

Bi₂Te₃ ƏSASINDA BƏZİ ÜÇQAT BƏRK MƏHLULLARIN İSTİLİKKEÇİRİCİLİYİ

R.Ə. İSMAYILOVA, S.Z.CƏFƏROVA, C.Ş. ABDİNOV

*Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının
akad.H.M.Abdullayev adına Fizika İnstitutu
AZ – 1143, H. Cavid pr.33.*

Bi₂Te₃-Sb₂Te₃-Gd₂Te₃ bərk məhlullarının 80÷300 K intervalında istilikkeçirməsi tədqiq edilmişdir. Göstərilmişdir ki, temperaturun artması ilə ümumi və qəfəs istilikkeçirmələri azalır. Sb₂Te₃ və Gd₂Te₃-ün miqdarının artması da ümumi və qəfəs istilikkeçirməsinin azalmasına gətirir. Müəyyən olunmuşdur ki, istilik daşınması əsasən fononlarla baş verir.

Исследована теплопроводность твердых растворов Bi₂Te₃-Sb₂Te₃-Gd₂Te₃ в области температур 80÷300 К. Показано, что с ростом температуры общая и решеточная теплопроводности уменьшаются. Увеличение содержания Sb₂Te₃ и Gd₂Te₃ также приводит к снижению общей и решеточной теплопроводностей. Установлено, что перенос тепла осуществляется, в основном, фононами.

The thermal conductivity of Bi₂Te₃-Sb₂Te₃-Gd₂Te₃ solid solutions is measured in the range 80÷300 K. The total thermal conductivity and lattice component are found to decrease with increasing temperature. Increasing the Sb₂Te₃ and Gd₂Te₃ content of the solid solutions also reduces the total and lattice thermal conductivities, with annealing. The heat conduction is realize mainly by phonons.

Bi₂Te₃ əsasında yarımkeçirici bərk məhlullar 350 K-dən aşağı temperaturalarda işləyən termoelektrik çevricilərində geniş tətbiq olunurlar [1,2]. Belə materialların effektivliyi onların əsas fiziki parametrləri, o cümlədən istilikkeçirmə əmsalı χ ilə təyin olunur. İstilikkeçirmə əmsalının idarə olunmasının əsas yollarından biri isə mürəkkəb tərkibli bərk məhlulların yaradılmasıdır [3,4]. Bunu nəzərə alaraq

[(Sb₂Te₃)_{0,92}(Gd₂Te₃)_{0,08}]_{0,05}

[Bi₂Te₃]_{0,95}, [(Sb₂Te₃)_{0,92}(Gd₂Te₃)_{0,08}]_{0,10}

[Bi₂Te₃]_{0,90}, [(Sb₂Te₃)_{0,92}(Gd₂Te₃)_{0,08}]_{0,15}

[Bi₂Te₃]_{0,85}, (Sb₂Te₃)_{0,74}(Bi₂Te₃)_{0,24}(Gd₂Te₃)_{0,02}, (Sb₂Te₃)_{0,72}

(Bi₂Te₃)_{0,26}(Gd₂Te₃)_{0,02}, (Sb₂Te₃)_{0,74}(Bi₂Te₃)_{0,20}(Gd₂Te₃)_{0,06}

üçqat bərk məhlulları sintez olunmuş və 80-300 K intervalında onlarda istilikdaşınması prosesi tədqiq olunmuşdur. Müqayisə üçün Bi₂Te₃ və (Bi₂Te₃)_{0,74}(Sb₂Te₃)_{0,26} tərkibləri də sintez olunaraq tədqiq olunmuşlar. Tərkibində nadir torpaq elementi komponenti olan Bi₂Te₃ əsasında bərk məhlullar çox az tədqiq olunduğundan, göstərilən sistemlərin tədqiqi əlavə maraq da kəsb edir.

