DOI: https://doi.org/10.69722/1694-8211-2024-57-21-28
УДК: 54.057

***Каденова Б. А.**, физ.-мат. илимд. канд., доцент*
kadenova66@mail.ru
ORCID: 0009-0004-2642-2006.,
***Токтосунова** Б., магистр,*
***Абдыгалы кызы Т**., магистр*
ОшМУ, Ош ш., Кыргызстан

ЖЕГИЧ-ГАЛОИДДИК КРИСТАЛЛДАРДАГЫ БАШТАПКЫ НУРЛАНУУДА ПАЙДА БОЛГОН ДЕФЕКТИЛЕРДИН КАСИЕТТЕРИ ЖӨНҮНДӨ НЕГИЗГИ ИДЕЯЛАР

Иондоштуруучу нурлануунун катуу заттарга тийгизген таасири аларда жаңы структуралык дефектилердин пайда болушуна жана нурланууга чейин болгон дефектилердин өзгөрүшүнө алып келет. Нурлануу аркылуу кристаллдардын структурасында жаңы дефектилердин пайда болушу нурлануу аяктагандан кийин көптөгөн физикалык жана

химиялык касиеттердин өзгөрүшүнөн көрүнөт. Катуу заттардын радиациялык физикасында радиациялык дефектилердин табиятын жана алардын ар кандай материалдарга айлануу механизмдерин ачууга байланышкан маселелер негизги орундардын бирин ээлейт. Бул эмгекте жегич-галоиддик кристаллдардын радиациялык кемчиликтеринин негизги түшүнүктөрү жана ар кандай активдүү таасирлердин астындагы кемчиликтердин механизмдери жөнүндө учурдагы идеялар айтылган. Кристаллдын мезгил-мезгили менен түзүлүшүнөн ар кандай четтөө кемчиликтер деп аталат. Акыркысы, адатта, пунктка бөлүнүп, узартылат. Пойнт кемчиликтери кристалл тордун бурмалоолору бир түйүндүн тегерегинде топтолгондугу менен өзгөчөлөнөт, башкача айтканда, алар интератомдук тартиптик аралыкта локалдашат.

***Түйүндүү сөздөр**: радиациялык дефектилер, френкелдик дефектилер, чектик энергия, жылуулук флуктуациясы, дефектилердин диффузиясы.*

***Каденова Б. А.**, канд. физ.-мат. наук., доцент,*
kadenova66@mail.ru
ORCID, 0009-0004-2642-2006.,
***Токтосунова Б. Т.**, магистрант,*
***Абдыгалы ksps Т.**, магистрант,*
ОшГУ, г. Ош, Кыргызстан

ОСНОВНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О СВОЙСТВАХ ПЕРВИЧНОЙ РАДИАЦИОННОЙ ДЕФЕКТНОСТИ В ЩЕЛОЧНО-ГАЛОИДНЫХ КРИСТАЛЛАХ

Воздействие ионизирующей радиации на твердые тела приводит к возникновению в них новых дефектов структуры и преобразованию дефектов, существовавших до облучения. Создание радиацией новых дефектов структуры кристаллов проявляется после окончания облучения в изменении многих физических и химических свойств. Вопросы, связанные с выяснением природы радиационных дефектов и механизмов их преобразования в различных материалах, занимают одно из центральных мест в радиационной физике твердого тела.

В данной работе выражены современные представления об основных понятиях радиологических дефектов щелочно-галоидных кристаллов и механизмах возникновения дефектов при различных активных воздействиях. Любое отклонение от периодической структуры кристалла называется дефектом. Последний обычно делится на статьи и расширяется. Точечные дефекты отличаются тем, что искажения кристаллической решетки сосредоточены вокруг узла, т. е. локализованы на межатомном порядковом расстоянии. Любое отклонение от периодической структуры кристалла называется дефектом. Последний обычно делится на статьи и расширяется. Точечные дефекты отличаются тем, что искажения кристаллической решетки сосредоточены вокруг узла, т. е. локализованы на межатомном порядковом расстоянии.

