



КРЕМНИЙЛИ Р-Н ӨТИҰИН ИЗЕРТЛЕҰ

Abdreymov A.A.

Хожамуратова J.R.

Бердақ атындағы қарақалпақ мәмлекетлик университети

Анотация: Көлемлик заряд областындағы микропазма каналындағы терең қәддилердегі қайта зарядланыуды изертлеуде –микроплазмадағы биринши импульс кернеуі U_n хәм микроплазманың толық қосылыуы кернеуінің температураға байланыслы екенлиги келип шығады. Терең қәддилерде қайта зарядланыу параметирлериниң анықланыуы микроплазма кернеуінің турақсызлығының тамамланыу аралығының бар екенлиги келип шығады. Төрең қәддилер концентрациясының микроплазма каналындағы бир қанша орташа мәнисинен жоқары бир қанша қатарларды пайда етеди терең қәдди дауамында микроплазма каналында эмиссия тезлиги сыйымлылығы қоздырыуы мүмкин, Сол себепли эмиссия тезлиги электр майданға ғарезли. Микроплазма каналындағы кеңислик заряд областындағы терең қәддилердиң қайта зарядланыуы $U_{кос}$ қосылыу кернеуінің температыураға монотон емес турде ғарезлилигин келтирип шығарады.

Кремнийли р – n өтиуіндегі ағымының бузылыу халын уйренгенде р-п өтиуінде кеңислик заряд областында зарядланыуы терең қәддилерде болып өтеди. Бул жумыста бизлер әпиуайы зарядланыу механизминиң тийкарғы эффектлерин изертлеймиз. р⁺-п өтиуде ямаса Шоттки барьериндегі симметриялы халын қарап өтемиз. n- қатлам бир текли қапланған жеңил донорлық концентрация (N_d), акцепторлық (N_a) хәм бир зарядлы терең орайда (N_t) ға байланыслы болады. Кеңислик заряд областындағы көлемлик зарядының тығызлығы

$$\rho(x) = q \cdot |N + p - n - N_t \cdot f_t(n; p)| \quad (1)$$

Бул жерде n хәм p электронлар хәм тесиклердиң концентрациясы. Егер ке - нислик заряд областларындағы терең қәддилерде акцепторлар болса онда $N=N_t-N_a$ ға тең болады. Егер кеңислик заряд областларындағы терең қәддилерде донор болса, онда $N=N_d-N_a -N_t$ ға тең болады. Терең қәддилерде стационар халындағы $f(t)$ функциясы [1-4] төмендегише орынланады.



$$f_i(n, p) = \left[1 + \frac{p \cdot (b_p + C_{pn}) + n \cdot C_{pn} + a_n}{p \cdot C_{pp} + n \cdot (b_n + C_{np}) + a_p} \right]^{-1} \quad (2)$$

Бул жерде a_i жәм b_i эмиссия коэффициенти. C_{ij} -соққы ионизациясының микроплазмада пайда болыуының итималлығы ($i=n,p$).

Бизлер шексиз жиңишке қатламның көбейиуиниң нәтийжесинде, температура турақлы болғанда вольт ампер характеристикасындағы қарсылықтың температуралық қураушысының R_t -терис мәнисли қалын пайда етемиз[5-6]. Бундай қалда максимал кернеулилик майданы E_m бузылыудан соң барлық кеңислик заряд областында турақлы болады. ($E_m=E_b=const$). Егер $p=0$ болса; $n = \frac{j}{q \cdot v_n}$ $\rho(x) = q \cdot |N - n - N_i \cdot f_n|$

Бунда j – тоқтығызлығы, v_n - электронлардын дрейф тезлиги. $f_n \equiv f_i(n;0)$. Кеңислик заряд областындағы көлемлик зарядының тығызлығы ρ менен максимал кернеулилик E_m майданының бузылыудан кейинги бирден өтиуи- ниң ВАХсының кернеу байланыслылығын төмендегише аңлатамыз $U = U_{bo} \frac{N}{N - n - N_i \cdot f_n}$ (3) Бул жерде жәм кейинги қалларда

