NAMANGAN DAVLAT UNIVERSITETI
ILMIY AXBOROTNOMASI, [2026-10]
ISSN:2181-1458
ISSN:2181-0427

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

p-n-p O‘TISHLI FOTOTRANZISTORLAR VOLT-AMPER XARAKTERISTIKASIGA MAGNIT MAYDONI VA YORUG‘LIKNING 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
Sharipova Mashxura Shamshidinovna
Namangan davlat texnika universiteti doktoranti
ORCID: 000-001-5302-37-81
E-mail: sharipova1202qw@gmail.com
Muxtarov Muxitdin Qodirjon o‘g‘li
E-Mail: mukhtarof13@gmail.com

Annotatsiya: *Ushbu ishda p-n-p strukturali fotataransiztorga magnit maydon va yorug‘likning teng ta’siridagi volt-amper xarakteristikasi o‘zgarishi ko‘rib chiqilgan. Fotoranzistor –yorug‘lik ta’sirida o‘zining kollektor-emitter qarshiligini keskin o‘zgartiruvchi yarimo‘tkazgichli asbob bo‘lib, uning asosiy ishlash prinsipi yorug‘lik kvantlari ta’sirida yarimo‘tkazgichda qo‘shimcha zaryad tashuvchilar hosil bo‘lishiga asoslangan. Magnit maydoni va yorug‘lik ham bir vaqtda ta’sir etayotgani ko‘rib o‘tilgan, uning natijasida tok kuchi grafigida o‘zgarish kelib chiqqan va qarshilik qiymati juda sezilarli darajada ortgan.*

Kalit so‘zlar: *fotatranzistor, p-n-p o‘tish, magnit maydon, fototok, volt-amper xarakteristikasi*

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ И СВЕТА НА ВОЛЬТ-АМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФОТОТРАНЗИСТОРОВ С P-N-P ПЕРЕХОДОМ

Аннотация: *В данной работе рассматривается изменение вольт-амперной характеристики фототранзистора p-n-p структуры под одинаковым воздействием магнитного поля и света. Фототранзистор — это полупроводниковый прибор, который резко изменяет сопротивление коллектор-эмиттер под воздействием света, а его основной принцип работы основан на образовании дополнительных носителей заряда в полупроводнике под воздействием световых квантов. Считается, что магнитное поле и свет действуют одновременно, в результате чего происходит изменение графика силы тока и значительно возрастает значение сопротивления.*

Ключевые слова: *фототранзистор, p-n-p переход, магнитное поле, фототок, вольт-амперная характеристика*

INFLUENCE OF A MAGNETIC FIELD AND LIGHT ON THE CURRENT-VOLTAGE CHARACTERISTICS OF P-N-P PHOTOTRANSISTORS

Abstract: *This paper examines the changes in the current-voltage characteristic of a p-n-p phototransistor under the simultaneous influence of a magnetic field and light. A phototransistor is a semiconductor device that exhibits a sharp change in its collector-emitter resistance when exposed to light; its fundamental operating principle is based on the generation of additional charge carriers within the semiconductor due to the absorption of light quanta. It is assumed that the magnetic field and light act concurrently, resulting in an alteration of the current-voltage curve and a significant increase in the resistance value.*

Keywords: *phototransistor, p-n-p junction, magnetic field, photocurrent, current-voltage characteristic*

Kirish

Zamonaviy ilm –fan va texnikaning jadal rivojlanishi optielektronika, sensorli texnalogiyalar va yarimoʻtkazgichli asboblarning yangi davrini boshlab berdi. Shunday muhim yarimoʻtkazgichli elementlardan biri fototranzistor boʻlib, u optik signallarni elektr signallariga yuqori kuchaytirish koefsienti bilan aylantirib berish sababli aftomtika, telemexanika, optik aloqa tizimlari va turli oʻlchov asboblarida keng qoʻllaniladi. Biroq, soʻnngi yillarda tashqi muhit omillarining xususan, magnit maydoninig yarimoʻtkazgichli asboblar xarakteristikasiga koʻrsataddigan ta'sirini oʻrganish dolzarb masalalardan biriga aylandi. Magnit maydoni fototranzistor ichidagi zaryadlangan zarrachalarga Lorens kuchi orqali ta'sir koʻrsatib, ularni xarakat traektoriyasini oʻzgartiradi va natijada asbobning fotosezgirli, volt-amper xarakteristikasi hamda reaksiya tezligiga oʻzgartirish kiritadi. Yorugʻlik va magnit maydonining fototranzistorga koʻrsatadigan qoʻshma yoki alohida ta'sirini oʻrganish quyidagi muhim jixatlar bilan ahamiyatli: sezgirlikni boshqarish, yangi turdagi datchiklar, fizik jarayonlarni chuqur anglash.