***Ключевые слова:** радиационные дефекты, тепловой поток, френкелевские дефекты, пороговая энергия, диффузии дефекты.*

BASIC IDEAS ABOUT THE PROPERTIES OF PRIMARY RADIATION DEFECTS IN ALKALINE-HALIDE CRYSTALS

***Kadenova B. A.**, cand. phyz-mathem. science.,*
associate professor
kadenova66@mail.ru
ORCID: 0009-0004-2642-2006.,
***Toktosunova B. T.**, post graduate*
***Abdygaly kyzy T.**, post graduate*
Osh SU, Osh, Kyrgyzstan

The impact of ionizing radiation on solids leads to the appearance of new structural defects in them and the transformation of defects that existed before irradiation. The creation of new defects in the structure of crystals by radiation manifests itself after the end of irradiation in a change in many physical and chemical properties. Questions related to the elucidation of the nature of radiation defects and the mechanisms of their transformation in various materials occupy one of the central places in the radiation physics of solids.

This paper expresses modern ideas about the basic concepts of radiological defects of alkali-halide crystals and the mechanisms of defects under various active exposures. Any deviation from the periodic structure of the crystal is called a defect. The latter is usually divided into articles and expanded. Point defects are distinguished by the fact that the distortions of the crystal lattice are concentrated around the node, i.e. localized at the interatomic order distance.

Keywords: *radiation-induced defects, heat flow, frenkel defects, threshold energy, diffusion defects.*

Киришүү

Узартылган кемчиликтер сызыктуу (ыдыратуу), пландаштыруучу (интерфейсалдык чек аралар) жана көлөмдүү (кебетелер, жаракалар) болушу мүмкүн. Алардын бир, эки жана үч багыттагы өлчөмдөрү тиешелүүлүгүнө жараша бир кыйла чоң.

T > 0 боюнча барабар реалдуу кристаллдар ар дайым потенциалдуу энергиянын минимумуна ылайык келген аз сандагы кемчиликтерди камтыйт. Кошумча кемчиликтер ар кандай таасирлери менен киргизилет: жылытуу, деформация, бөлүкчөлөр менен таасир этүү ж. б.

Кристаллдарда кемчиликтердин пайда болушун эксперименттик изилдөө 19-кылымда башталган. Бирок микроскоптук деңгээлдеги бул кубулуштун физикасын түшүнүүдө олуттуу прогресс 1920-жылдардын аягына байланыштуу болушу мүмкүн. Ошол учурда Россияда Ю. И. Френкелдин жетекчилиги астында иш башталды. Кемчиликтер илими ядролук куралдарды түзүүгө жана түзмөктөрдүн радиациялык каршылык көйгөйүнө байланыштуу 1940-1950-жылдары дагы бир импульс алды. Бүгүнкү күнгө чейин окумуштуулар жана чоң деңгээлде мурунку СССР окумуштуулары катуу заттарда кемчиликтерди түзүү физикасы боюнча кеңири эксперименттик жана теориялык материал топтошту. Бирок көптөгөн маселелер дагы эле чечилүүдөн алыс, атап айтканда, эң оор милдеттердин бири болуп ар кандай материалдарда кемчиликтердин микроскоптук табиятын көрсөтүү саналат.

Радиациялык кемчиликтер корпустук же электромагниттик нурлануунун таасири астында пайда болгон кристаллдын түзүлүшүндөгү туруктуу бузулуштар болуп саналат.

Буга чейин белгиленгендей, кемчиликтерди түзүүнүн ар кандай механизминдеги негизги түзүмдүк бузулуштар Френкель жуптары болуп саналат. Адатта, бош орундун жана интерституционалдык атомдун жок болушуна тоскоолдук кылган энергетикалык тоскоолдук бар, бирок ал абдан аз. Бирок Френкель түгөйүнүн эки компоненти да, же алардын бири, адатта, абдан мобилдүү болуп, жуптар бөлүнүп турат. Туура келбестик жана башка түзүмдүк кемчиликтер менен өз ара иштешүүнүн натыйжасында кристаллдардын радиациялык зыянын аныктаган туруктуу комплекстер түзүлөт [1].

Жыйынтыктар жана талкуулар

Жегич-галоиддик кристаллдарды ысытуу, деформация, нурлануу жана башкалар сыяктуу активдүү таасирлер дефектилердин пайда болушуна алып келет. Бул жерде жылуулук флуктуациясына жана дефектинин пайда болушунун радиациялык механизмдерине токтолобуз. Ар кандай механизмдин негизги продуктусу Френкель жуптарынын пайда болушу. Акыркы натыйжа бул V жана I жуптарынын

компоненттеринин кристаллдын үстүнөн жылышынын (диффузиясынын) жана туруктуу комплекстердин, атап айтканда, аралашма кемтиктеринин пайда болушу менен аныкталат.

