

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ОЛИЙ ВА ЎРТА  
МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ**

**ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ**

**ФИЗИКА ФАКУЛЬТЕТИ**

**НАЗИРОВ Д.Э.**

**МАЪРУЗА МАТНИ:**

**ДИФФУЗИЯ УСУЛИ БИЛАН ЭЛЕКТРОН-КОВАК ЎТИШНИ  
ҲОСИЛ ҚИЛИШ**

**Тошкент - 2013**

## ДИФФУЗИЯ УСУЛИ БИЛАН ЭЛЕКТРОН-КОВАК ЎТИШНИ ҲОСИЛ ҚИЛИШ

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

1. Деярли ихтиёрий юзада юқори сифатли электрон-ковак ўтишни олиш мумкин.
2. Диффузия ускуналари жуда содда бўлиб, жараёни 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 яшашда кенг қўлланилади.

Лекин жараёнинг 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:

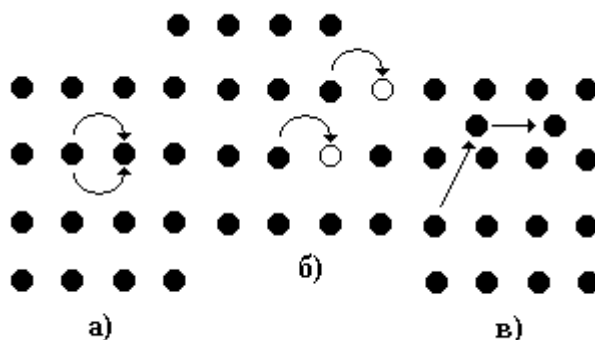
1. Кимёвий мувозанат ҳолатида бўлган кристаллдаги диффузия, яъни ўздиффузия;
2. Кимёвий мувозанат ҳолатида бўлмаган, кимёвий потенциал градиенти ортган кристаллдаги диффузия, яъни гетеродиффузия.

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).

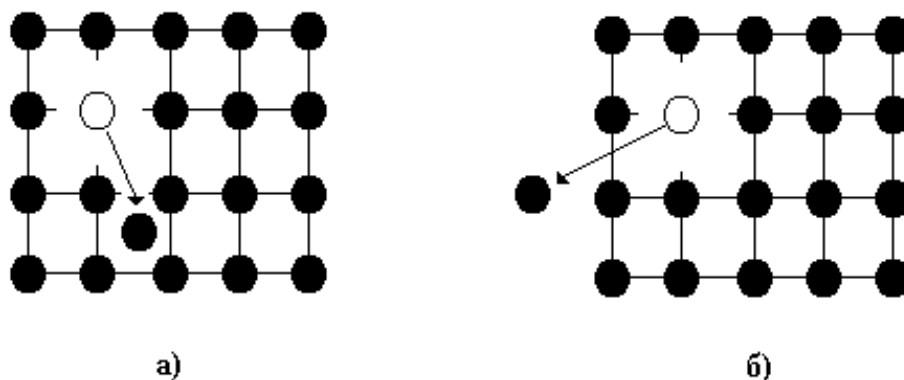


1-расм.

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  $10^{13}$ - $10^{14} \text{ м}^{-3}$  ни ташкил этади ва унинг миқдори температура, шунингдек киришмалар концентрацияси ва панжара нуқсонлари ортиши билан ортади. Масалан, кремнийда  $1100$ - $1200^\circ\text{C}$  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:

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

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:

$$F = -D \cdot \partial N / \partial x \quad (3)$$

бу ерда,  $\partial N / \partial x$  - 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 каттик 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.

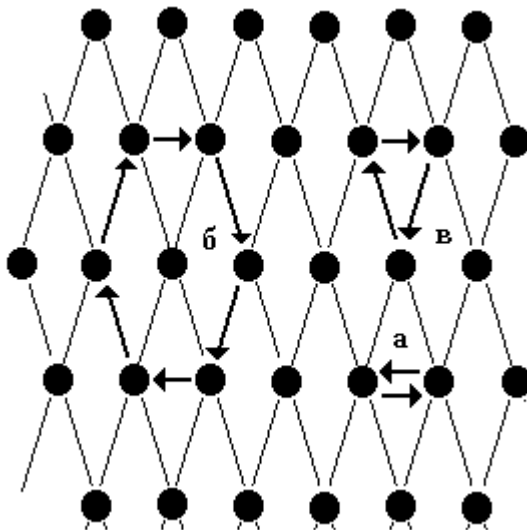
Фикнинг иккинчи қонуни диффузия йўналишига тик бўлган ихтиёрий текисликга кириб борган киришмаларнинг тўпланиш тезлигини аниқлайди:

$$\partial N / \partial t = D \partial^2 N / \partial x^2 \quad (4)$$

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 коэффиценти  $D$  асосий катталиклардан бири ҳисобланади. Ушбу катталик киришмавий атомларнинг боғланиш

