

## KRISTALL QATTI DENELERDEGI NUQSANLAR. NOQATLIQ NUQSANLAR

Kuralbaev Jamshid Rashid uli

Berdaq atıńdagi Qaraqalpaq Mámleketlik Universiteti  
Magistratura bólimi teoriyalıq fizika baǵdari 1-kurs student

<https://doi.org/10.5281/zenodo.11065355>

**Anotatsiya.** *Kristall deneler kúndelik turmıs, islep shıǵarıw, ilim hám sanaatda keń kólemde qollanılıwı, kristall qattı denelerdegi nuqsanlar. Noqatlıq nuqsanlar.*

**Gilt sóz:** *Kristall, noqatlıq nuqsanlar, mikro nuqsanlar, ideal kristallar.*

### DEFECTS IN CRYSTALLINE SOLIDS. POINT DEFECTS

**Abstract.** *Crystal bodies are widely used in everyday life, production, science and art, defects in crystalline solids. Point defects.*

**Key words:** *Crystal, point defects, micro defects, ideal crystals.*

### ДЕФЕКТЫ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ТЕЛ. ТОЧЕЧНЫЕ ДЕФЕКТЫ

**Аннотация.** *Кристаллические тела широко используются в быту, производстве, науке и искусстве, дефекты кристаллических тел. Точечные дефекты.*

**Ключевые слова:** *Кристалл, точечные дефекты, микродефекты, идеальные кристаллы.*

Qattı kristall dene hár dayım tártiplesken, yaǵnıy atomlardıń dáwirlik jaylasıwında hesh qanday buzılıw bolmaǵan dene dep qaraladı. Biraq atomlar terbeliwi bunnan xabarsız edi.

Biraq haqıyqıy kristallarda hámme waqıt kristall pánjeresiniń bir az muǵdarda kemshilikleri bar. Dáslep makro hám mikro nuqsanların parıqlaw lazım. Makronuqsanlar mikroskopta ańsat kórinedi. Bunday makro nuqsanlarǵa mısallarmetall quymalardaǵı gewekler, darzlar, basqada zatlar qospalardıń úyindileri, polikristalldıń dánesheleri-ayırım kristall sharlardıń kórinbe shegaralarıdır. Elektronlar mikroskopiyaınıń payda bolıwı sanap ótilgen nuqsanları bir az ólshemli bolǵanda da baqlaw imkanıń beredi.

Mikronuqsanlarǵa yaqi atomlar ólsheminde qaralatuǵın nuqsanlardan úsh ólshemnen (x,y,z) hesh bolmaǵanda bir kristall pánjeresiniń  $a = 0,2 \div 0,5 \text{ nm}$  dawir menen salıstırıwshı bolǵan nuqsanlar say boladı. Ayırım kórinistegi nuqsanlardı úyreniwden aldın haqıyqıy kristalldı nuqsansız (ideal) kristalldan parıqlanıwshı ulıwma belgilerin úyreneyik.

Ideal kristallarda atomlar qatań dáwirlik jaylasqanlıǵı aqıbetinde kristall ishinde dáwirlik elektrlik maydan keltirilgen boladı. Kristallardıń dáwirlik ishki elektr maydanlarınıń hár qanday buzılıw nuqsanı boladı. Nuqsanlarǵa mısal retinde basqa atom qospasınıń kristall atomı ornına jaylasıp alıwı hám kristall atomınıń ornınan ketiwi vakanciya (bos orın) payda bolıwın keltiriw múmkin.

Eger kristalldaǵı nuqsanlar az bolsa, bul jaǵdayda olar bir-birinen bir az muǵdarda joqarıda jaylasqan, yaǵnıy kristall pánjeresi nuqsanları ulıwmalasqan boladı. Bunda kristall ishindegi elektr maydanı tek ǵana nuqsan átirapında ǵana buzıladı, basqasha aytqanda kristalldıń dáwirli V potencialına nuqsan jaqınında  $V'$  qosımsha potencial qosıladı, tolıq potencial  $V=V+V'$  boladı.

Sonıń ushın da tek usı tarawda bolǵan elektronlardıń energetik halatları ózgeredi, bul bolsa ideal qattı dene elektronları energiya zonalarına qosımsha ulıwmalasqan energetikalıq halatları

payda bolıwına alıp keledi. Bunday ulıwmalıq halatlar sanı N nuqsanlar sanına teń, yaki eger bir nuqsan bir neshe halatta bola alsa, ulıwmalıq halatlar sanı nuqsanlar sanınan úlken boladı.

