отщепленные от некоррелированных микродефектов, концентрации которых достаточно большие. Тогда имеем

$$\frac{N}{N_0} = \left[ \left( 1 - \frac{\Delta N_{01}}{N_0} \right) \exp \left( - \frac{4\pi r_{01}}{\beta} D_{01} \int_{T_0}^T e^{-\frac{\varepsilon}{kT}} dT \right) + \left( \frac{\Delta N_{01}}{N_0} \right) \right] \times \exp \left( - \frac{4\pi r_{02}}{\beta} D_{02} \int_{T_0}^T e^{-\frac{\varepsilon_2}{kT}} dT \right), \quad (8)$$

2в) Некоррелированными дефектами являются дефекты другого типа, чем те, которые привели к первой стадии ТО и имеют характеристики  $\varepsilon_2, r_{02}, D_{02}$ . В этом случае на оставшиеся концентрации центров действуют некоррелированные пары дефектов другого сорта. Тогда имеем:

$$\frac{N}{N_0} = \left[ \left( 1 - \frac{\Delta N_{01}}{N_0} \right) \exp \left( - \frac{4\pi r_{01}}{\beta} D_{01} \int_{T_0}^T e^{-\frac{\varepsilon_1}{kT}} dT \right) + \left( \frac{\Delta N_{01}}{N_0} \right) \right] \times \left( 1 + \frac{4\pi r_{02}}{\beta} \frac{D_{02}}{\Delta N_{01}} \int_{T_0}^T e^{-\frac{\varepsilon_2}{kT}} dT \right)^{-1}, \quad (9)$$

В этом случае вторая стадия ТО происходит по кинетике второго порядка до конца, некоррелированными дефектами другого типа, чем на стадии первой стадии термического отжига (см., рис.6. 2в-случай).

Таким образом, из вышеизложенных данных следует, что кинетика термического распада радиационных дефектов определяется соотношениями

между начальными концентрациями радиационных центров и подвижных диффузионных дефектов в ионных кристаллах. На основе такого предположения получено кинетическое уравнение и его решение для изотермического случая.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

На основе проведенных исследований сделаны следующие основные выводы:

1. Показано, что в пределах ближайших друг к другу анионных вакансий предсказывается существование некоторых типов электронных центров.

2. Определено, что изучение структуры группы преобразований центров окраски и центров свечения может позволить в дальнейшем установить пока неизвестные особенности и закономерности взаимопревращения электронных центров в ионных кристаллах.

3. Доказано, что с помощью теории матриц и групп применяемых к квазичастицам могут быть описывается структуры электронных центров окраски и их возможных преобразований и взаимопревращения центров друг в друга обусловляется подходом к центру или отходом от него ионно-электронных квазичастиц.

4. Доказано, что кинетики тушения свечения центров в ЩГК можно провести, исходя из различных соотношений между начальными концентрациями фотовозбужденных центров и подвижных дефектов тушителей. На основе этой гипотезы получены кинетическое уравнение и его решение для изотермического случая.

5. Кинетика термического распада радиационных дефектов определяется соотношениями между начальными концентрациями радиационных центров и подвижных диффузионных дефектов в ионных кристаллах. На основе этой гипотезы получены кинетическое уравнение и его решение для изотермического случая.