индекс 0 микроплазманың нолевой қалын характерлейди. Кеңислик заряд областындағы n – қатламда қадаған етилген зонасының жоқарғы ярымында

$$a_n \gg a_p; C_{nn} \gg C_{np} \quad \text{жәм} \quad f_n = \frac{n}{(1 + \gamma) \cdot n + n_i} \quad (4) \text{ болған жағдайда токтың}$$

өзгериуи менен жәм температыұраның өзгериуи менен микроплазма қайта зарядланады кууатланады.

$$\text{Бунда} \quad \gamma = \frac{C_{nn}}{b_n} \quad n_i = \frac{a_n}{b_n} = N_e \cdot \exp\left(-\frac{E_i}{k \cdot T}\right)$$

N_e -эффектив тығызлық қалы, E_i - микроплазманың энергия ионизациясы Изертлеулер кремний структурасында р-п өтиуинде пробой кернеуиниң [7-10] температураға ғәрезлилигинде секирмели өзгерис болып, бул микроплазма каналындағы терең қәддилердеги қайта зарядланыуға байланыслы болып табылады. Бир қанша ярым өткизгишлерде терең қәддилер хәр қыйлы себеплерге байланыслы болып буннан тысқары микроплазма каналындағы терең қәддилердеги қайта зарядланыуы микроплазма бузылыуына байланыслы. Көлемлик заряд областындағы микроплазма



каналындағы терең қәддилердегі қайта зарядланыуды изертлеуде – микроплазмадағы биринши импульс кернеуі U_n хәм микроплазманың толық қосылыуы кернеуінің температураға байланыслы екенлиги келип шығады. Терең қәддилерде қайта зарядланыу параметьирлериниң анықланыуы микроплазма кернеуінің турақсызлығының тамамланыу аралығының бар екенлиги келип шығады р-п өтиуді изертлеуде n-Si таярлауда салыстырмалы қарсылық 150-250 Ом.см , турақлы тоқта 100-300К аралықтағы температурада (анықлығы 0,1) , кернеу 0,2В тан 4В қа шекем өзгерди (анықлығы $\pm 0,5В$ [11]) U_n микроплазма пробой кернеуінің температыураға байланысы 1-сүүретте (1-иймеклик)еки секирмели қайта зарядланыу еки хәр турли терең қәддилерде сүүретленген. Сүүретте 5,3,1 бөлимлерде терең қәддилерде көлемлик заряд областта микроплазманың ионланған халы сүүретленген. Микроплазма пробой кернеуінің U_n температыураның артыуы менен кемеийуі 2, хәм 4 участкада биринши хәм екинши терең қәддилердиң көлемлик заряд областындағы микроплазманың ионланғанлығына байланыслы болады. Сол себепли микроплазмианың пробой кернеуі U_n терең қәддилер дүзилиси менен кери араласпадан өтиу уақтына фәрезли.

1-сүүретте пробой кернеуі U_n ниң температураға фәрезлилиги еки уақыт аралығындағы кери кернеудің берилиу моменти хәм микроплазманың биринши импульсы пайда болыуы моментиниң t пайда болыуы сүүретленген . Демек пробой кернеуі температыура артыуы менен артады рекомбинацияланғанда кернеу кемеийеди . Ионизацияда ток артып микроплазманың ток тығызлығы артады. Пробой кернеуінің көлемлик заряд тығызлығынан үзликсизлик түрде байланыс формуласы төмендегише анықланады[12]

$$N = N_m + M - m(t) = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot b^2 |1 + \beta \cdot (T - 300)|}{2 \cdot q \cdot U_n \cdot \ln^2 (2 \cdot a \cdot U_n \cdot b^{-1} |1 + \beta(T - 300)|^{-1})}$$

(1)

