

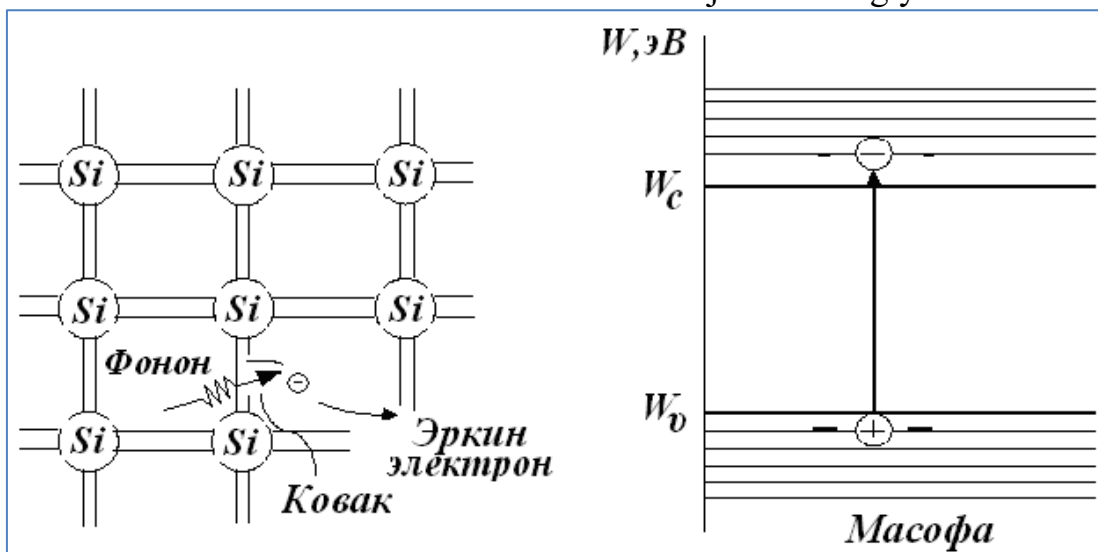
## 17-Tema: Yarım ótkizgishlerdi elektrofizikalıq qàsiyetleri (2-bólim)

### Joba:

1. Jeke elektr ótkiziwsheñlik.
2. Kiritpeleli elektr ótkiziwsheñlik.

**Jeke elektr ótkiziwsheñlik.** Yarım ótkizgishli elektronika ónimleriniñ derlik 97 % kremniy tiykarında jasaladı. 10.2 – súwrette kremniy pánjeresiniñ àpiwayılastırılğan modeli (a) hám onıñ zona energetikalıq diagramması (b) keltirilgen. Eger yarım ótkizgish kristalı quramında kiritpe ulıwma bolmasa hám kristall pánjereniñ dúzilisinde kemshilikler ( bos túyler, pánjere jılıwı hám basqalar ) bar bolmasa , bunday yarım ótkizgish jeke dep ataladı hám i háribi menen belgilenedi.

17.1 – súwretten kórinip turıptı kremniy jeke kristallında onıñ atomınıñ tórt valent elektronı kremniydiñ qoñsı atomınıñ tórt elektronı menen baylanısıp, bekkem segiz elektronlı qabıq (tuwrı sızıq) payda etedi. K temperaturada bunday yarım ótkizgishte erkin zaryad tasıwshılar joq. Biraq temperatura artıwı menen yáki jaqtılıq nurı túsirilgende kovalent baylanıslardıñ bir bólegi ótedi hám valent elektronlar ótkiziwsheñlik zonasına ótiw ushın jeterli energiya aladı.



17.1 – súwret .Kremniy kristallında

Náriyjede valent elektron erkin zaryad tasıwshıǵa aylanadı hám kernew tásir ettirilse ol tok payda etiwde qatnasadı. Elektron joǵalıwı nátiyjesinde atom oñ ionǵa aylanadı.

Bir waqıttıñ ózinde valent zonasında boslıq payda boladı hám valent elektronlar energiyaların ózgertiwge, yaǵniy valent zonasınıñ qandayda bir ruxsat etilgen ornınan basqasına ótiwge imkan jaratadı. Solay etip ol tok payda bolıw processinde qatnasıwı múmkin. Temperatura artqanda kóbirek valent elektronlar ótkiziwsheñlik zonasına ótedi hám elektr ótkiziwsheñlik artıp baradı.

