

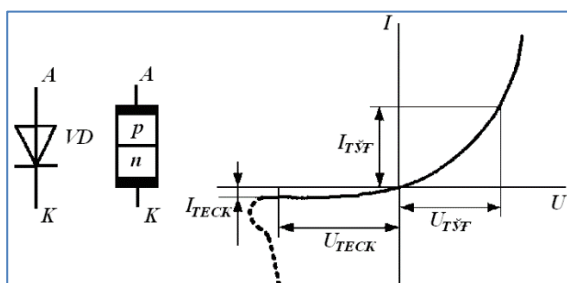
## 20 -Tema : Yarımótkizgishli diodlar (2-bólim)

### Joba:

1. Yarımótkizgishli diod.
2. Stabilitronniń tiykarǵı parametri.
3. KUD tiykarındaǵı generator.

Yarımótkizgishli diod dep bir (yamasa bir neshe) elektr ótiwlerge iye eki elektrodlı elektron ásbapqa ayıladı. Diodlar radioelektron apparatlarda isletiliwi hám atqaratuǵın wazıypasına muwapıq klassifikaciyalanadı.

Barlıq yarımótkizgishli diodlardı eki gruppǵa ajratıw múmkin: durıslawshı hám arnawlı wazıypalardı orınlawshı. Durıslawshı diodlar ózgeriwshen toktı ózgermeytuǵın tokqa ózgertiw ushın qollanıladı. Tuwrılawshı tok forması hám chastotasına baylanıslı halda olar tómén chastotalı, joqarı chastotalı hám impuls diodlarga ajratıladı. Arnawlı wazıypalardı orınlawshı diodlarda p-n ótiwlerdiń túrli elektrofizik qásiyetlerinen, mısalı, tesiliw hádiyselerinen, fotoelektrik hádiyselerden, kerı qarsılıqqa iye tarawları bar ekenliginen hám basqalardan paydalanıladı. Arnawlı wazıypalardı orınlawshı diodlar, atap aytqanda, ózgermeytuǵın kernewdi turaqlılaw, optikalıq nurlanıwdı atap kórsetiw, elektr sxemalarda signallardı qalıplestiriw hám basqa wazıypalardı ámelge asırıw ushın qollanıladı.



19. 1-súwret. Yarımótkizgishli diod

Yarım ótkizgish diodlardıń elektr sxemalarda shártli belgileniwi 19. 1 a - suwretde, onıń strukturası kórinisi b - suwretde keltirilgen. Súwretlerde diodning shıǵıwları A hám K kórsetilgen bolıp, olar diodtıń elektrodları dep ataladı. Diodtıń r - tárepine jalǵanǵan elektrod anod dep, n - tárepine jalǵanǵanı bolsa - katod dep ataladı. Diodtıń statikalıq VAXi v - suwretde keltirilgen.

Yarım ótkizgish diodtıń tuwrı hám kerı baǵıtlarındaǵı qarsılıqları bir- birinen keskin parıq etedi: tuwrı jóneliste jıljıtılǵan diodtıń qarsılıǵı ma`nisi kishi, teris jıljıtılǵan dioddiki bolsa - úlken boladı. Usınıń nátiyjesinde diod bir tárepke elektr tokın jaqsı ótkeredi, ekinshi tárepke bolsa - jaman ótkeredi.

Diodtın tiykarǵı parametrleri:

1. Statikalıq qarsılıq [Om];
2. Differensial qarsılıq [Om] ;
3. Xarakteristika tikligi [A/V].

**Tuwrılawshi diodlar** kernew dáregi ózgeriwshen kernewin ózgermeytuǵına awdarma jasawda qollanıladı. Durislawshi diodlardın tiykarǵı ózgesheligi - bir tárepleme ótkizgishlik bolıp, onıń bar ekenligi tuwrılaw effekti menen anıqlanadı.

**Tuwrılawshi diodlardın** isletiliw chastota diapazonı júdá keń. Usınıń sebebinen olar jumısshı chastota diapazonı boyınsha klassifikaciyalanadı.

**Tómen chastotalı** durislawshi diodlar (PCH diodlar) sanaat chastotasındaǵı (50 Gs) ózgeriwshen toktı ózgermeytuǵına awdarma jasawda qollanıladı. PCH diodlarına qoyılatuǵın tiykarǵı talap - bul úlken bahaǵa iye bolǵan tuwrılانған toklar alıw. Durislawshi diodlar ádetde 0, 3 A ge shekem, 0, 3 A den 10 A ge shekem hám 10 A den joqarı bolǵan tuwrılانған toklarǵa mólsherlengen kishi, orta hám úlken quwatlı diodlarǵa bólinedi. PCH diodlari úlken p-n ótiw menen xarakterlenedi.