Бул жерде N_m хәм M ионланыу концентрациясы киши қәддилер хәм терең қәддилер $m(t)$ - терең қәддилер концентрациясы электронлар менен толтырылыу концентрациясы. T - абсолют температыура , q -электрон заряды , $a=7,03 \cdot 10^6 \text{ см}^{-1}$ $b=1,231 \cdot 10^6 \text{ б/см}$. Улги ушын өлшеу результалары 1-сүүретте көрсетилген , концентрация $M_1 = 5,3 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$ хәм $M_2 = 4,5 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$ температура областындағы р-п өтиудеги кери кернеуде 4 участкада екинши терең қәддиниң пада болыу дәрежеси төиендеги аңлатпада көрсетилген [13].



$$m_2(t) = M_2 \cdot \exp(-e_n \cdot t) \quad \text{бунда} \quad e_n = \sigma_n \cdot b_n \cdot T^2 \cdot \exp\left(-\frac{\Delta E}{k \cdot T}\right)$$

(2) терең қәдидеги электронның эмиссия тезлиги σ_n -терең қәдидеги электронның услануы кесими $b_n = 6,6 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-2} \cdot \text{К}^{-2}$, ΔE -терең қәддинің пайда болуы тереңлиги (σ_n -температуыраға ғәрезли емес). Бул жағдайда микроплазма импульсының пайда болуы уақтының кернеуіге байланыслылығы 1, хәм 2 теңлемеден келип шығып төмендегише жазамыз:

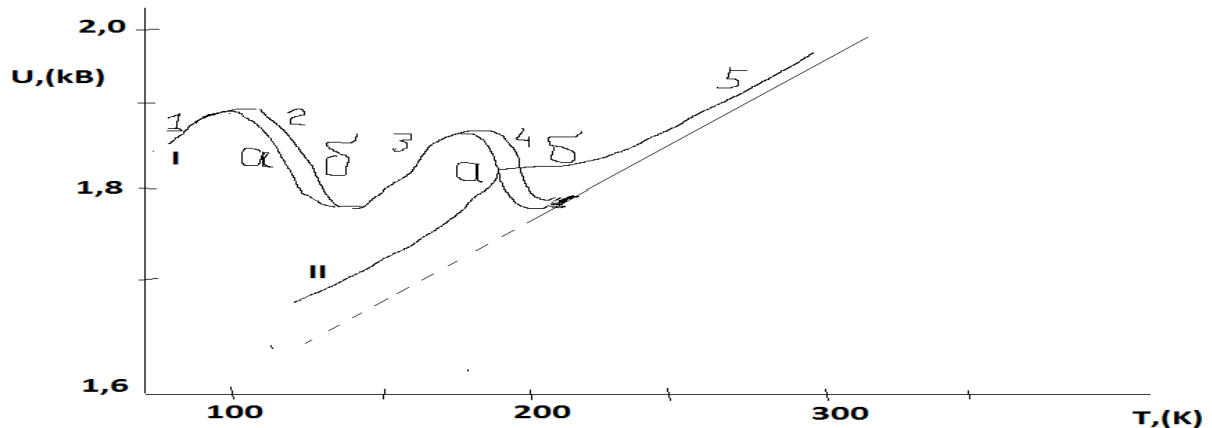
$$F(U_n; T) = \exp(-e_n \cdot t) = 1 + \frac{N_n}{M} - \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot |1 + \beta(T - 300)|}{2 \cdot M \cdot q \cdot U_n \cdot \ln^2 \left\{ 2 \cdot a \cdot U_n \cdot b^{-1} |1 + \beta(T - 300)|^{-1} \right\}} \quad (3)$$

Фиксирленген T ярым логарифмлик масштабта байланысы (3) тууры сызық түрінде көринеди, мүйештиң тангенс қыялығы мәніси e_n -ге тең, (3) формуладағы байланыслардан хәр қыйлы T температураларда өлшегенде, e_n хәм T байланысын алыуға оларды ΔF хәм σ_n -деп есаплауға имкан бериуши яғный терең қәддинің фундаментал характеристикасын алыуға имкан береді. Екинши сүүретте температуыра баланысы e_n - берилген улгидеги терең қәддиде 1- сүүреттеги

