Ce VA Yb BILAN LEGIRLANGAN Bi_2Te_3 ASOSIDAGI TERMOELEKTRIK MATERIALLARNING ELEKTROFIZIK PARAMETRLARI QIYOSIY TAHLILI

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE ELECTROPHYSICAL PARAMETERS OF Ce- AND Yb-DOPED Bi_2Te_3-BASED THERMOELECTRIC MATERIALS

[1]Yusupova D.A., [2]Sirojiddinova S.Z.
[1]ORCID ID: 0000-0001-6602-250X, +99890 530 17 23, *Farg‘ona davlat universiteti*
[2]ORCID ID: 0009-0007-7261-8853, +99890 303 09 70, *Farg‘ona davlat universiteti*

Annotatsiya

Ushbu maqolada seriy (Ce) va itterbiy (Yb) qo‘shimchalarining Bi_2Te_3 asosidagi n-turdagi termoelektrik materiallarning elektrofizik va termoelektrik xossalariga ta’siri qiyosiy yondashuv asosida tahlil qilindi. Tadqiqot yangi eksperimental sintez natijalarini taqdim etishga emas, balki ochiq adabiyotlarda keltirilgan tajriba ma’lumotlarini ilmiy jihatdan umumlashtirish va taqqoslashga qaratildi. $Ce_{0.2}Bi_{1.8}Te_3$ namunasi uchun asosiy samaradorlik panjara issiqlik o‘tkazuvchanligining pasayishi va fonon sochilishining kuchayishi bilan bog‘liq bo‘lib, adabiyot ma’lumotlariga ko‘ra ZT qiymati 398 K atrofida 1,29 gacha yetadi. $Yb_{0.1}Bi_{1.9}Te_3$ tarkibida esa solishtirma elektr qarshilikning kamayishi, Seebeck koeffitsiyentining mutlaq qiymati va quvvat faktorining ortishi kuzatiladi. Yapryntsev va hammualliflari ishida Yb bilan legirlangan namuna uchun $\kappa(T)$ to‘liq keltirilmaganligi sababli, ushbu manba asosida ZT ni bevosita hisoblash cheklangan. Shu bois $Yb_xBi_{2-x}Te_3$ uchun ZT(T) bog‘liqligi Mamedov va hammualliflari tomonidan keltirilgan termoelektrik ma’lumotlar asosida izohlandi. Natijalar Ce qo‘shimchasi issiqlik transportini cheklash orqali ZT ni oshirishda, Yb qo‘shimchasi esa elektr transport parametrlarini yaxshilashda samaraliroq ekanini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar: *Bi_2Te_3; termoelektrik material; seriy; itterbiy; Seebeck koeffitsiyenti; elektr qarshilik; issiqlik o‘tkazuvchanligi; quvvat faktori; ZT.*

Abstract

In this article, the influence of cerium (Ce) and ytterbium (Yb) additives on the electrophysical and thermoelectric properties of Bi_2Te_3-based n-type thermoelectric materials was analyzed using a comparative approach. The study does not report new experimental synthesis results; instead, it summarizes and compares experimental data available in the literature. For $Ce_{0.2}Bi_{1.8}Te_3$, the main improvement is associated with enhanced phonon scattering and reduced lattice thermal conductivity, resulting in a reported ZT value of about 1.29 near 398 K. In $Yb_{0.1}Bi_{1.9}Te_3$, a decrease in electrical resistivity, an increase in the absolute value of the Seebeck coefficient, and an improvement in the power factor are observed. Since the thermal conductivity $\kappa(T)$ of the Yb-doped sample is not fully reported in the work of Yapryntsev et al., ZT cannot be directly calculated from that source alone. Therefore, the ZT(T) behavior of $Yb_xBi_{2-x}Te_3$ was discussed using the thermoelectric data reported by Mamedov et al. The results indicate that Ce doping is more effective in enhancing ZT through suppression of thermal transport, whereas Yb doping is more effective in improving electrical transport parameters. Further studies should compare Ce- and Yb-doped Bi_2Te_3 samples synthesized under identical experimental conditions with direct measurements of S(T), $\rho(T)$, $\kappa(T)$, PF(T), and ZT(T).

