

**Нахуцрїшвілі І.** (<https://orcid.org/0000-0002-7961-3437>)

Інститут кібернетики Грузинського технічного університету,  
вул. З. Анджапарідзе 6, 0186, Тбілісі

Автор-кореспондент: Нахуцрїшвілі І., e-mail: [iraklinakhutsrishvili52@gmail.com](mailto:iraklinakhutsrishvili52@gmail.com)

## Узагальнений параметр і фактор сумісності термоелектричного $n\text{-Si}_x\text{Ge}_{1-x}$

Досліджено залежність максимуму коефіцієнта добротності  $(ZT)_{\max}$  сплаву  $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$  від узагальненого параметра матеріалу  $V^*$ . Для розрахунку значень  $V^*$  використовується формула, яка містить величини ширини забороненої зони, питомої електропровідності, масштабованого параметра  $V'_S$  та теплопровідності решітки:  $V^* \cong 7.755 \cdot 10^{-4} E_g \sigma V'_S k_L^{-1}$ . Ця формула виведена з комбінації відомих з літератури формул, що пов'язують термоелектричні параметри – рухливість, ефективну масу та зважену рухливість носіїв заряду. Дана формула більше не включає ефективну масу, рухливість та температуру – ці параметри замінюються питомою електропровідністю та коефіцієнтом Зеебека. Побудовано залежність  $(ZT)_{\max}$  –  $V^*$ . Обчислюючи узагальнений параметр, можна приблизно оцінити максимальне значення добротності практично для будь-якого термоелектрика. Визначено фактор сумісності  $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$ . Вказано на можливість створення сегментованих термогенераторів на основі цього матеріалу в поєднанні з  $\text{YbMg}_{1.8}\text{Zn}_{0.05}\text{Bi}_{1.98}$ ,  $\text{CuAl}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_2$  та  $\text{Cu}_{1.98}\text{S}$ .

**Ключові слова:** термоелектричний SiGe, узагальнений параметр, фактор сумісності.

Унікальні властивості термоелектричних джерел енергії визначили незаперечні переваги використання термоелектричних генераторів як автономних джерел енергії [1–4]. Серед відомих матеріалів чільне місце займає також сплав SiGe. Цей термоелектрик використовувався в генераторах космічних апаратів з другої половини минулого століття донедавна [5–8]. Даний сплав також використовується в багатьох інших галузях науки і техніки: охолоджувачі, сенсори, тонкоплівкові транзистори, акумулятори, сонячні елементи, фотодетектори [9–16]. Він має добрі механічні властивості, термостабільність, а його потенційний ККД сягає 15%.

Якість термоелектричного матеріалу визначається коефіцієнтом добротності  $ZT = \sigma S^2 T / k$ , де  $\sigma$  – питома електропровідність,  $S$  – коефіцієнт Зеебека,  $T$  – абсолютна

**Цитування:** Нахуцрїшвілі І. (2025). Узагальнений параметр і фактор сумісності термоелектричного  $n\text{-Si}_x\text{Ge}_{1-x}$ . Термоелектрика, (3), 38–45. doi.org/10.63527/1607-8829-2025-3-37-44

температура та  $k$  – загальна теплопровідність. Для  $\text{SiGe}$  з  $P$ - та  $N$ -типами провідності були отримані досить високі значення  $ZT$ : 0.86 та 1.29 відповідно [17].

Ефективним параметром для прогнозування максимального значення  $ZT$  є узагальнений параметр термоелектричного матеріалу. Він задається наступним виразом [18, 19]:  $B^* \cong 6.668 \cdot 10^{-2} E_g U^* k_L^{-1}$ , де  $E_g$  – ширина забороненої зони в еВ,  $U^* = \mu(m^* T / m_0)^{3/2}$  ( $\mu$  та  $m^*$  – рухливість та ефективна маса носіїв заряду,  $m_0$  – маса спокою електрона), а  $k_L$  – ґратчаста складова повної теплопровідності  $k$ .

