

**Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі  
«Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті» КеАҚ  
«Қазақстанның физика- техникалық қоғамы» ЖШС**

**Министерство науки и высшего образования Республики Казахстан  
НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева»  
ТОО «Физико-техническое общество Казахстана»**

## **ҚАТТЫ ДЕНЕ ФИЗИКАСЫ**

*XV Халықаралық ғылыми конференциясының материалдары  
8-10 желтоқсан 2022 жылы*

## **ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА**

*Материалы XV Международной научной конференции  
8-10 декабря 2022 года.*

**Астана  
2022**

УДК 538.9 (075.8)  
ББК 22.37 я73  
Ф50

Рекомендовано к изданию решением  
Физико-технического общества Казахстана

Организационный комитет

Председатель: **Сыдыков Е.Б.**

Сопредседатели: **Курмангалиева Ж.Д., Кокетай Т.А.**

Члены международного оргкомитета: **Алиев Б.** (Казахстан), **Акылбеков А.Т.** (Казахстан), **Даулетбекова А.К.** (Казахстан), **Бахтизин Р.З.** (Россия), **Балапанов М.Х.** (Россия), **Донбаев К.М.** (Казахстан), **Ибраев Н.Х.** (Казахстан), **Кидибаев М.М.** (Кыргызстан), **Купчишин А.И.** (Казахстан), **Лисицын В.М.** (Россия), **Липилин А.С.** (Россия), **Мукашев К.М.** (Казахстан), **Ногай А.С.** (Казахстан), **Онаркулов К.Э.** (Узбекистан), **Плотников С.П.** (Казахстан), **Приходько О.Ю.** (Казахстан), **Скаков М.К.** (Казахстан), **Тайиров М.М.** (Кыргызстан), **Шаршеев К.К.** (Кыргызстан), **Шункеев К.Ш.** (Казахстан), **Яр-Мухамедова Г.Ш.** (Казахстан), **Лущик А.Ч.** (Эстония), **Попов А.И.** (Латвия), **Давлетов А.Е.** (Казахстан), **Дробышев А.С.** (Казахстан), **Иванов В.Ю.** (Россия), **Ильин А.Ю.** (Казахстан), **Токмолдин С.Ж.** (Казахстан), **Ибраев Н.Х.** (Казахстан)

Секретари конференции

**Садыкова Б.М., Дауренбеков Д.Х., Жаңылысов К.Б., Әлібай Т.Т., Юсупбекова Б.Н., Ахметова А.С., Шамиева Р.К.**

**Ф50 Қатты дене физикасы - Физика твердого тела: Материалы XV Международной научной конференции – Астана: Изд-во ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, 2022. – 189 с.**

**ISBN 978-601-337-782-7**

В сборнике опубликованы материалы докладов участников XV Международной научной конференции «Физика твердого тела».

УДК 538.9 (075.8)  
БК 22.37 я73

**ISBN 978-601-337-782-7**

**Евразийский  
национальный  
университет  
имени Л.Н. Гумилева, 2022**

## СОДЕРЖАНИЕ

### СЕКЦИЯ 1. ТОЧЕЧНЫЕ И ПРОТЯЖЕННЫЕ ДЕФЕКТЫ В ШИРОКОЩЕЛЕВЫХ СИСТЕМАХ: ОКСИДЫ, НИТРИДЫ, КЕРАМИКИ, МИНЕРАЛЫ, ОРГАНИЧЕСКИЕ И ФОТОННЫЕ КРИСТАЛЛЫ; СОБСТВЕННАЯ И ПРИМЕСНАЯ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД

<b>Н.Х. Юлдашев, А.С. Байгазиев, М.Ч. Осканбаев, N.Kh. Yuldashev, A.S. Baigaziev, M.Ch. Oskanbaev</b> Фотолюминесценция микрокристаллов в тонких пленках CdTe	7
<b>А.В. Стрелкова, Д.А. Мусаханов, А. М.Жунусбеков, Ж.Т.Карипбаев, Г.К. Алпысова, Т.Э. Көкөтай</b> Морфология синтезированной керамики BaF <sub>2</sub>	10
<b>В.И. Корепанов, Г. Гэ, Е.Ф. Полисадова</b> Импульсная катодолюминесценция кристаллов LiF-WO <sub>3</sub> и сопутствующие процессы	14
<b>К.Sh. Shunkeyev, A.S. Tilep, Sh.Zh. Sagimbayeva, Zh.K. Ubayev</b> Exciton-like formation in a sodium field in KCl:Na crystal with lowering lattice symmetry	15
<b>Н. Райымкул кызы, А.С. Ганиева, У.К. Мамытбеков, М.М.Кидибаев, К.Шаршеев</b> Низкотемпературная рентгено- и термостимулированная люминесценция кристаллов KNaSO <sub>4</sub> :Cu	16
<b>Ж.С. Жилгильдинов, В.М. Лисицын, Ж.Т. Карипбаев, А.М. Жунусбеков, А. Тулеуов</b> Зависимость эффективности люминесценции иаг:се керамики, полученной радиационным синтезом, от предыстории прекурсоров	18
<b>К.К. Кумарбеков, В.М. Лисицын, Т.Э. Көкөтай, Н. Қашкен, Ұ. Аман</b> Радиациялық өрісте MgO оксидті оптикалық керамиканың синтезі	21
<b>Т.Т. Әлібай, Д.А. Төлеков, Р.К. Шамиева, А.С. Нурпеисов, Ш. Рыскелді, Қ.Мекебай</b> Люминесцентные характеристики Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Допированного редкоземельным ионом Dy <sup>3+</sup>	23
<b>Д.А.Төлеков, Т.Т. Әлібай, Р.К. Шамиева, А.С. Нурпеисов</b> Электронно-дырочные центры захвата в уф облученном Li <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -Mn	26
<b>Р.К.Шамиева, Т.Т.Әлібай, Д.А.Төлеков, А.С.Нурпеисов, А.А.Қабдулқак</b> Электронно-дырочные центры захвата в K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	29
<b>Б.Н. Юсупбекова, А.Ж. Кайнарбай, Д.Х. Дауренбеков, К.Б. Жанылысов, Б.М. Садыкова, А.С. Ахметова, С.Пазылбек</b> Электронно-дырочные центры захвата в кристаллах LiNaSO <sub>4</sub> :Cu и LiNaSO <sub>4</sub> :Cu, Mg	32
<b>А.К. Арыков, К. Хайдаров</b> Металлизация монокристаллов синтетического алмаза адгезионно-активными элементами: Ti и Co	37
<b>Ы. Ташполотов, Э. Садыков, Т.К. Ибраимов</b> Создание наноструктурных тампонажных цементов на основе минерально-сырьевых ресурсов кыргызской республики	40

