

Maxmudov Sherzod Axmadovich

O'zbekiston Respublikasi

Fanlar Akademiyasi Yadro fizikasi instituti

Qattiq jismlarda strukturaviy o'zgarishlar laboratoriyasi mudiri

Email: makhmudov@inp.uz

Omonov Bunyodjon Ulug'bek o'g'li

Farg'ona davlat universiteti tayanch doktoranti

Email: omonovbunyodjon.1994@gmail.com

UO'K 537.311.2 + 621.315.592

**VISMUT VA SURMA XALKOGENIDLARIGA ASOSLANGAN
YUPQA PARDALI YARIMO'TKAZGICH MATERIALLARDA
SOLISHTIRMA QARSHILIKNING HARORATGA BOG'LIQLIGINI
TO'RT ZOND USULI YORDAMIDA O'RGANISH**

Annotatsiya: Ushbu maqolada Vismut (Bi) va Surma (Sb) xalkogenidlari asosida yupqa pardali yarimo'tkazgich materiallarning solishtirma qarshiligining haroratga bog'liqligi eksperimental hamda nazariy jihatdan o'rganilgan. Maqolaning maqsadi – issiqlik bug'latish texnologiyasi orqali olingan yupqa pardali namunalarda harorat omili hisobga olinganda elektr xususiyatlarning qanday o'zgarishini aniq tadqiq qilishdir. Buning uchun to'rt zond usuli qo'llanilib, namunaga xos geometrik cheklanishlar (qalinlik d , uzunlik a , eni b va zondlar orasidagi masofa S) tufayli yuzaga keluvchi o'lchash xatoliklarini kamaytirish maqsadida tegishli tuzatish funksiyalari ($f(d/S)$ va $f(a/b, b/S)$) hisobga olingan.

Natijalar shuni ko'rsatdiki, yupqa pardaning solishtirma qarshiligi harorat o'zgarishiga nisbatan yetarlicha sezgir bo'lib, harorat ortishi bilan ρ qiymatining kamayishi va termik koeffitsientning $C_T \approx 2 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ ekani aniqlandi. Ushbu termoelektrik xususiyatlar Vismut–Surma xalkogenidlari asosidagi materiallarni sezgir datchiklar, termoelektr generatorlar va sovitish qurilmalari kabi ilg'or elektronika hamda optoelektronika sohalarida qo'llash imkoniyatlari mavjudligini

tasdiqlaydi. Kelgusidagi tadqiqotlarda qalinlik, tuzilish (struktura) va aralashma (legirlanish) konsentratsiyasini nazorat qilish orqali ushbu materiallarning samaradorligini oshirish istiqbolli yo‘nalishlardan biri hisoblanadi.

Kalit so‘zlar: *vismut–surma xalkogenidlari, yupqa parda, solishtirma qarshilik, haroratga bog‘liqlik, to‘rt zond usuli, issiqlik bug‘latish texnologiyasi, termoelektrik xususiyatlar, elektr xususiyatlar, sensor texnologiyalari, sovitish qurilmalari.*

Махмудов Шерзод Ахмадович

Республика Узбекистан

Институт ядерной физики Академии наук

Заведующий лабораторией структурных изменений в твердых телах

Омонов Бунёдjon, сын Улугбека

Базовый докторант Ферганского государственного университета

**ИЗУЧЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ УДЕЛЬНОГО
СОПРОТИВЛЕНИЯ ТОНКОПЛЁНОЧНЫХ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ
ХАЛЬКОГЕНИДОВ ВИСМУТА И СУРЬМЫ МЕТОДОМ ЧЕТЫРЁХ
ЗОНДОВ**

Аннотация: *В данной статье экспериментально и теоретически исследована температурная зависимость удельного сопротивления тонкоплёночных полупроводниковых материалов на основе халькогенидов Висмута (Bi) и Сурьмы (Sb). Цель работы заключается в детальном изучении изменения электрических свойств тонкоплёночных образцов, полученных методом термического испарения, с учётом температурного фактора. Для этого применялся четырёхзондовый метод с учётом соответствующих поправочных функций ($f(d/S)$ и $f(a/b, b/S)$), которые позволили минимизировать погрешности измерений, возникающие из-за*

геометрических особенностей образцов (толщина d , длина a , ширина b и расстояние между зондами S).

