ОШ МАМЛЕКЕТТИК УНИВЕРСИТЕТИНИН ЖАРЧЫСЫ. ПЕДАГОГИКА. ПСИХОЛОГИЯ

ВЕСТНИК ОШСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА. ПЕДАГОГИКА. ПСИХОЛОГИЯ

JOURNAL OF OSH STATE UNIVERSITY. PEDAGOGY. PSYCHOLOGY

e-ISSN: 1694-8742
№1(6). 2025, 57-65

УДК: 54.057
DOI: https://doi.org/10.52754/16948742_1(6)_7-2025

ЖЕГИЧ – ГАЛОИДДИК КРИСТАЛЛДАРДАГЫ РАДИАЦИЯЛЫК ДЕФЕКТТЕР БОЮНЧА АЙРЫМ ИЗИЛДӨӨЛӨРГӨ АНАЛИЗ

АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В КРИСТАЛЛАХ ГАЛОГЕНИДОВ

AN ANALYSIS OF SELECTED STUDIES ON RADIATION DEFECTS IN HALIDE CRYSTALS

Каденова Батмакан Ажимаматовна
Каденова Батмакан Ажимаматовна
Kadenova Batmakan Azhimatovna

физика-математика илимдеринин кандидаты, доцент, Ош мамлекеттик университети
кандидат физико-математических наук, доцент, Ошский государственный университет
Candidate of Physical-Mathematical Sciences, Associate Professor, Osh State University
kadenova66@mail.ru
ORCID: 0009-0004-2642-2006

Садырова Мухаббат Махмутовна
Садырова Мухаббат Махмутовна
Sadyrova Muhabbat Makhmutovna

физика-математика илимдеринин кандидаты, доцент, Ош мамлекеттик университети
кандидат физико-математических наук, доцент, Ошский государственный университет
Candidate of Physical-Mathematical Sciences, Associate Professor, Osh State University
yasmin67@mail.ru
ORCID: 0009-0009-6831-507X

ЖЕГИЧ – ГАЛОИДДИК КРИСТАЛЛДАРДАГЫ РАДИАЦИЯЛЫК ДЕФЕКТТЕР БОЮНЧА АЙРЫМ ИЗИЛДӨӨЛӨРГӨ АНАЛИЗ

Аннотация

Катуу телолордо алдын ала катуу телого керектүү болгон параметрлерди синтездөө менен алуу маселеси катуу телолордун колдонулушундагы жаны жагдай болуп саналат, анткени акыркы ондогон жылдарда катуу телолордун, анын ичинде жегич-галоиддик кристаллдардын техниканын жана технологиянын түрдүү аймактарында колдонулушу аларды изилдөөнүн актуалдуулугун арттырып жатат. өндүрүштө колдонулган катуу кристалдык материалдар реалдуу түзүлүшкө ээ жана ал идеалдуу кристаллдарда дефектердин болушу менен кескин айырмаланышат. Кээ бир кристаллдагы дефектер (дислокациялар, жаракалар) кристаллды синтездөө мезгилинде пайда болсо, башка чекиттик (өздүк жана кошулмалуу чекиттик дефектер) дефектер кристаллдык торчого сырттан таасир болгон учурда пайда болоору экспериментте далилиденген. Бардык дефектер кристаллдык материалдардын касиетине сөзсүз түрдө таасир этет, кээде ал дефектер ал кристаллдын негизги касиетин аныктоочу дагы болуп калышы мүмкүн. Кристаллдын дефектерден көз карандылык касиетин анын структуралык –сезгичтик касиети деп кароого болот. Мындай структуралык-сезгичтик касиетине электрдик, оптикалык, диффузиялык, магниттик, фотоэлектрдик жана люминесценттик касиеттери кирет. Катуу телолордун структуралык-сезгичтик касиети дефектер менен гана байланышкандыгын баса белгилөөгө болот. Оптикалык материалдарда радиациялык дефектердин пайда болушун жана топтолушун изилдөө конденсацияланган заттардын фундаменталдык касиеттерин түшүнүүдө ото чон мааниге ээ. Түстөнүү борборлорунун микроскопиялык түзүлүшүн жана касиеттерин аныктоо оптикалык материалдардын каалагандай касиеттерин билүү менен аны жасоого мүмкүнчүлүк түзмөк. Андай оптикалык катуу түзүлүштөгү материалдар жыштыгы боюнча башкарылуучу лазерлерде, электрондук эсептөөчү машиналардын эсинде, космос аппараттарында, микроэлектроникада, нанотехнологияда жана дозимтердик куралдарды жасоодо колдонулат. Жегич-галоиддик кристаллдар салттуу түрдө иондоштуруучу нурлануунун дозиметрлери жана сцинтилляциялык детекторлор катары колдонулат жана оптикалык кванттык генераторлорду, оптикалык сактоочу техникалык түзүлүштөрдү иштеп чыгууда чоң кызыгууну туудурат. Ядролук реакторлордо радиацияга туруктуу материалдарды алуу, бөлмөлүк жана андан жогорку температурада иштөөчү электрондук эсептөө машиналарынын эске тутуучу объекти катары колдонулушу жана дозиметрдик техникаларда радиациялык сезгич материалдардын пайдаланышы катуу заттарды изилдөөнүн актуалдуулугун андан ары жогорулатат. Бул жумушта жегич- галоиддик кристаллдардагы радиациялык дефекттерди изилдөөнүн учурдагы абалы жана актуалдуу маселелери каралды.