Механикалык таасирлерге келсек, салыштырмалуу аз деформациялар (Гук мыйзамынын чегинде) чекиттик кемчиликтердин пайда болушуна түздөн-түз себепкер болбостон, жогорудагы эки механизмдин ишке ашырылышынын шарттарына таасирин тийгизет жана биз бул таасирди талдайбыз. Маанилүү деформациялар менен кристаллдарда кеңейтилген дефект-дислокациялар пайда болот [2].

Радиациялык дефектилер корпускулярдык же электромагниттик нурлануунун таасири астында пайда болгон кристаллдын структурасынын аздыр-көптүр туруктуу бузулушу деп аталат.

Белгиленгендей, дефектинин пайда болушунун ар кандай механизминдеги негизги структуралык бузулуулар Френкель жуптары болуп саналат. Көбүнчө боштуктун жана интерстициалдык атомдун жок болушуна тоскоол болгон энергетикалык тоскоолдук бар, бирок ал анча чоң эмес. Бирок Френкель жубунун эки компоненти же алардын бири, адатта, абдан мобилдүү болуп саналат жана жуп болуп айырмаланат. Кошумчалар жана башка структуралык кемчиликтер менен өз ара аракеттенүүнүн натыйжасында кристаллдын радиациялык бузулушун аныктаган туруктуу комплекстер пайда болот.

Жалпы учурда радиациянын таасири астында дефектилердин пайда болушунун эки мүмкүнчүлүгү бар: тез келген (жогорку ылдамдыктагы) бөлүкчөнүн торчодогу атом менен түз кагылышы же кристаллдын электрондук подсистемасынын дүүлүгүүсүнө байланыштуу болгон татаал процесс.

Биринчи абалды карап көрөлү. Албетте, бул байкаларлык импульсту алып жүрүүчү бөлүкчөлөр үчүн, башкача айтканда, электрондор, иондор жана нейтрондор үчүн ишке ашырылат. Электромагниттик кванттар g-кванттардай энергиялуу болсо да, атомдорду торчодон түз чыгарышпайт. Бирок өз энергиясын ядролук фотоэффектиде электрондорго өткөрүп берүү менен (бир нече мегаэлектронвольтко чейин) дефектинин пайда болушун башташат. Таасирлөө механизми менен атомдун жылышы ушунчалык тездик менен ишке ашат, анын чөйрөсү кайра түзүүгө үлгүрбөйт жана процесс эң аз энергия керектөө жолуна түшпөйт. Бул ишенимдүү жылыш үчүн торчо атомуна берилиши керек болгон E_d энергиясы жылуулук флуктуациясынын дефект пайда болуу энергиясынан 4-5 эсе жогору болушуна алып келет. Адатта, E_d ар кандай материалдар үчүн 10-20 эВ болуп саналат.

Торчо атомуна которулган энергия E_Rди импульстун жана энергиянын сакталуу закондору боюнча эсептөөгө болот, таасир абсолюттуу ийкемдүү болот. E_R мааниси борбордук кагылышуу үчүн жана релятивисттик эмес бөлүкчөлөр үчүн (иондор жана нейтрондор) максималдуу болот.

$$E_R^{\max} = \frac{4M_1M_2}{(M_1+M_2)^2} \qquad (1)$$

мында M_1 жана M_2 – түшкөн бөлүкчөнүн жана торчонун атомунун массалары, E – бөлүкчөлөрдүн энергиясы, ал эми торчонун атому тынч абалда деп эсептелет [3].

$E_R > E_d$ болсо, анда дефект пайда болот. Торчо атомуна берилген энергия олуттуу болушу мүмкүн ($E_R >> E_d$), ал эми жылыган атом кристаллда кыймылдап, жаңы атомдорду түйүндөрдөн чыгарып салат. Булар да, өз кезегинде, кемчиликтерди пайда кылуу үчүн жетиштүү энергия алышат. Ошентип, жылышуулар каскады өнүгөт жана эң жөнөкөй моделде жылышкан атомдордун жалпы саны төмөнкүчө аныкталат:

