

## YARIM ÓTKIZGISHLERDEGI P-N KERI ÓTIWINDEGI TOK AĞIMINIŇ ARTIWIN ANALIZLEW

*Abdreymov A.A., Xojamuratova J.R.*

*Berdaq atındaǵı Qaraqalpaq mámleketlik universiteti*

### Anotaciya

Berilgen tok aǵımınıń buzılıw shártlerin qollanıp maydanniń ionizaciya koeficientiniń jaylasıwına baylanıslı buzılıw kernewin anıqlaw múmkin. maksimal elektr maydan hám birigiw oblastınıń betin anıqlaw múmkin. Elektr maydan hám birigiw qatlamı potentsialı Puasson teńlemesinen anıqlanadı. Qatlam shegarasınıń halı, izbe- iz jaqınlasıw sanlı metodı menen anıqlaw múmkin. Tok aǵımınıń artıwı, yamasa soqqı ionizaciyası, p-n ótiwdegi áhmiyetli mexanizm bolıp tabıladı. Tok aǵımınıń buzılıwı kernewi diodlardáǵı kerı kernewdiń joqarǵı shegarasın anıqlaydı. Bunnan basqa optikalıq signallardıń soqqı mexanizmi, fotodioldlardáǵı sıyaqlı qublıslar bolıp ótedi. Júdá joqarı konsentraciyalarda tok aǵımınıń buzılıwı tunellik mexanizminiń payda bolıwına alıp keledi. .Arsenid galliyde soqqı ionizaciyası koeficiyenti kristal orientaciyasına baylanıslı.

Aǵımınıń artıwı, yamasa soqqı ionizaciyası, p-n ótiwdegi áhmiyetli mexanizm bolıp tabıladı. Tok aǵımınıń buzılıwı kernewi diodlardáǵı kerı kernewdiń joqarǵı shegarasın anıqlaydı. Bunnan basqa optikalıq signallardıń soqqı mexanizmi fotodioldlardáǵı sıyaqlı qublıslar bolıp ótedi.

Bul jumista tiykarǵı tok aǵımınıń buzılıw shártlerin anıqlaymız. Meyli shep táreptegi qurawshı oblastınıń eni  $W$  arqalı  $J_{p0}$  tok ótedi. Eger elektr maydan birigiw oblastında joqarı bolıp, soqqı ionizaciyasınıń payda bolıwı menen bul maydan elektron gewek juplıǵın generaciyalaydı gewek tiykarındaǵı tok mánisi kordinat ózgeriwi menen  $J_p$  ǵa jetedi hám oń qurawshı oblast shegarasında ( $x=W$ ) toqtıń mánisi  $M_p J$  jetedi. Úzliksiz túrde elektron tiykarındaǵı tok  $J_n$  kordinatası  $x=W$  dan  $x=0$  ge shekem artadı. Toliq tok  $J=J_p+J_n$  ózgerissiz halda turaqlı boladı. [1]

Gewek tiykarındaǵı tok artıwı  $x$  koordinatasındaǵı tochkada electron tesikli juplıqtıń 1 sekund ishindeǵı  $dx$  aralıqtaǵı generaciyanıwındaǵı mánisine jetedi.

$$d\left(\frac{J_p}{q}\right) = \left(\frac{J_p}{q}\right) \cdot (\alpha_p \cdot dx) + \left(\frac{J_n}{q}\right) \cdot (\alpha_n \cdot dx) \quad (1) \text{ yamasa}$$

$$\frac{dJ_p}{dx} - (\alpha_p - \alpha_n) \cdot J_p = \alpha_n \cdot J \quad (2)$$

Electron hám gewekli ionizaciya koeficiyenti ( $\alpha_n$  hám  $\alpha_p$ )

$\alpha_n$  -elektron ionizaciya koeficiyenti

$\alpha_p$  -gewekli ionizaciya koeficiyenti.

$\frac{dJ_p}{dx} - (\alpha_p - \alpha_n) \cdot J_p = \alpha_n \cdot J$  (2) теңмесинің shegaralıq shárti

$J = J_p(W) = M_p \cdot J_{J=0}$  (3) boyınsha tómendegishe jazıladı.

$$J_p(x) = \frac{J \left\{ \frac{1}{M_p} + \int_0^x \alpha_n \cdot \exp \left[ - \int_0^x (\alpha_p - \alpha_n) dx^1 \right] dx \right\}}{\exp \left[ - \int_0^x (\alpha_p - \alpha_n) dx^1 \right]} \quad (4)$$

bunda  $M_p$ - geweklerdiń kóbeyiw koeficiyenti  $M_p \equiv \frac{J_p(W)}{J_p(0)}$  ға teń (5).

