

FOTOMAGNITOELEKTRIK HODISALARNI BIR JINSLI BO'LMAGAN YARIMO'TKAZGICHLARDA TALQIN ETISH

*f-m.f.d, professor G.Gulyamov, PhD G.N.Majidova, stajor-tadqiqotchi
S.Q.Madumarova*

saodatmadumarova0609@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu ishda p-n o'tish asosida olingan diodlarga bir vaqtning o'zida magnit maydon va yorug'lik ta'sirida volt-amper xarakteristikasini o'zgarishi o'rganilgan. p-n o'tishli diodga magnit maydon qo'yilganda elektron va kovaklar magnit maydoni va tok yo'nalishiga perpendikular ravishda og'adi. Buning natijasida yuzaga kelgan Xoll kuchlanishi diodning p-n o'tishdagi hajmiy zaryad sohasini tubdan o'zgartirib yuboradi. Buning natijasida dioddan o'tayotgan tok magnit maydonning qiymatiga proporsional ravishda kamayib boradi. Magnit maydon bilan yorug'likning bir vaqtdagi ta'siri ham o'rganilgan bo'lib, bunda fototokning ham ta'siri hisobga olingan VAXining ifodasi keltirilgan.

Kalit so'zlar: Fotomagnitoelektrik effekt (Kikoin -Noskov effekti), Xoll kuchlanishi, hajmiy zaryad sohasi, potensial to'siq balandligi, volt-amper xarakteristikasi, sirt rekombinasiyasi, generatsiya.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ФОТОМАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В НЕОДНОРОДНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКАХ

*f-m.f.d, professor G.Gulyamov, PhD G.N.Majidova, stajyor-tadqiqotchi
S.Q.Madumarova*

saodatmadumarova0609@gmail.com

Аннотация. В данной работе исследовано изменение вольт-амперной характеристики при одновременном воздействии магнитного поля и света

на диоды на основе р-п перехода. Когда к диоду с рп-переходом приложено магнитное поле, электроны и дырки движутся перпендикулярно магнитному полю и направлению тока. Возникающее в результате напряжение Холла радикально меняет поле объемного заряда р-п перехода диода. В результате ток, проходящий через диод, уменьшается пропорционально величине магнитного поля. Также изучено одновременное действие магнитного поля и света, в котором представлена ВАХ с учетом влияния фототока.

Ключевые слова: фотомагнитоэлектрический эффект (эффект Кикоина-Носкова), напряжение Холла, поле объемного заряда, высота потенциального барьера, вольт-амперная характеристика, поверхностная рекомбинация, генерация.

INTERPRETATION OF PHOTOMAGNITOELECTRIC PHENOMENA IN NON-HOMOGENOUS SEMICONDUCTORS

*f-m.f.d, professor G.Gulyamov, PhD G.N.Majidova, stajyor-tadqiqotchi
S.Q.Madumarova*

saodatmadumarova0609@gmail.com

Abstract. *In this work, the change in the current-voltage characteristic under the simultaneous influence of a magnetic field and light on diodes based on a p-n junction is studied. When a magnetic field is applied to a pn junction diode, electrons and holes move perpendicular to the magnetic field and the direction of the current. The resulting Hall voltage radically changes the space charge field of the p-n junction of the diode. As a result, the current passing through the diode decreases in proportion to the strength of the magnetic field. The simultaneous action of a magnetic field and light was also studied, in which the current-voltage characteristic is presented taking into account the influence of photocurrent.*

Key words: *photomagnetoelectric effect (Kikoin-Noskov effect), Hall voltage, space charge field, potential barrier height, current-voltage characteristic, surface recombination, generation.*

Kirish.