Keywords: *Bi_2Te_3; thermoelectric material; cerium; ytterbium; Seebeck coefficient; electrical resistivity; thermal conductivity; power factor; ZT.*

KIRISH

Termoelektrik materiallar issiqlik energiyasini elektr energiyasiga yoki aksincha, elektr energiyasini sovutish jarayoniga bevosita aylantira olishi bilan ahamiyatlidir. Bunday materiallarda mexanik harakatlanuvchi qismlar bo‘lmagani sababli ular ixcham sovutkichlar, mikroenergiya manbalari, sensorlar va past haroratli chiqindi issiqlikni qayta tiklash tizimlari uchun istiqbolli hisoblanadi [1–4].

Bi_2Te_3 va uning qattiq eritmalari xona haroratiga yaqin diapazonda eng ko‘p o‘rganilgan termoelektrik yarimo‘tkazgichlardan biridir. Uning qatlamli tetradimit tuzilishi, Van-der-Vaals bog‘lanishli kvintet qatlamlari va tor taqiqlangan zona kengligi elektr hamda issiqlik transportining o‘ziga xos xususiyatlarini belgilaydi [3,4].

Termoelektrik samaradorlik odatda o‘lchamsiz ZT ko‘rsatkichi bilan baholanadi:

$$ZT = \frac{S^2 \sigma T}{\kappa}$$

bu yerda S - Seebeck koeffitsiyenti, σ - elektr o‘tkazuvchanlik, ρ - solishtirma elektr qarshilik, T - absolyut harorat, κ - umumiy issiqlik o‘tkazuvchanligi.

PF - quvvat faktori bo‘lib, u

$$PF = S^2\sigma = \frac{S^2}{\rho}$$

formuladan aniqlanadi. Yuqori ZT ga erishish uchun |S| va σ ni oshirish, κ ni esa kamaytirish kerak. Biroq bu parametrlar o‘zaro bog‘langan: tashuvchilar konsentratsiyasining ortishi σ ni oshirishi mumkin, lekin ko‘pincha |S| ni pasaytiradi va elektron issiqlik o‘tkazuvchanligini kuchaytiradi [1,5].

Noyob yer elementlari bilan legirlash Bi_2Te_3 panjarasida massa farqi, radius farqi, lokal deformatsiya va nuqsonlar hosil qiladi. Bu omillar fonon sochilishini kuchaytirishi, panjara issiqlik o‘tkazuvchanligini kamaytirishi yoki elektr transport parametrlariga ta’sir qilishi mumkin [7–10]. Shu jihatdan Ce va Yb qo‘shimchalari alohida qiziqish uyg‘otadi: Ce ko‘proq issiqlik transportiga, Yb esa elektr transportiga ta’sir qilishi mumkin.

Ushbu ishning maqsadi - Ce va Yb bilan legirlangan Bi_2Te_3 asosidagi termoelektrik materiallarda Seebeck koeffitsiyenti, solishtirma elektr qarshilik, quvvat faktori va ZT ko‘rsatkichlarining o‘zgarishini qiyosiy tahlil qilish hamda mavjud manbalar asosida ilmiy jihatdan to‘g‘ri xulosalar chiqarishdir.

MATERIALLAR VA METODLAR

Maqola adabiyot ma’lumotlari asosidagi qiyosiy tahlil shaklida tayyorlandi. Asosiy solishtirilgan tarkiblar quyidagilardan iborat:

- Bi_2Te_3 - asosiy matritsa va nazorat namunasi;
- $Ce_{0.2}Bi_{1.8}Te_3$ - seriy bilan legirlangan vismut telluridi [7];
- $Yb_{0.1}Bi_{1.9}Te_3$ - itterbiy bilan legirlangan vismut telluridi [10].

Ce qo‘shimchasi bo‘yicha tahlil Wu va hammualliflarining $R_{0.2}Bi_{1.8}Te_3$ (R = Ce, Y, Sm) nanopowderlarini gidrotermal usulda sintez qilish va issiq presslash natijalariga tayandi [7]. Yb qo‘shimchasi bo‘yicha tahlil esa Yapryntsev va hammualliflarining Bi_2Te_3 hamda $R_{0.1}Bi_{1.9}Te_3$ (R = Er, Tm, Yb, Lu) namunalariga doir elektrofizik xossalar natijalariga asoslandi [10].

