

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI

OLIY TA'LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI

FARG'ONA DAVLAT UNIVERSITETI

**FarDU.
ILMIY
XABARLAR**

1995-yildan nashr etiladi
Yilda 6 marta chiqadi

6-2025
ANIQ FANLAR

**НАУЧНЫЙ
ВЕСТНИК.
ФерГУ**

Издаётся с 1995 года
Выходит 6 раз в год

MATEMATIKA

Sh.T.Nishonova, M.S.Sodiqova

Elliptiko-giperbolik tipdagi tenglama uchun bir chegaraviy masalaning
bir qiymatli yechimi..... 4

N.S.Ikramova, M.T.Yunusalieva

Solvability of a mixed problem for a degenerate sub-diffusion
equation in a rectangular domain 12

INFORMATIKA

B.A.Umarov

IoT qurilmalarini tarmoqqa ulashdagi protokollar tahlili 25

B.A.Umarov, Sh.M.Kimsanboyeva

Tarmoq energiya samaradorligini oshirish strategiyalari..... 29

FIZIKA-TEXNIKA

G.Q.Muxamadaliyeva, M.R.Akbaraliyeva

Tabiiy va sun'iy tolalarni o'quvchilarga o'rgatishda steam va
smart metodlari orqali o'qitish samaradorligini oshirish..... 32

M.F.Solijonova

Texnologik ta'lim yo'nalishi talabalariga zamonaviy innovatsion pedagogik
texnologiyalardan foydalanib 'metallarning xossalarini o'qitish 36

J.R.Bobojonova

Umumta'lim maktablarida ta'lim samaradorligini oshirishda interfaol
usullarining roli 40

Sh.Sh.Shuxratov, S.A.Ismoilova

Alohida ta'lim ehtiyojlariga ega o'quvchilar uchun interfaol
pedagogik yondashuvlar 44

C.M.Отажонов, P.H.Эргашев, K.A.Ботиров, Д.Х.Нажмиддинова

Оптические свойства и рентгеноструктурный анализ тонких
пленок с глубокими примесными уровнями 49

M.X.Paxmonkulov

Цели и методы изучения радиационных дефектов в полупроводниках 57

I.V.Xoldarova, Sh.A.Ibragimova

Mehnatsevarlik tushunchasining asosiy sotsiomadaniy
va tarbiyaviy kontsepsiyalari 61

ILMIY AXBOROT

G.X.Ismoilova

Xalq hunarmandchiligi va milliy qadriyatlarni umumiy o'rta ta'lim
maktablarida smart usulidan foydalanib o'qitish samaradorligi 67

F.R.Muxitdinova

Magnit maydondagi p-n o'tish kuchlanishining turli temperaturalarda o'zgarishi 671



UO'K: 538.9:537.6:536

**MAGNIT MAYDONDA P-N O'TISH KUCHLANISHINING TURLI
TEMPERATURALARDA O'ZGARISHI****ИЗМЕНЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ PN-ПЕРЕХОДА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ ПРИ
РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ****CHANGE IN THE VOLTAGE OF A PN JUNCTION IN A MAGNETIC FIELD AT
DIFFERENT TEMPERATURES****Muxitdinova Feruza Rustam qizi** 