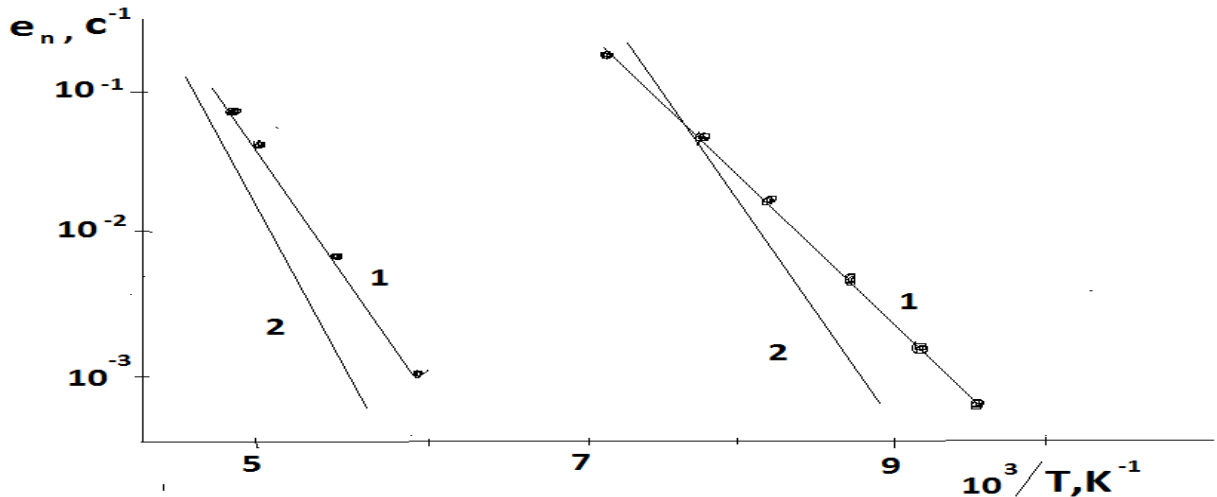
Бунда σ -температуырадан ғәрезсиз,

$$\Delta E_1 = 0,19 \text{ эВ} \quad \text{хәм} \quad \sigma_{n1} = 1,4 \cdot 10^{-20} \text{ см}^2$$

$$\Delta E_2 = 0,43 \text{ эВ} \quad \text{хәм} \quad \sigma_{n2} = 6,7 \cdot 10^{-18} \text{ см}^2$$



1-сүүрет .Микроплазманың биринши импульс кернеуінің $U_n(I)$ хәм микроплазманың толық қосылуының кернеуінің $U_{\text{кос}}(II)$ температуыраға байланысы :



2-сүүрет. 1-микроплазма каналындағы қәддилер 2-термик қайта ислеудеги дефект қаддидеги электронлардың эмиссия тезлигиниң кери температыұраға ғәрезлилиги .

Бул сүүретте көрсетилген үзликсиз байланыслы термообработкалардың дефектлерине ғәрезлилиги көрсетилген [13] , берилген улгидеги спектр сыйымлылығын анықлау концентрациясы қурайды. $(0,9 \div 4,5) \cdot 10^{12} \text{см}^{-3}$.

Егер σ_n термикалық қайта ислеу деффектлеринде де температыұрадан ғәрезсиз ,онда $\Delta E_3=0,26\text{эВ}$ хәм $\sigma_{n3}=9,3 \cdot 10^{-18} \text{см}^2$

хәм $\Delta E_4=0,54\text{эВ}$ хәм $\sigma_{n4}=2,5 \cdot 10^{-15} \text{см}^2$

Бунда сыйымлықлы спектроскопия терең қаддиниң концентрациясының майдандағы орташа мәнисин анықлауға имкан береді .Буннан басқа терең қәддилер концентрациясының микроплазма каналындағы бир қанша орташа мәнисинен жоқары бир қанша қатарларды пайда етеди терең қәдди дауамында микроплазма каналында эмиссия тезлиги сыйымлылығы қоздырыуы мүмкин, Сол себепли эмиссия тезлиги электр майданға ғәрезли бул жағдайда Микроплазма каналындағы электронлардың эмиссия тезлигин өлшеу e_n ,максимал кернеулилик электр майдан $E_{\text{max}} \approx 2 \cdot 10^5 \text{В/см}$ ал e_n ди өлшеуде спектроскопия сыйымлықлы методында өлшеуде $E_{\text{max}} \approx 2 \cdot 10^4 \text{В/см}$