энергиясига, кристаллдаги вакансиялар миқдорига, кристалл панжара доимийсига ва бошқа бир қанча катталикларга боғлиқ бўлади. Қаттиқ жисмларда диффузия коэффицентини аниқлашда газлар учун чиқарилган диффузия коэффиценти 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 коэффиценти қуйидагича ифодаланади:

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

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

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 коэффиценти учун қуйидаги 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 коэффиценти 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 юқоридир. Қаттиқ жисмларда температура ортиши билан диффузия коэффиценти экспоненциал қонунга мувофиқ кескин ортиб кетади.

Фик қонунлари асосида аниқланган диффузия коэффиценти орқали, шунингдек берилган бошланғич ва чегаравий шартлар ёрдамида қуйидаги масалаларни ечиш мумкин:

1. Киришмавий атомлар тақсимотини аниқлаш.
2. Киришмавий атомлар концентрациясини аниқлаш.
3. Диффузияланувчи киришмавий атомлар эрувчанлигини аниқлаш.

Мисол сифатида турли чегаравий шартлар орқали киришмалар концентрациясининг тақсимооти учун тенгламалар ечимини кўриб чиқамиз.

## **I. Чексиз манбадан диффузия**

Агар диффузия жараёнида яримўтказгич қатлампидан унинг ҳажмига кираётган киришма миқдори, яримўтказгич юзасига келаётган киришма миқдorigа тенг бўлса, бундай манба чексиз манба (4-расм) деб аталади.

Ушбу ҳолда яримўтказгич кристаллдаги киришманинг бошланғич концентрацияси нолга тенг бўлади ва (3) тенглама ечими қуйидаги кўринишда бўлади:

$$\begin{aligned} N(x, t) &= N_0(1 - \operatorname{erf} x/2\sqrt{Dt}) \\ N(0, t) &= N_0; \quad N(x, 0) = N_0 \end{aligned} \quad (7)$$

бу ерда,  $\operatorname{erf}$  - Гаусс хатоликлар функциясининг ( $\operatorname{erf}$  – «error function») қисқача ифодаси:

$$\operatorname{erf}Z = 2/\sqrt{\pi} \int_0^Z \exp(-t^2) dt$$

(8) тенглама ечимини қуйидагича ифодалаш ҳам мумкин:

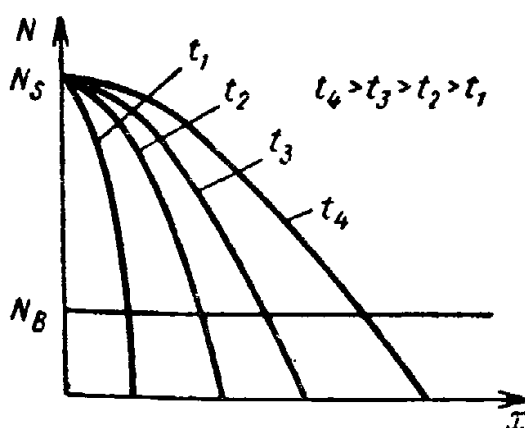
$$N(x, t) = N_0 \operatorname{erfc} x/2\sqrt{Dt} \quad (8)$$

бу ерда,  $\operatorname{erfc}Z = 1 - \operatorname{erf}Z$  - хатоликларнинг қўшимча функцияси бўлиб ( $\operatorname{erfc}$  – «error function complement»), одатда унинг ва  $\operatorname{erf}$  функциянинг қийматлари маълумотномаларда график ва жадваллар кўринишида берилган бўлади. Юқоридаги, (8) ифодада:

$N_0(x, t)$  - сиртдаги киришма концентрацияси ( $\text{см}^{-3}$ );

$N(x, t)$  - сиртдан  $x$  масофадаги киришма концентрацияси ( $\text{см}^{-3}$ );

$D$  - диффузия жараёни температурасидаги киришманинг диффузия коэффиценти ( $\text{см}^2 \cdot \text{сек}^{-1}$ ).



4-расм. Чексиз манбадан легирлаш тақсимоти.

