

Шаҳобиддинов Баҳодир Бахтиёр ўғли

Наманган давлат унверситети

р-п ўтишли диодларнинг Ферми квази сатҳига микотўлқин таъсири.

Аннотация: турли яримўтказгичида Ферми квазисатҳини ўта юқори частотали электромагнит таъсирида ўзгаришларини турли ҳил электр ўтказувчилар концентрациялари учун таҳлил қилинган. Ундан ташқари бу Ферми квази сатҳларини ўзгаришини кремний яримўтказгич диодларининг вольт – ампер характеристикасига кучли таъсир қилиш кўрсатилган.

Калит сўз: ЭЮК – электир юрутувчи куч, ВАХ - вольт – ампер характеристикаси. ЎЮЧ – ўта юқори частота, қизиган электрон, Ферми квазисатҳ.

Шаҳобиддинов Баҳодир Бахтиёр угли

Наманганский государственный университет

СВЧ-воздействие на квазиуровень Ферми диодов с р-п переходом

Аннотация: Исследовано квазиуровни электронов и дырок в полупроводниках сильном сверхвысокочастотном СВЧ поле. Показано, что эти изменения квазиуровней Ферми сильно влияют на вольт-амперную характеристику полупроводникового диода с р-п переходом.

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

Shahobiddinov Bahodir

Namangan State University

Microwave influence on the quasi-Fermi level of p-n junction diodes

Abstract: The quasi-levels of electrons and holes in semiconductors in a strong microwave field are studied. 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.

Keywords: 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 шарти 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 тақсимооти бўйича қизиган электрон ва ковак учун Ферми квазисатҳини сонли ечимини топиш учун (1) ва (2) ифодаларни оламиз.

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

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

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

$$N_a \left[1 - \frac{1}{2 e^{\left| \frac{E_a - F_v}{kT} \right|} + 1} \right] = N_v \int_{-\infty}^{E_v} \frac{\sqrt{E_v - E}}{e^{\left| \frac{-E + F_v}{kT_v} \right|} + 1} dE \quad (2)$$

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

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

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 $E_g=1,12\text{ eV}$ лигидан $E_v=-1,12\text{ eV}$ деб олинади. Бу ҳолат учун электрон ва коваклар учун бошланғич хона температурасида $T=300\text{ K}$ да Ферми сатҳини қўйидагича 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: $T=300\text{ K}$ кремний учун $N_c=2,8 \cdot 10^{19}\text{ см}^{-3}$ 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 $F_{e_0}=-0,265\text{ eV}$ $F_{h_0}=-0,88\text{ eV}$ га тенг чиқади. Бу қийматлар донор соҳа ва акцептор соҳаларнинг бошланғич 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.

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

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

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

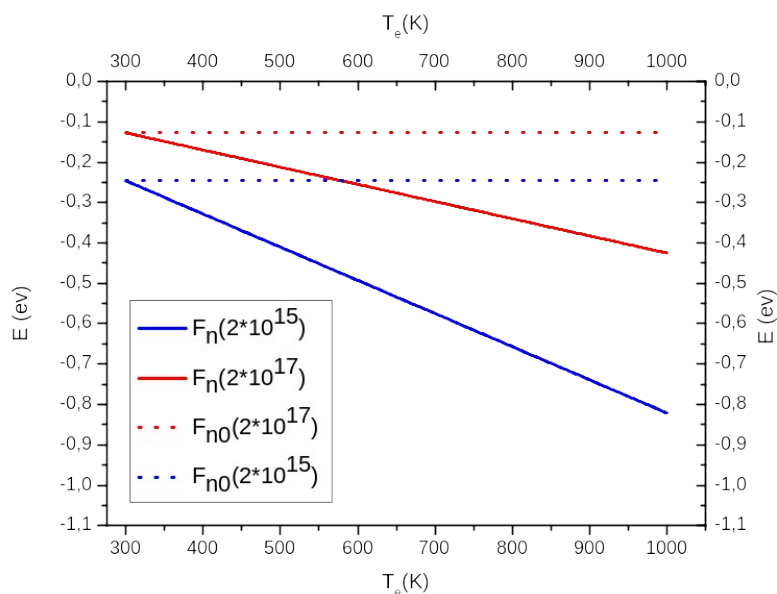
1- расмдаги 1-чизиқ $n_1=2 \cdot 10^{15}\text{ см}^{-3}$, 2- чизиқ $n_2=2 \cdot 10^{17}\text{ см}^{-3}$, донор соҳадаги электронлар концентрациясида $T=T_e=300\text{ K}$ ҳолатдаги бошланғич Ферми сатҳлари яъни: n_1 да $F_{e0}=-0,25\text{ eV}$ га, n_2 да $F_{e0}=-0,126\text{ eV}$ га тенг ва бу ЎЮЧ таъсирида T_e ни ортиши билан ўзгариб боради.