Результаты показали, что удельное сопротивление тонких плёнок обладает значительной температурной чувствительностью: с повышением температуры величина ρ уменьшается, а температурный коэффициент сопротивления составляет примерно $C_T \approx 2 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$. Установленные термоэлектрические свойства подтверждают перспективы применения материалов на основе халькогенидов висмута и сурьмы в таких областях передовой электроники и оптоэлектроники, как высокочувствительные датчики, термоэлектрические генераторы и охлаждающие устройства. В дальнейших исследованиях контроль толщины, структуры и концентрации примесей (легирование) рассматривается как одно из перспективных направлений для повышения эффективности указанных материалов.

Ключевые слова: халькогениды висмута и сурьмы, тонкие плёнки, удельное сопротивление, температурная зависимость, четырёхзондовый метод, технология термического испарения, термоэлектрические свойства, электрические свойства, сенсорные технологии, охлаждающие устройства.

Makhmudov Sherzod Akhmadovich

Republic of Uzbekistan

Institute of Nuclear Physics, Academy of Sciences

Head of the Laboratory of Structural Changes in Solids

Omonov Bunyodjon Ulugbek oglu

Fergana State University basic doctoral student

**INVESTIGATION OF TEMPERATURE DEPENDENCE OF
ELECTRICAL RESISTIVITY IN THIN-FILM SEMICONDUCTOR
MATERIALS BASED ON BISMUTH AND ANTIMONY
CHALCOGENIDES USING THE FOUR-PROBE METHOD**

Annotation: This article experimentally and theoretically investigates the temperature dependence of electrical resistivity in thin-film semiconductor materials based on Bismuth (Bi) and Antimony (Sb) chalcogenides. The primary objective of the research is to precisely examine how electrical properties change in thin-film samples produced via thermal evaporation, specifically accounting for the temperature factor. To achieve this, the four-probe method was employed, incorporating relevant correction functions ($f(d/S)$ and $f(a/b, b/S)$) to minimize measurement errors arising from geometric constraints of the sample (thickness d , length a , width b , and probe spacing S).

The results demonstrated significant sensitivity of thin-film resistivity to temperature variations, showing a clear decrease in resistivity (ρ) with increasing temperature, and identifying a thermal coefficient $C_T \approx 2 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$. These thermoelectric characteristics confirm the applicability of Bi–Sb chalcogenide-based materials in advanced electronics and optoelectronics fields, such as sensitive sensors, thermoelectric generators, and cooling devices. Future research directions include improving the efficiency of these materials by controlling parameters such as film thickness, structural characteristics, and doping concentration.

Key words: Bismuth–Antimony chalcogenides, thin film, resistivity, temperature dependence, four-probe method, thermal evaporation technology, thermoelectric properties, electrical properties, sensor technologies, cooling devices.

Kirish

Dunyoda vismut-surma xalkogenidlari asosidagi termoelektrik yarimo'tkazgich materiallarini ishlab chiqarish texnologiyalarini rivojlantirishga alohida e'tibor qaratilmoqda. Bunday materiallar issiqlik energiyasini elektr energiyasiga aylantiradi va qayta tiklanadigan energiya manbalari orasida istiqbolli hisoblanadi. Rivojlangan mamlakatlarda ushbu sohadagi so'nggi yutuqlarni qo'llash va ulardan samarali foydalanish, xususan, infraqizil va optik nurlanish

manbalari hamda detektorlarida, shuningdek, termoelektrik energiya aylantirgichlarda faol termoelektrik yarimo'tkazgich elementlarini yaratish borasida qiziqish sezilarli darajada oshmoqda[1].