### СЕКЦИЯ 2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, РЕЛАКСАЦИЯ НОСИТЕЛЕЙ, ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ, УПОРЯДОЧЕНИЕ, ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ, ПРИМЕСИ С МЕЛКИМИ И ГЛУБОКИМИ УРОВНЯМИ, СТРУКТУРНЫЕ ДЕФЕКТЫ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ

<b>V.A. Kalytka, Z.K. Vaimukhanov</b> The influence of the proton quantum tunneling at kinetic phenomena in proton semiconductors and dielectrics	46
<b>К.Э. Онаркулов, А.И. Зокиров</b> Эффект аномального фотонапряжения в полупроводниковых поликристаллических структурах типа A <sup>II</sup> B <sup>VI</sup>	49
<b>N.E. Alimov, J.V. Vaitkus, S.M. Otajonov</b> Effect of surface recombination on the photoconductivity of CdTe nanocrystalline films with deep impurity levels	51

<b>З. Хайдаров, Б.З. Хайдаров</b>	
Исследование фотографического процесса в газоразрядной ячейке	54
<b>А.И. Зокиров, А.Ж. Кайнарбай, К.Э. Онаркулов, С.М. Зайнолобидинова</b>	
Исследование фотоэлектрических свойств пленочных структур CdTe	57
<b>Н.К. Касамытов, А.Ж. Календеров, К.М. Макаева, К.А. Ласанху</b>	
Технология, структура и свойства высоковольтной фарфоровой керамики на основе сырья месторождений Кыргызской Республики	59
<b>С.К. Тлеукенов, А.Б.Төлегенова, В.Л.Пазынин</b>	
Генерация ТМ волн на границе кристалла класса 4m2 с магнитоэлектрическим эффектом волной те поляризации	60
<b>И.Н. Муллагалиев, Т.Р. Салихов, Р.Б. Салихов</b>	
Фототранзисторы на основе тонких пленок производных фуллерена со светочувствительным веществом	62
<b>Д.Н. Какимжанов, Б.К. Рахадиллов, Ю.Н. Тюрин, О.В. Колисниченко</b>	
Влияние импульсно-плазменной на трибоэлектрические свойства детонационных покрытия на основе Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> -NiCr	63
<b>А.Р. Курбангулов, Н.Н. Биккулова, Г.Р. Акманова, А.Х. Кутов</b>	
Фазовые переходы в теллуридах меди	65
<b>С.К. Тлеукенов</b>	
Метод матрицанта. Единое описание упругих и Электромагнитных волновых процессов в анизотропных средах	68
<b>А.К. Утениязов, Т.Сапарбаев, Э.С. Есенбаева, М.Т.Нсанбаев</b>	
Вольтамперная характеристика структуры Al-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -pCdTe-Мо в прямом направлении тока	69
<b>А.Р. Курбангулов, Н.Н. Биккулова, Д.И. Сафаргалиев, Г.Р. Акманова, А.Х. Кутов</b>	
Расчет зонной структуры теллурида меди cu <sub>1,75</sub> te в макро- и наносостоянии	72
<b>Д.И. Сафаргалиев, А.Д. Давлетшина, Н.Н. Биккулова, Г.Р. Акманова, И.И. Ганеев</b>	
Зонная структура соединений CuCrX <sub>2</sub> (X = S, Se)	75
<b>Д.И. Сафаргалиев, А.Д. Давлетшина, Н.Н. Биккулова, Г.Р. Акманова, Д.В. Насибуллин</b>	
Химическая связь в соединениях CuCrX <sub>2</sub> (X = S, Se)	76
<b>D.Khajibaev, K.Nurimbetov, B.Ya.Yavidov</b>	
On thickness dependence of T <sub>c</sub> OF La <sub>2-x</sub> Sr <sub>x</sub> CuO <sub>4</sub> films	78
<b>A. Jalekeshov, K. Nurimbetov, B. Ya.Yavidov</b>	
On doping dependence of T <sub>c</sub> and $\partial T_c / \partial p_i$ (i = a, b, c) of cuprates	81