**Joqarı chastotalı** durislawshi diodlar (YUCH diodlar) on hám júz megagers penenchastotaǵa shekem bolǵan signallardı nochiziqli elektr ózgertiwge mólsherlengen. YUCH diodlari joqarı chastota signalları detektorları, aralastırǵıshlar, chastota ózgertirgish sxemalar hám basqalarda qollanıladı. Joqarı chastota diodlari kishi inersiyaǵa iye, sebebi kishi júzege iye bolǵan noqatlıq p-n ótiwge iye hám usınıń sebebinen olardıń tosıq sıyımlılıǵı pikofaradtın bir bólegin quraydı.

**Shottki to'sig'ili (baryerili) diodlar** kernew deregi qayta jalǵawshılarında keń tarqalǵan, sebebi olar qayta jalǵanıw jumısshı chastotasın 100 kGs penen hám odan joqarıǵa arttırıwǵa, radioelektron apparatura salmaǵı, ólshemlerin kishreytiriwge hám kernew deregi FIK asırıwǵa múmkinshilik jaratadılar. Shottki to'sig'i metalldı yarım ótkeriwshi menen kontaktı nátiyjesinde payda etiledi. Yarım ótkeriwshi material retinde kóbinese n - túrdegi kremniy, metall retinde bolsa Al, Au, Mo hám basqalar qollanıladı. Bul waqıtta metall shıǵıw jumısı kremniy shıǵıw jumısınan úlken bolıwı talap etiledi. Bunday diodlarda diffuziya sıyımlılıǵı nolge teń, tosıq sıyımlılıǵı bolsa 1 pF dan aspaydı.

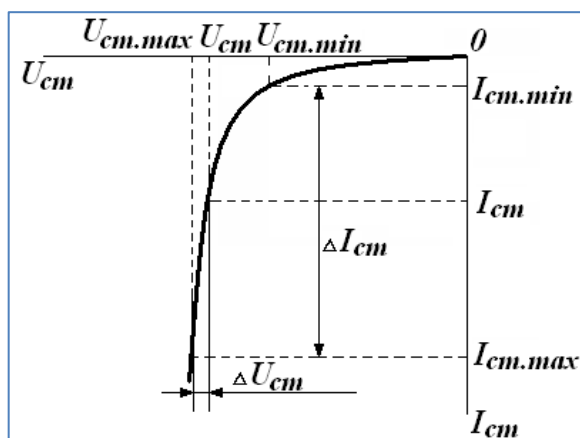
**Stabilitron** - yarım ótkeriwshili diod bolıp, onıń islew Principi p-n ótiwge teris kernew berilgende elektr tesiliw salasında toktıń keskin artpaqtası kernewdın onsha úlken bolmaǵan ózgeriwine alıp keliwine tiykarlanǵan. Stabilitron sxemalarda kernewdi turaqlılaw ushın isletiledi.

Stabilitronning tiykargı parametri bolıp, toktıń IST. min den IST. max ge shekem keń ózgeris penen aralıǵında turaqlılaw kernewi UST esaplanadı (19. 2- súwret).

Stabilitron VAX sidagi jumısshı tarawdıń elektr tesiliw salasında jaylasadı. Turaqlılaw kernewi diod bazasındaǵı kiritpe konsentraciyası menen anıqlanatuǵın p-n ótiwge baylanıslı. Eger joqarı konsentraciyaǵa iye bolǵan yarım ótkeriwshi qollanılса, ol halda p-n ótiw tar boladı hám tunnel tesiliw gúzetiledi. UST jumısshı kernewi 3-4 v den aspaydı.

Joqarı voltli stabilitronlar keń p-n ótiwge ıyelewı kerek, sol sebepli olar kúshsiz legirlangan kremniy tiykarında jasaladı. Olarda qulama qarsimon tesiliw júz boladı, turaqlılaw kernewi bolsa 7 v den artpaydı. UST 3 ten 7 v ge shekem bolǵan aralıqta tesiliwdiń eki mexanizmi isleydi. Sanaatda turaqlılaw kernewi 3 ten 400 v ge shekem bolǵan stabilitronlar islep shıǵarıladı.