Valent zonadaǵı erkin energetikalıq beti yáki erkin valent baylanıs gewekli dep ataladı hám ol elektron zaryadınıñ absolyut mánisine iye bolǵan erkin oñ

zaryad tasıwshı esaplanadı. Geweksheniń háreketleniwi valent elektronı háreketine qarama-qarsı boladı.

Solay etip, atomlar arasındaǵı kovalent baylanıstıń úziliwi bir waqıttıń ózinde erkin elektron hám elektron ajratıp shıqqan atom janında gewek payda bolıwına alıp keledi. Elektron - gewek juplıǵınıń payda bolıwı procestıń zaryad tasıwshılar generaciyası dep ataladı. Eger bul process jıllıq tásirinde ámelge asırılsa, ol jıllıq generaciyası dep ataladı. Ótkiziwsheńlik zonasında elektronnıń payda bolıwı hám valent zonasında gewektiń júzege keliwi 17.1, b-súwrette belgiler járdeminde sheńberler kórinisinde súwretlenedi. Strelka járdeminde elektronnıń valent zonasınan ótkiziwsheńlik zonasına ótiw kórsetilgen.

Generaciya nátiyjesinde júzege kelgen elektronlar hám geweksheler yarım ótkizgish kristallında jasaw waqtı dep atalatuǵın belgili bir waqıt dawamında tártipsiz háreketlenedi soń erkin elektron tolıq bolmaǵan baylanıstı toltıradı hám baylanıs payda boladı. Bul process rekombinaciya dep ataladı.

Ózgermes temperaturada (basqa sırtqı tásirler bar bolmaǵanda) kristall teńsalmaqlıq jaǵdayında boladı. Yaǵniy generaciyalanǵan zaryad tasıwshılar juplıǵı sanı rekombinaciyalanǵan juplıqlar sanına teń boladı. Birlik kólemdegi zaryad tasıwshılar sanı, yaǵniy olardıń konsentraciyası, salıstırma elektr ótkiziwsheńlik mánisin beredi. Jeke yarım ótkizgishlerde elektronlar konsentraciyası geweksheler konsentraciyasına teń boladı ( $n_i = p_i$ ).  $n$  (negative sózinen) hám  $p$  háripleri (positive sózinen) mas ráwishte elektron hám gewekshege mas keledi. Kiritpesiz yarım ótkizgishte payda bolǵan elektron hám geweksheler jeke erkin zaryad tasıwshılar hám olarǵa tiykarlanǵan elektr ótkiziwsheńlik dep ataladı.

