

вазифасини бажаради. Хусусий ҳолда элементар микрофотоэлементлар микрогетерофотоэлемент ёки ўта катта қаршиликка эга бўлган чегаравий оралик қатлам билан ажратилган яримўтказгич диэлектрик яримўтказгич (ЯДЯ) уланишлар тизимидан иборат ҳам бўлиши мумкин. Бундай ҳолда ЯДЯ элементдаги диэлектрик электронлар (тешиклар) учун потенциал тўсик вазифасини ҳам ўтайди. Халькогедин яримўтказгич юпка пардаларида бундай микрогетеро ўтишлар ёки ЯДЯ элементларнинг СМС тизимлари кенг тарқалган [4].

Бундай СМС тизимлар учун [5,6]да баён қилинган модел ва эквивалент схема ўринли бўлиб, унга асосан халькогенид биржинсли эмас юпка пардаларидан тайёрланган АФН-элементлар учун вольт-ампер боғланишнинг қуйидаги кўриниши ўринли бўлади:

$$V = (I_1 - I_2)R + N \frac{kT}{2q} \left[ \ln \left( \frac{I_1}{I_s} + 1 \right) - \ln \left( \frac{I_2}{I_s} + 1 \right) \right]$$

бу ерда  $V$ -ташқи кучланиш манбасидан системага берилган кучланиш,  $I_1$  ва  $I_2$  лар мос равишда  $n$ - $p$  ва  $p$ - $n$  ўтишларнинг тоқлари,  $I_s$ -ўтишларнинг тўйиниш тоқи,  $N$ -элементар фотоэлемент ёки  $p$ - $n$  ўтишлар сони,  $R$ -ўтишларнинг қаршилиги. Оддий шароитда яримўтказгичда  $1 \text{ см}^2$  да  $10^{22}$ - $10^{23}$  дона атом бўлса, унинг  $10^{12}$ - $10^{13}$  донаси ёт аралашма атоми бўлади. Демак, яримўтказгич айнамаган ҳолатда бўлади.

Унинг электирон тақсимооти Максвелл-Больцман қонуниятига мувофиқ булиб, концентрация ( $n$ ) ҳароратга қараб ўзгаради (Айниган ҳолатда  $n$  нинг бундай ҳароратга боғлиқлиги ўта кучсиз болади) [3]. Электронлар концентрациясининг температура ортиши билан кескин ўсиши эркин электронларни ортиради ва СМС тизимнинг қаршилигини камайишига ва унга мос АФН структуранинг бузилишига сабаб болиб, аномал фото кучланишнинг кескин камайишига олиб келади (маълум ҳароратда фото кучланиш умуман йўқолади) [3]. Бу ҳолат СМС тизимдаги ёт аралашма атомларининг нотекис тақсимооти таъсир этиб, фотокучланишларнинг қушилиш жараёнидаги интеграцияни қусизлартиради [2].

#### Фойдаланилган адабиётлар

1. Физика тонких пленок, пед. ред. Г.Хасса и Р.Э.Туна, Т.5, изд. "Мир" Москва 1972.
2. Р.Найманбаев и др. Uzbek Journal of Physcs, 2012. Vol.\14 (№ 5-6) P.P.311-315
3. Фотоэлектрические явление в полупроводниках и оптоэлектроника, под. Ред. Академика Э.И.Адиловича, Ташкент, ФАН, 1972. С. 143-229.

### **$\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ASOSIDA OLINGAN TERMOELEKTRIK ELEMENTLARNING ELEKTROFIZIK PARAMETRLARI**

**M.Z. Xayitoxunova D.I.A'zamova, T.M.Azimov**  
**Farg'ona davlat universiteti**

**Annotasiya:** Ushbu maqolada  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  murakkab zona tuzilmasiga ega bo'lgan moddalar uchun Xoll effekti, Xoll koeffitsiyenti, elektr o'tkazuvchanligi va harakatchanlikni to'g'ridan-to'g'ri hisoblash usullari bilan tanishish. Magnit maydonidagi solishtirma qarshilikning o'zgarishi harakatchanlik, magnit maydoni (kuchlanganlik) va zaryad tashuvchilarning degeneratsiya darajasining funksiyasi o'rganilgan.

**Kalit so'zlar:** Xol koeffitsienti, degeneratsiya, valent zonasi, akustik tebranish, hususiy o'tkazuvchanlik, eksponensial.