Stabilitronniń elektr tesiliw salasındaǵı differensial qarsılıǵı  $r_D$  turaqlılaw dárejesin xarakterleydi. Bul qarsılıq ma`nisi dioddaǵı kishi kernew ózgeriwi ma`nisiniń diod tokı ózgeriwine qatnası menen anıqlanadı (19. 2 - súwret).  $r_D$  ma`nisi qansha kishi bolsa, turaqlılaw sonsha jaqsı boladı.



19.2.-rasm. Stabilitronniń tiykargı parametri

Stabilitronniń tiykargı parametri bolıp turaqlılaw kúshlani-shining temperatura koefficiyenti (KTK) esaplanadı. KTK - bul temperatura bir gradusqa ózgergende turaqlılaw kernewiniń salıstırmalı ózgeriwi. Qulama qarsimon tesiliw gúzetiletuǵın kishi voltli stabili-tronlar ádetde oń KTKga iye. KTK ma`nisi ádetde 0, 2 - 0, 4 % /grad den aspaydı.

**Varikap** elektr járdeminde basqarılauıǵın sıyımlılıq retinde qollanıwǵa mólsherlengen. varikaptıń islew Principi elektr ótiw tosıq sıyımlılıǵınıń teris kernewge baylanıslılıǵına tiykarlangan.

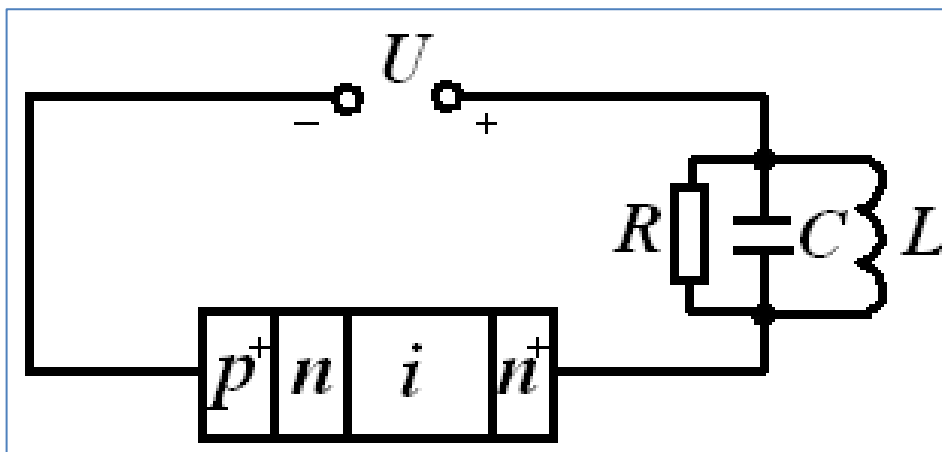
Varikaplar tiykarinan tebranma konturlardı chastotasın elektron qayta sazlawda qollanıladı. varikaplardıń bir neshe túri bar. Mısalı, parametrik diodlar oǵada joqarı chastota signalların kúsheytiw hám generatsiyalawda, kóbeyiwshi diodlar bolsa keń chastota diapazonına iye bolǵan kóbeytirgish qollanıladı.

**Tunnel diodi** dep qozg'atilgan yarım ótkeriwshi tiykarında joybarlangan yarım ótkeriwshili ásbapqa aytıladı. Ol jaǵdayda teris hám onsha úlken bolmaǵan tuwrı kernewde tunnel effekti júzege keledi hám volt - amper xarakteristika kerı differensial qarsılıqqa iye bolǵan tarawdıń ámeldegi boladı. Tunnel diodlar basqa túrdegi diodlardan sezilerli parq etpeydi, lekin olardı soǵıw ushın  $10^{20}$  sm<sup>-3</sup> kiritpege iye bolǵan yarım ótkeriwshili materiallar qollanıladı.

VAX nochiziqli bolsa, onıń hár bir kishi tarawı tuwrı sıızıq dep qaraladı hám xarakteristikanıń bul noqatında differensial qarsılıq kiritiledi. Eger xarakteristika kemeyiwshi bolsa, bul tarawda qarsılıq  $R_i$  kerı bahaǵa iye boladı.