Далі ми розглянемо узагальнений параметр сплаву  $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$  з провідністю  $N$ -типу при  $x = 0.7, 0.76$  та  $0.8$ . ( $N$ - $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$  – має низку переваг над  $P$ -типом. Зокрема, окрім більшого показника добротності за тих самих температур, він більш стійкий до радіації [20].)

Також враховується фактор сумісності матеріалу. Цей важливий параметр матеріалу характеризує його придатність для сегментації з іншими матеріалами для створення термоелектричного пристрою [21-28].

Досліджувані зразки були отримані за методикою, описаною в монографії [20]. Для дослідження було використано зразки  $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$  різного складу:  $x = 0.7, 0.76$  та  $0.8$  (концентрація носіїв заряду  $n = 3.2 \cdot 10^{26} \text{ m}^{-3}$ ). Їхня провідність є  $N$ -типу, для чого вони були леговані фосфором.

$$B^* \cong 7.755 \cdot 10^{-4} E_g \sigma B'_S k_L^{-1}. \quad (1)$$

( $B'_S \cong \frac{3[e^{(S_r-2)}-0.17]^{2/3}}{1+e^{-5(S_r-S_r^{-1})}} + \frac{S_r}{1+e^{5(S_r-S_r^{-1})}}$ . При  $|S| \cong 2 \cdot 10^{-4} \text{ В/К}$  і вище  $B'_S \cong 3(e^{S_r-2} - 0.17)^{2/3}$  з високою точністю).

Як бачимо, формула (1) більше не включає ефективну масу, рухливість та температуру – ці параметри замінюються питомою електропровідністю та  $B'_S$  (тобто коефіцієнтом Зеєбека).

Для визначення значень  $E_g$  при різних  $x$ , ми використали формулу [31]  $E_g = 2|S|_{\text{max}} T_{S_{\text{max}}}$ , в результаті чого з рівняння (1) остаточно маємо:

$$B^* \cong 1.551 \cdot 10^{-3} |S|_{\text{max}} T_{S_{\text{max}}} \sigma B'_S k_L^{-1}. \quad (1')$$

Об'ємні  $\text{SiGe}$ -сплави зазвичай мають близькі один до одного значення загальної та ґраткової теплопровідності (на відміну від наноматеріалів). Тому у формулах (1, 1')  $k_L$  можна замінити на  $k$ .

На рис. 1 показано залежність  $(ZT)_{\text{max}} - B^*$ , побудовану на основі літературних даних для різних термоелектричних матеріалів ( $\text{CoSbTe}$ ,  $\text{CoSbTeSn}$ ,  $\text{BiTeSe}$ ,  $\text{BiSbTe}$ ,  $\text{FeNbSb}$ ,  $\text{MgSn}_{0.73}\text{Ge}_{0.25}$ ,  $\text{BiSbTe}$  [18];  $P$ ,  $N$ - $\text{Mg}_2\text{Sn}$ ,  $P$ ,  $N$ - $\text{Ag}_2\text{Te}$ ,  $P$ - $\text{YbMg}_2\text{Bi}_2$ ,  $N$ - $\text{Mg}_3(\text{Sb}, \text{Bi})_2$ ,  $P$ ,  $N$ - $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ,  $P$ ,  $N$ - $\text{PbTe}$ ,  $P$ ,  $N$ - $\text{CoSb}_3$ ,  $P$ - $\text{MgAgSb}$ ,  $N$ - $\text{BiAgSeS}$ ,  $P$ - $\text{FeVSb}$ ,  $N$ - $\text{ZrNiSn}$ ,  $P$ ,  $N$ - $\text{SiGe}$  [19]) та даних для  $N$ - $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$ . З цього рисунка видно, що наші дані задовільно доповнюють літературні дані.

