

# MAGNITODIODLARNING VOLT-AMPER XARAKTERISTIKASIGA MAGNIT MAYDONNING TA'SIRI

G. Gulyamov, K.B. Umarov, A.Z. Soliyev

Namangan muhandislik-qurilish instituti, 160103, Namangan, O'zbekiston  
[szalisher2002@gmail.com](mailto:szalisher2002@gmail.com)

**Annotatsiya:** Yarimo'tkazgichli magnitodiodning volt-amper xarakteristikasiga (VAX) va VAX noideallik koeffitsentiga doimiy magnit maydonning ta'siri hamda kuchlanishning o'zgarmas qiymatlari uchun magnit maydon induksiya vektorini tok kuchiga bog'iqligi o'rganilgan. Magnitodiodda injeksiya natijasida muvozanatda bo'lmagan zaryad tashuvchilar hosil bo'lishi potensial to'siq balandligining ortishiga hamda zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi kamayishiga olib keladi. Bu esa dioddan o'tayotgan tokni kamaytiradi, ya'ni baza qarshiligini orttiradi.

**Kalit so'zlar:** Magnitodiod, volt-amper xarakteristikasi, noideallik koeffitsenti, injeksiya, maydon induksiya vektori, potensial to'siq balandligi, baza qarshiligi.

## ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ВОЛЬТ-АМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАГНИТОДИОДОВ

Г. Гулямов, К.Б. Умаров, А.З. Солиев

Наманганский инженерно-строительный институт, 160103, Наманган,  
Узбекистан

**Аннотация:** Исследовано влияние постоянного магнитного поля на вольт-амперную характеристику (ВАХ) и коэффициент неидеальности полупроводникового магнитодиода, а также зависимость вектора индукции магнитного поля от тока при постоянных значениях напряжения. В результате инжекции образование неравновесных носителей заряда приводит к увеличению высоты потенциального барьера и уменьшению концентрации носителей заряда. А также уменьшает ток и увеличивает сопротивление базы.

**Ключевые слова:** Магнитодиод, вольт-амперная характеристика, коэффициент неидеальности, инжекция, вектор индукции поля, высота потенциального барьера, базовое сопротивление.

## INFLUENCE OF THE MAGNETIC FIELD ON THE VOLT-AMPERE CHARACTERISTICS OF MAGNETODIODES

G. Gulyamov, K.B. Umarov, A.Z. Soliyev

Namangan Engineering-Construction Institute, 160103, Namangan, Uzbekistan

**Abstract:** The influence of a constant magnetic field on the current-voltage characteristic (CVC) and the non-ideal coefficient of a semiconductor magnetodiode, as well as the dependence of the magnetic field induction vector on

the current at constant voltage values, has been studied. As a result of injection, the formation of nonequilibrium charge carriers leads to an increase in the height of the potential barrier and a decrease in the concentration of charge carriers. It also reduces the current and increases the base resistance.

**Keywords:** Magnetodiode, current-voltage characteristic, non-ideal coefficient, injection, field induction vector, potential barrier height, base resistance.

## 1. Kirish qismi.

Magnitoelektronika qattiq jismli elektronikaning yangi ilmiy-texnik yo'nalishi bo'lib, u magnit maydon ta'siri bilan bog'liq bo'lgan yarimo'tkazgichli tuzilmalardagi hodisalardan foydalanishga asoslangan. Magnitoelektronikaning jadal rivojlanishi galvanomagnit qurilmalarning kichik mexanik deformatsiyalarni elektr signallariga kontaktsiz aylantirish, magnit maydon induksiyasining kattaligi va yo'nalishini aniqlash, elektr toklarini kontaktsiz o'lchash kabi afzalliklari bilan belgilanadi.