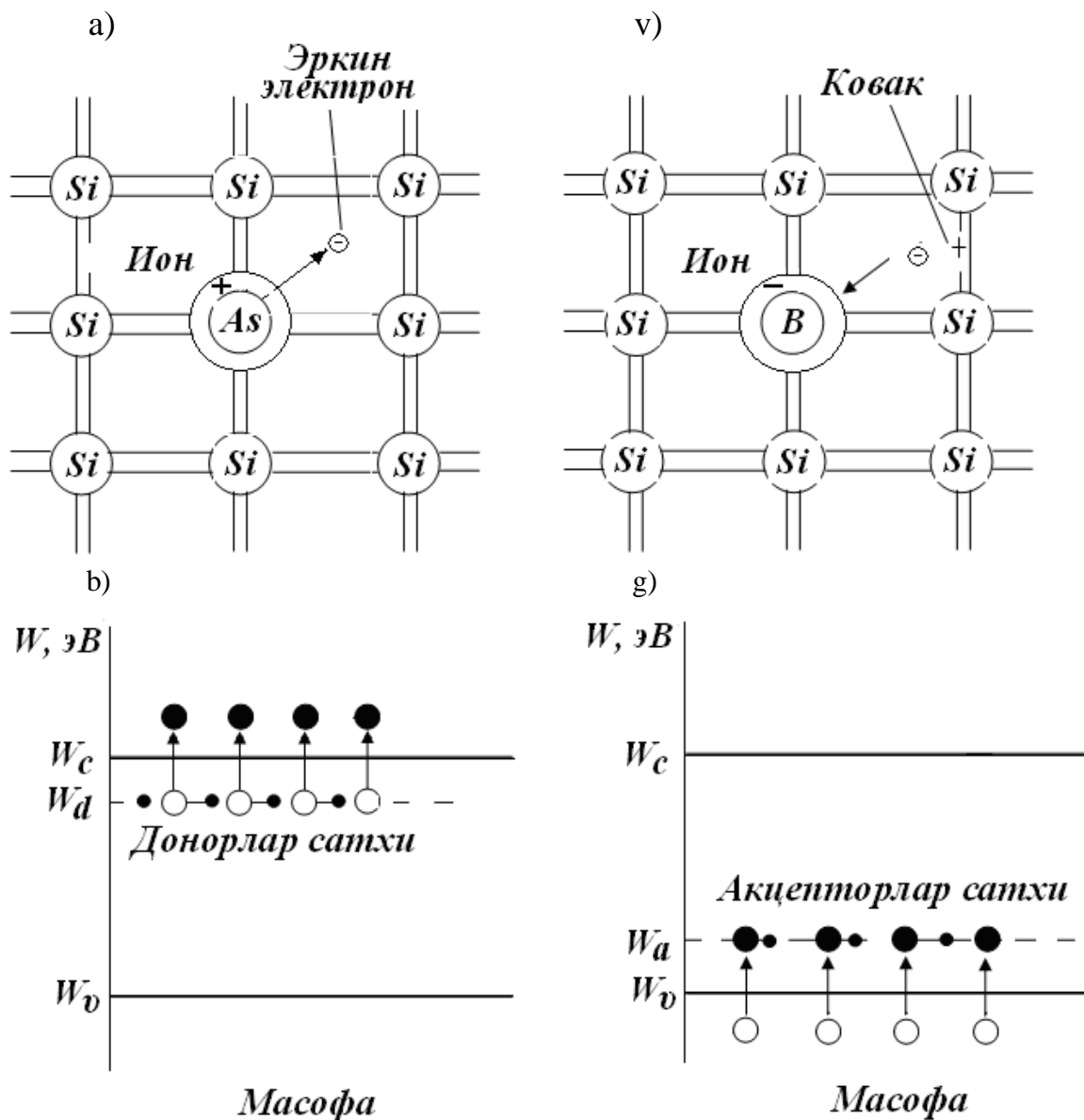
Kiritpeli elektr ótkiziwsheńlik. Yarım ótkizgishli ásbaplardıń kóp bólegi kiritpeli yarım ótkizgishler tiykarında jaratıladı. Elektr ótkiziwsheńligi kiritpe atomları ionizaciyası nátiyjesinde payda bolatuǵın zaryad tasıwshılar menen tiykarlanǵan yarım ótkizgishler - kiritpeli yarım ótkizgishler delinedi.

Kremniy atomına D.I. Mendeleyev dáwirlik elementler sistemasındaǵı V topar elementleri (máselen, gúmis As) kiritilse onıń 5 valent elektronınan tórtewi qońsı kremniy atomınıń tórt valent elektronları menen baylanısıp segiz elektronnan dúzilgen bekkem qabıq payda etedi. Beshinchi elektron artıqsha bolıp, óziniń atomı menen kúshsiz baylanısqa boladı. Sonıń ushın kishi jıllılıq energiyası tásirinde ol úziledi hám erkin elektrongá aylanadı (17.2, a - súwret), bul waqıtta gewek payda bolmaydı. Energetikalıq diagrammada bul process elektronnıń donor júzi Wd dan ótkiziwsheńlik zonasına ótiwine mas keledi (17.2, b-súwret). Kiritpeli atom oń zaryadlanǵan qozǵalmas ionǵa aylanadı. Bunday kiritpe donor dep ataladı.

Yarım ótkizgishli ásbaplar jasawda kóp kiritpe atomları kiritiledi ( $1 \text{ sm}^3$  kólemge  $10^{14}$ - $10^{18}$  dárejedegi atomlar). Xana temperaturasında kiritpeniń hár bir atomı birewden erkin elektron payda etedi. Geweksheler bolsa jeke yarım ótkizgishlerdegi sıyaqlı kremniy atomı elektronlarınıń ótkiziwsheńlik zonasına ótiwindegi termogeneraciya esabına payda boladı.

Yarım ótkizgish quramına úlken dárejedegi donor kiritpeniń kiritiliwi erkin elektronlar konsentraciyasın arttıradı, gewekler konsentraciyası bolsa jeke yarım ótkizgishlerdege qaraǵanda sezilerli kemeyedi. Erkin zaryad tasıwshılar