Yarimo'tkazgichli diod va tranzistorlar texnikada keng foydalaniladi. Shuning uchun ularning tashqi ta'sirlarga sezgirligini o'rganish muxim xisoblanadi. Uning harakteritikalariga temperaturaning ta'siri [1,2], magnit maydonining ta'siri [3,4] keng o'rganilgan. Hozirgi vaqtda fotomagnitoelektrik hodisalarga asoslangan yarimo'tkazgichli asboblarning elektrofizik xarakteriskalarini o'rganishga qiziqish ortmoqda. Fotomagnitoelektrik effekt (Kikoin -Noskov effekti) — magnit maydoni joylashtirilgan yarimo'tkazgich kuchli yutilishga ega bo'lgan yorug'lik bilan yoritilganda hosil bo'lishidir [5]. Yarimo'tkazgichga yorug'lik tushgan vaqtda fotonlar yutilishi tufayli yorug'lik yo'nalishi bo'ylab generatsiyalangan elektron va kovaklarning gradiyenti vujudga keladi [6]. Bunda generatsiyalangan zaryad tashuvchilar yorug'lik tushayotgan tomondan ichkariga qarab diffuziyalanib boradi [7]. Agar bunday yarimo'tkazgich yorug'lik yo'nalishiga perpendikulyar yoki burchak ostida yo'nalgan magnit maydoniga kiritilsa, yarimo'tkazgichlarda fotomagnitelektrik hodisa vujudga keladi.

Ushbu ishda, yarimo'tkazgichga ya'ni p-n o'tish asosida olingan diodlarga bir vaqtning o'zida magnit maydon va yorug'lik ta'sirida volt-amper xarakteristikasini o'zgarishdan iborat.

Yarimo'tkazgichli p-n o'tishning hajmiy zaryad soha kengligiga magnit maydon va yorug'likning ta'siri.

Yarimo'tkazgichga tushayotgan fotonlar oqimining yo'nalishi y o'qi bo'ylab, magnit kuch chiziqlarining yo'nalishi z o'qi bo'ylab yo'nalgan deb olsak,

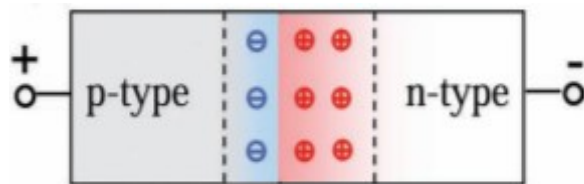
x o'qi bo'ylab fotomagnitoelektrik EYuK va elektr maydoni hosil bo'ladi. Bu hosil bo'lgan fotomagnitoelektrik EYuK magnit maydonining kuchlanganligiga to'g'ri proporsional bo'lib, u chiziqli bog'langandir. Yorug'lik yutilish koeffitsiyenti katta bo'lsa, fotonlar asosan yarimo'tkazgich sirtiga yaqin joydagi qatlamda yutiladi. Yutilgan fotonlar hisobiga generatsiyalangan elektron -kovak jufti yarimo'tkazgich ichkarisiga qarab diffuziyalanadi. Bir tomonga qarab yo'nalgan ikki xil zaryadga qarama-qarshi tomonga yo'nalgan Lorens kuchi ta'sir qilganligi uchun kovaklar bir tomonga qarab buralib to'plansa, elektronlar esa qarama-qarshi tomonda to'planadi. Natijada yarimo'tkazgichda E_x elektr maydon hosil bo'ladi [8]. Elektr maydon ta'sir kuchi magnit maydon ta'sir kuchi bilan tenglashganda EYuK statsionar qiymatga erishadi. Bu EYuK fotomagnitoelektrik EYuK deb ataladi.

Fotomagnitoelektrik EYuK va qisqa tutashuv tokini aniqlash uchun quyidagi shartlar bajarilishi lozim:

- a) Yorug'lik intensivligi kichik bo'lsin. Ya'ni yorug'lik ta'sirida hosil bo'layotgan zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi muvozanat vaqtidagi zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasiga nisbatan juda kam ;
- b) Magnit maydoni zaif;
- c) Elektron va kovaklarning yashash davri teng bo'lishi kerak.