Magnitodiod p-n o'tishli yarimo'tkazgichli qurilma bo'lib, p-n o'tish orasida o'tkazuvchanligi hususiy o'tkazuvchanlikka yaqin bo'lgan yuqori omli yarimo'tkazgich joylashgan hamda baza kengligi  $d$  zaryad tashuvchilarning diffuziya uzunligi  $L$  dan bir necha marta katta ( $d/L \gg 1$ ) bo'ladi. Magnitodiodlarda p-n o'tishining qarshiligi magnit maydon ta'sirida keskin oshadi. Bunga sabab magnit maydoni ta'sirida zaryad tashuvchilar harakatining sezilarli kamayishi va ular diffuzion uzunligining qisqarishidir. Magnitodiodlarning texnik xarakteristikalari magnitorezistorlarnikiga o'xshash bo'ladi. Magnitorezistorlar va magnitodiodlar avtomatik qurilmalarda elektr va magnit kattaliklarni o'zgartirish uchun qo'llaniladi.

Yarimo'tkazgichli p-n o'tishli diodlarning tashqi ta'sirlarga sezgirligini [6-13] ishlarda o'rganilgan. Bu ishlarda tashqi ta'sirlar temperatura, mikroto'lqinlar va yorug'liklar diodning VAX ni ideallikdan chetlanishi ko'rilgan.

[1,2] ishlar mualliflari doimiy magnit maydonning yarimo'tkazgichli gomoo'tishli diodning volt-amper xarakteristikasiga (VAX) ta'siri o'rganilgan. Unda, dioddan o'tayotgan tokka perpendikulyar yo'nalgan doimiy magnit maydoni diodning to'g'ri va teskari toklarini kamayishiga olib kelishi ko'rsatilgan. Tokning

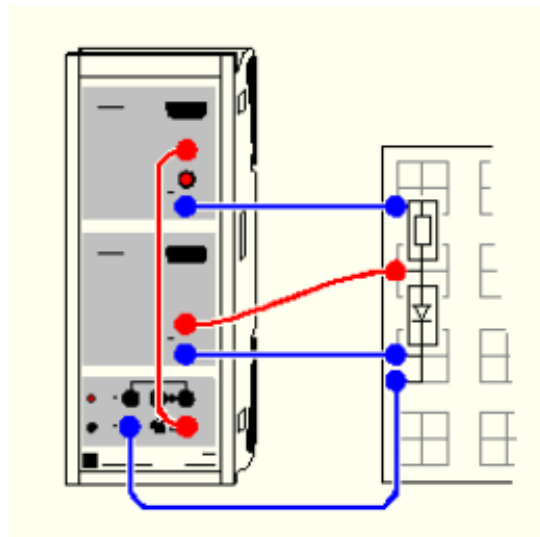
kamayishini magnit maydoni ta'sirida asosiy zaryad tashuvchilar harakatchanlikning kamayishi va noasosiy zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi o'zgarishi hisobiga magnitoqarshilikning paydo bo'lishi orqali tushuntirilgan [14-18]. [3] ishda, diodlarda muvozanatda bo'lmagan zaryad tashuvchilar konsentratsiyasining pasayishi tufayli potentsial to'siq baladligini o'sishi natijasida tokning pasayishi ko'rsatilgan.

Doimiy magnit maydonning VAX noideallik koeffitsientiga hamda kuchlanishga ta'siri o'rganilgan [19-22]. Bunda, magnit maydon ta'sirida kuchlanishning ortishini Xoll kuchlanishi va noideallik koeffitsientini diffuziya uzunligi orqali tushuntirilgan.

Ushbu ishda, yarimo'tkazgichli magnitodiodning volt-amper xarakteristikasiga (VAX) va VAX noideallik koeffitsientiga doimiy magnit maydonning ta'siri hamda kuchlanishning o'zgarish qiymatlari uchun magnit maydon induksiya vektorini tok kuchiga bog'liqligi o'rganish vazifa qilib olingan.