(4) hám (5) teńlemeni tómendegishe jazamız.

$$1 - \frac{1}{M_p} = \int_0^w \alpha_p \exp \left[ - \int_0^x (\alpha_p - \alpha_n) dx^1 \right] dx \quad (6)$$

Eger  $M_p$  sheksizlikke umtılgandağı kernewdi aǵım buzılıwındağı kernew bolıp tabıladı. Buzılıw shártleri izbe- iz túrde integral ionizaciyasın keltirip shıǵaradı.

$$\int_0^w \alpha_n \cdot \exp \left[ - \int_0^x (\alpha_p - \alpha_n) dx^1 \right] dx = 1 \quad (7)$$

Eger tok aǵımın payda bolıwı geweklerden emes , al, elektronlardan baslansa onda integral ionizaciyası toımendegishe jazıladı.

$$\int_0^w \alpha_n \exp \left[ - \int_0^x (\alpha_n - \alpha_p) dx^1 \right] dx = 1 \quad (8)$$

(7) hám (8) teńlemeler óz ara teń kúshli yaǵnıy ekvivalentli .[2].Onda buzılıw shártleri lavınno proboydı keltirip shıǵarıwshı tasıwshılarga hám dáslepki tokqa emes, al birigiw oblastı dógeregindegi qublıslarga baylanıslı boladı.

Eger buzılıw arıaspadağı dáslepki tok tárepinen keltirip shıǵarılgan bolsa onda (7) hám (8) shártler orınlanbaǵansha ózgermeydi.Eger ionizaciya koeficiyenti teń bolgan yarım ókizgishlerde  $\alpha_n = \alpha_p = \alpha$  (7) hám (8) integral tómendegishe jazıladı.

$$\int_0^w \alpha dx = 1 \quad (9)$$

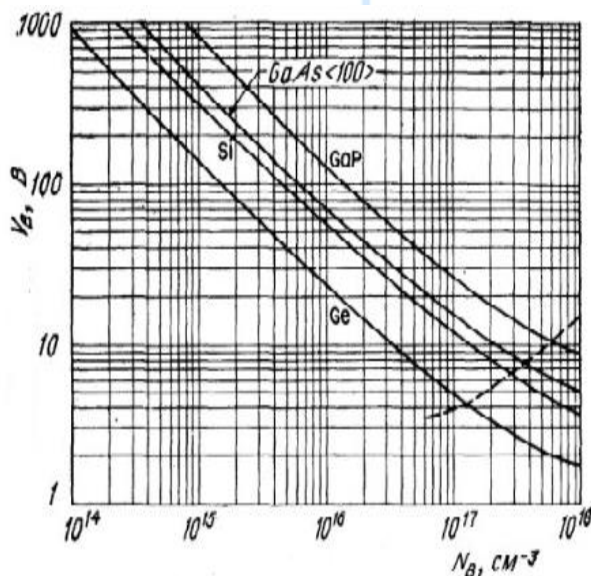
Berilgen **buzılıw** shártlerin qollanıp maydannıń ionizaciya koeficiyentiniń jaylasıwına baylanıslı bolıw kernewin anıqlaw mumkin.maksimal elektr maydan hám birigiw oblastınıń betin anıqlaw múmkin.Elektr maydan hám birigiw qatlamı potencyal Puasson teńlemesinen anıqlanadı.Qatlam shegarasınıń hal ,(7) teńlemeni qanatlandıra, izbe- iz jaqınlasıw sanlı metodı menen anıqlaw mumkin. Eger birigiw oblastınıń eni belgili bolsa, onda proboy kernewi  $V_b$  simmetriyalı emes birden ótiwinde tómendegishe anıqlanadı.

$$V_b = \frac{E_m \cdot W}{2} = \frac{\epsilon_s \cdot E_m^2}{2q} (N_b)^{-1} \quad (10)$$

Al sızıqlı ótiwde :

$$V_b = \frac{2 \cdot E_m \cdot W}{3} = \frac{4 \cdot E_m^{\frac{3}{2}}}{2q} \left( \frac{2\varepsilon_s}{q} \right)^{\frac{1}{2}} (a)^{-\frac{1}{2}} \quad (11)$$

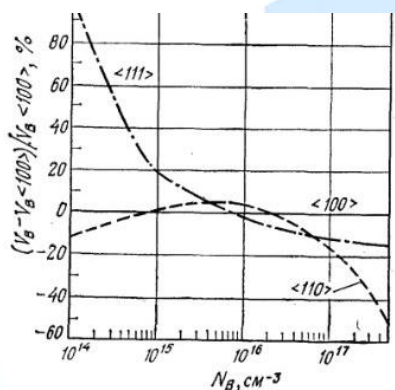
Bul jerde  $N_b$ -hálsiz ligerlengen oblasttaǵı ionlanǵan aralaspalar konsentraciyası.  $\varepsilon_s$ -yarım ótkizgishtıń dielektrik sıńırıwshiligi.  $a$ -aralaspa gradiyettiniń konsentraciyası.  $E_m$ -maksimal elektr maydan.



