

## ЯРИМУТКАЗГИЧЛАРДА ДИФФУЗИЯ ЖАРАЁНЛАРИ ВА УСУЛЛАРИ .ДИФФУЗИЯ УСУЛИ БИЛАН ЭЛЕКТРОН-КОВАК ЎТИШНИ ХОСИЛ ҚИЛИШ

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20677424>

**Urinov Shavkatjon Abduqayumovich**

*Farg'ona "Temurbeklar maktabi"*

*harbiy litseyi oliy toifali fizika fani o'qituvchisi*

### **Аннотатсия**

Мақолада диффуза усули билан электрон-ковак ўтишни хосил қилишни кенг камровда ёритиб берилади

### **Калит сўзлар**

Яримўтказгич, диффузия, Кристалл панжара, атомлар,

Диффузия усули яримўтказгичларга киришмавий атомлар киритишда, яримўтказгичларнинг электрофизик хоссаларини мақсадли бошқаришда, электрон-ковак ўтишларни хосил қилишда электроника ва микроэлектроника саноатида, илмий тадқиқотларда кенг қўлланилади. Диффузия усулининг яримўтказгичларни легирлашнинг бошқа усулларига нисбатан бир қанча афзаллик томонлари мавжуд:

1. Деярли ихтиёрий юзада юқори сифатли электрон-ковак ўтишни олиш мумкин.
2. Диффузия ускуналари жуда содда бўлиб, жараённи бошқариш осон ва содда математик моделлар асосида диффузия чуқурлигини тезда аниқлаш мумкин.
3. Диффузия усули электрон-ковак ўтишни олишда бошқа усулларга нисбатан қулай усулдир.

Диффузия усули режалаштирилган яримўтказгич асбоблар электрик тавсифномаларини деярли ўзгартирмаган ҳолда олишга имкон беради. Ушбу усул асосан германий ва кремний асосида электрон асбоблар ясашда кенг қўлланилади.

Лекин жараённинг юқори температурада олиб борилиши диффузия усулининг камчилиги ҳисобланади. Чунки юқори температурада яримўтказгичларга бегона – бошқарилиши қийин, тез диффузияланувчи киришмавий атомлар материал

ҳажмига кириб қолади, унда нуқтавий ва бошқа нуқсонлар ҳосил бўлади. Бу эса электрон-ковак ўтишни олишда қўшимча қийинчиликлар туғдиради.

Модда концентрациясининг камайиши йўналиши бўйича атомларнинг тартибсиз иссиқлик ҳаракати диффузия деб аталади. Диффузия жараёни модданинг барча агрегат ҳолатларида кузатилади. Фақат модданинг турли агрегат ҳолатларида диффузия тезлиги турлича бўлади. Қаттиқ жисмларда зарралар орасидаги боғланиш кучли бўлгани учун ушбу жараён газлардагига нисбатан минглаб марта секин содир бўлади.

Яримўтказгичларда диффузия икки хил бўлади:

1. Кимёвий мувозанат ҳолатида бўлган кристаллдаги диффузия, яъни ўздиффузия;

: 2. Кимёвий мувозанат ҳолатида бўлмаган, кимёвий потенциал градиенти ортган кристаллдаги диффузия, яъни гетеродиффузия.

Кристалл панжарадаги диффузия жараёни атомларнинг бир мувозанат ҳолатидан иккинчи ҳолатга сакраши билан тавсифланади. Бундай сакраш узунлиги кристалл панжара доимийси тартибида бўлади. Агар қаттиқ жисмда бирор бир элемент атомларининг концентрация градиенти ҳосил бўлса, у ҳолда бутун ҳажм бўйича бу атомлар сонини тенглаштиришга йўналган диффузия ҳаракати вужудга келади.