### СЕКЦИЯ 3. ФАЗОВЫЕ И СТРУКТУРНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В МЕТАЛЛАХ И СПЛАВАХ, МОДИФИКАЦИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

<b>А.Ж. Миниязов, Е.А. Кожухметов, М.К. Скаков, Т.Р. Туленбергенов, И.А. Соколов</b>	
Деградация структуры и свойств карбидных поверхностных слоев вольфрама в условиях плазменного воздействия	84
<b>Д.Р. Байжан, А.Ж.Жасулан, Ж.Б.Сагдолдина, К.Д. Орманбеков, Д.Б. Буйткенов, Р.К. Кусаинов</b>	
Микродуговое окисление титана в электролит-суспензиях	87
<b>Б.М. Ахметгалиев, К.С.Назаров, М.Х. Балапанов, К.А. Кутербеков, Р.Х. Ишембетов, М.М. Кубенова</b>	
Исследование фазовых переходов в нанокристаллических сульфидах меди Li <sub>x</sub> Cu <sub>2-x</sub> S (x=0.10, 0.16, 0.18) методом дифференциальной сканирующей калориметрии	89
<b>М.И. Маркевич., Д.Ж. Асанов</b>	
Воздействие лазерного излучения на фотомагнитные материалы на основе кремния легированного примесями	91
<b>Б.К. Рахадиллов, Д.Р. Байжан, Н.Е. Бердімуратов, Р.С. Кожанова, З.А. Сатбаева, Л.Б. Баятанова</b>	

Структурно-фазовое состояние среднеуглеродистых сталей после электролитно-плазменной обработки	94
<b>Б.К. Рахадиллов, Н. Мұқтанова, А.Е. Кусайнов, Д.Н. Кәкімжанов</b> Получение износостойкого покрытия WC-10Co-4Cr методом высокоскоростного газопламенного напыления	97
<b>Д.Б. Бұйткенов, А.Б. Нәбиолдина, Н.М. Магазов, Ж.С. Тұрар</b> Получение многослойных металлокерамических покрытий методом детонационного напыления	100
<b>С.К. Тлеукиенов, М.С. Токашева, В.Л. Пазынин</b> Возбуждение волн ТЕ поляризации на границе моноклинного кристалла при отражении ТМ волн	103
<b>Қ.Ә. Қонысов, А.Е. Садыкова, А. Аужанова, Н.Х. Ибраев</b> TiO <sub>2</sub> /rGO/Ag нанокөмпозитінің фотокаталитикалық белсенділігін бояғышты фотодеградациялау әдісімен зерттеу	104
<b>Д.К. Ескермесов, Е.Е. Табиева, З.Е. Арингожина, С.А. Пазылбек, Ж.Т. Төлеуханова</b> Морфология поверхности и физико-механические свойства Ni-Cr-Al покрытий полученных детонационным распылением при импульсно-плазменной обработке	107

#### СЕКЦИЯ 4. НАНОТЕХНОЛОГИИ И НАНОМАТЕРИАЛЫ

<b>Р.Б. Салихов, А.Д. Остальцова, Т.Р. Салихов</b> Полимерные тонкопленочные химические сенсоры	110
<b>S. Pazylbek, A. Kareiva, T. Nurakhmetov, D. Karoblis, D. Vistorskaja A. Zarkov</b> Novel co-substituted yttrium gallium garnets	112
<b>Т.И. Шарипов, Д.Ш. Кудояров, Р.Р. Гарафутдинов, И.Н. Сафаргалин</b> Электропроводность специфических олигонуклеотидов	112
<b>Т.Т. Юмалин, Р.Б. Салихов</b> Тонкопленочные структуры на основе углеродных нанотрубок в составе эпоксидных смесей	115
<b>К.С. Рожкова, А.К. Аймуханов, К.Т. Абдрахман, А.М. Абдигалиева</b> Влияние среды на морфологию полимера PEDOT:PSS	118
<b>И.Н. Сафаргалин, Р.Б. Салихов</b> Тонкие пленки новых производных пани и влияние морфологии на их свойства	120
<b>Д.А. Толеков, Д.Ш. Кудояров, Р.З. Бахтизин, Т.Н. Нурахметов, Т.И. Шарипов</b> Изучение биомолекул с помощью сканирующей зондовой микроскопии	122
<b>Д.А. Темирбаева, Н.Х. Ибраев</b> Ag және Au Плазмондық нанобөлшектерінің ксантен бояғышының люминесценттік қасиеттеріне әсері	124
<b>А.Б. Демесбек, А.С. Кенжебекова, Д.Р. Ташкеев, А.А. Баратова</b> Исследование фрактальных свойств морфологических изменений тканей в нанометровом масштабе	126
<b>Г.Е. Сагаева, А.А. Баратова, А. Мирзо, Р.К. Ниязбекова, Д. М. Шарифов, Ж. А. Бегайдарова, А. А. Абдигапар, Ж. Сыздыкова</b> Исследование спектрофотометрических и люминесцентных свойств образцов углеродных нанокөмпозитных полимерных материалов	129
<b>Э.Ж. Алихайдарова, Н.Х. Ибраев, Е.В. Селиверстова</b> Влияние локализованного плазмонного резонанса металлических наночастиц на структурные, оптические и оптоэлектронные свойства пленок оксида графена	132
<b>N.Kh. Ibrayev, E.V. Seliverstova</b> Plasmon-induced photophysical processes in molecular media	134
<b>Б.М. Сатанова, Г. Ә.Қаптағай, Ф.У. Абуова</b> Күшті электронды корреляциясы бар гибриді графен-оксидті 2d материалдар	138
<b>Д.Т. Жеңіс, А.Б. Құманова, М.Ш. Салауатова</b> Ядролық медицинаның қазіргі кездегі мүмкіндіктері және болашағы	140
<b>А.Е. Канапина, Н.Х. Ибраев, Е.В. Селиверстова, А.А. Ищенко</b> Влияние плазмонного резонанса наночастиц металлов на внутримолекулярные электронные переходы в молекулах полиметиновых красителей различной ионности	142