Grafiklar qayta chizishda adabiyotlarda berilgan eksperimental trendlar raqamlashtirildi va silliq interpolyatsiya qilindi. Qo‘shimcha nuqtalar yangi tajriba natijasi sifatida emas, balki e’lon qilingan egri chiziqlarning o‘qilishini yaxshilash va taqqoslashni aniqroq ko‘rsatish uchun kiritildi. Agar maqola jurnalga yuborilsa, manba mualliflarining raqamli ma’lumotlari yoki mualliflarning o‘z tajriba natijalari bilan almashtirish maqsadga muvofiq.

Taqqoslash quyidagi mezonlar asosida bajarildi: S(T), ρ(T), PF(T), κ(T) mavjudligi va ZT(T). Yb qo‘shimchasi bo‘yicha elektrofizik tahlil Yapryntsev va hammualliflarining Bi_2Te_3 hamda $R_{0.1}Bi_{1.9}Te_3$ (R = Er, Tm, Yb, Lu) namunalariga doir ρ(T) va S(T) natijalariga asoslandi [10]. Ushbu manbada Yb bilan legirlangan namuna uchun issiqlik o‘tkazuvchanligi κ(T) to‘liq keltirilmaganligi sababli, faqat [10] ma’lumotlari asosida Yb uchun ZT ni bevosita hisoblash ilmiy jihatdan yetarli emas. Shu sababli $Yb_xBi_{2-x}Te_3$ tarkibidagi ZT(T) bog‘liqligini ko‘rsatishda Mamedov va hammualliflari tomonidan keltirilgan $Yb_xBi_{2-x}Te_3$ kristallarining termoelektrik xossalari haqidagi ma’lumotlardan ham foydalanildi [11].

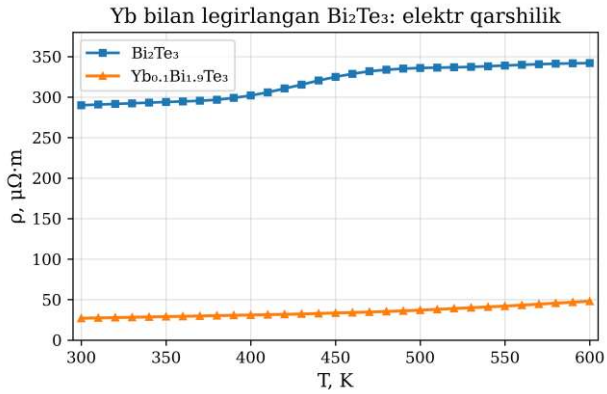
Demak, Yb bo‘yicha ρ(T), S(T) va PF(T) tahlili [10] asosida, ZT(T) esa [11] manbasidagi natijalar asosida berildi. ZT(T) bog‘liqligini qiyosiy baholash uchun Bi_2Te_3, $Ce_{0.2}Bi_{1.8}Te_3$ va $Yb_{0.1}Bi_{1.9}Te_3$ namunalariga oid adabiyotlarda keltirilgan eksperimental ma’lumotlardan foydalanildi. Grafikdagi belgilar adabiyot manbalaridan olingan yoki raqamlashtirilgan nuqtalarni, silliq chiziqlar esa Piecewise Cubic Hermite Interpolating Polynomial (PCHIP),ya’ni bo‘lakli kubik Ermit interpolyatsiya egri chiziqlarini ifodalaydi. Interpolyatsiya faqat vizual taqqoslashni qulaylashtirish maqsadida qo‘llanildi; asosiy ilmiy tahlil esa dastlabki eksperimental nuqtalar asosida olib borildi.

NATIJALAR VA MUHOKAMA

Ce bilan legirlangan Bi_2Te_3 materiallarida asosiy samarali mexanizm fonon sochilishining kuchayishi va panjara issiqlik o‘tkazuvchanligining kamayishi bilan bog‘liq. Ce atomining massasi va ion radiusi Bi atomidan farq qilgani uchun kristall panjarada lokal deformatsiya va nuqsonlar hosil bo‘ladi. Bunday nuqsonlar ayniqsa qisqa to‘lqinli fononlar harakatini cheklaydi va κ ning pasayishiga olib keladi.

