

ЗАХИРИДДИН
МУҲАММАД БОБУР
НОМИДАГИ АНДИЖОН
ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ

ANDIJAN STATE
UNIVERSITY NAMED
AFTER ZAKHIRIDDIN
MUKHAMMAD BABUR

ИЛМИЙ ХАБАРНОМА

Физика-математика
Тадқиқотлари
(Махсус сон)

SCIENTIFIC BULLETIN

Physical and
Mathematical Research
(Special Issue)

Андижон
2023 йил

Муассис

Захириддин Мухаммад Бобур номидаги Андижон давлат университети

ИЛМИЙ ХАБАРНОМА. ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ТАДҚИҚОТЛАРИ

Журнал бир йилда 2 марта чоп этилади.

Андижон вилояти ахборот ва оммавий коммуникациялар бошқармаси
томонидан 2019-йил 26 декабрда
0452 рақам билан рўйхатга олинган.

Нашр индекси: 344

Нашр учун масъул:
А.Й.Бобоев

Босишга рухсат этилди:
27.12.2019.

Қоғоз бичими: 60x81 1/8

Босма табоғи: 13,5

Офсет босма. Офсет қоғози.

Адади: 110 дона.

Баҳоси келишилган нархда.

Буюртъа №: 165.

“Мухаррир” нашриёти манбаа бўлимида чоп этилди.
Тошкент шаҳри, Сўгалли ота кўчаси 7-уй

Таҳририят манзили:

170100, Андижон шаҳри, Университет кўчаси, 129. Телефон: +998911602043.

Факс: (374) 223-88-30

E-mail: adu_xabarnoma@mail.ru Расмий сайт: uzjournals.edu.uz/adu

**Сборник статей международной научно-практической конференции по
«Полупроводниковая опто- и наноэлектроника, альтернативные
источники энергии и их перспективы» Андижан, 12-13 октября 2023 года**

ОГЛАВЛЕНИЕ

С.З. ЗАЙНАБИДИНОВ, А.Й. БОБОЕВ, Б.М. ЭРГАШЕВ Механизмы формирования квантово-размерных нанообъектов в многокомпонентных структурах GaAs/Ge/ZnSe и GaAs/Si/ZnSe.....	7
М.Х. АШУРОВ, Б.Л. ОКСЕНГЕНДЛЕР, С.Х. СУЛЕЙМАНОВ, С.Е. МАКСИМОВ, З.И. КАРИМОВ, Н.Н. НИКИФОРОВА, Ф.А. ИСКАНДАРОВА Современные аспекты радиационной деградации твердых тел и биообъектов.....	10
М.Т. НОРМУРАДОВ, Е.Н. ВЛАСОВА, К.Т. ДОВРАНОВ, Д.А. НОРМУРОДОВ, Х.Т. ДАВРАНОВ Измерение оптических параметров, диэлектрических материалов, созданных низкоэнергетическим ионно-плазменным методом.....	15
Е.С. РЕМБЕЗА, Т.В. СВИСТОВА, Н.Н. КОШЕЛЕВА, М.Б. РАСУЛОВА Гетероструктуры металлооксид-кремний, как перспективные структуры для создания солнечных элементов.....	24
О.О. МАМАТКАРИМОВ, В.Х. QUHQAROV, М.А. ERGASHEV, А.А. XOLMIRZAYEV Yarimo'tkazgich moddalariga asoslangan konvertorlarni ishlab chiqishda va uning asl parametrlarini saqlanishini o'rganish xossalari.....	28
S.Z. ZAINABIDINOV, H.J. MANSUROV, N.YU. YUNUSALIEV Photoelectric Properties of n-ZnO/p-Si Heterostructures.....	34
Х.Б. АШУРОВ, А.А. ЗАРИПОВ, А.А. РАХИМОВ, У.Ф. БЕРИДЕВ, И.Ж. АБДИСАИДОВ, М.М. АДИЛОВ Методы синтеза никелевого нанокатализатора для получения углеродных нанотрубок.....	39
Н.Ф. ЗИКРИЛЛАЕВ, М.М. ШОАБДУРАХИМОВА Особенности автоколебаний тока в компенсированном кремнии и их применение в электронике.....	46
Ш.Б. УТАМУРАДОВА, Ж.Ж. ХАМДАМОВ, В.Ф. ГРЕМЕНОК, К.А. ИСМАЙЛОВ, Х.Ж. МАТЧОНОВ, Х.Ю. УТЕМУРАТОВА Комбинационное рассеяние света в монокристаллическом Si, легированного атомами Gd.....	54
N.N. ABDURAZAKOV, R. ALIEV Power load forecasting using linear regression method of machine learning: Andijan regional case.....	58
И. Н. КАРИМОВ, М. ФОЗИЛЖОНОВ, А.Э. АБДИКАРИМОВ Вольт-фарадные характеристики SOI FET структур.....	63
О.А. АБДУЛХАЕВ, А.З. РАХМАТОВ Низковольтные ограничители напряжения на основе структур с эффектом смыкания.....	67
SH.X. YO'LCHIYEV, B.D. G'ULOMOV, J.A. O'RINBOYEV ZnO va ZnO:Al yuqqa plyonkalarini sintez qilish va ularni fizik xossalari o'rganish.....	75
Ш.Т. ХОЖИЕВ, С.Ф. КОВАЛЕНКО, С.Е. МАКСИМОВ, В.М. РОТШТЕЙН, О.Ф. ТУКФАТУЛЛИН, Б.Л. ОКСЕНГЕНДЛЕР, Ш.К. КУЧКАНОВ Кластеры Y_n^+ и $Y_nO_m^+$, распыленные ионной бомбардировкой: эксперимент и теоретические аспекты.....	79