Fotomagnitoelektrik effektga sirtiy rekombinatsiya ham katta ta'sir ko'rsatadi. Bu ta'sir ayniqsa, yarimo'tkazgich juda yupqa bo'lsa seziladi. Chunki yarimo'tkazgich juda yupqa bo'lsa, sirtiy va hajmiy effektlar kattalik jihatdan birlariga yaqin bo'ladi.

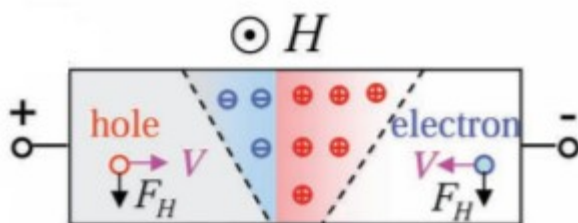
p-n o'tishli diodga magnit maydon berilmaganda hajmiy zaryad kengligini o'zgarishini ko'rishimiz mumkin [9,10]. Bunda hajmiy zaryad kengligida elektr maydon p- va n- sohalarda esa diffuziya jarayonlari muvozanat holatiga bog'liq holda maydon ta'sirida o'tayotgan zaryad tashuvchilar bilan diffuziyalanayotgan zaryad tashuvchilar teng bo'lguncha almashinish bo'lib turadi (1- rasm) .



2- rasm. Magnit maydoni bo'lmaganda p-n o'tishning hajmiy zaryad soha kengligi

Hajmiy zaryad soha kengligi va p-n o'tish potensial to'sig'ining balandligi diod p-n o'tish kesimi bo'ylab bir xil bo'ladi.

p-n o'tishli diodga magnit maydon qo'yilganda elektron va kovaklar magnit maydoni va tok yo'nalishiga perpendikular ravishda og'adilar. Buning natijasida yuzaga kelgan Xoll kuchlanishi diodning p-n o'tishdagi hajmiy zaryad sohasini tubdan o'zgartirib yuboradi. p-n o'tish kesimining turli sohalarida hajmiy zaryad qalinligi va p-n o'tish potensial to'siq balandligi o'zgaruvchan bo'lib qoladi. P-n o'tish potensial to'siq balandligi va hajmiy zaryad sohasining kengligi dioddagi elektron va kovaklar uchun tok zichliklari va elektr maydon kuchlanganligi uchun Puasson tenglamasini yechish orqali aniqlanadi .



3- rasm. P-n o'tishning hajmiy soha kengligini magnit maydon ta'sirida o'zgarishi

Magnit maydoni ta'sirida p-n o'tishli dioddagi hajmiy zaryad sohasining kengligini o'zgarishi sxematik ravishda 3-rasmda tasvirlangan.

Lorens kuchi ta'sirida n va p sohada elektron va kovaklarning traektoriyalarida burilishi natijasida zaryadlarni na'munaning chetlariga haydaydi [11]. Buning natijasida potensial to'siq o'zgaradi va p-n o'tishning qarshiligini keskin o'zgarishiga sabab bo'ladi. Qarshilik ortib tokni kamayishiga olib keladi. Potensial to'siq balandligi ortadi.

Yarimo'tkazgichning volt-amper xarakteristikasiga magnit maydon va yorug'likning ta'siri.