Терең қәддиниң қайта зарядланыуы көлемлик заряд областындағы микроплазма каналында және алып келеди монотон емес темпераның кернеуге $U_{\text{кос}}$ қосылуы кернеуине байланыслылығы көрсетилген .Микроплазма каналындағы кеңислик заряд областындағы терең қәддилердиң қайта зарядланыуы $U_{\text{кос}}$ қосылуы кернеуиниң температыұраға монотон емес турде ғәрезлилигин келтирип шығарады.Биринши сүүретте (II-иймеклик)температыұраның қосылуы кернеуине $U_{\text{кос}}$ байланыслылығы



көрсетилген. Бунда микроплазманың турақсыз аралығында керилиу 5 участкадан артады. (10В тан 100В аралығында). Кернеу областында II – иймекликтің жоқары бөлегінде жатыушы , микроплазма қосылғаннан соң оннан турақлы ток ағады, терең қәддинің орынланыу дәрежеси кинетик энергияның шешилиуи менен аңлатылады. [13]. бунда тек ғана эмиссияның есабынан емес ал электронлардың эмиссиясындағы тезлигинің микроплазма каналында усланыу процесине де байланыслы бул 1 сүуреттеги 3-5 участка ушын жалғыз терең қәддинің қайта зарядланыуында қарап өтеміз. Бунда $e_n, e_p, \sigma_n, \sigma_p, n, p$ хәм жыллылық тезлиги \mathcal{I}_p хәм \mathcal{I}_n уақыт өтиуи менен өзгермейди стационар халда аламыз.

$$m = \frac{M(\sigma_n \cdot \mathcal{I}_n \cdot n + e_p)}{\sigma_n \cdot \mathcal{I}_n \cdot n + \sigma_p \cdot \mathcal{I}_p \cdot p + e_n + e_p} \quad (4)$$

Бунда n хәм p микроплазма каналындағы электрон тесик концентрациясы қаралып атырған $U_{\text{кос}}$ қосылыу кернеуи стационар халда (1) формула менен анықлауға болады, (4) формуладан көрингениндей темпратыураның төменлеуи менен заряд тасыу эмиссиясының терең қәдди менен қосылыу кернеуине $U_{\text{кос}}$ хәлсирейди ал устинлиги зарядтасыушылардың усланыуы терең қәддилерде үстинлиги басланады. Аралық жағдайын өтеміз.

e_n - халында бир қанша үлкен тезликте электрон хәм тесиклердің иркилиуи (5-участка) $m=0$ онда терең қәдди толық ионланған хәм қосылыу кернеуи бақланбайды. 3-участкада электрон эмиссия тезлиги терең қәдди менен пайда болған киши тезликте иркилиуи.

3-участкада терең қәддилерде электрон эмиссиясының тезлигинің киши тезликте иркилиуи ($\sigma_n \cdot \mathcal{I}_n \cdot n \sim 10^3 \text{с}^{-1}$). Биринши жақынласыуда $\mathcal{I}_p \approx \mathcal{I}_n$ хәм $p=n$

аламыз. $m = M \frac{\sigma_n}{\sigma_n + \sigma_p}$ онда $U_{\text{кос}}$ анықланады. Иркилиу кесими

қатнасы менен анықланады. Изертлениуиши улгидеги E_2 қәддидеги $\frac{\sigma_n}{\sigma_p} = \frac{0,50}{0,87}$