6. Полученные экспериментальные результаты и теоретические рассуждения позволяют определить структуры и управлять процессами закономерностей нано- и микроструктурных дефектов в щелочно-галогидных кристаллах, которые имеют важные прикладные применения.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Каденова, Б.А. Упругие напряжения в щелочно-галогидных кристаллах [Текст] / Б.А. Каденова, А.А. Орозбаева // Сборник трудов XI Иссык-Кульская международная школа-конференция по радиационной физике твердого тела SCORPh-2015, –Бишкек: 2-8 августа 2015. –С.37-39.
2. Орозбаева, А.А. Кинетика процесса моно- и бимолекулярного тушения свечения центров в облученных кристаллах [Текст] / А.А. Орозбаева, Аманбай к. Айсулуу, Т.Б. Арапов // Сборник трудов XI Иссык-Кульская международная школа-конференция по радиационной физике твердого тела SCORPh-2015, – Бишкек: 2-8 августа 2015. –С.43-45.
3. Орозбаева, А.А. Кинетика диффузионно-ионных процессов распада радиационных дефектов в ЩГК [Текст] / А.А. Орозбаева, Аманбай к. А., Т.Б. Арапов // 5-Международной научной конференции Физика и физическое образование: достижение и перспективы развития, –Бишкек: 21-22 сентября 2015. –С.25-28.
4. Арапов, Б. Методы измерения ионной электропроводности диэлектрических потерь в ионных кристаллах и полупроводниках [Текст] / Б. Арапов, А.А. Орозбаева, А. О. Садыкбекова // 12-я Республиканская научно-практическая конференция Актуальные проблемы образовательного процесса в школе и ВУЗе, –Бишкек: 6 ноябрь 2015. –С.363-366.
5. Арапов, Б. Кинетика ионно-диффузионных процессов распада радиационных дефектов в ионных кристаллах [Текст] / Б. Арапов, А.А. Орозбаева, Т.Б. Арапов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, импакт – фактор РИНЦ (2016)-0,764, – Москва: 2016, – №8, часть 1, –С.30-32,
6. Арапов, Б. Люминесценция и распад радиационных дефектов в ЩГК [Текст] / Б. Арапов, А.А. Орозбаева, Г.Т. Кайназарова // Известия Кыргызского государственного технического университета имени И. Раззакова, –Бишкек: 2016, №3(39), часть 1, –С. 444-449.
7. Арапов, Т.Б. ЭПР первичных и промежуточных радиационных дефектов в кристаллах KCl-Ag [Текст] / Т.Б. Арапов, А.А. Орозбаева, С.З. Какиев // Известия Кыргызского государственного технического университета имени И.Раззакова, –Бишкек: 2016, –№3(39), часть 1, –С. 449-453.
8. Орозбаева, А.А. Механизмы термического распада радиационных дефектов в кристаллах KCl [Текст] / А.А. Орозбаева, Г.Т. Кайназарова // Вестник Ошского государственного университета, –Ош: 2017, Специальный выпуск (4), –С 258-262.

9. Кайназарова, Г.Т. Механизмы термического распада радиационно-наведенных центров окраски в кристаллах NaCl [Текст] / Г.Т. Кайназарова, А.А. Орозбаева, С.З. Какиев // Вестник Ошского государственного университета, – Ош: 2017, Специальный выпуск (4), –С 253-256.
10. Термический распад и тушения свечения центров в пластических деформированных ионных кристаллах [Текст] / [Б. Арапов, Т. Б. Арапов, А.А. Орозбаева, О. Бектеева ] // Известия Ошского технологического университета 1/2018, часть 1, –Ош: 2018, –С.168-172
11. Арапов, Т.Б. Роль дислокаций в тушение свечения центров в ЩГК [Текст] / Т.Б. Арапов, А.А. Орозбаева, У.Б. Абдукадырова // Известия Ошского технологического университета 1/2018, часть 2, –Ош: 2018, –С.129-132
12. Арапов, Б. Определение состава и структуры собственных наноструктурных дефектов в ионных кристаллах методом квазичастиц (ч. I) [Текст] / Б. Арапов, Т.Б. Арапов, А.А. Орозбаева // Материалы IV Международная конференция по Оптическим и фотоэлектрическим явлениям в полупроводниковых микро- и наноструктурах, –Фергана: 25-26 мая 2018, –С.35-38
13. Арапов, Б. Определение состава и структуры примесных наноструктурных дефектов в ионных кристаллах методом квазичастиц (ч. II) [Текст] / Б. Арапов, Т.Б. Арапов, А.А. Орозбаева // Материалы IV Международная конференция по Оптическим и фотоэлектрическим явлениям в полупроводниковых микро- и наноструктурах, –Фергана: 25-26 мая 2018, –С.38-41
14. Арапов, Б. Математическое моделирование отжига радиационных дефектов в ЩГК [Текст] / Б. Арапов, А.А. Орозбаева, Акылбек к. Э., А. Тагаева // Известия Ошского технологического университета, –Ош: 2019, №3, –С 65-69
15. Арапов, Б. Моделирование кинетики распада радиационно-наведенных дефектов в ионных кристаллах [Текст] / Б. Арапов, Т.Б. Арапов, А.А. Орозбаева // импакт – фактор РИНЦ (2016)-0,570, –Москва: Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2020. – № 2. – С. 115-119
16. Квазиосциллирующие свойства нейтральных комплексных дефектов при термическом отжиге неметаллических кристаллов [Текст] / [А.О. Садыкбекова, А.А. Орозбаева, Т.Б. Арапов, Б. Арапов] // V Межконференция ОФЭЯПМНС, – Фергана, 14.11.2020, – С. 29-33
17. Some models of the kinetics of defect decay in ionic crystals [Текст] / [B. Arapov, A.A. Orozbaeva, Erkinbek kyzy M., K. Koshunbaeva ] // ОшТУ Вестник, 2020, –№2, –С.123-129
18. Орозбаева, А.А. Кинетики термического распада радиационных дефектов в щелочно-галоидных кристаллах [Текст] / А.А. Орозбаева, А.К. Курстанбекова,