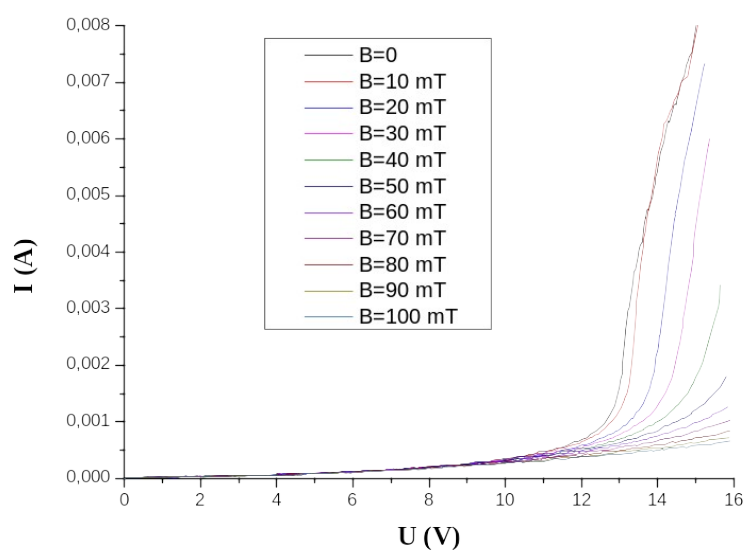
## **2. Tajribani o'tkazilishi.**

Diodlarning volt-amper xarakteristikasini o'lchash elektr zanjiri 1-rasmdagi CASSY Lab 2 qurilmasida keltirilgan. Ushbu zanjirni yig'ib, CASSY Lab 2 qurilmasini kompyuterga ulanadi. Kompyuterga o'rnatilgan CASSY Lab 2 dasturi yordamida magnitodiodlarning turli magnit maydonlar uchun volt-amper xarakteristikalari o'lchandi. Bunda, magnit maydon induksiya vektori magnitodiodning tok o'tkazish yo'nalishiga perpendikulyar yo'lashida yo'nalgan. Dastlab tashqi magnit maydon berilmagan holda magnitodiodga kuchlanishni 0 V dan boshlab 15 V gacha bo'lgan qiymatlar berildi. Bu kuchlanishni bir xil vaqt intervalida bir xil orttirishni ta'minlab borildi. Mos kuchlanish uchun tok kuchini qiymatini kompyuterdagi CASSY Lab 2 dasturi avtomatik tarzda qayd etib bordi. Olingan natijalar "Origin" dasturida qayd etib borildi.



1-rasm. CASSY Lab 2 qurilmasida diodlarning volt-ampere xarakteristikasini o'lchashning sxematik ko'rinishi

Keyingi bosqichda tashqi magnit maydon induksiya vektorining  $0 \div 100$  mT qiymatlari uchun natijalar olindi. Olingan natijalar 2-rasmda keltirilgan.

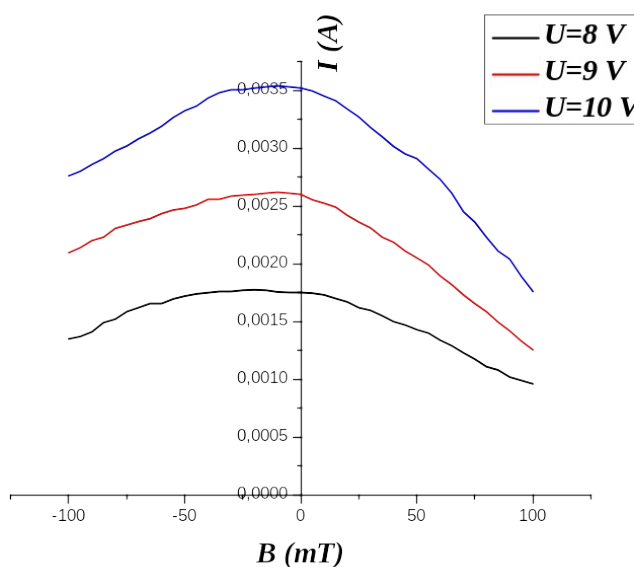


2-rasm. Magnitodiodlarning volt-ampere xarakteristikasiga magnit maydonning ta'siri.

