Materiallar to'plami · Conference Proceedings
"ZAMONAVIY TADQIQOTLAR VA BARQAROR RIVOJLANISH" respublika ilmiy-amaliy konferensiyasi
04 August 2026
ANIQ FANLAR

Bi2Te3 QOTISHMASINI STEXIOMETRIYADAN OG'ISH XUSUSIYATI

Kizlarxon Isroilnovna G'aynazarova[a,*], E'tiborxon Foziljon qizi Xamdamova[b]
[a] *Farg'ona davlat universiteti dotsenti*
[b] *Farg'ona davlat universiteti tayanch doktoranti*
✉ xamdamovaetiborxon@gmail.com

ANNOTATSIYA

Ushbu maqolada Bi2Te3 qotishmasini stexiometriyadan og'ish xususiyati haqida yoritilgan.

Kalit so'zlar

vismut tellurid, kvazi-stexiometrik, termoelektrik materiallar.

DOI: 10.5281/zenodo.21743858

Kirish

Vismut telluridi asosidagi materiallardagi nuqsonlar va aralashmalarning xatti-harakatlarini o'rganish bir necha nuqtai nazardan qiziqish uyg'otadi.

Birinchidan, ushbu materiallarning maksimal termoelektrik samaradorligi kirishma sifatida kiritilayotgan kirishmalarning ma'lum bir konsentratsiyasiga (10^{19}-$10^{20}$$sm^{-3}$) bog'liq. Tashuvchilar konsentratsiyasi, shuningdek, tashqi aralashmalar va nuqsonlarga bevosita bog'liq.Termoelektrik materiallarning eng muhim xususiyatlaridan biri bo'lgan xususiyatlarning vaqt davomida barqarorligi, aralashmalar va nuqsonlar termoelementning ishchi haroratida muvozanatga yaqin holatda bo'lishiga va aralashmalarning atrof-muhit bilan o'zaro ta'siriga bog'liq. Legirlash ta'siriga qo'shimcha ravishda, nuqsonlar va aralashmalarning zaryad tashuvchilari va fononlari sochiladi, bu esa elektr va issiqlik o'tkazuvchanligiga sezilarli ta'sir qiladi.

Vismut tellurida mavjudligini kutish mumkin bo'lgan quyidagi turdagi nuqsonlarni qayd etamiz. Nuqta nuqsonlari: tellur va vismut vakansiyalari; oraliqlarda bu elementlarning atomlari; tuzilishga qarshi nuqsonlar (tellur joylarida vismut atomlari va aksincha); keyin vismut, tellur va oraliqlarda nopoklik atomlari; "vakansiya-nopoklik atomi" tipidagi komplekslar va undan murakkab shakllanishlar. Kengaytirilgan nuqsonlar: dislokatsiyalar; blok va don chegaralari; mikro yoriqlar; noto'g'ri yo'naltirilgan donalar; konsentratsiyaning geterogenligi. Shunga o'xshash turdagi nuqsonlar Bi_2Te_3 ga asoslangan qattiq eritmalarda mavjud bo'lishi mumkin. Ko'rib chiqilayotgan materiallar nuqsonlarning shakllanishiga juda moyil. Bunga ularning fazaviy diagrammalarida stexiometriyaning siljishidir.

Bi_2Te_3 past haroratli TE materiallariga tegishli bo'lganligi sababli, stexiometriyadan chetga chiqish nafaqat xona haroratida, balki past haroratlarda ham xususiyatlarga qanday ta'sir qilishini bilish kerak.

Ma'lumki, Bi_2Te_3 Bi-Te tizimida tor bir xillik mintaqasiga ega va stexiometriyadan og'ish xususiyatiga qarab, p yoki n-turdagi o'tkazuvchanlikni namoyon qilishi mumkin. Stexiometriyadan og'ish sharoitida kristall panjarada strukturaviy nuqsonlar hosil bo'ladi. Odatda, stexiometriyadan ham Te ning ortiqcha qismiga, ham Bi ning ortiqcha qismiga og'ish holatida asosiy nuqsonlar mos ravishda TeBi va BiTe antisit nuqsonlari hisoblanadi. Stexiometrik Bi_2Te_3 (60.0 at. % Te) suyuqlik va solidus egri chiziqlaridagi maksimalning Bi ga boy tomonga siljishi va antisit BiTe nuqsonlarining mavjudligi tufayli p tipidagi o'tkazuvchanlikni namoyon etadi.

Bi_2Te_3 ning o‘tkazuvchanlik turi va xususiyatlarini boshqarish usullaridan biri bu birikmaning stexiometriyasini o‘zgartirishdir.

Stexiometrik Bi_2Te_3 va Bi_2Te_3 aralashmalari bilan kinetik xususiyatlariga bag‘ishlangan ko‘plab ishlarga qaramay ushbu materialdagi TE hodisalariga stexiometriyadan og‘ishning ta’siri bo‘yicha tadqiqotlar ancha kam. Mavjud ishlarda faqat monokristallar o‘rganilgan, bundan tashqari mualliflar turli haroratlarda TE xususiyatlarining stexiometriyaga bog‘liqligini o‘lchamagan.