Ачкыч сөздөр: радиациялык дефекттер, структуралык сезгичтик, сцинтилляциялык импульс, термостимуляцияланган люминесценция, деформациялык эффект, дозиметр, электрондук дүүлүктүрүү, квазибөлүкчө.

Анализ некоторых исследований радиационных дефектов в кристаллах галогенидов

Аннотация

В твердых телах проблема получения необходимых для твердого тела параметров путем синтеза является новой ситуацией в использовании твердых тел, поскольку в последние десятилетия расширяется использование твердых тел, в том числе коррозионно-галоидных кристаллов, в различных областях техники и технологии повышают актуальность их исследований. Твердые кристаллические материалы, используемые в производстве, имеют реалистичную структуру и заметно отличаются от идеальных кристаллов наличием дефектов. Экспериментально доказано, что некоторые дефекты кристалла (дислокации, трещины) возникают в процессе синтеза кристаллов, а другие точечные дефекты (одиночные и

An analysis of selected studies on radiation defects in halide crystals

Abstract

In recent decades, the use of solid materials—particularly alkali-halide crystals—has expanded significantly across various fields of engineering and technology, increasing the importance of research into their properties. A key challenge in solid-state physics is obtaining the desired material parameters through synthesis. Solid crystalline materials used in production possess real, non-ideal structures characterized by various types of defects. Experimental studies have shown that some defects (such as dislocations and cracks) form during crystal growth, while others—

сложные точечные дефекты) возникают при воздействии на кристаллическую решетку внешних сил. Щелочно-галогенные кристаллы используются в качестве дозиметров ионизирующего излучения и сцинтилляционных детекторов, а также оптических квантовых генераторов, широко разработаны оптические накопительные технические структуры. Приобретение радиационно-стойких материалов в ядерных реакторах, наличие и последующее использование в качестве объектов памяти электронных вычислителей, работающих при высоких температурах, а также актуализация и использование радиационно-чувствительных материалов в дозиметрических методах. В работе рассмотрено современное состояние и актуальные проблемы исследования радиационных дефектов в щелочно-галоидных кристаллах.

Ключевые слова: радиационные дефекты, структурная чувствительность, сцинтилляционный импульс, термостимулированная люминесценция, эффект деформации, дозиметр, электронное возбуждение, квазичастица.

especially point defects, both single and complex—emerge under external influences on the crystal lattice. Alkali-halide crystals are widely used as ionizing radiation dosimeters, scintillation detectors, optical quantum generators, and components of optical data storage systems. The development of radiation-resistant materials is crucial for applications such as nuclear reactors and high-temperature memory devices, as well as for the advancement of dissymmetric methods using radiation-sensitive substances. This work reviews the current state of research on radiation defects in alkali-halide crystals, highlighting key challenges and trends in the field.

Keywords: radiation-induced defects, structural sensitivity, scintillation pulse, thermally stimulated luminescence, deformation effect, dosimeter, electronic excitation, quasiparticl.

Киришүү

Конденсирленген чөйрөдөгү радиациалык физиканын негизги аспектилеринин бири болуп радиациалык туруктуулук проблемасы (РТП) эсептелет. РТП металлдар, жарым өткөргүчтөр, диэлектриктер, жогорку өткөргүчтөр, полимерлер, иондук жана супериондук кристаллдар сыяктуу физика-химиялык табияттагы катуу телолорго таасир эткен радиациялык аракеттеринин суроолорун өзүнө камтыйт. Бул проблеманын маңызы төмөнкүчө: катуу телонун бузулуу механизмдерин азайтуу жана аларды практикалык максатта колдонуу б.а. нурданган обьектинин өзгөрүүсүн минимумга жеткирүү же стабилдештирүү болуп эсептелет.