M. RASULOVA	
Application of Solution of the Quantum Kinetic Equations for Renewable Energy problem.....	85
A.A.МИРЗААЛИМОВ, Р.АЛИЕВ, Н.А.МИРЗААЛИМОВ	
разработка высокоэффективных и ресурсосберегающих конструкций кремниевых высоковольтных фотоэлектрических устройств.....	89
D.G' KHAJIBAEV, B.Ya. YAVIDOV	
On correlation of T_c and Cu-O _{apex} distance in single layered cuprates.....	97
A. АБДУЛВАХИДОВ, С.ОТАЖОНОВ, Р.ЭРГАШЕВ	
Фоточувствительность солнечных элементов гетероструктуры p CdTe – n CdS и p CdTe – n CdSe с глубокими примесными уровнями.....	102
М.К. КУРБАНОВ, К.У. ОТАБАЕВА, Д.У. ХУДОЙНАЗАРОВА	
Распыление пленок льда при бомбардировке ионами Ag+.....	107
H.O. QO'CHQAROV S.B. FAZLIDDINOV B.B.BURXONJANOV	
Simmetrik bo'lgan silikon diodning statik parametrlarini hisoblash p-n-uch nuqtali zaryadlangan nuqsonlarning δ -qatlami o'tish.....	113
N.Yu. SHARIBAYEV, B.M. BAXROMOV R.M. JALALOV A.A. YUSUFJONOV	
Study of electrophysical properties of semiconductor materials based on lead-selenium.....	120
Ш.К.КУЧКАНОВ, Х.Б.АШУРОВ, Б.М.АБДУРАХМАНОВ, С.Е.МАКСИМОВ, О. Э. КИМИЗБАЕВА, Ш.А.МАХМУДОВ	
О роли структурных дефектов в процессах генерации при нагреве эдс и носителей заряда в эпитаксиальных плёночных кремниевых p-n-структурах.....	125
S.Z. ZAYNABIDINOV, I.M. SOLIYEV, SH.K. AKBAROV	
Kremniy monokristallarida elektro noaktiv nikel va kislorod atomlarining o'zaro tasirlashuvi.	128
M.A.MUYDINOVA, G.J. MAMATOVA	
Yarimo'tkazgich plastinalar sirti va p-n strukturalarning optik xususiyatlari va ularni takomillashtirish usullari.....	132
L.O.OLIMOV, I.I. ANARBOYEV	
Kremniy granulalari asosida termoelektrik material samaradorligini oshirish mexanizimi.....	136

Simmetrik bo'lgan silikon diodning statik parametrlarini hisoblash p - n -uch nuqtali zaryadlangan nuqsonlarning δ -qatlami o'tish.

H.O. Qo'chqarov¹, S.B. Fazliddinov¹, B.B. Burxanjonov²

¹Namangan davlat universiteti

²Namangan muhandislik-texnologiya instituti

Annotatsiya: Ilmiy va amaliy qiziqish yarimo'tkazgich materiallarini o'rganishdir va aralashmali atomlarining tor qatlami va kristall panjaraning ichki nuqta nuqsonlari bo'lgan qurilmalar, ushbu ishning maqsadi simmetrik kremniy diodining elektr parametrlarini hisoblashdan iborat bo'ladi. Uning p - n birikmasida nuqta uch marta zaryadlangan t nuqsonlarning δ -qatlami hosil bo'ladi. Bunday diyot p - t - n diodasiga o'xshash p - t - n diodasi deb ataladi. Har bir t -defekt uchta zaryad holatidan birida bo'lishi mumkin ($-1, 0, +1$; elementar zaryad birliklarida). Xona haroratida p -mintaqadagi barcha vodorodga o'xshash qabul qiluvchilar va n -qatlamda vodorodga o'xshash donorlar ionlanadi, deb qaraldi. t -nuqsonlar bilan ushlar uchun kesma c -tasmasi elektronlarni t -nuqsonlar tutib olish kesimidan kattaroq deb taxmin qilingan. Statsionar nochiziqli differentsial tenglamalar tizimi raqamli ravishda yechiladi, bu drift-diffuziya yaqinlashuvida yarimo'tkazgichlardagi elektronlar va teshiklarning migratsiyasini tavsiflaydi. p va n tipidagi elektr o'tkazuvchanligining degenerativ bo'lmagan hududlari bo'lgan silikon diodaning statik sig'im-kuchlanish va oqim kuchlanish xarakteristikalari to'g'ridan-to'g'ri va teskari kuchlanishlari uchun hisoblanadi. Hisoblash orqali ko'rsatilgandek, δ -qatlamli t -nuqsonlarni o'z ichiga olgan p - t - n dioda, oldinga egilish bilan, oqim zichligi barqarorligi bo'limi mavjud. Teskari moyillik bilan bunday diodadagi oqim zichligi t -nuqsonlarsiz p - n diodasiga qaraganda ancha yuqori. Teskari yo'nalish ortishi bilan p - t - n diodining sig'imi, p - n diodidan farqli o'laroq, avval ortadi, keyin esa kamayadi.

Kalit so'zlar: oqim-kuchlanish xarakteristikasi, sig'im-kuchlanish xarakteristikasi, degenerativ, migratsiyasi, ejeksiyon, diffuziya, diapazon, drift-diffuziya, konvertatsiya, konstruksiya, ejeksiyon.