Vismut va tellur stexiometrik nisbatda qotishtirilganda, Bi_2Te_3 namunalari har doim p-tipli bo‘lib chiqadi va zaryad tashuvchilarning yuqori konsentratsiyasiga ega ($p \approx 10^{19} sm^{-3}$). Sattervhite va Ure elektr xususiyatlarini o‘lchash natijasida Bi_2Te_3 tarkibiga yaqin faza diagrammasini tuzdilar va birikmaning erish nuqtasi ortiqcha Bi tomon siljishini aniqladilar. Offergeld va Kakenberg differensial termal tahlildan foydalanib, bunday kvazistexiometrik vismut telluridi quyidagi tarkibga ega ekanligini ko‘rsatdi:

$$Bi_2Te_3 \begin{cases} Bi - 40,065 \pm 0,015 at.\% \\ Te - 59,939 \pm 0,015 at.\% \end{cases}$$

Ularning ma’lumotlariga ko‘ra, stexiometriyadan og‘ish Bi_2Se_3 va Sb_2Te_3 da ham kuzatiladi. Komponentlarning “stexiometrik miqdorlarini” qotishganda, bu birikmalar quyidagi tarkibga ega:

$$Bi_2Se_3 \begin{cases} Bi - 40,02 \pm 0,01 at.\% \\ Se - 59,98 \pm 0,01 at.\% \end{cases}$$

$$Sb_2Te_3 \begin{cases} Sb - 40,4 \pm 0,05 at.\% \\ Te - 59,6 \pm 0,05 at.\% \end{cases}$$

Shunday qilib, har uchta birikmada kvazi-stexiometrik namunalar ko‘proq elektronegativ elementning ortiqcha miqdoriga ega, bu esa donor yoki akseptor markazlarning shakllanishiga olib kelishi mumkin. A_xB_y formulali birikmalarda ortiqcha atomlar kristallda uchta usulda joylashadi.

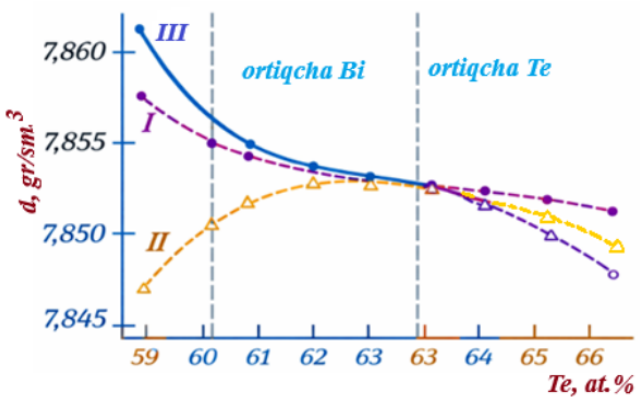
1.Tugunlar orasidagi joylarda (A_i yoki B_i).

2.Panjaraning oddiy joylarida vakansiyalar shakllanadi. Bunda A(A_A) joylaridagi n ta ortiqcha A atomi B (B_v) joylarida *ny/x* bo‘sh o‘rinlarni beradi va xuddi shunday, B (B_B) joylaridagi m ortiqcha aniq atomlar A(V_A) joylarida *mx/y* bo‘sh o‘rinlarni beradi.

3. Antituzilma tipidagi nuqson hosil bo‘lib, unda, masalan, A atomlari B atomlari o‘rnida joylashgan. Bunda nx/(x+y) miqdoridagi A tipidagi n ta ortiqcha atom panjaraning normal joylarida (A_A) joylashadi, qolgan qismi ny/(x + y) esa B(A_B) atomlarining o‘rnini egallaydi. Bi_2Te_3 dagi nuqsonlarning tabiati haqida qizg‘in bahs-munozaralar paydo bo‘ldi. Ba’zi mualliflar kvazistexiometrik namunalardagi teshiklarning yuqori kontsentratsiyasi $Te^{(2)}$ saytlarida bo‘sh ish o‘rinlari paydo bo‘lishi bilan bog‘liq deb ta’kidladilar, boshqalari buni antistrukturaviy turdagi nuqsonlarning hosil bo‘lishi bilan bog‘langan, bunda ortiqcha Bi atomlari $Te^{(2)}$ joylarda joylashgan.

Bu masala Miller va boshqalarning turli Te tarkibidagi eritmadan o‘stirilgan Bi_2Te_3 namunalarining zichligini aniq o‘lchash bo‘yicha tajribalari bilan oydinlashdi. Panjara konstantalari to‘g‘risidagi ma’lumotlardan Bi_2Te_3 rentgen zichligini juda aniq hisoblash va uni tajribada olingan qiymat bilan solishtirish mumkin. Agar ortiqcha Bi Te joylarini egallasa (nuqsonning antituzilma turi), u holda tajriba zichligi hisoblangan qiymatlardan oshib ketadi va aksincha, Te joylari ostidan bo‘sh o‘rinlar hosil bo‘lsa, o‘lchangan zichlik rentgen nurlarining zichligidan kam bo‘ladi.