Сырткы жогорку кубаттуулуктагы энергия агымдары катуу зат менен өз ара аракеттенишкенде, анын абалы термодинамикалык тең салмактуулуктан алыс болот, атап айтканда, мындай ачык системаларда тыгыздыктын термелүүсүнөн көп сандагы чекиттик кемчиликтер радиациялык дефекттер жана системанын башка параметрлери пайда болушу мүмкүн, бул системада болуп жаткан өзүн-өзү уюштуруу процесстеринин негизги атрибуту болгон тартиптүү түзүмдөрдүн кемчиликтеринин пайда болушуна алып келет. Жегич-галоиддик кристаллдарда радиациялык дефекттердин бөлүкчөлөрүнүнүн ортосундагы өз ара аракеттенишүүлөр алардын серпилгичтүү жана пластикалуулук касиеттери, кристаллдардын оптикалык, электрдик, люминесценттик жана башка кээ бир касиеттери жөнүндө элементардык түшүнүктөр катуу заттардын физикасы үчүн теориялык жактан да, практикалык жактан да каралган негизги маселелерден болуп эсептелет.

Жыйынтыктар жана талкуулар

Ыраакы чыгыштын (РФ) окумуштуулары атап айтканда В. А. Рокосейдин «Жегич-галоиддик кристаллдарындагы нурлануу чекитинин кемчиликтеринин тартиби» деген эмгегинде жегич-галоиддик кристаллдар (ЖГК) ар түрдүү материалдардагы физикалык процесстерди изилдөө үчүн «үлгү объектилери» болуп саналат жана алардын артыкчылыгы көп функционалдуу материалдар катары маанилүү техникалык колдонууга ээ болот деп белгилеп кеткен. ЖГКлар салттуу түрдө иондоштуруучу нурлануунун дозиметрлери жана сцинтилляциялык детекторлор катары колдонулуп, оптикалык кванттык генераторлорду жана оптикалык сактоочу техникалык түзүлүштөрдү иштеп чыгууда чоң кызыгууну туудурат.

Азыркы учурда люминесценциянын жогорку кванттык кирешелүүлүгүнө ээ болгон, эталондук сцинтиллятор катары колдонулган NaCl, NaI кристаллдары кара заттын бөлүкчөлөрүнүн энергиясын каттоодо өтө актуалдуу жана эксперименттерде негизги аныктоо бирдиги катары да колдонулат. Аларды колдонуунун жана изилдөөнүн узак тарыхына карабастан бул системаларда сцинтилляциялык импульстун пайда болуу механизмдери толук ачыла элек (Воеводин, 2007). Сцинтилляторлордо энергияны берүү механизмдерине тышкы таасирлерди изилдөө сцинтилляторлордун сапатын жогорулатуунун реалдуу жолдорун аныктоого мүмкүндүк берет. Экситондук энергиянын берилишине байланышкан люминесценциянын максималдуу маанисин аныктоо үчүн экситондордун өзүн-өзү кармаганга чейинки эркин жолунун узундугу маанилүү роль ойнойт. Ушуга байланыштуу өзүн-өзү кармоого чейин экситондун орточо эркин жолго таасир этүүгө мүмкүндүк берүүчү физикалык параметрди тактоо зарыл. Электрондук дүүлүктүрүүсүнүн радиациялык релаксациясынын эффективдүүлүгүнө түздөн-түз таасир этүүчү фактор болуп бир октуу деформация саналат. Ал эксперименттерде көрсөтүлгөндөй экситондордун өзүн-өзү кармаганга чейин жана андан кийинки радиациялык аннигиляцияга чейинки орточо эркин жолун бир топ кыскартат.

Жыйынтыгында, регулярдуу торчолордо экситондордун өзүн-өзү кармап калуу ыктымалдуулугунун кескин өсүшү жана анын натыйжасында ЖГКдын ички (экситондук) люминесценциясынын жогорулашы күтүлөт. Корреляцияланган электрон-тешик жуптарынын