<b>А.Н. Мочалов, Д.Ш. Кудояров, Т.И. Шарипов</b> Современное состояние исследований олигонуклеотидов методами зондовой микроскопии	145
<b>Г.С. Аманжолова, Н.Х. Ибраев, Е.В. Селиверстова</b> S, N- еңгізілген көміртекті нүктелердің плазмон-күшейтілген люминесценциясы	146
<b>А.С. Ахметова, А.Ж. Қайнарбай, Д.Х. Дауренбеков, Б.Н. Юсупбекова, А.К. Оспанова, Б.Ә. Дүйсенбай</b> Влияние длин лиганд на формирование и рост нанопластин теллурида кадмия	149
<b>Д.М. Шарифов, Р.К. Ниязбекова, Г.М. Мухамбетов, В.Н. Михалченко, Ж.А. Бегайдарова, М.А. Серекпаева</b> Технология получения и перспективы развития нанокompозитных материалов на полимерной основе	152
<b>У. М. Кабылбекова, Г. И. Мухамедрахимова, К. У. Мухамедрахимов</b> Принцип использования квантовых точек для диагностики и лечения злокачественных опухолей	155

## СЕКЦИЯ 5. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ И ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

<b>А. С. Ногай, А.А. Ногай, А.А. Буш, Д.Е. Ускенбаев, А.Б. Утегулов</b> Проблемы повышения эффективности натрий ионных аккумуляторных батарей и пути их решения	159
<b>А.А. Ногай, А.А. Буш</b> Способы повышения параметров пьезоэлектрических генераторов путем модификации пьезоэлектрической керамики	162
<b>Е.А. Кожаметов, А.Ж. Миниязов, А.С. Уркунбай</b> Микроструктурная стабильность двухфазного (O+B2) сплава системы Ti-25Al-25Nb (АТ.%) в процессе термоциклирования в среде водорода	165
<b>Н. В. Ермилов, Н. Н. Биккулова</b> Скрининг перспективных термоэлектрических халькогенидов	168
<b>Т.М. Сериков, Е.В. Селиверстова, А.Е. Садыкова, Қ. Қонысов, Н.Х. Ибраев</b> Влияние наночастиц серебра на фотокаталитическую активность нанокompозита TiO <sub>2</sub> /rGO	169
<b>Д.Д.Айдарова, Г.Т. Бейсембаева, Т.М. Сериков, А.С. Балтабеков</b> Влияние удельной поверхности нанотрубок TiO <sub>2</sub> на ее фотокаталитическую активность	171

## СЕКЦИЯ 6. СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОБУЧЕНИЯ ФИЗИКЕ

<b>Н.И.Темиркулова, А.Ә.Мырзақұлов</b> Ускоренное обучение элементам математического анализа в курсе физики средней школы	174
<b>С. Нұрқасымова., А.Б.Жаныс</b> Самостоятельная работа студентов как средство повышения эффективности учебной деятельности по физике	177
<b>Б.Е. Рахымбаева, Г.М. Аралбаева, Р.Н. Сулеймен, М.Р. Кушербаева</b> Физика пәнінен сапалы есептерді шығару арқылы орта буын оқушыларының сыни ойлауын дамыту	179
<b>Г.Е.Сағындыкова, П.У.Баймишова</b> Физика мен медицинаның интерграциясы негізінде оқушылардың қызығушылығын дамыту	182
<b>Э.К.Кожабекова, Ж.К.Ермекова</b> Физика пәнін музыкамен байланыстырып оқыту жүйесі	185
<b>Ж. К. Ермекова, Р. Серікбол, Н. Муграж, А. Омеркулов, Д. Саяхат</b> Болашақ физика мұғалімдерінің кәсіби құзыреттілік деңгейін арттыру жолдары	187

Таким образом введение примеси  $NO_3^-$  которые эффективно захватывает свободные электроны, дает возможность создание электронно-дырочных центров захвата  $NO_3^{2-} \cdot SO_4^-$ . Измерение температурной зависимости излучения 3,0-3,1 эВ показала, что интенсивность излучения экспоненциально уменьшается в температурной области где ионизируются  $NO_3^{2-}$  - центры приводящие рекомбинационного распада электронно-дырочного центра захвата  $NO_3^{2-} \cdot SO_4^-$ .