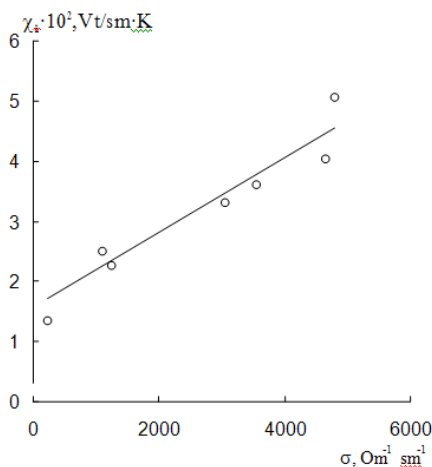
İstilikkeçirmə əmsalı sintez olunmuş nümunələr boyunca stasionar rejimdə ölçülmüşdür.

Alınmış nəticələrin təhlilində tərkiblərin elektrik xassələrinin tədqiqindən [5,6] alınmış məlumatlardan istifadə olunmuşdur.

1-ci şəkildə tərkiblərin istilikkeçirmə əmsalı χ -nın nümunələrin elektrikkeçiriciliyindən asılılığı göstərilmişdir. Bipolyar termodiffuziya və fotonlarla istilik daşınmasının χ -ya təsirini aradan qaldırmaq üçün asılılıq χ və σ -nın ~80 K-dəki qiymətləri əsasında qurulmuşdur. Şəkildən görünür ki, $\chi(\sigma)$ -də eksperimental qiymətlərin düzxətli asılılıqdan böyük kənarçıxmaları müşahidə olunur. Habelə, asılılığın $\sigma=0$ qiymətə ekstrapolyasiyasından Bi₂Te₃-ün ~80 K-də malik olduğu qəfəs istilikkeçirmə əmsalı (χ_q) üçün alınan qiymət (~1,25·10⁻² Vt/sm·K) ədəbiyyat qiymətlərindən (~5·10⁻² Vt/sm·K [1]) xeyli kiçikdir.

Bu göstərir ki, Bi₂Te₃-də [(Sb₂Te₃)_{0,92}(Gd₂Te₃)_{0,08}] qrupunun miqdarı artdıqca elektron istilikkeçirmə əmsalı (χ_e) ilə yanaşı χ_q -də dəyişir və həmin asılılıqdan χ_q təyin oluna bilməz.

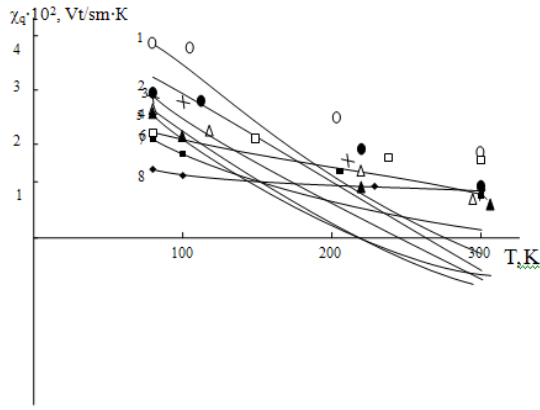
Nümunələrin istilikkeçirmə əmsalına temperatur və tərkibin təsiri mexanizmini aydınlaşdırmaq üçün χ_q və χ_e hesablanmışdır.



Şək. 1. Tərkiblərin istilikkeçirmə əmsalının onların elektrikkeçiriciliyindən asılılığı.