Súwret -1 [5] Orentaciya <100> bolǵandaǵı GaAs, Ge, Si simmetriyası emes teksheli ótiwde aralaspalar konsentraciyası menen tok aǵısınıń buzılıwındaǵı kernewiniń arasındaǵı baylanıs.

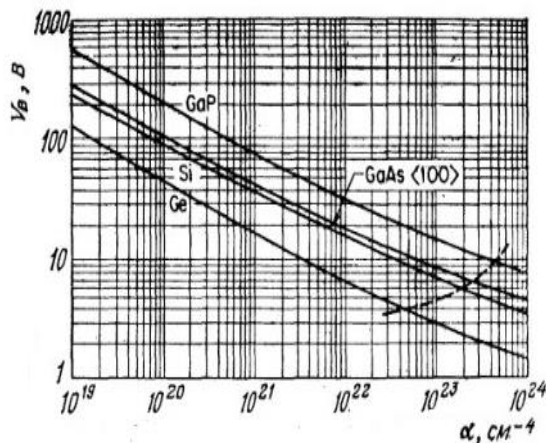
Buzılıw kernewiniń  $N_b$  hálsiz ligerlengen oblasttaǵı ionlanǵan aralaspalar konsentraciyası arasındaǵı esaplawlardaǵı orentaciya <100> bolǵandaǵı GaAs, Ge, Si hám GaP da [3] arasındaǵı baylanıs 1- súwrette kórsetilgen. Eksperimental baqlawlar natiyjeleri menen teoriyalıq esaplawlar sáykes keledi. [4]. Shtrixlanǵan sızıqlar joqarǵı shegarası tok aǵısınıń buzılıwın esaplawlarda  $N_b$  menen belgilenedi. Bul shegara  $6E_g/q$  kriteriya tiykarında analizlenedi.

Júdá joqarı konsentraciyalarda tok aǵısınıń buzılıwı tunellik mexanizminine sezilerli úles qosa baslaydı yaǵnıy payda bolıwına alıp keledi, aqırında ústinlikke erisedi. Arsenid galliyde soqqı ionizaciyası koeficiyenti kristal orientaciyasına baylanıslı.



Súwret -2 [5] GaAs deǵı kernewlerdiń hár qıylı oryentaciyalarda kórinisi. Bul súwrette probay kernewiniń  $V_b$  <111> hám <110>, <100> oriyentaciyalarǵa baylanısı kórsetilgen.

Kórinip turǵanıday proboy kernewiniń orientaciya menen hálsiz baylanısı aralaspa koncentraciyası  $\sim 10^{16} \text{sm}^{-3}$ . bolǵanda orınlı. Eger júdá hálsiz ligerlengen  $V_b$  proboy kernewiniń maksimal mánisi  $\langle 111 \rangle$  oriyentaciyada bolıp ótedi. Kúshli ligerlengen jaǵdayda  $V_b$  proboy kernewiniń maksimal mánisi  $\langle 100 \rangle$  oriyentaciyada bolıp ótedi [35].



3-súwrette [5] proboy kernewiniń aralaspa konsentraciyanıń gradiyenti aǵıwshı sıızıqlı ótiwlerdegi yarım ótkizgishlerde joqarı bahalanadı. Shtrixlanǵan liniyalar joqarǵı shegarası  $\alpha$  menen belgilengen bunda lavinno proboydı esaplaw tuwrı boladı. Maksimal maydandı esaplawlarda  $E_m$  hám birigiw qatlamı eni buzılıw halında birden ótiwlerde (teksheli sekirmeli ótiwlerde) tórt túrli yarım ótkizgish kórsetilgen [3].

Kremniydegi p-n ótiwde maksimal maydan tómendegishe ańlatıladı.

$$E_m = \frac{4 \cdot 10^3}{1 - \frac{1}{3} \lg\left(\frac{N_b}{10^{16}}\right)} \left[ \frac{B}{\text{sm}} \right] \quad (12)$$

Bul jerde  $N_b$  ólshem birliǵi  $\text{sm}^{-3}$  te ólshenedi. Baqlawlar ionizaciya koeficiyentiniń maydangá kúshli baylanıslılıǵı maksimal maydan shaması  $N_b$  ǵa hám  $\alpha$  ǵa hálsiz baylanısqan. Sol sebepli birinshi halda berilgen yarım ótkizgishte  $E_m$  turaqlı dep esaplaymız. Bunda (10-11) ańlatpalardan birden ótiwde  $V_b \sim N_b^{-1.0}$ , al sıızıqlı ótiwde  $V_b \sim \alpha^{-0.5}$ . Bulardıń tastıyıqlaw retinde 1-2-3 súwretlerdi keltirsek boladı. Bunnan basqa  $N_b$  hám  $\alpha$  buzılıw kernewi qadaǵan etilgen zonanıń artıwı menen artadı. Tok aǵısınıń artıwı menen bir zonadan ekinshisine zaryad tasıwshılardıń ótiwi baqlanadı. Alınǵan nátiyjeler tiykarında buzılıw kernewiniń birden ótiw jaǵdayında tómendegisi teńlikti alamız.