Параметр  $B^*$  забезпечує добру характеристику термоелектриків, особливо за високих температур, і тому може полегшити пошук кращих термоелектричних матеріалів. Таким чином, обчислюючи узагальнений параметр, можна приблизно оцінити максимальне значення коефіцієнта добротності практично для будь-якого термоелектрика.

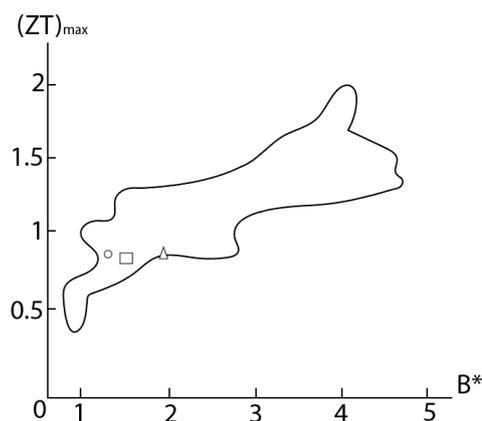


Рис. 1. Залежність  $(ZT)_{\max} - B^*$ : дані для 25 термоелектричних матеріалів з [18, 19] (обмежена область);  $\circ - \text{Si}_{0.7}\text{Ge}_{0.3}$ ,  $\Delta - \text{Si}_{0.76}\text{Ge}_{0.24}$ ,  $\square - \text{Si}_{0.8}\text{Ge}_{0.2}$

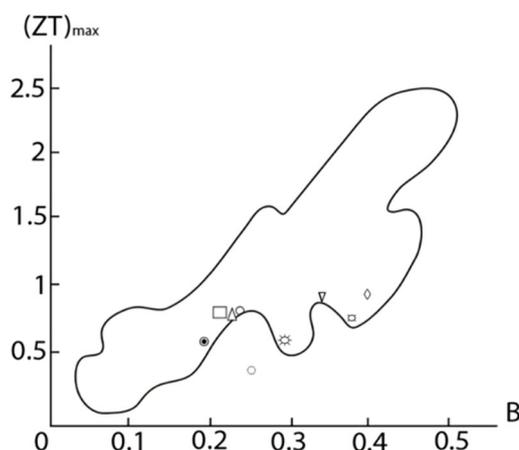


Рис. 2. Залежність  $(ZT)_{\max} - B$ : дані для великої кількості термоелектричних матеріалів (обмежена область);  $\circ - \text{Si}_{0.7}\text{Ge}_{0.3}$ ,  $\Delta - \text{Si}_{0.76}\text{Ge}_{0.24}$ ,  $\square - \text{Si}_{0.8}\text{Ge}_{0.2}$ ,  $\diamond - (\text{Si}_{0.8}\text{Ge}_{0.2})_{0.98}\text{P}_{0.02}$  [33],  $\nabla - \text{Si}_{0.8}\text{Ge}_{0.2}\text{B}_{0.8}$  [34],  $\boxtimes - \text{Si}_{0.8}\text{Ge}_{0.2}\text{B}_{0.8}(\text{TaC})_{0.75}$  [34],  $\star - \text{Si}_{0.8}\text{Ge}_{0.2}\text{B}_{0.8}(\text{NaBH}_4)_{0.7}$  [35],  $\circ - \text{Si}_{0.7}\text{Ge}_{0.3} (n=2.3 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3})$  [36],  $\bullet - P\text{-тип нано SiGe}$  [37]

Ефективним параметром для матеріалів є термоелектричний фактор якості  $B = B_{ET}/k_L$  ( $B_E$  – електронний фактор якості [32]), який також визначає максимум  $ZT$ . Він є добрим предиктором  $(ZT)_{\max}$  оптимально легованого зразка, забезпечує кращу характеристику термоелектриків, особливо за високих температур, і тому може полегшити пошук хороших термоелектричних матеріалів за критеріями високої зваженої рухливості, низької теплопровідності ґратки та великого значення ширини забороненої зони. Ми побудували залежність  $(ZT)_{\max} - B$  для великої кількості термоелектричних матеріалів (обмежена область на рис. 2). Там також наведено точки для наших зразків, а також для деяких матеріалів на основі SiGe. Очевидно, що ці точки добре вписуються в загальну картину.

