

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

**2024/3-SON
ILOVA TO'PLAM**

**НАУЧНЫЙ
ВЕСТНИК.
ФерГУ**

Издаётся с 1995 года
Выходит 6 раз в год

MATEMATIKA

S.S.Jo'raboyev, M.X.Abdumutalova	
Tengsizliklarni isbotlashda ehtimollar nazariyasi elementlaridan foydalanish metodikasi	13
Sh.T.Karimov, J.J.Jahongirova	
Teskari masalalarni yechishning chekli ayirmalar sxemasini teskarilash usuli	18
B.M.Mamadaliev, M.I.Davlatboeva	
About geometry on subspaces in 2R_5	22
A.O.Mamanazarov, Y.B.Djuraeva	
The existence of the solution of a boundary value problem for the benjamin, bona and mahony equation including the hilfer fractional differential operator	27
A.M.Mirzaqulov	
Kompyuterli matematik modellashtirish asoslari	33
A.O.Mamanazarov, D.R.Ibrohimova	
Vaqt yo'nalishlari turlicha bo'lgan parabolo-giperbolik tenglama uchun chegaraviy masala.....	38

FIZIKA-TEXNIKA

V.R.Rasulov, B.B.Axmedov, I.A.Muminov	
Elektronlarning energiya spektrini Kroning va Penni usuli yordamida hisoblash	43
M.M.Sobirov, M.M.Kamolova, Q.Q.Muhammadaminov	
Atmosferadagi quyosh nurlanish oqimi maydonini shakllanishiga begona aralashmalarning ta'siri	49
M.M.Sobirov, J.Y.Roziqov, Q.Q.Muhammadaminov	
Yarim cheksiz o'lchamdagi kristallarda qutblangan nurlanish oqimini ko'chirilishi.....	55
V.R.Rasulov, I.A.Muminov, G.N.Maqsudova	
Xoll effektini brilliyen zonalari nazariyasi yordamida o'rganish	60
M.M.Sobirov, V.U.Ro'ziboyev	
Yer sirtidan qaytgan quyosh nurlanish oqimini atmosferadagi nurlanish maydoniga ta'siri	64
G'R.Raxmatov	
Infraqizil quritishning mahsulot sifat kattaliklariga ta'siri.....	70
V.U.Ro'ziboyev	
"Bipolyar tranzistorlarni ulanish va ularning kuchaytirish xususiyatlarini o'rganish" laboratoriya ishida arduinodan foydalanish	75
J.Y.Roziqov	
Quyosh nurlanishining atmosferada yutilishi va sochilishi. Zaiflashish qonuni	82
O.K.Dehtonova	
Fizika ta'limi jarayoniga raqamli texnologiyalar va zamonaviy usullarni joriy etish orqali innovatsion infratuzilmasini shakllantirish	86
Q.I.G'aynazarova, T.M.Azimov	
Uchlamchi qotishmalarning istiqbollari	98
B.U.Omonov	
Bi_2Te_3/Sb_2Te_3 yarimo'tkazgich yupqa pardalarning termoelektrik xususiyatlari	103
K.E.Onarkulov, G.F.Jo'rayeva	
Afk elementlarining tuzilishi va xususiyatlarining bog'lanish o'rganish	109
З.Хайдаров, Д.Ш.Гуфронова, С.Х.Мухаммадаминов	
Исследование преобразовательных и выходных характеристик системы полупроводник – плазма газового разряда с дополнительным сеточным электродом	116
M.Kholdorov, G.Mamirjonova	
Achievements in the dehydration of fruits and vegetables and the advantages of the methods used	121
M.Kholdorov, G.Mamirjonova	
Electronic conduction phenomena observed on the surface of semiconductors and metals....	124



UO'K: 537.311.33:538.975

Bi₂Te₃ / Sb₂Te₃ YARIMO'TKAZGICH YUPQA PARDALARNING TERMOELEKTRIK XUSUSIYATLARI**ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК Bi₂Te₃/Sb₂Te₃****THERMOELECTRIC PROPERTIES OF Bi₂Te₃ / Sb₂Te₃ THIN FILMS**