А. Джумабаева // Вестник Кыргызского государственного университета имени  
И. Арабаева, 2021, 2-часть, –С.190-195

### **АВТОРСКИЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА**

1. Авторский свидетельство. №3645, Кыргызская Республика. Состав и структура примесных наноструктурных дефектов в ионных кристаллов / Б. Арапов, Т.Б. Арапов, А.А. Орозбаева: Бишкек. 24.06.2019
2. Авторский свидетельство. №3618, Кыргызская Республика. Состав и структура собственных наноструктурных дефектов в ионных кристаллов / Б. Арапов, Т.Б. Арапов, А.А. Орозбаева: Бишкек. 15.05.2019

**А.А. Орозбаеванын “Жегич-галоиддик кристаллдардагы радиациялык нано түзүлүштөгү дефекттердин ажыроосунун иондук-диффузиялык кинетикасын изилдөө” деген темада 01.04.07– “конденсацияланган абалдын физикасы” адистиги боюнча физика- математика илимдеринин кандидаты окумуштуулук даражасын изденип алуу үчүн жазылган диссертациясынын**

### **Р Е З Ю М Е С И**

**Негизги сөздөр:** Жегич- галоиддик кристаллдар, радиациялык дефекттер, микро- жана нанотүзүлүштөгү дефекттер, иондук диффузиялык кинетика, түстөнүү борбору, термостимуляциялык люминесценция, иондук-электрондук квазибөлүкчө, мультиплет, концентрациялык деформациялык-жылуулук туруксуздук.

**Изилдөө объектилери:**  $NaCl$ ,  $KCl$ ,  $NaCl-Ag$  жана  $KCl-Ag$  жегич-галоиддик кристаллдарындагы радиациялык жол менен киргизилген электрондук түстөнүү борборлору.

**Изилдөөнүн максаты:** ЖГКдагы радиациялык нанотүзүлүштөгү дефекттердин пайда болуу, бири-бирине айлануу, өз ара ажыроосунун иондук-диффузиялык кинетикасын изилдөө менен бирге нано түзүлүштөгү дефекттердин курамын жана түзүлүштөрүн аныктоо

**Изилдөөнүн методдору жана аппараты:** Жегич-галоиддик кристаллдардагы түстөнүү борборлорунун термикалык жок болуу процессин аныктоо методу, иондук кристаллдардагы заряддалган жана нейтралдык нано-жана микродефекттерди изилдөө методу, жегич-галоиддик кристаллдардагы радиациялык түстөнүү борборлорунун нурдануусунун өчүүсүн изилдөө методу

**Алынган натыйжалар жана алардын жаңылыгы:** Иондук кристаллдардагы нанотүзүлүштөгү кошулмалуу жана өздүк дефекттердин курамы жана түзүлүш структурасы изилденип, аныкталды. Электрондук эсептөөчү машиналардын эсин түзүү үчүн колдонууга мүмкүн болгон, анык бир физикалык мүнөздүү жаңы материалдарды иштеп чыгуу жана изилдөө үчүн катуу телолордогу энергиянын жутулуу трансформацияларынын жана радиациялык нурдануунун дозиметрлеринин критерийлери сунушталды.