Значення коефіцієнта добротності дозволяють визначити фактор сумісності:  $CF = [(1 + ZT)^{1/2} - 1]/ST$ . На рисунку 3 (а) показано температурні залежності фактора сумісності для  $\text{Cu}_{1.98}\text{S}_x\text{Se}_{1-x}$  та  $\text{SiGe}$  з [27]. Графік  $\text{SiGe}$  можна вважати найкращим, оскільки фактор сумісності не повинен суттєво змінюватися залежно від температури. Наші дані представлені у вигляді точок при 1173 К на рисунку 3 (б). Екстраполяція залежності  $A - T$  до цих точок дає більш повну картину.

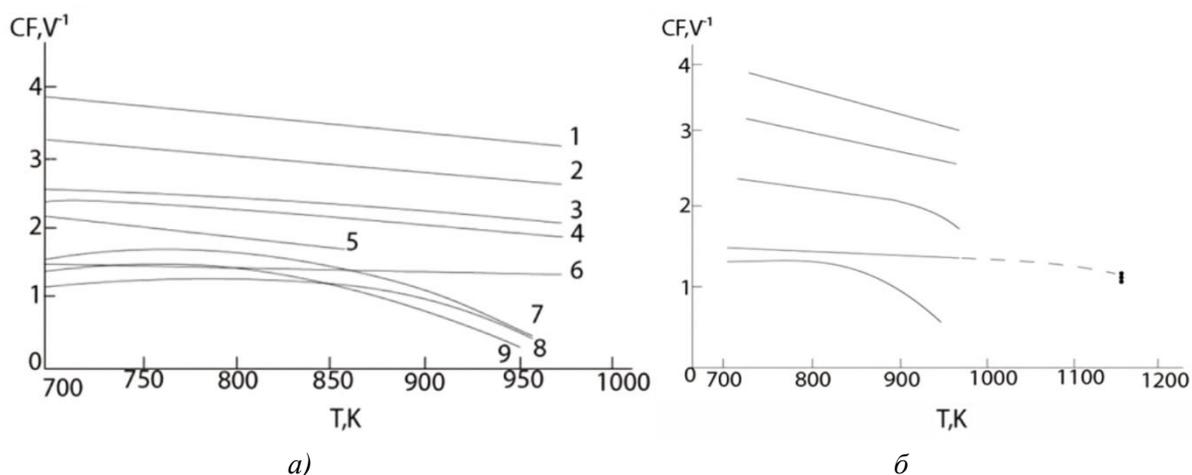


Рис. 3. (а) Температурні залежності фактора сумісності для: 1 –  $\text{Cu}_{1.98}\text{Se}$ , 2 –  $\text{Cu}_{1.98}\text{S}_{0.02}\text{Se}_{0.98}$ , 3 –  $\text{La}_2\text{Te}_3$ , 4 –  $\text{CoSb}_3$ , 5 –  $\text{PbTe}$ , 6 –  $\text{SiGe}$ , 7 –  $\text{Cu}_{1.98}\text{S}$ , 8 –  $\text{Cu}_{1.98}\text{S}_{0.8}\text{Se}_{0.2}$ , 9 –  $\text{Cu}_{1.98}\text{S}_{0.9}\text{Se}_{0.1}$  з [27]; (б) Деякі графіки з рис. 3(а); точки – це наші дані (ці точки, що відповідають різним  $x$  у  $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$ , перекриваються одна з одною)

Температурні залежності фактора сумісності для деяких відомих термоелектриків показано на рис. 4. Там же наведено наші дані для  $\text{Si}_{0.8}\text{Ge}_{0.2}$ . З рисунка видно, що залежність  $A - T$  для  $\text{YbMg}_{1.8}\text{Zn}_{0.05}\text{Bi}_{1.98}$  [38] перетинається з нашою залежністю приблизно при 350 К, для  $\text{CuAl}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_2$  [39] – при 750 К, а для  $\text{Cu}_{1.98}\text{S}$  – при 850 К. Все це вказує на можливість створення сегментованих термогенераторів на основі  $\text{SiGe}$  в поєднанні із зазначеними матеріалами.