Bir jinsli bo'lmagan va p-n o'tish xarakteristikalariga turli tashqi ta'sirlarni nazariy ifodalashni ko'p ishlarda ko'ramiz [12,13,14,15]. Bunda biz yorug'lik va magnit maydonni bir vaqtdagi ta'sirini ko'rib chiqaylik. Dioddan oqayotgan toklar magnit maydoni bo'lmaganda

$$j = j_n + j_p,$$

$$j_n = en\mu_n E + eD_n \frac{dn}{dx},$$

$$j_p = en\mu_p E - eD_p \frac{dp}{dx},$$

ifodalardan foydalanib (1) ifodani hosil qilib olamiz.

$$j = j_n + j_p = en\mu_n E + eD_n \frac{dn}{dx} + en\mu_p E - eD_p \frac{dp}{dx}. \quad (1)$$

Magnit maydon ta'sir ettirilsa yuqoridagi formulamiz qo'yidagicha tus olishi uchun

$j = 0$ shart bilan p-n o'tishga ta'sir etuvchi kuchlar $F_e = enESdx$ va diffuziya kuchlar

$$F_d = kT \frac{dn}{dx} Sdx$$

kuchlarni tenglash orqali

$$enE_n Sdx = kT \frac{dn}{dx} Sdx, \quad enE_n = kT \frac{dn}{dx},$$

$$E_n = E_e + E_x, \quad E_e = \frac{d\varphi}{dx}, \quad E_x = \frac{R_x JB}{l},$$

$$n_p = n_n e^{\frac{e}{kT} \left(\varphi + \frac{R_x JB}{l} \right)},$$

$$\varphi = \varphi_0 - U$$

bo'lganda tok uchun

$$j = j_n + j_p,$$

ifodalarni qo'yish orqali (2) ifodaga ega bo'lamiz.

$$j = j_s \left(e^{\frac{e\varphi_0}{kT} - \frac{e}{kT_e} \left(\varphi_0 - U + \frac{R_x JB}{l} \right)} - 1 \right). \quad (2)$$

(2) ifoda p-n o'tish magnit maydonda bo'lganda VAXining ifodasidir.

Magnit maydon va yorug'likning ta'sirida volt-amper xarakteristikasini tahlili.

Agar biz p-n o'tishga bir vaqtning o'zida ham magnit maydon ham yorug'lik ta'sir qildirganimizda quyidagi (3) ifodaga ega bo'lamiz.

$$j = j_s \left(e^{\frac{e\varphi_0}{kT} - \frac{e}{kT_e} \left(\varphi_0 - U + J \left((R_b - AU^n) + \frac{R_x JB}{l} \right) \right)} - 1 \right) + \frac{U}{R_u} - J_f, \quad (3)$$

b

x

u

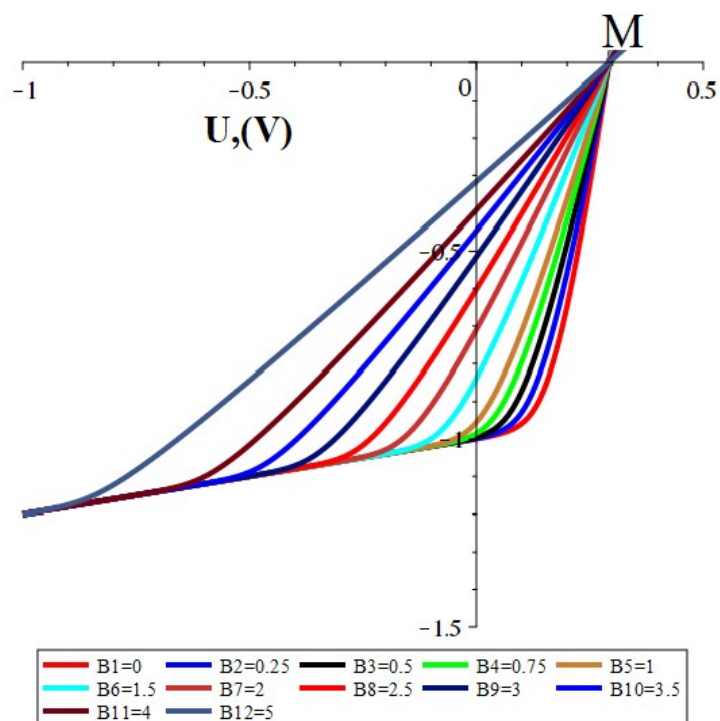
f

Bu yerda R - baza qarshiligi, R -Xoll doimiysi, R -sirqish qarshiligi, J -fototok.

