

P-N ЎТИШЛИ ДИОДЛАРНИНГ ФЕРМИ КВАЗИ САТҲИ ВА ВОЛЬТ – АМПЕР ХАРАКТЕРИСТИКАСИГА МИКОТЎЛҚИН ТАЪСИРИ

Г.Гулямов – физика-математика фанлари доктори, профессор

Б.Б.Шахобиддинов – катта ўқитувчи

Г.Н.Мажидова – докторант

Наманган муҳандислик – қурилиш институти

Д.О.Қурбонова – магистрант

Наманган давлат университети

Таянч сўзлар: ЭЮК – электр юритувчи куч, ВАХ - вольт – ампер характеристикаси. ЎЮЧ – ўта юкори частота, қизиган электрон, Ферми квази сатҳ.

Ключевые слова: электродвижущая сила (ЭДС), вольт-амперная характеристика (ВАХ), сверхвысочастотное поле (СВЧ), горячие электроны, квазиуровни Ферми (КФ).

Key words: electromotive force (EMF) current-voltage (CV) characteristic microwave field (SHF) hot electrons, quasi-Fermi levels (QFL).

Бизга маълумки кремний учун $n_i = \sqrt{2} \cdot 10^{-10} \text{ см}^{-3}$, $n_n = N_d = 10^{15} \text{ см}^{-3}$ бўлса $p_n = 2 \cdot 10^5 \text{ см}^{-3}$ га тенг, $p_p = 10^{15} \text{ см}^{-3}$ га тенг бўлар экан. Бизга маълумки $n_n \cdot p_n = p_p \cdot n_p = n_i^2$ га тенглиги ташқи кучланиш берилмаган ҳолатга тўғри келади, акс ҳолда тенглик шарт бузилади [1].

Яъни электрон ва коваклар Ферми сатҳлари бирор бир аралашма соҳасида ҳар хил бўлса шарт бажарилади, акс ҳолда $(F_p - F_n) > 0$ да $p \cdot n > n_i^2$ ёки

$(F_p - F_n) < 0$ да $p \cdot n < n_i^2$ бўлади. Бу ҳолни $p \cdot n = n_i^2 \cdot \left[\frac{q(F_p - F_n)}{kT} \right]$ орқали текширилади.

Донор соҳадаги электрон ва коваклар учун F_n Ферми сатҳи бир хил бўлади. Худди шундай акцептор соҳа учун F_p Ферми сатҳи электрон ва коваклар учун ҳам бир хил бўлади. Ҳар бир соҳа учун ташқи кучланиш бермасдан фақат ЎЮЧ тўлқин таъсир қилдирсак панжара ҳарорати кўтарилмасдан электр токи ташувчиларнинг ҳарорати ортади ва бу ҳолат учун $n_n \cdot p_n = p_p \cdot n_p = n_i^2$ шарт бажарилади.

Концентрациянинг умумий ифодасидан Ферми-Диракт тақсмоти бўйича қизиган электрон ва ковак учун Ферми квазисатҳини сонли ечимини топиш учун (1) ва (2) ифодаларни оламиз.

$$n = \int g(E) f(E) dE$$

$$n_d = \frac{N_d}{\frac{1}{2} e^{\frac{E_d - F}{kT}} + 1}$$

$$N_d \left(1 - \frac{1}{\frac{1}{2} e^{\left(\frac{E_d - F_c}{kT} \right)} + 1} \right) = N_c \int_{E_c}^{\infty} \frac{\sqrt{E - E_c}}{e^{\left(\frac{E - F_c}{kT_c} \right)} + 1} dE \quad (1)$$

$$N_a \left(1 - \frac{1}{2 e^{\left(\frac{E_a - F_h}{kT} \right)} + 1} \right) = N_v \int_{-\infty}^{E_v} \frac{\sqrt{E_v - E}}{e^{\left(\frac{-E + F_h}{kT_h} \right)} + 1} dE \quad (2)$$