пайда болушунун эсебинен люминесценция борборлоруна энергиянын өтүү механизми болушу да мүмкүн. Жегич газ кристаллдарындагы электрондук дүүлүктүрүүнүн (ЭЭ) пайда болуу, эволюция процесстери боюнча эбегейсиз зор эксперименталдык жана теориялык изилдөөлөр жүргүзүлгөн (Овчинников, 2008). Электрондун радиациялык ажыроосу (люминесценциянын ар кандай түрлөрүнүн пайда болушу) (Лисицын & Яковлев, 2002) менен бирге кристаллдын торчосунда чекиттик дефекттердин пайда болушу теориялык жактан күтүлбөгөн радиациялык ажыроого чейинки абалына өзгөчө көңүл бурулган - жуп Frenkel кемчиликтери – F, H жана α, I (Лисицын & Яковлев, 2002). ЖГКда ар кандай электрондордун ажыроо алдындагы абалына (аниондук экситондор, валенттик тешиктер, электрон-тешик түгөйлөрү) багытталган деформациялык эффект эки процесстин өз ара байланышын комплекстүү изилдөө боюнча оригиналдуу эксперименттик натыйжаларды алууга мүмкүндүк берет.

Заманбап концепциялар боюнча, ЖГКдагы өз алдынча локализацияланган экситон (SEL) тешик компоненти галогендик квазимолекула X_2 структурасына ээ болгон формага туура келет - эки жанаша аниондук торчолордун аймагында жайгашкан жана беттеги кристаллографиялык октуну бойлото багытталган, борборлоштурулган ЖГКдар болуп эсептелет. Аны түзүүгө катышкан эки аниондук торчолорго салыштырмалуу көзөнөкчө компонентинин жайгашкан жерине жараша ALE конфигурациясынын үч түрүн көрсөтсөк болот: борбордук симметриялуу (борбордо) начар асимметриялуу (начар борбордон тышкары) жана X_2 күчтүү жылышынын учуру - аниондук түйүндөрдүн биринин капталында, катуу асимметриялуу (борбордон алыс). Бул кристалл түзүүчү бөлүкчөлөрдүн жергиликтүү симметриясына ALE мүнөздөмөлөрүнүн сезгичтиги (мисалы, Стокстун жылышынын мааниси) ар кандай EV ажыроо каналдарынын эффективдүүлүгүнүн эволюциясын изилдөөнүн баштапкы идеясына түрткү болгон. Жергиликтүү жана серпилгич деформация аркылуу алардын түздөн-түз кристаллдык чөйрөнүн симметриясынын таасири болуп саналат.

Акыркы изилдөөлөрдө локалдык торчонун (решетканын) деформациясы жегичтин (щелочтун) гидроксидин жеңил гомолог катиондор менен максаттуу аралаштыруу жолу менен ишке ашырылат, алардын иондук радиустары негизги торчонун катионунан (мисалы, NaCl-Li, KCl-Na) кыйла кичине. ЖГКлардын АЛЭнин релаксация процесстерин кооптуу факторлор тармагында изилдөө иондоштуруучу нурлануунун таасири астында да ачык-айкындуулуктун кеңири диапазону менен физикалык мүнөздөмөлөрү (радиацияга сезгич же радиацияга туруктуу) бар материалдарды түзүү жана оптикалык материалдарды изилдөө үчүн абдан келечектүү жана актуалдуу багыт болуп саналат. Бул изилдөөлөрдөн төмөнкүдөй жыйынтыктарды чыгарууга болот:

1. NaCl кристаллдарындагы өзүн-өзү кармаган экситондордун асимметриялык конфигурациясынын структурасына кристаллографиялык багытта колдонулган бир октуу серпилгичтүү деформациянын түз таасири эксперименталдык түрдө аныкталган, ал максимум 3,5 эВ жана жарым туурасы 0,75 эВ менен 85 К жана STE π-люминесценциясынын интенсивдүүлүгү (7-10 эсе) туура келет, ал эми термикалык стимулдаштырылган люминесценциянын спектрлеринде максимум 2,7 эВ табылган, бул жарык литий талаасында дүүлүктүрүүнүн люминесценциясы катары түшүндүрүлөт.

2. Төмөнкү температурадагы серпилгич деформацияны колдонуу менен RbI кристаллдарындагы Ex-люминесценциянын ички табияты STEнин E_x-люминесценциясынын (3,1 эВ), ички σ-люминесценциясынын (3,89 эВ) интенсивдүүлүгүнүн синхрондуу сызыктуу өсүшүнүн негизинде аныкталган жана серпилгичтүү деформация даражасын жогорулатууга (ε =0,5÷1,0%) болот.

3. VUV спектралдык аймагында фотондордун түз оптикалык түзүлүшү жана KCl-Na кристаллдарында 2,8 эВ максимум жана люминесценция берген натрийге жакын экситон сымал дүүлүктүрүүнүн рекомбинациялык түзүлүшү эксперименталдык түрдө аныкталган.