$$N_d = \frac{E_R}{2E_d} \qquad (2)$$

мында E_R тез бөлүкчө каскаддагы негизги атомго берилген энергияны билдирет, ал эми E_d чоңдугунун мааниси берилген материалдын радиацияга туруктуулугун баалоо үчүн абдан маанилүү. Көп сандаган теориялык жана эксперименталдык изилдөөлөр ар кандай кристаллдар үчүн E_d маанилерин аныктоого арналган. Эксперименттерде, эреже катары, моноэнергетикалык электрон нурлары колдонулат. Электрондордун бөлүкчөлөр катары тандалышы алар үчүн тездеткичтердин конструкцияларынын салыштырмалуу жөнөкөйлүгүнө да, кристаллга түшүп, анын химиялык курамын (иондордон айырмаланып) өзгөртпөгөндүгүнө да байланыштуу. Дефектилердин пайда болушу кристаллдардын электрофизикалык, оптикалык же башка мүнөздөмөлөрүнүн кандайдыр бир өзгөрүшү менен катталат. Электрондордун энергиясы акырындык менен E_{min} дин маанисине чейин көбөйөт, анда бул параметрлердеги биринчи өзгөрүү катталат. Бул $E_R = E_d$ шартына туура келет деп эсептелет. Мындан E_d маанисин эсептөө оңой. E_{min} чоңдуктары, адатта, 1 МэВ тартибинде болгондуктан жана электрондордун ылдамдыгы вакуумдагы с жарыктын ылдамдыгына жакын болгондуктан, (1) ордуна релятивисттик байланышты колдонуу керек.

$$E_d = \frac{2E_{\min}\left[E_{\min} + m_e c^2\right]}{M_2 c^2} \qquad (3)$$

бул жерде m_e – тынч турган электрондун массасы.

Жогорудагы методиканы колдонуу менен E_d маанисин аныктоо боюнча биринчи эксперименттер кыйла күтүүсүз натыйжага алып келди: $E = E_{min}$ жанында дефектилердин концентрациясынын жогорулашынын чеги кыйла курч болгонуна карабастан, $E=E_{min}$. Кийинчерээк катуу заттарда кемчиликтердин пайда болушу рентген ($E \sim 20$ кэВ) жана, ал тургай, ультра кызгылт нурлануу учурларында ачылган. Мындай бөлүкчөлөрдүн баары атомду торчодон түздөн-түз сүрүп чыгара албагандыктан, дефектинин пайда болушунун тиешелүү механизмдери босого чеги деп аталат.

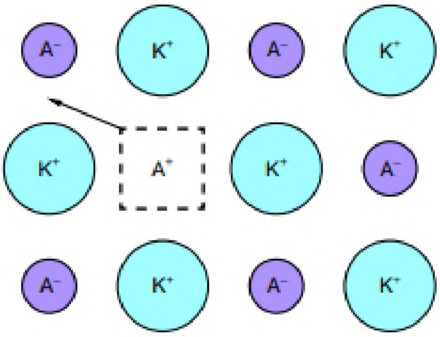
Босогодон ашпаган энергиялардын бөлүкчөлөрүнүн таасири астында кристаллдын электрондук подсистемасынын дүүлүгүүсү баштапкы процесс болуп саналат. Бул учурда U (Q) конфигурация ийри сызыктарынын формасы өзгөрөт, атап айтканда, түйүндөгү атомдун бир жерден туура эмес абалга өтүүсүнө тоскоолдун олуттуу төмөндөшү мүмкүн.

Жалпы ойлордон мындай механизмди ишке ашыруу үчүн зарыл болгон кээ бир шарттарды түзүүгө болот. Биринчиден, электрондук дүүлүктүрүү микроскопиялык масштабда, башкача айтканда, каралып жаткан атомдун жанында локализацияланышы керек. Кристаллдарда бул же бар болгон дефектиде (валенттик электрондордун дүүлүгүүсүндө) же торчонун атомунун терең кабыктарынын көп жолу иондошуусунун (тез электрондордун, рентген нурларынын таасири) эсебинен мүмкүн болот. Экинчиден, электрондук дүүлүктүрүү $\tau_{эв}$ болуу мезгили атомдун торчодон t_{cm} жылышына керектүү убакыттан узак болушу керек.