Yupqa parda texnologiyalarining rivojlanishi, xususan, tez bug'latish, ion nurlari yordamida sputtering [2], impulsli lazer bilan o'stirish (PLD) [3], sputtering [4], elektrokimyoviy o'stirish [5], metall-organik kimyoviy bug'lar bilan o'stirish (MOCVD) [6] va molekulyar nurlanish epitaksiyasi (MBE) [7]. Elektrokimyoviy o'stirish usuli ham termoelektrik materiallarni turli morfologiyalarda, jumladan yupqa pardalar va nanoto'lqinlar shaklida o'stirishda foydali usul sifatida qo'llanilgan [8]. Biroq, ba'zi jarayonlar materiallarni tayyorlash uchun ko'p vaqt va qimmat jihozlarni talab qiladi. Ushbu maqolada Bi_2Te_3 - Sb_2Te_3 yupqa pardalarini tayyorlash uchun issiqlik bug'latish usuli qo'llanilgan, chunki bu texnologiya qiziqarli hisoblanadi va arzon ishlab chiqarish xarajatlari hamda qisqa jarayon vaqti kabi bir qancha afzalliklarga ega. Ammo harorat omili mazkur materiallarning xususiyatlariga jiddiy ta'sir o'tkazishi ma'lum. Shu bois, turli harorat diapazonlarida Vismut va Surma xalkogenidlari asosidagi yupqa pardalarning solishtirma qarshiligini izchil o'rganish muhim ahamiyat kasb etadi.

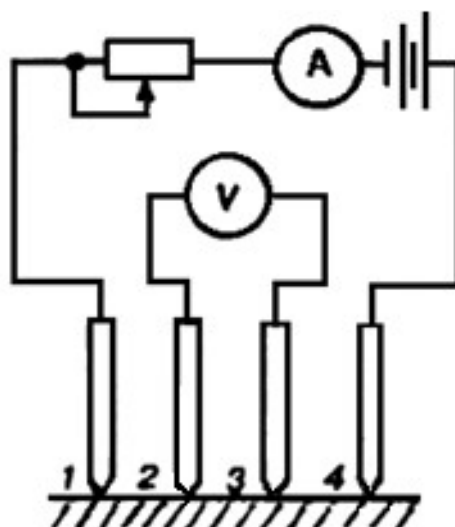
Ushbu maqolaning maqsadi – Vismut (Bi) va Surma (Sb) xalkogenidlari asosidagi yupqa parda elementlarning elektr xususiyatlarini, xususan, solishtirma qarshilikning temperaturaga bog'liqligini tajribaviy va nazariy jihatdan tahlil qilish.

Adabiyotlar tahlili va metodologiyasi

Yarimo'tkazgichli namunalarning solishtirma qarshiliklarini o'lchash usullaridan bir qancha afzalliklarga ega bo'lgan 4-zondli usul keng qo'llaniladi. Bunga o'lchash (meterologik) ko'rsatkichining yuqoriligini, o'lchash uchun namunalarga Om kontaktlarini olish talab etilmasligini, bir tomoni yassi tekislikdan iborat shakli va o'lchamlari har xil bo'lgan hajmiy yarimo'tkazgich namunalarni hamda ko'p qavatli strukturalarda epitaksial, diffuzion qatlam solishtirma qarshiliklarini o'lchash mumkinligini ko'rsatish mumkin. Bu usul bilan hajmiy monokristallarda, plastinka (taxtasimon) namunalarda solishtirma

qarshilikni $10^{-4} \div 10^3 \text{ Om} \cdot \text{sm}$ oraliqda, epitaksial, diffuzion sirt qarshiligini $1 \div 5 \cdot 10^5 \text{ Om}$ oraliqda o'lchash mumkin.

To'rt zondli usulning bir ko'rinishi 1-rasmda ko'rsatilgan. Bir tomoni yassi tekis sirt bilan chegaralangan yarim cheksiz namunaning sirtiga bir chiziqda joylashgan to'rtta uchi ingichkalashtirilgan metall elektrodlar (zondlar) joylashtirilgan. Ikki chetki zonddan tok o'tkaziladi va ikki o'rta zondlardan kuchlanish (zondlar orasidagi potentsiallar ayirmasi) o'lchanadi. Bu ikki kattalik — tok va kuchlanish orqali solishtirma qarshilik aniqlanadi. Usul nazariyasi Valdes tomonidan 1954-yilda yaratilgan bo'lib, yarimo'tkazgich va zondni kichik yuzasi bilan kontaktlashgan nuqtasidan tokning yarimo'tkazgichda tarqalishiga asoslangan[9].