К. Жубанов атындагы «Ак -Төбө» аймактык университетинин «Материалдардын радиациялык физикасы» илимий борборунун окумуштууларынын негизги илимий изилдөөлөрү "Колдонмо математика жана информатика", "Материалдардын нурлануу физикасы", "Полимерлер, композиттик материалдар лабораториясы", "Наноматериалдарды талдоо лабораториясы" сыяктуу лабораторияларда жүргүзүлүп, алардын баары гранттардын жана университеттин бюджетинин эсебинен заманбап илимий жабдуулар менен системалуу жабдылган, бул Россиянын, Кытайдын, Польшанын, Эстониянын окумуштууларынын катышуусу менен эл аралык деңгээлде изилдөө жүргүзүүгө мүмкүндүк берет.

К. Ш. Шункеев (2020–ж.) “Табигый наноматериалдык диатомиттин өзгөчөлүктөрүн изилдөөдө электрон микроскоптук ыкма” деген жумушта диатомит материалынын топографиясы боюнча алынган натыйжалардын негизинде ал селективдүүлүгү жана жетишерлик жогорку борпондук жөндөмдүүлүгү менен айырмаланып, суу тазалоо үчүн чыпкасы катары колдонулушу мүмкүн, анткени чыпкасы керек болгон бөлүктөрү аркылуу токтотууларды, коллоиддик жана чыныгы чечимдерди өткөрүү менен ишке ашат, таркатылган материал (түйүлдүк жана порошок чыпкасы) бир катар (серия) түрүндө жасалып, барак сыяктуу труба түрүндө болот. Электрондун экинчи режиминдеги электрон микроскопиясынын сүрөттөрү боштукту көрсөтөт жана палеофауна, палеофра калдыктарынын курулуштарынан турган түзүлүштү берет. Диатомиттин түзүлүшү негизинен бүтүндөй кабык түрүндө болот жана ал структурасы бузулган, диатом калдыктарынын багытсыз түзүлүшү менен өзгөчөлөнөт. “Төмөнкү температурадагы деформация учурунда NaCl, KI, KCl, NaCl-Li кристаллдарындагы экситон-фонондук өз ара аркеттенишүү” деген жумушунда серпилгич деформация жана жарык цифра-гомолог чөйрөсүндөгү NaCl, KI, KCl, NaCl-Li кристаллдарынын чыгуусу сыяктуу люминесценция NaCl кристаллдарындагы өзүн-өзү камтыган чыгуучулардын асимметриялык конфигурациясынын түзүмүнө бир огу серпилгич деформациясынын түздөн-түз таасири эксперименттик түрдө аныкталган, ал жыштыктын жогорулашы менен жазылган (7-10 эсе). NaCl-Li кристаллдарындагы төмөнкү температурадагы серпилгич деформациясы учурунда жылуулук стимулдаштырылган флуоресценция спектринен максималдуу 2,7 ЭВ менен жаңы нурлануу диапазондору табылган, бул жарык литий талаасында чыгууга окшогон люминесценциялардын пайда болушу менен түшүндүрүлгөн (Шункеев, 2012).

Убаев Жигер Картбаевич (2021-ж.) “NaCl, KCl, KI, RbI кристаллдарынын жарык гомолог катионунун, серпилгич деформация чөйрөсүндөгү экситон сымалдардын люминесценциясы” деген эмгегинин негизинде NaCl, KCl, KI, RbI кристаллдарындагы люминесценттик жана термоактивдүү спектроскопиянын эксперименттик ыкмалары, жарык цитата-хомолог талаасы, сергек деформациясы кеңири температура аралыгында (4,2-500 K) жана спектр (1,5 — 7,7) болгондугу такталды. Санариптик технологиянын негизинде SpectraScan жана ThermoScan спектринде 200-850 нм (1÷50 нм / с) берүү ылдамдыгы атайын программалар менен көзөмөлдөлөт, ошондой эле МСД-2 жарык күчүнүн монокроматору менен жабдылган люминесценттик, термоактивдүү спектроскопия "Намаматсу" фирмасынын фотон-метрдик режиминде иштеп жаткан фотоэлектрдик көбөйткүчтөр, төмөн температурадагы (атмосфералык) ишмердикти жүзөгө ашырууга мүмкүндүк берген атайын криостат учурунда NaCl (Harshaw), NaCl-Li, NaCl (Галит) кристалдарынын рентгенолюминесценция жана термостимуляцияланған люминесценция спектрлери алынган. Бул кристаллдарынын рентген флуоресценциясын жана термостимуляцияланган