Ферми-Диракт ва Максвелл-Болцман тақсмотларини солиштириш мақсадида концентрациянинг умумий ифодасини айнамаган яримўтказгич учун Максвелл-Болцман статистикасига кўра донор аралашма учун электронлар учун Ферми сатҳини ифодасини оламиз:

$$F_e = E_c - kT \ln \left(\frac{N_c}{n_n} \right) \quad (3)$$

Худди шундай акцептор соҳадаги коваклар учун Ферми сатҳи ифодасини оламиз:

$$F_h = E_v + kT \ln \left(\frac{N_v}{p_p} \right) \quad (4)$$

Бунда электрон ва коваклар учун ферми сатҳи кўриниши энергетик сатҳлар учун санок бошини танлашга боғлиқ бўлади. Агар энергетик шкалада $E_c = 0$ деб олинса, у ҳолда кремний таъқиқланган зона кенглиги $E_g = 1,12 \text{ эВ}$ лигидан $E_v = -1,12 \text{ эВ}$ деб олинади. Бу ҳолат учун электрон ва коваклар учун бошлангич ҳона температурасида $T = 300 \text{ К}$ да Ферми сатҳини қуйидагича топишимиз мумкин.

$$F_{e_0} = -kT \ln \left(\frac{N_c}{n_n} \right) \quad (5)$$

$$F_{h_0} = E_v + kT \ln \left(\frac{N_v}{p_p} \right) \quad (6)$$

Биз бу (5) ва (6) ифодаларни ҳисоблаб топишимиз учун N_c ва N_v ларни ифодаларни $T = 300$ учун ҳисоблаб топдик ва адабиётлардаги қийматлари билан солиштирдик [2] ва қўйидаги қийматларга эга бўлдик: $T = 300 \text{ К}$ кремний учун $N_e = 2,8 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ ва $N_v = 1,04 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$,

$n_i = 1,45 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$, бу қийматлардан фойдаланган ҳолда донор соҳа учун $n_n = 10^{15} \text{ см}^{-3}$ деб олсак $p_n = 2 \cdot 10^5 \text{ см}^{-3}$ га тенглигини, акцептор соҳа учун $p_p = 10^{15} \text{ см}^{-3}$ деб олсак $n_p = 2 \cdot 10^5 \text{ см}^{-3}$ тенглигини кўраимиз. Демак дастлаб шу концентрациялар учун (5) ва (6) ифодаларни ҳисоблаймиз, унга кўра $F_{e_0} = -0,265 \text{ эВ}$ $F_{h_0} = -0,88 \text{ эВ}$ га тенг чиқади. Бу қийматлар донор соҳа ва акцептор соҳаларнинг бошлангич Ферми сатҳлари бўлиб, ЎЮЧ электромагнит тўлқин таъсирида электр ток ташувчиларни қизиши туфайли ўзгариб боради.

Қизиган электрон ва коваклар Ферми квазисатҳларининг уларнинг ҳароратга боғлиқлиги

ЎЮЧ таъсир этганда донор ва акцептор соҳалар Фермиквази сатҳи учун қўйидаги ифодаларни ёзамиз.

$$F_e = F_{e_0} - kT_e \ln \left(\frac{N_c}{n_n} \right) \quad (7)$$

$$F_h = F_{h_0} + kT \ln \left(\frac{N_v}{p_p} \right) \quad (8)$$

(7) ва (8) ифодалардан ва юкоридаги қийматлардан фойдаланган ҳолда донор соҳадаги электронлар ва акцептор соҳадаги ковакларнинг ферми сатҳи ЎЮЧ майдон таъсирида ўзгаришини графикларини олинди ва назарий ҳисоб китобларимиз билан солиштирдик.

1- расмдаги 1-чизик $n_1 = 2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$, 2-чизик $n_2 = 2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, донор соҳадаги электронлар

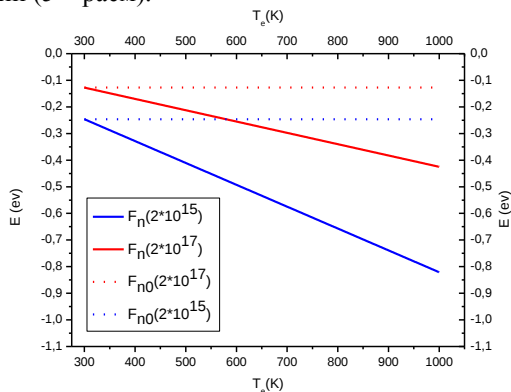
концентрациясида $T=T_e=300K$ ҳолатдаги бошланғич Ферми сатҳлари яъни: n_1 да $F_{e0}=-0.25$ ev га, n_2 да $F_{e0}=-0,126$ ev га тенг ва бу ЎЮЧ таъсирида T_e ни ортиши билан ўзгариб боради.

