

KO'P KOMPOONENTLI QATTIQ JISMLARNING NOMAHALLIY VA ARALASH O'TKAZUVCHANLIK HUDUDIDA N-TIPLI VISMUT VA SURMA XALKOGENIDLARI ASOSIDA TERMOELEKTRIK ERITMALAR XOSSALARINI O'RGANISH

**Onarqulov Karimberdi Egamberdiyevich*

***Jakbaraliyeva Surayyoxon Anvarjon qizi*

**fizika-matematika fan doktori, FarDu fizika-texnika fakulteti professori*

***FarDU fizika texnika fakulteti II kurs magistranti*

@surayyoxon1000@mail.ru

Annotatsiya: Ko'p komponentli qattiq jismlarning nomahalliy va aralash o'tkazuvchanlik hududida n-tipli vismut va surma xalkogenidlari asosida termoelektrik eritmalar xossalari o'rganilgan. maqolada qattiq eritma sifatida $Bi_{2-x}Sb_xTe_{3-y-z}Se_yS_z$ dan foydalanilgan.

Kalit so'zlar: termoelektrik, qattiq eritma, zalkogenit, eritma konsentratsiyasi, n-tip, elektr o'tkazuvchanlik, kristallanish, fonon, Wiedemann-Franz qonuni, katyon.

$Bi_{2-x}Sb_xTe_{3-y-z}Se_yS_z$ qattiq eritmalarining termoelektrik xossalari 300–450 K harorat oralig'ida o'rganiladi. Quyida keltirilganidek, atomlar sonining ko'payishi bilan qattiq eritma hosil bo'lishi paytida ikkala pastki panjara almashtirishda ishtirok etadi, termoelektrning maksimal haroratga bog'liqligi va issiqlik o'tkazuvchanligining haroratga bog'liqligining minimal darajasi yuqori haroratlarga o'tkaziladi, bu tarmoqli bo'shlig'ining ortishi bilan bog'liq.

Xuddi shu tarkibdagi qattiq eritma namunalarida tashuvchi konsentratsiyasining oshishi bilan siljish kuzatiladi yuqori haroratlar hududiga aralash o'tkazuvchanlikning boshlanishi, natijada belgilangan haroratda issiqlik o'tkazuvchanligining qo'shimcha pasayishi kuzatiladi.

Qattiq eritmalarda termoelektrik xossalarning haroratga bog'liqligi $Bi_{2-x}Sb_xTe_{3-y-z}Se_yS_z$ maksimal termoelektrik ko'rsatkichning ko'proq hududga o'zgarishiga olib keladi. almashtirishda ishtirok etadigan atomlar sonining ko'payishi bilan yuqori haroratlar.

KIRISH

Vismut va surma xalkogenidlarining qattiq eritmaları 77 - 620K harorat oralig'ida foydalanish mumkin bo'lgan termoelektrik materialdir. Ushbu materiallar sovutish va haroratni barqarorlashtiruvchi qurilmalarda termoelektr generatorlar