1-rasmda Miller va boshqalarning Bi_2Te_3 namunalarining zichligi uchun namuna bilan muvozanatdagi eritmaning tarkibiga qarab gidrostatik tortish usuli yordamida o‘lchangan natijalari ko‘rsatilgan. I egri chiziq antistruktura modeli yordamida hisoblangan, II egri chiziq nuqsonlarning vakansiya modeli yordamida hisoblangan va III eksperimental tarzda olingan. Barcha egri chiziqlar 62,8 at. % Te nuqtada kesishadi. Bunday miqdordagi Te bilan eritmadan o‘stirilgan kristallar zaryad tashuvchilarning minimal konsentratsiyasiga ega , ularning zichligi panjara parametri bo‘yicha ma’lumotlardan hisoblangan zichlikka to‘g‘ri keladi ($d_0 = 7,8535$ g/sm^3). Bunday namunalar stexiometrik tarkibga ega deb taxmin qilishimiz mumkin. Te ning kamroq miqdori bo‘lgan eritmadan o‘stirilgan kristallar vismutga, ko‘proq miqdori esa tellurga boyitiladi.



1-rasm. t= 25 °C da turli xil tellur tarkibiga ega eritmadan o‘stirilgan Bi_2Te_3 monokristallarining zichligiga bog‘liqligi. Tajribaning aniqligi $\pm 2 \bullet 10^{-4} g/sm^3$.

1-rasmdagi ma’lumotlar ishonchli tarzda ko‘rsatadiki, antistrukturali nuqson modeli Bi ortiqcha bo‘lgan namunalar (shu jumladan, d-7,8588 g/sm^3 bo‘lgan kvazistexiometriklar, ko‘pincha eksperimentchilar tomonidan o‘rganiladi) uchun juda mos keladi. [127] da antistruktura nuqsonni hosil qilish energiyasi taxmin qilingan. Bu~0,4 eV ga teng bo‘lib chiqdi, bu Te bo‘sh joy hosil bo‘lish energiyasidan taxminan uch baravar kam (2.3 § ga qarang). Shunday qilib, antistruktura nuqsonning paydo bo‘lishi energiya jihatidan qulayroqdir.

Stexiometriyadan chetga chiqish issiqlik o‘tkazuvchanligiga va kristall panjara parametrlariga arzimas darajada ta’sir qiladi. Soonpaa umumiy qoidani taklif qildi. Agar panjara parametrlarining nisbati c/a =6,98212 ga teng bo‘lgan ma’lum bir tanqidiy qiymatdan kam bo‘lsa, namunalar p-tipli o‘tkazuvchanlikka ega (ortiqcha Bi), agar ko‘proq bo‘lsa n-turi (ortiqcha Te).

Xulosa

Shuni ta’kidlash kerakki, kvazi-stexiometrik namunalarning harakatchanligi (legirlangan va legirlanmagan) bir xil tashuvchi konsentratsiyasiga ega bo‘lgan haqiqiy stexiometrik Bi_2Te_3 kristallariga qaraganda ancha pastdir. Shuning uchun, Bi_2Te_3 va uning qattiq eritmalarini termoelektrik qo‘llash uchun namunalar tayyorlashda, samaradorlik parametrini Z oshirish uchun, birikma komponentlarining hisoblangan stexiometriyasiga nisbatan har doim ma’lum bir ortiqcha Te eritmasiga kiritiladi.

References

[1] *0.0.1. T.M.Azimov, K.I.Gaynazarova, M.K.Onarkulov, A.A.Yuldashev. Thermoelectric and Galvanomagnetic Properties of the Alloy Bi2Te3 + 0.04 Weight % Ni in the Temperature Range 77 ÷ 300 K / American Journal of Modern Physics. 2021. p. 124-128.*

[2] *0.0.2. Onarkulov K.E., Usmanov Ya., Gaynazarova K.I., Azimov T.M. Semiconductor sensor for detecting volume changes at low temperatures. // European Journal of Molecular & Clinical Medicine. – 2020. No. 7. – Pp. 2353 - 2358.*

[3] *0.0.3. Onarkulov K.E, Gaynazarova K. I., Tashlanova D.M. Osobennosti polucheniya termoelektricheskix splavov iz Bi2Te3 i Bi2Se3 Mejdunarodnыy nauchnыy jurnal, №10 (98), 2021, Tom 2 s.30-33.*

[4] . Axmedov, M. M., Gaynazarova, K. I., Kadirov, K. S., & Onarkulov, M. K. (2020). O ximicheskom

[5]. *G‘aynazarova Qizlarxon, Mamatqulova Dilnoza, Xamdamova E. Bi2BVI3 va Sb2BVI3 (BVISe,Te) asosidagi qattiq eritmalarining termoelektrik samaradorligini oshirishda panjara nuqsonlari va μ/χ nisbati ahamiyati Uzbek Journal of Science (UZJS) 2026.*