Yarimo'tkazgichli materiallar va tor qatlamli aralashmali atomlari va kristall panjara-ning ichki nuqtaviy nuqsonlari bo'lgan qurilmalarni o'rganish ilmiy va amaliy ahamiyatga ega. Ishning maqsadi simmetrik silikon diodning elektr parametrlarini hisoblashdan iborat. p - n -o'tish nuqtasining δ -qatlami uch zaryadlangan t -nuqsonlardan iborat [1-2]. Bunday diodlar uch qatlamli diyodlar deyiladi p - t - n -diod yoki p - i - n -diodl kabilar kiritiladi. t -nuqson uchta zaryad holatidan birida bo'lishi mumkin ($-1, 0, +1$; elementar zaryad birliklarida). Xona haroratida barcha vodorodga o'xshash qabul qiluvchilar kiradi deb ishoniladi p -mintaqalar va vodorodga o'xshash donorlar n -hududlar ionlashgan xududlar turkimiga ajraladi. Bu kovak qo'lga kesma deb taxmin qilingan v -zonalar yoqilgan t -elektronni tutib olish kesimidan kattaroq bo'ladi. Statsionar nochiziqli differentsial tenglamalar tizimi raqamli ravishda echiladi, bu drift-diffuziya yaqinlashuvida yarimo'tkazgichlardagi elektronlar va teshiklarning migratsiyasini tavsiflaydi. Degenerativ bo'lmagan hududlarga ega bo'lgan silikon diodaning statik sig'im-kuchlanish va oqim kuchlanish xarakteristikalari hisoblanadi. p -va n -to'g'ridan-to'g'ri va teskari elektr kuchlanishdagi elektr o'tkazuvchanligining turi hisob-kitoblar shuni ko'rsatadiki p - t - n - δ -qatlamni o'z ichiga olgan diod t -nuqsonlar, oldinga egilish bilan oqim zichligini barqarorlashtirish mintaqasi mavjud ekanligini ko'rsatadi [3]. Teskari moyillik bilan bunday dioddagi oqim zichligi unga qaraganda ancha katta p - n -diodsiz t -nuqsonlar esa kichik. Teskari moyillik ortib borayotganligi sababli, sig'im p - t - n diod, aksincha p - n -diod, avval ortadi, keyin esa kamayishi kuzatiladi.

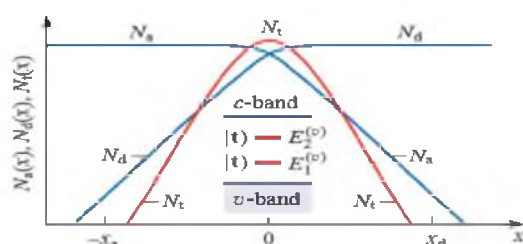
Kristal strukturasidagi nuqsonlarni o'z ichiga olgan yarimo'tkazgichlarning xususiyatlari sezilarli darajada nuqsonlar turiga, ularning kontsentratsiyasiga va fazoviy taqsimotiga bog'liq. Yarimo'tkazgichli materiallar va tor qatlamli aralashmali atomlari va kristall panjaraning ichki nuqta nuqsonlari bo'lgan qurilmalarni o'rganish ilmiy va amaliy ahamiyatga ega [4]. Bu shunday tuzilmalar kam o'rganilganligi (nazariy nuqtai nazardan) va ba'zan eksperimental natijalarni sharhlashda aniq kelishmovchiliklarga olib kelishi

bilan izohlanadi. Masalan, satxlar yaqinida nuqsonlar qatlami paydo bo'lishi p - n -protonlarni kremniy diodiga implantatsiya qilish orqali quyosh nurlanishining diod tomonidan konvertatsiya qilish samaradorligini 35% gacha oshiradi. Biroq, [5] da ular bu bayonotni rad etadilar va bunday diodaning samaradorligi oshmaydi, deb ta'kidlaydilar. Aksincha, mintaqadagi nuqsonlarning energiya darajalari orqali yorug'lik natijasida hosil bo'lgan elektronlar va teshiklarning rekombinatsiyasi tezligining oshishi tufayli ochiq elektron kuchlanish 20% ga kamayadi.

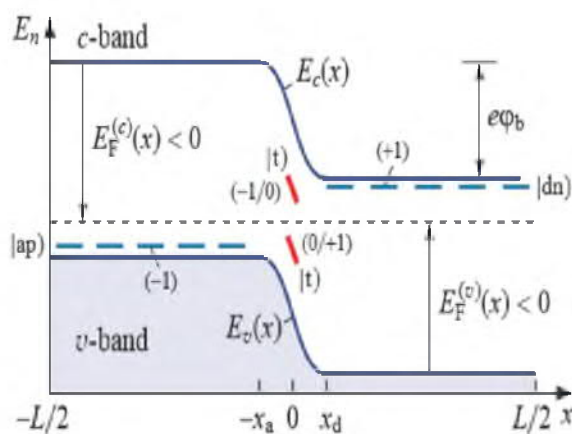
Qoida tariqasida, yarimo'tkazgichli qurilmalar konstruksiyalarini yaratish va ularning parametrlarini eksperimental aniqlash uzoq davom etadigan jarayon bo'lib, u har doim ham istalgan diapazonda natijalarga erishishga imkon bermaydi. Shuning uchun bunday tuzilmalarni o'rganish uchun matematik modellashtirish qo'llaniladi [6-7]. Ushbu ishning maqsadi elektr qo'sh qatlamdagi kristall matritsaning nuqta uch zaryadli ikki darajali (qo'zg'aluvchan holatlarni e'tiborsiz qoldirgan) nuqsonlarining δ -qatlamini o'z ichiga olgan silikon diodning statik elektr parametrlarini hisoblashni ishminig maqsadi qilib olingan.

Keling, kristalli kremniyda hosil bo'lgan diodaning bir o'lchovli modelini ko'rib chiqaylik. Diod uzunligi L , yassi "metallurgiya" p - n -o'tish $N_a = N_d$ koordinatali nuqtada joylashgan $x=0$ (1- rasm). $x < -L/2$ hisoblanadi p^+ - bilan bog'lanish p - hududlar, $x > L/2$ hisoblanadi n^+ - bilan bog'lanish n - hududlar. Kosmik zaryad sohasida (ikki qavatli elektr qatlam) p - n -o'tish δ -qatlam ikki darajali yaratilgan t -har biri uchta zaryad holatidan birida bo'lishi mumkin bo'lgan nuqsonlar $(-1, 0, +1)$.

Koordinatalar bo'yicha taqsimlash sxemasi x vodorodga o'xshash qabul qiluvchilar N_a , donorlar N_d va t - nuqsonlar N_t bilan energiya darajalari $E_2^{(v)} > E_2^{(v)} > 0$ - silikon tasmasi; yuqori qismiga nisbatan $x_a + x_d > 0$ - ikki qavatli elektr qatlamining kengligi p - n - tutashuvchi kabilarni ko'rib chiqish lozim[8].