#### Литература

1. Плеханов В.Г., Осминин В.С. Спектры отражения сульфатов щелочных металлов при 78 К // Оптика и спектроскопия–1975.– Т. 39 (3). – С. 604-605.
2. Нурахметов Т.Н., Салиходжа Ж.М., Жунусбеков А.М., Кутербеков К.А., Кайнарбай А.Ж., Дауренбеков Д.Х., Жанылысов К.Б., Нурланова М.С., Шульденев С. Природа рекомбинационной люминесценции кристалла  $K_2SO_4$ // Вестник ЕНУ им. Л.Н.Гумилева. Серия Физика. Астрономия.– 2017.– №2 (117).– С.24-29.
3. Kityk I.V., Andrievskii B.V. and Yuvchenko V.O. Band Energy Calculation and Optical Constants of Single Crystals. // Phys. Stat. Sol. (b). –1994. –Vol. 182. K79-K83.
4. Byberg I.R. O- detected by ESR as a primary electron-excess defects in irradiated  $K_2SO_4$  // J. Chem. Phys. –1986. -Vol. 84, II, -P. 6083-6085.
5. Нурахметов Т.Н. Электронные возбуждения и радиационные дефекты в гранецентрированных ШГК и сульфатах щелочных и щелочноземельных металлов: дис. ... докт. физ.-матем. наук, 01.04.07, – Алматы, – 2001, – 287 с.

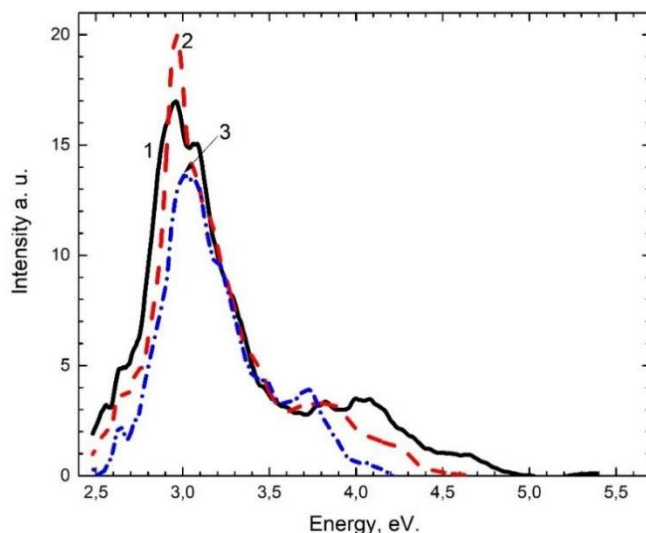
УДК 549.761.1

#### ЭЛЕКТРОННО-ДЫРОЧНЫЕ ЦЕНТРЫ ЗАХВАТА В КРИСТАЛЛАХ $LiNaSO_4: Cu$ И $LiNaSO_4: Cu, Mg$

Юсупбекова Б.Н., Кайнарбай А.Ж., Дауренбеков Д.Х., Жанылысов К.Б., Садыкова Б.М., Ахметова А.С., Пазылбек С.

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилёва, г. Астана, Казахстан

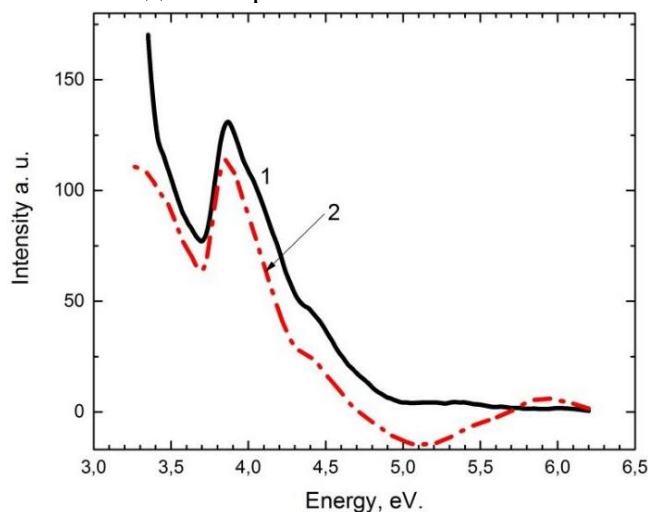
Сульфаты щелочных и щелочноземельных материалов синтезированные различными примесями известны как универсальные и превосходные люминофорные материалы. Введение примесей  $Mg^{2+}$  в кристаллы  $LiNaSO_4 - Cu$  увеличивает интенсивность фотолюминесценции почти в два раза. Но в этих работах и в других подобных авторах в активированных и в чистых сульфатах щелочных металлов не обсуждаются механизмы создания электронно- дырочных центров захвата, которые должны привести в процессе отжига образованию ТСЛ в предполагаемых дозиметрических кристаллах. В недавних наших работах исследована природа электронно- дырочных центров захвата в чистом кристалле  $Na_2SO_4$  [1]. Было предположено, что длинноволновые рекомбинационные излучения при 3,0-3,1 эВ, 2,6-2,7 эВ и 2,3-2,4 эВ связаны с туннельным электронным переходом на центрах захватов. На основе измерения спектра возбуждения рекомбинационных излучении 3,0-3,1 эВ, 2,6-2,7 эВ было показана, что эти полосы возбуждаются при энергиях фотона 3,9-4,0 эВ и 4,43-4,5 эВ. Эти величины энергии соответствуют энергетическим расстоянием электронно-дырочных центров захвата.