1-rasm. Yarimcheksiz namunalarda solishtirma qarshilikni to'rt zondli usul bilan o'lchash sxemasi.

Tajriba natijalari

Qalinligi zondlar orasidagi masofalar tartibida, lekin zondlar joylashgan sirt o'lchamlar cheksiz katta ($a, b \gg S$) qatlamlarning, ya'ni plastinka shaklidagi namunalarning solishtirma qarshiligini aniqlashda qalinlikning ta'sirini hisobga olgan holda tuzatish funksiyasi kiritilgandagi namunalarning solishtirma qarshiligi quydagi formula orqali hisoblanadi.

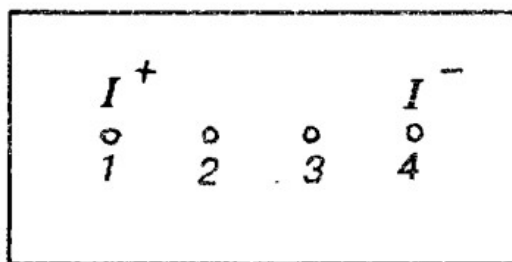
$$\rho = \frac{\pi d}{\ln 2} \cdot \frac{U_{23}}{I_{14}} f(d/S) \quad (1)$$

Tuzatish funksiyasi $f(d/S)$ ning qiymati juda yupqa qatlamlarda, ya'ni $d/S \leq 0,4$ da birga yaqin (uning $d/S \geq 0,4$ dagi qiymatlari 1-jadvalda keltirilgan).

1-jadval

d/S	0,4	0,5	0,714	1	1,25	1,4286	1,666	2
$f(d/S)$	0,9995	0,9974	0,9798	0,9214	0,849	0,7538	0,7225	0,6636

Amaliyotda ko'p hollarda geometrik o'lchamlari cheklangan yupqa qatlamlarda (plastina ko'rinishidagi namunalar) solishtirma qarshilikni aniqlashga to'g'ri keladi. Bu holda ko'zguda tasvir usulini qo'llab, tuzatish funksiyalarining ifodasi topiladi. Tuzatish funksiyasi eng sodda hollar — to'g'ri to'rtburchak shaklidagi plastina shakllar uchun hisoblangan (2- rasm).



2-rasm. Geometrik o'lchamlari cheklangan yupqa ($d \ll S$) to'g'ri to'rtburchak shaklidagi namunada zondlarning joylanishi.

Tomonlari a va b bo'lgan to'g'ri to'rtburchakli yupqa ($d \ll S$) namunada zondlar katta tomoni (a) ga parallel chiziqda joylashgan bo'lsa, solishtirma sirt qarshiligi

$$\rho_n = \frac{U_{23}}{I} \cdot f\left(\frac{a}{b} \cdot \frac{b}{S}\right) \quad (2)$$

formula bilan hisoblanadi.

Tuzatish funksiyasi $f(a/b, b/S)$ (b/S) ning kichik qiymatlarida

$$f(a/b; b/S) \cdot \frac{S}{b} \approx f(a/b) \approx 1 \quad (3)$$

Shuning uchun (2) ni quyidagicha ifodalaymiz:

$$\rho_n = \frac{U_{23}}{I} \cdot \frac{b}{S} \cdot f(a/b) \approx \frac{U_{23}}{I_{14}} \cdot \frac{b}{S} \quad (4)$$

Bundan solishtirma sirt qarshiligining taqribiy qiymatini aniqlash mumkin. Tuzatish funksiyalarining $f(a/b, b/S)$, $f(a/b)$ son qiymatlari 2-jadvalda keltirilgan. Agar namunaning o'lchamlari (eni, bo'yi, qalinligi to'g'ri to'rtburchak shaklidagi va qalinligi d , namunalarda) zondlar orasidagi masofa tartibida bo'lsa, unda ikki tuzatish funksiyalarini $f(d/S)$ va $f(a/b, b/S)$ hisobga olgan holda namunaning solishtirma qarshiligi aniqlanadi. Namuna to'rtburchak shaklida bo'lganda esa

$$\rho = \frac{U_{23}}{I_{14}} \cdot \frac{\pi d}{\ln 2} \cdot f\left(\frac{d}{S}\right) \cdot f\left(\frac{a}{b}, b/S\right) \quad (5)$$

ko'rinishni oladi.