1-rasm– Koordinata bo'yicha taqsimlash sxemasi bularx vodorodga o'xshash qabul qiluvchilar N_a , donorlar N_d Va t -nuqsonlar N_t energiya darajalari bilan $E_2^{(v)} > E_2^{(v)} > 0$ shiftga nisbatan v -kremniy zonalar; $x_a + x_d > 0$ - elektr qo'sh qavatining qalinligi p - n - o'tish.



2-rasm- zona diagrammasi (bir-e-ga bog'liqlik) elektron energiya E_n koordinatadan x) p - t - n - muvozanatdagi diod: $E_c(x)$, $E_v(x)$ pastki energiya darajalari c - zonalar va shiftlar v -zonalar; $E_g = E_c(x) - E_v(x)$ tarmoqli bo'shlig'i; zaryad holatidagi akseptorlar (-1) ; d_n) zaryad holatidagi donorlar $(+1)$; t - energiya darajasi bilan bog'liq nuqsonlar $E_1^{(v)}$ [birgalikda to'lov tik turgan $(0, +1)$] va $E_2^{(v)}$ [zaryad holatlari $(-1, 0)$]; $E_F^{(v)}(x) = -[E_g + E_F^{(c)}(x)]$ Fermi darajasi; $e\phi_b > 0$ - energiya to'sig'i p - n - o'tish; L - diod uzunligi energiya to'sig'i $e\phi_b$ elektronlar uchun diodada c - zonalar va teshiklar v -zona metallurgiyaga o'tish mintaqasida zaryad tashuvchilarning drift va diffuziya jarayonlari o'rtasidagi termodinamik muvozanatning natijasidir.

Biz barcha vodorodga o'xshash qabul qiluvchilar va donorlar konsentratsiyalar bilan $N_a(x)$ va $N_d(x)$ harakatsiz va to'liq ionlashgan, ya'ni ular mos ravishda (-1) va $(+1)$ zaryad

holatlarida va ularning koordinata bo'yicha taqsimlanishi. X diod bo'ylab o'zgarishini aniqlash mumkin [9].

$$N_a(x) = \frac{Na}{1+\exp(X/L)}; \quad N_d(x) = \frac{Nd}{1+\exp(-X/L)}; \quad (1)$$

Qayerda L doping profili parametri, N_d va N_a chegaradagi donorlar va akseptorlarning maksimal kontsentratsiyasi $L \rightarrow 0$. t -nuqsonlar harakatsiz va metal elektron o'tish nuqtasida maksimal diod bo'ylab normal (Gauss) taqsimotga ega ($x=0$; 1- rasmg)

$$N_t(x) = N_t(0)\exp[-(x/\Delta)^2] \quad (2)$$

Keltirilgan formuladan ko'rinadiki $N_t(x) = N_{t,-1}(x) + N_{t,0}(x) + N_{t,+1}(x)$ umumiy konsentratsiya t -uchta zaryad holatidagi nuqsonlar $(-1, 0, +1)$; D-tarqatish profilining parametrik δ -qatlamidagi nuqsonlar; $N_t(0)$ – konsentratsiya t - markazdagi nuqsonlar p - t - n -diod ($\delta_{ax}=0$). Bunday ekanligi aniq t -silikon matritsaning nuqsonlari ish harorati oralig'ida barqaror diod parametrlarini ta'minlash uchun 500 K dan yuqori haroratgacha termal barqaror bo'lishi kerak [10-11]. Harakatsiz zaryad holatlari δ -qatlamdagi nuqsonlar o'rtasida elektronlar almashinuvi tufayli shartli harakatchan bo'ladi t - nuqsonlar va shuningdek, o'tkazuvchanlik zonasidan elektronlarni ushlab turish tufayli (c -band) va valentlik zonasidan teshiklar (v -zonalar) va ularning termal ejeaksiyon orqaga qaytarilishi [12]. Topish ehtimoli t -uchta zaryad holatidagi nuqsonlar $(-1, 0, +1)$ tegishli funksiyalar bilan aniqlanadi:

$$\begin{aligned} f_{t,-1}(\varphi(x)) &= \left[1 + \gamma_2 \exp\left(\frac{E_2^{(v)} + E_F^{(v)}(\varphi(x))}{k_B T}\right) + \frac{\gamma_2}{\gamma_1} \exp\left(\frac{E_1^{(v)} + E_2^{(v)} + 2E_F^{(v)}(\varphi(x))}{k_B T}\right) \right]^{-1} \\ f_{t,0}(\varphi(x)) &= \left[1 + \gamma_1^{-1} \exp\left(\frac{E_2^{(v)} + E_F^{(v)}(\varphi(x))}{k_B T}\right) + \gamma_2^{-1} \exp\left(\frac{-E_1^{(v)} - E_F^{(v)}(\varphi(x))}{k_B T}\right) \right]^{-1} \\ f_{t,+1}(\varphi(x)) &= \left[1 + \gamma_1 \exp\left(\frac{-E_1^{(v)} - E_F^{(v)}(\varphi(x))}{k_B T}\right) + \frac{\gamma_1}{\gamma_2} \exp\left(\frac{-E_1^{(v)} - E_2^{(v)} - 2E_F^{(v)}(\varphi(x))}{k_B T}\right) \right]^{-1} \end{aligned} \quad (3)$$

qayerda γ_1, γ_2 energiya darajalarining degenerativ omillari hisoblanadi va t - nuqsonlar ($E_2^{(v)} > 0$, $E_1^{(v)} > 0$), (bundan buyon matnda $\gamma_1 = \gamma_2 = 1$ $\varphi(x)$ - elektr potentsialining diod bo'ylab taqsimlanishi (koordinata bo'ylab x); K_B Boltsman doimiysi; T mutloq haroratdir. Ke-ling, belgi bilan tanishamiz:

$$\begin{aligned} N_{t,-1}(x, \varphi(x)) &= N_{t,-1}(x) & N_{t,0}(x, \varphi(x)) &= N_{t,0}(x); \\ N_{t,+1}(x, \varphi(x)) &= N_{t,+1}(x); \end{aligned}$$