2-rasmdan ko'rinadiki, magnitodiodlarning volt-ampere xarakteristikasi magnit maydon induksiya vektorining ortishi natijasida bir xil qiymatli kuchlanishlar uchun tok kuchining kamayishi tajribalarda kuzatildi. CASSY Lab 2 orqali olingan natijalarda tashqi magnit maydon yo'q va tashqi magnit maydon induksiya vektorining 10 mT qiymatlarida volt-ampere xarakteristikalar orasidagi farq sezilarli darajada kuzatilmadi. Bu ayniqsa 13 – 15 volt kuchlanishlar orasida yaqqol sezildi. Tashqi magnit maydon induksiya vektorining keying 10 – 100 mT

qiymatlarida magnitodiodning volt-ampere xarakteristikasiga sezilarli ta'sir etishi namoyon bo'lib bordi. Ya'ni magnit maydon induksiya vektorini ortishi bilan tok kuchini kamayishi kuzatildi.

Kuchlanishning o'zgarmas qiymatlari uchun magnit maydon induksiya vektorini tok kuchiga bog'liqligi 3-rasmda keltirilgan. Buning uchun CASSYLab 2 qurilmasi yordamida kuchlanishni o'zgarmas qiymati tanlab olinib, tashqi magnit maydon induksiya vektorining  $-100 \div 100$  mT gacha bo'lgan qiymatlari uchun tok kuchini qiymatlarini "Origin" dasturiga qayd etib borildi.



3-rasm. Kuchlanishni o'zgarmas qiymatlari uchun tok kuchini magnit maydon induksiya vektoriga bog'liqligi

Bunda magnit maydon induksiya vektori magnitodiodning tok o'tkazish yo'nalishiga perpendikulyar yo'lashida yo'nalgan. Yuqoridagi tartibda kuchlanishning turli qiymatlarini o'zgarmas qilib tanlab olib, magnit maydon induksiya vektorini  $-100 \div 100$  mT gacha o'zgartirib, tok kuchining qiymatlarini qayd etildi. Tajribalarning ko'rsatishicha kuchlanishning o'zgarmas qiymatlari uchun magnit maydon induksiya vektorining ortishi bilan tok kuchini kamayishi kuzatildi.

### 3. Olingan natijalarni izohlash.

To'g'ri o'tishda magnitodiodning o'tkazuvchanligi bazada nomuvozanatdagi zaryad tashuvchilarning injeksiyalanishi bilan aniqlanadi. Baza qarshiligi nomuvozanatdagi zaryad tashuvchilarning diffuziya uzunligiga bog'liq.

Bazada nomuvozanatdagi zaryad tashuvchilarning kamayishi baza qarshiligining ortishiga olib keladi. Bu esa o'z navbatida bazada kuchlanish tushishini ortishiga va  $p-n$  o'tish sohasida kamayishiga olib keladi. Kuchlanish tushishi asosan baza kuchlanishi  $U_b$  bilan magnit maydoni ta'siri hisobida hosil bo'lgan  $U_B$  kuchlanishdan (Xoll kuchlanishi) iborat bo'ladi, ya'ni

$$\varphi = \varphi_0 + U_b + U_B \quad (1)$$

Ko'pgina tajribalarda madnit maydon ortishi bilan baza qarshiligi va kuchlanishini katta qiymatlarga erishishini nomuvozanatdagi zaryad tashuvchilarning diffuziya uzunligi bog'liqligi orqali tushuntirilgan. Nomuvozanatdagi zaryad tashuvchilarning diffuziya uzunligi kamayishi bazadagi o'tkazuvchanlikni kamaytiradi. Nomuvozanatdagi zaryad tashuvchilarning diffuziya uzunligi madnit maydon induktsiyasiga quyidagicha bog'lanishda bo'ladi:

$$\frac{\Delta L}{L_0} = \mu^2 B^2 \quad (2)$$

U holda baza qarshiligi uchun

$$\frac{\Delta \rho}{\rho_0} = \mu^2 B^2 \quad (3)$$

hosil qilamiz. Baza kuchlanishi

$$U_b = \Delta \rho j \quad (4)$$

[4] ishda kuchlanish tushishining ortishini magnit maydoni ortishi bilan Xoll potentsiali hosil bo'lishi orqali tushuntirilgan. Demak, magnitodiodlarning potensial to'siq balandligini Xoll potentsiallar farqi kamaytirishining natijasi deb aytishimiz mumkin. Xoll kuchlanishi

$$U_B = \frac{RjB}{d} \quad (5)$$

Bu erda  $R$  - Xoll doimiysi deb ataladi.

