

UDC 537.322

## თერმოელექტრიკთა მახასიათებლების განსაზღვრა ზეებეკის კოეფიციენტის დაბალი აბსოლუტური მნიშვნელობებისას

რაფიელ თხინვალი,<sup>1</sup> ირაკლი ჯავახიშვილი,<sup>1</sup> ზურაბ ადამია<sup>2</sup>, ირაკლი ნახუცრიშვილი<sup>1</sup>

<sup>1</sup>საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის კიბერნეტიკის ინსტიტუტი

<sup>2</sup>სოხუმის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

### აბსტრაქტი

ნაშრომში გამოთვლილია რიგი თერმოელექტრული მასალების ელექტრონული ვარგისიანობის, სიმძლავრისა და მისი მასშტაბირების ფაქტორები, აგრეთვე მუხტის მატარებელთა კონცენტრაციები  $(5-374)K$  უბანში, სადაც ეს მასალები ხასიათდებიან ზეებეკის კოეფიციენტის დაბალი სიდიდით:  $S \cong (0.035-0.25)10^4 \text{ V} \cdot \text{K}^{-1}$ .

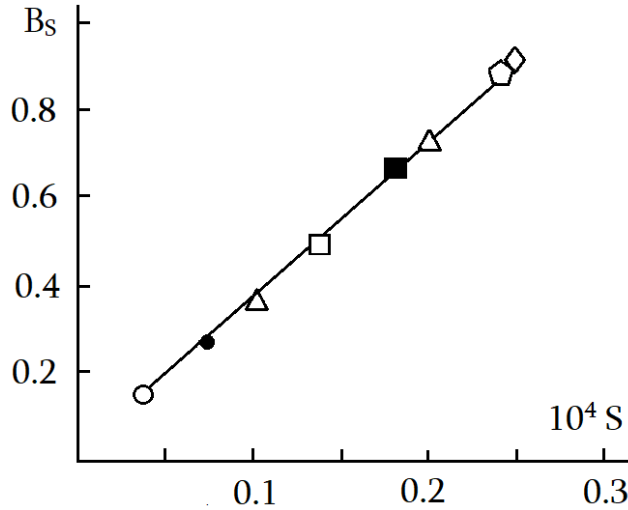
მასშტაბირებული სიმძლავრის ფაქტორის დამოკიდებულება  $S$ -ზე აგრძელებს ლიტერატურიდან ცნობილ გასაშუალებულ მრუდს ზეებეკის კოეფიციენტის დაბალი მნიშვნელობებისაკენ.

საკვანძო სიტყვები: თერმოელექტრიკი, ელექტრონული ვარგისიანობის ფაქტორი, სიმძლავრის ფაქტორი.

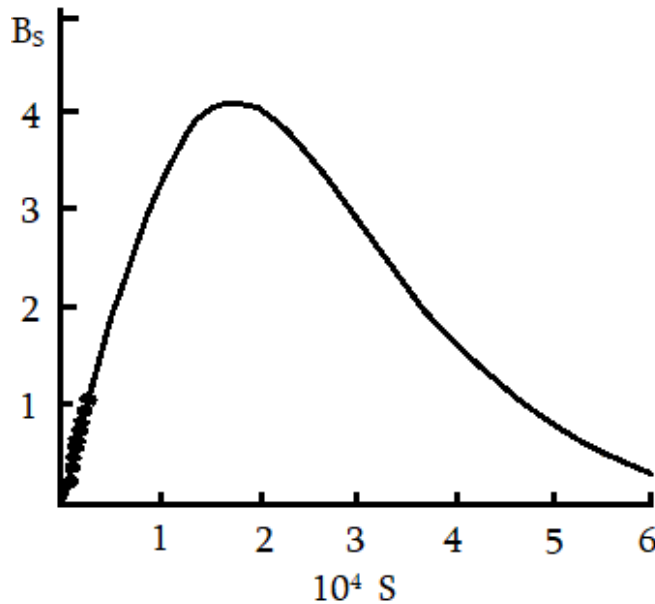
ელექტრონული ვარგისიანობის ფაქტორი ( $B_E$ ) თერმოელექტრულ მასალათა მნიშვნელოვან მახასიათებელს წარმოადგენს. იგი ფასდება ზეებეკის კოეფიციენტის ( $S$ ), ხვედრითი ელექტრული გამტარებლობისა ( $\sigma$ ) და მასშტაბირებული სიმძლავრის ფაქტორის ( $B_S$ ) კომბინაციით [1]:  $B_E = \sigma S^2 / B_S$ , სადაც  $B_S \cong 1.16 \cdot 10^4 S \left( \frac{1.16 \cdot 10^4 S e^{1.16 \cdot 10^4 S - 2}}{1 + e^{-5(1.16 \cdot 10^4 S - 1)}} + 3.291 + e^{51.16 \cdot 10^4 S - 1} \right)$  და  $\sigma S^2 \cong PF$  (სიმძლავრის ფაქტორი) ასევე მნიშვნელოვანი თერმოელექტრული პარამეტრებია [2,3]. ზეებეკის კოეფიციენტის დაბალი სიდიდეებისათვის საკმაო სიზუსტით სრულდება პირობა  $B_S \approx \frac{3.82 \cdot 10^4 S}{1 + e^{5(1.16 \cdot 10^4 S - 1)}}$ . უნდა აღინიშნოს, რომ  $PF$ -სა და  $B_E$ -ს ერთი და იგივე განზომილება გააჩნიათ, რადგან  $B_S$  უგანზომილებო სიდიდეა. იდეალური თერმოელექტრული მასალისათვის  $B_E$  არ არის დამოკიდებული ტემპერატურაზე და მისი ნებისმიერი ცვლილება მიუთითებს დამატებითი ეფექტების არსებობაზე (ზოლის კონვერგენცია, მუხტის დამატებითი გაფანტვა, ბიპოლარული გამტარობა).