- (1) va (2) ni hisobga olgan holda, konsentratsiyalar uchun formulalar t -zaryad holatidagi nuqsonlar $(-1, 0, +1)$ ular o'xshaydi [13]:

$$N_{t,-1}(\varphi(x)) = N_t(x) f_{t,-1}(\varphi(x)); \quad N_{t,0}(x) = N_t(x) f_{t,0}(\varphi(x));$$

$$N_{t,+1} = N_t(x) f_{t,+1}(\varphi(x)); \quad (4)$$

δ –qatlamini o'z ichiga olgan diodaning energiya diagrammasi 2-rasmda ko'rsatilgan nuqsonlar Energiya darajalari t -nuqsonlar $E_2^{(v)} > 0$, $E_1^{(v)} > 0$ va Fermi darajasi (elektrokimyoviy potentsial elektronlar uchun $E_F^{(v)} < 0$ dan boshlab hisoblanadi. v -zona $E_v(x)$ Fermi darajasining pozitsiyasi $E_F^{(v)}(x) = -[E_g + E_F^{(c)}(x)]$ bilan birgap p - t - n -diodni aniqlash- ifoda bilan beriladi.

$$E_F^{(v)}(x) = E_F^{(v)}(\varphi(v)) = E_F^{(v)}, \quad (-L/2) - e\varphi(x),$$

Qayerda $E_F^{(v)}(-L/2 < 0$ chapdagi Fermi darajasi diodaning pastki qismi p - maydon; e - elementar elektr energiyasi trik zaryad.

Qiymati $e\varphi_b$ diodlar chegaralaridagi Fermi darajalari orasidagi farq bilan aniqlanadi.

$$e\varphi_b = E_F^{(v)}\left(-\frac{L}{2}\right) - E_F^{(v)} = E_F^{(c)}L/2 - E_F^{(c)}(-L/2) > 0, \quad (6)$$

qayerda $e\varphi_b$ elektr toki bo'lmaganda (termodinamik muvozanatda) diodaning elektr potentsiallarining kontakt farqi. Fermi sathining o'rnini topish $E_F^{(v)}$ chegaralarda p - va n -shipga nisbatan maydonlar v -degenerativ bo'lmagan yarimo'tkazgich uchun zona, biz elektr neytralligining tegishli tenglamalarini tuzamiz:

$$\begin{aligned} n(x) + N_a(x) + N_{t,-1}(x) &= p(x) + N_{t,+1}(x), \text{ dan } x = -L/2 \\ n(x) + N_{t,+1}(x) &= p(x) + N_d(x) + N_{t,+1}(x), \text{ dan } x = L/2 \end{aligned} \quad (7)$$

Qayerda $n(x) = n_c \exp[-(E_g + E_F^{(v)}(x)) / k_B T]$ o'tkazuvchanlik zonasida elektron konsentratsiyasi $n_c = 2[\pi m_p k_B T / (2\pi\hbar)^2]^{3/2}$; $p(x) = p_v \exp(E_F^{(v)}(x) / k_B T)$ valentlik zonasidagi teshiklarning konsentratsiyasi ;

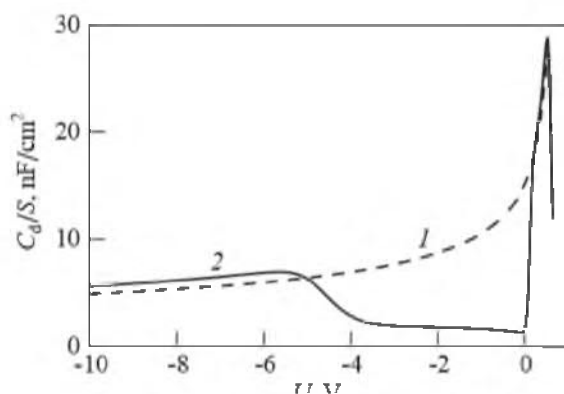
$$p_v = 2[\pi m_p k_B T / (2\pi\hbar)^2]^{3/2}, m_n$$

m_p -c diapazonidagi elektronlar va v diapazonidagi teshiklar uchun holatlar zichligining samarali massalari, $\hbar = h/2\pi$ - Plank doimiysi.

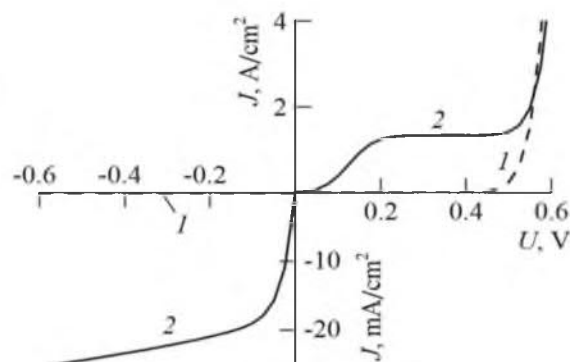
Munosabatlar (7) diodaning chegaralaridagi teshiklar va elektronlarning konsentratsiyasini hisobga oladi. p^+ va n^+ omik kontaktlar) konsentratsiyasi bilan aniqlanadi vodorodga o'xshash aralashmalarning tortishishlari va t-nuqsonlar [13]. Munosabatlar (7) diod chegaralarida (p^+ va n^+ omik kontaktlarda) teshiklar va elektronlarning konsentratsiyasi aralashmalar va t nuqsonlari kabi vodorod konsentratsiyasi bilan aniqlanishini hisobga oladi.