sifatida qo'llaniladi. Ushbu materiallarni qo'llashning bunday keng doirada qo'llashga imkoniyat bergan omil bu eritmaning tarkibi va zaryad tashuvchilar konsentratsiyasining o'zgarishi tufayli termoelektrik xususiyatlarni nazorat qila olish mumkinligidir. Bunda eng katta qiziqish n-tip asosidagi materiallardan vismut telluridi, unda ikkinchi komponent izomorf sifatida (Sb_2Te_3 , Bi_2Se_3) ishlatiladi. va izomorf bo'lmagan (Bi_2S_3 , Sb_2S_3 , Sb_2Se_3) birikmalar qo'llaniladi. Bi_2Te_3 dagi bu birikmalarning eruvchanlik chegaralari sezilarli darajada farqlanadi - 10 mol.% Bi_2S_3 va Sb_2S_3 dan 100 mol.% gacha Bi_2Se_3 va Sb_2Te_3 . O'rganish Bi_2Te_3 ning murakkab (ko'p komponentli) o'rnini bosuvchi qattiq eritmalar eruvchanligini ko'rsatadi, umumiy formulasi $\text{Bi}_{2-x}\text{Sb}_x\text{Te}_{3-y-z}\text{Se}_y\text{S}_z$ sifatida ifodalanadi, Te atomlari Se va S atomlari bilan almashtirilganda ($y = z$ da), oltingugurtning eruvchanligi 50% dan ortiqroq ortadi, bu qiymatda $\text{Bi}_2\text{Te}_3 - z\text{S}_z$ ga ega bo'lamiz. Bu holat tadqiqot sohasini sezilarli darajada kengaytirish imkonini berdi, bu qattiq eritmalar y/z nisbatini o'zgartirish qobiliyati bilan ham osonlashdi. Chunki oltingugurt atomining massasi (shuningdek, uning kovalent radiusi) $\text{S} \rightarrow \text{Te}$ almashtirishli qattiq eritmalar tellur atomi uchun ushbu qiymatlardan sezilarli darajada farq qiladi, a va c panjara parametrlaridagi yaqqol o'zgarishlar bilan bir qatorda, bu kabi parametrlarning o'zgarishi harakatchanlik va zaryad tashuvchilarning samarali massasi, shuningdek, kristall panjaraning issiqlik o'tkazuvchanligi ham arqlanadi. Ushbu o'zgarishlar $\text{Bi}_2\text{Te}_3 - y\text{Se}_y$ tizimida, z ning kichik qiymatlarida Z ning termoelektrik figurasiga bog'liqligida keskinroq aks etadi, 300 K dagi qattiq eritmaning tarkibi maksimal qiymatga ega bo'lib, uning qiymati maksimal Z dan farq qilmaydi. Biroq $\text{Bi}_2\text{Te}_3 - z\text{S}_z$ da Z maksimal $z = 0,06-0,09$ bo'lganda, $\text{Bi}_2\text{Te}_3 - y\text{Se}_y$ dagi Z maksimal joylashgan bo'lsa $\text{Se} - y = 0,3$ da atomlarining ancha yuqori konsentratsiyasi kuzatiladi. $\text{Se}, \text{S} \rightarrow \text{Te}$ atomlarini 300 K da almashtirishda Z qiymatini belgilovchi parametrlarning o'zgarishi $y + z = 0,24$ da maksimal $Z = (3,0-3,1) \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ ga olib keladi. Atomlar sonining yanada ko'payishi, qattiq jismni hosil qilishda ishtirok etadi, bu jarayon $\text{Bi}_2\text{Te}_3 - y - z \text{Se}_y\text{S}_z$ eritmasi kamayishiga olib keladi quvvat parametri $a^2\sigma$ (a - issiqlik quvvati koeffitsienti, σ - elektr o'tkazuvchanligi) va kristall panjaraning issiqlik o'tkazuvchanligining k_L ga ortishi $x + y > 0,45$. k_L ning oshishi besh qatlamliligi to'plamida tufayli yuzaga keladi $\text{Te}^{(1)} - \text{Bi} - \text{Te}^{(2)} - \text{Bi} - \text{Te}^{(1)}$, bu barcha $\text{Te}^{(2)}$ atomlari S va Se bilan almashtirilganda paydo bo'ladi. $\text{Bi}_2\text{Te}_3 - y\text{Se}_y$ qattiq eritma tizimidagi bu tarmoqli bo'shlig'i kenglikning oshishiga olib keldi, masalan, $0 < y < 1$ oralig'ida Se konsentratsiyasining o'zgaradi. $\text{Bi}_2\text{Te}_3 - y - z \text{Se}_y\text{S}_z$ qattiq eritmalar sistemasida qiymatini hisoblash. elektr o'tkazuvchanligi, issiqlik quvvati koeffitsienti va issiqlik o'tkazuvchanligining o'lchangan haroratga bog'liqligi nomahalliy va aralash o'tkazuvchanlik nuqtasida 300 K da $y = z = 0,3$ uchun qiymatni ko'rsatdi. masalan, $E_g = 0,2 \text{ eV}$ va harorat koeffitsientining qiymati $dE_g/dT = -0,8 \cdot 10^{-4} \text{ eV/K}$ ga teng bo'ldi. Z ning yuqori qiymatlarini va 300 K da E_g qiymatini hisobga olgan holda, 300–450 K