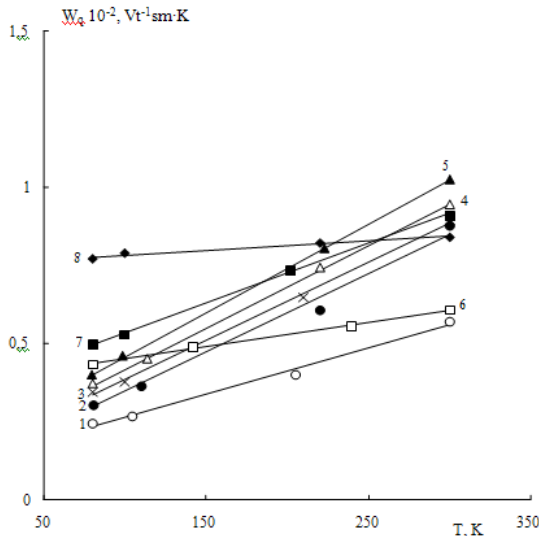
$$\chi_e = L\sigma T = A \left(\frac{k}{e} \right)^2 \sigma T$$

ifadəsindən istifadə olunmuşdur. Burada σ -nümunənin elektrikkeçiriciliyi, T -mütləq temperatur, L -Lorens ədədi, k – Bolsman sabiti, e -elektronun yüküdür. A kəmiyyətinin qiyməti termo-e.h.q. əmsalının (α) təcrübi qiymətlərinə əsasən $A=f(\alpha)$ nəzəri asılılığın-dan [7] təyin olunmuşdur. Hesablama göstərmişdir ki, baxılan nümunələrdə ~80 K-də istilik əsasən qəfəsin rəqsləri ilə (fononlarla) daşınır. Temperatur yüksəldikcə χ_e -nin χ -da payı artaraq bəzi nümunələr üçün otaq temperaturunda ~25÷30%-ə çatır. Digər tərəfdən tərkibdə Sb₂Te₃ və Gd₂Te₃-ün miqdarı artdıqca χ_q -də kifayət qədər (3 dəfəyədək) azalır, yəni bərk məhlul yaranarkən yaxın düzülüşdə güclü dəyişiklik baş verir. Bu səbəbdən, 1-ci şəkildən ekstrapolyasiya üsulu ilə təyin olunmuş χ_q həqiqi qiymətə uyğun gəlmir.



Şəkl. 2. Qəfəs istilikkeçirmə əmsalının temperaturdan asılılığı.

- 1-[(Sb₂Te₃)_{0,92}(Gd₂Te₃)_{0,08}]_{0,05}[Bi₂Te₃]_{0,95},
- 2- [(Sb₂Te₃)_{0,92}(Gd₂Te₃)_{0,08}]_{0,10}[Bi₂Te₃]_{0,90},
- 3- [(Sb₂Te₃)_{0,92}(Gd₂Te₃)_{0,08}]_{0,15}[Bi₂Te₃]_{0,85},
- 4-(Sb₂Te₃)_{0,74}(Bi₂Te₃)_{0,24}(Gd₂Te₃)_{0,02},
- 5-(Sb₂Te₃)_{0,72}(Bi₂Te₃)_{0,26}(Gd₂Te₃)_{0,02},
- 6- (Sb₂Te₃)_{0,74}(Bi₂Te₃)_{0,20}(Gd₂Te₃)_{0,06}
- 7- Bi₂Te₃
- 8- (Bi₂Te₃)_{0,74}(Sb₂Te₃)_{0,26}



Şəkl. 3. Qəfəs istilik müqavimətinin temperaturdan asılılığı. İşarələmə 2-ci şəkillərdəki kimidir.

2-ci və 3-cü şəkillərdə uyğun olaraq

$$\chi_q = \chi - \chi_e$$

ifadəsinə əsasən hesablanmış qəfəs istilikkeçirmə əmsalı və $W_q = 1/\chi_q$ qəfəs istilik müqavimətinin temperatur asılılıqları verilmişdir.

Göründüyü kimi temperatur artdıqca qəfəs istilikkeçirmə əmsalı $\chi_q \sim T^{-1}$ qanunu ilə azalır, qəfəs istilik müqaviməti isə $W_q = \text{const} \cdot T$

qanunu ilə xətti artır. Yəni, tərkiblərdə 80÷300 K intervalında istilikkeçirmə başlıca olaraq üçfononlu proseslə müəyyənəlsir.