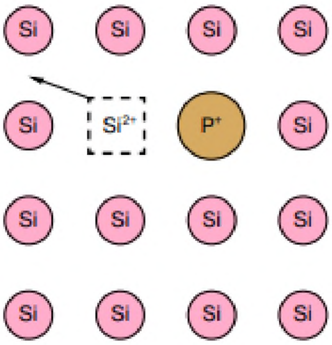
Акыркысы кристаллдагы жылуулук термелүү мезгилинин тартибинде ($\sim 10^{-13}$ с). Акырында, $E_{ЭВ}$ атомуна берилген энергия анын торчодон чыгуу ыктымалдыгын олуттуу жогорулатуу үчүн жетиштүү болушу керек, башкача айтканда, $E_{ЭВ} \sim E_A$. Босогодон ашпаган энергияда дефектинин пайда болуу маселелери адабиятта 1954-жылдан бери талкууланып келе жатат, айрым моделдер алдыга коюлган, бирок бул процесстердин теориясын иштеп чыгуу дагы эле бүтө элек. Бардык сунушталган

схемаларды микроскопиялык аймактын абалына жараша эки класска бөлүүгө болот, алар дефектинин пайда болушунан мурда болгон: электростатикалык туруксуздуктагы механизмдер жана электрондук-термелүүчү туруксуздуктагы механизмдер.

Дефектилерди түзүүнүн электростатикалык механизмдери заряддалган электрондук дүүлүктүрүүнүн башка заряддар, дипольдор менен өз ара аракеттенүү энергиясы кристаллдагы башка өз ара аракеттенүүлөрдүн энергияларынан байкаларлык ашкан учурда ишке ашат. Мындай механизмдин схемасын иондук кристаллдын мисалында оңой түшүнүүгө болот. Фигуранын борборундагы аниондун кош иондошуусунун натыйжасында бул ион бирдей белгидеги заряддуу алты ион менен курчалган кырдаал түзүлөт. Кулон түртүүсүнөн анион торчодон жылып, Френкель жубу пайда болот. Коваленттик кристаллда позитивдүү заряддуу аралашма атомунун жанында жайгашкан торчонун атомунун көп жолу иондошуусунда ушундай эле жагдай пайда болот [4].



1-сүрөт. Көп катмардуу анион менен иондоштурулган иондук кристаллдагы дефектинин пайда болуусу

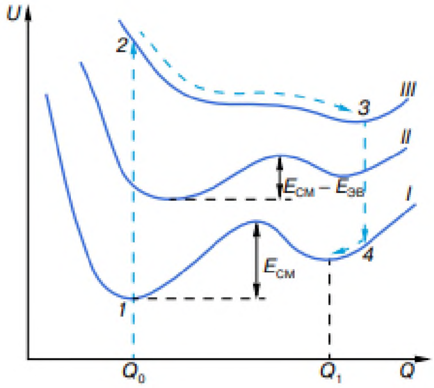


2-сүрөт.

Заряддалган донорго жакын жайгашкан көп жолу иондоштурулган ковалентүү кристаллдагы дефектинин пайда болуусу $\tau_{ЭВ} > \tau_{см}$ шартын орундатуу учун терең атомдук кабыкчаларды бир нече жолу иондоштуруу зарыл экендигин белгилей кетүү керек, анткени эки алыскы валенттүү электрондору бар атом абалынын жашоо мезгили өтө кыска: ~ 10^{-16}с $<< \tau_{см}$. Талкууланып жаткан механизмди тиешелүү конфигурация диаграммасы менен көрсөтүүгө болот (3-сүрөт). Атомдун кош иондошуусунда (1–2-процесс) конфигурация III ийри сызыгы менен сүрөттөлөт жана биздин мисалдагы атомдун аралыкка өтүшү тоскоолдуксуз жүрөт (2–3-процесс). Андан кийин электрондук дүүлүктүрүү алынып салынганда (процесс 3-4), атомдук конфигурация бузулган абалда болуп чыгат. Кемчиликтин пайда болуу ылдамдыгын эсептөө төмөнкү туюнтмага алып келет:

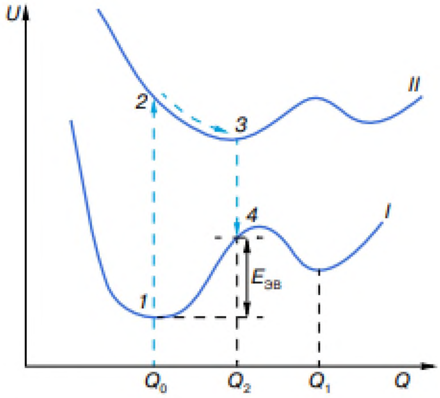
$$\frac{dN_d}{dt} \sim \exp\left(-\frac{\tau_{см}}{\tau_{эВ}}\right)\exp\left(-\frac{E_{СМ}-E_{ЭВ}}{kT}\right) \qquad (4)$$

мында $E_{ЭВ} = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r}$ – донордун (q_1) жана иондоштурулган атомдун (q_2) кулондук түртүү энергиясы, $E_{см}$ – дефект абалына өтүүдөгү энергетикалык тоскоолдук. $E_{см} - E_{эв} \le 0$ шарты аткарылганда, дефектинин пайда болуу процесси жылуулук флуктуацияларынын катышуусуз ишке ашат (3-сүрөттөгү мисал).



