

NAMANGAN DAVLAT
UNIVERSITETI
ILMIY AXBOROTNOMASI, [2026-9]
ISSN:2181-1458
ISSN:2181-0427



01.00.00-FIZIKA-MATEMATIKA
journal.namdu.uz
PHYSICS AND MATHEMATICS

GETEROSTRUKTURALI FOTOELEMENTLAR XARAKTERISTIKALARIGA MAGNIT MAYDONNING TA'SIRI

Gulyamov Gafur

Namangan davlat texnika universiteti professori

ORCID: 0000-0001-9879-3165

E-mail: gulyamov1949@mail.ru

Majidova Gulnoza Nurmuhamedovna

Namangan davlat texnika universiteti dotsenti

ORCID: 0000-0002-7607-305x

E-mail: m.gulnoza.1985@gmail.com

Muxitdinova Feruza Rustam qizi

Namangan davlat texnika universiteti katta o'qituvchisi

ORCID: 0000-0001-5302-3781

E-mail: feruzafizik1991@gmail.com

G'ofurova Mukammal Alisher qizi

Namangan davlat texnika universiteti magistranti

E-mail: gofurovamukammal@gmail.com

Annotatsiya: ushbu ishda geteroo' tish asosida olingan quyosh elemntlarining volt-amper xarakteristikasiga va quvvatiga magnit maydonning ta'sirini nazariy jihatdan o'rganilgan. Bunda magnit maydonning ta'siri Lorens kuchi xisobiga zaryad tashuvchilar xarakat trayektoriyasini o'zgartiradi va natijada qisqa tutashuv toki va salt yurish kuchlanishining kamayishiga olib keladi. Bu esa o'z navbatida fotoelementning quvvatini kamayishiga olib keladi. Nazariy olingan ifoda asosida olingan volt-amper xarakteristikasi va quvvatining kuchlanishga bog'liqlik grafiklari ham yuqoridagi natijalarni tasdiqlaganini ko'rish mumkin. Demak magnit maydon fotoelementning effektivligini kamayishiga olib kelishi nazariy jihatdan fizik asoslandi.

Kalit so'zlar: geteroo' tish, fotoelement, qisqa tutashuv toki, salt yurish kuchlanishi, magnit maydoni, effektivlik

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕТЕРОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ФОТОЭЛЕМЕНТОВ

Аннотация: в данной работе теоретически исследовано влияние магнитного поля на вольт-амперную характеристику и мощность солнечных элементов на основе гетеропереходов. В этом случае воздействие магнитного поля изменяет траекторию носителей заряда за счет силы Лоренца, что приводит к уменьшению тока короткого замыкания и напряжения пробоя. Это, в свою очередь, приводит к снижению мощности фотоэлектрического элемента. Видно, что графики зависимости вольт-амперной характеристики и мощности от напряжения, полученные на основе теоретически выведенного выражения, также подтверждают вышеприведенные результаты. Таким образом, теоретически и физически обоснован тот факт, что магнитное поле приводит к снижению эффективности фотоэлектрического элемента.

Ключевые слова: гетеропереход, фотоэлектрический элемент, ток короткого замыкания, напряжение холостого хода, магнитное поле, эффективность

INFLUENCE OF MAGNETIC FIELD ON THE CHARACTERISTICS OF HETEROSTRUCTURED PHOTOELEMENTS

Abstract: This paper theoretically examines the influence of a magnetic field on the current-voltage characteristics and power of solar cells based on heterojunctions. In this case, the magnetic field alters the charge carrier trajectory due to the Lorentz force, leading to a decrease in short-circuit current and breakdown voltage. This, in turn, leads to a decrease in the photovoltaic cell's power. It is evident that the graphs of the current-voltage characteristics and power versus voltage, obtained using the theoretically derived expression, also confirm the above results. Thus, the fact that a magnetic field leads to a decrease in photovoltaic cell efficiency is theoretically and physically substantiated.