Жуумақлап айтқанда, терең қәддилер кремнийдеги ағым бузылыуына кушли тәсир көрсетеди; терең қәддилердің зарядының өзгериси микроплазманың пайда болыу итималлығының артыуына хәм пәсейиуине де алып келиуи мүмкин. Бул хәдийседен микроплазма каналындағы терең орайды уйрениу мүмкин. Аналитик аңлатпа микроплазма бузылыуының



статистик кешигиўиниң даўамлылығы, терең қәддилердиң тийкаргы параметрлерин бөлистириў функциясы ушын алынады. Микроплазма бузылыўының статистик кешигиўи өлшеўлер жәрдеминде терең орайлар параметрлерин анықлаў методикасы ислеп шығылған. Терең орайларды толтырмастан микроплазманы жағыў итималлығын өлшеў р-п өтиўиниң микроплазма каналларында заряд тасыўшыларды жаратыў механизми ҳаққында мағлыумат алыў имканиятын береди. Терең дәрежедеги релакцион спектроскопия усылы ярым өткизгишли эспаблардағы р-п өтиўиндеги радиация дефектлеринде энергияны терең үйрениўде улкен әҳмийетке ийе. Алынған нәтийже ,диод р-п өтиўде көлемин электрон формада өткизиў процесини температурыўра функциясы сыпатында анықланады.

Пайдаланылған әдебиятлар :

1. Коршунов Ф.П., Марченко И.Г., Лостовский С.Б. Влияние радиационных де-фектов на лавинный пробой и свойства микроплазм кремниевых р-п пере-ходов. -Вкн.: Тез. докл. X Всес .конф. по физике полупроводников. Минск, 1985, ч.3, с.38-39.
2. Кузьмин В.А., Крюкова Н.Н., Кюрегян А.С. Обударной ионизации глубоких уровней в полупроводниках. //ФТП. 1974. т.8, в.5. с.945-949.
3. Тагер А.С., Вальд-Перлов В.М. Лавинно-пролетные диоды. М., 1968. 480 с.
4. Кузьмин В.А., Кюрегян А.С. Теория вольтамперной характеристики $p^+ - i - n^+$ -структуры из компенсированного полупроводника в режиме лавинного про-боя – радиотехн.и электрон., 1975. т.20. в.7. с.1449-1456.
5. Богородский О.В., Воронцова Т.П., Жгутова О.С. и др. Исследование механизмов снижения напряжения пробоя кремниевых высоковольтных много-слоиных структур. -ЖТФ, 1985, т.55, в.7, с.1419-1425.
6. Rosier L.L., Sah S.T. -Sol.St.Electron., 1971, v.14, N1, p.41.
7. Акимов П.В., Грехов И.В., Сержкин Ю.Н. Температурная зависимость напряжения лавинного диодов, изготовленных из кремния с высоким содержанием растворенного кислорода. -ФТП, 1975, т.9, в.4. с.764-767
8. Коршунов В.П., Марченко И.Г. Влияние электронного облучения при различных температурах на напряжение лавинного пробоя кремниевых р-п структур. -ФТП, 1982. т.16, в.4, с.751-753
9. Каршунов В.П., Марченко И.Г. Особенности изменения температурной зависимости дифференциального сопротивления в области лавинного пробоя облученных Si р-п переходов. -ФТП, 1983, т.17, в.12. с.2201-2203.
10. Астрова Е.В., Волле В.М., Воронков В.Б., Козлов В.А., Лебедев А.А., Влияние глубоких уровней на пробивное напряжение диодов. -ФТП, 1986, т.20, в.11, с.2122-2125
11. Кондратьев Б.С., Соболев Н.А., Челноков В.Е. Температурные зависимость напряжение пробоя микроплазм в высоковольтных р-п структурах. -В кн.: Силовые полупроводниковые приборы Таллин, 1986, с.15-18.
12. Челноков В.Е., Евсеев Ю.А. Физические основы работы силовых полупроводниковых приборов. М.: 1973. 280с.
13. Берман Л.С., Лебедев А.А. Емкостная спектроскопия глубоких центров в полупроводниках. Л., 1981. 176с