Namangan Davlat Texnika Universiteti Fizika kafedrası katta o'qituvchisi

Annotatsiya

Hozirgi kunda texnika-texnologiyalar hayotimizda katta rol o'ynaydi. p-n o'tishli diod va tranzistorlar texnikada keng qo'llanilgani uchun ularning parametrlarini tashqi ta'sirlarga sezgirligini va xarakteristikalarini o'rganish juda muhim hisoblanadi. Bu ishda p-n o'tish volt-ampere xarakteristikasiga, kuchlanishiga va potensial to'siq balandligiga magnit maydonning ta'siri ko'rib chiqilgan. Magnit maydon ortib borganda, volt-ampere xarakteristikasi o'ng tomonga siljib, qarshilik ortib, kuchlanishning ham ortib borishi tajribalarda kuzatilgan va buni Xoll kuchlanishi xisobiga deb tushuntirilgan. Qarshilikni ortishi esa magnitoqarshilik effekti bilan bog'liq. p-n o'tish kuchlanishining magnit maydonga bog'liq ifodasi keltirilgan va turli haroratlarda uning o'zgarishlari ham keltirilgan. Tajribalarda harorat pasayganda magnit maydon bo'lgan va bo'lmagan hollarda kuchlanishlar farqi katta bo'lgani kuzatilgan. Harorat past bo'lganda va magnit maydoni ortib borganda kuchlanishning magnit maydonga bog'liq o'zgarishini xisobga oluvchi ifoda keltirilgan. Bu ifoda yordamida olingan grafiklar tajriba natijalari kabi harorat pasayganda kuchlanishning ortib borishini namoyon qilgan. Bu bog'liqlikni tushuntirishda Xoll ko'effitsiyentining zaryad tashuvchilar xarakatchanligi bilan bog'liq xolda o'zgarishidan foydalandik. Shunda Xoll kuchlanishi ham harorat kamayishi bilan ortib borishiga erishdik. Bizning olgan natijalarimiz tajriba natijalariga yaqin bo'lgan. Olingan nazariy natijalar tajriba natijalari bilan solishtirilgan va xulosalar olingan.

Аннотация

В настоящее время технологии играют большую роль в нашей жизни. Поскольку диоды и транзисторы с p-n-переходом широко используются в технике, изучение их параметров, чувствительности к внешним воздействиям и характеристик весьма актуально. В данной работе рассмотрено влияние магнитного поля на вольт-амперную характеристику, напряжение и высоту потенциального барьера p-n-перехода. Экспериментально обнаружено, что при увеличении магнитного поля вольт-амперная характеристика сдвигается вправо, сопротивление увеличивается, а напряжение также увеличивается, что объясняется эффектом Холла. Рост сопротивления связан с эффектом магнетосопротивления. Приведено выражение для напряжения p-n-перехода в зависимости от магнитного поля, а также его изменения при различных температурах. Экспериментально обнаружено, что при понижении температуры разность напряжений становится большой в присутствии и отсутствии магнитного поля. Приведено выражение, описывающее изменение напряжения в зависимости от магнитного поля при низкой температуре и сильном магнитном поле. Графики, полученные с использованием этого выражения, показывают, что напряжение увеличивается с понижением температуры, как и экспериментальные результаты. Для объяснения этой зависимости мы использовали изменение коэффициента Холла в зависимости от подвижности носителей заряда. Затем мы обнаружили, что напряжение Холла также увеличивается с понижением температуры. Наши результаты оказались близки к экспериментальным результатам. Полученные теоретические результаты были сопоставлены с экспериментальными, и сделаны выводы.

Abstract

Technology plays a significant role in our lives today. Since p-n junction diodes and transistors are widely used in engineering, studying their parameters, sensitivity to external influences, and characteristics is highly relevant. This paper examines the influence of a magnetic field on the current-voltage characteristic, voltage, and potential barrier height of a p-n junction. It was experimentally discovered that with increasing magnetic field, the current-voltage characteristic shifts to the right, resistance increases, and voltage also increases, which is explained by the Hall effect. The increase in resistance is associated with the magnetoresistance effect. An expression is presented for the p-n junction voltage as a function of the magnetic field, as well as its change at different temperatures. It was experimentally discovered that with decreasing temperature, the voltage difference becomes large in the presence and absence of a magnetic field. An expression is presented describing the change in voltage depending on the magnetic field at low temperatures and in a strong magnetic field. The graphs obtained using this expression show that the voltage increases

with decreasing temperature, as do the experimental results. To explain this dependence, we used the change in the Hall coefficient depending on charge carrier mobility. We then discovered that the Hall voltage also increases with decreasing temperature. Our results were close to the experimental ones. The obtained theoretical results were compared with the experimental ones, and conclusions were drawn.