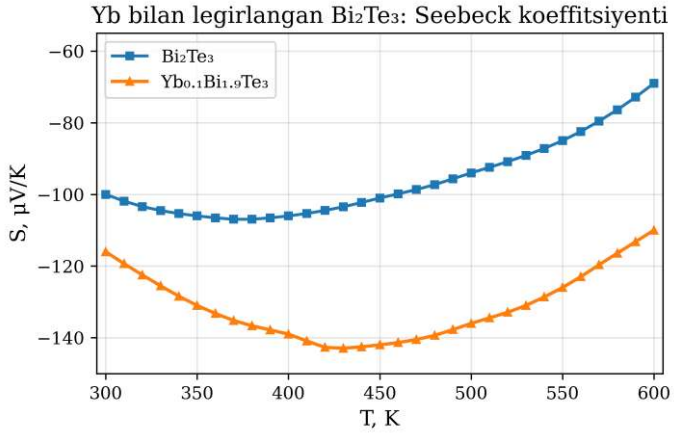
Wu va hammualliflari ko‘rsatganidek, Ce, Y va Sm bilan legirlangan $R_{0.2}Bi_{1.8}Te_3$ namunalarida Ce qo‘shimchasi eng samarali natija bergan. Ce qo‘shilishi elektr o‘tkazuvchanlik va Seebeck koeffitsiyentini keskin yaxshilamasa ham, issiqlik o‘tkazuvchanligini sezilarli kamaytirgan va natijada $Ce_{0.2}Bi_{1.8}Te_3$ uchun ZT qiymati 398 K yaqinida 1,29 ga yetgan [7].

Yb bilan legirlangan Bi_2Te_3 namunalarida asosiy o‘zgarish elektr transport parametrlarida kuzatiladi. Yapryntsev va hammualliflari Bi_2Te_3 hamda $R_{0.1}Bi_{1.9}Te_3$ (R = Er, Tm, Yb, Lu) tarkiblarini solvotermal-mikroto‘lqinli sintez, presslash va argon muhitida termik ishlov berish orqali tayyorlagan [10]. Mualliflar lanthanoid atomlarining Bi_2Te_3 panjarasiga kiritilishi elektr qarshilikni kamaytirishini va Seebeck koeffitsiyentini oshirishini ko‘rsatgan.



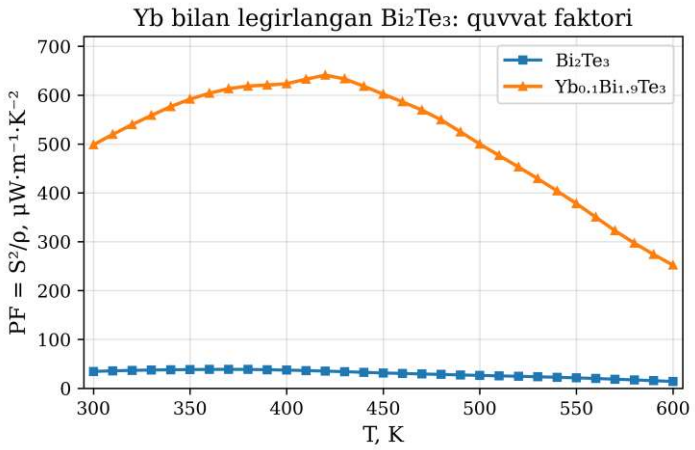
1-rasm. *Bi_2Te_3 va $Yb_{0.1}Bi_{1.9}Te_3$ uchun solishtirma elektr qarshilik ρ(T)*

1-rasmga ko‘ra, $Yb_{0.1}Bi_{1.9}Te_3$ namunasining solishtirma elektr qarshiligi sof Bi_2Te_3 ga nisbatan ancha past. Bu holat Yb qo‘shimchasi zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi yoki ularning o‘tish kanallariga ta’sir qilishi mumkinligini bildiradi. Past qarshilik quvvat faktorini oshirish uchun muhim, chunki $PF = S^2/\rho$ munosabatiga ko‘ra ρ ning kamayishi PF ni oshiradi.