წინამდებარე ნაშრომში განხილულია რიგი თერმოელექტრული მასალების  $B_S$  და  $B_E$  პარამეტრები, ასევე სიმძლავრის ფაქტორი ზეებეკის კოეფიციენტის დაბალი მნიშვნელობებისათვის, რაც ამ მასალებისათვის თავს იჩენს  $(5-374)K$  ტემპერატურულ უბანში [4-9].

ნახ.1-ზე წარმოდგენილია  $B_s - S$  დამოკიდებულება, რომელიც აგებულია რამოდენიმე ნიმუშისათვის არსებული  $S$ -ის სიდიდეთა საფუძველზე. იგი აგრძელებს (ავსებს) ლიტერატურიდან ცნობილ გასაშუალებულ მრუდს, აგებულს ნიმუშების დიდი რაოდენობისათვის ზეებეკის კოეფიციენტის დაბალი მნიშვნელობებისაკენ (ნახ.2).

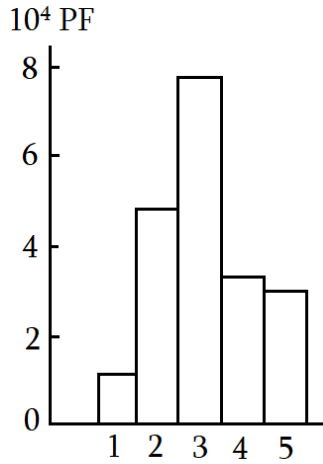


ნახ.1.  $B_s - S$  დამოკიდებულება  $(0.035-0.25)10^{-4}V/K$  უბანში: (○, ●) – Ni [4], Δ - Cu<sub>2</sub>Se [5], (□) - Sr/Co/O [6], (■) - Bi/Sr/Co/O [6], (▽) - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Bi<sub>2</sub>Te [7], (△) - Gr [8], ◇ - SnTe [9].  
 $[S]= V \cdot K^{-1}$ ,  $[B_s]$  - უგანზომილებო.

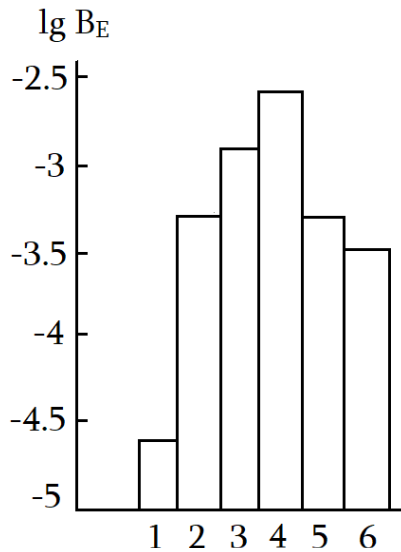


ნახ.2. უწყვეტი ხაზი:  $B_s - S$  დამოკიდებულების გასაშუალოებული მრუდი [1]-დან; წერტილები:  $B_s - S$  დამოკიდებულებები ზეებეკის კოეფიციენტის დაბალი მნიშვნელობებისათვის.  $[S]= V \cdot K^{-1}$ ,  $[B_s]$  - უგანზომილებო

ნახ.3-სა და 4-ზე წარმოდგენილია PF-ისა და  $B_E$ -ს სპექტოვანი დიაგრამები.