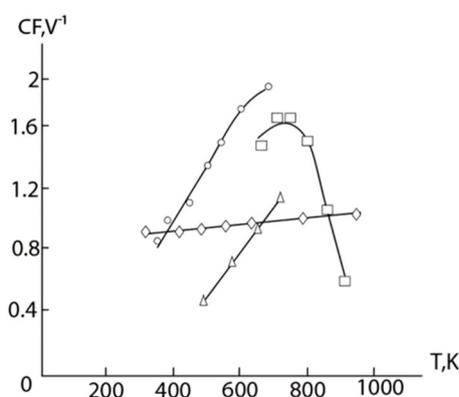


Рис. 4. Температурні залежності фактору сумісності:  $\circ$  –  $\text{YbMg}_{1.8}\text{Zn}_{0.05}\text{Bi}_{1.98}$ ,  $\Delta$  –  $\text{CuAl}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_2$ ,  $\square$  –  $\text{Cu}_{1.98}\text{S}$  and  $\diamond$  –  $\text{Si}_{0.8}\text{Ge}_{0.2}$

## Інформація про авторів

Нахуцрiшвiлi I. – Ph.D., старший науковий співробітник.

## Література

1. Anaticuk L.I., Vikhor L.N., Strutynska L.T., Termena (2011). Segmented generator modules using  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ -based materials. *Electron. Mat.*, 40, 957. (DOI: <https://doi.org/10.1007/s11664-010-1468-x>)
2. Dashevsky Z., Horichok I., Maksymuk M., Muchtar A.R., Srinivasan B., Mori T. (2022). Feasibility of high performance in  $p$ -type  $\text{Ge}_{1-x}\text{Bi}_x\text{Te}$  materials for thermoelectric modules. *American Ceram. Soc.*, 105(6), 4500–4511. (DOI: <https://doi.org/10.1111/jace.18371>)
3. Dashevsky Z., Jarashneli A., Unigovski Y., Dzuznda B., Gao F., Shneck R.Z. (2022). Development of a high performance gas thermoelectric generator (TEG) with possible use of waste heat. *Energies*, 15(11), 3960. (DOI: <https://doi.org/10.3390/en15113960>)
4. Parashchuk T., Wiendlocha B., Cherniushok O., Knura R., Wojciechowski K.T. (2021). High thermoelectric performance of  $p$ -type  $\text{PbTe}$  enabled by the synergy of resonance scattering and lattice softening. *ACS Appl. Mater Interf.*, 13(41), 49027–49042. (DOI: <https://doi.org/10.1021/acsami.1c14236>)
5. Rosi F.D. (1968). Thermoelectricity and thermoelectric power generation. *SolidState Electronics*, 11(9), 849–868. (DOI: [https://doi.org/10.1016/0038-1101\(68\)90104-4](https://doi.org/10.1016/0038-1101(68)90104-4))
6. de Winter F. (1972). Xenon-filled silicon germanium thermoelectric generators. *JPL Technical Review*, 2(3), 22–31.
7. Cook B. (2022). Silicon-germanium: The legacy lives on. *Energies*, 15(8), 2957. (DOI: <https://doi.org/10.3390/en15082957>)
8. Barbakadze K., Bokuchava G., Isakadze Z., Tabatadze, I., Rekhviashvili, M. (2022). High temperature thermoelectric generator based on  $\text{SiGe}$  alloy. *Sci J LEPL – Agmashenebeli National Defence Academy of Georgia*, 47–50.
9. Schwinge C., Kühnel K., Emara J., Roy, L., Biedermann, K., Weinreich, W., Kolodinski, S., Wiatr, M., Gerlach, G., Wagner-Reetz, M. (2022). Optimization of LPCVD phosphorous-doped  $\text{Si Ge}$  thin films for CMOS-compatible thermoelectric applications. *Applied Physics Letters*, 120(3), 031903. (DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0076945>)
10. Big-Alabo A. (2021). Finite element modeling and optimization of  $\text{Ge/SiGe}$  super lattice based thermoelectric generators. *Applied Science*, 3(2), 189. (DOI: <https://doi.org/10.1007/s42452-020-04122-x>)
11. Jang K., Kim Y., Park J., Yi J. (2019). Electrical and structural characteristics of excimer laser-crystallized polycrystalline  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  thin-film transistors. *Materials*, 12(11), 1739. (DOI: <https://doi.org/10.3390/ma12111739>)
12. Murata H., Nozawa K., Suzuki T., Kado Y., Suemasu T., Toko K. (2022).  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  anode synthesis on plastic films for flexible rechargeable batteries. *Scientific Reports*, 12, 13779. (DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18072-4>)
13. Idda A., Ayat L., Dahbi N. (2019). Improving the performance of hydrogenated amorphous