2 - jadval

b/S	$f(a/b, b/S)$			
	$a/b=1$	$a/b=2$	$a/b=3$	$a/b \geq 4$
1,00			0,9988	0,9994
1,25			1,2467	1,2248
1,50		1,4788	1,4893	1,4893
1,75		1,7196	1,7238	1,7238
2,00		1,9454	1,9475	1,9475
2,50		2,3532	2,3541	2,3541
3,00	2,457	2,7000	2,7005	2,7005
4,00	3,114	3,2246	3,2248	3,2248
5,00	3,510	3,5750	3,5750	3,5750
2,50	4,0095	4,0361	4,0362	4,0362
10,00	4,2209	4,2357	4,2357	4,2357
15,00	4,3882	4,2947	4,3947	4,3947
20,00	4,516	4,4553	4,4553	4,4553
40,00	4,5120	4,5129	4,5129	4,5129
	4,5324	4,5324	4,5325	4,5325

Solishtirma qarshilikning temperaturaga bog'liqligi bilan bog'langan muntazam xatoliklarni yo'qotish uchun o'lchov vaqtida temperatura nazorat qilib

boriladi. T — temperaturada solishtirma qarshilik $\rho(T)$ ni bilgan holda shartli belgilangan T_0 — temperaturaga mos keladigan qiymatga

$$\rho(T) = \rho(T_0) [1 - C_T(T - T_0)] \quad (6)$$

formula orqali keltiriladi. Bu yerda: C_T — solishtirma qarshilikning temperatura (termik) koeffitsienti bo'lib, u yarimo'tkazgichlarning turiga, kirishmalarning tabiatiga va konsentratsiyalariga bog'liq[9].

Natijalar va ularning tahlili

Quyida bizning to'g'ri to'rtburchak shaklidagi yupqa pardaning parametrlari keltirilgan:

- $a = 2$ sm (yupqa pardaning uzun tomoni),
- $b = 0,1$ sm (yupqa pardaning eni),
- $d = 1$ mkm = 1×10^{-4} sm (yupqa pardaning qalinligi),
- $S = 0,5$ sm (zondlar orasidagi masofa).

Bizga kerak bo'layotgan tuzatish funksiyalari quyidagilar:

1. $f(d/S)$ — qalinlikni hisobga oluvchi tuzatish funksiyasi.
2. $f(a/b, b/S)$ — yupqa pardaning cheklangan geometrik o'lchamlarini hisobga oluvchi (uzunlik va eni bo'yicha) tuzatish funksiyasi.

1. Qalinlikka bog'liq tuzatish funksiyasi $f(d/S)$

Yuqorida keltirilgan 1-jadval ga ko'ra, agar

$$d/S \leq 0,4,$$

bo'lsa, $f(d/S) \approx 1$ ga yaqin bo'ladi. Bizning misolda:

$$d = 1 \times 10^{-4} \text{ sm}, S = 0,5 \text{ sm} \implies d/S = 1 \times 10^{-4} / 0,5 = 2 \times 10^{-4}.$$

Bu qiymat 0,0002 bo'lib, 0,4 dan ancha kichik. Jadvalda bunday juda kichik nisbatlar ko'rsatilmagan, lekin matnda " $d/S \leq 0,4$ bo'lganda funksiya 1 ga juda yaqin" deb aytilgan. Shuning uchun:

$$f(d/S) \approx 1.$$

2. Yupqa pardaning chegaralangan o'lchamlariga bog'liq tuzatish funksiyasi $f(a/b, b/S)$

2.1. Hisoblash uchun zarur nisbatlar

- $a/b=2 \text{ sm}/0,1 \text{ sm}=20$.

Bu juda katta nisbat bo'lib, $a \gg b$

- $b/S=0,1 \text{ sm}/0,5 \text{ sm}=0,2$.