Adabiyotlar tahlili

Fototranzistorlarning optik nurlanishni yuqori sezgirlik hamda ichki fotokuchaytirish korsatkichi bilan elektr signaliga aylantirib beruvchi asosiy optoelektronik yarim oʻtkazgichli asbobdir [1]. Ularning ishlash prinsipi ichki fotoeffekt hodisalariga tayanadi [2].Baza mintaqasiga tushgan fotonlar (hv≥Eg) erkin elektron-kovak juftliklarini hosil qiladi [3].

Bipolyar va maydoniy fototranzistorlarda baza yoki getero-oʻtish sohasida fotonlar ta'sirida toʻplangan zaryadlar potensial toʻsiqni pasaytiradi. [4]. Natijada injeksiya toki keskin ortib, kollektor zanjirida birlamchi fototokdan bir necha tartib yuqori boʻlgan kuchaytirilgan signal shakillanadi [5]. 2D materyallar (masalan, MoS2, grafen) va organik yarimoʻtkazgichlar asosidagi zamonaviy fototranzistorlarda fotogeyshn effekti tufayli fotojavob 104-107A/W qiymatlargacha yetishi isbotlangan [6].

Yarimoʻtkazgichli strukturalarga tashqi magnit maydoni (B) ta'sir koʻrsatilganda zaryad tashuvchilarning dreyf va diffuziya traektoriyalarida galvonamagnit effektlar nomoyon boʻladi [7]. Vektorli elektr (E) va magnit (B) maydonlarida harakatlanayotgan zaryad tashuvchilarga Lorens kuchi ta'sir qiladi:

$$F = q \cdot (E + v \cdot B)$$

Ushbu ta'sirlar natijasida quyidagi asosiy fizik jarayonlar kichadi:

1. Magnitoqarshilik effekti: magnit maydoni zaryad tashuvchilarning erkin yurish yoʻlini qisqartirib, materialning solishtirma qarshiligini oshiradi [8].

2. Xoll effekti va sirtiy rekombinatsiya: transversal magnit maydoni fotozaryadlarni namuna sirtiga ogʻdiradi [9]. Sirtiy rekonbinatsiya tezligi (S) yuqori boʻlgan chegaralarda fototashuvchilarning yashash vaqti (τ) qisqaradi va difuziya uzunligi D τ)1/2 kamayadi [10].$L = ($

Soʻngi yillardagi tadqiqotlar fototranzistorlarning volt-amper xarakteristikasini (VAX) va fotosezgirlik parametrlarini nafaqat yorugʻlik intensivligi, balki magnit maydon induksiyasi orqali ham moslashuvchan boshqarish mumkinligini koʻrsatmoqda [11].

Yorugʻlik va magnit maydonning birgalikdagi ta'sirida quyidagi qonuniyatlar aniqlangan:

Fototokning magnit modulatsiyasi: Magnit induksiyasi B ortishi bilan baza sohasida zaryad tashuvchilarning harakatchanligi (μ) va qayta taqsimlanishi oʻzgaradi, bu esa kollektor toki (I_C) modulatsiyasini ta'minlaydi [12].

Spin–orbital oʻzaro ta'sir gibrid sensorlik: Organik va perovkit strukturali fototranzistorlarda magnit maydoni zaryadlar rekonbinatsiyasi va spin holatiga ta'sir koʻrsatib, magnitofotokuchaytirish effektini vujudga keltiradi [13], [14].

Ilmiy adabiyotlar tahlili shuni koʻrsatadiki, optoelektronika va galvonamagnit hodisalar chuqur oʻrganilgan boʻlsada, fototranzistordagi «yorugʻlik- magnit maydoni –fototok» uchlik bogʻliqligini ifodolovchi universal nazariy va tajribaviy modellar yetarlicha tizimlashtirilmagan [15].