Диффузия жараёни бошлангандан сўнг  $t$  вақт давомида яримўтказгичга кирган киришма миқдори қуйидагича ифодаланади:

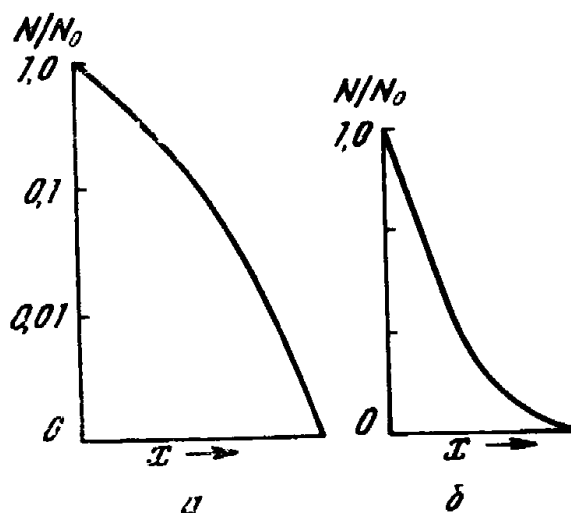
$$Q = \int F(x,t)dt = N_0 \cdot 2\sqrt{Dt}/\sqrt{\pi} \quad (9)$$

Яримўтказгичга кирган диффузанти миқдори сиртдаги киришма концентрациясига тўғри пропорционал эканлиги ва қиздириш вақти ортиши билан киришма миқдори ҳам ортиши ушбу ифодадан кўриниб турибди. Чунки диффузия коэффициентини ва яримўтказгичга кирган киришма миқдори температурага кучли боғлиқдир.

Агар яримўтказгичнинг ҳажмида киришманинг бошланғич концентрацияси ҳисобга олинмас даражада кичик бўлса, киришманинг сиртий концентрацияси эса  $N_0$ , атом/см<sup>3</sup> бўлса ва у доимий сақланса, унда:

$$N(x, t) = N_0 (1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{Dt}}) \quad (10)$$

Ушбу (10) ва (8) ифодаларга мос равишда киришма концентрациясининг диффузия жараёнидан сўнг яримўтказгич қалинлиги бўйича ўзгариши 5а-расмда (яримлогарифмик координаталарда) ва 5б-расмда (чизиғий координаталарда) тасвирланган.



5-расм. Киришма концентрациясининг қалинлик бўйича ўзгариши (а - яримлогарифмик координаталарда) ва (б - чизиғий координаталарда).

Агар киришмавий элементнинг яримўтказгич ҳажмидаги концентрацияси бир хил, яъни  $N_1$ , аммо нисбатан кичик бўлса, айнан шу киришмавий элементнинг диффузияси учун сиртий концентрация  $N_0$  бўлган ҳолатда намуна қалинлиги учун қуйидаги киришмавий тақсимотни оламиз:

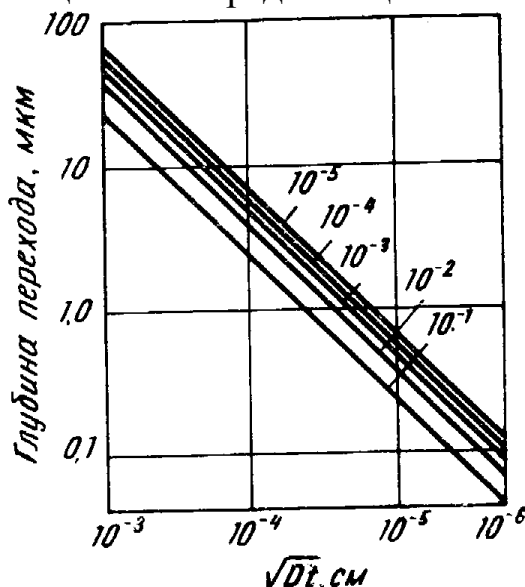
$$N(x, t) = N_1 + (N_0 - N_1) (1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{Dt}}) \quad (11)$$

Транзисторнинг эмиттери ва базасини олиш жараёнида бир босқичли диффузияни амалга оширишда ушбу ҳолат кўп учрайди. Бундай диффузия одатда кремний сиртида “шишасимон манба”дан (фосфор ва бор силикатлари) амалга оширилади. Қўлланиладиган шишасимон қатлам диффузия жараёнининг давомийлигига боғлиқ бўлмаган ҳолда, сиртий  $N_0$  концентрациянинг доимийлигини таъминлайди.

Агар  $n$ -тур киришмаларнинг диффузияси бошланғич концентрацияси  $N^1$  бўлган  $p$ -тур яримўтказгичда ёки аксинча, амалга ошаётган бўлса,  $p$ - $n$  ўтишга  $N(x, t) = N^1$  муносабат мос келади, яъни:

$$N_0 (1 - \operatorname{erf} \frac{x_j}{2\sqrt{Dt}}) = N^1 \quad (12)$$

$p$ - $n$  ўтишнинг чегарасига мос келувчи  $x_j$  катталиқ ҳисоблаб топилиши ёки 6-расм ёрдамида тахминий тарзда аниқланиши мумкин.



6-расм.  $N^1/N_0$  нисбатнинг турли қийматларида ўтиш ҳолатининг  $\sqrt{Dt}$  қийматига боғлиқлиги.