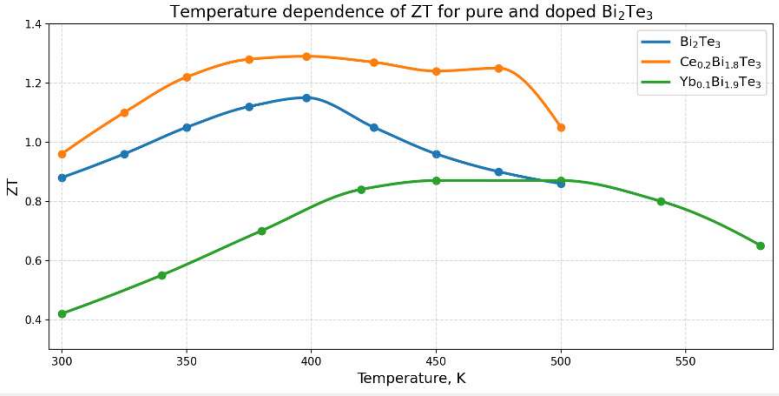
2-rasm*. Bi_2Te_3 va $Yb_{0.1}Bi_{1.9}Te_3$ uchun Seebeck koeffitsiyentining haroratga bog‘liqligi*

2-rasmda barcha namunalar uchun Seebeck koeffitsiyenti manfiy qiymatga ega bo‘lib, bu n-turdagi o‘tkazuvchanlikni tasdiqlaydi. Yb qo‘shilgan namuna sof Bi_2Te_3 ga nisbatan |S| ning kattaroq qiymatini ko‘rsatadi. Harorat oshishi bilan |S| avval ortadi, keyin yuqori haroratda kamayadi. Bu ikki turdagi zaryad tashuvchilar ishtiroki va bipolyar transportning kuchayishi bilan izohlanishi mumkin.



3-rasm. *Bi_2Te_3 va $Yb_{0.1}Bi_{1.9}Te_3$ uchun quvvat faktori PF(T). PF qiymatlari*

3-rasmdan ko‘rinadiki, Yb qo‘shimchasi quvvat faktorini sof Bi_2Te_3 ga nisbatan sezilarli oshiradi. Bunda bir vaqtning o‘zida ρ ning kamayishi va |S| ning ortishi muhim rol o‘ynaydi. Shunga qaramay, Yb qo‘shilgan namuna uchun ZT ni baholashda ehtiyotkorlik zarur, chunki ZT formulasi κ(T) qiymatini ham talab qiladi. [10] manbasida Yb namunasi uchun to‘liq κ(T) ma’lumotlari berilmaganligi sababli, ushbu ish asosida Yb uchun ZT ni mustaqil hisoblash yetarli emas. Shu sababli keyingi qiyosiy ZT(T) grafigida $Yb_xBi_{2-x}Te_3$ bo‘yicha [11] manbasidagi termoelektrik natijalardan foydalanildi.



4-rasm. Sof Bi_2Te_3, $Ce_{0.2}Bi_{1.8}Te_3$ va $Yb_{0.1}Bi_{1.9}Te_3$ namunalarida ZT qiymatining haroratga bog‘liqligi. $Ce_{0.2}Bi_{1.8}Te_3$ uchun ma’lumotlar [7], $Yb_xBi_{2-x}Te_3$ uchun esa [11] manbasidagi adabiyot natijalari asosida keltirildi. Belgilar adabiyot ma’lumotlari asosidagi eksperimental nuqtalarni, chiziqlar esa interpolyatsiya egri chiziqlarini ifodalaydi.

Ce va Yb qo‘shimchalari Bi_2Te_3 matritsasiga bir xil yo‘l bilan ta’sir qilmaydi. Ce ko‘proq fonon transportini bostirish va issiqlik o‘tkazuvchanligini kamaytirish orqali ZT ni oshiradi. Yb esa elektr qarshilikni kamaytirish, |S| ni oshirish va PF ni yaxshilash orqali elektr transportini optimallashtiradi. Shu sababli Ce va Yb natijalarini bevosita “qaysi biri yaxshi?” shaklida emas, balki “qaysi transport kanaliga kuchliroq ta’sir qiladi?” degan savol asosida baholash to‘g‘riroqdir.