Xoll potentsiallar farqi magnit maydon induksiya vektoriga to'g'ri proporsional. Magnit maydonning ortishi Xoll potentsiallar farqini oshishiga olib keladi. Xoll potentsiallar farqi esa magnitodiodlarning VAX ini o'zgartiradi.

Bizga ma'lumki,  $p-n$  o'tishli diodning VAXi Shokli ifodasiga ko'ra quyidagicha aniqlanadi [5]:

$$j = j_s \left[ \exp \frac{e\varphi}{mkT} - 1 \right] \quad (6)$$

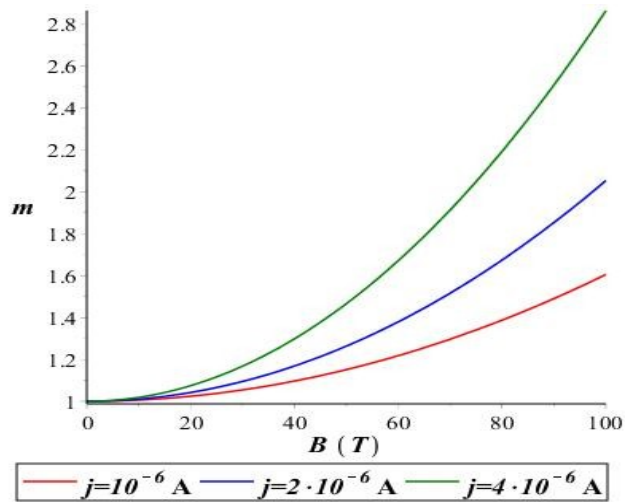
(4) va (5) ifodalarni (1) qo'ysak, quyidagini hosil qilamiz:

$$\varphi = \varphi_0 + \Delta \rho j + \frac{RjB}{d} \quad (7)$$

Ideal VAX ifodasidan  $\varphi_0$  ni, (6) dan  $\varphi$  ni topib va (7) ga qo'ysak, VAX noideallik koefitsenti uchun quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$m = 1 + \frac{ejB^2}{dkT} \frac{\rho_0 d \mu^2 + \frac{R}{B}}{\ln \left( \frac{j}{j_s} + 1 \right)} \quad (8)$$

Quyida noideallik koefitsiyentini magnit maydon induksiyasiga bog'liqligi keltirilgan (4-rasm).



4-rasm. Noideallik koefitsiyentini magnit maydon induksiyasiga bog'liqligi.

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}, d = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}, k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}, T = 300 \text{ K},$$

$$j_s = 1 \cdot 10^{-8} \text{ A/m}^2, \mu = 0,085 \frac{\text{sm}^2}{\text{V} \cdot \text{s}}, j = 1 \cdot 10^{-6} \div 4 \cdot 10^{-6}, \rho_0 = 1000.$$

Xoll doimiysi magnit maydon induksiyasidan bir necha marta kichik bo'lganligi sababli (8) ni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$m = 1 + \frac{ejB^2}{kT} \frac{\rho_0 \mu^2}{\ln \left( \frac{j}{j_s} + 1 \right)} \quad (9)$$

Magnit maydoni ta'sir etilmasa ( $B=0$ ), VAX noideallik koefitsenti  $m=1$  teng bo'ladi.