Агар ушбу структурада қарама-қарши ўтказувчанлик турига эга киришманинг такрорий диффузияси амалга оширилса, ҳосил бўладиган иккинчи  $p$ - $n$  ўтишнинг жойлашуви қуйидаги муносабат орқали аниқланади:

$$N_0^1(1-\operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{D^1t^1}})+N^1 = N_0(1-\operatorname{erf} \frac{x_j}{2\sqrt{Dt}}) \quad (13)$$

бу ерда,  $N_0^1$  - иккинчи диффузияланувчи киришманинг сиртий концентрацияси;  $D^1t^1$  - иккинчи диффузияланувчи киришманинг диффузия коэффициентининг вақтга кўпайтмаси.

Баъзи ҳолларда диффузиянинг иккала жараёни бир вақтда ва одатда турли температураларда боради. Диффузиянинг ҳар бир босқичи учун тенгламадаги  $Dt$  кўпайтма ҳамма диффузия жараёнлари учун  $Dt$  қийматларнинг йиғиндисини ўз ичига олади.

Турли ҳолатлар учун ўтиш ҳолатини ва концентрациявий тақсимотни аниқ топиш учун узоқ давом этувчи ҳисоблашлар амалга оширилади, аммо кўпинча амалиётчи технологлар графикларни таққослашдан иборат оддий усулдан фойдаланадилар.

## II. Яримчексиз манбадан диффузия

Диффузияланувчи киришманинг  $\exp(-z^2)$  қонун бўйича диффузияланиши учун зарурий миқдори жуда кичик, деб ҳисоблаймиз. Юқоридаги ифодада,  $z=-(x/2\sqrt{Dt})^2$ . Киришманинг бундай миқдорини яримўтказгич ҳажмига ион легирлаш орқали ёки дастлабки диффузия жараёнини сиртда кичик миқдордаги киришма манбаини ҳосил қилиш учун етарлича бўладиган даражада паст температурада ва қисқа вақт давомида ўтказиш орқали киритиш мумкин:

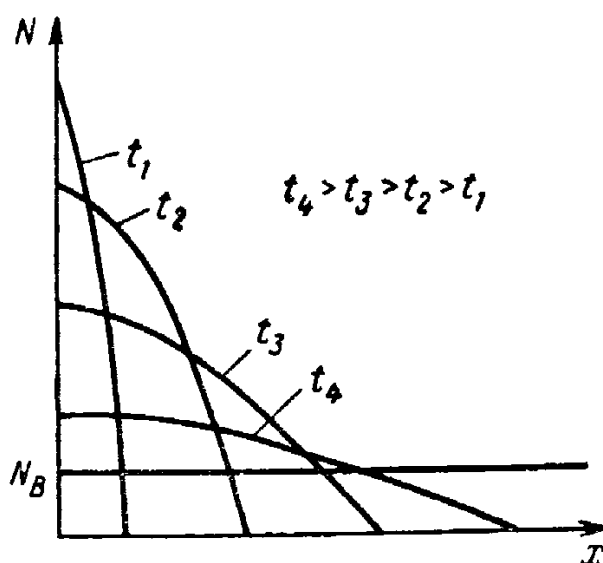
$$Q_0 = 2N_{01}(D_1t_1/\pi)^{1/2} \quad (14)$$

бу ерда,  $Q_0$  - дастлабки диффузия давомида кремнийга кирувчи киришманинг миқдори, ат./см<sup>2</sup>;  $N_{01}$  – дастлабки диффузия температурасидаги киришманинг сиртий концентрацияси, ат./см<sup>2</sup>;  $D_1$  – дастлабки диффузия жараёни температурасидаги диффузия коэффициенти, см<sup>2</sup>/с;  $t_1$  – дастлабки диффузиянинг давомийлиги, с.

Дастлабки диффузиядан сўнг ҳосил қилинган сиртий диффузия манбаи дастлабки диффузия температурасидан юқори бўлган температурада қиздириш орқали яримўтказгич ҳажмига ҳайдалади ва ҳосил бўлган киришмалар тақсимоти қуйидагича ифодаланади, бу ерда, индексларда келтирилган “2” киришманинг манбадан ҳайдалиш жараёнига оиддир:

$$N(x, t_1, t_2) = \frac{2N_{01}}{\pi} \left( \frac{D_1 t_1}{D_2 t_2} \right)^{1/2} e^{-(x/2\sqrt{D_2 t_2})^2} \quad (15)$$

Юқоридаги (15) ифода  $\sqrt{D_2 t_2} \gg \sqrt{D_1 t_1}$  бўлган ҳолат учун ўринлидир. 7-расмда чекланган манбадан диффузия жараёни учун легирлаш профили тасвирланган.