Bu 0,2 dan iborat bo'lib, 1 dan kichik.

2.2. 2-jadvaldan foydalanish yoki matndagi (3)-tenglama

Matnda (3)-tenglama sifatida quyidagisi aytilgan edi:

$$f(a/b; b/S) \cdot S/b \approx f(a/b) \approx 1, \text{ agar } (b/S) \text{ kichik va } a/b \text{ katta bo'lsa.}$$

- Bizda $a/b=20$ (katta son, ya'ni ≥ 4),
- $b/S=0,2$ (1 dan ancha kichik).

Shu sharoitda $f(a/b) \approx 1$ deyish mumkin. Demak,

$$f(a/b, b/S) \cdot S/b \approx 1.$$

Shu yerda $S/b=0,5/0,1=5$.

Demak,

$$f(a/b, b/S) \approx 1/(S/b) = 1/5 = 0,2.$$

Bu — matndagi soddalashtirilgan yaqinlashuv (approximation) bo'lib, 2-jadvalda ham $b/S < 1$ qiymatlar uchun aniq sonlar yo'qligi tufayli ana shu formuladan foydalanish kerak bo'ladi.

Xulosa: $f(a/b, b/S) \approx 0,2$.

3. Yakuniy qiymatlar

1. $f(d/S) = 1 (d/S \ll 1)$.
2. $f(a/b, b/S) \approx 0,2 (a/b \gg 1, b/S \ll 1)$.

Shunday qilib, $2 \text{ sm} \times 0,1 \text{ sm} \times 1 \text{ mkm}$ o'lchamdagi yupqa parda va zondlar orasidagi masofa $S = 0,5 \text{ sm}$ bo'lganda:

- qalinlik bo'yicha tuzatish funksiyasi deyarli 1;
- yupqa parda chegaralari (a, b) bo'yicha tuzatish funksiyasi 0,2 ga teng ekanini matndagi soddalashtirilgan hisob-kitobga asosan aniqlash mumkin.

Izoh: Bu taxminiy qiymat bo'lib, 2-jadvaldagi aniq raqam 0.2 ga juda yaqin chiqishi kerak. Chunki jadvalda aynan $b/S=0.2$ qatordagi ma'lumot keltirilmagan, lekin $(b/S < 1)$ holatida ushbu soddalashtirish (3)-formulaga ko'ra juda qo'llaniladigan usuldir.

Natijada:

$$f(d/S)=1, f(a/b, b/S)\approx 0,2.$$

Yuqoridagi tuzatish funksiyalarini e'tiborga olgan holda $T_0 = 292$ K xaroratda yupqa pardaning solishtirma qarshiligini xisoblab topamiz. Ikki va uchinchi zondlar orasidagi potentsiallar farqi $U_{23} = 33,6$ mV ni tashkil etdi. Birinchi va to'rtinchi zondlarga esa $I=123,6$ mA tok kuchi berildi. Buning natijasida (5) formuladan foydalangan holda $T_0 = 292$ K xaroratda solishtirma qarshilik $\rho(T_0) = 0,246 \cdot 10^{-3}$ Om·m ekanligini aniqladik[10].

Endi biz solishtirma qarshilikni o'zgarayotgan temperaturaga bog'liqligini tekshiramiz buning uchun bizga (6) formula kerak bo'ladi.