Keywords: heterojunction, photovoltaic cell, short-circuit current, open-circuit voltage, magnetic field, efficiency

Kirish

Qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan samarali foydalanish bugungi kunda dunyo energetikasining ustuvor yo' nalistlaridan biri hisoblanadi. Ayniqsa, quyosh energiyasini elektr energiyasiga aylantiruvchi fotoelektrik qurilmalarni takomillashtirish bo' yicha olib borilayotgan ilmiy tadqiqotlar yuqori samaradorlikka ega yangi avlod fotoelementlarini yaratishga qaratilgan. Shunga qaramasdan, mavjud ilmiy ishlarda asosiy e'tibor fotoelementlarning samaradorligini oshirish, passivatsiya qatlamlarini takomillashtirish, haroratning ta'siri hamda yangi fotoaktiv materiallarni ishlab chiqishga qaratilgan. Magnit maydonning aynan geterostrukturali quyosh fotoelementlarining volt-amper xarakteristikalarini (VAX), foto-EYuK, qisqa tutashuv toki, maksimal quvvati, to'ldirish koeffitsiyenti va foydali ish koeffitsiyentiga ta'siri yetarli darajada kompleks o'rganilmagan. Ayniqsa, geteroo' tishli va boshqa geterostrukturali fotoelementlarda turli magnit induksiyasi qiymatlarida zaryad tashuvchilar transporti, rekombinatsiya jarayonlari hamda fotoelektrik parametrlarning o'zgarish qonuniyatlari bo' yicha eksperimental ma'lumotlar cheklangan.

Ushbu ish geterostrukturali fotoelementlar xarakteristikalariga magnit maydonning ta'sirini nazariy jihatdan tadqiq etib, magnit maydon ostida elektr parametrlarining o'zgarish mexanizmlarini aniqlash hamda ularning samaradorligini baholashga qaratilgan.

Adabiyotlar tahlili

Effektiv texnologiyalardan biri geterostrukturali quyosh fotoelementlari bo' lib, ular an'anaviy p-n o' tishli kremniy elementlariga nisbatan yuqori foydali ish koeffitsiyenti, past rekombinatsiya yo' qotishlari va yuqori ochiq zanjir kuchlanishi bilan ajralib turadi [1-5].

Geterostrukturali fotoelementlarning ishlash prinsipi turli energetik zonaga ega bo'lgan yarimo' tkazgich qatlamlari orasida hosil bo'ladigan geteroo' tishga asoslanadi. Ushbu o' tish zaryad tashuvchilarning yaxshi generatsiyalanishini va ularning rekombinatsiyasini kamaytiradi. S. M. Sze yarimo' tkazgich qurilmalarining fizik asoslarini tahlil qilib, geteroo' tishlarda energetik zonalar moslashuvi, tashuvchilarning diffuziyasi hamda elektr transport jarayonlarini nazariy jihatdan asoslab berganlar [4]. Yana boshqa ishda fotoelementlarda yorug'lik yutilishi, fototok hosil bo'lishi va tashuvchilar transporti jarayonlarini batafsil tahlil qilib, geteroo' tishlarda energetik zonalar moslashuvi, tashuvchilarning diffuziyasi hamda elektr transport jarayonlarini nazariy jihatdan asoslab berganlar [4]. Fotoelementlarda yorug'lik yutilishi, fototok hosil bo'lishi va tashuvchilar transporti jarayonlarini batafsil tahlil qilib, geterostrukturali elementlarning yuqori samaradorligi interfeyslarning sifatiga bevosita bog'liqligini ko'rsatganlar [5].

Quyosh fotoelementlarining nazariy samaradorligi Shockley va Queisser tomonidan ishlab chiqilgan model asosida baholangan bo' lib, mualliflar bir o' tishli fotoelementlar uchun maksimal foydali ish koeffitsiyenti chegarasini aniqlaganlar [6]. Keyinchalik Green tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda yuqori samaradorlikka ega kremniy asosidagi fotoelementlarning rivojlanish bosqichlari tahlil qilinib, geterostrukturali texnologiyalar afzalliklarini ko'rsatganlar [1,2]. Nelson esa fotoelementlarda elektron va kovaklarning hosil bo'lishi hamda ularning tashilishi mexanizmlarini batafsil yoritgan [3].