Ulıwmalıq energetikalıq qáddiler hám dielektrikler elektronları qadağan etilgen energiyalar zonası bolğan energetikalıq spektrge iye. Álbette bunday kristallarda ulıwmalıq energetikalıq halatlar ruxsat etilgen zonalarğa túsiwi múmkin. Eger olar ótkiziwsheńlik zonasında jaylassa, olardı rezonans qáddileri, eger olar valent zonasında jaylassa, olar antiy rezonans qáddileri delinedi. Bul halatlardağı nuqsanlarğa tiyisli elektronlar olar menen baylanısın joıyadı hám ulıwmalasqan zona elektronları qatarına qosıladı.

Biraq kóp halatlarda nuqsanlar qáddilerde jaylasqan elektronlar nuqsanlarına baylanıslı qalıwı múmkin, olar tek jıllılıq háreketi yaki basqa energiya deregi esabınan óz nuqsanların ajıratıp jiberiw-aktivlestiriw múmkin. Nuqsanlarğa barlıq elektronlar elektr ótkiziwsheńlikte qatnasa almaydı. Bunday nuqsanlarğa elektronlar ushın qáddiler ótkizgishtiń belgilenbegen zonasında jaylasqan boladı.

Ótkiziwsheńlik zonasına elektronlar bere alatuǵın nuqsanlardı danalar delinedi, quramında danalar bolğan yarım ótkizgishlerde bolsa elektron ótkiziwsheńlikli yarım ótkizgishler yaki n-túr yarım ótkizgishler delinedi. Sáykes ráwishte yarım ótkizgishlerdiń ótkiziwsheńlik zonasındağı elektronlar qosıw menen baylanıslı elektr ótkiziwsheńlik elektron ótkiziwsheńlik yaki n-tur ótkiziwsheńlik delinedi.

Eger kristalldı qızdırganda elektron valent zonadan nuqsanlar qáddilerine óte alsa, bul jaǵdayda valent zonada háreketshen on zaryadlı gewekler payda boladı, gewek elektr ótkiziwsheńlik payda boladı. Elektronlardı ózine qabıl etiwshi nuqsanlar akceptorlar dep atalğan, quramında akceptorlar bolğan yarım ótkizgishti bolsa yaki gewek ótkiziwsheńlikli yarım ótkizgish yaki p-tur yarım ótkizgish delinedi.

Nuqsanlardı klasslarğa ajıratıw kristall maydanniń kemis tárepinen buzılıwı ólshemlerge tiykarlangan:

a) noqatlı nuqsanlar-olarğa ólshemleri  $x < a$ ,  $y < a$ ,  $z < a$  bolğan nuqsanlar sıyaqlı, bunda a kristall pánjereniń turaqlısı;

b) sıziqlı (bir ólshemli) nuqsanlar, eki baǵdardada olardıń ólshemleri kishi ( $< a$ ) hám úshinshi baǵdarda ólshemi hár qansha bolıwı ( $>> a$ ) múmkin;

c) tegis (eki ólshemli) nuqsanlar, olardıń bir baǵdarda ólshemi kishi;

d) kólemli (úsh ólshemli) nuqsanlar, olardıń bazıları makro nuqsanlarğa baylanıslı boladı.

Bul ólshemler boyınsha klasslarğa bir neshe birdey yaki hár qıylı ápiwayı nuqsanlardıń birikpesinen ibarat quramalı nuqsanlardı kiritiw múmkin.

Kópshilik jaǵdaylarda valentligi menen ayrılatuǵın qosımta atomları vakansiyalardıń payda bolıwına alıp keledi. Bunday jaǵday KCl kristallarına Ca atomların kirgizgende orın aladı.

Bunday jaǵdayda kristal neytrallıǵın saqlaydı hám eki valentli kalciy atomı bir kaliy atomınıń ornın almaydı, al kaliy atomı turatuǵın orın bos orınğa aylanadı .

Qattı denelerdegi diffuziyani házirgi waqıtları «tamǵa salınğan» atomlar usılın paydalanıp effektivli túrde úyrenedi. Bunday izertlewlerde zatlardıń betine radioaktivli «tamǵa salınğan» atomlar «otırǵızıladı». Bunnan keyin alınğan úlgi berilgen temperaturada «tamaǵa salınğan» atomlardıń 0,3-1 mm tereńlikke ótetuǵınday waqıt ishinde uslap turıladı. Bunnan keyin úlginin aktivligi ólshenedi. Bul qatlam ısqılap tegislew jolı menen joq etilgennen keyin aktivlik qaytadan

ólshenedi. Bunday operaciyalardı bir neshe ret qaytalaydı. Usınday jollar menen «tamğa salınğan» atomlardıń ótiwiniń ortasha tereńligi hám berilgen temperaturadağı D diffuziya koefficientin esaplaydı. Hár qıylı temperaturalarda tájiriybeler seriyasın ótkeriw jolı menen (12) formuladağı D0 menen Ea parametrleriniń mánisleri anıqlanadı. (3) hám (4) formulalar jáne maǵlıwmatlar járdeminde hár qıylı temperaturalardağı atomlardıń kóshiw jiyiliklerin bahalaw múmkin. Mısalı alfa- temirde 1800 K temperaturada uglerod atomı 1 sekunda 1011 ret kóshedi.