4-rasmdan ko‘rinadiki, Ce bilan legirlangan $Ce_{0.2}Bi_{1.8}Te_3$ namunasi sof Bi_2Te_3 va $Yb_{0.1}Bi_{1.9}Te_3$ namunalariga nisbatan yuqoriroq ZT qiymatlarini namoyon qiladi. Ce qo‘shimchasi kristall panjarada massa va radius nomutanosibligini kuchaytirib, fonon

sochilishini oshiradi hamda issiqlik o‘tkazuvchanligini sezilarli kamaytiradi. Shu sababli $Ce_{0.2}Bi_{1.8}Te_3$ namunasi 398–400 K atrofida ZT ≈ 1,29 qiymatga yetadi. Yb bilan legirlangan $Yb_{0.1}Bi_{1.9}Te_3$ namunasi esa asosan elektr transport xossalarini yaxshilaydi, ya’ni solishtirma elektr qarshilikni kamaytiradi va elektr o‘tkazuvchanlikni oshiradi. Biroq Yb qo‘shimchasi issiqlik o‘tkazuvchanligini Ce kabi kuchli pasaytirmaydi. Bundan tashqari, elektr o‘tkazuvchanlikning ortishi elektron issiqlik o‘tkazuvchanligining ham ortishiga olib kelishi mumkin. Shu sababli Yb bilan legirlangan namunada ZT qiymati yaxshilangan bo‘lsa-da, u Ce bilan legirlangan namunadagidek yuqori darajaga yetmaydi.

1-jadval.

Ce va Yb qo‘shimchalarining Bi_2Te_3 xossalariga asosiy ta’siri

Ko‘rsatkich	Ce qo‘shimchasi	Yb qo‘shimchasi	Izoh
Asosiy transport kanali	Issiqlik transporti	Elektr transporti	Ta’sir mexanizmlari turlicha
ρ(T)	Ba’zi tarkiblarda ortishi mumkin	Sezilarli kamayadi	Yb elektr o‘tkazuvchanlikni yaxshilaydi
S(T)	Keskin yaxshilanish har doim kuzatilmaydi	|S| ortadi	Har ikkala holatda n-turdagi o‘tkazuvchanlik ustun
κ(T)	Panjara qismi sezilarli kamayadi	To‘liq ma’lumot talab etiladi	κ bo‘lmasa ZT ishonchli hisoblanmaydi
ZT	398 K yaqinida 1,29 gacha	[11] bo‘yicha 420–500 K oralig‘ida taxminan 0,87	Yb uchun κ(T) kerak
Amaliy tavsiya	ZT ni oshirish uchun foydali	PF ni oshirish uchun foydali	Bir xil sharoitdagi eksperiment zarur

Tahlillardan kelib chiqib, Ce qo‘shimchasi Bi_2Te_3 asosidagi materiallarda yuqori ZT olish uchun samarali bo‘lsa, Yb qo‘shimchasi elektr transportni boshqarish uchun foydalidir. Ce va Yb ni birgalikda yoki Bi–Sb–Te qattiq eritmalari tarkibida qo‘llash sinergistik effekt berishi mumkin. Biroq bunday xulosa faqat bir xil sintez usuli, bir xil donadorlik, bir xil zichlik va bir xil o‘lchash sharoitlarida olingan S(T), ρ(T), κ(T), PF(T) va ZT(T) ma’lumotlari bilan isbotlanishi kerak.

Sinergistik effekt deganda turli mexanizmlarning uyg‘un ta’siri natijasida material xossalarining alohida qo‘shimchalardan kutilgan natijadan ham yuqoriroq darajada yaxshilanishi tushuniladi. Masalan, Ce fonon sochilishini kuchaytirib κ ni kamaytirsa, Yb elektr qarshilikni kamaytirib PF ni oshirsa, ularning optimal nisbatda birgalikda qo‘llanishi yuqori ZT olishga olib kelishi mumkin. Ammo bu hozircha ilmiy gipoteza bo‘lib, alohida tajriba bilan tekshirilishi zarur.