1 - 6,2 эВ; 2 - 5,9 эВ; 3 - 5,64 эВ при 80 К

Рисунок 1 – Спектр излучения  $LiNaSO_4$  с энергиями

Нами экспериментально показано, что при рекомбинации электронов из зоны проводимости с неэквивалентно локализованными  $SO_4^-$  дырками возникает собственное излучение [2]. Измерением спектров возбуждения для собственного излучения, можно определить при каких энергиях фотонов будет эффективно возбуждаются отдельные полосы собственного излучения. Основное собственное излучение при 3,7-3,8 эВ появляется в  $LiNaSO_4$  [3,4] при возбуждении как низкоэнергетическими фотонами с энергией 5,1-6,2 эВ, так и высокоэнергетическими фотонами с энергией 6,9-10,5 эВ. Наряду с собственным излучением в облученных кристаллах сульфатов щелочных металлов появляются длинноволновые излучения, связанные с созданием электронно-дырочных центров захвата. Предполагается, что длинноволновое рекомбинационное излучение при 3,0-3,1 эВ и 2,6-2,7 эВ связано с созданием электронно-дырочных центров захвата. Исследование природы длинноволновой полосы излучения в кристалле  $LiNaSO_4$  является основной задачей исследований, представленных в данной работе.



1 - 3,1 эВ; 2 - 3,0 эВ при 80 К. Образец был предварительно облучен рентгеновским излучением при 80 К в течение 6 минут

Рисунок 2 – Спектр возбуждения кристалла  $LiNaSO_4$  для полос излучения

На рисунке 1 представлен спектр излучения при 80 К порошкового образца  $LiNaSO_4$  при возбуждении с энергиями 6,2 эВ (1), 5,9 эВ (2), 5,64 эВ (3). Из рисунка 1 видно, что при



температуре 80 К появляется основное собственное излучение при 3,7-3,8 эВ, интенсивность длинноволнового рекомбинационного излучения при 3,0-3,1 эВ и 2,6-2,7 эВ.

На рисунке 2 изображен спектр возбуждения для длинноволнового излучения при 3,1 эВ (кривая 1) и 3,0 эВ (кривая 2) [2].

Из рисунка 2 (кривые 1, 2) видно, что длинноволновое излучение при 3,1 эВ и 3,0 эВ возбуждается в спектральной области 3,25-3,5 эВ, 3,9-4,0 эВ и 4,4-4,5 эВ [2]. При энергии фотона от 5,9 эВ до 6,2 эВ образуются электронно-дырочные пары. Нами также показано, что полоса излучения при 2,6-2,7 эВ также возбуждается при энергии фотона 3,25-3,5 эВ, 3,9-4,0 эВ и 4,4-4,5 эВ. Таким образом, [5] спектр возбуждения длинноволновой рекомбинационной полосы излучения находится в области прозрачности кристалла  $LiNaSO_4$ . Энергетическое расстояние между дырочными и электронными центрами захватов составляет 3,25-3,5 эВ, 3,9-4,0 эВ и 4,4-4,5 эВ, что гораздо меньше, чем ширина запрещенной зоны кристалла  $LiNaSO_4$ .

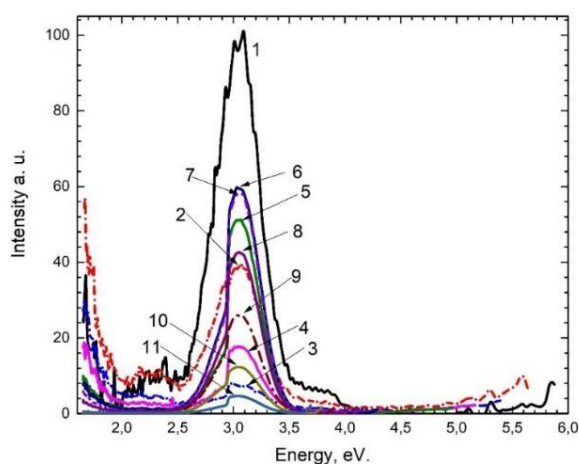


Рисунок 3 – Спектр люминесценции кристалла  $LiNaSO_4 - Cu$  с энергией от 4,27 эВ до 6,5 эВ при 300 К

Для доказательства взаимосвязи спектров возбуждения электронно-дырочных центров захвата с рекомбинационным излучением 3,0-3,14 эВ и 2,6-2,7 эВ было измерено излучение, возникающее при возбуждении созданных электронно-дырочных центров захвата. При возбуждении кристалла  $LiNaSO_4$  фотонами с энергией 3,9-4,0 эВ, после прекращения возбуждения в фундаментальной области спектра (5,9-6,2 эВ), были получены

первоначальные длинноволновые рекомбинационные полосы излучения при 3,15-3,0 эВ и 2,6-2,7 эВ.

Далее методом мокрого химического синтеза введена примесь  $Cu$  с концентрацией 0,1 моль% в чистый порошок  $LiNaSO_4$ . Примесь  $Cu$  окрашивает порошок в светло-синий цвет. Насыщенность цвета зависит от концентрации примеси.

Из экспериментальных данных нам известно, что при 300 К примесная полоса излучения кристалла  $Na_2SO_4 - Cu$  находится в интервале 2,7-2,8 эВ. На рисунке 3 изображен спектр люминесценции кристалла  $LiNaSO_4 - Cu$  при возбуждении с энергиями от 6,2 эВ до 4,27 эВ (кривые 1-11) измеренного при температуре 300 К на спектрофлуориметре СМ 2203. Появляется полоса с максимумом 3,0-3,1 эВ. Видно, что основная примесная полоса при 2,7-2,8 эВ, соответствующая  $Cu^+$ , с уменьшением энергии возбуждения постепенно снижается, а в длинноволновой области спектра появляется дополнительная полоса при 3,0-3,1 эВ. При возбуждении фотона с энергией 6,2 эВ увеличивается интенсивность создания полосы 3,0-3,1 эВ (кривая 1). Далее уменьшается интенсивность примесной полосы (кривые 2,3,4) и эффективность создания 3,0-3,1 эВ полосы. Интенсивность полосы 2,7-2,8 эВ и 3,0-3,1 эВ увеличивается (кривые 5, 6, 7) при приближении энергии внутрицентрального возбуждения  $Cu^+$  (5 эВ).