Худди шу тартибда (8) ифода орқали акцептор соҳадаги коваклар ферми сатҳини ЎЮЧ таъсирида ўзгариш графигини олдик.

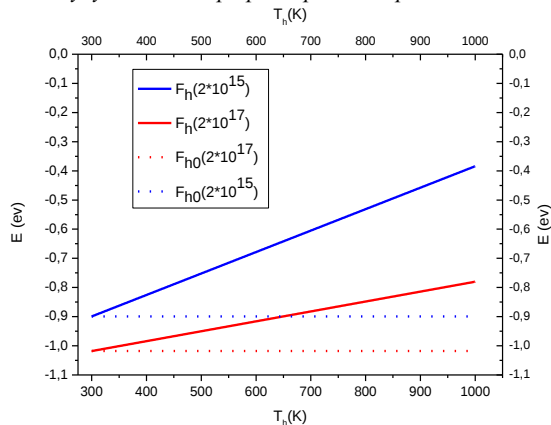
2-расмдаги 1-чизик $p_1=2\cdot10^{15} \text{ см}^{-3}$, 2-чизик $p_2=2\cdot10^{17} \text{ см}^{-3}$, 3-чизик $p_3=10^{13} \text{ см}^{-3}$ акцептор соҳадаги коваклар концентрациясида $T=T_h=300 \text{ K}$ ҳолат учун бошланғич Ферми сатҳи яъни: p_1 да $F_{h0}=-0,88$ ev га, p_2 да $F_{h0}=-1,012$ ev га тенг ва бу ЎЮЧ таъсирида T_h ни ортиши билан ўзгариб боради.

Термодинамик мувозонат пайтида электрон фонон гази бир хил ҳароратга эга, донор ва акцептор соҳадаги Ферми сатҳи ҳарорат ортиши билан бир-бирига яқинлашади ва таъқиқланган зона кенглигининг ўртасига яқин жойда бирлашади ва Ферми сатҳлари тенглашади. Бу ҳолатдан сўнг панжара ҳарорати ортиши билан ўзгармай қолади (5-расм) [3]. Ушбу графикдан кўриниб турибдики кристалл панжара ҳароратининг етарлича ортиши билан ҳар қандай турдаги яримўтказгич хусусий яримўтказгичга айланади.

ЎЮЧ таъсиридаги p - n ўтишда панжара ҳарорати ўзгармай ток ташувчи ковак ва электронларни ўзигина қизиши ҳисобига n ва p соҳадаги Ферми сатҳлари бир – бирига яқинлашиб тенглашади ва T_e қизиган электрон, T_h қизиган ковакларнинг ҳарорати ортиши билан ферми сатҳлари яна ўзгаришда давом этишини кузатишимиз мумкин (5 – расм).



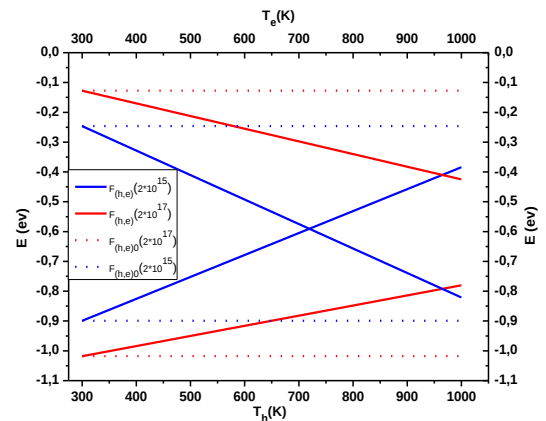
1 – расм. n -турдаги яримўтказгичда электронлар ЎЮЧ таъсирида T_e га қизиши сабабли Ферми квазисатҳини ўзгаришини турли концентрациялари учун олинган графиклари тасвирланган.