Ma'lumki, o'tkazuvchanlik jarayonida elektronlarning ishtirokining namoyon bo'lishi temroEYUK ortishining sekinlashishiga, keyin esa to'yinishga va temperatura yanada ortishi bilan

uning qiymatining pasayishiga olib keladi. TermoEYUK qiymatining pasayishiga yana tadqiqot temperaturasining hususiy o'tkazuvchanlik sohasiga yaqinlashishi ham sezirli ta'sir ko'rsatadi, bu esa temroEYUK qiymatining eksponensial pasayishiga olib keladi.  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  murakkab zona tuzilmasiga ega bo'lgan moddalar uchun Xoll koeffitsiyenti sferik zonalar tahminida va kovaklarning bir xil sochilish mexanizmidagi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi

$$R = \frac{A}{peC_0} \frac{p_1\mu_1^2 + p_2\mu_2^2}{p_1\mu_1 + p_2\mu_2} \quad (1)$$

bu yerda  $A$  – kovaklarning sochilish mexanizmini aniqlovchi koeffitsiyent,  $p_1\mu_1$  va  $p_2\mu_2$  mos ravishda zona ostilardagi zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi va harakatchanligi.

Past temperatura sohalarida ( $T < 100 \text{ K}$ ) zona ostilardagi kovaklarning natijaviy konsentratsiyasini  $p = p_1 + p_2$  deb hisoblash mumkin, u holda

$$R = R_0 \frac{(1+p_2/p_1)[1+(p_2/p_1)b^2]}{[1+(p_2/p_1)b]^2} \quad (2)$$

$$\text{bu yerda } R_0 = \frac{A}{p_2 e C_0} \approx \frac{A}{p_2 e C_0}, \quad b = \frac{\mu_2}{\mu_1}.$$

Yetarli darajadagi ishonch bilan biz “b”ning temperaturaga kuchsiz bog'liqligini taxmin qilishimiz mumkin va bunda

$$R \approx R_0 (p_1/p_2) \quad (3)$$

ikkinchi zona ostida kovaklarning ortishi va birinчисida kamayishi natijasida temperaturaning ortishi  $R_x$  ning ham ortishiga olib keladi.

Zona ostilarning elektr o'tkazuvchanliklari teng bo'lganda  $\sigma_1, \sigma_2$  Xoll koeffitsiyenti maksimal qiymatiga yetadi va bunda

$$R_{max} = R_0 \frac{(1+b)^2}{4b^2} \quad (4)$$

Maksimal qiymatiga yetgach,  $R_x$  kattalik boshqa kinetik koeffitsiyentlar kabi asosan ikkinchi zona osti zaryad tashuvchilari yordamida aniqlanadi va ularning konsentratsiyasining ortishi

$R_x = \frac{A}{peC}$  ifodaga mos ravishda  $R_x$  qiymatining kamayishiga olib keladi.

Zaryad tashuvchilarning harakatchanligi uchun ikki zonali valent zona struktura modeli uchun nazariya quyidagi ifodani beradi:

$$\mu = \frac{\mu_1 p_1 + \mu_2 p_2}{p} \quad (5)$$

bu yerda  $\mu_1, \mu_2$  - mos zona ostilardagi kovaklarning harakatchanligi,  $p_1, p_2$  esa - konsentratsiya.

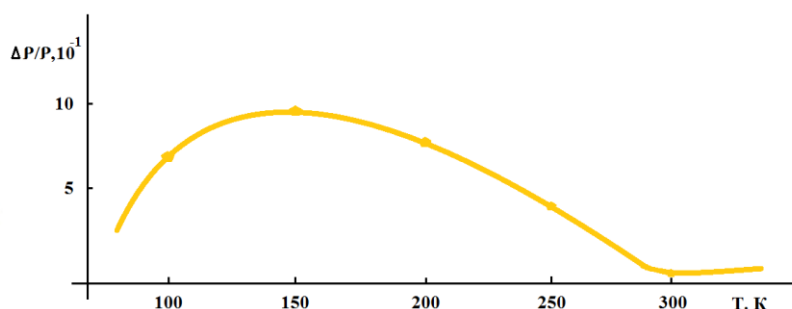
Ma'lumki, umumiy holda, zaryad tashuvchilarning harakatchanligi

$$\mu = \frac{\sqrt{\pi}}{\Gamma(r+3/2)} \frac{F_2 + 1/2(\mu^*)}{F_2 + 1/2(\mu^*)} \mu_0 \quad (6)$$

$$\mu_0 = \frac{2e}{3m^*} \tau_0 (k_0 T)^2 \left(r + \frac{3}{2}\right) \frac{\Gamma(r+3/2)}{\Gamma(3/2)} \quad (7)$$

bu yerda  $\Gamma = \int_0^\infty x^{s-1} e^{-x} dx$  - gamma-funksiya.