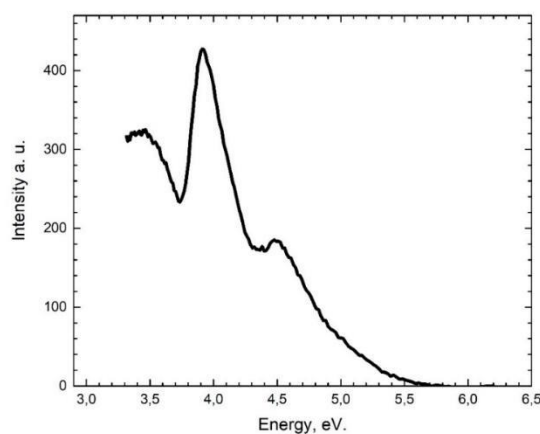


Рисунок 4— Спектр возбуждения порошка  $LiNaSO_4 - Cu$  для излучения 3,13 эВ при 80 К

На рисунке 4 изображен спектр возбуждения кристалла  $LiNaSO_4 - Cu$  для полосы излучения 3,13 эВ при 80 К. Примесная полоса излучения 3,13 эВ возбуждается при энергии фотона 3,45 эВ, 3,9 эВ и 4,5 эВ с разной интенсивностью. Сравнивая результаты исследования по созданию электронно-дырочных центров захвата в чистом ( $LiNaSO_4$ ) и примесном ( $LiNaSO_4 - Cu$ ) образцах, можно констатировать, что интенсивность рекомбинационного излучения в кристалле с примесью, определяемое созданием  $Cu^0 - SO_4^-$  центров захвата в 2 раза выше, чем в случае с чистым кристаллом, в котором формируются  $SO_4^{3-} - SO_4^-$  центры захвата. Примесь  $Cu^+$  существенно увеличивает эффективность создания центров окраски. Необходимо отметить, что примесь существенно не изменяет положение спектров возбуждения чистого кристалла  $LiNaSO_4$ , но излучателем в  $LiNaSO_4 - Cu$  является примесь  $Cu^+$ , т.е энергия рекомбинационного процесса  $SO_4^- + e^- \rightarrow hv$  передается примесям  $Cu^+$ .

На следующем этапе работы в порошок  $LiNaSO_4 - Cu$  была введена примесь магния с концентрацией 0,05%.

На рисунке 5 изображен спектр люминесценции кристалла  $LiNaSO_4 - Cu, Mg$  с энергиями от 6,2 эВ до 4,27 эВ (кривые 1-10), измеренного при температуре 80 К. Добавление примеси  $Mg$  приводит к тому, что происходит повышение интенсивности люминесценции за счет захвата электрона ионами  $Mg^{2+}$  по реакции  $Mg^{2+} + e^- \rightarrow Mg^+$ . Тем самым,  $Mg^+ - SO_4^-$  образуется дополнительное число центров захвата. По сравнению  $LiNaSO_4 - Cu$  интенсивность полос излучения увеличивается в несколько раз.

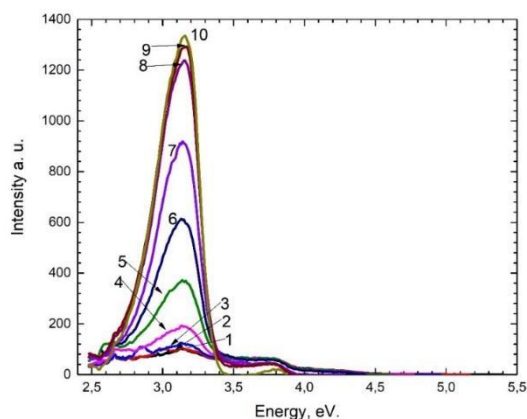


Рисунок 5 – Спектр люминесценции образца  $LiNaSO_4 - Cu, Mg$  с энергиями от 4,27 эВ до 6,5 эВ при 80 К

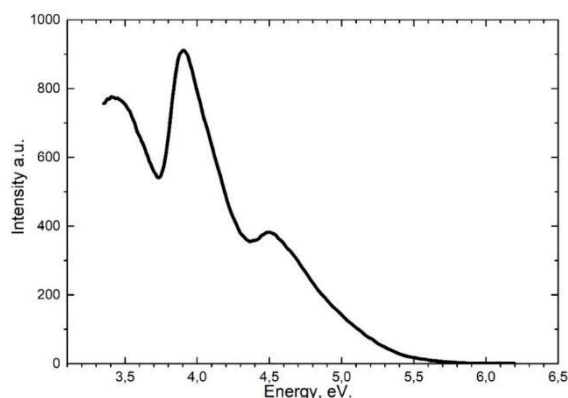


Рисунок 6 – Спектр возбуждения кристалла  $LiNaSO_4 - Cu, Mg$  для излучения 3,1 эВ при 80 К

На рисунке 6 изображен спектр возбуждения образца  $LiNaSO_4 - Cu, Mg$  для полосы излучения 3,15 эВ при 80 К. Длинноволновая полоса излучения 3,15 эВ возбуждается при энергиях фотона 3,45 эВ, 3,9 эВ и 4,5 эВ.