- silicon solar cell using a-SiGe:H alloy. *Ovonic Research*, 15(5), 271–278. (DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2014.06.012>)
14. Singh A.K., Kumar M., Kumar D. (2020). Heterostructure silicon and germanium alloy based thin film solar cell efficiency analysis. *Engineering and Manufacturing*, 10(2), 29–40. (DOI: <https://doi.org/10.5815/ijem.2020.02.03>)
  15. Aberl J., Brehm M., Fromherz T., Schuster J., Frigerio J., Rauter P. (2019). SiGe quantum well infrared photo detectors on strained-silicon-on-insulator. *Optics Express*, 27(22), 32009. (DOI: <https://doi.org/10.1364/OE.27.032009>)
  16. Chiang P.T., Hu Sh.M., Yen W.T., Wu H.-J., Hsu H.-P., Lan Ch.-W. (2023). A study of iron-doped SiGe growth for thermoelectric applications. *Alloys and Compounds*, 967, 171700. (DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2023.171700>)
  17. Ahmad S., Singh A. (2024). Dopant dependent microstructure of hot-pressed SiGe alloys and its implications on thermoelectric properties. *Physica B: Condensed Matter*, 674, 415534. (DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physb.2023.415534>)
  18. Liu W., Zhou J., Jie Q., Li Y., Kim H.S., Bao J., Chen G., Ren Z. (2016). New insight into the material parameter B to understand the enhanced thermoelectric performance of  $\text{Mg}_2\text{Sn}_{1-x-y}\text{Ge}_x\text{Sb}_y$ . *Energy Environmental Science*, 9(2), 530–539. (DOI: <https://doi.org/10.1039/C5EE02600H>)
  19. Liu W., Han Z., Ji J., Feng T., Yang J., Zhang W. (2023). Uplimit  $(ZT)_{\text{max}}$  and effective merit parameter  $B^*$  of thermoelectric semiconductors. *Materials Today Physics*, 31, 100989. (DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mtphys.2023.100989>)
  20. Bokuchava G., Nakhutsrishvili I., Barbakadze K. (2023).  $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$  thermoelectric: determination of electronic quality factor, universal electrical conductivity, effective mass, mobility of charge carriers and preparation of monolithic module based on  $\text{Si}_{0.7}\text{Ge}_{0.3}$  alloy. *Fundamental Research and Application of Physical Science*, 3, 113–126.
  21. Snyder G.J., Caillat T. (2003). Using the compatibility factor to design high efficiency segmented thermoelectric generators. *Materials Research Society Proceedings*, 793, 37. (DOI: <https://doi.org/10.1557/PROC-793-S2.1>)
  22. Snyder G.J. (2004). Application of the compatibility factor to the design of segmented and cascaded thermoelectric generators. *Applied Physics Letters*, 84(13), 2436. (DOI: <https://doi.org/10.1063/1.1689396>)
  23. Lobato C.N., Esposito V., Pryds N., Christensen D.V. (2024). How efficient are thermoelectric materials? – An assessment of state-of-the-art individual and segmented thermoelectric materials. *Materialstoday-Energy*, 43, 101564. (DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mtener.2024.101564>)
  24. Koike S., Yanagisawa R., Jalabert L., Anufriev R., Kurosawa M., Mori T., Nomura M. (2024). Planar-type SiGe thermoelectric generator with double cavity structure. *Applied Physics Letters*, 124(12), 123902. (DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0191450>)
  25. Nurachman A., Permata S., Idogho Ch., Harsito C., Ilogho T., Abel Ejila J. (2025). Compatibility in thermoelectric material synthesis and thermal transport. *Unconventional Resources*, 7, 100198. (DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uncres.2025.100198>)