Ushbu tadqiqot ishining maqsadi - fototranzistorlarning volt-amper va optik xarakteristikalariga tashqi magnit maydoni va yorugʻlik oqimining birgalikdagi ta'sir mexanizmlarini tajriba va matematik modellashtirish usullari orqali aniqlash hamda ulardanyangi turdagi magneto-optik sensorlarda foydalanish imkoniyatlarini asoslashdan iborat.

Tadqiqot metodologiyasi

Tranzistorlarning ishlash prinsiplari asosan ularning ikkita p-n oʻtishi – emitter-baza (E-B) va kollektor–baza (K-B) oʻtishlariga beriladigan tashqi kuchlanish yoʻnalishiga bogʻliq. Bu yoʻnalishlarning toʻgʻri yoki teskari siljishiga qarab transistor kalit rejimi, aktiv rejim, toʻyinish rejimi va teskari aktiv rejimlarda ishlashi mumkin. Geterostrukturali fototranzistorning ishlash prinsipi yorugʻlik kvantlari ta'sirida baza sohasida elektron-kovak juftliklarining hosil boʻlishi va ichki fotoeffektga asoslanadi.

Fototranzistorda bazaga tashqi elektr maydon berilmaydi, uning oʻrniga bazani fotonlar oqimi boshqaradi. Emitter–baza oʻtishi tashqi potensial hisobiga emas, balki strukturaning ichki xususiyatlari va generatsiya hisobiga togʻri siljish holatiga oʻtadi.

Klassik bipolyar tranzistorlarning aktiv rejimdagi volt-amper xarakteristikasi (VAX) J.J Ebers va J.L.Moll tomonidan taklif etilgan matematik model orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$I_E = I_{ES}\left(\exp\left(\frac{qU_{EB}}{kT}\right)-1\right) - \alpha_R I_{CS}(\exp(\frac{qU_{CB}}{kT})\text{-1})$$

$$I_C = \alpha_F I_{ES}\left(\exp\left(\frac{qU_{EB}}{kT}\right)-1\right) - I_{CS} \quad (1)$$

Bu yerda: IE va IC emitter va kollektor toklari; IESva ICS-emitter va kollektor to‘yinish toklari; αR vaF- teskari va to‘g‘ri oqim uzatish koeffitsiyentlari; q-elementar zaryad;k-boltsman doimiysi; T-mutloq harorat; UEB va UCB-emitter –baza va kollektor –baza kuchlanishlari. Aktiv rejimda kollektor-baza o‘tishi teskari ulangani uchun (UCB<0) ikkinchi eksponensial had nolga intiladi. α

Fototranzistorning VAXini hisoblashda uning bazasi ochiq bo‘lganligi sababli, kollektor-baza o‘tishida yorug‘lik ta’sirida generatsiyalanadigan fototokni (I_{ph}) hamda tashqi omillar (masalan, magnit maydoni B, qatlam qalinligi l,qarshilik R) ta’sirini hisobga oluvchi umimiy nochiziqli transsendent tenglama qo‘llaniladi:

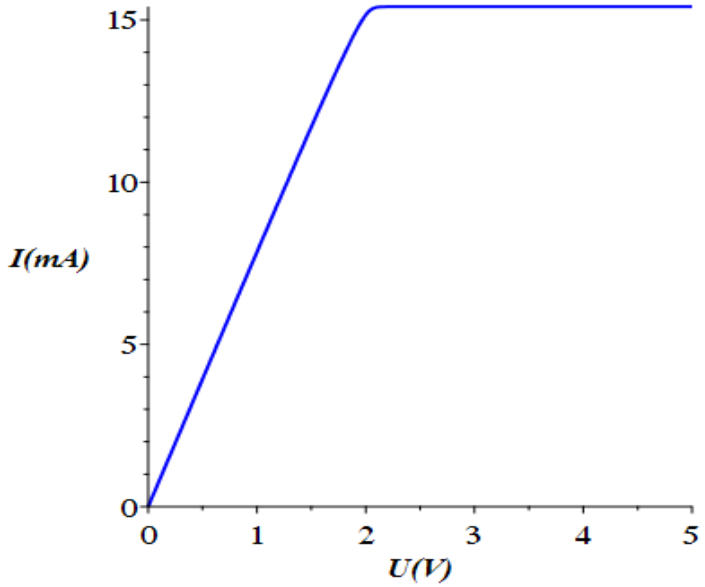
$$I = a \cdot I_{es}\left(\exp\left(\frac{q\cdot U_{be}}{k\cdot T}\right)-1\right) - I_{CS}\cdot\left(\exp(\frac{q\cdot\left(U_{be}-U+\frac{I\cdot R\cdot B}{l}\right)}{k\cdot T}\right)-1) + I_{ph} \quad (2)$$