Kalit so'zlar: *p-n o'tish, magnit maydon, volt-amper xarakteristika, Xoll effekti, harorat, Xoll kuchlanishi, harakatchanlik.*

Ключевые слова: *p-n-переход, магнитное поле, вольт-амперная характеристика, эффект Холла, температура, напряжение Холла, подвижность*

Keywords: *p-n junction, magnetic field, current-voltage characteristic, Hall effect, temperature, Hall voltage, mobility*

KIRISH

Bugungi kunda mikroelektronika va nanotexnologiyalarda p-n o'tish asosidagi qurilmalardan keng foydalaniladi. Ular texnikalarning asosini tashkil qilganligi uchun ish rejimlarini o'rganish orqali mexanik jixatdan mustahkamligini orttirish, fizik jihatdan tug'un va ish samaradorligi yuqori bo'lgan diod va tranzistorlarni ishlab chiqish muximdir. Diod xarakteristikalarini tashqi ta'sirlarda o'zgarishini o'rganish va uni oldindan aytib berish ahamiyatlidir. Bu ishda biz p-n o'tishga magnit maydon ta'sir etganda uning volt-amper xarakteristikasi, qarshiligi, kuchlanishi va potensial to'siq balandligidagi o'zgarishlarni xisobga oluvchi ifodalarni keltirib chiqarilgan. Undan tashqari kuchlanishni magnit maydonga bog'liqlik ifodasini va turli temperaturalarda o'zgarishlarini e'tiborga oluvchi ifoda ishlab chiqilgan. p-n o'tish xarakteristikalarini tashqi ta'sirlar yordamida boshqarish mumkinligini ko'rsatilgan. Olingan nazariy natijalar tajriba natijalariga yaqinligidan xulosalar olingan.

ADABIYOTLAR TAHLILI VA METODOLOGIYA

Diod xarakteristikalari turli tashqi ta'sirlar natijasida o'zgarishi mumkin. Masalan, temperatura ortib borganda tok ham ortib boradi [1]. Bunda temperatura ortib borganda zaryad tashuvchilar muvozanat holatidan nomuvozanat holatga o'tadi [2]. Bu esa konsentratsiyani ham o'zgarishiga olib keladi. Bunda undan o'tayotgan tok, tashqi ta'sirlar natijasida o'zgarib boradi. p-n o'tishga potensial to'siq balandligi o'zgaradi va natijada uning VAXi o'zgaradi. Magnit maydon ham shu tashqi ta'sirlardan biri hisoblanib, uni diod xarakteristikalariga ta'sirini tajribalarda ham ko'rib chiqilgan [3]. Unda magnit maydon ortib borgan sari diod volt-amper xarakteristikasi o'ng tomonga siljib, qarshilikning ortganikuzatilgan [4]. Buni magnitoqarshilik effekti sababidan deb xisoblaganlar [5]. Magnit maydon ta'sirida yarimo'tkazgichlarda sodir bo'ladigan jarayonlarni nazariy jihatdan ko'rib chiqilgan [6,8], lekin tajriba natijalariga yaqinlik juda kam bo'lgan. Yaponiyaliklarning ishlarida magnitoqarshilikni hajmiy zaryad sohasidagi o'zgarishlar bilan bog'liq deb hisoblangan [9]. Magnitoqarshilik past temperaturalarda va katta magnit maydonda sezilarli darajada katta bo'lgan va hajmiy zaryad sohasidagi magnit effektlari bilan bog'langan [10]. p-n o'tishga magnit maydonining ta'siri bilan olimlar shug'ullanishgan. Ular magnit maydon induksiyasi bilan tok kuchi orasidagi burchakni o'zgarishini VAXiga ta'sirini tajribada ko'rib chiqqanlar [11]. Burchak ortib borgan sari VAXi o'ng tomonga siljigan va kuchlanishning katta qiymatlariga erishgan. Bundan p-n o'tishda magnit maydon ta'sirida qo'shimcha Xoll kuchlanishi paydo bo'ladi degan xulosa qilish mumkin. Chunki Xoll kuchlanishi burchakka bog'liq bo'ladi.