3-сүрөт. Дефект пайда болуунун электростатикалык механизмин түшүндүрүүчү конфигурациялык диаграмма. Атомдук конфигурациянын абалы: I- негизги, II- бир жолку, III-эки жолку иондоштурулган.

Дефектилерди пайда кылуунун электрондук-вибрациялык механизми менен электрондук дүүлүктүрүү микроскопиялык атомдук конфигурациянын күчтүү термелүү дүүлүгүүсүнө, башкача айтканда, локалдык күчтүү жылытууга айланат. Жегич-галоиддик кристаллдардагы мындай процесстер терең энергетикалык деңгээлдердеги дефектилерде заряд алып жүрүүчүлөрдүн радиациялык эмес рекомбинациясында пайда болот жана көп атомдуу молекулалардагы фотохимиялык реакцияларга, негизинен, окшош. Электрондук-вибрациялык механизмдин деталдарын белгилүү бир атомдук конфигурациянын, анын ичинде радиациялык эмес рекомбинациянын борбору үчүн конфигурация схемасын карап чыгуу менен тактоого болот (4-сүрөт).



4-сүрөт. Дефект пайда болуунун электрондук-термелүүчү механизмин иллюстрациялоочу конфигурациялык диаграмма. Атомдук конфигурациянын абалы: I- негизги, II-электрондук-дүүлүккөн

Жегич-галоиддик кристаллдын өткөргүч тилкесинен көрсөтүлгөн борборго электрондун кармалышы I ийри сызыгынан II ийри сызыгына өтүүсүнө (1-2-процесс) жана конфигурациянын Q_2 координаты бар абалга кайра жайгашуусуна туура келет. Тешиктин кийинки басып алынышы (3-4-процесс) I потенциалга туура келет, бирок атомдук система термелүү дүүлүккөн болуп чыгат. $E_{см}$ потенциалдуу тоскоолду жеңүү жана Q_1 координаты бар абалга өтүү үчүн кошумча энергия жылуулук термелүүсүнөн улам атомдук конфигурацияга берилиши мүмкүн. $E_{см} - E_{эв} \neq 0$ менен процесс термикалык жол менен жүрөт. Кээ бир кристаллдар үчүн эсептөө кемчиликтердин пайда болуу ылдамдыгы үчүн байланышка алып келет.

$$\frac{dN_d}{dt} \sim \mathrm{Re}\,xp\left(-\frac{E_{см} - E_{ЭВ}}{kT}\right) \qquad (5)$$

мында R – тең салмактуу эмес заряд алып жүрүүчүлөрдүн рекомбинациясынын ылдамдыгы.

КОРУТУНДУ

Ошентип, биз жегич-галоиддик кристаллдагы микроскопиялык структуралык кемчиликтер – чекиттик дефектилер анын электрофизикалык, оптикалык жана башка мүнөздөмөлөрүн, негизинен, аныктай турганын көрсөттүк. Дефектилерди пайда кылуунун негизги жолдору болуп термикалык флуктуация жана радиация саналат, андан кийинки учурда босогодон жогору жана босогодон төмөн процесстер болот. Кристаллдын бетине лазердин таасири учурунда электрондук, деформациялык жана жылуулук факторлору бир убакта таасир этет. Белгилүү шарттарда дефектилер мейкиндиктик мезгилдүү түзүлүштөрдү түзөт.

Адабияттар:

1. Клингер, М. И., Лущик, Ч. Б., Машовец, Т. В. и др. // Успехи физ. наук. 1985. Т. 147, - С. 552.

2. Кашкаров. П. К., Тимошенко. В. Ю. // Поверхность. Физика, химия, механика. 1995, - С. 5-34.

3. Каденова, Б. А. Жегич-галоиддик кристаллдардагы радиациялык дефектилердин пайда болуу, бири-бирине айлануу жана ажыроо процесстерин моделдештирүү : Физ.-мат илимд. канд. ... диссерт. - Ош, 2013. - 122-124-бб.

4. Яловец, А. П. Радиационная физика твердого тела. [Текст] / А. П Яловец. - Челябинск: Челяб. гос. университет, 1999. - С. 83-85.