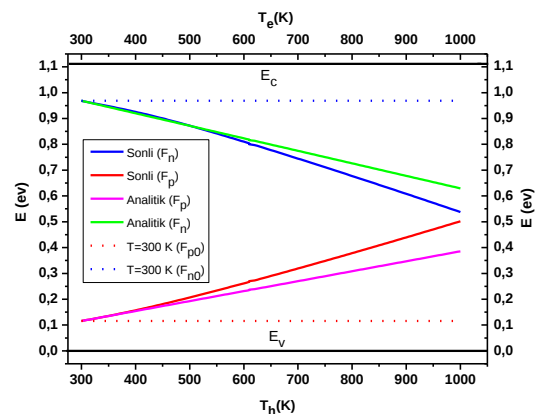
2 – расм. p – турдаги яримўтказгичда турли концентрацияли коваклар ЎЮЧ майдон таъсирида T_h га қизиши туфайли Ферми сатҳини ўзгариши тасвирланган.

4 – расмда $n_n=p_p=2\cdot10^{17} \text{ см}^{-3}$ концентрацияли кремний асосли яримўтказгичлардаги n ва p соҳалардаги Ферми квазисатҳининг ЎЮЧ таъсирида ўзгаришини (1) ва (2) ифодалар ёрдамида Ферми-Диракт тақсимотининг рақамли ечими ҳамда (3) ва (4) ифодалар ёрдамида Максвелл-Болцман тақсимоти асосида олинган графиклари таққосланган.

Ферми-Диракт ва Максвелл-Болцман тақсимотларининг айнамаган яримўтказгичларда ЎЮЧ майдон таъсирида Ферми квазисатҳлари катта фарқ қилмаслигини кўришимиз мумкин.



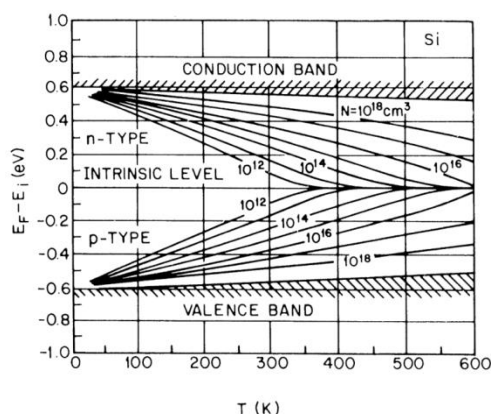
3 – расм. Турли концентрацияли кремний асосли яримўтказгичлардаги n ва p соҳалардаги Ферми квазисатҳининг ЎЮЧ таъсирида ўзгаришини (7) ва (8) ифодалар ёрдамида олинган графиги.



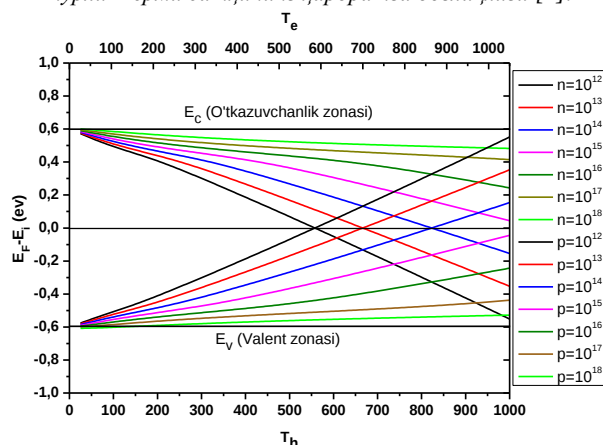
4 – расм.

5-расмда кристалл панжара ҳароратининг ортиши билан таъқиқланган зона кенглигининг камайиши ҳам ҳисобга олинган. Ҳароратнинг ўзгариши билан электронлар химпотенциалининг ўзгариши электронлар энергетик спектрининг ўзгаришига нисбатан кескин бурилиши кўрсатилган. Ферми квазисатҳининг ўзгариши яримўтказгич асбобларнинг характеристикаларига кучли таъсир ўтказиши.