3-cü şəkildə $W_q \sim T$ asılılıqlarının $T=0$ qiymətinə ekstropolyasiyasında ordinat oxundan kəsilən parçalar hər bir tərkibdə defektlərin hesabına yaranan əlavə istilik müqavimətinə uyğundur. Bi₂Te₃ birləşməsi üçün $W_q \sim T$ asılılığının ekstropolyasiyasının $T=0$ qiymətində 0-dan keçməsinə

səbəb bu birləşmənin sintez olunmuş nümunələrində struktur defektlərin mövcudluğu ilə izah oluna bilər.

Bi₂Te₃ birləşməsində Sb₂Te₃ və Gd₂Te₃ komponentlərinin hər birinin yaratdığı istilik müqavimətini təyin etmək üçün [8, 9] işlərində təklif olunmuş üsuldən istifadə olunmuşdur. Həmin işlərdə Bi₂Te₃-Sb₂Te₃, Bi₂Te₃-Bi₂Se₃, Bi₂Te₃-Bi₂S₃, Bi₂Te₃-In₂Te₃, Bi₂Te₃-Sb₂Se₃, Bi₂Te₃-Sb₂S₃, Bi₂Te₃-Bi₂Se₃-Bi₂S₃ bərk məhlullarının istilikkeçirmə əmsalı 80-120 K intervalında tədqiq olunmuşdur (bipolyar termodiffuziya hesabına yaranan istilikkeçirməni nəzərə almamaq üçün). Öyrənilən bərk məhlulların istilik müqaviməti üçün həmin temperatur intervalında

$$W_{b,m} = W_0 + \Delta W$$

asılılığı alınmışdır. Burada W_0 və $W_{b,m}$ uyğun olaraq Bi₂Te₃ birləşməsinin və öyrənilmiş bərk məhlulun istilik müqavimətləridir; ΔW – ikinci komponentin daxil edilməsi nəticəsində yaranan əlavə istilik müqavimətidir. Müəyyən olunmuşdur ki, ΔW temperaturdan asılı olmayıb, ancaq ikinci komponentin tərkibi və konsentrasiyasından asılıdır. İstilikkeçirmənin elektron komponenti bütün hallarda Lorens ədədi üçün ümumi düsturdan hesablanmış və qəbul edilmişdir ki, yükdaşıyıcıların səpilməsi akustik fononlardan baş verir ($p = -0,5$).

Daha mürəkkəb tərkibli bərk məhlullarda, məsələn, Bi₂Te₃+Sb₂Te₃+Bi₂Se₃ sistemində olur; burada ΔW_1 və ΔW_2 kəmiyyətləri Bi₂Te₃-ə ayrılıqda həmin miqdarda Bi₂Se₃ və Sb₂Te₃ birləşməsi daxil etdikdə istilik müqavimətinin dəyişməsidir. Belə aditivlik başqa mürəkkəb bərk məhlullar (Bi₂Te₃-Bi₂Se₃-Bi₂S₃-Sb₂Te₃, Bi₂Te₃-Bi₂Se₃-Bi₂S₃-Sb₂Te₃-In₂Te₃) üçün də ödənməlidir.

$$\Delta W = \Delta W_1 + \Delta W_2$$

Öyrənilən tərkiblərdə də Bi₂Te₃-ə [(Sb₂Te₃)_{0,92}(Gd₂Te₃)_{0,08}] qrupu daxil edərək yaranan əlavə istilik müqaviməti ΔW həm Sb₂Te₃ (ΔW_1), həm də Gd₂Te₃ (ΔW_2) komponentlərin yaratdığı istilik müqavimətlərinin cəmi ilə təyin olunacaqdır. Hər bir komponentin ayrılıqda yaratdığı istilik müqavimətini (ΔW_1 və ΔW_2 -ni) müəyyənləşdirmək məqsədi ilə Bi₂Te₃-Sb₂Te₃ sistemi bərk məhlulları da (15% Sb₂Te₃-ə qədər) sintez olunaraq tədqiq edilmişdir.