(7) ifodadan ko'rinib turibdi-ki, tok tashuvchilarning harakatchanligi elektron gazining degeneratsiya darajasiga, holatlar zichligining samarali massasiga, sochilish mexanizmiga va temperaturaga bog'liq.



1-rasm.  $Bi_2Te_3 + 0,04$  massa %  $Ni$  qotishma uchun magnit maydonidagi solishtirma qarshilikning o'zgarishining temperaturaga bog'liqligi.

Yuqorida keltirilgan parametrlarni aniqlamasdan turib harakatchanlikni to'g'ridan-to'g'ri hisoblash usullaridan biri magnit maydonidagi qarshilikni o'zgartirish ta'siridan foydalanishdir. O'zgarishning temperaturaga bog'liqligi 1-rasmda keltirilgan. Magnit maydonidagi solishtirma qarshilikning o'zgarishi harakatchanlik, magnit maydoni (kuchlanganlik) va zaryad tashuvchilarning degeneratsiya darajasining funksiyasi hisoblanadi:

$$\rho_{(H)} = \rho_{(0)} \left[ 1 + \left( \frac{\mu H}{c} \right)^2 A \right] \quad (8)$$

buyicha

$$A = \frac{(F_{3/2} \mu^*)^2}{F_{2+1}^4} \left[ f_{r+1}(\mu^*) f_{3r+1}(\mu^*) - f_{2r+1/2}^2(\mu^*) \right] \quad (9)$$

buyicha  $f(H) = f(0) [i + z + i]$ .

Degenerativ bo'lmagan yarimo'tkazgichlar uchun (ikkinchi zona osti uchun)

$$A = b_2 - a_2^r \quad (10)$$

buyicha

$$a_r = \frac{3\sqrt{\pi}}{4} - \frac{F_{(2r+3/2)}}{F^2(r+2)} \quad (11)$$

$$\text{va} \quad b = \frac{9}{16} \pi \frac{F_{(3r+1)}}{F^3(r+2)} \quad (12)$$

Zaryad tashuvchilarning elektron spektrining degeneratsiyasi kuchli yoki kuchsiz bo'lsa (birinchi zona osti va ikkala zona ostilarning ta'siri doirasida)

$$A = \frac{\pi^2}{3} \left( \frac{1}{\mu^*} \right)^2 \left( r - \frac{1}{2} \right) \quad (13)$$

Agar tadqiq etilayotgan tarkib uchun past temperatura sohasida zaryad tashuvchilarning tarqalishi akustik tebranishlarda sodir bo'ladi deb faraz qilsak ((11-13) ifodalarda  $Bi_2Te_3$   $r=0$  holatida), zaryad tashuvchilarning degenratsiyalanmagan holati uchun,  $B = \frac{\Gamma_+ 1}{\Gamma^3 2} - \frac{9\pi^2}{64}$ , kuchsiz va nisbatan kuchli degenyerativ holat uchun  $A = \pi^2 / 3 \frac{1}{4} \left( \frac{1}{\mu^*} \right)^2$ . Birinchi zona osti uchun magnit maydondagi qarshiligini o'lchash

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = \frac{\mu H^2}{c} \frac{\pi^2}{12} \frac{1}{\mu^{*2}} \quad (14)$$