Omonov Bunyodjon Ulug'bek o'g'li
Farg'ona davlat universiteti tayanch doktranti

Annotatsiya

Ushbu maqolada *n*-tipli Bi₂Te₃ va *p*-tipli Sb₂Te₃ yarimo'tkazgich yupqa pardalar olinilishi va tavsifi haqida ma'lumotlar keltirilgan. Yarimo'tkazgich yupqa pardalar, issiqlik bilan bug'lanish (co-evaporation) yo'li bilan qalinligi 25 mkm bo'lgan polimid (kapton) substratga olingan. Birgalikda bug'lanish (co-evaporation) usuli boshlang'ich materialni tayyorlash uchun ko'proq vaqt talab qiladigan yoki murakkabroq va qimmatroq cho'ktirish uskunalarini talab qiladigan boshqa usullar bilan solishtirganda arzon, sodda va ishonchli hisoblanadi. *n* va *p* tipidagi yarimo'tkazgich yupqa pardalarni Zebek koeffitsientlari -189 μV·K⁻¹ va +140 μV·K⁻¹ elektr qarshiligi esa 7.7 μΩ·m va 15.1 μΩ·m xona haroratida o'lchandi. Bu qiymatlar birgalikda purkash (co-sputtering) yoki elektrokimyoviy yotqizish (ECD) natijasida olingan yarimo'tkazgich yupqa pardalardan ko'ra yaxshiroq va metall-organik kimyoviy bug'larning cho'kishi (MOCVD) yoki juda qisqa vaqtda bug'lanish (flash evaporation) natijasida olingan yarimo'tkazgich yupqa pardalarga yaqinroqdir. Yuqori ko'rsatkichlari tufayli bu yarimo'tkazgich yupqa pardalar haroratni nazorat qilish va telekommunikatsiya uchun lazer bilan sovitish uchun foydali bo'lgan mikro-Pelte elementini ishlab chiqarish uchun ishlatiladi.

Аннотация

В этой статье представлена информация о изготовлении и характеристике тонких полупроводниковых пленок Bi₂Te₃ *n*-типа и Sb₂Te₃ *p*-типа. Тонкие полупроводниковые пленки были получены методом термического испарения (соиспарения) на полиимидной (каптоновой) подложке толщиной 25 мкм. Метод совместного испарения дешев, прост и надежен по сравнению с другими методами, которые требуют больше времени для подготовки исходного материала или требуют более сложного и дорогого оборудования для осаждения. Коэффициенты Зеебека -189 мкВ·К⁻¹ и +140 мкВ·К⁻¹ и удельное сопротивление 7,7 мкОм·м и 15,1 мкОм·м тонких полупроводниковых пленок *n*-типа и *p*-типа были измерены при комнатной температуре. Эти значения лучше, чем у тонких полупроводниковых пленок, полученных путем совместного распыления или электрохимического осаждения (ECD) и металлоорганического химического осаждения из паровой фазы (MOCVD) или мгновенного испарения, в результате чего полупроводник ближе к тонким пленкам. Благодаря своим высоким характеристикам эти тонкие полупроводниковые пленки используются для производства элементов микро-Пельте, полезных для контроля температуры и лазерного охлаждения в телекоммуникациях.

Abstract

This article provides information on the fabrication and characterization of *n*-type Bi₂Te₃ and *p*-type Sb₂Te₃ semiconductor thin films. Semiconductor thin films were obtained by thermal evaporation (co-evaporation) on polyimide (kapton) substrate with a thickness of 25 μm. The co-evaporation method is cheap, simple and reliable compared to other methods that take more time to prepare the starting material or require more complex and expensive deposition equipment. Seebeck coefficients of -189 μV·K⁻¹ and +140 μV·K⁻¹ and resistivity of 7.7 μΩ·m and 15.1 μΩ·m of *n*-type and *p*-type semiconductor thin films were measured at room temperature. These values are better than semiconductor thin films obtained by co-sputtering or electrochemical deposition (ECD) and metal-organic chemical vapor deposition (MOCVD) or flash evaporation. Resulting semiconductor is closer to thin films. Due to their high performance, these semiconductor thin films are used to produce micro-Pelte element useful for temperature control and laser cooling for telecommunications.

Kalit so'zlar: termoelektrik, yarimo'tkazgich yupqa parda, mikro-sovitgich.

Ключевые слова: термоэлектрик, тонкая полупроводниковая пленка, микроохладитель.

Key words: thermoelectric, semiconductor thin film, micro-cooler.