**Kóshkili uchma diod (KUD)** generatsiyalowchi diodlardıń bir kórinisin quraydı. Joqarı chastotalarda onıń VAXıda, p-n ótiwde qulama qarlı tesiliw júz bergende, kerı qarsılıqqa iye tarawdıń payda boladı. Eger KUD rezonatorga jaylastırılsa ol jaǵdayda chastotası 100 Gs penenge shekem bolǵan sónbes elektr terbelisler payda boladı. Oǵada joqarı chastota (O'YUCH) larga 300 MGs penenden 300 GGs penenge shekem diapazon daǵı terbelisler kiredi hám detsimetrli, santimetrli, millimetrli tolqın uzınlıqtaǵı terbelislerdi óz ishine aladı.

Kúsheytiw yamasa generatsiyalaw rejimine uyqas shártlerdi elektron ásbaplardıń kerı dinamikalıq (differensial) qarsılıǵı (MDQ) menen xarakterlew qabıl etilgen. Elektron ásbapda MDQ dıń bar ekenligi onı energiya jutıwshı retinde emes, bálki ózgeriwsheń tok energiyası deregi retinde qaraw kerekligin ańlatadı. KUD - yarım ótkezgish ásbap bolıp, onıń islew Principi O'YUCH diapazonda zaryad tasıwshılardıń qulama qarsimon kóbeyiwi hám olardıń elektr maydan tásirinde uship ótiwi nátiyjesinde MDQ payda bolıwına tiykarlanadı. Házirgi waqıtta KUDlar millimetrli tolqın uzınlıǵında eń úlken quwatlı O'YUCH terbelisler payda etiwshi qattı deneli dereklerdiń biri bolıp tabıladı. 10 GGs penenchastotada úzliksiz terbelislerdiń maksimal quwatı, FIK 40 % bolǵanda, 10 vt lardı quraydı. Qulama qar tokı shawqımları joqarı bolǵanı sebepli, KUD tiykarındaǵı kúsheytgishler shawqım koefficiyenti 30 -40 dB ni quraydı hám KUDlardıń kúsheytgish retinde isletiliwin shekleydi. KUD tiykarındaǵı quwat kúsheytgishler radioreleli hám jasalma joldaslı baylanıs strukturalarında qollanıladı. KUD strukturası hám KUD tiykarındaǵı generatordıń elektr sxeması 19. 3 - suwretde kórsetilgen. RLC mikrotolqınlı rezonatorni quraydı. KUDda jeke avtotebranishlardı sırtqı rezonans penenkontursız da oyatıw múmkin.



19.3 – rasm. KUD tiykarindağı generator elektr sxeması.

KUD parametrleri hám teris kernew Ol ma`nisi sonday saylanadı,  $p+ - n$  ótiwdegi elektr maydan kúshlanganligi  $YeL \approx 105 \text{ V/sm}$ ,  $i -$  tarawda bolsa  $YeTO'Y \approx 5-10 \text{ kv/sm}$  bolsın.

Elektr maydan kúshlanganligi  $YeL$  ga jetkende yarım ótkizgish kristall torı atomlarınń zarbdan ionlasıwı baslanadı. Zarbdan ionlasıw nátiyjesinde zaryad tasıwshılardıń qulama qarsimon kóbeyiwı gúzetiledi. Elektr maydan kúshlanganligi  $i -$  tarawda  $YeTO'Y$  den úlken bolǵanı sebepli zaryad tasıwshılar ıǵıw tezligi maydan kúshlanganligiga baylanıslı bolmaydı hám  $vTO'Y \approx 107 \text{ sm/s}$  penenni payda etedi.

Elektr shınjırlarda mudam ámeldegi bolatuǵın elektr tokı yamasa kernewi fluktuatsiyalari esabına sxemada payda bolǵan baslangısh terbelisler apparattı generatsiyalaw rejimine ótkeredi. Terbelis konturında elektr maydanniń ózgeriwshen quraytuǵınsın belgileytuǵın ózgeriwshen kernew payda etiledi:

$$E = E_{\text{ж}} + E_m \sin \omega t$$

Oń  $\Delta E$  yarım dáwirlerde  $p+-n$  ótiwde elektron - gewek juplıqlar generatsiyalanadı.  $\Delta E$  artıp barıwı menen waqıt birligi ishinde payda bolıp atırǵan bóleksheler sanı sonday artadı,  $\Delta E$  oń yarım dáwiri aqırında eń kóp zaryad tasıwshılar payda boladı. Gewekler  $p+-n$  ótiwden  $p+-$  tarawǵa jıljıydı, elektronlardıń tiykarınan kóp bólegi  $Q$  zaryadlı jıynaq retinde  $p+-n$  ótiw maydanı esabına  $L$  qalınlıqqa iye bolǵan hám ıǵıw qatlamı dep atalıwshı  $i -$  tarawǵa ótedi. ıǵıw qatlamında elektronlar ortasha  $vTO'Y$  tezlik menen  $n+ -$  tarawǵa jıljıydı.