Bu yerda UCB=Ube-U kollektor –baza o‘tishidagi kuchlanish zanjirga berilgan umumiy tashqi kuchlanish (U) va emitter kuchlanishi orqali ifodalanadi. Aktiv rejim shartlariga ko‘ra, -tashqi kuchlanish ortib borishi bilan Ube-U ayirma manfiy qiymatga o‘tadi va natijada tok to‘yinish rejimiga o‘tadi. Bu yerda Xoll kuchlanishi ham xisobga olingan bo‘lib [16-18], u kuchlanishni ortishiga ollib keladi. R- Xoll koiffitsiyenti, l-namunaning magnit maydon yo‘nalishiga perpendikulyar yo‘nalishdagi qalinligi.

(2) ifoda asosida fototranzistorlarning VAXiga magnit maydoni va yorug‘likni bir vaqtdagi ta’sirini nazariy jixatdan xisobga olib, qurilma xarakteristikalarini oldindan olish imkonini beradi.

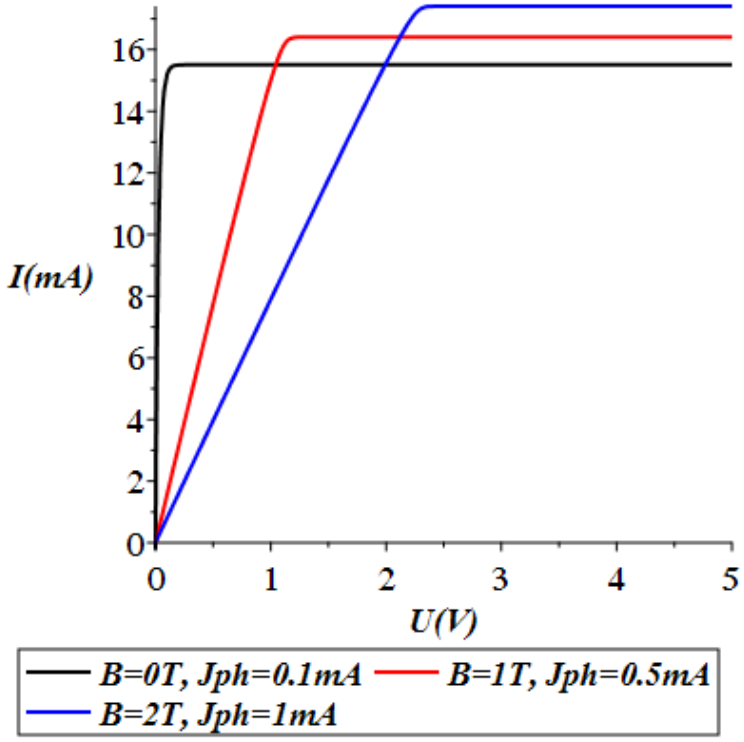
Natijalar va ularning tahlili

Yuqoridagi ifodalardan foydalanib magnit maydon va yorug‘likning bir vaqtdagi ta’sirini xisobga olgan xolda quyidagi garfiklarni olamiz.



1-rasm. Fototranzistorning magnit maydon va yorug‘lik ta’siridagi VAXi

Bu grafikni (2) ifoda asosida olingan bo‘lib, magnit maydon induksiyasiga B=1T, fototokni I_{ph}=0.001A, qolgan kattaliklarni ham kerakli qiymatlarini qo‘yib maple dasturida olingan. Bunda yorug‘lik ham magnit maydon ham o‘zgarmas doimiy qilib olingan. Endi magnit maydonni va yorug‘likni o‘zgaruvchi qilib olaylik.



