

YARIMKEÇİRİCİ-METAL TIPLI KOMPOZİTLƏRİN İSTİLİK KEÇİRİCİLİYİNDƏ FAZALARARASI ZONALARIN ROLU

M.İ.ƏLİYEV, R.N.RƏHİMOV, D.H.ARASLI, A.Ə.XƏLİLOVA,
İ.X.MƏMMƏDOV*

*Azərbaycan MEA Fizika İnstitutu
AZ 1143, Bakı, H.Javid pr., 33
Milli Aviasiya Akademiyası*
AZ 1045, Bakı, Binə, 25 km*

Göstərilmişdir ki, yarımkeçirici-metal tipli evtektik kompozitlərdə fazalararası zonalar istilik keçiriciliyin anizotropluğu müəyyən mühüm rol oynayır və istilik keçiriciliyin effektiv qiyməti effektiv mühit yaxınlaşması çərçivəsində hesablanarkən, onların həcmi fraksiyası nəzərə alınmalıdır.

GİRİŞ

InSb, GaSb və 3d - keçid elementləri əsasında alınan yarımkeçirici-metal tipli evtektik kompozitlərin öyrənilməsi uzun illər davam etsə də, belə kompozitlərdə fazalararası sərhədlə bağlı bir çox məsələlərə tam aydınlıq gətirilməmişdir. Əvvəlki işlərimizdə [1-3] elektron mikroskopun tətbiqi ilə bu maddələrin mikrostrukturunda müəyyən edilmiş xüsusiyyətlərə əsasən bir sıra fiziki xassələr izah olunmuşdur. [2] işdə effektiv mühit yaxınlaşması çərçivəsində InSb-MnSb, InSb-FeSb və GaSb-FeGa_{1,3} evtektik kompozitlərin elektrik keçiriciliyi hesablanmış və anizotropluğa səbəb olan qısaqapanma prosesində metal iynələrlə yanaşı fazalararası zonaların kifayət dərəcədə rol oynadığı göstərilmişdir. [3] işdə istilik seli ilə metal iynələrin müxtəlif qarşılıqlı istiqamətlərində $T < 200K$ temperaturlarda istilik keçiriciliyində anizotropluğa gətirə biləcək amillər - elektronların istilik keçiriciliyindəki rolu, fononların nöqtəvi defektlərdən səpilməsi, uzun dalğalı fononların fazalararası zonaların sərhədindən səpilməsi araşdırılmış və uzundalğalı fononların fazalararası zonaların sərhədindən səpilməsi amilinin üstünlük təşkil etdiyi göstərilmişdir.

Termoelektrik hadisələrində də müşahidə olunan xüsusiyyət uzundalğalı fononların fazalararası zonaların sərhədindən səpilməsi ilə izah olunmuşdur [4].

Son zamanlar kompozitlərdə tərkibdən asılı olaraq fiziki parametrlərin dəyişməsinə öncədən təyin etmək üçün müxtəlif modellər yaradılır. Bu modellər praktiki cəhətdən əhəmiyyət kəsb etdiyindən, onlar əsasında hesablamalar apararaq tədqiq olunan maddənin effektiv parametrləri təyin olunur. Qeyri bircins sistemlərdə, xüsusən kompozit materiallarda, qatmaların konsentrasiyası az olduqda, sistemin effektiv parametrləri Maksvel ifadəsi ilə [5], böyük konsentrasiyalarda isə Brüqqeman [6] ifadəsi ilə hesablanır. Hazırda kompozit maddələrin keçiriciliyini öncədən söyləmək üçün bu modellər inkişaf etdirilərək yeni diferensial effektiv mühit nəzəriyyəsi təklif olunmuşdur [7].

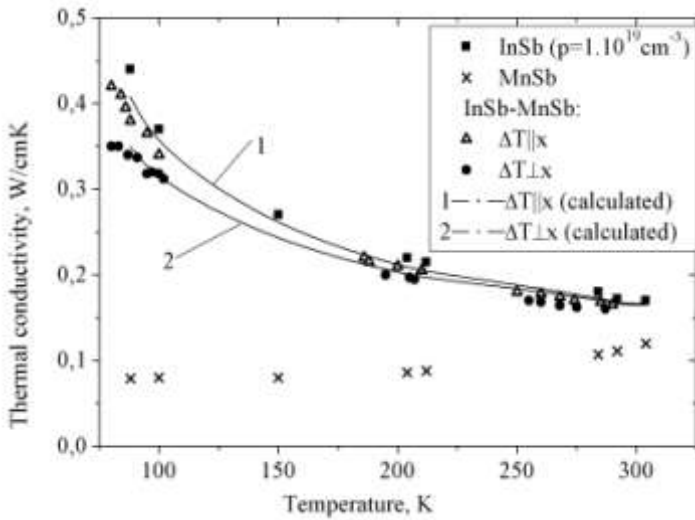
Təqdim olunan işdə effektiv mühit yaxınlaşması çərçivəsində InSb-MnSb, InSb-FeSb və GaSb-FeGa_{1,3} evtektik kompozitlərin effektiv istilik keçiriciliyi hesablanmış və metal fazanın həcmi fraksiyasında fazalararası zonaların payının nəzərə alınmasının vacibliyi göstərilmişdir.