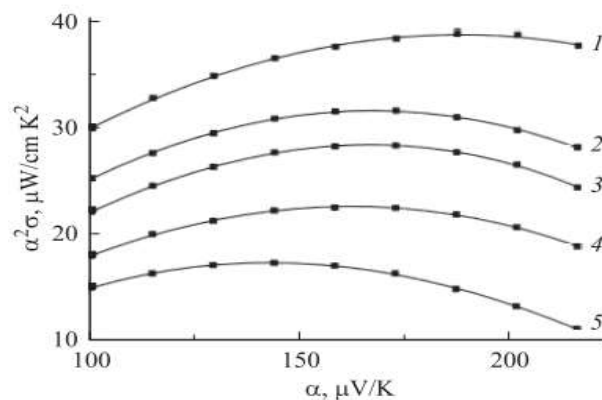
harorat oralig'ida diapazondagi termoelektrik ko'rsatkichni aniqlaydigan parametrlarning haroratga bog'liqligi o'rganildi. Bu interval past potentsial issiqlikning tabiiy va texnik manbalaridan foydalanadigan termogeneratorlar uchun qiziqish uyg'otadi. Haroratga bog'liqliklarni o'lchash natijalari elektr o'tkazuvchanligi, issiqlik o'tkazuvchanligi va koeffitsienti bu haroratlarda termoenergetika qattiq eritmada Se va S atomlari konsentratsiyasining oshishi bilan ekanligini ko'rsatdi (namunalar $y = z = 0,15, 0,30$ da o'lchandi), bunda maksimal samaradorlik ko'proq mintaqaga o'tkaziladi yuqori harorat va uning qiymati kamayadi. $y = z$ da doimiy maksimal Z qiymatini va dopant konsentratsiyasi o'rnini o'zgartirish orqali ham o'zgartirishingiz mumkin. Olingan samaradorlik qiymatlari termogeneratorlar uchun ushbu materialarni tadqiq qilish va past potentsial issiqlikdan foydalanish istiqbollarni ko'rsatdi. Keyinchalik vismut va surma xalkogenidlari asosidagi qattiq eritmalar tarkibining murakkablashishi vismut telluridining (Sb - Bi) katyonik pastki panjarasidagi atomlarni almashtirish bilan ham amalga oshishi mumkin. $Bi_2Te_{3-y-z}Se_yS_z$ qattiq eritmalarini tadqiq qilish natijalarini hisobga olgan holda, Sb atomlari birikmalarga mos keladigan Sb_2Se_3 va Sb_2S_3 nisbatlarda kiritiladi. Bu birikmalarning eruvchanligi qattiq eritmalar hosil qilish $Bi_{2-x}Sb_xTe_{3-y-z}Se_yS_z$ $y + z = 0,9$ nuqtasidagi kompozitsiyalarni o'rganish imkonini beradi, $x = 0,6$, bu erda tarmoqli bo'shlig'i vismut tellurididagi E_g bilan solishtirganda ortishi mumkin. Termoelektrik xususiyatlarni o'rganish natijalarida 300 Kda qattiq eritmalar $Bi_{2-x}Sb_xTe_{3-y-z}Se_yS_z$ olindi, $a(\sigma)$ bog'liqliklari o'xshashligini ko'rsatdi, $Bi_{2-x}Sb_xTe_{3-y-z}Se_yS_z$ qattiq eritmalarida kuzatiladi, bunda faqat anion pastki panjarasida atomlarni almashtirish amalga oshiriladi. Kristal panjaraning issiqlik o'tkazuvchanligi tarkibiga bog'liqligining harakati $Bi_{2-x}Sb_xTe_{3-y-z}Se_yS_z$ qiziqarli xususiyatga ega. Bu xususiyat tizimdagi bunday minimumga o'xshash minimal KB yo'qligidan iborat $Bi_{2-x}Sb_xTe_{3-y-z}Se_yS_z$ va yuqorida qayd etilganidek, bog'langan $y + z = 1$ nuqtada tartib mavjud. Tizimda ning $Bi_{2-x}Sb_xTe_{3-y-z}Se_yS_z$ qattiq eritmalarini, Sb atomlari kvintetning ikkita ekvivalent qatlamida Bi atomlarini almashtiradi, shuning uchun kvintetning bir butun sifatida tartiblanishi sodir bo'lmaydi. Bu holat qattiq jismda Sb atomlari konsentratsiyasining oshishi bilan K_L qiymatining pasayishiga olib keladi $Bi_{2-x}Sb_xTe_{3-y-z}Se_yS_z$ namunalari bilan solishtirganda eritma. Xuddi shu tashuvchining konsentratsiyasida hisoblangan $y = z = 0,3$ da namunalardagi bunday pasayish 15% ni tashkil qiladi va $y = z = 0,45$ da u 45% ga etadi termoelektrik xususiyatlarning yuqoridagi o'lchovlari natijalari asos bo'ldi qattiq eritmalar tizimini keyingi tadqiqotlar $Bi_{2-x}Sb_xTe_{3-y-z}Se_yS_z$. Ushbu maqolada biz ushbu tizimning termoelektrik xususiyatlarini, harorat diapazoni 300–450 K va uni t mumkin bo'lgan n-tipli material sifatida yordamida past darajadagi issiqlikdan foydalanish uchun termoelektrik generatorlari yaratishni ko'rib chiqamiz.