Kuchlanishning o'zgarishi bilan magnit maydonning bog'lanish garfiklari ham ko'rsatilgan bo'lib, bunda kuchlanish farqi magnit maydon ortishi bilan ortib borgan. Namunaning qarshiligi ham magnit maydonga proporsional ortib borgan. Bularning hammasi magnit maydoni Xoll effektini natijalari deb hisoblanadi [12]. Boshqa ishlarda ham burchak ham temperaturaga bog'lanishini ko'rishgan [13]. Bu ishda ham olimlar magnit maydon ta'sirida hajmiy zaryad sohasidagi zaryad tashuvchilar Lorens kuchi ta'sirida harakat trayektoriyalarini o'zgartirib, hajmiy zaryad sohasini trapetsiyasimon shaklga keltiradi deb hisoblaganlar [14].

Bu ishda esa kuchlanishning magnit maydon bilan bog'lanishining nazariy ifodasi keltiriladi va buni Xoll effekti natijasidagi Xoll kuchlanishi bilan tushuntiriladi. Magnit maydonda harorat pastligida sezilarli o'zgarishlar bo'lishining sababi sifatida esa zaryad tashuvchilar harakatchanligining harorat va magnit maydondagi o'zgarishlari bog'liq deb xisoblanadi.

NATIJA VA MUHOKAMA

Bizga ma'lumki p-n o'tish volt-amper xarakteristikasi Shokli ifodasi orqali aniqlanadi [15]:

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

Bu yerda j -tok zichligi, j_s -to'yinish toki, e -elementar zaryad, U -tashqi kuchlanish, k -Bolsman doimiysi, T -harorat. Magnit maydon ta'sir ettirilsa yuqoridagi formulamiz quyidagicha tus olishi uchun elektr maydon kuchlanganligi bilan birga magnit maydon ta'sirida paydo bo'lgan maydon kuchlanganligini ham e'tiborga olamiz.

$$\begin{aligned} E_n &= E_e + E_x, & E_e &= \frac{d\varphi}{dx}, & E_x &= \frac{R_x JB}{l}, \\ \frac{e}{kT} \left(\frac{d\varphi}{dx} dx + \frac{JB R_x}{l} dx \right) &= \frac{dn}{n_0}, & \ln \frac{dn}{n_0} &= \frac{e}{kT} \left(\varphi + \frac{R_x JB}{l} \right), \\ n_p &= n_n e^{\frac{e}{kT} \left(\varphi + \frac{R_x JB}{l} \right)}, \end{aligned}$$

Bu yerda R_x -Xoll ko'effitsienti, B -magnit maydon induksiyasi, l -p-n o'tish kengligi, $\varphi = \varphi_0 - U$ bo'lganda tok uchun $j = j_n + j_p$, ifodalarni qo'yish orqali (2) ifodaga ega bo'lamiz.

$$j = j_s \left(e^{\frac{e\varphi_0}{kT} - \frac{e(\varphi_0 - U + J(R_b + BR_x/l))}{kT}} - 1 \right) \quad (3)$$

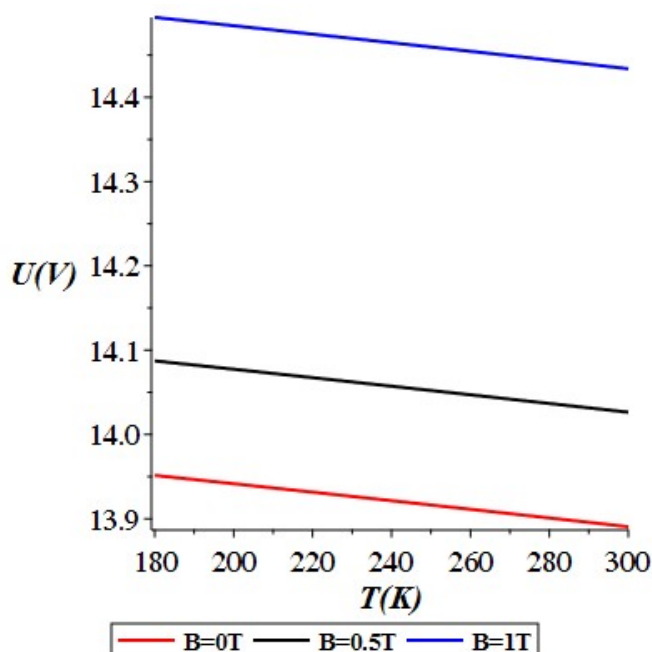
(3) ifodadan foydalanib kuchlanish uchun quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$U = \frac{ckT}{e} \ln \left(\frac{j}{j_s} + 1 \right) + \frac{R_x JB}{l} + jR_b \quad (4)$$