Elektr maydan tezletiwchi maydannan asteletiwshı maydangá ótiw waqtında elektronlar kompleksi ıǵıw salasında háreketlene baslaydı.

Eger ıǵıw qatlamı uzınlıǵı  $L$  de elektronlardıń ushıp ótiw waqtı  $\tau_{DR}$  terbelisler dáwiri yarımına jaqın () etip alınǵan bolsa, elektronlar kompleksi  $L$  dıń pútkil uzınlıǵında joqarı chastotalı maydan menen tormozlanadı hám oǵan óz energiyasın berip baradı. Kinetik energiya uzatılıwı elektronlar kompleksiniń kristall tor menen dúgilisleri arasında júz boladı.

Elektronlar óziniń bir bólim energiyasın joqarı chastotalı maydangá uzatıwı KUD MDQka iye ekenin ańlatadı.

O'YUCH maydangá energiya uzatıwdıń maqul túsetuǵın shártinen kelip shıqqan halda, UD li generatordıń jumısslı chastotası  $f$  dı bahalaymız:

;

$L = 10 \text{ mkm}$  dı shólkemleskende  $f = 5 \text{ GGs}$  boladı. Esaplab tabılǵan chastota ushıp ótiw chastotası, kórilgen rejim bolsa ushıp ótiw rejimi dep ataladı.

Generatsiyalawchı diodlardıń basqa túrin Gann diodlari quraydı.

Gann diodlari (GD) - bir jınslı yarım ótkezgishde Gann effekti esabına MDQka iye yarım ótkezgish ásbap. Kólemiy rezonatorǵa jalǵanǵan GD O'YUCHli garmonik teebelisler generatsiyalawǵa ılayıq.

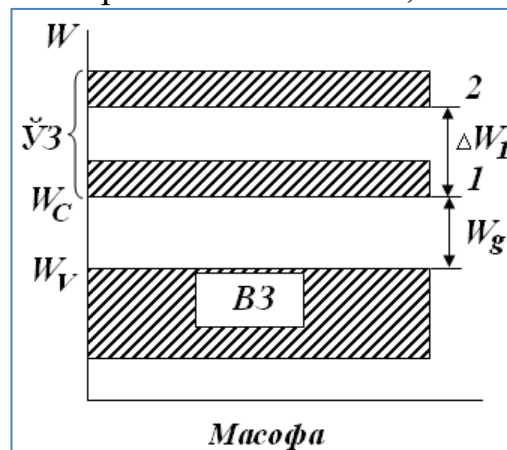
Diod uzınlıǵı  $10^{-2} \div 10^{-3} \text{ sm}$ li bir jınslı yarım ótkizgish plastinadan ibarat. Plastinaniń qarama -qarsı táreplerinde katod K hám anod A dep atalıwshı metall kontaktlar payda etiledi. Gann diodların payda etiw ushın  $n$  - túrli GaAs, InSb, InAs hám InP sıyaqlı birikpelerden paydalanıladı. Diod terbelis konturına jalǵanadı. Gann diodi kontaktlarına kúshlanganlıǵı  $3 \cdot 10^3 \text{ v/smga}$  jaqın elektr maydan payda etiwshi turaqlı kernew berilgende onıń kóleminde chastotası  $60 \text{ GGs}$  ge shekem bolǵan elektr terbelisler payda boladı. Elektr terbelisler quwatı  $10 \div 15 \text{ vt}$  ge shekem boladı, dioddıń FIKi bolsa  $10 \div 12 \%$  ni quraydı.

GD tiykarındaǵı generatordıń  $10 \text{ GGs}$  chastota daǵı maksimal quwatı  $2 \text{ vtga}$  jaqın (FIK  $9 \div 15\%$ ). Chastota artpaqtası menen ol nızam boyınsha azayıp baradı. Bunday nátiyjeler nobarqaror kólemiy zaryad tarawı rejiminde alıńǵan.

GDlari kóshpeli radiolokatorlarda, baylanıs sistemalarında, sonıń menen birge logikalıq elementler retinde hám basqa apparatlarda keń qollanıladı.