Bólme temperaturasında bolsa onlağan sekunda 1 ret kóshedi. Solay etip diffuziya sezilerliktey orındı balqıw temperaturasına jaqın temperaturalarda iye bola aladı eken. Nikel yamasa xromnıń bólme temperaturalarında temirde derlik ótpeytuǵınlıǵın belgili. Biraq 1000-1300 K temperaturalarda bul process ádewir tezlenedi.

Sonıń ushın temirde islengen buyımlardıń betine qozǵawshı nikel` yamasa xrom qatlama joqarı temperaturalarda diffuziya járdeminde payda etedi eken. Yarım ótkizgishke hár qanday aralaspaları kirgiziw (legirovanie poluprovodnika, yarım ótkizgishti legiruy) ushın qısqa waqıtlar ishinde qızdırıwlar integrallıq sxemalardı alıw ushın qollanıladı: shańlandırıw jolı menen yarım ótkizgishtiń betiniń belgili bir uchastkalarına túsirilgen aralaspaları (legirlewshi aralaspaları) bir neshe júz gradusqa qızdırıw jolı menen diffuziyalaydı hám onı legirleydi. Nátiyjede kristallda p hám n tipindegi yarım ótkizgishlerdiń quramalı oblastları payda boladı.

Nuqsanlardıń tıǵızlıǵı kem-kemnen kishireydi. Bul qubılıs túyinler arasında turǵan atomlardıń vakansiyalarǵa ótiwiniń (bunı nuqsanlardıń rekombinaciyası dep ataydı) yamasa nuqsanlardıń kristalldıń betine yamasa kristalldağı dánesheler arasındağı shegaraǵa ótiwiniń saldarınan júzege keledi. Ayırım jaǵdaylarda noqatlıq nuqsanlar bolǵan qosımta toparlasadı hám jańa kristallıq faza oblastların payda etedi. Bul processlerdiń barlıǵı da nuqsanlardıń emleniwi dep ataladı.

Noqatlıq nuqsanlardıń elektr ótkizgishlikke tásiri. Eger zonalıq teoriya tiykarında esaplawlar ótkerilse haqıyqıy kristallardıń elektr ótkizgishligi ideal kristall-dielektriktiń elektr ótkizgishliginen ádewir joqarı bolıp shıǵadı. Bul jaǵday tómendegidey eki sebepke baylanıslı:

Birinchiden donorlıq hám akceptorlıq qosımtalar dielektriktiń elektr ótkizgishligin joqarılatadı (tap yarım ótkizgishlerdegi sıyaqlı).

Ekinshiden ionlıq kristallardağı vakansiyalardıń tusınan ionlardıń zaryadı alıp júriwiniń jeńillenwi menen baylanıslı. Eger 3 vakansiyada oń zaryadlangan ionnıń turıwı kerek bolǵan bolsa hám ol E elektr maydanında jaylasqan bolsa, onda bul vakansiyaǵa oń zaryadlangan ionnıń baǵıtında sekirip ótiwiniń itimallıǵı E ge qarama-qarsı baǵıtta sekirip ótiwiniń itimallıǵınan joqarı boladı. Oń zaryadlangan ionlar ortasha sırtqı elektr maydanınıń baǵıtında qozǵaladı hám elektr ótkizgishlikke tásir etedi. Tap sol sıyaqlı teris zaryadlangan ionǵa E baǵıtında qozǵalǵanǵa qaraǵanda E niń keri baǵıtında qozǵalǵan utımlıraq. Sonıń ushın teris zaryadlangan ionlardıń baǵıtına qarama-qarsı baǵıtta qozǵaladı hám elektr ótkizgishlikke óziniń úlesin qosadı.

Eki jaǵdayda da vakansiya kristall boyınsha orın almastırıp zaryadıń kóshiwini támiyinleydi. Biraq haqıyqatında zaryadı ionlar tasıydı hám olar (oń hám teris zaryadlangan ionlar) vakansiyalardıń átirapında hár qıylı bolıp toparlasadı. Bunday jaǵdaylarda zaryadı kóshiriwdiń vakansiyalıq mexanizmi haqqında gáp ketedi (biz tómende yarım ótkizgishlerdiń elektr ótkizgishliginiń geweklerdiń mexanizmi haqqında gáp etemiz). Bunday mexanizm boyınsha

zaryadlardı kóshiriw ushın ádewir kishi potentsiallıq barerden ótiwdi talap etedi. Al elektrondı ionnan ionğa ótkeriw ushın úlken potentsiallıq barerden ótiw kerek boladı.