26. Christian I., Abah E.O., Abel J.E., Harsito, C., Omoniyi M., Boriwaye T. (2025). Compatibility study of synthesized materials for thermal transport in thermoelectric power generation. *Innovation Science and Engineering*, 4(1), 2158–7205. (DOI: <https://orcid.org/0000-0003-4097-9041>)
27. Zhao L., Fei F.Y., Wang G., Wang F., Wang Ch., Li J., Wang J., Cheng Z., Dou Sh., Wang X. (2017). Improvement of thermoelectric properties and their correlations with electron effective mass in  $\text{Cu}_{1.98}\text{S}_x\text{Se}_{1-x}$ . *Scientific Reports*, 7(1), 40436. (DOI: <https://doi.org/10.1038/srep40436>)
28. Yang K.-I., Li X., Jiang Y. (2025). General screening rules and segmented optimization strategy for efficient thermoelectric devices validated by  $\text{Mg}_3(\text{Sb}, \text{Bi})_2/\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3\text{-GeTe}$  module. *Advanced Science*, 5, e2502832. (DOI: <https://doi.org/10.1002/advs.202502832>)
29. Snyder G.J., Pereyra A., Gurunathan R. (2022). Effective mass from Seebeck coefficient. *Advanced Functional Materials*, 32(20), 2112772. (DOI: <https://doi.org/10.1002/adfm.202112772>)
30. Namiki H., Nagata K., Kobayashi M., Saito Y., Tachibana N., Ota Y. (2022). Relationship between the density of states effective mass and carrier concentration of thermoelectric phosphide  $\text{Ag}_6\text{Ge}_{10}\text{P}_{12}$  with strong mechanical robustness. *Materials Today Sustainability*, 18, 100116. (DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2022.100116>)
31. Gibbs Z.M., Kim H.S., Wang H., Snyder G.J. (2015). Band gap estimation from temperature dependent Seebeck measurement – Deviations from the  $2e|S|_{\text{max}}T_{\text{max}}$  relation. *Applied Physics Letters*, 106(2), 022112. (DOI: <https://doi.org/10.1063/1.4905922>)
32. Zhang X., Bu Z., Shi X., Lin S., Shan B., Wood M., Snyder A.H., Chen L., Pei Y. (2020). Electronic quality factor for thermoelectric. *Science Advances*, 6(46), eabc0726. (DOI: <https://doi.org/10.1126/sciadv.abc0726>)
33. Zhao T., Li X., Wu W., Gu J., Han Y., Tang X. (2025). Enhancing the thermoelectric properties and delaying their attenuation in  $n$ -type SiGe alloy through SiC nanoparticle doping. *ACS Omega*, 10(28), 30023–30030. (DOI: <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c10843>)
34. Fan Z., Liang J.Sh., Chen J.-L., Peng Y., Lai H., Nong J., Liu Ch., Ding W., Miao L. (2023). Realizing high thermoelectric performance for p-type SiGe in medium temperature region via TaC compositing. *Materiomics*, 9(5), 984–991. (DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmat.2023.03.004>)
35. Lahwal A., Zeng X., Bhattacharya S., Zhou M., Hitchcock D., Karakaya M., He J., Rao A.M., Tritt T.M. (2015). Enhancing thermoelectric properties of  $\text{Si}_{80}\text{Ge}_{20}$  alloys utilizing the decomposition of  $\text{NaBH}_4$  in the spark plasma sintering process. *Energies*, 8(10), 10958–10970. (DOI: <https://doi.org/10.3390/en81010958>)
36. Xu Q., Zhou J., Liu T-H., Chen G. (2021). First-principles study of all thermoelectric properties of SiGe alloys showing large phonon drag from 150 to 1100 K. *Physical Review Applied*, 16(6), 064052. (DOI: <https://hdl.handle.net/1721.1/138801>)
37. Vishwakarma A., Chauhan N.S., Bhardwaj R., Johari K.K., Dhakate S.R., Gahtori B., Bathula S. (2021). Melt-spun SiGe nano-alloys: Microstructural engineering towards high