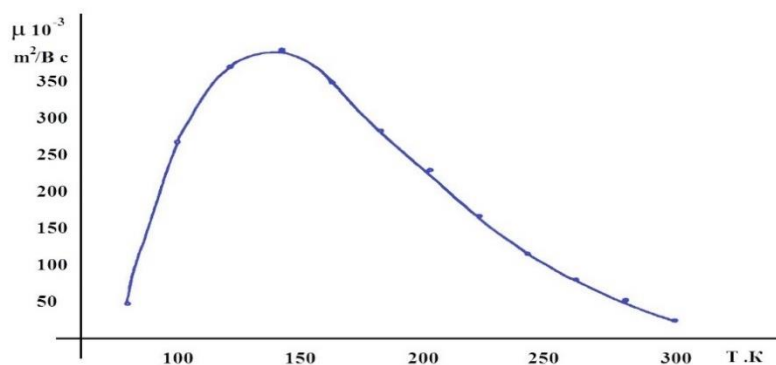
va ikkinchi zona ostining ustunlik harakati uchun

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = \frac{\mu H^2}{c} B \quad (15)$$

Shunday qilib, (15) formuladan ko‘rinib turibdiki, qarshilikning o‘zgarishi zaryad tashuvchilarning harakatchanligining temperaturaga bog‘liqligi bilan aniqlanadi. Valent zonasi tuzilishining ikki zonali modelini hisobga olgan holda,  $80 \div 150 \text{ K}$  temperatura oralig‘ida  $\frac{\Delta\rho}{\rho}$  ning ortishiga ikkita sabab mavjud. Birinchidan,  $T < \theta_D$  temperatura oralig‘ida harakatchanlikning ortishi, ikkinchidan, birinchi zonadagi zaryad tashuvchilarning konsentatsiyasining kamayishi va mos ravishda umumiy harakatchanlikning kamayishi.

$T > 150 \text{ K}$  temperatura oralig‘ida  $\frac{\Delta\rho}{\rho}$  ning kamayishi holatlari zichligining samarali massasining ortishi tufayli ikkinchi zona osti tashuvchilarning harakatchanligining pasayishi, panjaraning akustik tebranishlari bilan tarqalishi tufayli harakatchanlikning pasayishi bilan bog‘liq.

$\frac{\Delta\rho}{\rho}$  ning o‘zgarishi Xoll effekti va elektr o‘tkazuvchanligining bir vaqtning o‘zida aniqlashda hisoblangan harakatchanlik ma’lumotlari bilan tasdiqlanadi (2-rasm).



2-rasm.  $\text{Bi}_2\text{Te}_3 + 0,04$  massa %  $\text{Ni}$  qotishma uchun zaryad tashuvchilarning temperaturaga bog‘liqligi.

2-rasmdan ko‘rinib turibdiki, haqiqatdan ham  $T < 150 \text{ K}$  temperatura oralig‘ida  $(R_x \cdot \sigma)$  qiymatining ortishi kuzatiladi,  $T > 150 \text{ K}$  da yuqorida esa ular kamayadi.  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  va uning asosidagi qattiq eritmalarining bu hatti-harakati  $(R_x \cdot \sigma)$  adabiyotlarda  $r^*$  sochilish parametrining o‘zgarishi bilan izohlangan.

### Foydalanilgan adabiyotlar

1. Azimov, T., Gajnarova, K., & Onarkulov, K. (2020). Method for determining the contact resistance of thermoelements. *Euroasian Journal of Semiconductors Science and Engineering*, 2(5), 11.
2. Ma'Rifjonovich, A. T., & Egamberdiyovich, O. K. (2020). Effect of commutation solder on the operating characteristics of cooling elements based on bismuth and antimony chalcogenides. *Austrian Journal of Technical and Natural Sciences*, (1-2), 21-25.
3. Azimov, T. M., Gaynarova, K. I., Onarkulov, M. K., & Yuldashev, A. A. (2021). Thermoelectric and Galvanomagnetic Properties of the Alloy  $\text{Bi}_2\text{Te}_3 + 0.04$  Weight%  $\text{Ni}$  in the Temperature Range  $77 \div 300 \text{ K}$ . *American Journal of Modern Physics*, 10(6), 124-128.
4. Onarkulov, K., & Azimov, T. (2023). Study of diffusion processes in contact areas of thermocouples with metals. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 376, p. 01058). EDP Sciences.
5. Онаркулов, К. Э., Азимов, Т. М., & Онаркулов, М. К. (2030). ИССЛЕДОВАНИЕ ДИФФУЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ, ПРОХОДЯЩИХ В ПРИКОНТАКТНОЙ ОБЛАСТИ В ОХЛАЖДАЮЩИХ ТЕРМОЭЛЕМЕНТАХ ИЗ  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  в  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ . *Янги материаллар ва гелиотехнологиялар*, 46.