Chegaraviy shartlarga ega (16) statsionar nochiziqli tenglamalar tizimining (15) raqamli yechimi MatLab 2015 dasturiy paketida qo'shimcha moslamalarsiz bajarildi [14]. O'rganish ob'yekti uzunligi $L=10$ mkm bo'lgan dopingli silikon dioddir. profil parametri $L=0,2$ mkm, qabul qiluvchilar bilan a_p) va donorlar d_n), t-nuqsonlarning δ -qatlamining kengligi $D=3l=0,6$ mkm va t-nuqsonlarning konsentratsiyasi $N_t(0)=10^{16} \text{ sm}^{-3}$, p - n o'tish markazida ($x=0$ da). Bor (qabul qiluvchilar) va fosfor (donorlar) diod chegaralarida konsentratsiyali vodorodga o'xshash aralashmalar atomlari sifatida tanlangan: $N_a(-L/2)=N_d(L/2)=7 \cdot 10^{15} \text{ sm}^{-3}$ (ya'ni nosimmetrik p - t - n diod). Kremniyning tarmoqli bo'shlig'idagi (energiya bo'shlig'i) t-nuqsonlarning energiya darajalarining mumkin bo'lgan o'rtacha qiymatlari [15] dan quyidagicha baholandi:

$E_1^{(v)} = 210 \text{ mV}$, $E_2^{(v)} = 780 \text{ mV}$ dan keyin kristall kremniydagi elektronlar va teshiklarning ishlash muddati (N_a va fosfor $N_d 10^{16} \text{ sm}^{-3}$ dan kam bor atomlarining konsentratsiyasida ularning tarmoqlararo rekombinatsiyasi bilan cheklangan) $t_i = 100 \text{ mks}$ deb faraz qilindi. Hisoblashda divakansiya tipidagi nuqsonlarga mos keladigan tortishish kesimlarining mumkin bo'lgan qiymatlari [16] ishlatilgan: $S_n = 10^{-15} \text{ sm}^{-2}$ va $S_p = 10^{-14} \text{ sm}^{-2}$ [v -bandidagi teshiklar ushlanganda. Zaryad holatlaridagi t-nuqsonlar (-1) va (0)] tomonidan.



3-rasm - Statik (past chastotali) sig'imning C_d (p - n -o'tish maydoniga S) diod kuchlanishiga bog'liqligi U : egri 1- t -nuqsonlarsiz p - n -diod; 2- p - n o'tish hududida t nuqsonlari $N_t(0) = 10^{16} \text{ sm}^{-3}$ bo'lgan d qatlamini o'z ichiga olgan p - t - n diod



5-rasm. Statsionar elektr toki zichligi $J = J_n + J_p$ ning p - n diodidagi U kuchlanishiga bog'liqligi [$N_t(0) = 0$ da egri 1] va p - t - n dioda [N_t da egri 2. ($0 = 10^{16} \text{ sm}^{-3}$)]

p - t - n diod uchun 4-rasmda diod bo'ylab kuchlanish zichligi $r(x, U)$ hajmining taqsimlanishi ko'rsatilgan: $U = 0, -2, 5, +0, 3 \text{ V}$. $r(x)$ bog'liqligi $x = 0$ ga nisbatan assimetrik bo'lib, asosan energiya darajalari va kremniyning energiya tarmoqli bo'shlig'ining o'rtasiga nisbatan assimetrik bo'lganligi sababli. Chunki (13) ga ko'ra elektronlar va teshiklarning umumiy statsionar oqimining divergensiyasi $dJ/dx = d(J_n + J_p)/dx$ nolga teng, u holda p^+ - va n^+ -kontaktlar orasidagi umumiy zaryad diod nolga teng:

$$S \int_{-L/2}^{L/2} \rho(x, U) dx = 0,$$

p - t - n diod uchun 4-rasmda diod bo'ylab kuchlanish zichligi $r(x, U)$ hajmining taqsimlanishi ko'rsatilgan: $U = 0, -2, 5, +0, 3 \text{ B}$. $r(x)$ bog'liqligi $x = 0$ ga nisbatan assimetrikdir, chunki $E_1^{(v)}$ va $E_2^{(v)}$ energiya darajalari kremniyning tarmoqli oralig'ining o'rtasiga nisbatan assimetrikdir. Chunki (13) ga ko'ra elektronlar va teshiklarning umumiy statsionar oqimining divergensiyasi $dJ/dx = d(J_n + J_p)/dx$ nolga teng, u holda p^+ - va n^+ -kontaktlar orasidagi umumiy zaryad diod nolga teng [17]:

Kremniy p - n diodining past chastotali differensial sig'imi C_d (t -nuqsonlarsiz) drift-diffuziya yaqinlashuvida elektronlar va teshiklarning migratsiyasi va diapazonlararo rekombinatsiyasi jarayonlarini tavsiflovchi statsionar differentsial tenglamalar tizimini echish orqali olingan [18]. 4-rasm p - t - n diod uchun hajmli elektr zaryad zichligi r ning x koordinatasiga bog'liqligi Hisoblashda formula bo'yicha taqsimlangan qo'shimcha moddalar sifatida bor va fosfor [a_p] va [d_n] tanlangan. [$N_t(0) = 10^{16} \text{ sm}^{-3}$; $\Delta = 3l = 0,6 \text{ mkm}$] Bor va fosfor qo'shimcha moddalar sifatida [a_p] va [d_n] tanlandi, formula bo'yicha taqsimlanadi Hisoblash shuni ko'rsatadiki, $l \rightarrow 0$ chegarasida to'siq sig'imining C_d teskari kuchlanish kuchlanishiga bog'liqligi ($U < 0$) o'tkir tekis p - n birikmasi bilan p - n -diod uchun klassik formulaga mos keladi [19].

$$\frac{C_d}{S} = \sqrt{\frac{e \epsilon_r \epsilon_0 N_a N_d}{2(\phi_b - U)(N_a + N_d)'}}$$

bu erda S - p - n o'tish joyi; $\phi_b > 0$ – kontakt elektr potentsial farqi. T -nuqsonlari bo'lmagan diod bilan solishtirganda, t -nuqsonli diodaning sig'im-kuchlanish xarakteristikasi $C_d(U)$ differensial sig'imning C_d kuchlanishiga monotonik bo'lmagan bog'liqligida farqlanadi [20] (teskari moyillik bilan, anomal hudud paydo bo'ladi). sig'im ortishi mintaqasi). Buni diodning teskari moyilligi ostida elektr qo'sh qatlamda x -koordinatasi bo'ylab t -nuqsonlarning zaryad holatlarini qayta taqsimlash bilan izohlash mumkin (4-rasmga qarang). p - t - n diodining sig'imi t -nuqsonlar to'liq

zaryadlanmaguncha ortadi. Shundan so'ng, sig'im ortib borayotgan teskari moyillik ($U < 0$), shuningdek, kamayishni boshlaydi. t-nuqsonlari bo'lmagan diodada (18-formulaga qarang). Ushbu turdagi sig'im-kuchlanish xarakteristikasi kremniy diodida kuzatildi, unda p-n birikmasi yaqinida maksimal konsentratsiyaga ega bo'lgan kompensatsiya nuqsonlari qatlami ksenon ionining implantatsiyasi orqali hosil bo'ldi.