Ushbu ifodaga $e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ KJ}$; $k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J / K}$; $U_1 = 0$; $R_b = 200 \text{ Om}$;

$R_u = 50000 \text{ Om}$; $T = 300 \text{ K}$; $T_e = 300 \text{ K}$; $R = 1000$; $L = 1000 \text{ mm}$; $J_f = (10)^{-4} \text{ A}$; $J_s = (10)^{-9} \text{ A}$

son qiymatlarini qo'shib VAXni (3-rasm) grafikdan ko'rinadiki, magnit va foto ta'sirida VAXda fotomagnitoEYuK hosil bo'lib, magnit maydon ortishi bilan fototokning kamayishi kuzatiladi.



3 –rasm. a) magnit maydondagi diodning yorug'lik ta'sirida hosil bo'lgan VAXi.

Magnit maydon o'zgarganda qisqa tutashuv fototoki kamayishi kuzatiladi. Bu hodisani qo'yidagicha izohlaymiz: p-n o'tishga va Lorens kuchiga fototok perpendikulyar yo'nalgan bo'lib, Lorens kuchi hisobiga fotoelektron va

fotokovaklarning traektoriyalari egiladi. p-n tekisligi bo'ylab Xoll kuchlanishi p-n o'tish potensial to'siq balandligini o'zgartirib yuboradi. Buning natijasida p-n o'tish ko'ndalang kesimida potensial to'siq balandligi va hajmiy zaryad kengligi o'zgaruvchan bo'ladi. Dioddan o'tayotgan tok asosan potensial to'siqning eng kam bo'lgan sohasidan o'ta boshlaydi. Potensial to'siq katta bo'lgan sohalarda esa tok zichligining qiymati keskin kamaya boshlaydi. Buning natijasida dioddan o'tayotgan to'la tok magnit maydonining ortishi bilan keskin kamaya boshlaydi.

Dastlab magnit maydoni bo'lmaganda tok zichligi p-n o'tishning butun kesimi bo'ylab bir xil bo'lgan bo'lsa, magnit maydoni tok zichligining diod kesimi bo'ylab notekis taqsimlanishiga sabab bo'ladi. Dioddan oqayotgan tok p-n o'tishning chetiga qisilgandek bo'ladi.

Agarda Xoll kuchlanishi diod ko'ndalang kesimi bo'ylab potensial to'siq balandligining bir tarafdan ikkinchi tomonga oshirib borsa, potensial to'siqning

ko'tarilgan sohalarida tok zichligi keskin kamayadi. Bu hodisani diodning tok o'tayotgan ko'ndalang kesimini magnit maydoni ta'sirida kamayib borayotganday tasavvur qilish mumkin. Boshqacha qilib aytgandigan bo'lsak diodning tok o'tkazuvchi ko'ndalang kesimini effektiv qiymatini magnit maydoni ortishi bilan kamayib borayotganday ko'rishimiz mumkin.

3-rasmda M nuqtadan turli magnit maydondagi VAXlarni kesishishi kuzatiladi. Buning fizik sababini qo'yidagicha izoxlash mumkin. Salt yurish kuchlanishida (U_{xx}) dioddan oqayotgan tok 0 ga teng bo'lganligi sababli diod ko'ndalang kesimi bo'ylab Xoll kuchlanishi yuzaga kelmaydi. Buning natijasida potensial to'siqning balandligi turli magnit maydonlari uchun ham o'zgarmay qolaveradi.