Müəyyən olunmuşdur ki, Bi₂Te₃-ə 5,10;15% [(Sb₂Te₃)_{0,92}(Gd₂Te₃)_{0,08}] daxil etdikdə Gd₂Te₃-ün yaratdığı əlavə istilik müqavimətləri uyğun olaraq 2, 4; 1,2; 1,1 Vt⁻¹ sm·K təşkil edir.

Beləliklə, göstərilmişdir ki, öyrənilən bərk məhlullarda 80-300 K intervalında istilik enerjisi, əsasən fononlar (~75%-dək) və keçiricilik elektronları (~25%-dək) ilə daşınır. Bi₂Te₃-ə Sb₂Te₃ və Gd₂Te₃ komponentləri daxil etdikdə fononlarla daşınan istilik miqdarı ~80 və 300 K-də 1,5 dəfəyədək azalır ki, bu da bərk məhlulun yaratdığı struktur defektlərin hesabına baş verir. Sb₂Te₃ və Gd₂Te₃ komponentlərinin bərk məhlullarda birgə və ayrılıqda yaratdıqları istilik müqavimətləri hesablanmışdır. Tərkiblərin hamısında fonon istilikkeçirməsinin temperatur asılılığı Eyken qanuna təbə olur, yəni, əsasən fononların qəfəsini rəqslərindən səpilməsi ilə təyin olunur.

-
- [1]. *Б.М.Гольцман, В.А.Кудинов, И.А. Смирнов* Полупроводниковых термоэлектрических материалы на основе Bi₂Te₃. М.: Наука 1972.320 с.
- [2]. *З.Ф.Агаев, Д.Ш. Абдинов* Термоэлектрические охладители для фотоэлектроники. АМЕА-nin Xəbərləri, FRTE seriyası, 2004, с. 24, №5, с. 28-29.
- [3]. *А.Ф. Иоффе* Полупроводниковые термоэлементы. Л.:Изд.-во АН СССР, 1960, 188 с.
- [4]. *Л.Н.Лукьянова, В.А. Кутасов* Гальваномагнитные и термоэлектрические свойства многокомпонентных твердых растворов на основе халькогенидов Bi и Sb.// ФТТ, 2006, т.48, № 4, с.607-613.
- [5]. *Р.А.Исмайылова, И.Б.Бахтиярлы, Б.Ш.Бархалов, М.И.Тагиев, Р.Ю.Алиев.* Термоэлектрические свойства твердых растворов системы Sb₂Te₃-Bi₂Te₃-Gd₂Te₃ и тройного соединения. Gd Sb Te₃. Физика, 2007, с.13., № 1-2, с. 160-161.
- [6]. *Р.А.Исмайылова, И.Б.Бахтиярлы, Б.Ш.Бархалов, М.И.Тагиев, Р.Ю.Алиев.* Термоэлектрические свойства твердых растворов системы (Sb₂Te₃)_{0,92}(Gd₂Te₃)_{0,08} Bi₂Te₃. Физика, 2007, с.13, №4, с.132-133.
- [7]. *И.А.Смирнов, В.И. Тамарченко* Электронная теплопроводность в металлах и полупроводниках. Л.:Наука 1977.151 с.
- [8]. *Е.А.Гуриева, В.А.Кутасов, И.А. Смирнов* Теплопроводность твердых растворов систем Bi₂Te₃-Sb₂Te₃. ФТТ, 1964, т.6, 38, с.2453-2456.
- [9]. *Е.А.Гуриева, А.И. Заславский, В.А.Кутасов, И.А. Смирнов* Теплопроводность твердых растворов на основе теллурида висмута. ФТТ, 1965, т.7, № 4, с.1221-1227.