люминесценциясын изилдөө үчүн жарык шилтемелер люминесценция спектрлерин изилдөө боюнча жеңил катиондор менен (Li) төмөн температурадагы (85К) деформация толуктоо таасиринен сезгич нурлануу боюнча автолокализацияланган чыгууда түздөн-түз таасири “экситон” сыяктуу түзүмүнүн асимметриялык конфигурациясына мүнөздүү алюминийдин интенсивдүүлүгүн бекемдөөгө багытталган тордун серпилгич кысуусунан улам пайда болот. F-борборлордун жылуулук бузулушуна байланыштуу температура аралыгында (ε=1%) кристаллдардын NaCl-Li, NaCl серпилгич кристаллдарынын термостимуляцияланган флуоресценциялык спектрин изилдөөдө, максималдуу 3,5 ЭВ жана 2,7 ЭВ менен нурлануу аныкталган, алар автолокализацияланган тешиктерден NaCl, NaCl-Li борборлорунан келип чыккан өтүмдүүлүк электрондорун бириктирүүнүн натыйжасында түшүндүрүлөт (Шункеев, 2012).

Төмөнкү таблицада бул кристаллдардагы түстөнүү борборлорлорун кароодо символикалык белгилери, моделдери, абсорбциялык тилкелердин максимумдары, жайгашкан жери жана температурасы аныкталган (табл. 1).

1-таблица. NaCl, RbI, KI жана KCl кристаллдарындагы түстөнүү борборлорлорунун символикалык белгилери, моделдери, абсорбциялык тилкелердин максимумдары, жайгашкан жери жана температуралык маанилери

Кристалл	Символ	Модель	Максимумдардын жутулуу энергиясы, (эВ)	Жоголуу температурасы (К)
NaCl	F	$V_a^+ e^-$	2.7	410
NaCl	H	$(X_2^-)^0{}_a, i_a^0$	3.7	26-40
NaCl	α	V_a^+	7.09	30
NaCl	I	Xi^-, i_a^{--}	5.35	40
RbI	F	$V_a^+ e^-$	1.7	390
RbI	H	$(X_2^-)^0{}_a, i_a^0$	3.5	45-59
RbI	α	V_a^+	6.1	-
RbI	I	Xi^-, i_a^{--}	5.4	27
KI	F	$V_a^+ e^-$	1.88	380
KI	H	$(X_2^-)^0{}_a, i_a^0$	2.23;2.78	55
KI	α	V_a^+	5.2	-
KI	I	Xi^-, i_a^{--}	4.4	>50
KCl	F	$V_a^+ e^-$	2.3	≈400
KCl	H	$(X_2^-)^0{}_a, i_a^0$	3.69;2.38	43;54
KCl	α	V_a^+	6.92	-
KCl	I	Xi^-, i_a^{--}	6.35	28,5;35

Кристалл гидростатикалык кысууда басымдын өлчөмдөрү 0дөн 1,69 Г. Паскалга чейин жогорулап, люминесценциясынын интенсивдүүлүгүнүн төмөндөшү байкалган. Белгилей кетсек, кристаллдын өлчөө температурасы 78К болгондо төмөнкү температурадагы серпилгич деформациянын таасири астында ПУЭ люминесценциясы боюнча изилдөө жүргүзүлдү жана эластикалык деформациянын таасири МКСДАГЫ ПУЭН люминесценциянын интенсивдүүлүгүнүн кескин жогорулашына өбөлгө түзгөндүгү аныкталды (Лисицына & авт., 2002). 1-таблицада 100 К-де өлчөнгөн NaCl, KCl, KI жәнe RbI кристалдарынын рентгендик люминесценция спектрлери аныкталган. Натрий концентрациясына көз каранды кристаллдардагы 2,8 эВ жана 3,1 эВ люминесценциянын интенсивдүүлүгүн күчөтүүчү эффект бөлмө температурасына чейин бышпаган тешиктердин эркин жүрүшү натрий талаасынын узундугуна жараша болот “экситон” сымал толкундоолордун рекомбинациялык топтолушунун натыйжасында түшүндүрүлдү (Убаев & авт., 2020), (Осмоналиев & Арапов, 1999).