5-rasmda t-nuqsonsiz kremniy diodining (1-egri chiziq) va p-n o'tish (egri 2) hududida t-nuqsonlar qatlami bo'lgan diodning hisoblangan oqim kuchlanish xususiyatlari (CVC) ko'rsatilgan. T-nuqsonlarsiz diodning hisoblangan CVC (1-egri) haqiqiy simmetrik silikon diodlarning CVC bilan yaxshi mos kelishini unutmang [21-22]. P-n birikmasi (2-egri chiziq) hududida t-nuqsonlar qatlami bo'lgan diod uchun yuqorida tuzilgan model CVCda sezilarli farqni taxmin qiladi. Shunday qilib, grafikdan ko'rinib turibdiki, teskari yo'nalishda t-nuqsonlarning δ -qatlamini o'z ichiga olgan dioddan o'tadigan oqim t-nuqsonlarsiz dioddan o'tadigan teskari oqimdan ancha katta [23]. (Kremniy p-t-n dioda ichidagi maksimal elektr maydon kuchi E xona haroratida p-n diodining elektr buzilishi uchun chegara qiymatidan (≈ 100 kV/sm) kichikroq kattalikdagi tartib edi. p-n ning hududi. o'tish (2-egri chiziq) ham t nuqsonsiz diodning I-V xarakteristikasidan (1-egri chiziq) farq qiladi va teskari p^+-n^+ diodining I-V xarakteristikasiga o'xshaydi. δ -qatlamni o'z ichiga olgan dioddan o'tuvchi oqim. p-n o'tish mintaqasidagi t-nuqsonlar o'ta chiziqli ravishda oshadi, shundan so'ng u 0,2 dan 0,45 V gacha bo'lgan kuchlanish oralig'ida barqarorlashadi. Buni juft elektrdagi t-nuqsonlardagi elektronlar va teshiklarning rekombinatsiyasi bilan izohlash mumkin [24-25]. x_a+x_d qalinligi qatlami. Teshiklar va elektronlar ($S_p>S_n$) uchun tutib olish kesmalarining assimetriyasi tufayli, p mintaqasidan elektr qo'sh qatlamli hududga AOK qilingan teshiklar manfiy zaryadlangan t nuqsonlar tomonidan ushlanib, ularni neytrallashtiradi. Voltajning yanada oshishi bilan c-diapazonidagi elektronlar va v-diapazonidagi teshiklar t-nuqsonlarda qayta birlashishga vaqtlari yo'q, bu ikki tomonlama in'ektsiya oqimining keskin (eksponensial) o'sishiga olib keladi va egri chiziq 2 uchun. p-t-n diod p-n-diod uchun (t-nuqsonlarsiz) amalda 1-egri chiziqqa to'g'ri keladi.

Birinchi marta uchta zaryad holatida (-1,0,+1) bo'lishi mumkin bo'lgan ikki darajali t-nuqta nuqsonlarining d-qatlamini o'z ichiga olgan simmetrik kremniy *p-t-n* diodining modeli qurilgan. Drift-diffuziyaga yaqinlashish doirasida, degenerativ bo'lmagan *p-t-n* diod uchun statik sig'im va elektr tokining zichligi to'g'ridan-to'g'ri va teskari chiziqli kuchlanishlarda p- va n-tipi elektr o'tkazuvchanlik sohalarida kuzatilgan. Hisob-kitoblar shuni ko'rsatadiki, xona harorati uchun 0,2 dan 0,45 V gacha bo'lgan kuchlanish oralig'ida to'g'ridan-to'g'ri egilish ($U>0$) bo'lgan *p-t-n* diodida oqim zichligi ancha yuqori, t-nuqsonlari bo'lmagan diodaga qaraganda va kuchsiz ravishda U kuchlanishiga bog'liq (joriy stabilizatsiya hududi). *p-t-n* diodidagi teskari oqim zichligi an'anaviy *p-n* diodadan (t nuqsonlarsiz) bir necha marta yuqoriroqdir. Shunday qilib, oldinga siljish bilan *p-t-n* diodasi teskari p^+-n^+ diodini taqlid qiladi. Teskari yo'nalishda ($U<0$), t-nuqsonli diodaning past chastotali to'siq sig'imi monotonik bo'lmagan holda U ga bog'liq. Past egilishlarda *p-t-n* diodining sig'imi sezilarli darajada past bo'ladi. t-nuqsonlarsiz diod sig'imi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. O.O. Mamatkarimov, B.H. Kuchkarov, N.Yu. Sharibaev, A.A. Abdulkhayev "Influence Of The Ultrasonic Irradiation On Characteristic Of The Structures Metal-Glass-Semiconductor" European Journal of Molecular & Clinical Medicine 2021/1/1 8/01 str 610-618.
2. B.Kh.Kuchkarov, O.O.Mamatkarimov. "Influence of ultrasonic action on the rate of charge formation of the inversion layer in metal-glass-semiconductor structures" Vestnik KRAUNC. Fiziko-Matematicheskie Nauki 2019 y 29/4 str 125-134.
3. S.I. Vlasov, A.V. Ovsyannikov, B. Kh. Kuchkarov "Influence of thermo cyclic treatments on SiO₂-Si interface properties in Al-SiO₂-n-Si structures" Uzbekiston Fizika Zhurnali 2012 y 14/1 str 20-22.
4. Б.Х. Кучкаров "Влияние ультразвукового воздействия на скорость формирования заряда инверсионного слоя в структурах металл-стекло-полупроводник Вестник КРАУНЦ" Физико-математические науки 2019y 29/4 стр 125-134.