$$V_b = 60(E_g / 1,1)^{3/2} (N_b / 10^{16})^{-3/4} \quad [B] \quad (13)$$

Bunda  $E_g$ - ójire temperaturasındaǵı qadaǵan etilgen zonanıń eni, eV;  $N_b$ -hálsiz ligerlengen oblastta aralaspa koncentraciyası,  $\text{sm}^{-3}$ . Úzliksiz túrde sıızıqlı ótiwde :

$$V_b = 60(E_g / 1,1)^{6/5} (\alpha / 3 \cdot 10^{20})^{-2/5} \quad [B] \quad (14)$$

Bunda  $\alpha$ -aralaspa koncentraciyası gradient,  $\text{sm}^{-4}$ . p-n ótiw ushın ,berilgen diffuziyalıq metod penen ,sıızıqlı bólistirilimde aralaspanıń birtárepinde turaqlı konsentraciya aralaspaları basqa tárepine ótiwinde buzılıw kernewi buzılıw

kerewiniń teksheli hám sıızıqlı ótiwinde aralıq mánisine erisedi.  $\alpha$  nıń úlken mánisinde hám  $N_b$  nıń kishi mánislerinde proboy kerewi diffuziyalıq ótiwine alıp keledi.

Solay etip, juwmaqlap aytqanda, yarım ótkizgishlerdegi p-n ótiwlerdegi elektr maydan tásirinde tiykarǵı emes tok tasiwshılardıń konsentraciyasınıń ózgerisi nátiyjesinde kerı toktıń artıwına alıp keledi. Júdá joqarı konsentraciyalarda tok aǵısınıń buzılıwı tunellik mexanizminine sezilerli úles qosa baslaydı yaǵnıy payda bolıwına alıp keledi, aqırında ústinlikke erisedi. Arsenid galliyde soqqı ionizaciya koeficiyenti kristal orientaciyasına baylanıslı.

#### Paydalanılǵan adebiyatlar:

1. И. В. Грехов, Ю.Н. Сerezкин Лавинный пробой p-n перехода в полупроводниках.-Л.: "Энергия", 1980, 152с
2. Lundberg P. J., private communication.
3. Sze S.M., Gibboris G. Avalanche Breakdown Voltage of Abrupt and Linearly Graded p-n Junctions in Ge, Si, GaAs, and GaP, Appl. Phys, Lett., 8, 111 (1966)
4. Warner R.M., Avalanche Breakdown in Silicon Diffused Junctions, Solid State Elektron .15, 1303 (1972)
5. A. Goetzberger, W. Shockley, Structure and Properties of Thin Films, ed. by C. A. Neugebauer et al., J. Wiley. Sons, New York, 1959, СТР. 298.
6. Коршунов Ф. П., Марченко И. Г. Особенности изменения температурной зависимости дифференциального сопротивления в области лавинного пробоя облученных кремниевых p-n переходов. //ФТП, 1983, т .17, в 12,с 2201 - 2203.
7. Коршунов Ф. П., Марченко И. Г., Лостовский С. Б. Влияние радиационных дефектов на лавинный пробой и свойства микроплазм кремниевых p-n пере- ходов. -Вкн.:Тез.докл. X В сес. конф. по физике полупроводников. Минск, 1985, ч.3, с. 38-39.
- 8.Акимов П.В.,ГреховИ.В., Сerezкин Ю. Н. Температурная завсмимость нап ряжения лавинного пробоя диодов,изготовленных из кремния с высоким содержанием растворенного кислорода .//ФТП, 1975.т.9,в.4,с764-767.
9. Кузьмин В.А., Крюкова Н.Н., Кюрегян А. С. Об ударной ионизации глубоких уровней в полупроводниках. //ФТП.1974. т. 8,в. 5.с. 945-949.
- 10.Тагер А.С., Вальд-Перлов В.М .Лавинно-пролетные диоды.М.,1968.480 с.
- 11.Кузьмин В.А .,Кюрегян А .С.Теория вольтамперной характеристики  $p^+i-n^+$ -структуры из компенсированного полупроводника в режиме лавинного пробоя –радиотехн.и электрон.,1975.т.20.в.7.с.1449-1456.
- 12.БогородскийО.В.,ВоронцоваТ.П.,ЖгутоваО.С.идр .Исследование механизмов снижения напряжения пробоя кремниевых высоковольтных многослойных структур.-ЖТФ,1985,т.55,в.7,с.1419-1425.