М. М. Садырова, Б. А. Каденова жана А. А. Орозбаеванын жумуштарында матрицалар

жана дефекттердин топторунун окшоштуктарын пайдаланып, жегич-галоиддик кристаллдардагы электрондук түстөнүү борборлорундагы ар бир бөлүкчөлөрдүн пайда болуусунун физикалык моделдештирүүсү сунушталып, моделдештирүүнү пайдалануу түстөнүү борборлорунун бири-бирине айлануу механизмдерин, курамын жана түзүлүшүн аныктоого мүмкүнчүлүк берет деген жыйынтыка келишкен. Ошондой эле түстөнүү борборунун бири-бирине айлануусун физикалык моделдештирүүсүнөн анын курамынын жана түзүлүшүнүн өзгөрүүсү каралган түстөнүү борборуна белгилүү бир иондук-электрондук квазибөлүкчөнүн келип кошулуусу же андан бөлүнүп кетүүсү менен аныкталат деген жыйынтыка келишкен.

Төмөнкү таблицада (табл. 2) 1-ден F – түстөнүү борборунун түзүлүшү $(Na_c^+e^-)$ түрүндө болушу керек, т.а. берилген борбордун электрону Na_c^+ жана V_a^+ дун ортосунда бөлүнүшү мүмкүн же V_a^+ менен катар жайгашкан Na^+ ионунда болушу мүмкүн.2-ден E-борборлорунан ар кандай удаалаш өзгөртүп түзүүлөр менен *Д - , Д₁ -, Д₂-, С₁ , С₂ -, С₃ -, В₁ -, В₂* борборлору алынышы мүмкүн. 2-жадыбалда тиешелүү активатордук түстөнүү борборлорунун курамы келтирилген. *3-дөн Е-* борборунун электронунун спинине карама-каршы спинге ээ болгон электрону бар $(V_a^+e^-)$ квазибөлүкчөнү кошобуз. Анда $(V_a^+e^-)_2$ квазибөлүкчөсүнүн пайда болушун өзгөртүп түзүү үчүн E- борборунун курамында V_a^+ квазибөлүкчөсүнүн болушу, б.а. Е- борборунун түзүлүшү $(Ag_c^+e^-\ V_a^+)$ түрүндө болушу керек. 4-дөн борборлордун ар түрдүү мультиплеттерине кирген ар кандай дефекттердин курамын аныктоо сунуш кылынган (Каденова & авт., 2012), (Каденова & Орозбаева, 2015).

2-таблица. NaCl-Ag кристаллдарында жаркыроо жана электрондук түстөнүү борборлорун өзгөртүп түзүүнүн операторлору жана матрицалары

Борборлордун белгилениши	$\Delta E_m^{æ}$ (эВ)	Борборлордун курамы	Борборлордун матрицалары ($\Delta E_m^{æ}$, ΔI, ΔS)
B_1-	4,25	$Ag_c^+(V_a^+e^-)_2$	(4,25; 1; 0)
B_3 -	4,80	$Ag_c^+(V_a^+e^-)_4$	(4,80; 2; 0)
-	5,35	$Ag_c^+(V_a^+e^-)_6$	(5,35; 3; 0)
Ag_c^+ I тиби	5,90	$Ag_c^+(V_a^+e^-)_8$	(5,90; 4; 0)
-	6,45	$Ag_c^+(V_a^+e^-)_{10}$	(6,45; 5; 0)
E-	3,35	$Ag_c^+V_a^+$	(3,35; 1/2; ±1/2)
C_4-	3,90	$Ag_c^+V_a^+(V_a^+e^-)_2$	(3,90; 3/2; ± 1/2)
B-	4,45	$Ag_c^+V_a^+(V_a^+e^-)_4$	(4,45; 5/2; ± 1/2)
A-	5,00	$Ag_c^+V_a^+(V_a^+e^-)_6$	(5,00; 7/2; ± 1/2)
II тиби	5,55	$Ag_c^+V_a^+(V_a^+e^-)_8$	(5,55; 9/2; ± 1/2)
K-	3,00	$2(Ag_c^+V_a^+)$	(3,00; 1; ± 1)
Д₁-	3,55	$2(Ag_c^+V_a^+)(V_a^+e^-)_2$	(3,55; 2; ± 1)
C_2-	4,10	$2(Ag_c^+V_a^+)(V_a^+e^-)_4$	(4,10; 3; ± 1)
B_2-	4,65	$2(Ag_c^+V_a^+)(V_a^+e^-)_6$	(4,65; 4; ±1)
III тиби	5,20	$2(Ag_c^+V_a^+)(V_a^+e^-)_8$	(5,20; 5; ±1)
Д-	3,75	$3(Ag_c^+V_a^+)(V_a^+e^-)_4$	(3,75; 7/2; ± 3/2)
C_1-	4,30	$3(Ag_c^+V_a^+)(V_a^+e^-)_6$	(4,30; 9/2; ± 3/2)
Д₂-	3,40	$4(Ag_c^+V_a^+)(V_a^+e^-)_4$	(3,40; 4; ± 1/2)
C_3.	3,95	$4(Ag_c^+V_a^+)(V_a^+e^-)_6$	(3,95; 5; ± 1/2)
M -	1,70	$(V_a^+e^-)_2$	(1,70; 1; 0)
O-	1,10	$(V_a^+e^-)_4$	(1,10; 2; 0)
Q-	0,50	$(V_a^+e^-)_6$	(0,50; 3; 0)
F-	2,65	$Na_c^+(V_a^+e^-)$	(2,65; 1/2 ; ± 1/2)
R-	2,05	$Na_c^+(V_a^+e^-)(V_a^+e^-)_2$	(2,05; 3/2; ±1/2)
N-	1,45	$Na_c^+(V_a^+e^-)(V_a^+e^-)_4$	(1,45; 5/2; ± 1/2)
P-	0,85	$Na_c^+(V_a^+e^-)(V_a^+e^-)_6$	(0,85; 7/2; ± 1/2)