KIRISH

So'nggi yillarda Pelte va Zeebek effektlari asosida ishlaydigan mikroqurilmalar yordamida mahalliy sovutish va elektr energiyasini ishlab chiqarish tobora ortib borayotgan qiziqarli va aktual mavzulardan biri bo'lib qolmoqda. Pelte effektiga asoslangan termoelektrik sovutkichlar hech qanday harakatlanuvchi mexanik qismlardan foydalanmaslik, atrof-muhitga zarar yetkazmaslik, mikroelektronik sxemalar bilan integratsiya qilish imkonini beruvchi va boshqarish oson bo'lgan afzalliklarga ega hisoblanadi. Zeebek effekti asosida ishlaydigan mikroqurilmalar issiqlikni elektr energiyasiga aylantiruvchi elektr generatorlarida qo'llaniladi.

Termoelektrik xususiyatlariga ko'ra, issiqlik moslamalari qiymat ko'rsatkichi (Z) bilan tavsiflanadi:

$$Z = \frac{\alpha^2}{\rho\lambda} \quad (1)$$

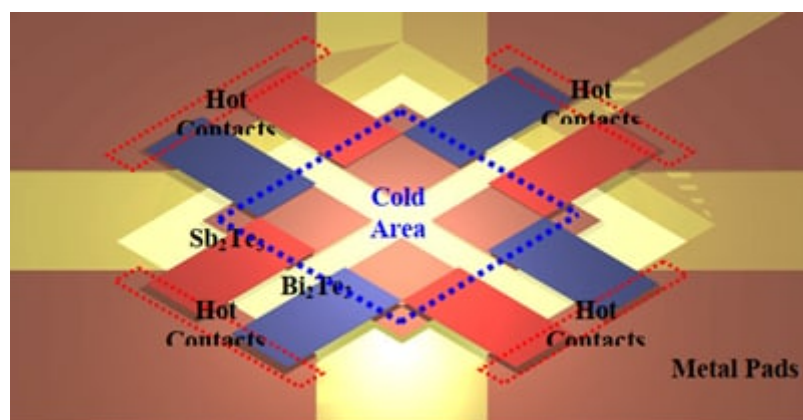
Bu yerda α - Zeebek koeffitsienti (termoelektr yurituvchi kuch), ρ – solishtirma elektr qarshiligi, λ - issiqlik o'tkazuvchanligi [1]. Ko'pincha, Z o'rniga $T - K$ dagi harorat ekvivalent parametr bo'lgani uchun "xizmat ko'rsatkichi" = ZT ishlatiladi.

ADABIYOTLAR TAHLILI VA METODOLOGIYASI

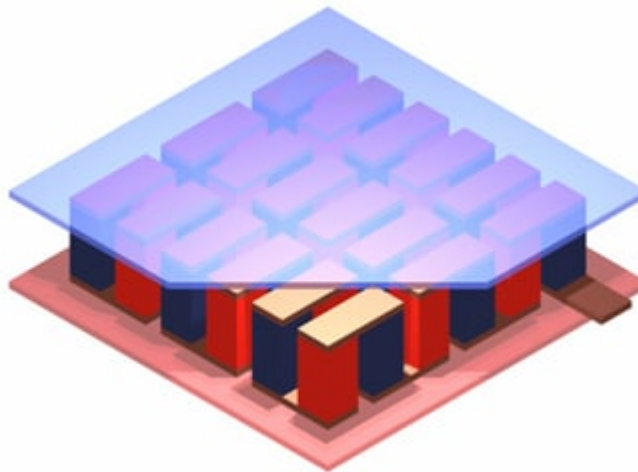
Z qiymatining aniq chegarasi bo'lmasa-da, termoelektrik materiallar deyarli 50 yil davomida $ZT \sim 1$ dan oshmadi. Shunga qaramay, so'nggi bir necha yil ichida materialning xususiyatlari sezilarli darajada yaxshilandi. Venkatasubramanian va boshqa olimlar tomonidan ikkita o'zgaruvchan yarimo'tkazgichning o'ta yupqa qatlamlarida $ZT = 2,4$ teng chiqqanini aniqladilar. Hozirda ko'pgina tadqiqotchilar yaxshi ko'rsatkichlarga ega va qattiq jisimli elektronika bilan mos keladigan yangi materiallarni izlab topish ishlarini olib bormoqdalar. Shu jumladan tellur qotishmalari termoelektr generatorlari va sovutgichlarda keng qo'llaniladigan yaxshi tasdiqlangan past haroratli termoelektrik materiallar hisoblanadi [1].