Yoshikawa va hammualliflari HJT (Heterojunction Technology) asosidagi quyosh elementlarida 26 % dan ortiq foydali ish koeffitsiyentiga erishib, geteroo' tish interfeysining yuqori sifatli passivatsiyasi rekombinatsiya yo' qotishlarini sezilarli kamaytirishini eksperimental ravishda ko'rsatganlar [7]. Green va hammualliflari tomonidan muntazam e'lon qilinadigan quyosh elementlari samaradorligi jadvalarida esa geterostrukturali va tandem fotoelementlarning laboratoriya samaradorligi yil sayin ortib borayotgani qayd etilgan [8].

Bube fotoo' tkazuvchanlik hodisalarini, magnit maydonning yorug'lik ta'sirida hosil bo'lgan tashuvchilarning yashash vaqti hamda rekombinatsiya ehtimoliga ta'sirini o'rganib chiqqan [9]. Ashcroft va Mermin qattiq jismlar fizikasi bo' yicha fundamental tadqiqotlarida magnit maydon ta'sirida zaryad tashuvchilarning trayektoriyasi, harakatchanligi va elektr o' tkazuvchanligining o'zgarishini nazariy jihatdan asoslab berganlar [10,11]. Yarimo' tkazgichlarda tashuvchilar harakatiga tashqi magnit maydonning ta'siri Xoll effekti va Lorens kuchi orqali tushuntiriladi. Xoll magnit maydonda elektr toki yo' nalistiga perpendikulyar qo'shimcha kuchlanish hosil bo'lishini tajribada aniqlagan va ushbu hodisa keyinchalik yarimo' tkazgichlarning elektr xususiyatlarini o'rganishda muhim usullardan biriga aylangan [12].

So'nggi yillarda bu yo' nalistidagi tadqiqotlarda magnit maydonning zaryad tashuvchilar diffuziya uzunligiga va harakatchanligiga ta'siri orqali noideallik koeffitsientini ham ortishiga olib kelishi ko'rsatilgan [13]. Magnit maydon ta'sirida p-n o' tish VAXning o'ng tomonga siljib, qarshilikning ortishini qo'shimcha Xoll kuchlanishining potensial to'liq balandligiga qo'shilishi orqali ham tushuntirilgan [14]. p-n o' tish kuchlanishining magnit maydonga bog'liq o'zgarishlari uchun ham nazariy ifodalar ishlab chiqilgan [15]. Ammo geteroo' tishli fotoelementlar xarakteristikalariga magnit maydonning ta'siri nazariy jihatdan kam o'rganilgan bo' lib, bu ishda biz magnit maydon ta'siridagi fotoelement xarakteristikalarini ifodalarini ishlab chiqamiz va xulosalar beramiz.

Tadqiqot metodologiyasi

Quyosh fotoelementlari p-n o' tishdan iborat bo'lgani uchun uning VAXni Shokli ifodasi orqali olinadi:

$$j = j_s \left(e^{\frac{qU}{kT}} - 1 \right) - j_f \quad (1)$$

Bu yerda j_s – to‘ yinish toki, q – elementar zaryad, k – Bolsman doimiysi, T - temperatura, U – tashqi kuchlanish, j_f – yorug‘ lik ta‘sirida paydo bo‘ lgan fototok. Magnit maydon ta‘sirida esa zaryad tashuvchilarga Lorens kuchi ta‘sir qiladi va ularni harakat trayektoriyasini burilishiga olib keladi. Qoshimcha Xoll kuchlanishi paydo bo‘ ladi va u potensial to‘ siq balandligini orttiradi [16]. Tashqi ta‘sirni birinchi bo‘ lib zaryad tashuvchilar olgani uchun ularni energiyasi muvozanat xolatdagidan o‘ zgacha bo‘ lishi mumkin [17]. Shunda qizigan zaryad tashuvchilar temperaturasi tushunchasidan foydalanamiz. Magnitoqarshilik effekti esa qarsilikni ortishiga olib keladi. Bularni xisobga olganda p-n o‘ tish VAXi quyidagicha ko‘ rinishga keladi:

$$j = j_s \left(e^{\frac{q\varphi_0}{ckT} - \frac{q\left(\varphi_0 - U + J(R_b - U) + \frac{ajRB}{l}\right)}{ckT_e}} - 1 \right) - j_f \quad (2)$$