2-rasm. Fototranzistorga o‘zgaruvchan magnit maydon va yorug‘lik ta’siridagi VAXi

Bu grafikda turli yorug‘lik va turli magnit maydonning ta’sirlari ko‘rilgan bo‘lib, magnit maydon induksiya vektorlariga noldan ikki teslagacha, yorug‘lik ta’sirida xosil bo‘lgan fototok esa 0.1 mAdan 1 mAgacha olingan. Qolgan kattaliklarni tegishli qiymatlari asosida transindent funksiya bilan maple dasturida olingan. Grafiklardan ko‘rishimiz mumkinki magnit maydon oshganda grafikdagi tokning to‘yinish qiymati ortadi: qora chiziqda taxminan (15.5) mA, qizil chiziqda (16.3) mA va ko‘k chiziqda (17.3) mA. Yorug‘lik ta’siri kuchayganda fotooqim ham ortadi. Legendada mos ravishda Iph =0.1 mA, Iph =0.5 mA va Iph =1 mA deb ko‘rsatilgan. To‘yinish rejimiga o‘tish kuchlanishi magnit maydon oshishi bilan kattalashmoqda: qora chiziqda taxminan (0.1) V, qizilda (1.2) V, ko‘kda esa (2.3) V atrofida.

Xulosa

grafiklarda fototranzistorning tashqi magnit maydon va yorug‘lik ta’siridagi volt-amper xarakteristikalari keltirilgan. Natijalardan ko‘rinadiki, magnit maydon induksiyasi (B=0) T dan (B=2) T gacha oshirilganda, modelda kollektor tokining to‘yinish qiymati taxminan 15,5 mA dan 17,3 mA gacha ortadi. Shu bilan birga, to‘yinish rejimiga o‘tish uchun zarur bo‘lgan kuchlanish ham ortadi. Ushbu natijalar qabul qilingan model doirasida magnit maydon va fotooqimning fototranzistorning elektr xarakteristikalariga ta’sir qilishini ko‘rsatadi. Biroq magnit maydonning ta’sir mexanizmini fizik jihatdan tasdiqlash uchun zaryad tashuvchilarning harakatchanligi, Lorens kuchi va magnit maydondagi transport jarayonlarini hisobga olish zarur. Lorens kuchi zaryad tashuvchilar xarakatchanligi va yashash vaqti orqali konsentratsiyasini o‘zgartiradi va natijada VAXini ham o‘zgarishiga olib keladi. Yorug‘lik esa zaryad tashuvchilar konsentratsiyasini ortishiga va fototokni ham ortishiga olib keladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Sze S.M., Ng K.K. Physics of Semiconductor Devices. – 3rd ed. – John Wiley & Sons, 2006.
2. Koppens F.H., Mueller T., Avouris P., et al. Photodetectors based on graphene, other two-dimensional materials and hybrid systems // Nature Nanotechnology. – 2014. – Vol. 9, № 10. – P. 780–793.
3. Streetman B.G., Banerjee S.K. Solid State Electronic Devices. – 7th ed. – Pearson, 2016.
4. Bonaccorso F., Sun Z., Hasan T., Ferrari A.C. Graphene photonics and optoelectronics // Nature Photonics. – 2010. – Vol. 4, № 9. – P. 611–622.
5. Konstantatos G., Sargent E.H. Nanostructured materials for photon detection // Nature Nanotechnology. – 2010. – Vol. 5, № 6. – P. 391–400.
6. Liu F., et al. Highly sensitive phototransistor based on multilayer GaTe flakes // ACS Nano. – 2014. – Vol. 8, № 1. – P. 752–760.
7. Popović R.S. Hall Effect Devices. – 2nd ed. – CRC Press, 2004.
8. Pippard A.B. Magnetoresistance in Metals. – Cambridge University Press, 1989.
9. Chazalviel J.N. Galvanomagnetic Effects in Semiconductors. – Springer, 1999.

10. Sze S.M. Semiconductor Sensors. – John Wiley & Sons, 1981.

11. Tarasov S.A., et al. Magneto-optical properties of semiconductor photodetectors under external magnetic field // Journal of Applied Physics. – 2018. – Vol. 124, № 12. – Article 124501.

12. Bhattacharya P. Semiconductor Optoelectronic Devices. – 2nd ed. – Prentice Hall, 1997.

13. Hu B., Wu Y. Tuning magnetoresistance in organic semiconductor devices through spin-orbit coupling // Nature Materials. – 2007. – Vol. 6, № 12. – P. 985–991.

14. Kravchenko S.V., Sarachik M.P. Metal-insulator transition and magnetoresistance in two dimensions // Reports on Progress in Physics. – 2003. – Vol. 66, № 1. – P. 1–34.

15. Rogalski A. Next-Generation Infrared Detectors. – Springer, 2019.

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.