$$\rho(T) = \rho(T_0) [1 - C_T(T - T_0)]$$

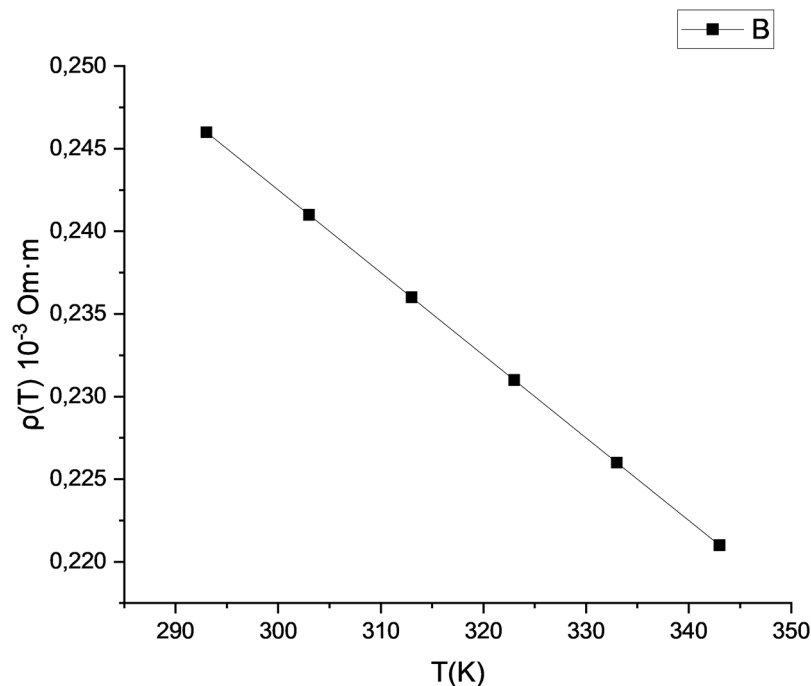
Bu yerda C_T – yupqa pardaning termik koeffisienti ($\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{--Sb}_2\text{Te}_3$) yupqa pardalar uchun $C_T \approx 2 \times 10^{-3} \text{K}^{-1}$ ga teng.

To'rt zond usuli bilan yupqa pardaning turli xil temperaturalar uchun ikkinchi va uchinchi zondlardagi potentsiallar farqi o'zgarishini quyidagi 3 – jadvaldan ko'rishimiz mumkin. Jadvaldan ko'rinib turibdiki temperatura va ikkinchi va uchinchi zondlardagi potentsiallar farqining o'zgarishi solishtirma qarshilikning o'zgarishiga olib keladi[11].

3 - jadval

T(K)	U_{23} (mV)	$\rho(T) 10^{-3}$ Om·m
293	37,7	0,246
303	23,5	0,241
313	14,9	0,236
323	11,5	0,231
333	9,4	0,226
343	9,7	0,221

Ushbu jadval asosida Vismut (Bi) va Surma (Sb) xalkogenidlari asosidagi solishtirma qarshiligini xaroratga bog'liqlik grafigini chizamiz.



3- rasm. Vismut (Bi) va Surma (Sb) xalkogenidlari asosidagi yupqa pardaning solishtirma qarshiligi (ρ) ning harorat (T) ga bog‘liqlik grafigi.

Xulosa

Ushbu tadqiqotda Vismut–Surma xalkogenidlari ($\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{--Sb}_2\text{Te}_3$) asosidagi yupqa parda namunalarning solishtirma qarshiligi haroratga bog‘liqlikda tahlil qilindi. Tajribalarda issiqlik bug‘latish texnologiyasi orqali tayyorlangan yupqa pardalar uchun to‘rt zondli usul qo‘llanilib, namunaning cheklangan geometrik o‘lchamlari va qalinligini hisobga olish maqsadida tegishli tuzatish funksiyalari kiritildi. Olingan natijalar quyidagilarni ko‘rsatdi:

1. Qalinlikka oid tuzatish funksiyasi ($f(d/S)$) juda yupqa qatlamlarda ($d/S \ll 1$) birlikka yaqin qiymatga ega bo‘lib, bunda yupqa parda qalinligining solishtirma qarshilikni aniqlashdagi ta’siri sezilarli darajada kichik ekanligi aniqlandi.

2. Namuna chegaralariga oid tuzatish funksiyasi ($f(a/b, b/S)$) esa eni (b) va zondlar orasidagi masofa (S) oralig‘i kichik bo‘lganda muhim o‘rin tutib, bizning misolda 0,2 ga teng qiymatga ega bo‘ldi.

3. O'lchovlar natijasida 292 K haroratda yupqa pardaning solishtirma qarshiligi $\rho(T_0) \approx 0,246 \times 10^{-3} \text{ Om}\cdot\text{m}$ etib topildi. Harorat ortishi bilan solishtirma qarshilikning kamayishi kuzatildi va termik koeffitsient $C_T \approx 2 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ deya baholandi.