7-расм. Чекланган манбадан легирлаш тақсимоти.

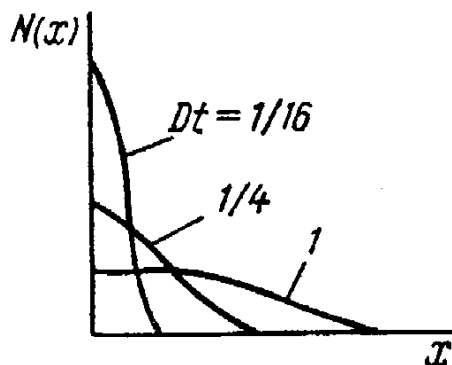
### III. Чексиз юпқа қатламдан диффузия

Ушбу ҳолда диффузияланиш фақат кристаллда рўй беради, деб ҳисоблаймиз.  $(x, 0)$  диффузантининг ташқи чегараси эса қайтаргич ҳисобланади. Бундай тизимга  $\text{SiO}_2$  оксид қатлами билан қопланган кремнийдаги киришмаларнинг юпқа сиртий қатламдан ҳажмга рўй берадиган диффузиясини мисол қилиб кўрсатиш мумкин. Бунда оксид қатлами қайтарувчи чегара ҳисобланади, чунки киришманинг бу қатламдаги диффузия коэффициенти кремнийдагига нисбатан бир

неча бор кичикдир. Ушбу ҳолда кремний ҳажмидаги киришмалар тақсимооти экспоненциал қонун бўйича ифодаланади:

$$N(x, t) = Q_0 \cdot \exp(-x^2/4Dt)/2\pi\sqrt{Dt} \quad (16)$$

бу ерда,  $Q_0 = 2N_0(D\tau/\pi)^{1/2}$ ;  $Q_0$  - киришма миқдори;  $N_0$  - сиртдаги киришмалар концентрацияси. (10)-тенгламанинг график ечими 8-расмда келтирилган.



8-расм. Чексиз юпка манбадан яримчегараланган жисмга диффузияда киришманинг тақсимооти.

### Диффузия ўтказиш усуллари

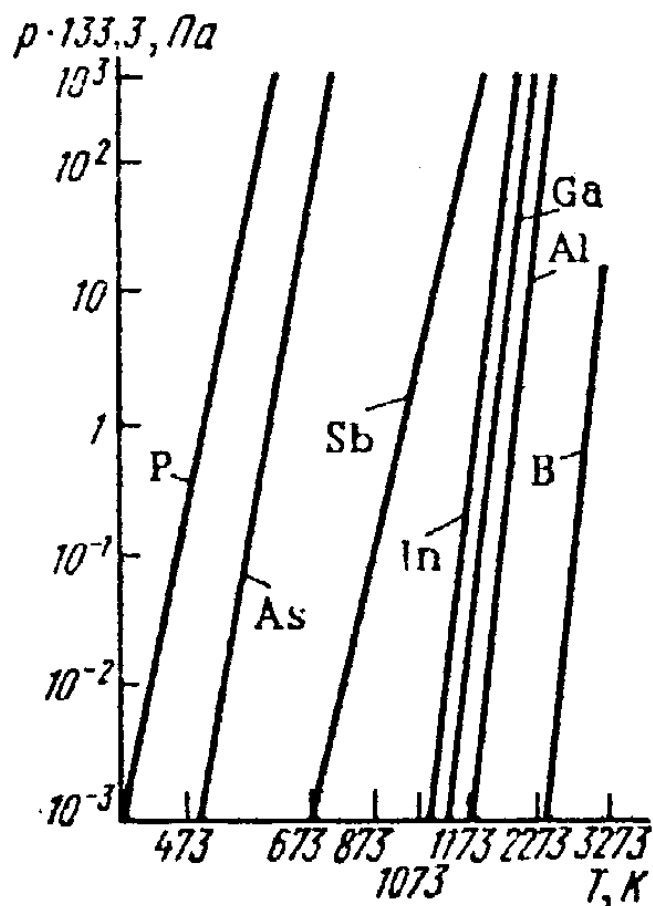
Диффузия жараёни одатда етарлича мақсадли чегараланган температуралар оралиғида олиб борилади. Масалан, кремний учун бу оралик, икки босқичли диффузия жараёнида  $1000-1300^{\circ}\text{C}$  га тенг.  $1000^{\circ}\text{C}$  дан кичик температураларда диффузия коэффициенти қиймати ва диффузия чуқурлиги жуда кичик бўлади.  $1300^{\circ}\text{C}$  дан юқори температураларда эса диффузияланувчи қатламлар сифати бузилади.