Bu yerda R_b – baza qarshilik [18], R – Xoll koefitsiyenti, B – magnit maydon induksiyasi, l – p-n o‘ tish kengligi, T_e – elektronning nomuvozanat xolatdagi temperaturasi, φ_0 – p-n o‘ tish potensial to‘ siq balandligi, c – noideallik koefitsiyenti. Bu yerda – Xoll kuchlanishini xisoblanadi. Berda u a – noldan birgacha o‘ zgaruvchi koefitsient xisoblandi. Uni Xoll kuchlanishi va elektr maydon kuchlanishlarini qo‘ shish davomida xisobga olish zarur bo‘ ladi. (2) ifodada ko‘ ryapmizki bu transcendent ifoda va bu yerda baza qarshilikga tushadigan kuchlanishni, magnit maydon ta‘sirida paydo bo‘ ladigan qo‘ shimcha kuchlanishni va zaryad tashuvchilar qizishini ham xisobga olish imkonini beradi. Demak magnit maydon ta‘sirida paydo bo‘ ladigan qo‘ shimcha kuchlanish potensial to‘ siq balandligiga qo‘ shilib, VAXini kuchlanish o‘ qi bo‘ yicha o‘ ngga siljishiga olib keladi. $U_X = \frac{ajRB}{l}$

Magnit maydon ta‘sirida zaryad tashuvchilar Lorens kuchi xisobiga o‘ z harakat trayektoriyasini o‘ zgartiradi va natijada zaryad tashuvchilarning diffuziya uzunligini ham o‘ zgarishiga olib keladi. Oldingi adabiyotlarda diodlarning VAXi noideallik koefitsiyentini diffuziya uzunligiga bog‘ liqligini quyidagicha keltirilgan [18]:

$$c \approx \frac{e^{d/L}}{b+1}, \quad (3) \quad b = \frac{\mu_n}{\mu_p} \quad L = \sqrt{D\tau}$$

L -diffuziya uzunligi, τ -noasosiy zaryad tashuvchilarning yashash vaqti

Xususiyl xol uchun va larni teng deb va diffuziya uzunligini magnit maydonda o‘ zgarishini quyidagicha hisoblasak μ_n

$$\mu_p$$

$$L = L_0 (1 - (\mu B)^2) \quad (4)$$

Shularni inobatga oladigan bo‘ lsak noideallik koefitsienti quyidagicha bo‘ ladi

$$c \approx e^{\frac{d}{L_0} (1 + (\mu B)^2)} \quad (5)$$

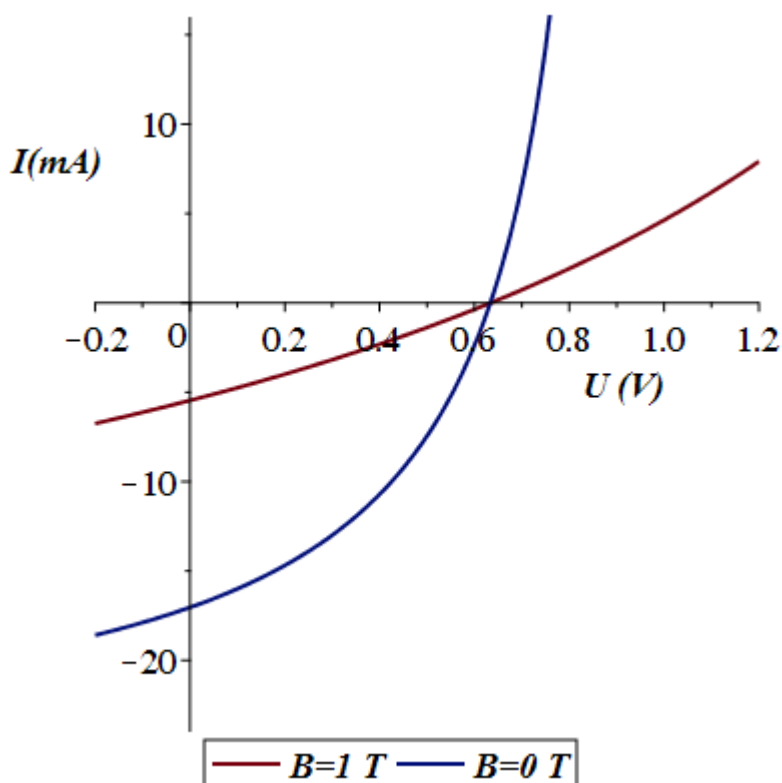
Bularni xisobga olganda quyosh elementining magnit maydon ta‘siridagi VAXi quyidagi ko‘ rinishga keladi:

$$j = j_s \left(\frac{e\varphi_0}{e^{\frac{d}{L}(1+(\mu B)^2)} kT} - \frac{e\left(\varphi_0 - U + J(R_b - U) + \frac{ajRB}{l}\right)}{e^{\frac{d}{L}(1+(\mu B)^2)} kT} - 1 \right) - j_f \quad (6)$$

Bu ifoda orqali endi biz fotoelementga magnet maydoni taʼsirini ikki tushuncha orqali xisobga olamiz: magnet maydon taʼsirida p-n oʻtish soxasida oʻzgarishlar boʻladi va qoʻshimcha Xoll kuchlanishi potensial toʻliq balandligiga qoʻshiladi. Ikkinchi tomondan esa diffuziya uzunligi oʻzgarib, magnet maydon taʼsirida noideallik koeffitsiyentining oʻzgarishiga olib keladi. Bu orqali magnet maydon taʼsirini nazariy jihatdan asoslash mumkin.

Natijalar va ularning tahlili

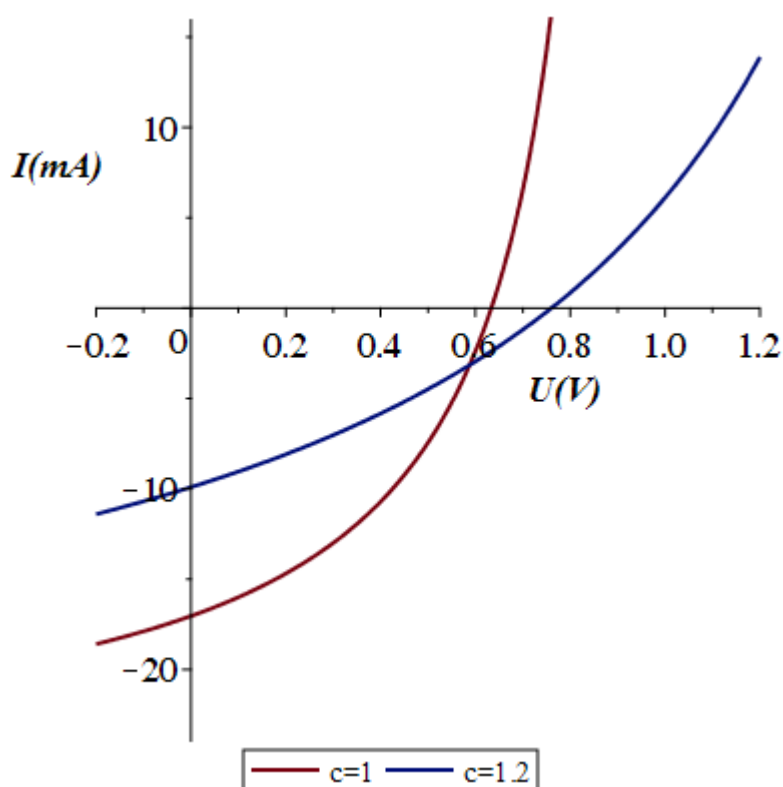
Magnet maydon taʼsiridagi p-n oʻtish VAXini tajribada olingan natijalariga qaraydigan boʻlsak, ularda magnet maydon ortishi bilan tok kuchi kamayib, qarshilikning ortishi va VAXining ong tomonga siljishi kuzatilgan. Bu hodisani nazariy asoslashda biz magnet taʼsirida paydo boʻlgan qoʻshimcha Xoll potensialini p-n oʻtish potensial toʻliq balandligiga qoʻshiladi degan xulosadan foydalanamiz. Natijada quyosh fotoelementining magnet maydon taʼsiridagi VAXini (2) ifodadagi koʻrinishidan quyidagi ifodani olamiz.



1-rasm. Quyosh fotoelementining magnit maydon ta'siridagi VAXi.