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

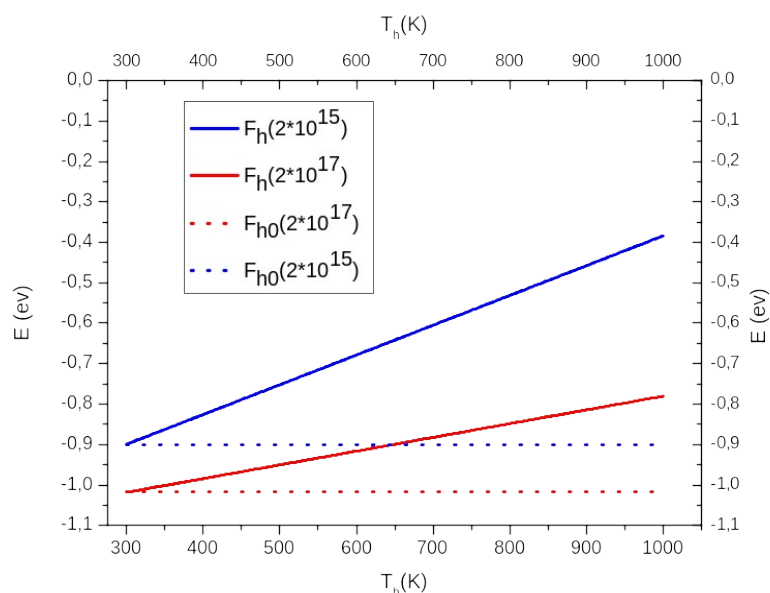
2-расмдаги 1-чизик $p_1=2\cdot 10^{15}\text{см}^{-3}$, 2- чизик $p_2=2\cdot 10^{17}\text{см}^{-3}$, 3-чизик $p_3=10^{13}\text{см}^{-3}$ акцептор соҳадаги коваклар концентрациясида $T=T_h=300\text{ K}$ ҳолат учун бошланғич Ферми сатҳи яъни: p_1 да $F_{h0}=-0,88\text{ eV}$ га, p_2 да $F_{h0}=-1,012\text{ eV}$ 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 этимшини кузатишимиз мумкин (5 – расм).