XULOSA

Ce va Yb bilan legirlangan Bi_2Te_3 asosidagi termoelektrik materiallar bo‘yicha adabiyot ma’lumotlari IMRAD talablari asosida qiyosiy tahlil qilindi. Tahlil natijalari quyidagi asosiy xulosalarni beradi:

Ce qo‘shimchasi Bi_2Te_3 panjarasida fonon sochilishini kuchaytiradi va panjara issiqlik o‘tkazuvchanligini kamaytiradi; shu sababli $Ce_{0.2}Bi_{1.8}Te_3$ uchun ZT qiymati 398 K atrofida 1,29 gacha yetadi.

Yb qo‘shimchasi Bi_2Te_3 ning solishtirma elektr qarshiligini kamaytiradi, Seebeck koeffitsiyentining mutlaq qiymatini oshiradi va quvvat faktorini yaxshilaydi.

Yb qo‘shilgan namunalar uchun [10] manbasida issiqlik o‘tkazuvchanligi $\kappa(T)$ to‘liq keltirilmaganligi sababli, ushbu manba asosida ZT ni mustaqil hisoblash imkoniyati cheklangan. Biroq Mamedov va hammualliflari tomonidan $Yb_xBi_{2-x}Te_3$ kristallari uchun keltirilgan termoelektrik ma’lumotlar Yb qo‘shimchasi ZT ni ma’lum darajada oshirishi mumkinligini ko‘rsatadi [11]. Shunga qaramay, Yb bilan legirlangan namunadagi ZT qiymati Ce bilan legirlangan $Ce_{0.2}Bi_{1.8}Te_3$ namunasidagidan pastroq bo‘lib qoladi.

Ce issiqlik transportini, Yb esa elektr transportini optimallashtirishda nisbatan samaraliroq. Kelgusida Ce va Yb qo‘shimchalarini bir xil eksperimental sharoitda sintez qilib, $S(T)$, $\rho(T)$, $\kappa(T)$, $PF(T)$ va $ZT(T)$ ni to‘liq o‘lchash zarur.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

[1] Goldsmid, H. J. (2014). Bismuth telluride and its alloys as materials for thermoelectric generation. Materials, 7(4), 2577–2592. https://doi.org/10.3390/ma7042577

[2] Mao, J., Chen, G., & Ren, Z. (2021). Thermoelectric cooling materials. Nature Materials, 20(4), 454–461. https://doi.org/10.1038/s41563-020-00852-w

[3] Witting, I. T., Chasapis, T. C., Ricci, F., Peters, M., Heinz, N. A., Hautier, G., & Snyder, G. J. (2019). The thermoelectric properties of bismuth telluride. Advanced Electronic Materials, 5(6), 1800904. https://doi.org/10.1002/aelm.201800904

[4] Hong, M., Chen, Z. G., & Zou, J. (2018). Fundamental and progress of Bi_2Te_3-based thermoelectric materials. Chinese Physics B, 27(4), 048403. https://doi.org/10.1088/1674-1056/27/4/048403

[5] Snyder, G. J., & Toberer, E. S. (2008). Complex thermoelectric materials. Nature Materials, 7, 105–114. https://doi.org/10.1038/nmat2090

[6] Poudel, B., Hao, Q., Ma, Y., Lan, Y., Minnich, A., Yu, B., et al. (2008). High-thermoelectric performance of nanostructured bismuth antimony telluride bulk alloys. Science, 320(5876), 634–638. https://doi.org/10.1126/science.1156446

[7] Wu, F., Song, H., Jia, J., & Hu, X. (2013). Effects of Ce, Y, and Sm doping on the thermoelectric properties of Bi_2Te_3 alloy. Progress in Natural Science: Materials International, 23(4), 408–412. https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2013.06.007

[8] Wu, F., Song, H., Jia, J., Gao, F., Zhang, Y., & Hu, X. (2013). Thermoelectric properties of Ce-doped n-type $Ce_xBi_{2-x}Te_{2.7}Se_{0.3}$ nanocomposites. Physica Status Solidi A, 210(6), 1183–1189. https://doi.org/10.1002/pssa.201228589