4. Qilinayotgan kuzatuvlar, $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{--Sb}_2\text{Te}_3$ asosidagi yupqa pardalar termoelektrik xususiyatga ega yarimo'tkazgich materiallar sifatida yuqori samarador sensorlar, sovitish qurilmalari hamda termoelektrik generatorlarda qo'llash imkoniyatlarini kengaytiradi.

Tadqiqot xulosasiga ko'ra, bunday yupqa parda materiallarining termoelektrik va elektr xususiyatlari harorat omiliga nisbatan yetarlicha sezgir bo'lib, turli temperaturalarda samarali ishlashini ta'minlash maqsadida uning fizik-parametrik tavsiflari mas'uliyat bilan hisobga olinishi lozim. Kelgusida, ushbu materiallarni yanada takomillashtirish hamda amaliy qo'llash diapazonini kengaytirish uchun qalinlik, struktura va aralashma konsentratsiyasini optimallashtirish istiqbolli yo'nalishlardan biri hisoblanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. A. Foucaran, A. Sackda, A. Giani, F. Pascal-Delannoy, and A. Boyer, "Flash evaporated layers of $(\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{--Bi}_2\text{Se}_3)(N)$ and $(\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{--Sb}_2\text{Te}_3)(P)$," Materials Science and Engineering B, vol. 52, no. 2-3, pp. 154-161, 1998.

2. H. Noro, K. Sato, and H. Kagechika, "The thermoelectric properties and crystallography of Bi--Sb--Te--Se thin films grown by ion beam sputtering," Journal of Applied Physics, vol. 73, no. 3, pp. 1252-1260, 1993.

3. R. S. Makala, K. Jagannadham, and B. C. Sales, "Pulsed laser deposition of Bi_2Te_3 -based thermoelectric thin films," Journal of Applied Physics, vol. 94, no. 6, pp. 3907-3918, 2003.

4. H. Huang, W.-L. Luan, and S.-T. Tu, "Influence of annealing on thermoelectric properties of bismuth telluride films grown via radio frequency magnetron sputtering," Thin Solid Films, vol. 517, no. 13, pp. 3731-3734, 2009.

5. F. Xiao, C. Hangarter, B. Yoo, Y. Rheem, K.-H. Lee, and N. V. Myung, "Recent progress in electrodeposition of thermoelectric thin films and nanostructures," *Electrochimica Acta*, vol. 53, no. 28, pp. 8103-8117, 2008.

6. A. Giani, A. Boulouz, F. Pascal-Delannoy, A. Foucaran, E. Charles, and A. Boyer, "Growth of Bi_2Te_3 and Sb_2Te_3 thin films by MOCVD," *Materials Science and Engineering B: Solid-State Materials for Advanced Technology*, vol. 64, no. 1, pp. 19-24, 1999.

7. H. Cao, R. Venkatasubramanian, C. Liu et al., "Topological insulator Bi_2Te_3 films synthesized by metal organic chemical vapor deposition," *Applied Physics Letters*, vol. 101, no. 16, Article ID 162104, 2012.

8. Y. Jia, D. Yang, B. Luo, S. Liu, M. O. Tade, and L. Zhi, "One-pot synthesis of Bi-Ni nanowire and nanocable arrays by coelectrodeposition approach," *Nanoscale Research Letters*, vol. 7, article 130, 2012.

9. S. Zaynobiddinov, X. Akramov. Yarimo'tkazgichlar parametrlarini aniqlash usullari. – Toshkent: «O'zbekiston», 2001.

10. Onarqulov K. E., Yuldashev A. A., Azimov T. M. Vismut-surma tellur yupqa pardalarning elektrofizik xossalriga texnologik jarayonning ta'siri // *Науч.вест. ФерГУ*. – № 2. 2017. – С. 9–12.

11. Атакулов Ш., Отажонов. С., С. Зайнолобидинова., Тўхтаматов О. А. Особенности рассеяния носителей тока межкуристаллиными потенциальными барьерами, образованными электроныными поверхностными состояниями в поликристаллических полупроводниках. // *Физическая инженерия поверхности*. – Харьков, Украина, – № 4(8). 2010. – С. 365–370.