Noqatlıq nuqsanlardıń kristallardıń reńine tásiiri. Qosımta atomlar kristallardıń reńin ózgerdedi. Mısalı almasıruw qosımtaları (primesi zamesheniya) bolğan xrom ionları  $Al_2O_3$  kristallarınıń qızıl reńin támiyinleydi (rubin kristallı alınadı), al  $Al_2O_3$  kristallarına kirgizilgen titan ionları olarğa kók reń beredi (safır kristallı alınadı).

Noqatlıq nuqsanlardı úyreniw usılları. Kólem birligindegi vakansiyalardıń sanın anıqlaw ushın ádette tómendegidey eki nátiye salıstırılıp kóriledi: birinshisi rentgenografiyalıq usıllardıń járdeminde alınğan pánjere parametriniń dál mánisi, ekinshisi zattıń tıgızlıgıń dál anıqlaw (kristaldıń massasınıń kólemine qatnasınıń shamasın dál anıqlaw).

Vakansiyalardıń kristallıq pánjereniń parametrin azmaz ğana, biraq kristaldıń kólemi sezilerliktey ózgeretúgınlıgı belgili. Usınday jollar menen joqarı emes dállikte kristaldıń kólem birligindegi túyinler arasındagı atomlardıń sanın anıqlaw múmkin. Sebebi túyinler arasında jaylasqan atomlar zattıń tıgızlıgıń ádewir úlkeydedi, al kristallıq pánjereniń parametriniń shamasın az shamağa ózgerdedi.

Eger kristalda vakansiyalar da, túyinler arasında jaylasqan atomlar da bar bolatuğın bolsa, onda joqarıda bayanlangan usıldıń járdeminde kristaldıń kólem birligindegi vakansiyalar sanı menen túyinler arasındagı atomlar sanınıń ayırmasın bahalawğa boladı. Al Frenkel boyınsha nuqsanlardıń tıgızlıgıń qarap ótilgen usıldıń járdeminde anıqlaw múmkin emes.

Joqarıda qarap ótilgen elektr qarsılıgı menen diffuziyanı ólshew, sonıń menen birge hár qıylı elektromagnit nurlarınıń jutılıw koefficientleriniń mánisin ólshew kristallardagı noqatlıq nuqsanlardı úyreniwge múmkinshilik beredi.

Qattı denelerde kólemlik nuqsanlar ólshemler bárshe úsh fazalıq bağdarında pánjere dáwiri a dan úlken bolğan nuqsanlar. Olar mánisi qattı dene dúzilisiniń makroskopik buzılıwları bolıp tabıladı. Kólemlik nuqsanlarğa yaqı deneniń pütünin kólemi, yaqı onıń ayırım bólimlerin iyelegen kólem  $\gg a^3$  bolğan elastikalıq kúshleniwlerge tiyisli. Makronuqsanlar mikronuqsanlardıń birlesiw nátiyesinde payda bolıwı belgili. Biz aldın elastikalıq kúshleniwler dislikaciyalar payda bolıwınan derek ekenligin bildiredi. Makrokúshleniwler kristall pánjereniń atomlar aralıqtıń ózgeriwinen payda boladı.

Qattı denelerdi alıwda makrokúshleniwler payda bolıwına temperaturanıń dene kóleminde birdey bolmaslıgı úlken úles qosadı. Bunday makrokúshleniwlerdi termoelastik kúshleniwler delinedi. Qattı denede onı tayarlaw yaqı oğan termoislew beriwde temperaturanıń bólistiriliwi  $\delta T$   $\delta t = k c\rho\Delta T$ . Bul jıllılıq ótkiziwsheńlik teńlemesi (k-salıstırmalı jıllılıq ótkiziwsheńlik koefficienti, c deneniń jıllılıq sıyımlılıgı,  $\rho$  – tıgızlıgı).

## REFERENCES

1. Киттель Ч. Введение физика твёрдого тела. Москва, «Физ. мат.гиз.», 1993г.
2. Жданов Г.С. Физика твёрдого тела. Москва, МГУ, 1988г.
3. Бушманов Б.Н. Хромов Ю.А. Физика твёрдого тела. Москва, «Высшая школа», 1971г.
4. К.Бектурганов, А.А. Блистанов, М.П.Шаскольская. Физика твёрдого тела. Т.13. С.1036. 1974г.

5. К.Бектурганов. Автореферат кандидатского дисс. МИСиС 1974г.
6. М.И.Абаев, Ю.Н.Толпаров. Физика твёрдого тела. Т.12. С.2492. 1970г.
7. А.А.Блистанов, А.Н.Павлов, М.П.Шаскольская. Физика твёрдого тела. Т.13. С.1901. 1971г.