Ushbu qotishmali materiallarni ishlab chiqarishning an'anaviy jarayonlari, asosan, mikroqurilmalarning o'lchamlari kichraytirilganligi sababli, hamda qotishmalarning katta hajmga ega ekanligi mikroelektronik qurilmalarga ushbu qotishmalarni qo'llashni cheklab qo'ydi. Yupqa yarimo'tkazgich yupqa pardali tekislik texnologiyasi bu vazifa uchun aynan mos keldi. Bi-Sb-Te yarimo'tkazgich yupqa pardalarni olish uchun turli xil olish jarayonlari haqida aytib o'tish kerak. Bularga issiqlik bilan birgalikda bug'lanish (co-evaporation) [3], birgalikda purkash (co-sputtering) [4], elektrokimyoviy yotqizish (ECD) [5], metall-organik kimyoviy bug'larni cho'ktirish (MOCVD) [6] yoki juda qisqa vaqtda bug'lanish (flash evaporation) [7] bunga misoldir.

Yarimo'tkazgich yupqa pardalar asosida yasalgan termoelektrik sovutgichlarni chipda birlashtirish uchun ikkita turli yondashuv qo'llanilishi mumkin: qurilma yuzasiga nisbatan energiya olib tashlangan yo'nalishga qarab, transversal (ko'ndalang tekislik) va lateral (tekislikda). Bu ishda lateral (tekislikda) Pelte sovutgichidan foydalanilgan uning mikroelektronik sxemalar bilan integratsiya qilish jarayonini osonligi va planar texnologiyaga muvofiqligi tufayli ushbu texnologiyadan foydalanilgan. (1-rasm va 2-rasm).



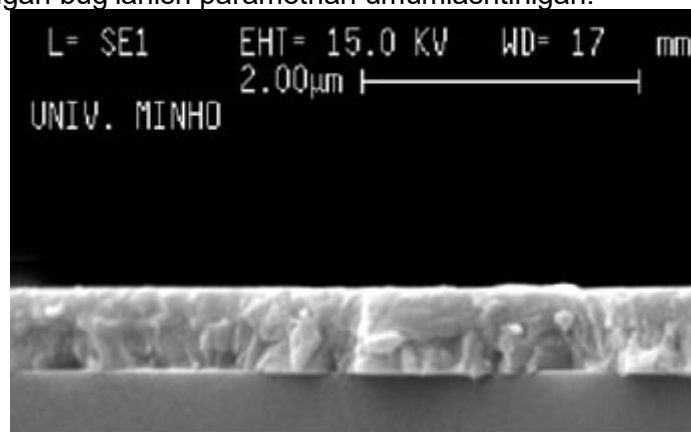
1-rasm: Tekislikda (lateral) Pelte sovutkichi



2-rasm: Ko'ndalang tekidlik(transversal) Pelte sovutkichi

NATIJA VA MUHOKAMA

Bi va Te yoki Sb va Te ning birgalikda bug'lanishi n-tipli va p-tipli yupqa pardalarni asosiy bosim $< 5 \times 10^{-6}$ mm.sim.ust bo'lgan yuqori vakuumli kameraga joylashtirish uchun ishlatilgan. Har bir bug'latish tezligi har bir molibden bug'latkichiga qo'llaniladigan quvvatni nazorat qilish orqali belgilangan qiymatda saqlanib turdi. Hisoblangan PID tekshirgichi qalinligi monitorlari va bug'lanish tizimiga ulangan va doimiy bug'lanish tezligiga erishish uchun bug'latkichlarga qo'llash uchun zarur bo'lgan quvvatni real vaqt rejimida hisoblash uchun mo'ljallangan. Barqaror bug'lanish tezligini yengillashtirish uchun katta molibden bug'latkichlari (qo'rqinchli qutilar) ishlatilgan. Substratlar vismut telluridni zarralari kelib o'tirishi uchun 240°C dan 300°C gacha va surma telluridni zarralari kelib o'tirishi uchun 200°C dan 260°C gacha qizdirildi. 3-rasmda shisha taglikka yotqizilgan 580 nm qalinlikdagi Bi_2Te_3 yupqa pardasi ko'rsatilgan va 1-jadvalda n-tipli va p-tipli yupqa pardalarni ishlab chiqarish uchun ishlatiladigan bug'lanish parametrlari umumlashtirilgan.