konsentrasiyasının kóbeymesi n-p ózgermes temperaturada ózgermey qaladı hám tek yarım ótkizgish qadaǵalanǵan zona keńligi menen anıqlanadı. Sonı yadta tutıw kerek ,  $T = 300 \text{ K}$  ( xana temperaturasında ) kremniyde  $n_p \cong 0,64 \cdot 10^{20} \text{ sm}^{-3}$ , germaniyde bolsa  $n_p \cong 4 \cdot 10^{26} \text{ sm}^{-3}$ . Solay etip, eger kremniy kristalına konsentrasiyası  $10^{16} \text{ sm}^{-3}$  bolǵan donor kiritpe kiritilse,  $T=300 \text{ K}$  da elektronlar ótkiziwsheńligi  $n=10^{16} \text{ sm}^{-3}$ , geweklerdiki bolsa –  $10^4 \text{ sm}^{-3}$  ,teń boladı , demek bunday kiritpeli yarım ótkizgishte elektr ótkiziwsheńlik tiykarınan elektronlar esabına ámelge asırıladı , yarım ótkizgish bolsa - elektron yáki n- túrdegi elektr ótkiziwsheńlik dep ataladı. n - túrdegi yarım ótkizgishte elektronlar- tiykarǵı zaryad tasıwshılar, geweksheler bo'lsa tiykarǵı bolmaǵan zaryad tasıwshılar dep ataladı.



17.2 – súwret.

Kremniy atomına D.I. Mendeleyev dáwirlik elementler sistemasındaǵı III topar elementleri( máselen, bor B ) kiritilse onıń valent elektronları qońsı kremniy atomları valent elektronları menen úsh tolıq baylanıslılıq payda etedi. Tórtinshi baylanıs bolsa tolmay qaladı. Onsha úlken bolmaǵan jıllıq energiyası tásirinde de qońsı kremniy atomınıń valent elektronları bul baylanıstı toltıradı. Nátiyjede

bordiń sırtqı qabıǵında artıqsha elektron payda boladı , yaǵniy ol teris zaryadqa iye bolǵan qozǵalmas ionǵa aylanadı.

Kremniy atomınıń tolmaǵan baylanısı - bul gewekshe bolıp esaplanadı (17.2, v - súwret). Energetikalıq diagrammada bul process elektronnıń valent zonasınan akseptor beti  $W_a$  ǵa ótiwine hám valent zonasında gewek payda bolıwına mas keledi (17.2, g - súwret). Bul waqıtta erkin elektron payda bolmaydı. Bunday kiritpe - akseptorlı dep ataladı, akseptor atomları kiritilgen yarım ótkizgish bolsa - gewek yáki p- túrdegi elektr ótkiziwsheńlik dep ataladı. R- túrdegi yarım ótkizgish ushın gewekler - tiykarǵı zaryad tasıwshılar, - elektronlar bolsa –tiykarǵı bolmaǵan zaryad tasıwshılar esaplanadı.

Fermi beti. Berilgen temperaturada háreketsheń hám qozǵalmas zaryad tasıwshılar konsentraciyası Fermi beti  $W_F$  holati jaǵdayı menen anıqlanadı . Bul bet bir elektrongá mas keliwshi deneniń ortasha jıllılıq energiyasına mas keledi. Absolyut nól temperaturadan parıqlı temperaturada bul bettiń tolıw itimalı 0,5 ge teń.

Elektronlar hám geweklerdiń ortasha jıllılıq energiyası yarım ótkizgish temperaturası menen anıqlanadı hám  $kT$  ǵa teń, bul jerde  $k$  - Bolsman turaqlısı ,  $T$  - absolyut temperatura. Qattı denede bóleksheler háreketin ańlatatuǵın Bolsman nızamına tiykarlanıp , n- yarım ótkizgishtegi energiyası  $W_i$  kishi bolmaǵan elektronlar tómendegige teń :

$$n = n_n \exp\left(-\frac{W_i}{kT}\right),$$

bul jerde  $n_n$  – erkin elektroardıń tolıq konsentraciyası. Sonday ańlatpalar geweklerdi energiya boylap bólistirilwiń ańlatadı. (10.1) súwretten kórinip turıptı , bóleksheler energiyasınıń artıwı menen , bóleksheler sanı keskin kemeyedi .

Eki belgidegi erkin zaryad tasıwshılar konsentraciyası teń bolǵan jeke yarım ótkizgishler ushın Fermi beti qadaǵalanǵan zonanıń ortasınan ótedi. Elektron yarım ótkizgishte elektronlardıń ( pútin yarım ótkizgishiniń ) ortasha energiyası joqarı boladı, demek Fermi beti ortadan ótkiziwsheńlik zonası túbi tárepke jılıydı hám donor kiritpe konsentraciyası qansha joqarı bolsa sonsha ótkiziwsheńlik zonası túbi tárepke jaqınlasadı. R-túrdegi yarım ótkizgishte Fermi beti qadaǵalanǵan zona ortasınan valent zona tóbesi tárepke jılıydı hám akseptor kiritpe konsentraciyası qansha joqarı bolsa sonsha valent zonası tóbesi tárepke jaqınlasadı.