6-расм. $N_c=N_v$ лигида турли концентрацияли кремний асосли яримўтказгичлардаги донор ва акцептор соҳалардаги турли Ферми квазисатҳининг ЎЮЧ майдонга боғлиқлигини Ферми-Диракт тақсимоти орқали рақамли ечимлари ёрдамида олинган графиклар.



5 – расм. $N_c = N_v$ лигида турли концентрацияли кремний асосли яримўтказгичлардаги донор ва акцептор соҳалардаги турли Ферми сатҳининг ҳароратга боғлиқлиги [4].



6-расм.

Энди асосий эътиборни ферми квази сатҳининг ўзгариши билан $p-n$ ўтишнинг вольт – ампер характеристикаси орасидаги боғлиқликни ўрганишга қаратамиз.

Юқорида Ферми квази сатҳларини ўзгаришларидан олган қийматларимизни таҳлил қилсак. Унга кўра $n_n = 2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ ва $p_p = 2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ концентрациядаги донор ва акцептор соҳаларнинг Ферми сатҳларини ўйоч таъсирида ўзгаришини кўриб чиқишимиз мумкин. Унга кўра $T = T_e = T_h = 300 \text{ K}$ ҳолатда донор ва акцептор соҳаларнинг бошланғич Ферми сатҳи $F_{e0} = -0.25 \text{ eV}$ ва $F_{h0} = -0.89 \text{ eV}$ га тенг. Бошланғич потенциал тўсиқнинг баландлиги ϕ_0 n ва p соҳалардаги бошланғич Ферми сатҳларининг фарқига тенг, яъни $\phi_0 = F_{e0} - F_{h0}$ га тенг. Бунга кўра $n_n = 2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ ва $p_p = 2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ концентрацияда, $T = T_e = T_h = 300 \text{ K}$ кремний асосли $p-n$ ўтишимиз учун бошланғич потенциал тўсиқ баландлиги $\phi_0 = 0.64$ га тенг экан.

1-расмдан n соҳадаги Ферми сатҳини $n_i = 2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ концентрация ўзгаришидан а) $T_{e1} = 350 \text{ K}$ да $F_{e1} = -0.28 \text{ eV}$ га б) $T_{e2} = 400 \text{ K}$ да $F_{e2} = -0.33 \text{ eV}$ га тенг. Бу қийматларни (7) ифода ёрдамида ҳисоблаб топиш ҳам мумкин.

2-расмда p соҳадаги Ферми сатҳини $p_i = 2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ концентрация ўзгаришидан а) $T_{h1} = 350 \text{ K}$ да $F_{h1} = -0.86 \text{ eV}$ га б) $T_{h2} = 400 \text{ K}$ да $F_{h2} = -0.82 \text{ eV}$ га тенг. Бу қийматларни (8) ифода ёрдамида ҳисоблаб топиш мумкин. Бу қийматлардан фойдаланиб n ва p соҳаларнинг Ферми сатҳларини ўзгаришини ҳисоблаймиз.

$T_{e1} = T_{h1} = 350 \text{ K}$ да $\Delta F_{e1} = F_{e1} - F_{e0} = -0.03 \text{ eV}$; $\Delta F_{h1} = F_{h1} - F_{h0} = -0.03 \text{ eV}$ тенг. Бу n ва p соҳада Ферми квазисатҳларини ўзгаришларини фарқини олсак $T_e = T_h = 350 \text{ K}$ ҳолат учун потенциал тўсиқ баландлиги ҳисоблаймиз яъни: $\varepsilon_1 = \Delta F_{e1} - \Delta F_{h1} = -0.06 \text{ V}$

Бизга маълумки потенциал тўсиқ баландлигини ўзгариши $p-n$ ўтишда ЭЮКни беради. [5-6].