1-rasmda geterostrukturali quyosh fotoelementining turli magnit maydon qiymatlaridagi tok-kuchlanish xarakteristikalarini keltirilgan. Magnit maydon mavjud bo'lganda ($B=0$ T) fotoelement toki yuqoriroq qiymatga ega bo'lib, magnit induksiya $B=1$ T gacha oshirilganda tokning absolyut qiymati kamayishi kuzatiladi. Bunday o'zgarish magnit maydon ta'sirida zaryad tashuvchilarning Lorens kuchi ta'sirida trayektoriyasining og'ishi va elektr maydon yo'nalishidagi samarali harakatining kamayishi bilan izohlanadi. Natijada zaryad tashuvchilarning effektiv harakatchanligi va tok zichligi kamayadi. Shu bilan birga, grafikdan ochiq zanjir kuchlanishining $B=0$ T va $B=1$ T holatlarida keskin o'zgarishiga ko'rinadi.

Yuqorida magnit maydoni zaryad tashuvchilar diffuziya uzunligini ham o'zgarishiga olib kelishini ta'kidlagan edik. Bu esa adabiyotlarda keltirilgan ifodalar orqali noideallik ko'effitsiyentini ham o'zgarishiga va bu orqali VAXini ham o'zgarishiga olib keladi. Buni yuqoridagi (6) ifoda orqali hisobga olamiz.



2-rasm. Fotoelementning magnit maydon ta'sirida noideallik ko'effitsiyentini o'zgarishidagi VAXi

2-rasmda geterostrukturali fotoelementning noideallik ko'effitsiyentini c ning turli qiymatlaridagi volt-amper xarakteristikalarini keltirilgan. Hisoblashlarda $c=1$ va $c=1.2$ qiymatlari tanlangan. Noideallik ko'effitsiyentining ortishi geterostrukturadagi zaryad tashuvchilarning rekombinatsiyasi va transport jarayonlarining ideal diod xususiyatlaridan chetlanishini ifodalaydi. Grafikdan ko'rinadiki, c qiymatining o'zgarishi fotoelementning VAX shakli va tokning kuchlanishga bog'liqligiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. c ortishi bilan eksponensial tok tashkil etuvchisining kuchlanishga bog'liqligi o'zgaradi. Natijada fotoelementning elektr parametrlari, xususan, salt yurish kuchlanishi, qisqa tutashuv toki, maksimal quvvat va to'ldirish faktori o'zgarishi mumkin.

Xulosa

Ushbu ishda geterostrukturali quyosh fotoelementlarining elektr xarakteristikalariga magnit maydon ta'siri nazariy jihatdan tadqiq qilindi. Fotoelementning tok-kuchlanish xarakteristikasi zaryad tashuvchilarning transport jarayonlarini hisobga oluvchi matematik model asosida tahlil qilindi. Magnit maydonning zaryad tashuvchilar harakatiga ta'siri Lorens kuchi orqali izohlanib, magnit induksiya ortishi bilan tashuvchilarning harakat trayektoriyasi o'zgarishi va elektr maydon yo'nalishidagi samarali harakatining kamayishi mumkinligi ko'rsatildi. Hisoblash natijalari magnit maydon mavjud bo'lganda fotoelementning VAXi sezilarli ravishda o'zgarishini ko'rsatdi. Magnit induksiyaning ortishi zaryad tashuvchilarning diffuziya va tok zichligining kamayishiga olib kelishi natijasida fotoelementning elektr-energetik

parametrlarida o' zgarish yuzaga keladi. Bunda qisqa tutashuv toki, maksimal quvvat va to' ldirish koeffitsiyenti kabi parametrlarning magnit maydon qiymatiga bog' liqligi kuzatiladi.

Shuningdek, geterostrukturali fotoelementning VAXiga noideallik koeffitsiyenti c ning ta'siri o' rganildi. c qiymatining ortishi fotoelementdagi real transport va rekombinatsiya jarayonlarining ideal diod modelidan chetlanishini ifodalashi aniqlandi. Noideallik koeffitsiyentining o' zgarishi VAXning qiyaligi va eksponensial sohasiga ta'sir ko' rsatib, natijada fotoelementning asosiy parametrlarining o' zgarishiga sabab bo' lishi mumkin.