EKSPERIMENTAL TEXNIKA

Termoelektrik xususiyatlarni o'rganish uchun $0 < y + z < 0,9$, $0 < x < 0,6$ da $\text{Bi}_{2-x}\text{Sb}_x\text{Te}_{3-y-z}\text{Se}_y\text{S}_z$ qattiq eritma kompozitsiyalari tayyorlandi. Boshlang'ich materiallar tozaligi 99,999% vismut, surma va tellur edi, shuningdek HF darajali selen va oltingugurt materiallarni qotishmasi kadmiy xlorid yordamida amalga oshirildi. Kristallanish usullari bilan – vertical zonani tekislash yo'nalishida namunalari olindi. Kristallanish tezligi va kristallanish jadalligi harorat gradient kontsentratsiyaga ega bo'lgan shart-sharoitlarida hipotermiya sodir bo'lmadi. Bu usulga parchalanish tekisliklari bir nechta monokristalli bloklardan tashkil topgan namunalarni olish kristall o'sish yo'nalishiga to'g'ri keladi deb ruxsat berdi. Kristallanish natijasida uzunligi 110-130 va 7-9 mm diametrligi bo'lgan ingotlar yordamida kesilgan 10-15 mm uzunlikdagi namunalarga elektr uchqun kesish qabul qildi. Elektr o'tkazuvchanligi, issiqlik o'tkazuvchanligi o'lchovlari va issiqlik quvvati koeffitsienti bilan birga olib borildi va ular bo'ylab elektr toki va issiqlik oqimi yo'naltirildi. Bu parametrlardagi barcha o'lchashlar to'g'ridan-to'g'ri oqimda amalga oshirildi.

TAJIRIBA NATIJALARI VA ULARNING MUHOKAMASI

$\text{Bi}_{2-x}\text{Sb}_x\text{Te}_{3-y-z}\text{Se}_y\text{S}_z$ tizimning turli tarkibi uchun $\alpha^2\sigma$ quvvat omilining α termoelektr quvvatiga bog'liqligi 1-rasmda ko'rsatilgan, undan ko'rinib turibdiki, qattiq eritma hosil bo'lishida almashtirishda ishtirok etadigan atomlar sonining ko'payishi bilan, bu parametr kamayadi. Qabul qilingan bog'liqliklar odatda $(m/m_0)^{3/2}\mu_0$ miqdorini hisoblash uchun ishlatiladi (m va μ_0 - tashuvchilarning samarali massasi va harakatchanligi degeneratsiyani hisobga olgan holda zaryad, m_0 - erkin elektron massasi), kristall panjaraning issiqlik o'tkazuvchanligi k_L bilan birgalikda Z ning termoelektrik figurasiga bog'liqligini tahlil qilishda foydalaniladi, zaryad va fonon tashuvchilarning tarqalishi bilan aniqlanadi, shuningdek, tarmoqli tuzilishining xususiyatlari materiallar: $Z \sim (m/m_0)^{3/2}\mu_0 k_L^{-1}$.