- thermoelectric efficiency. *Electronic Materials*, 50(1), 364–374. (DOI: <https://doi.org/10.1007/s11664-020-08560-6>)
38. Wei S., Qin N., Wu G. (2024). Thermoelectric properties of Zn-doped  $\text{YbMg}_{1.85-x}\text{Zn}_x\text{Bi}_{1.98}$ . *Materials*, 17(5), 973. (DOI: <https://doi.org/10.3390/ma17050973>)
39. Feng Y., Joo J.H., Han G., Lu N. (2023). The effects of Fe addition for enhanced thermoelectric performance in  $p$ -type  $\text{CuAlO}_2$ . *Engineered Science*, 22, 822. (DOI: <https://doi.org/10.30919/es8d822>)

Submitted: 26.06.2025

I. Nakhutsrishvili (<https://orcid.org/0000-0002-7961-3437>)

Institute of Cybernetics of Georgian Technical University,  
6 Z. Anjaparidze street, 0186, Tbilisi

### Generalized Parameter and Compatibility Factor of Thermoelectric $n\text{-Si}_x\text{Ge}_{1-x}$

*The dependence of the maximum of the figure of merit  $(ZT)_{max}$  of the  $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$  alloy on the generalized parameter of material  $B^*$  is investigated. A formula is used to calculate the values of  $B^*$ , which contains the quantities of band gap, specific electrical conductivity, scaled parameter  $B'_S$  and lattice thermal conductivity:  $B^* \cong 7.755 \cdot 10^{-4} E_g \sigma B'_S k_L^{-1}$ . This formula is derived from the combination of the formulas known from the literature that relate the thermoelectric parameters – mobility, effective mass and weighted mobility of charge carriers. This formula no longer includes effective mass, mobility and temperature – these parameters are replaced by specific electrical conductivity and the Seebeck coefficient. Dependence  $(ZT)_{max} - B^*$  is constructed. By calculating the generalized parameter, you can approximately estimate the maximum value of the figure of merit for almost any thermoelectric. The compatibility factor of  $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$  has been determined. The possibility of creating segmented thermogenerators based on this material in combination with  $\text{YbMg}_{1.8}\text{Zn}_{0.05}\text{Bi}_{1.98}$ ,  $\text{CuAl}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_2$  and  $\text{Cu}_{1.98}\text{S}$  is indicated.*

**Keywords:** thermoelectric SiGe, generalized parameter, compatibility factor.

Надійшла до редакції 26.06.2025