Бирор берк ҳажмга яримўтказгич пластинкаси билан киришмавий моддани жойлаштирамиз ва уларни маълум бир температурагача қиздирамиз. Қиздириш натижасида киришмавий модда буғланади ва берк ҳажмда киришмавий буғларнинг парциал босими ҳосил бўлади. Буғ молекулалари бутун ҳажм юзасига, шу билан бирга пластинка сиртига абсорбцияланади.

Етарлича юқори температурада буғланган атомларнинг яримўтказгич пластинкаси ҳажми бўйлаб диффузияси бошланади. Маълумки, умумий ҳолда мувозанатий концентрация буғ босимига пропорционал бўлади, шунинг учун ҳам сиртдаги концентрацияни

бошқариш буғ босимини назорат қилиш орқали амалга оширилади. 9-расмда даврий системанинг III ва V гуруҳ элементлари буғ босимларининг температурага боғлиқлиги кўрсатилган.

Диффузия жараёнлари очик ва ёпиқ қувурларда олиб борилади. Агар диффузиявий қувурнинг чиқишлари ташқи муҳит билан алоқада бўлса, бундай қувур очик қувур ҳисобланади.



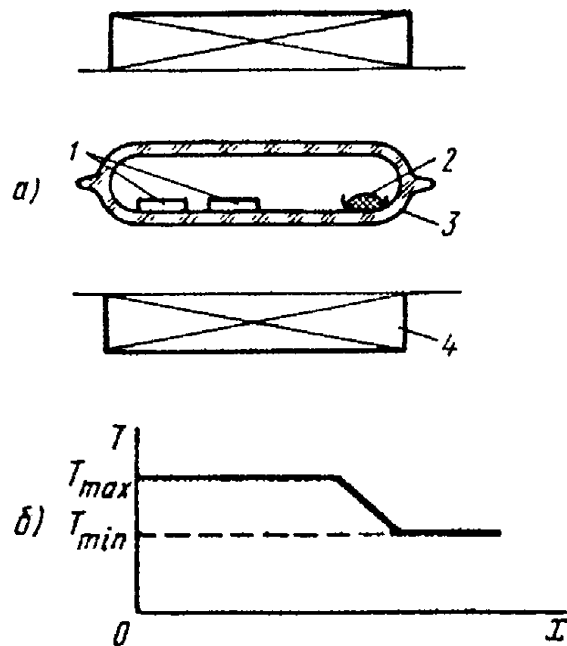
9-расм. Даврий системанинг III ва V гуруҳ элементлари буғлари босимининг температурага боғлиқлиги.

Ушбу қувур орқали диффузия ўтказиладиган соҳага кремний пластинкалари жойлаштирилади (10-расм). Қувур ичидаги ҳавонинг ифлосланиши жуда кичик бўлиши учун қувур сиртида сўрувчи тирқиш очилган. Диффузиявий қувурнинг кириш тирқиши орқали газсимон ташигичлар киритилади (азот, аргон ёки кислород).

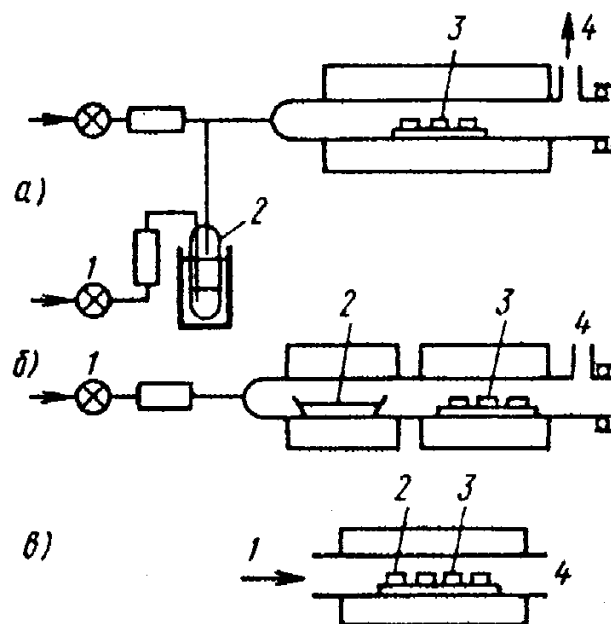
Агар диффузия жараёни ёпиқ найчада ўтказилса, бундай қувур ёпиқ қувур ҳисобланади. Ушбу ҳолда яримўтказгич пластинаси ва киришма манбаи кварц найчага киритилади. Сўнгра  $10^{-5} \div 10^{-4}$  мм. сим.

устунига тенг вакуум ҳосил қилиниб, бутун тизим диффузиявий қиздиргичларга жойлаштирилади.

Диффузانت манбани каттиқ ёки газсимон ҳолатларда кремний сиртидан унинг ҳажмига киритилиши мумкин.



10-расм. Ёпиқ ҳажмда (а) диффузия жараёни схемаси ва икки зонали қиздиргичда (б) температуранинг тақсимооти.