1-rasm. 300 K da $\text{Bi}_{2-x}\text{Sb}_x\text{Te}_{3-y-z}\text{Se}_y\text{S}_z$ quvvat omilining termoenergetika omiliga bog'liqligi. 1 — $x = 0.12$, $y = z = 0.09$, 2 — $x = 0.2$, $y = z = 0.15$, 3 — $x = 0.3$, $y = z = 0.225$, 4 — $x = 0.4$, $y = z = 0.3$, 5 — $x = 0.6$, $y = z = 0.45$.

Ushbu ifodaga kiritilgan miqdorlarni hisoblashda α , σ va jami qiymatlardan issiqlik o'tkazuvchanligi k ($k = k_L + k_e$, bu erda k_e - elektron issiqlik o'tkazuvchanligi, uning qiymati Wiedemann-Franz qonuniga ko'ra, 10-15% ni tashkil etdi, nomahalliy o'tkazuvchanligi hududida k_L qiymati bo'yicha) asosiy tarqalish mexanizmi deb taxmin qilingan kristall panjaraning akustik tebranishlari bilan tashuvchilarning tarqalishidir. Ushbu holatda tarqalish parametrining qiymati $r = -0,5$ (r – indeks daraja energiya erkinlik vaqtiga bog'liq: $\tau = \tau_0 \varepsilon^r$). Qiymat $(m/m_0)^{3/2} \mu_0$ hisoblanishi mumkin tashuvchi kontsentratsiyasi uchun ifodalar yordamida n ixtiyoriy bo'lsa, α termoquvvat koeffitsienti degeneratsiyasi

$$n = \frac{4(2\pi m k_0 T)^{3/2}}{\sqrt{\pi} h^3} F_{1/2}(\eta, r), \quad (1)$$

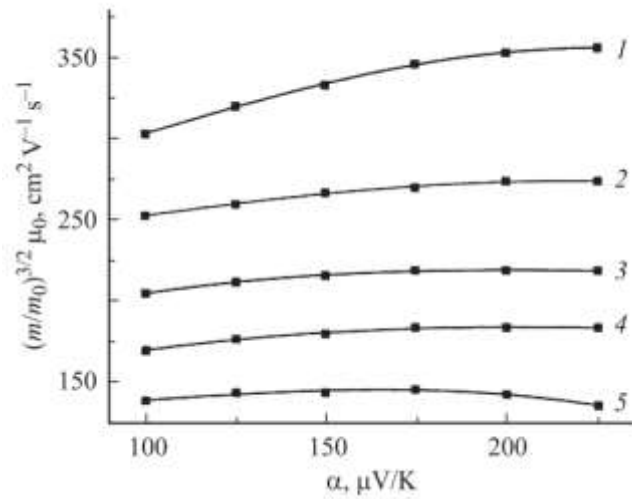
$$\alpha = \frac{k_0}{e} \left[\frac{(2r+5)}{(2r+3)} \right] \frac{F_{r+\frac{3}{2}}(\eta)}{F_{r+\frac{1}{2}}(\eta)} \quad (2)$$

$\sigma = en\mu$ munosabati, bu erda μ - kamaytirilgan kimyoviy potentsial, $F_r(\eta)$ - Fermi funktsiyasi

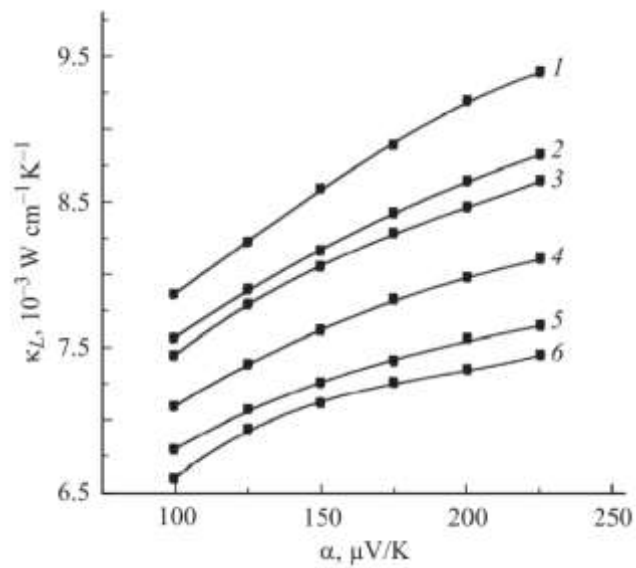
$$F_r(\eta) = \int_0^\infty x^r [\exp(x - \eta) + 1]^{-1} dx \quad (3)$$