Xulosa.

p-n o'tishli diodga magnit maydon qo'yilganda elektron va kovaklar magnit maydoni va tok yo'nalishiga perpendikular ravishda og'adi. Buning natijasida yuzaga kelgan Xoll kuchlanishi diodning p-n o'tishdagi hajmiy zaryad sohasini tubdan o'zgartirib yuboradi. p-n o'tish kesimining turli sohalarida hajmiy zaryad qalinligi va p-n o'tish potensial to'siq balandligi o'zgaruvchan bo'lib qoladi. Dioddan tok oqa boshlaganda ko'ndalang kesim bo'ylab yuzaga keluvchi Xoll kuchlanishi magnit maydonning oshishi bilan ortib boradi. Buning natijasida dioddan o'tayotgan tok magnit maydonning qiymatiga proporsional ravishda

kamayib boradi. Yuqorigagi aytilgan fikrlar rasmlarda ko'rsatilgan VAXlarning magnit maydondagi siljishini tushuntirib beradi. **bo'lsa yozish kerak**

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

- [1] P. J. Baymatov, A. G. Gulyamov, B. T. Abdulazizov, Kh. Yu. Mavlyanov, M. S. Tokhirjonov "Features of the Chemical Potential of a Quasi-Two-Dimensional Electron Gas at Low Temperatures" *International Journal of Modern Physics B* 2150070 (1-13), 2021
<https://doi.org/10.1142/S0217979221500703>
- [2] B. T. Abdulazizov, G. Gulyamov, P. J. Baymatov, S. T. Inoyatov, M. S. Tokhirjonov, K. N. Juraev "Peculiarities of the temperature dependence of the chemical potential of a two-dimensional electron gas in magnetic field" In *Spin* (Vol. 12, No. 01, p. 2250002). World Scientific Publishing Company. (2022, March)
- [3] G. Gulyamov, G. Majidova, F. R. Mukhitdinova, A. X. Suvanov, "Effect Of Magnetic Field On Photoelectric Characteristics Of PN Junction Diode" *Journal of Optoelectronics laser*, 41(9), 451-459
- [4] D. Yang, F. Wang, Y. Ren, Y. Zuo et al, "A Large Magnetoresistance Effect in p-n Junction Devices by the Space-Charge Effect," *Adv. Funct. Mater*, 2013. V.23. P. 2918–2923
- [5] V. L. Bonch-Bruevich, S. K. Kalashnikov, Physics of Semiconductors. M.: Nauka. 1977. C. 209
- [6] С. Зи, Физика полупроводниковых приборов. М: Мир. 1984. С. 58-65
- [7] И.М. Викулин, В.И. Стафеев, Физика полупроводниковых приборов. М: Сов.радио. 1980. С. 30-31

- [8] 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*, 6(1), 32-37
- [9] 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*. T. 2021. №. 1. C. 5542559.
- [10] T. Wang, M. Si, D. Yang “Angular dependence of the magnetoresistance effect in a silicon based p–n junction device,” *Nanoscale*, 2014. V.6. P. 3978–3983
- [11] T. Wang, D. Z. Yang, M. Si et al, *Adv. Electron. Mater.*, 1600174 (2016), <https://doi.org/10.1002/aelm.201600174>
- [12] G. Gulyamov, G. Majidova, F. Muxitdinova, S. Madumarova, *AIP Conf. Proc.* **2700**, 050008 (2023) <https://doi.org/10.1063/5.0126385>
- [13] G. Gulyamov, B. Shahobiddinov, A. Soliyev and Sh. Nazarov, *AIP Conf. Proc.* **2700**, 020016 (2023) <https://doi.org/10.1063/5.0124940>
- [14] G. Gulyamov, G. Majidova, *Romanian journal of physics* **68**, (3-4), 110-115 (2023). https://rjp.nipne.ro/2023_68_3-4/RomJPhys.68.607.pdf
- [15] G. Gulyamov, G. Majidova and F. Muhitdinova, *Journal of Applied Science and Engineering*, **27**, 1911-1917 (2023) [https://doi.org/10.6180/jase.202401_27\(1\).0007](https://doi.org/10.6180/jase.202401_27(1).0007)