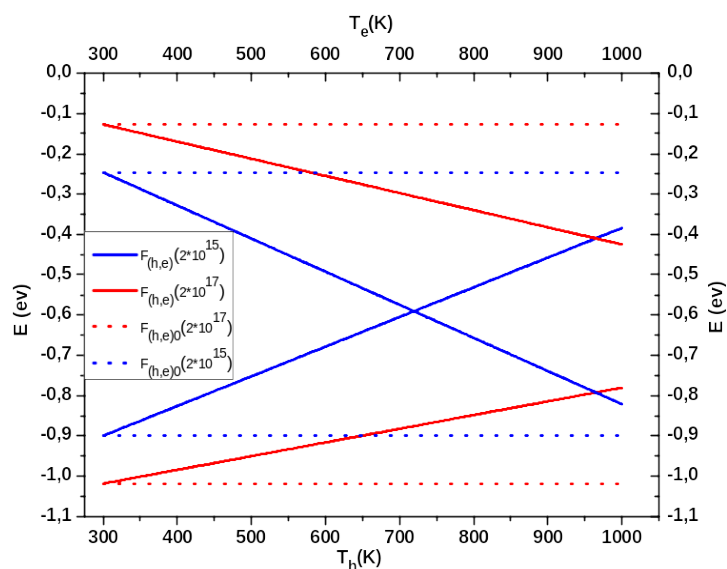


1 – расм. p -турдаги яримўтказгичда электронлар ЎЮЧ таъсирида T_e га қизиши сабабли Ферми квазисатҳини ўзгаришини турли концентрациялари учун олинган графиклари тасвирланган.

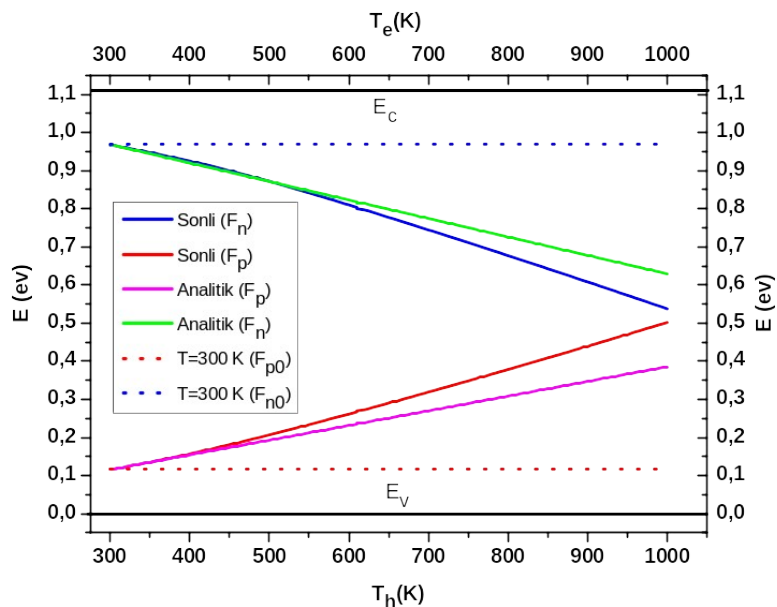


2 – расм. р – турдаги яримўтказгичда турли концентрацияли коваклар ЎЮЧ майдон таъсирида T_h га қизиши туфайли Ферми сатҳини ўзгариши тасвирланган

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 рақмли ечими ҳамда (3) ва (4) ифодалар ёрдамида Максвелл-Болцман тақсимоти асосида олинган графиклари тақосланган.

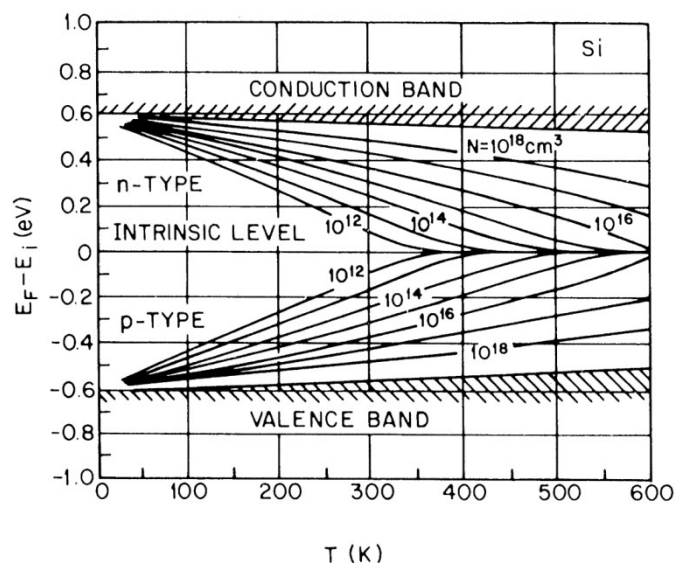


3 – расм. Турли концентрацияли кремний асосли яримўтказгичлардаги n ва p соҳалардаги Ферми квази сатҳининг ЎЮЧ таъсирида ўзгаришини (7) ва (8) ифодалар ёрдамида олинган графиги.