Конденсирленген чөйрөдөгү радиациалык физиканын негизги аспектилеринин бири болуп радиациалык туруктуулук проблемасы (РТП) эсептелет. РТП металлдар, жарым өткөргүчтөр, диэлектриктер, жогорку өткөргүчтөр, полимерлер, иондук жана супериондук кристаллдар сыяктуу физика-химиялык табияттагы катуу телолорго таасир эткен радиациялык аракеттеринин суроолорун өзүнө камтыйт. Бул проблеманын маңызы төмөнкүчө: катуу телонун бузулуу механизмдерин азайтуу жана аларды практикалык максатта колдонуу, б.а. нурданган обьектинин өзгөрүүсүн минимумга жеткирүү же стабилдештирүү болуп эсептелет. Сырткы жогорку кубаттуулуктагы энергия агымдары катуу зат менен өз ара аракеттенгенде, анын абалы термодинамикалык тең салмактуулуктан алыс болот, атап айтканда, мындай ачык системаларда тыгыздыктын термелүүсүнөн көп сандагы чекиттик радиациялык дефекттер жана системанын башка параметрлери пайда болушу мүмкүн, бул системада болуп жаткан өзүн-өзү уюштуруу процесстеринин негизги атрибуту болгон тартиптүү түзүмдөрдүн кемчиликтеринин пайда болушуна алып келет.

Адабияттар

Воеводин, В. Н. (2007). Конструкционные материалы ядерной энергетики – вызов 21 века. *Вопросы атомной науки и техники. Серия "Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение"* ((*2*)), 10–22.

Каденова, Б. А., Арапов, Б., Арапов, Т. Б. & Садырова, М. М. (2012). Группа преобразований в создании наноструктурных дефектов в ионных кристаллах. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*, (*11*), 48–53.

Каденова, Б. А. & Орозбаева, А. А. (2015). Упругие напряжения в щелочно-галоидных кристаллах. XI Иссык-Кульской международной летней школе по радиационной физике физика твердого тела. *SCORPh*, 40–42.

Лисицын, В. М. & Яковлев, А. Н. (2002). Кинетика релаксации первичных пар радиационных дефектов в ионных кристаллах. *Физика твердого тела*, *(11(44))*, 1974–1978.

Лисицына, Л. А., Корепанов, В. И. & Лисицын, В. М. (2002). Сравнительный анализ спектральных характеристик триплетных автолокализованных экситонов и F2-центров в щелочногалоидных кристаллах. *Физика твердого тела*, *(22(44))*, 2135–2138.

Овчинников, В. В. (2008). Радиационно-динамические эффекты. Возможности формирования уникальных структурных состояний и свойств конденсированных сред. *Успехи физических наук*, *((9(178))*, 991–1001.

Осмоналиев, К. & Арапов, Б. (1999). Люминесценция электронных возбуждений и их распад с образованием дефектов в ионных кристаллах (182).

Убаев, Ж. К., Маратова, А. Г., Шункеев, К. Ш. & Мясникова, Л. Н. (2020). *Ав. св. №12980. Цифровая технология сканирования интегральной туннельной люминесценции и термостимулированной люминесценции щелочно галоидных кристаллов*.

Шункеев, К. Ш. (2012). *Люминесценция и радиационные дефекты в щелочногалоидных кристаллах при понижении симметрии решетки: монография*. АГПИ (520).