5. B.Kh. Kuchkarov, O.O. Mamatkarimov, A.A. Abdulkhayev “Relaxation dependence of the capacity of a three-layer structure in the process of charge formation of an inversion layer” Scientific and Technical Journal of Namangan Institute of Engineering and Technology 2019 y 1/6 str 26-33.
6. S. Zaynobiddinov, B.Kuchqarov “Development of effective methods of teaching theoretical electrotechnics Web of Scientist” International Scientific Research Journal 14/4/2022 y 3/4 str 431-437.
7. B. Kuchkarov, A. Abdulkhayev “Factors providing the efficiency of semiconductor lasers” Scientific and Technical Journal of Namangan Institute of Engineering and Technology 2022 y 3/5 str 48-52.
8. SI Vlasov, FA Saparov, B Kh Kuchkarov “Effect of the semiconductor-insulator interface on the characteristics of the metal-insulator-semiconductor structures” Uzbekiston Fizika Zhurnali 2009 y 11/3 str 203-206.
9. B.H. Kuchkarov, O.O. Mamatkarimov, A.A. Abdulkarimov, A. Khalmirzayev, and D.M. Mirtojyeva “Influence of All-Round Compression on Formation of the Mobile Charge in Lead-Borosilicate Glass Structure” AIP Conference Proceedings 2432, 030039 (2022); <https://doi.org/10.1063/5.0089980> 2432, 030039 © 2022 Author(s).
10. Б.Х. Кучкаров, М. Кахаров “МДП-структура и ультразвук” Экономика и социум 2019 г. 12/ (67) стр 623-626.
11. D.E. Nazirov, S.I. Vlasov, B. Kh. Kuchkarov, K.U. Bobokhuzhaev “Influence of gadolinium on the electric properties on the interphase boundary of silicon-silicon oxide” Science and world 9/2013y 12/88 str 26-28.
12. О.О. Маматкаримов, Р.Х. Хамидов, Р.Г. Жабборов, У.А. Туйчиев, Б.Х. Кучкаров “Релаксационные изменения подвижности и концентрации носителей заряда в Si с глубокими примесными уровнями при воздействии импульсного давления” Физическая инженерия поверхности 2012.
13. B. X. Qo'chqarov, A. Nishonov, X.O. Qo'chqarov “The effect of tunneling current on the speed surface generation of charge carriers” Scientific Bulletin of Namangan State University 2019y 1/7 str 3-6.
14. B.Kuchkarov, O. Mamatkarimov, A. Abdulkhayev, ICECAE IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 614 012027 “Influence of the ultrasonic irradiation on characteristic of the structures metal-glass-semiconductor”, (2020) y. Paper ID 116.
15. B.X. Qo'chqarov, A.Nishonov, X.O. Qochqarov, Scientific bulletin of Namangan State University, “The effect of tunneling current on the speed surface generation of charge garries”, (2020)y. 1(7), 3-6.
16. S. I. Vlasov, D. N. Nazirov, B.K. Kuchkarov, K.U. Bobokhujayev, “Influence of all-round compression on formation of the mobile charge in lead-borosilicate glass structure”. “Uzbekiston Fizika Zhurnali”, (2014) y. 3(16), 231-233.
17. B.Kh. Kuchkarov, O.O. Mamatkarimov, “Influence of ultrasonic action on the rate of charge formation of the inversion layer in metal-glass-semiconductor structures” Vestnik KRAUNC. Fiziko-Matematicheskie Nauki, (2019) y. 4(29), 125-134.
18. S.I. Vlasov, A.V. Ovsyannikov, B.K. Ismailov, B.H. Kuchkarov, Effect of pressure on the properties of Al-SiO₂-n-Si<Ni> structures. “Semiconductor Physics Quantum Electronics & Optoelectronics”, (2012) y. 2(15), 166-169.
19. S.I. Vlasov, D.E. Nazyrov, B. Kh. Kuchkarov, K.U. Bobokhujayev “Influence of all-round compression on formation of the mobile charge in lead-borosilicate glass structure” Uzbekiston Fizika Zhurnali 16/3 str 231-233.
20. S.I. Vlasov, F.A. Saparov, B. Kh. Kuchkarov “Effect of the semiconductor-insulator interface on the characteristics of the metal-insulator-semiconductor structures” Uzbekiston Fizika Zhurnali 2009 y. 11/3 str. 203-206.
21. B.T.Abdulazizov, G.Gulyamov, P. J. Baymatov, Sh. T. Inoyatov, M. S. Tokhirjonov and Kh. N. Juraev//Peculiarities of the Temperature Dependence of the Chemical Potential of a Two-dimensional Electron Gas in Magnetic Field// SPIN Vol. 13, No. 1 (2022) .pp (2-7), <https://doi.org/10.1142/S2010324722500023>.
22. B.T. Abdulazizov/Cyclotron mass of an electron in strong magnetic fields in a wide InAs quantum well/ *Eurasian Journal of Physics and Functional Materials* (2022), 6(1), pp 32-37, doi.org/10.32523/eipfm.2022060103.
23. G.Gulyamov, B.T.Abdulazizov, P.J.Baymatov.Three-band simulation of the g-factor of an electron in an InAs quantum well in strong magnetic fields .Journal of Nanomaterials ,Volume (2021), Article ID pp (559-563), <https://doi.org/10.1155/2021/5542559>.
24. P.J. Baymatov, B.T. Abdulazizov. Concentration dependences of the electron effective mass , Fermi energy, and filling of subbands in doped InAs/AlSb quantum wells.Украинский Физический Журнал. Ukr. J. Phys.2017. Vol. 62, No. 1, str 46-50 , <https://doi.org/10.15407/uife62.01.0046>.
25. G Gulyamov, BT Abdulazizov. On the thermodynamics of a two-dimensional electron gas with non-parabolic dispersion. World Journal of Condensed Matter Physics.pp 294-299. doi: [10.4236/wjcmp.2016.64028](https://doi.org/10.4236/wjcmp.2016.64028).