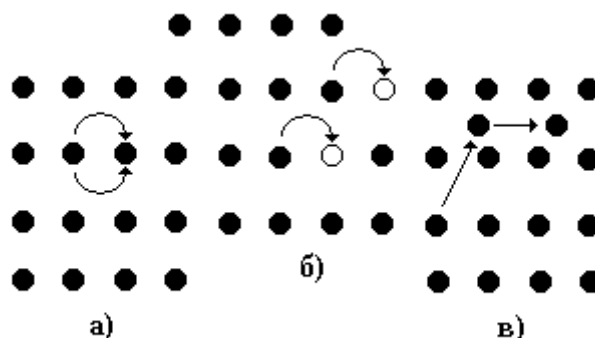
Қаттиқ жисмларда диффузия туфайли концентрациянинг тенглашиш жараёни фақатгина юқори температураларда сезиларли амалга ошади. Ушбу ҳолда зарраларнинг ҳаракат тезлиги кескин ортади. Паст (хона) температураларда эса қаттиқ жисмларда диффузия жараёни умуман олганда содир бўлмайди.

Атомларнинг ўз жойидан сакрашининг асосан уч хил механизми мавжуд

1. Тугунлардаги атомларнинг ўзаро ўрин алмашилиши мумкин (1а-расм).

2. Атомлар кристалл панжаранинг бўш тугунлари (вакансиялар) бўйича ҳаракат қилиши мумкин (1б-расм).

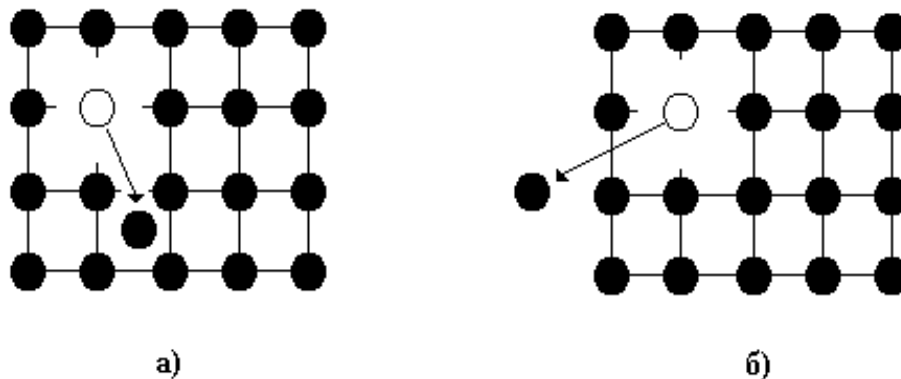
3. Атомлар тугунлараро ҳаракат қилиши мумкин (1в-расм).



1-расм.

Кристалл панжара тугунларида жойлашган атомлар ўз мувозанат вазиятлари атрофида узлуксиз равишда тебраниб турадилар. Юқори температураларда бу атомларнинг баъзилари мувозанат вазиятида ушлаб турувчи потенциал тўсиқни енгишга етарли бўлган энергияни ҳосил қилади. Натижада бундай атомлар кристалл панжара тугунларидаги мувозанат ҳолатларидан тугунлараро номувозанат ҳолатга ўтадилар. Ушбу ҳолда Френкель нуқсонлари (2а-расм) юзага келади (тугунлараро атом вакансия (бўш тугун) комплекси).

Баъзи ҳолларда иссиқлик тебранишлари ҳисобига юзадаги атомлардан бири ўз мувозанат ҳолатидан номувозанат ҳолатга ўтади ва у кристалл билан фақат қисман боғлиқ бўлиб қолади. Ушбу ҳолда Шоттки нуқсонлари (2б-расм) ҳосил бўлади. Иссиқлик тебранма ҳаракати натижасида Френкель ва Шоттки эффекти бўйича ҳосил бўлган вакансиялар қўшни атомлар билан осон ўрин алмашинади. Бунинг натижасида улар тугунлараро ҳаракат қилади.



2-расм.