Демак $T_e = T_h = 350 \text{ K}$ учун ЭЮКни ҳисобига потенциал тўсиқ баландлиги фарқи $\Delta \phi_1 = \phi_1 - \phi_0 = -0.58 \text{ V}$ га тенг экан. Худди шу ҳолатда $T_{e2} = T_{h2} = 400 \text{ K}$ да $\Delta F_{e2} = F_{e2} - F_{e0} = -0.08 \text{ eV}$; $\Delta F_{h2} = F_{h2} - F_{h0} = 0.07 \text{ eV}$ тенг. Бу ферми сатҳларини ўзгаришларини фарқидан $\varepsilon_2 = \Delta F_{e2} - \Delta F_{h2} = -0.15 \text{ V}$ ЭЮК ҳосил бўлади. $T_{e2} = T_{h2} = 400 \text{ K}$ учун потенциал тўсиқ баландлигининг фарқи $\Delta \phi_1 = \phi_1 - \phi_0 = -0.49 \text{ V}$ тенг. Демак кремний асосли $p-n$ ўтишида $T_{e1} = T_{h1} = 350 \text{ K}$ бўлганда $E_1 = -0.06 \text{ v}$ га, $T_{e2} = T_{h2} = 400 \text{ K}$ бўлганда $E_2 = -0.15 \text{ v}$ га тенг экан.

Энди кремний асосли $p-n$ ўтишли яримўтказгичимизни ўйоч таъсиридаги вольт – ампер характеристикасини кўриб чиқамиз. Масалани соддалаштириш мақсадида $p-n$ ўтиш ҳажмий заряд қалинлигини электронларнинг эркин югириш йўлидан кичик деб ҳисоблаймиз ва масалани диод яқинлаштиришда кўрамыз. У ҳолда коваклар ҳосил қилган ток зичлиги ифода билан топилади [3].

$$J_p = -qD_p \frac{dp_n}{dx} \Big|_{x_n} = \frac{qD_p \cdot p_{n0}}{L_p} \left(e^{\frac{qu}{kT}} - 1 \right)$$

ифода билан. Электронлар ҳосил қилган ток зичлиги эса

$$J_n = -qD_n \frac{dn_p}{dx} \Big|_{-x_p} = \frac{qD_n \cdot n_{p0}}{L_p} \left(e^{\frac{qu}{kT}} - 1 \right)$$

Умумий ток зичлиги эса қуйдагича бўлади.

$$J = J_n + J_p = J_s \left(e^{\frac{qu}{kT}} - 1 \right) \quad (9)$$

$$J_s = \frac{eD_p \cdot p_{n0}}{L_p} + \frac{eD_n \cdot n_{p0}}{L_n} \quad (10)$$

Бу ерда D_p , D_n – ковак ва электронларнинг диффузия коэффциенти, p_n – n соҳадаги коваклар концентрацияси, n_p – p соҳадаги электронлар концентрацияси, L_p , L_n – ковак ва электронларнинг диффузия узунликлари ва улар қуйдаги ифодалар ёрдамида аниқланади.

$$L_p = \sqrt{D_p \tau_p} \quad L_p = \sqrt{D_p \tau_p} \quad (11)$$

Бу ерда τ_p , τ_n – ковак ва электронларнинг ўртача яшаш вақти $\tau_p = 8.4 \cdot 10^{-10} \text{ c}$, $\tau_n = 3 \cdot 10^{-10} \text{ c}$ га тенг [3]. (10) ва (11) ифодаларни (9) га қўйсак қуйдаги ифодани оламиз.

$$J = \left(\frac{eD_p \cdot p_{n0}}{L_p} + \frac{eD_n \cdot n_{p0}}{L_n} \right) \left(e^{\frac{eu}{kT}} - 1 \right) \quad (12)$$

Бу ифода $p-n$ ўтишли яримўтказгичларни ҳеч қандай ташки таъсирларсиз ҳолатдаги вольт – ампер характеристикасини аниқлайди.

$p-n$ ўтиш яримўтказгичга ўйоч таъсирини кузатишимиз учун (12) ифодани қуйдагича ёзишимиз мумкин [5-6].

$$J = \frac{eD_n \cdot n_p}{\sqrt{D_n \tau_n}} \left[\sqrt{\frac{T_e}{T}} \cdot \exp\left(\frac{q\phi_0}{kT} - \frac{e(\phi_0 - u + u_e)}{kT_e}\right) - 1 \right] + \frac{eD_p \cdot n_n}{\sqrt{D_p \tau_p}} \left[\sqrt{\frac{T_h}{T}} \cdot \exp\left(\frac{q\phi_0}{kT} - \frac{e(\phi_0 - u + u_h)}{kT_h}\right) - 1 \right] \quad (13)$$

Бу ифодада ϕ_0 – бошланғич потенциал тўсик баландлиги, T_e , T_h – қизиган электрон ва ковакларнинг ҳарорати, T – яримўтказгич панжарасининг ҳарорати, $u_e = u_h$ – ЎЮЧ таъсирида p – n ўтишдаги электрон ва ковакларни потенциал тўсик баландлигининг модуляцияланиши ва u қуйидаги ифода ёрдамида аниқланади [6-7].