Umuman olganda, olingan natijalar magnit maydon va geterostrukturaning noideallik darajasi fotoelementning elektr transport jarayonlarini tavsiflovchi muhim omillar ekanligini ko' rsatadi. Taklif etilgan matematik model geterostrukturali quyosh elementlarining magnit maydon ostidagi ishlash xususiyatlarini baholash hamda ularning optimal ish rejimlarini aniqlashda qo' llanishi mumkin. Kelgusida magnit maydonning yo' nalishi, harorat, zaryad tashuvchilarning diffuziya uzunligi va rekombinatsiya vaqti kabi parametrlarning fotoelementning ko' rsatkichlariga kompleks ta'sirini tadqiq qilish maqsadga muvofiq.

Mualliflar hissasi, manfaatlar to' qnashuvi va moliyalashtirish

Mualliflar hissasi: barcha mualliflar tadqiqot konsepsiyasi, ma'lumotlarni tahlil qilish va maqola matnini tayyorlashda teng hissa qo' shgan. Manfaatlar to' qnashuvi: mualliflar manfaatlar to' qnashuvi yo' qligini bildiradi. Moliyalashtirish: tadqiqot tashqi moliyaviy yordamsiz amalga oshirilgan.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Green M. A. Solar Cells: Operating Principles, Technology and System Applications. – Prentice-Hall, 1982.
2. Green M. A. Third Generation Photovoltaics: Advanced Solar Energy Conversion. – 2nd ed. – Springer, 2022.
3. Nelson J. The Physics of Solar Cells. – Imperial College Press, 2003.
4. Sze S. M., Ng K. K. Physics of Semiconductor Devices. – 4th ed. – John Wiley & Sons, 2021.
5. Würfel P., Würfel U. Physics of Solar Cells: From Basic Principles to Advanced Concepts. – 3rd ed. – Wiley-VCH, 2016.
6. Shockley W., Queisser H. J. Detailed balance limit of efficiency of p–n junction solar cells // *Journal of Applied Physics*. – 1961. – Vol. 32, № 3. – P. 510–519.
7. Yoshikawa K., Kawasaki H., Yoshida W., et al. Silicon heterojunction solar cell with interdigitated back contacts for a conversion efficiency over 26% // *Nature Energy*. – 2017. – Vol. 2. – Article 17032.
8. Green M. A., Dunlop E. D., Hohl-Ebinger J., Yoshita M., Kopidakis N., Hao X. Solar cell efficiency tables (Version 64) // *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*. – 2024.
9. Bube R. H. Photoelectronic Properties of Semiconductors. – Cambridge University Press, 1992.
10. Ashcroft N. W., Mermin N. D. Solid State Physics. – Holt, Rinehart and Winston, 1976.
11. Kittel C. Introduction to Solid State Physics. – 8th ed. – John Wiley & Sons, 2005.
12. Ziese M., Thornton M. J. (Eds.). Spin Electronics. – Springer, 2001.
13. Fabian J., Matos-Abiague A., Ertler C., Stano P., Žutić I. Semiconductor spintronics // *Acta Physica Slovaca*. – 2007. – Vol. 57, № 4–5. – P. 565–907.
14. Žutić I., Fabian J., Das Sarma S. Spintronics: Fundamentals and applications // *Reviews of Modern Physics*. – 2004. – Vol. 76, № 2. – P. 323–410.
15. Hall E. H. On a new action of the magnet on electric currents // *American Journal of Mathematics*. – 1879. – Vol. 2, № 3. – P. 287–292.
16. Gulyamov G., Majidova G.N., Muxitdinova F.R. Influence of Temperature on Characteristics of a Diode with a p-n Junction in a Magnetic Field // *e-Journal of Surface Science and Nanotechnology* -2024.-22, 256–260
17. Gulyamov G., Majidova G.N., Muxitdinova F.R. Changing the Voltage of the p-n Junction in a Magnetic 3 Field // *e-Journal of Surface Science and Nanotechnology* -2023.-21, 273–277
18. Egiazaryan G. and Stafeev. V. Magnetodiodes and Magnetoresistors and Their Application. Radio i Svyaz', Moscow, 1987.