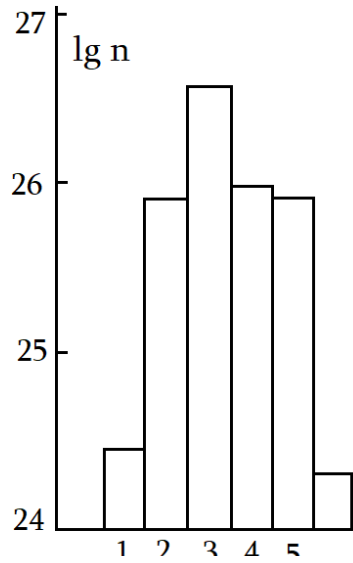
ნახ.3. PF-ის სიდიდეები: (1, 3) - Ni, (2) -  $Cu_2Se$ , (4) - Gr, 5 -  $SnTe$ .  
 $[PF]=W \cdot K^{-2} \cdot m^{-1}$ .



ნახ.4.  $B_E$ -ს სიდიდეები: (1) - Gr, (2, 5) -  $Cu_2Se$ , (3, 4) - Ni, (6) -  $SnTe$ .  
 $[B_E]=W \cdot K^{-2} \cdot m^{-1}$ .

სიმძლავრის ფაქტორის მცირე სიდიდეებმა არ უნდა გვაფიქრებინოს განხილული მასალების დაბალ თერმოელექტრულ ეფექტურობაზე - ზეებეკის კოეფიციენტის მაღალი მნიშვნელობებისათვის PF აღწევს  $2.5 W \cdot K^{-2} \cdot m^{-1}$ -მდე [5].

მუხტის მატარებელთა კონცენტრაციის გამოსათვლელად გამოვიყენეთ ფორმულა:  $n \cong 2.158 \cdot 10^{15} (T/S)^{3/2}$  (T - აბსოლუტური ტემპერატურა). n-ის მონაცემები მოყვანილია ნახ.5-ზე.



ნახ.5.  $n$ -ის სიდიდეები: (1, 5, 6) - Ni, (2, 4) - SnTe, (3) - Cu<sub>2</sub>Se.  
[ $n$ ]= $m^{-3}$ .

#### ლიტერატურა

1. X.Zhang, Z.Bu, X.Shi et al. Electronic quality factor for thermoelectric. Sci. Adv. 2020, 6, eabc0726.
2. A.Riss, F.Garmroudi, M.Parzer et al. Thermoelectric power factor of composites. Phys. Rev. Appl. 2024, 21, 014002.
3. M.Nakamura, H.Kojima, R.Abe et al. Giant Seebeck effect over 0.1 VK<sup>-1</sup> – is this an intrinsic phenomenon in organic semiconductors? Faraday Discuss., 2024, 250, 361.
4. P.Kumar, D.V.Maheswar Repaka, K.Hippalgaonkar. Lithography-free resistance thermometry based technique to accurately measure Seebeck coefficient and electrical conductivity for organic and inorganic thin films. The Review of scientific instruments. 2017, 88, 125112.
5. D.Byeon, R.Sobota, K.Delime-Codrin et al. Discovery of colossal Seebeck effect in metallic Cu<sub>2</sub>Se. Nat. Commun. 2019, 10, 72.
6. A.Maignan, D.Pelloquin, S.Herbert et al. Thermoelectric power in misfit cobaltites ceramics: Optimization by chemical substitutions. Bol. Soc. Esp. Ceram. Vid. 2006, 45, 122.
7. C.Lu, Z.Hu. Bottom-Up (Cu, Ag, Au)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> assembled thermoelectric heterostructures. Micromachines. 2021, 12, 480.
8. S.Rafique, M.R.Burton, N.Badieh et al. Ultralow thermal conductivity achieved by all carbon nanocomposites for thermoelectric applications. Adv. Electronic Materials. 2023, 9, 5, 2300023.
9. L.Zheng, W.Li, S.Lin et al. Interstitial defects improving thermoelectric SnTe in addition to band convergence. ACS Energy Lett. 2017, 2, 563.

Article received 2024-07-24