Иссиқлик мувозанати шароитида кристаллда маълум миқдорда вакансиялар концентрацияси мавжуддир. Уларнинг концентрацияси температура бўйича экспоненциал қонун асосида ортади:

$$N_v \approx e^{-\Delta E/kT} \quad (1)$$

бу ерда,  $\Delta E_v$  - вакансия ҳосил бўлиш энергияси;  $k$  - Больцман доимийси;  $T$  - кристалл температураси (абсолют температура).

Германий ва кремний кристалл панжараларида мувозанатли вакансиялар концентрацияси хона температурасида  $10^{13}$ - $10^{14}$  м<sup>-3</sup> ни ташкил этади ва унинг миқдори температура, шунингдек киришмалар концентрацияси ва панжара нуқсонлари ортиши билан ортади. Масалан,

кремнийда 1100-1200°C температураларда, термодинамик мувозанат шароитларида,  $N_v = 10^{21} \div 10^{24} \text{ м}^{-3}$ .

Вакансиялар концентрацияси  $\sim 5 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$  га етганда (яъни вакансиялар миқдори тугунлар миқдорининг  $10^{-3} \%$  қисмига яқинлашганда) кристалл эрий бошлайди.

Агар диффузия жараёнида атомларнинг тартибсиз ҳаракати туфайли концентрация градиенти ортади деб қарасак, модда сиртига тик йўналишда бирлик юзадан бирлик вақт ичида ўтадиган диффузияланувчи атомлар оқими қуйидаги тенглик билан ифодаланади:

$$F = -D \text{ grad } N \quad (2)$$

бу ерда,  $F$  - диффузияланувчи модда атомлари оқими;  $D$  - модда атомларининг диффузия коэффиценти,  $\text{см}^2/\text{сек.}$ ;  $N$  - модда атомлари концентрацияси,  $\text{см}^{-3}$ .

Тенгликдаги манфий ишора диффузиянинг киришмалар концентрацияси камайиши йўналишида бўлаётганини билдиради. Агар диффузияланувчи модда атомлари концентрацияси бир йўналиш бўйича ўзгарса, у ҳолда (2) тенглик қуйидаги кўринишни олади:

$$F = -D \cdot \frac{\partial N}{\partial x} \quad (3)$$

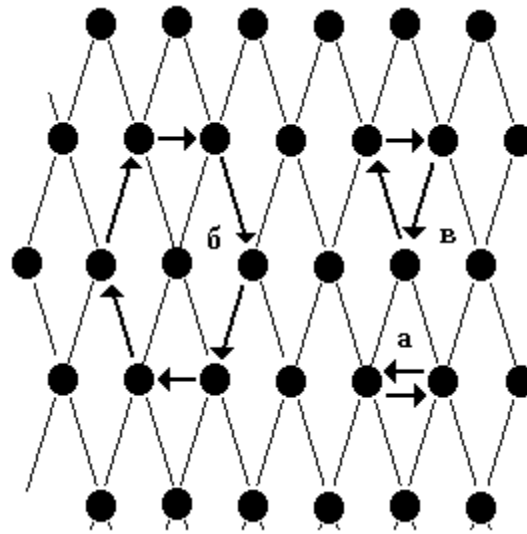
бу ерда,  $\frac{\partial N}{\partial x}$  - диффузияланувчи киришманинг концентрация градиенти. (2)- ва (3)-ифодалар Швейцариялик физик олим Фик томонидан идеал газ ва қоришмаларда диффузия жараёнини ифодалаш учун таклиф қилинган эди. Кейинчалик бу ифода қаттиқ жисмлардаги диффузия жараёнини ифодалаш учун ҳам ўринли эканлиги исботланди. Ушбу (2)-ифода Фикнинг биринчи қонуни деб юритилади. Ушбу тенгликнинг маъноси қуйидагича: диффузия жараёни вужудга келиши учун албатта концентрация градиенти ортиши керак.