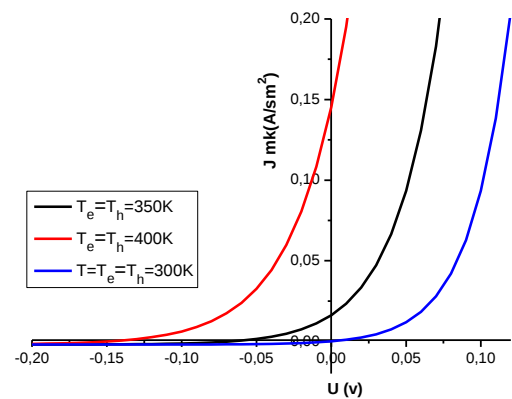
$$u_e(U_b, T_e) = \frac{kT}{q} \ln \left(\int_0^{2\pi} \exp\left(-\frac{eU_b \cos(wt)}{kT_e}\right) \frac{d(wt)}{2\pi} \right) \quad (15)$$

$$u_h(U_b, T_h) = \frac{kT}{q} \ln \left(\int_0^{2\pi} \exp\left(-\frac{eU_b \cos(wt)}{kT_h}\right) \frac{d(wt)}{2\pi} \right) \quad (16)$$

Бу ерда U_b – ЎЮЧ амплитудавий қиймати. (35) ва (36) ифодаларга кўра $T_{e1}=T_{h1}=350$ К да $u_{e1}=0.04$ В га, $T_{e2}=T_{h2}=400$ К да эса $u_{e2}=0.0411$ В $u_{h2}=0.0411$ В га тенг. (13) ифода ёрдамида вольт – ампер характеристикасига ЎЮЧ майдон таъсирини кўрсатувчи графикларини олдик (7-расм).

Кремний учун $T=300$ К да $n_i=1,45 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$ га тенгличидан [4] $n_n=2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ – n - соҳадаги электронлар концентрацияси, $p_p=2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ – p -соҳадаги коваклар концентрацияси бўлганда асосий бўлмаган заряд ташувчилар концентрацияси учун $n_n \cdot p_n = n_i^2$ бу ифода орқали $n_p=10^5 \text{ см}^{-3}$ ва $p_n=10^5 \text{ см}^{-3}$ ларни аниқлаб оламиз. Бу ҳолат учун юқорида бошланғич потенциал тўсик баландлиги $\phi_0 = 0.64$ В эканлигини топганмиз.

Вольт – ампер характеристикасида $J=0$ да эркин ўзгарувчи u нинг 0 дан фаркли нуктада кесиб ўтса, шу нукта $u_x=E$ ЭЮК га тенг бўлади. [7-8]



7 – расм. А) ташқи таъсир бўлмаганидаги $T=300$ К кузатилмаганидаги ВАХ. В) ЎЮЧ майдон қўйилгандаги $T_{e1}=T_{h1}=350$ К ва $u_{e1}=u_{h1}=0.04$ қийматларидаги ВАХ. С) $T_{e2}=T_{h2}=400$ К ва $u_{e2}=u_{h2}=0.0411$ қийматларидаги ВАХ.

7 – расмдаги графиклардан шуни кўришимиз мумкинки А) ташқи таъсир бўлмаганидаги ВАХ координата бошидан ўтади ва бунда ҳеч қандай ЭЮК ҳосил бўлмайди. В) Ташқи ЎЮЧ майдон қўйилганда $T_{e1}=T_{h1}=350$ К ва $u_{e1}=u_{h1}=0.04$ В қийматларида $E=0.06$ В ЭЮК ҳосил бўлади, С) $T_{e2}=T_{h2}=400$ К ва $u_{e2}=u_{h2}=0.0411$ В қийматларида $E=0.15$ В ЭЮК ҳосил бўлади.