#### 4. Xulosa.

Demak, magnitodiodning o'tkazuvchanligi bazada nomuvozanatdagi zaryad tashuvchilarning injeksiyalanishi bilan aniqlanadi. Baza qarshiligi nomuvozanatdagi zaryad tashuvchilarning diffuziya uzunligiga bog'liq. Magnitodiodda injeksiya natijasida muvozanatda bo'lmagan zaryad tashuvchilar hosil bo'lishi potensial to'siq balandligining ortishiga hamda zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi kamayishiga olib keladi. Bu esa dioddan o'tayotgan tokni kamaytiradi, ya'ni baza qarshiligini orttiradi.

### **Foydalanilgan adabiyotlar**

- [1] Ансельм А. И. Введение в теорию полупроводников. М., 1978. 616 с.
- [2] Дрейзин Ю. А., Дыхне А. М. Аномальная проводимость неоднородных сред в сильном магнитном поле. ЖЭТФ, 1972, т. 63, в. 1, с. 242—260.
- [3] Альперович В. Л., Мищенко С. П., Терехов А. С. Механизмы влияния магнитного поля на баллистические фототоки. — ФТТ, 1983, т. 25, в. 9, с. 2780—2782.
- [4] Mandic I., Ravotti F., Glaser M., Sersa I., Hartert J., Franz S., Cindro V., Dolenc I., Gorisek A., Kramberger G., and Mikuz M., IEEE Trans. Nucl. Sci. 58, 1112 (2011).
- [5] G. E. Pikus, Principles of the Theory of Semiconductor De-321 vices (Nauka, Moscow, 1965).
- [6] Gulyamov, G., and K. B. Umarov. Semiconductors 29.1 (1995): 17-19.
- [7] Гулямов, Г., and Умаров К. Б. Физика и техника полупроводников 29.1 (1995): 33-38.
- [8] Gulyamov G., Umarov K.B., Soliyev A.Z., Rom. J. Phys. 68, 613 (2023)
- [9] Gulyamov, G., and Umarov K. B. Semiconductors 28.4 (1994): 409-411.
- [10] Gulyamov G. and Gulyamov A. G. Semiconductors 49, 819 (2015).
- [11] Shamirzaev S. H., Gulyamov G., Dadamirzaev M. G., and Gulyamov A. G., Semiconductors 45, 1035 (2011).
- [12] Gulyamov G., Gulyamov A. G., and Erkaboev U. I., Appl. Sol.Energy 54, 338 (2018).
- [13] S. H. Shamirzaev, G. Gulyamov, M. G. Dadamirzaev, and A. G.Gulyamov, Semiconductors 43, 47 (2009).
- [14] G. Gulyamov, U. Erkaboev, N. Y. Sharibaev, A. G. Gulyamov, Fiz. Tekh. Poluprovodn 53, 396 (2019).
- [15] G. Gulyamov, G. N. Majiodova, F. R. Mukhitdinova, A. X. Suvanov, J. Optoelectron. Laser 41, 451 (2022).
- [16] G. A. Egiazaryan and V. I. Stafeev, Magnetodiodes, Magneto-306 transistors and their Application (Radio and Communication, Moscow, 1987)
- [17] Z. Luo and X. Zhang, AIP Adv. 7, 055920 (2017).
- [18] L. Botsch, I. Lorite, Y. Kumar, P. Esquinazi, T. Michalsky, J.Zajadacz, K. Zimmer, arXiv preprint arXiv:1705.08124 (2017).



- [19] I. Mandic, F. Ravotti, M. Glaser, I. Sersa, J. Hartert, S. Franz, V. Cindro, I. Dolenc, A. Gorisek, G. Kramberger, and M. Mikuz, IEEE Trans. Nucl. Sci. 58, 1112 (2011).
- [20] T. Wang, M. Si, D. Yang, Z. Shi, F. Wang, Z. Yang, S. Zhou, and D. Xue, Nanoscale 6, 3978 (2014).
- [21] L. H. Wu, X. Zhang, J. Vanacken, N. Schildermans, C. H. Wan, and V. V. Moshchalkov, Appl. Phys. Lett. 98, 112113 (2011).
- [22] J. Panda, P. Banerjee, and T. K. Nath, J. Phys. D 47, 415103 (2014).