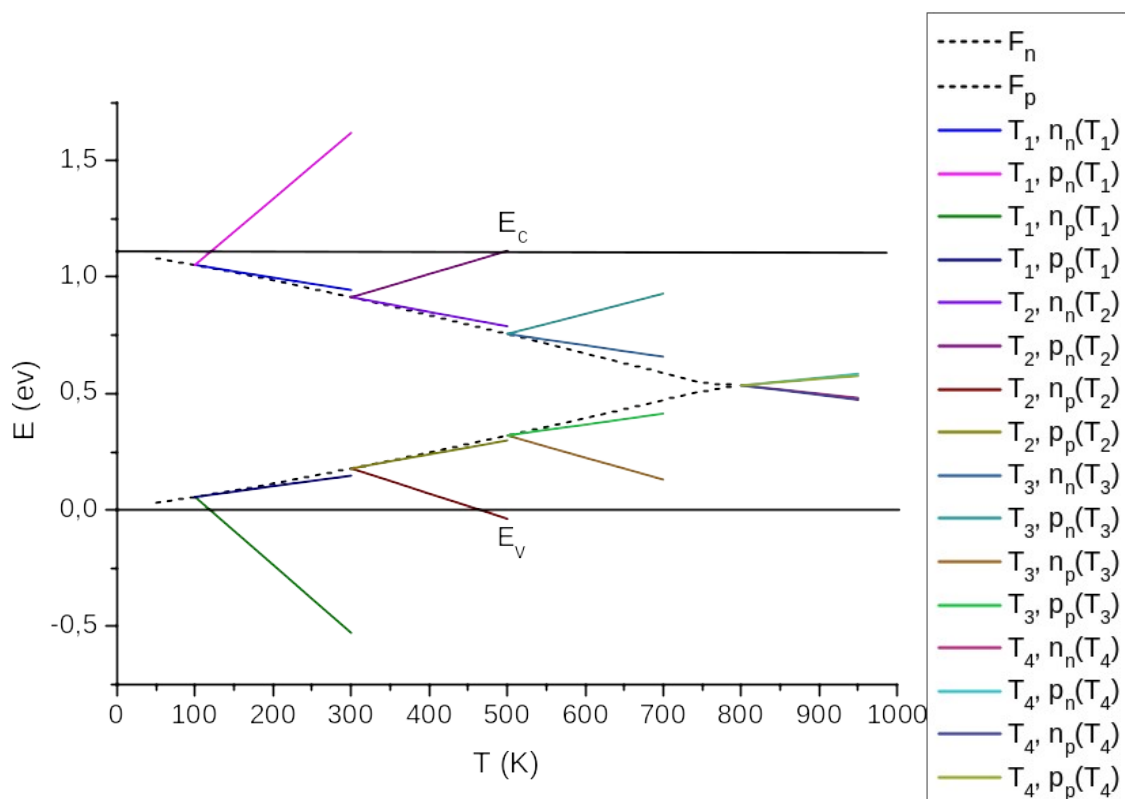
4 – расм. кремний асосли яримўтказгичлардаги n ва p соҳалардаги Ферми квазисатҳининг ўйуч таъсирида ўзгаришини

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



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

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



6-расм. кремний асосли яримўтказгичлардаги донор ва акцептор соҳалардаги турли Ферми квазисатҳининг ЎЮЧ майдонга боғлиқлигини Ферми-Диракт тақсимоти орқали рақамли ечимлари ёрдамида олинган

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.