2-rasmda keltirilgan bog'liqlik $(m/m_0)^{3/2} \mu_0$ α dan shuni ko'rsatadiki, atomlar sonining ko'payishi bilan, almashtirishda ishtirok etayotgan $(m/m_0)^{3/2} \mu_0$ ning iymati kamayadi. X, y, z ning kichik qiymatlari mintaqasida bu pasayish $(m/m_0)^{3/2} \mu_0 \sim m^{-1}$, $\text{Bi}_2\text{Te}_{3-y}\text{Se}_y$ da $y = 0,3$ gacha kuzatiladi. Y ning yanada oshishi bilan samarali massa ahamiyatsiz o'zgaradi, shuning uchun Se atomlari tomonidan tashuvchining tarqalishining ta'siri zarur, bu esa harakatchanlikning pasayishiga olib keladi. Bunda o'xshash xarakterli atomlarning ta'sirini yanada murakkabroq kuzatish mumkin, har ikkala pastki panjarada almashtirilganda qattiq eritmalar vismut telluride kuzatiladi. 2-rasmdan shu ko'rinadiki, $x = 0,6$ da, $y + z = 0,9$ qiymati $(m/m_0)^{3/2} \mu_0$ 2 baravar ko'proq kamayadi, ushbu $x = 0,12$, $y + z = 0,18$ qiymatdan ko'ra.

3-rasmda 300 K da $\text{Bi}_{2-x}\text{Sb}_x\text{Te}_{3-y-z}\text{Se}_y\text{S}_z$ qattiq eritmalarining turli tarkibi uchun termoquvvat koeffitsienti bo'yicha kristall panjara bo'yicha issiqlik o'tkazuvchanligining bog'liqliklarini ko'rsatadi. Barcha o'rganilgan kompozitsiyalarning namunalari uchun k_L qiymatlari, chunki termoelektr quvvati pasayganda (ya'ni, zaryad tashuvchilar kontsentratsiyasining ortishi) kamayishi kuzatiladi, bu fononlarning zaryadlangan aralashmalar bilan tarqalishi bilan bog'liq.



2-rasm. 300 K da $Bi_{2-x}Sb_xTe_{3-y-z}Se_yS_z$ $(m/m_0)^{3/2}\mu_0$ ning koeffitsient bo'yicha $(m/m_0)^{3/2}\mu_0$ bog'liqlik grafiği.



3-rasm. Kristal panjaraning issiqlik o'tkazuvchanligining 300K da $Bi_{2-x}Sb_xTe_{3-y-z}Se_yS_z$ dagi termoquvvat koeffitsientiga bog'liqligi. 1 — $x = 0.12, y = z = 0.09$, 2 — $x = 0.2, y = z = 0.15$, 3 — $x = 0.3, y = 0.3, z = 0.15$, 4 — $x = 0.3, y = z = 0.225$, 5 — $x = 0.4, y = z = 0.3$, 6 — $x = 0.6, y = z = 0.45$.

Teng qiymatlarda k_L qiymati termoquvvat x, y, z ortishi bilan kamayadi, lekin $x > 0.4, y + z > 0.6$ uchun bu pasayish to'xtaydi, shu sabab bilan qisqa to'lqin uzunlikdagi barcha fononlarning Sb, Se va S atomlari tomonidan tarqalishi natijasida yutilishi kuzatiladi. $y/z = 1$ va 2 bo'lgan kompozitsiyalardagi k_L qiymatlarini taqqoslash shuni ko'rsatdiki, kattaroq soniga nisbatan oltingugurt atomlari soni $y/z = 1$ da tarkibdagi selen atomlarini aniqlaydi, butun o'rganilgan tashuvchi konsentratsiyasida k_L ning past qiymati kuzatiladi (3-rasmdagi 3, 4 egri chiziqlar). O'xshash y/z nisbatlarda k_L bog'liqliklarining xarakteri Se atomlarining past konsentratsiyasi mintaqasida ham

kuzatiladi va S, aralashmalarning qo'shimcha ta'sirimumkin bo'lgan joyda, qachon ular tomonidan kiritilgan termal qarshiliklar aniqlanda faqat almashtirishda ishtirok etuvchi atomlarning parametrlari qattiq eritma hosil bo'lganda (bu atomlar tomonidan buzilgan kristall hududlarining kesishishi yo'q).