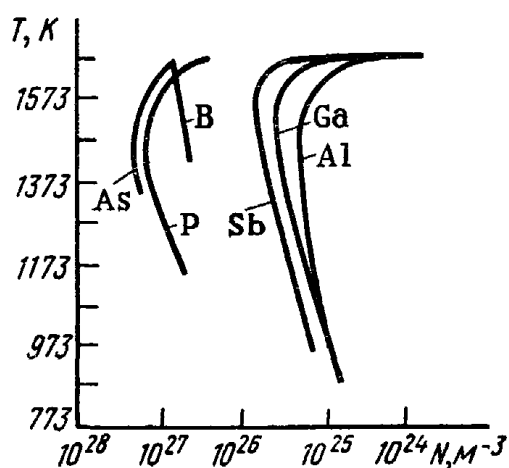


11-расм. Очик қувурда диффузиявий жараёнларни ўтказиш схемалари.

Диффузия жараёни одатда икки босқичда олиб борилади. Биринчи босқичда кремний сиртида етарлича юпқа диффузия қатлами ҳосил қилинади. Ушбу босқич диффузия ўтказиладиган температурадан паст температурада олиб борилади. Иккинчи босқичда кремний пластинаси киришмалардан холис бўлган атмосфера муҳитида қиздирилади. Шунинг учун ҳам ушбу босқичда сиртдаги киришма қатлами фақат диффузияланиб тақсимланади. Иккинчи босқич эса чекланган киришма манбаидан диффузияланиш жараёнига мос келади.

Легирловчи элемент сифатида олинадиган киришма ва киришма манбаи қатор шартларни қаноатлантириши лозим:

1. Танланган киришманинг яримўтказгичдаги чегаравий эрувчанлиги жуда юқори бўлиши зарур. Кремний учун юқори эрувчанликка эга донор киришма - арсений билан фосфор бўлса, акцептор киришма - бор ҳисобланади (12-расм).



12-расм. III ва V гуруҳ элементларининг кремнийдаги эрувчанлиги.

2. Танланадиган киришма манбаи яримўтказгич сирти билан таъсирлашганда диффузия жараёнини қийинлаштирувчи мураккаб бирикмаларни ҳосил қилмаслиги зарур.

3. Киришма манбаи яримўтказгич сиртини ифлосламаслиги зарур. Бунинг учун у юқори даражадаги тозалikka эга бўлиши керак.

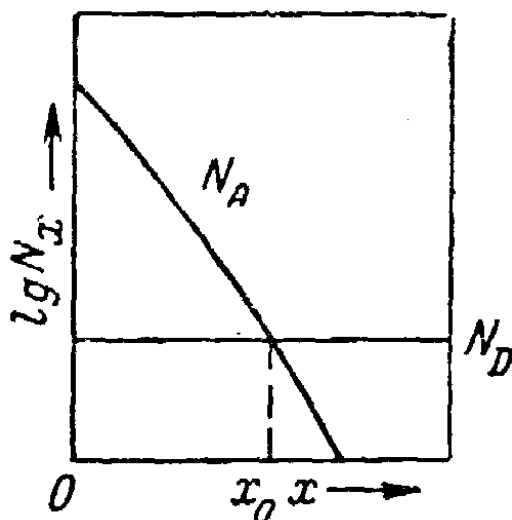
Диффузия жараёнини ўтказишда қаттиқ, суюқ ёки газ кўринишидаги киришма манбаидан фойдаланилади.

Фосфор манбаи сифатида қаттиқ ҳолатдаги фосфор ангидриди ( $P_2O_5$ ) ва алюминий фосфатларини ( $NH_4H_2PO_4$ ,  $(NH_4)_2HPO_4$ ) суюқ

ҳолатда хлороксид фосфори ( $POCl_3$ ), газ ҳолатида эса фосфинни ( $PH_3$ ) қўллаш мумкин.

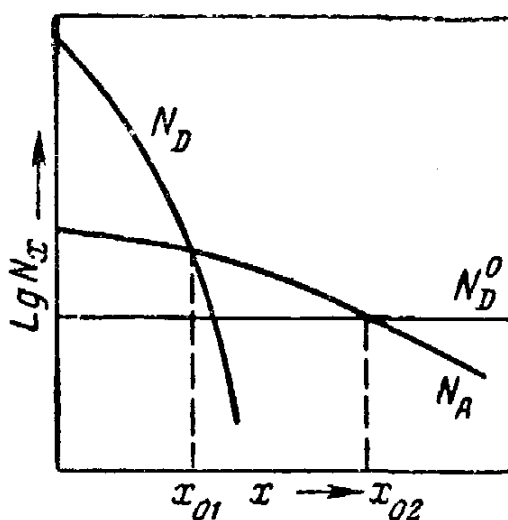
Бор манбаи сифатида эса қаттиқ ҳолатдаги бор ангидриди ( $B_2O_5$ ) ва бор кислотаси ( $H_3BO_3$ ), суюқ ҳолатда бор уч бромиди ( $BBr_3$ ), газ ҳолатида бор уч хлориди ( $BCl_3$ ) ва диборанни ( $B_2H_6$ ) қўллаш мумкин.