3-rasm: Shisha substratga yotqizilgan bir hil n-tipli 580 nm qalinlikdagi Bi_2Te_3 yupqa pardasining skanerlovchi elektron mikroskopda olingan fotosurati.

1-jadval

Yarimo'tkazgich yupqa parda o'sishi bo'yicha sozlangan parametrlar.

Yarimo'tkazgich namuna	Substrat harorati	Bug'lanish darajasi (Bi,Sb)	Bug'lanish darajasi (Te)
Bi_2Te_3	270 °C	1 A°/sec	2.2 A°/sec
Sb_2Te_3	230 °C	1 A°/sec	2.2 A°/sec

Shisha va polimid (kapton) substrat sifatida, yarimo'tkazgich yupqa pardaning substratga yaxshi qoplanishi uchun ishlatilgan. Biroq, termoelektrik sovutgich sxemasi uchun pastki issiqlik o'tkazuvchanligi ($0,12 \text{ Vt}^{-1}\text{K}^{-1}$) va issiqlik kengayish koeffitsientining qiymati ($12 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) tufayli

substrat sifatida qalinligi 25 mkm bo'lgan polimid (kapton) yarimo'tkazgich yupqa pardalari tanlangan. Yarimo'tkazgich yupqa pardalarining termal kengayish koeffitsientiga chambarchas mos keladi, shuning uchun qoldiq stressni kamaytiradi va yopishqoqlikni oshiradi. Moslashuvchan substratlar kompozit yarimo'tkazgich yupqa parda - substratga odatiy bo'lmagan mexanik xususiyatlarni qo'shib, ularni ko'plab yangi turdagi qurilmalarga birlashtirish imkonini beradi.

Materialning xarakteristikasi

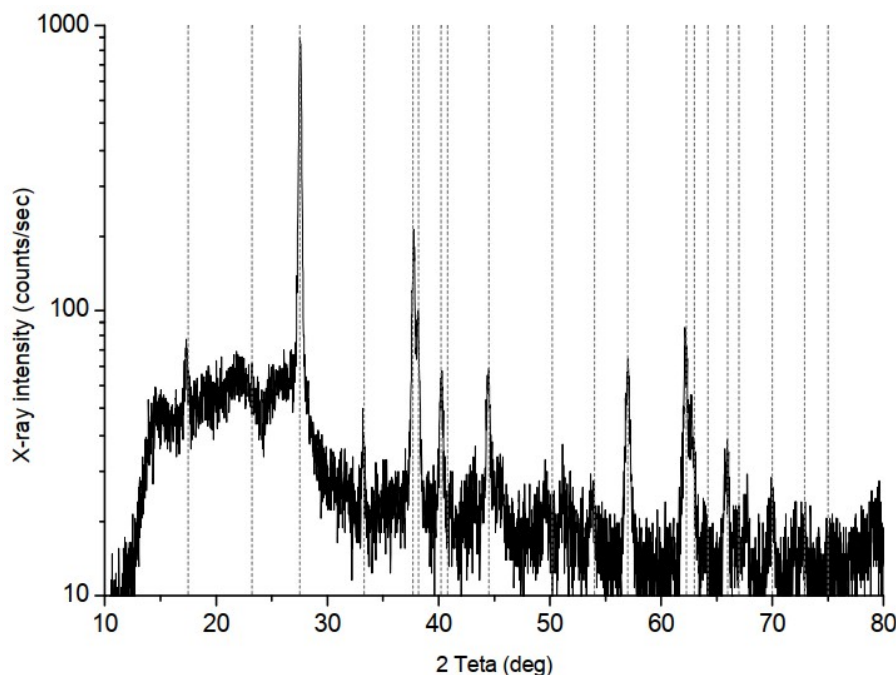
2-jadvalda eng yaxshi n-tipli va p-tipli yarimo'tkazgich yupqa pardalar uchun energiya dispersli rentgen (EDR) spektroskopik o'lchovlari natijalari ko'rsatilgan. Te va Bi (Sb) mazmuni shuni ko'rsatadiki, ikkala turdagi yarimo'tkazgich yupqa pardalarning tarkibi stexiometriyaga yaqin.