Agarda tokni haroratga bog'liq ifodasidan foydalansak [16], unda kuchlanish uchun quyidagi ifodaga ega bo'lamiz:

$$U = \frac{ckT}{q} \cdot \ln \left(\frac{j}{j_s \cdot \left(\frac{T}{T_0} \right)^3 e^{\left(\frac{E_g q}{ckT_0} \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) \right)}} + 1 \right) + \frac{R_x JB}{l} + jR_b \quad (5)$$

(5) ifodada biz to'yinish tokining ham haroratga bog'liqligini e'tiborga olganmiz. Unga kerakli qiymatlarni qo'yib, kuchlanishni turli magnit maydonlar uchun

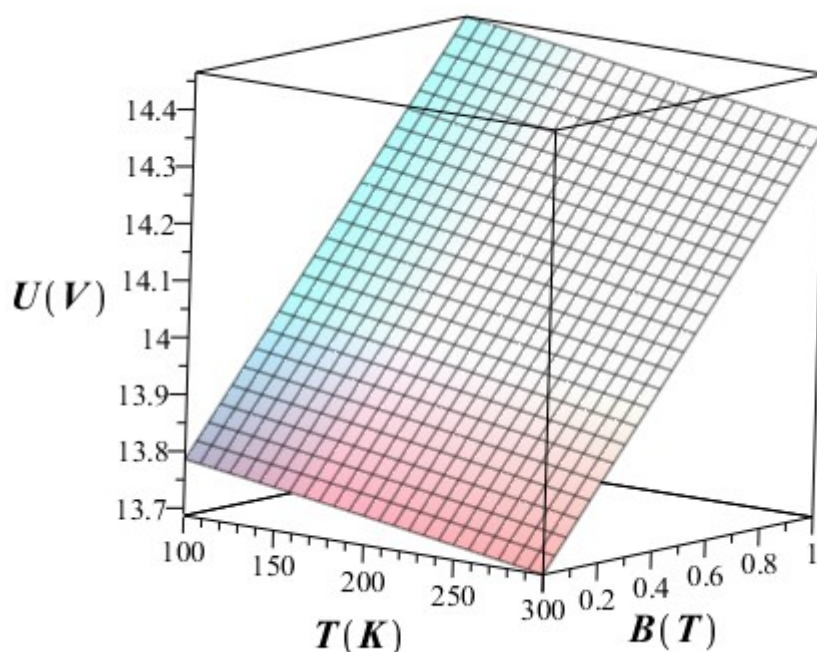


1-rasm. Magnit maydondagi p-n o'tishli diodning kuchlanishiga temperaturaning ta'siri

temperaturaga bog'liqlik grafiklarini 1-rasmdagi grafikni olamiz. 1-rasmdan ko'rish mumkinki magnit maydon ortganda va temperatura pasayganda kuchlanish ortib boradi. Buni 2-rasmda uch o'lchamli grafikda ham ko'rish mumkin. Bu Xoll kuchlanishi borligidan darak beradi. Chunki Xoll doimiysini zaryad tashuvchilar harakatchanligiga bog'liq:

$$R_x = \frac{A}{q} \frac{\mu_p p - \mu_n n}{(\mu_p p + \mu_n n)^2} \quad (6)$$

Bu yerda A- zaryad tashuvchilarni kristall panjarada solchilish mexanizmi bilan



2-rasm. p-n o'tish kuchlanishini magnit maydon va temperaturaga bog'liqligi

bog'liq bo'lgan kattalik, μ_n, μ_p -elektronlarning va kovaklarning harakatchanligi, n va p -elektron va kovaklarning konsentratsiyasi. Magnit maydon esa zaryad tashuvchilarning harakatchanligini o'zgartiradi [17]. Temperaturaning o'zgarishi ham harakatchanlikni o'zgartiradi. Chunki erkin yugurish vaqti τ issiqlik harakatining o'zgarishi natijasida o'zgaradi