На рисунке 7 представлен снимок XRD образца  $LiNaSO_4 - Cu$  измеренного на ДРОН-7.

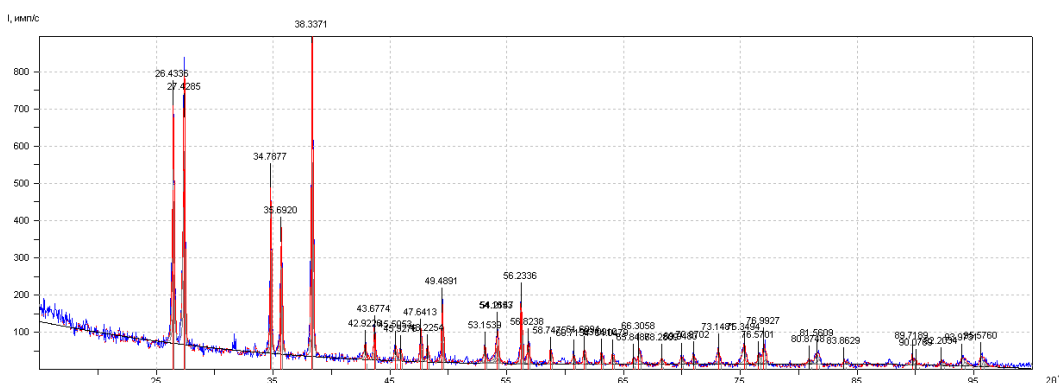


Рисунок 7- XRD образца  $LiNaSO_4 - Cu$

Интенсивность спектра возбуждения для полосы рекомбинационного излучения кристалла  $LiNaSO_4 - Cu, Mg$  по сравнению с кристаллом  $LiNaSO_4 - Cu$  увеличена в два раза. Таким образом, увеличение числа наведенных центров захвата, которые при рекомбинационном распаде передают энергию излучателю, увеличивает выход излучения основного излучателя, которое может быть у люминофора или термолюминесцентного пика ТСЛ и ТЛД соответственно.

На основе изучения спектров возбуждения рекомбинационного излучения 3,0-3,1 эВ и 2,7-2,8 эВ в кристаллах  $LiNaSO_4 - Cu$  и  $LiNaSO_4 - Cu, Mg$  было показано, что:

- интенсивность спектров возбуждения при 4,43-4,5 эВ и 3,9-4,0 эВ, отражающих концентрацию возникающих центров захвата в кристаллах  $LiNaSO_4 - Cu$ , в два раз больше, чем в чистом кристалле  $LiNaSO_4$ ;

- интенсивность возбуждения при 4,43-4,5 эВ и 3,9-4,0 эВ, отражающих концентрации центров захватов в кристалле  $LiNaSO_4 - Cu, Mg$ , в два раза больше, чем в кристалле  $LiNaSO_4 - Cu$ ;

- в кристалле  $LiNaSO_4 - Cu, Mg$ , кроме центров захвата  $Cu^0 - SO_4^-$ , возникающих в результате захвата электронов ( $Cu^+ \rightarrow e^- \rightarrow Cu^0$ )  $Cu^+$ -центрами, создаются дополнительные центры захвата, формирующиеся при захвате электронов ионами  $Mg^{2+}$  по реакции  $Mg^{2+} + e^- \rightarrow Mg^+$ , в результате образуются центры захвата  $Mg^+ - SO_4^-$ , которые при распаде передают энергию  $Cu^+$ -центрам.

#### Литература

- 1 Nurakhmetov T.N., Salikhodzha Zh.M., Zhunusbekov A.M. et al. Intrinsic emission and electron-hole trapping centers in irradiated  $Na_2SO_4$  // *Optik*. – 2021. – Vol. 242. – P. 167081-167085.
- 2 Нурахметов Т.Н., Юсупбекова Б.Н., Жанылысов К. и др. Механизмы создания электронно-дырочных центров захватов в кристаллах  $LiNaSO_4$  // *Матер. междунар. науч. конф. «Тенденции развития физики конденсированных сред»*. – Фергана, 2021. – С. 41-44.
- 3 Нурахметов Т.Н., Салиходжа Ж.М., Садыкова Б.М. и др. Зонная структура и оптические спектры смешанных сульфатов щелочных металлов // *Вестник ЕНУ им. Л.Н. Гумилева*. – 2019. – №3(128). – С. 117-127.
- 4 Нурахметов Т.Н., Бахтизин Р.З., Салиходжа Ж.М. и др. Зонная структура сульфатов щелочных металлов // *Вестник ЕНУ им. Л.Н. Гумилева*. – 2019. – №1(126). – С. 56-66.
- 5 Nurakhmetov T.N., Yussupbekova B.N., Zhunusbekov A.M. et al. Influence of  $Cu^+$  impurity on the efficiency of creation of electron-hole trapping centers in irradiated  $Na_2SO_4 - Cu$  crystals // *Eurasian Journal of Physics and Functional Materials*. – 2021. – Vol. 5(3). – P. 200-208.