2-jadval

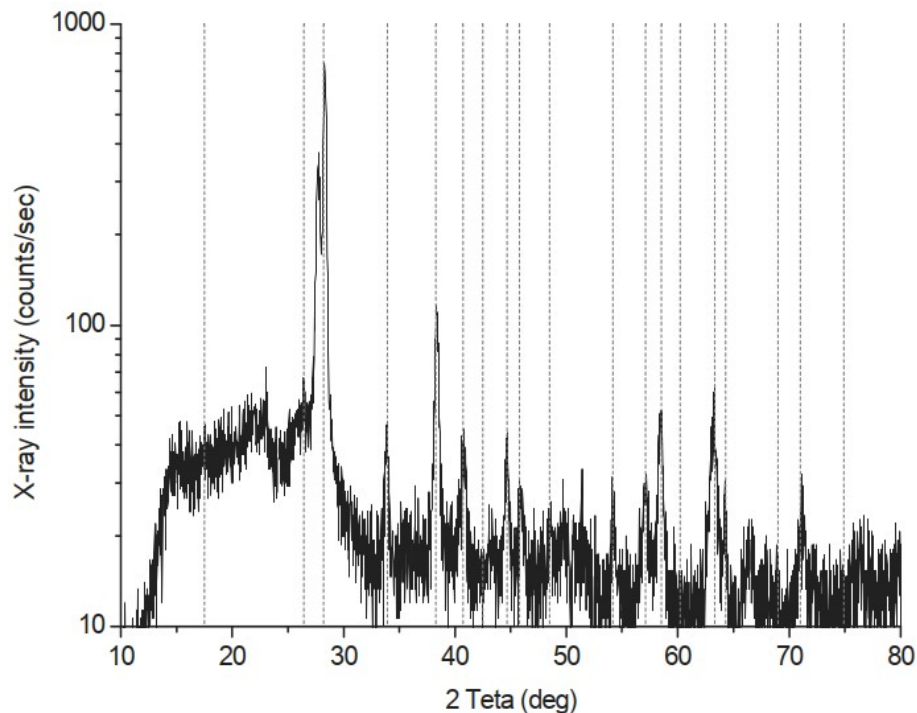
Energiya dispersli rentgen (EDR) spektroskop tomonidan o'lchangan yarimo'tkazgich yupqa pardalarning stexiometriyasi.

Yarimo'tkazgich namuna	Te	Bi or Sb
Bi_2Te_3	60.17%	39.83%
Sb_2Te_3	58.51%	41.49%

Rentgen difraksion tahlili (4-rasm va 5-rasm) Bi_2Te_3 va Sb_2Te_3 materiallarining polikristal tuzilishini ochib beradi. Cho'qqilar polikristalli Bi_2Te_3 va Sb_2Te_3 ning kukun diffraksiya spektriga mos keladi.



4-rasm. n-tipli Bi_2Te_3 yarimo'tkazgich yupqa pardaning Rentgen difraksion tahlili (XRD). Cho'qqilar Bi_2Te_3 (kesikli chiziqlar) uchun kukun diffraksiya spektriga mos keladi.



5-rasm. p-tipli Sb_2Te_3 yarimo'tkazgich yupqa pardaning Rentgen difraksiya tahlili (XRD). Cho'qqilar Sb_2Te_3 (kesikli chiziqlar) uchun kukun diffraksiya spektriga mos keladi.

Zeebek koeffitsienti va elektr qarshiligi ham o'lchandi. Xona haroratida yarimo'tkazgich yupqa parda qarshiligi an'anaviy to'rt probli van der Pau usuli yordamida o'lchandi. Zeebek koeffitsienti yarimo'tkazgich yupqa pardaning bir tomonini doimiy haroratda bo'lgan isitilgan metall blok va boshqa tomonini xona haroratida issiqlik qabul qiluvchiga ulash orqali o'lchandi. 3-jadvalda ushbu o'lchovlarning natijalari va 300 K da tegishli ko'rsatkichlar ko'rsatilgan (hisob-kitoblar uchun issiqlik o'tkazuvchanligi $1,5 \text{ Wt}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ qabul qilingan).

3-jadval

Ushbu ishda birgalikda bug'langan yarimo'tkazgich yupqa pardalarning termoelektrik xususiyatlari.