Ayırım yarım ótkizgishli ásbaplar ( tunnel diodları , tunnel tesiliwshi stabilitronlar)da ajıralmaǵan yarım ótkizgishler qollanıladı . Bunday yarım ótkizgishlerde Fermi beti ruxsat etilgen zonalarda: elektron yarım ótkizgish ushın - ótkiziwsheńlik zonasında , gewekli yarım ótkizgish ushın- valent zonada jaylasadı. Ajıralmaǵan yarım ótkizgishler júdá úlken kiritpe konsentraciyası ( $10^{19} - 10^{21}$  sm<sup>-3</sup>) esabına payda etiledi.

Zaryad tasıwshılar háreketsheńligi. Zaryad tasıwshılardıń háreketsheńligi  $\mu$  - bul elektr maydan kernewliligi  $\vec{E} = 1$  V/sm bolǵandaǵı yarım ótkizgishtegi zaryad tasıwshılardıń ortasha baǵıtlanǵan tezligi. Elektronlar háreketsheńligi  $\mu_n$

hár dayım háreketsheñligi  $\mu_p$  dan joqarı boladı. Bulardan tısqarı zaryadlar háreketsheñligi yarım ótkizgish túrine de baylanıslı boladı. Solay etip , kremniydegi elektronlar háreketsheñligi  $\mu_n = 1500 \text{ sm}^2/(\text{Vs})$ , germaniyde  $\mu_n = 3800 \text{ sm}^2/(\text{Vs})$ , galliy arsenidinde  $\mu_n = 8500 \text{ sm}^2/(\text{Vs})$ .

Eger yarım ótkizgishte elektr maydanı payda etse, onda erkin zaryad tasıwshılar jılıwı júzege keledi. Bunday jılıw dreyf háreketi dep ataladı. Dreyf tezligi  $\vec{v}_{DP}$  elektr mayda kernewliligi  $\vec{E}$  ga proporcional boladı:

$$\vec{v}_{DP} = \mu \cdot \vec{E}$$

Elektron hám gewekler dreyf tokınıń nátiyjelik tıǵızlıǵı:

$$\vec{j}_{DP} = q(n\mu_n + p\mu_p) \cdot \vec{E}.$$

Diffuziya koefficienti . Yarım ótkizgishte elektr tokı payda bolıwına tek elektr maydanı emes, bálki háreketsheñ zaryad tasıwshılar gradiyenti de sebep boladı. Yarım ótkizgish kóleminde teñ bólistirilgen erkin zaryad tasıwshılar háreketiniń baǵıtı diffuziya háreketi dep ataladı.

Elektron hám gewek diffuziya toklarınıń tıǵızlıǵı tómendegige teñ:

$$\vec{j}_{DQ} = qD_n \left( \frac{dn}{dx} \right);$$

$$\vec{j}_{pD\Phi} = -qD_p \left( \frac{dp}{dx} \right).$$

bul jerde q – elektron (gewekshe) zaryadı,  $D_n$  hám  $D_p$  – mas ráwishte elektron hám gewekshe diffuziya koefficientleri,  $dn/dx$  hám  $dp/dx$  – mas ráwishte elektron hám gewekshe konsentraciya grandiyentleri.

Dreyf hám diffuziya háreketi parametrleri óz-ara **Eynshteyn salıstırması** menen baylanısqan :

$$Dn = \left( \frac{kT}{q} \right) \cdot \mu_n = \varphi_T \mu_n;$$

$$Dp = \left( \frac{kT}{q} \right) \cdot \mu_p = \varphi_T \mu_p.$$

Usı ańlatpadaǵı proporsionallıq koefficientleri  $\varphi_T = kT/q$  potensial ólshem birligine teñ (volt) hám jıllıq ponecialı dep ataladı. Bólme temperaturasında ( $T=300 \text{ K}$ )  $\varphi_T = 0,026 \text{ B} = 26 \text{ mV}$ .

### Qadaǵalaw ushın sorawlar

1. Elektron hám gewekli ótkiziwsheńlik haqqında túsinik berin. Olar qanday payda boladı?
2. Fermi beti haqqında túsinik berin.
3. Erkin zaryad tasıwshı (EZT) dep nege aytiladı?