$$\mu = \frac{q}{m} \tau \quad (7)$$

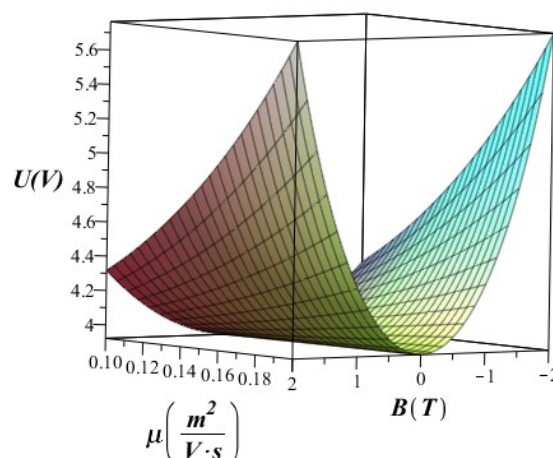
τ - erkin yugurish vaqti. Temperaturaning o'zgarishi τ ni o'zgartiradi va u esa xaraktchanlikni o'zgartiradi. Shunga asosan temperatura o'zgarganda biz Xoll koiffitsientini o'zgartirishimiz mumkin. Xoll koiffitsientini temperaturaga bog'lagan xolda o'zgarishi bizning nazariyani tajribaga yanada yaqinlashtiradi.

Demak magnit maydoni p-n o'tishda kuchlanishni, potensial to'siq balandligini, qarshilikni va Xoll koiffitsiyentini o'zgarishiga sabab bo'ladi. Bu esa tajribadagi p-n o'tish VAXidagi magnit maydon ta'sirini to'la nazariy tushuntirishga imkon beradi. Noideallik koiffitsiyentining quyidagi ifodasidan foydalanamiz:

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

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

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



3-rasm. Turli xarakatchanlikdagi p-n o'tsih VTxi

$$L = L_0(1 - (\mu B)^2) \quad (8)$$

Shularni inobatga oladigan bo'lsak noideallik koiffitsienti quyidagicha bo'ladi

$$c \approx e^{\frac{d}{L_0(1-(\mu B)^2)}} \quad (9)$$

(9) ifodadan foydalanib, soddalashtirib, kuchlanish uchun quyidagi ifodani yozamiz:

$$U = e^{\frac{d}{L_0(1-(\mu B)^2)}} \frac{kT}{q} \cdot \ln \left(\frac{j}{j_s} + 1 \right) \quad (10)$$

Bu ifodani magnit maydondagi p-n o'tish kuchlanishga magnit maydonning ta'sirini zaryad tashuvchilar harakatchanligi orqali o'zgarishini tekshirib ko'rish uchun soddaroq ko'rinishda oldik. Bundan bilishimiz mumkinki magnit maydoni zaryad tashuvchilar harakatchanligiga ham o'z ta'sirini o'tkazadi (3-rasm). Bu o'z navbatida Xoll doimiysini o'zgartiradi. Bu esa Xoll kuchlanishining ham o'zgarishiga olib keladi. Albatta ham zaryad tashuvchilar harakatchanligini, ham Xoll doimiysini magnit maydonga mos ravishda o'zgartirib borsak, tajriba natijalariga yaqinlashamiz. Bu esa bizning xulosalarni to'g'ri ekanligini isbotlovchi omildir.

XULOSA

Demak, temperaturaning pasayishi qarshilikni orttirish bilan bir qatorda, zaryad tashuvchilar harakatchanligiga ta'sir qilib, bu orqali Xoll koeffitsiyentini va Xoll kuchlanishini oshishiga sabab bo'ladi. Temperaturadagi kuchlanishning ortish effekti asosan zaryad tashuvchilarning harakatchanligi orqali Xoll koeffitsiyentining o'zgarishi bilan tushuntiramiz. (4) va (5) ifodalarga asoslanib temperaturaning pasayishi zaryad tashuvchilar harakatchanligini va Xoll koeffitsiyentini o'zgartirib, Xoll kuchlanishini ortishiga olib keladi deb xulosa qilishimiz mumkin. Qarshilik kuchlanish bilan to'g'ri bog'langanligini bilamiz. Yuqoridagi fikrlar esa VAX da magnit maydon ta'sirida biz ko'rgan effektlarni nazariy tushuntirish imkonini beradi.

ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Tuan T., Kuo D., Li Ch., Li G. Effect of Temperature Dependence on Electrical Characterization of *p-n* GaN Diode Fabricated by RF Magnetron Sputtering// [Materials Sciences and Applications](#) (2015) 6 (9) pp. 809–817.
2. Ding D., Dai X., Wang Ch., Diao D. Temperatura dependent crossover between positive and negative magnetoresistance in graphene nanocrystallines embedded carbon film // *Carbon* (2020) Vol. 163 pp. 19-25.
3. Wan C., Zhang X., Gao X., Wang J., Tan X., Geometrical enhancement of low-field magnetoresistance in silicon // *Nature*, (2011), **477**, pp. 304-307.
4. Wang T., Yang D., Si M., Wang F., Zhou Sh., Xue D. Magnetoresistance Amplification Effect in Silicon Transistor Device // *Adv. Electron. Mater.* (2016), 160017. pp. 1-5
5. Delmo M., Kasai S., Kobayashi1, Ono T. Space-charge-effect-induced large magnetoresistance in Silicon // *Journal of Physics: Conference Series* (2009). Vol. 193 012001 pp.1-4.
6. G. Gulyamov, G. Majidova, F. Muxitdinova, "Influence of a magnetic field on the characteristics of a p-n junction diode" G. Majidova, F. Muxitdinova, "Influence of a magnetic field on the characteristics of a p-n junction diode" *Journal of Applied Science and Engineering*, (2023) 27, 1, Pp. 1911-1917
7. Gulyamov, G., Dadamirzaev, G., Dadamirzayev, M., & Kosimova, M. The influence of the microwave field on the characteristics of the pn junction. *Euroasian Journal of Semiconductors Science and Engineering*, (2020). 2(4), 7.
8. Gulyamov, G., Dadamirzaev, M. G., Kosimova, M., & Uktamova, M.. Thermophotoemf of hot charge carriers at pn-junctions under exposure to a microwave field and light. *Scientific-technical journal*, (2020) 3(5), 66-70.
9. Wang T., Si M., Yang D., Shi Z., Wang F., Yang Z., Zhou Sh., Xue D. Angular dependence of the magnetoresistance effect in a silicon based p–n junction device // *Nanoscale*. 2014. Vol. 6, pp. 3978-3983.
10. Xu J., Ma M., Sultanov M., Xiao Z. Negative longitudinal magnetoresistance in gallium arsenide quantum wells // *Nature Communications*. 2019. Vol. 10. 287 pp. 1-7.
11. Delmo M., Shikoh E., Shinjo T., Shiraishi M. Bipolar-driven large linear magnetoresistance in silicon at low magnetic fields // *Physical Review B* 2013. Vol. 87, 245301 pp. 1-4.
12. Cao Y., Yang D., Si M., Shi H., Xue D. Model for large magnetoresistance effect in p–n junctions // *Appl. Phys. Express* 2018 Vol. 11 061304 pp. 1-8.
13. Yang D., Wang T., Sui W., Si M., Guo D., Shi Z., Wang F., Xue D. Temperatura-Dependent Asymmetry of Anisotropic Magnetoresistance in Silicon *p-n* Junctions // *Scientific Reports*. 2015. Vol. 5, 11096 pp. 1-7.
14. Liu Y., Wang H., Jin X., Zhang M. The space charge limited current and huge linear magnetoresistance in silicon // *Scientific Reports* 2018. Vol. 8 775 pp. 1-6
15. Шалимова К. В., Физика полупроводников //М.Энергоатомиздат, 1985, с. 113.
16. BB, S., GN, M., & FR, M. (2021). Effect of ultrahigh frequency fields on the photoelectric characteristics of pn conducting semiconductor diodes. *Euroasian Journal of Semiconductors Science and Engineering*, 3(2), 29-34.