Yarimo'tkazgich namuna	Zeebek koeffitsienti [$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$]	Qarshilik [$\mu\Omega\text{m}$]	Faoliyat ko'rsatkichi (ZT)
Bi_2Te_3	-189	7.7	0.93
Sb_2Te_3	140	15.1	0.26

4-jadval

Adabiyotlardan olingan zamonaviy materiallarning termoelektrik xususiyatlarining qiymatlari.

Yarimo'tkazgich namuna	Ishlab chiqarish usuli	Zeebek koeffitsienti [$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$]	Qarshilik [$\mu\Omega \cdot \text{m}$]	Faoliyat ko'rsatkichi (ZT)
Bi_2Te_3	Co-Sput. [4]	-160	16.3	0.31
Bi_2Te_3	MOCVD [6]	-210	9.0	0.98
Bi_2Te_3	Co-Evap. [3]	-228	13	0.80
Bi_2Te_3	ECD. [5]	-60	10	0.07
Bi_2Te_3^*	Flash [7]	-200	15	0.53
Sb_2Te_3	MOCVD [6]	110	3.5	0.69
Sb_2Te_3	Co-Evap. [3]	171	10.4	0.56

Muvaffaqiyatlilik ko'rsatkichi uchun hisoblangan qiymatlar birgalikda purkash (co-sputtering) va elektrokimyoviy cho'kma (ECD) yo'li bilan yotqizilgan yarimo'tkazgich yupqa pardalar uchun ma'lum qilinganidan yuqori va metall-organik kimyoviy bug'larni cho'ktirish (MOCVD) yoki bug'lanish orqali cho'kish yo'li bilan yotqizilgan yarimo'tkazgich yupqa pardalarga yaqinroqdir (4-jadval). Bi_2Te_3 yarimo'tkazgich yupqa pardalarining unumdorligi quyma materiallarning unumdorligidan yuqori, Sb_2Te_3 yarimo'tkazgich yupqa pardalari esa quyma materiallarnikiga qaraganda bir oz yomonroq. (4-jadvaldagi ko'rsatkichni hisoblash uchun issiqlik o'tkazuvchanligi $1,5 \text{ Vt}^{-1}\text{K}^{-1}$ deb qabul qilingan.)

XULOSA

Zamonaviy Bi_2Te_3 va Sb_2Te_3 materiallari qalinligi 500 nm dan 2 mkm gacha bo'lgan birgalikda bug'lanish orqali yarimo'tkazgich yupqa pardalar shaklida olindi. Birgalikda bug'lanish nisbatan oddiy va arzon usul bo'lib, katta ko'rsatkichlarga ega bo'lgan yaxshi termoelektrik yupqa pardalar olish imkonini beradi. Bug'lanish tezligi va substrat haroratining yarimo'tkazgich yupqa pardalarning termoelektrik xususiyatlariga ta'siri o'rganildi va cho'kish jarayoni optimallashtirildi.

ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Ioffe, A. F. "The Thermoelectric and Related Effects in Semiconductors." Progress in Semiconductors 4 (1960): 237-291.
2. Goldsmid, H. J. "Thermoelectric Refrigeration." Plenum Press, New York, 1964.
3. Rowe, D. M. "Thermoelectrics Handbook: Macro to Nano." CRC Press, 2005.
4. Snyder, G. J., and E. S. Toberer. "Complex Thermoelectric Materials." Nature Materials 7, no. 2 (2008): 105-114.
5. R. Venkatasubramanian, E. Siivola, T. Colpitts, and B. O'Quinn, "Thin-film thermoelectric devices with high room-temperature figures of merit," Nature, vol. 413, 6856, 597, (2001).
6. Helin Zou, D.M. Rowe, S.G.K. Williams, "Peltier effect in a co-evaporated $\text{Sb}_2\text{Te}_3(\text{P})$ - $\text{Bi}_2\text{Te}_3(\text{N})$ thin film thermocouple," Thin Solid Films, 408, 270, (2002)
7. Рахмонкулов, М. Х., Ахмедова, Д., & Омонов, Б. (2022). ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В МАССИВНЫХ И ПЛЕНОЧНЫХ ХАЛЬКОГЕНИДАХ СВИНЦА ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С КИСЛОРОДОМ. PEDAGOG, 5(7), 22-25.
8. Онаркулов, К. Э., & Омонов, Б. У. (2023). КИНЕТИКА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, 3(4), 394-402.