Bir jınslı,  $n$  - túrli GaAs penen hám InP kristallarında Gann effekti tiykarın oazislararo ótiw dep atalıwshı udayı tákirarlanatuǵın tok impulsleri payda bolıwına alıp keliwshi ótiw quraydı. Qutbli yarım ótkezgishlerde ótkizgishlik zonası energiyaler aralıǵı menen bir- birinen ajratılǵan bir neshe minimumǵa yamasa “oazisga” iye. Ápiwayılastırıw ushın, ótkezgishlik zonası bas oazis 1 hám ekvivalent oazis 2 den ibarat dep esaplanadı

(19. 4-súwret). GaAs penen ushın  $\Delta W_1 = 0,36 \text{ eV}$ ,  $\Delta W_g = 1,43 \text{ eV}$ .

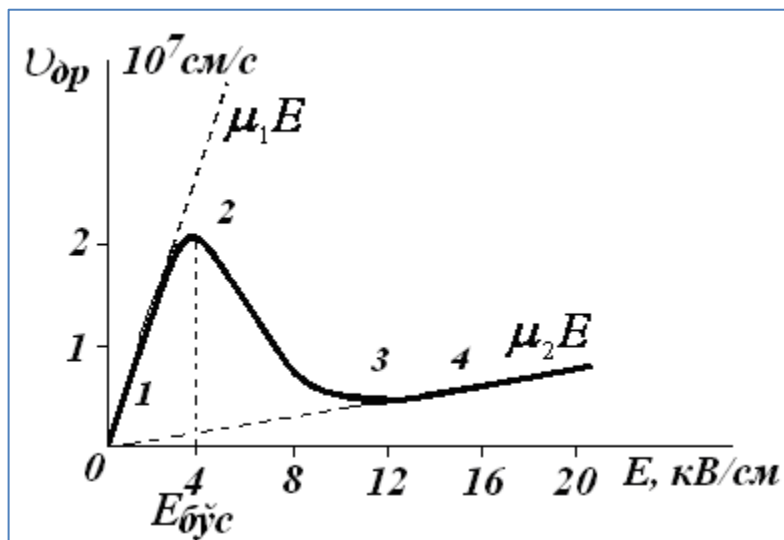


19. 4 - súwret. Gann effektin túsindiriwshi energetikalıq diagramma.

Elektronlar (gewekler) effektiv massası material túrine, kristall dúzilisine hám de zaryad tasıwshılar energiyasına baylanıslı, sebebi kristall tor jeke elektr maydanı tezleniwine bul bóleksheler tásir etedi. GaAs kristalında elektronlardıń joqarı - 2 oazis degi effektiv massası  $m_{EF2} = 1,2 m$ , tómengi oazis 1 dagisi bolsa  $m_{EF1} = 0,07 m$  ni quraydı, bul jerde  $m$  - vakuum daǵı erkin elektrondıń massası. Ekinshi tárepden, elektronlar effektiv massası artqanı sayın olardıń jıldamlıǵı nızamǵa qaray azayadı, bul jerde  $T$  - kristalldıń absolyut temperaturası. Sol sebepli joqarı oazis “salmaqlı”

elektronlarının jıldamlığı  $100 \text{ sm}^2/[\text{v}\cdot\text{s}]$ , tómengi oasis “jeńil” elektronlarının jıldamlığı bolsa  $5000 \text{ sm}^2/[\text{v}\cdot\text{s}]$  dı quraydı. Sonday etip, berilgen temperaturada ótkizgishlik zonasında bir waqtınıń ózinde “jeńil” hám “salmaqlı” elektronlar bar. Bolsman bólistiriwine muwapıq bólme temperaturasında elektronlardıń kóp bólegi tómengi oasisde toplandı. Eger diodga úlken bolmağan potenciallar ayırmashılıǵı berilse, ol jaǵdayda elektronlardı tezletiwshi maydan payda boladı (19. 5 - suwretde 1-2 tarawdın).

Elektronlar tezlikke erisedi hám diodda tok payda boladı. Tok payda bolıwında joqarı oasis elektronlarının úlesi, olar konsentraciyası kishi bolǵanı sebepli, házirshe júdá kishi.



19. 5- súwret. Íǵıw tezliktiń elektr maydan kúshlengenligine baylanıslılıǵı.

Qadaǵalaw ushın sorawlar

1. Stabilitrón haqqında túsiniń berin.
2. Diodtıń tiykarǵı parametrleri haqqında túsiniń berin.
3. Yarımótkizgishli diod dep nege aytiladı?