XULOSA

Haroratga bog'liqliklarni solishtirish termoelektrikni aniqlaydigan parametrlar ko'p komponentli qattiq eritmalarida samaradorlik beradi. Bunda keltirilgan ish, $Bi_{2-x}Sb_xTe_{3-y-z}Se_yS_z$ ga ko'ra, 300-450 K harorat oralig'ida o'zgarishlarning tabiatiga bog'liqligi muhim emas. Ko'rinib turibdiki, hal qiluvchi omil anion pastki panjarasidagi atomlarning almashinishi, Se va S atomlarining birgalikdagi ta'siri kichik y va z mintaqasida kristall panjaraning issiqlik o'tkazuvchanligining keskin pasayishiga olib keladi. Shu bilan birga kationik pastki panjaraga Sb atomlarining kiritilishi hisobiga k_L ning qo'shimcha pasayishi vujudga keladi. Nomahalliy o'tkazuvchanligi hududi $Bi_{2-x}Sb_xTe_{3-y-z}Se_yS_z$ o'rganilgan kompozitsiyalar oralig'idadir. zarur. Nomahalliylik hududida k_L qiymatlarini unutmagan holda ikkala tizimning qattiq eritmalarida o'tkazuvchanlik $y = 2z$ da qattiq eritmalar yuqori, $y = z$ dagi k_L qiymatlaridan iborat bo'ladi. Bu holat $Bi_{2-x}Sb_xTe_{3-y-z}Se_yS_z$ ga qo'shimcha ekanligidan dalolat beradi, Sb ning kiritilishi Se va S atomlarining nisbiy hissalariga sezilarli ta'sir ko'rsatmaydi. Kuzatilgan $Bi_{2-x}Sb_xTe_{3-y-z}Se_yS_z$ elektr o'tkazuvchanligining pasayishi harorat oshishi bilan sekinroq o'zgaradi, $Bi_{2-x}Sb_xTe_{3-y-z}Se_yS_z$ da bu tashuvchining tarqalishi bilan bog'liq, bu ham kationik pastki panjarada atomlarni almashtirish paytida paydo bo'ladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. B.M. Goltsman, V.A. Kudinov, I.A. Smirnov. Bi_2Te_3 asosidagi yarimo'tkazgichli termoelektrik materiallar. Fan, M. (1972). 320 p.
2. V.A. Kutasov, L.N. Lukyanov. FTT 38, 2366 (1996).
3. Ch.D. Bekdurdiev, B.M. Goltsman, V.A. Kutasov, A.V. Petr rov. FTT 16, 2121 (1974).
4. V.A. Kutasov, L.N. Lukyanov. Hisobot IX Davlatlararo seminar "Termoelektriklar va ularning qo'llanilishi". Sankt-Peterburg(2004). S. 63.
5. B.M. Goltsman, G.N. Ikonnikova, V.A. Kutasov, Yu.I. Ravich. FTT 27, 334 (1985).
6. Nabiev Makhmud Bozorovich, Khomidzhonov Zukhriddin Mayrufjon Ugli, Latipova Mukhayyo Ibragimjanovna, Abdullaev Abduvokhid Abdugappar O'gli, Ergashev Komiljon Ravshan O'gli, Rakhimov Mirkamol Farkhodjon O'gli Obtaining and researching of thermoelectric semiconductor materials for high-efficiency thermoelectric generators with an increased efficiency coefficient // Проблемы Науки. 2019. No12-2 (145).
7. Набиев М.Б., Усмонов Я. и др. Легирование термоэлектрического материала $Bi_2Te_3-Bi_2Se_3$. -Фундаментальные и прикладные проблемы науки. Том 4. Материалы ВИИИМеждународного симпозиума. -М.: РАН, 2013