**Колдонуу даражасы же колдонуу боюнча сунуштар:** Жумуш фундаменталдык мааниде болгону менен, алынган илимий жыйынтыктар техникада, өндүрүштөрдө колдонулушу мүмкүн.

**Колдонуу жааты:** Мындай маселелер илимдин кенири тармактарында, өзгөчө техникада кездешет.

## РЕЗЮМЕ

**Диссертации А.А. Орозбаевой на тему “Исследование ионно-диффузионной кинетики распада радиационных наноструктурных дефектов в ЩГК” на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07-“Физика конденсированного состояния”**

**Ключевые слова:** Щелочно-галоидные кристаллы, радиационные дефекты, микро-и наноструктурных дефектов, ионно-диффузионная кинетика, центр окраски, термостимулирующая люминесценция, ионно - электронная квазичастица, мультиплет, концентрационная деформационная-термостабильность.

**Объекты исследования:** Радиационно наведенных центры окраски в щелочно-галоидных кристаллах NaCl, KCl, NaCl-Ag и KCl -Ag.

**Цель исследования:** Определение состава и структуры дефектов наноструктур наряду с изучением ионно диффузионной кинетики образования, взаимопревращения, распада дефектов радиационных наноструктурных дефектов в щелочно-галоидных кристаллах.

**Методы и аппарат исследования:** Метод определения процесса термического разрушения центров окраски в щелочно-галоидных кристаллах, Метод исследования заряженных и нейтральных нано - и микродефектов в ионных кристаллах, Метод исследования затухания излучения центров радиационной центров окраски в щелочно-галоидных кристаллах

**Полученные результаты и их новизна:** Изучены состав и структура наноразмерных примесных и собственных дефектов в ионных кристаллах. Предложены критерии дозиметров поглощения энергии и радиационного излучения в твердых телах для разработки и исследования новых материалов с определенными физическими характеристиками, которые могут быть использованы для формирования памяти электронных вычислительных машин.

**Степень применения или рекомендации по применению:** Хотя работа имеет фундаментальное содержание, полученные научные результаты могут быть применены в технике, производстве.

**Область применения:** Такие проблемы встречаются во многих областях науки, особенно в технике.



## SUMMARY

**Dissertations of A.A. Orozbaeva on the topic “Research of ion-diffusion kinetics of the decay of radiation nanostructured defects in alkali-halide crystals ” for the degree of Candidate of Physical and Mathematical Sciences in the specialty 01.04.07 - " Condensed matter Physics”**

**Keywords:** Alkali-halide crystals, radiation defects, micro-and nanoscale defects, ion-diffusion kinetics, color center, thermostimulating luminescence, ion-electron quasiparticle, multiplet, concentration deformation-thermal stability, generating deformation-thermal stability.

**Objects of research:** Radiation guided color centers in alkali-halide crystals of NaCl, KCl, NaCl-Ag and KCl-Ag.

**Purpose of work:** Determination of the composition and structure of nanostructure defects along with the study of the ion-diffusion kinetics of formation, mutual transformation, and mutual decay of radiation nanostructure defects in alkali-halide crystals

**Methods and apparatus of the study:** A method for determining the process of thermal destruction of color centers in alkaline-halide crystals, a method for studying charged and neutral nano - and microdefects in ionic crystals, a method for studying the attenuation of radiation centers of radiation color centers in alkaline-halide crystals

**The results obtained and their novelty:** The composition and structure of nanoscale impurity and intrinsic defects in ionic crystals are studied. The criteria of dosimeters of energy absorption and radiation radiation in solids are proposed for the development and research of new materials with certain physical characteristics that can be used to form the memory of electronic computers.

**Degree of application or recommendations for use:** Although the work has a theoretical content, the obtained scientific results can be applied in engineering, production.

**Scope of application:** Such problems are found in many fields of science, especially in technology



Подписано в печать: \_\_\_\_2021  
Объем 1,75 п.л. Заказ №16  
Формат 60х84/16 Тираж 100 экз.  
Редакционно-издательских отдел «Билим» ОшГУ  
г.Ош, ул. Ленина, 331