[9] Wu, F., Shi, W., & Hu, X. (2015). Preparation and thermoelectric properties of flower-like nanoparticles of Ce-doped Bi_2Te_3. Electronic Materials Letters, 11, 127–132. https://doi.org/10.1007/s13391-014-4139-x

[10] Yapryntsev, M. N., Lyubushkin, R. A., Soklakova, O. N., & Ivanov, O. N. (2017). Synthesis and electrical properties of Bi_2Te_3-based thermoelectric materials doped with Er, Tm, Yb, and Lu. Semiconductors, 51, 710–713. https://doi.org/10.1134/S106378261706029X

[11] Mamedov, F., Nabieva, S., Melikova, S. Z., Imanova, G., Tagiyev, O., & Mansurova, E. (2024). Effect of annealing on thermoelectric properties of crystals $Yb_xBi_{2-x}Te_3$. *Modern Physics Letters B, 38*(12), 2450090. https://doi.org/10.1142/S0217984924500908

[12] Yusupova, D. A., Sirojiddinova, S., & Gaynazarova, Q. Bi_2Te_3 kristallarida atomlararo bog ‘lanishlar va elektron tuzilishining o ‘ziga xos xususiyatlari.

[13] YUSUPOVA, D., & SIROJIDDINOVA, S. ANALYSIS OF THE CRYSTAL LATTICE AND BAND STRUCTURE OF BI_2TE_3 AS A MATERIAL FOR THERMOELECTRIC AND SPINTRONIC DEVICES. ООО" Инфинити", Уфа КОНФЕРЕНЦИЯ: SCIENTIFIC RESEARCH OF THE SCO COUNTRIES: SYNERGY AND INTEGRATION Beijing, 09 апреля 2025 года Организаторы: ООО" Инфинити", Уфа.

Муродова Мухлиса

10 BUZILADIGAN YUQORI JUFT TARTIBLI XUSUSIY HOSILALI DIFFERENSIAL TENGLAMA UCHUN LOKAL SHARTLI BOSHLANG‘ICH-CHEGARAVIY MASALA
Tolipov Nodirjon Isaqovich **49**

11 SiGe VA SiSn QATTIQ QORISHMALARI FIZIK XOSSALARINING SHAKLLANISHIDA TARKIB VA MEXANIK ZO‘RIQISHNING AHAMIYATI
Madaminov Xurshidjon Muxamedovich
Abdurahmonov Azizbek Abdurahim o‘g‘li **52**

12 Ce VA Yb BILAN LEGIRLANGAN Bi_2Te_3 ASOSIDAGI TERMOELEKTRIK MATERIALLARNING ELEKTROFIZIK PARAMETRLARI QIYOSIY TAHLILI
Yusupova D.A.
Sirojiddinova S.Z. **57**

13 EXISTENCE AND UNIQUENESS OF A SOLUTION TO A BITSADZE-SAMARSKII PROBLEM FOR A SUB-DIFFUSION EQUATION WITH THE REGULARIZED PRABHAKAR FRACTIONAL DERIVATIVE
Mirzaeva Maftuna **65**

14 CONVERGENCE OF A NEW TRIVARIATE MITTAG-LEFFLER-TYPE FUNCTION
Tursunova Ergashoy **68**

15 PHYSICS-INFORMED SPECTRAL MEMORY IDENTIFICATION AND FLUTTER-REGIME DIAGNOSTICS FOR A PITCH–PLUNGE AEROELASTIC SYSTEM
Quvvatali Rahimov
Mirzohidjon Rahmatjonov **73**

16 KADMIY TELLURIDGA OLTINGUGURT QO‘SHILGAN HOLDA p-n O‘TISH HOSIL QILISH VA UNING OPTIK XUSUSIYATLARI
Najmidinova Dildoraxon Xalilovna **82**

17 FIZIKA TA'LIMIDA DINAMIK TEST TIZIMINING DIDAKTIK IMKONIYATLARI VA AMALIY AHAMIYATI
Qoraboyev Xusniddin **87**

18 Ni ASOSLI NANOKATALIZATORLARDA UGLEROD NANONAYCHALARINI O‘STIRISH **94**