Бу графикда фонон харорати ўзгармаган ҳолда микротўлқин таъсирида қизиган электрон ва ковак Ферми квазисатҳларга ажрайди. Бунда асосий бўлмаган заряд ташувчилар Ферми квазисатҳлари кучли ўзгаради. Фонон харорати $T_1=100$ К, да қизиган электрон ва ковак $T_h=T_e \geq 100$ К, фонон харорати $T_1=300$ К, да қизиган электрон ва ковак $T_h=T_e \geq 300$ К, фонон харорати $T_1=500$ К, да қизиган электрон ва ковак $T_h=T_e \geq 500$ К, фонон харорати $T_1=780$ К, да қизиган электрон ва ковак $T_h=T_e \geq 780$ К, ҳолатлар учун Ферми сатҳи ва Ферми квазисатҳларини таҳлили шуни кўрсатадики асосий бўлмаган заряд ташувчилар концентрацияси фонон харорати ортиши билан ортиб боради

Adabiyotlar

- [1]. Gulyamov, G., Umarov, Q., Soliyev, A., & Shahobiddinov, B. (2024, February). Influence of heating of charge carriers on the contact resistance of the Schottky barrier. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2924, No. 1). AIP Publishing.

- [2]. Change in the quasi-Fermi level and current-Voltage characteristics of diodes with a pn junction under the action of light and deformation G Gulyamov, B Shahobiddinov, A Soliyev, S Nazarov... - AIP Conference Proceedings, 2023
- [3]. Microwave Effect on the Characteristics of PN Junction Diodes G Gulyamov, B Shahobiddinov, A Soliyev, S Nazarov - Journal of Optoelectronics Laser, 2022
- [4]. BB, Shakhobiddinov, Majidova GN, and Mukhiddinova FR. "Effect of ultrahigh frequency fields on the photoelectric characteristics of pn conducting semiconductor diodes." *Euroasian Journal of Semiconductors Science and Engineering* 3.2 (2021): 29-34.
- [5]. RELATION OF QUASI-LEVEL FERMI OF HOT ELECTRONS AND HOLES WITH THE CURRENT-VOLTAGE CHARACTERISTICS OF THE pn JUNCTION. G Gulyamov, AG Gulyamov, GN Majidova - Scientific and Technical Journal of Namangan Institute ..., 2020
- [6]. CHANGES IN FERMI QUASI LEVELS IN SILICON PN TRANSITIONS UNDER EXPOSURE TO LIGHT AND DEFORMATION AND THEIR INFLUENCE ON VOLT-AMPERE CHARACTERISTICS OF DIODES. G Gulyamov, A Gulyamov, B Shahobiddinov... - Scientific and Technical Journal of Namangan Institute ..., 2020
- [7]. ЯРИМЎТКАЗГИЧЛАРНИНГ ФЕРМИ КВАЗИСАТЎЛАРИНИНГ МИКРОТЎЛҚИЛИ НУРЛАНИШ ТАЪСИРИДА ЎЗГАРИШИ Г Гулямов, АГ Гулямов, ББ Шахобиддинов... - И ПРИКЛАДНЫЕ ВОПРОСЫ ФИЗИКИ ..., 2020
- [8]. Electron energy in rectangular and cylindrical quantum wires G Gulyamov, AG Gulyamov, AB Davlatov... - 2020
- [9]. The dependence of the electrical conductivity of the longitudinal oscillations of the band gap in narrow-gap semiconductors G Gulyamov, U Erkaboyev, B Shakhobiddinov... - Scientific and Technical Journal of Namangan Institute ..., 2019
- [10]. THE INFLUENCE OF DEFORMATION AND LIGHT ON THE PN-JUNCTION IV CHARACTERISTIC IN AN ELECTROMAGNETIC FIELD G Gulyamov, MG Dadamirzaev, MO Kosimova...
- [11]. ГРАВАСТАР АТРОФИДА СИНОВ ЗАРРАСИНИНГ ХАРАКАТ ТЕНГЛАМАСИ АИ Мамаджанов, ББ Шахобиддинов
- [12]. ВЛИЯНИЕ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ПОЛЕЙ НА ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ PN ПРОВОДЯЩИХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ Г Гулямов, ББ Шахобиддинов, ГН Мажидова...
- [13]. EFFECT of LIGHT on VOLT-AMPERE CHARACTERISTICS of pn JUNCTION G Gulyamov, B Shahobiddinov