Фикнинг иккинчи қонуни диффузия йўналишига тик бўлган ихтиёрий текисликга кириб борган киришмаларнинг тўпланиш тезлигини аниқлайди:

$$\frac{\partial N}{\partial t} = D \frac{\partial^2 N}{\partial x^2} \quad (4)$$

Юқоридаги ифодаларда диффузия коэффиценти киришманинг концентрациясига боғлиқ эмас, деб ҳисобланади. Фикнинг иккинчи қонуни барча диффузия жараёнлари учун муҳим аҳамиятга эга ва шунинг учун ҳам улар диффузия тенгламалари деб аталади.

Диффузия коэффициенти  $D$  асосий катталиклардан бири ҳисобланади. Ушбу катталик киришмавий атомларнинг боғланиш энергиясига, кристаллдаги вакансиялар миқдорига, кристалл панжара доимийсига ва бошқа бир қанча катталикларга боғлиқ бўлади. Қаттиқ jismlарда диффузия коэффициентини аниқлашда газлар учун чиқарилган диффузия коэффициенти ифодасидан фойдаланилади. Фақат газлардан фарқли равишда кристалларда атомларнинг элементар кўчиши кристалл панжара доимийси  $a$  орқали ифодаланади (3-расм).



3-расм.

Шунинг учун ҳам кристалларда диффузия коэффициенти куйидагича ифодаланади:

$$D = K_0 a^2 / \tau \quad (5)$$

бу ерда,  $K_0$  - кристаллнинг тузилиши ва диффузия механизмига боғлиқ бўлган коэффициент.

Ҳажмий марказлашган кубсимон панжара учун диффузия бўш тугунлар (вакансиялар) бўйича амалга ошаётган бўлса,  $K_0 = 1/8$  га, тугунлараро амалга ошаётган бўлса  $K_0 = 1/24$  га тенг бўлади.

Бирор мувозанат ҳолатда атомнинг туриши мумкин бўлган ўртача вақт:

$$\tau = \tau_0 \cdot \exp(\Delta E/kT)$$

бу ерда,  $\tau_0$ - кристалл панжара тугунларидаги атомларнинг хусусий тебраниш даври орқали аниқланувчи ( $\sim 10^{-3}$  с) доимий.

(5) ифодани ҳисобга олган ҳолда диффузия коэффициенти учун куйидаги тенгламани ёзиш мумкин:

$$D = D_0 \cdot \exp(-\Delta E/kT) \quad (6)$$

бу ерда,  $D_0 = K_0 a^2 / t_0$ .

(6) ифодада,  $\Delta E$  - диффузиянинг фаолланиш энергияси, яъни атомнинг кристалл панжарада бир бирликка сакраши учун керак бўлган энергия;  $k$  - Больцман доимийси ( $k = 8,6 \cdot 10^{-5}$  эВ/град).

(6) ифода киришмавий атомларнинг кристалл панжаранинг вакансиялари ҳамда тугунлари бўйича ўздиффузияси ва диффузияси учун ўринлидир. Демак, диффузия коэффициенти берилган концентрация градиентидаги модда атомлари оқими зичлиги катталигини аниқлайди. Яримўтказгичларда киришмавий атомлар диффузияси тезлиги уларнинг чегаравий эрувчанлигига тескари пропорционалдир. Одатда киришмавий атомларнинг тугунлараро диффузия тезлиги панжара вакансиялари бўйича диффузия тезлигидан анча юқори бўлади.

### АДАБИЁТЛАР РЎЙХАТИ:

1. Камаров Ф. Ф. Ионная имплантация в металлы. М.: Наука и техника, 1980. -164 с.
2. Белый А. В., Карпенко Г. Д., Мышкин Н. К. Структура и методы создания износостойких поверхностных слоев. М.: Наука и техника, 1991. -175 с.
3. Белый А. В., Кукареко В.А., Лободаева О. В., Таран И. И., Ших С. К. Ионно-лучевая обработка металлов, сплавов и керамических материалов. Мн.: Наука и техника, 1997. -185 с.