### Диффузия жараёнида электрон-ковак ўтишларни ҳосил қилиш асослари

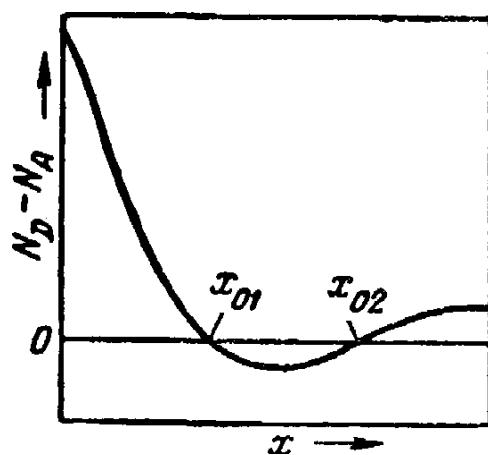


13-расм. Бошланғич донор киришманинг  $N_D$  бир текис концентрациясига эга яримўтказгичга диффузия натижасида акцептор киришма концентрациясининг  $N_A$  тақсимооти.

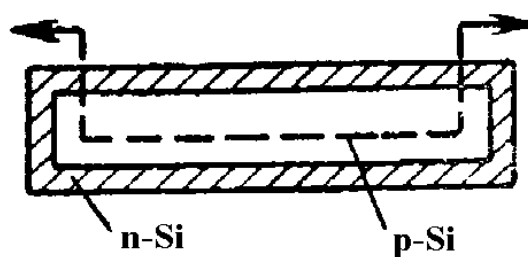
### Киришмаларнинг диффузияси натижасида олинадиган яримўтказгич структуралар



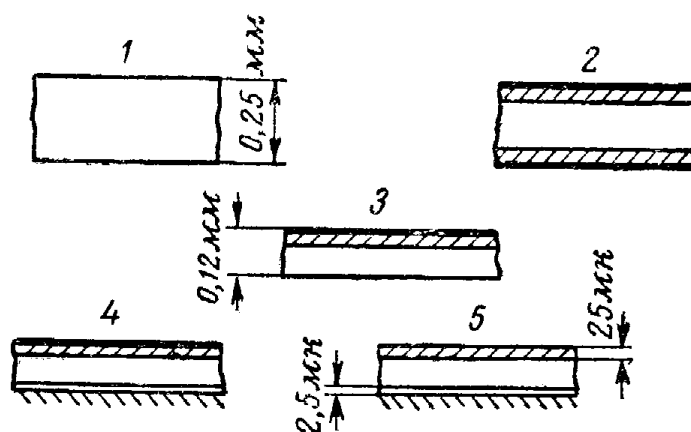
14-расм. Донор киришманинг бошланғич  $N_D^0$  концентрациясига эга яримўтказгичга донор  $N_D$  ва акцептор  $N_A$  киришмаларнинг бир вақтда диффузияси натижасидаги концентрацияларининг тақсимооти.



15-расм. Донор ва акцептор киришмалар концентрациялари  $N_D - N_A$  фарқининг масофадан  $x$  сиртгача боғланиши.



16-расм. Киришмаларнинг кремнийга диффузиясида олинган  $p-n$  ўтиш.



17-расм. Киришмаларнинг диффузиясида кремнийда  $p-n$  ўтиш олиш жараёнларининг кетма-кетлиги.

## Назорат саволлари

1. «Диффузия» атамаси нимани англатади?
2. Диффузия усулининг ютуқлари ва камчиликлари ҳақида маълумот беринг.
3. Қаттиқ жисмларда диффузия ҳодисаси деб нимага айтилади?
4. Яримўтказгичларда диффузия механизмлари ҳақида маълумот беринг.
5. Шоттки ва Френкель нуқсонлари ҳақида маълумот беринг.
6. Фик қонунларининг маъноси нималардан иборат?
7. Диффузия коэффиценти қандай катталикларга боғлиқ?
8. Фик қонунларининг амалий тадбиғи ҳақида маълумот беринг.
9. Диффузия жараёнини ўтказиш усуллари ҳақида маълумот беринг.
10. Киришмаларнинг кремнийда диффузияси ҳақида маълумот беринг.
11.  $p$ - $n$  ўтиш олиш ҳақида маълумот беринг.