Хулоса ўрнида шуни айтиш мумкин: p – n ўтишли яримўтказгичларга ЎЮЧ таъсирида Ферми сатҳини ўзгаришидан ҳосил бўлган ЭЮК, ЎЮЧ таъсирида вольт – ампер характеристикасида ҳосил бўлган ЭЮК билан ўзаро мос келади. Шундай қилиб бажарилган ишлардан қуйидагича хулоса чиқариш мумкин. p -нўтиш диодда ҳосил бўлаётган ЭЮК ва ундан ўтаётган тоқлар p -нўтишнинг p ва n соҳалардаги квазихимпотенциалларининг қийматларига кучли боғлиқ бўлади. Диоднинг ВАХни билган ҳолда ташқи ЎЮЧ майдон таъсирида p -нўтишли диоднинг базалардаги электрон ва ковакларнинг квазихимпотенциалларини аниқлаш мумкин.

Адабиётлар

1. Азизов М.А. “Яримўтказгичлар физикаси”. – Тошкент: 1974. –С. 61-67.
2. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. «Физика полупроводников». –М.: «Наука» 1977.
3. Зи С. “Физика полупроводниковых приборов”. Т.1.- С. 91 – 100.
4. Хелмут Спеллер “Introduction to radiation detectors and Electronics”, 30 – map – 99. IX.2.a. A semiconductor device primer – doping and diodes.
5. Шамирзаев С.Х., Гулямов Г., Дадамирзаев М.Г., Гулямов А.Г. Вихревые токи, возникающие на p - n -переходе в сверхвысокочастотном электромагнитном поле. / Физика и техника полупроводников, 2009, том 43, вып. 9
6. Шамирзаев С.Х., Гулямов Г., Дадамирзаев М.Г., Гулямов А.Г. Сверхвысокочастотный квазипотенциал и вихревые токи в p - n -переходе/ Физика и техника полупроводников, 2011, Т. 45, вып. 8
7. Гулямов Г., Эркабоев У.И., Шарипбаев Н.Ю., Гулямов А.Г. ЭДС, возникающая в p - n -переходе при воздействии сильного СВЧ поля и света/ Физика и техника полупроводников, 2019, том 53, вып. 3
8. Аблазимов Н.А., Вейнгер А.С. и др. Питанов В.С. Влияние сильного СВЧ поля на фотоэлектрические характеристики кремниевых p – n – переходов /физика и техника полупроводников, 1992, том 26, вып.6
9. Gulyamov G., Majidova G.N., Shaxobiddinov B.B., Muxitdinova F.R. “Kremniy yarimo`tkazgichli  $p$ - $n$  o`tishli diodlarning Fermi kvazisatxi va volt-amper xarakteristikasining yorug`lik va deformasiya ta`sirida o`zgarishi”, NamDU ilmiy axborotnomasi 2020. №8.
10. Gulyamov G., Gulyamov A., Shahobiddinov B., Majidova G. “Relation of quasi-level fermi of hot electrons and holes with the current-voltage characteristics of the p - n junction. Scientific Bulletin of Namangan State University 2 (4), 8-15.

РЕЗЮМЕ. Турли яримўтказгичда Ферми квази сатҳини ўта юқори частотали электромагнит таъсирида ўзгаришларини турли хил электр ўтказувчилар концентрациялари учун таҳлил қилинган. Ундан ташқари бу Ферми квази сатҳларини ўзгаришини кремний яримўтказгич диодларининг вольт – ампер характеристикасига кучли таъсир қилиш кўрсатилган.

РЕЗЮМЕ. Исследовано квазиуровни электронов и ямы в полупроводниках сильном сверхвысокочастотном СВЧ поле. Показано, что эти изменения квазиуровней Ферми сильно влияют на вольт-амперную характеристику полупроводникового диода с p - n переходом.

SUMMARY. The quasi-levels of electrons and holes are studied in semiconductors in a strong microwave field. It is shown that these changes in the Fermi quasi-level strongly affect the current-voltage characteristic of a semiconductor diode with a p - n junction.