TƏDQIQATLARIN APARILMASI VƏ ALINAN NƏTİCƏLƏRİN MÜZAKİRƏSİ

InSb, GaSb yarımkeçirici birləşmələri və 3d-keçid elementləri əsasında yaranan evtektik kompozitlərin alınma texnologiyası [1, 8] işlərdə geniş təsvir olunmuşdur. Əvvəlki işlərimizdə [1-3] “PhilipsTM” markalı elektron mikroskopu (SEM) və

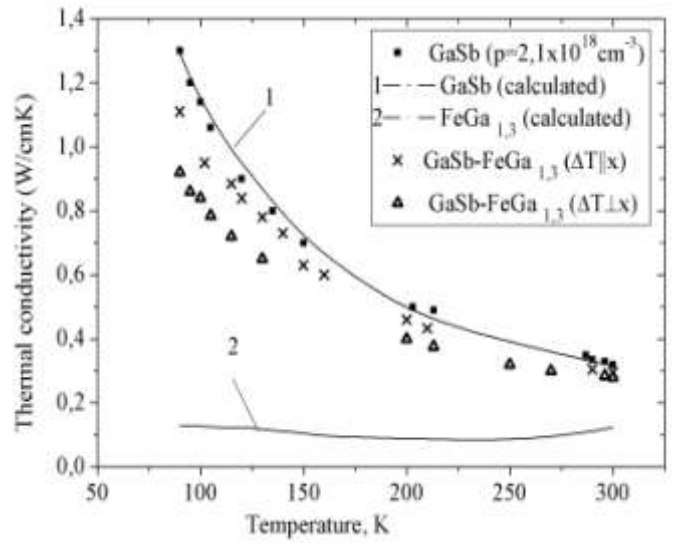
EDAXTM rentgen spektroqrafi tətbiq olunaraq GaSb-FeGa_{1,3}, InSb-FeSb və InSb-MnSb evtektik kompozitlərin mikrostrukturu tədqiq olunmuş və kristallaşma oxu boyunca paralel düzölmüş metal iynələrin ətrafında qeyri bərabər şəkildə örtüyün yarandığı göstərilmişdir. Fazalar arası zona adlandırılan belə örtük kələ-kötür quruluşa malik olmaqla yanaşı, onların ölçüləri iynələr boyunca bir-neçə dəfə fərqlənir [2].

Göstərilən kompozitlərin istilik keçiriciliyi bizim [3] işdə stasionar istilik seli üsulu ilə, temperatur keçiriciliyi isə işıq impulsu ilə ölçülmüşdür. Hər üç kompozit üçün istilik keçiriciliyin temperatur asılılığının [3] işdən götürülmüş eksperimental nəticələri 1–3-cü şəkillərdə nöqtələrlə verilmişdir. Metal fazanın və istilik selinin qarşılıqlı istiqamətindən asılı olaraq müşahidə olunan anizotropluq 80 K temperaturda InSb-FeSb və InSb-MnSb evtektik kompozitləri üçün 1.2 və GaSb-FeGa_{1,3} kompoziti üçün 1.3 olmuşdur. Temperatur artdıqca anizotropluq azalır və yuxarı temperaturlarda yox olur. Bu kompozitlərdə elektron istilik keçiriciliyi cüzidir və istilik əsasən qəfəs rəqsləri ilə daşınır.



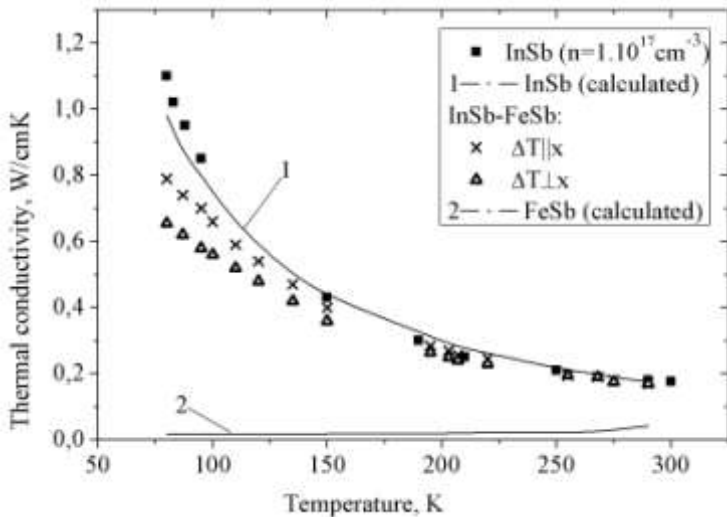
Şəkil 1.

InSb ($p=1 \times 10^{19} \text{ sm}^{-3}$), MnSb və InSb-MnSb üçün istilik keçiriciliyin temperatur asılılığı. InSb-MnSb üçün eksperimental nöqtələr [3] işdən, MnSb [13] işdən götürülmüşdür. Bütöv xətlər (1) və (2) düsturları ilə hesablanmışdır.



Şəkil 2.

GaSb ($p=2.1 \times 10^{18} \text{ sm}^{-3}$) və GaSb-FeGa_{1,3} üçün istilik keçiriciliyin temperatur asılılığı. GaSb və GaSb-FeGa_{1,3} üçün eksperimental nöqtələr [3] işdən götürülmüş, bütöv xətlər isə (1) və (2) düsturları ilə hesablanmışdır.



Şəkil 3.

InSb ($n=1 \times 10^{17} \text{ sm}^{-3}$), və InSb-FeSb üçün istilik keçiriciliyin temperatur asılılığı. InSb və InSb-FeSb üçün eksperimental nöqtələr [3] işdən götürülmüş, bütöv xətlər isə (1) və (2) düsturları ilə hesablanmışdır.

Qəfəs istilik keçiriciliyin hesablanması bir çox hallarda Kallaveyin relaksasiya metodu əsasında aparılır və fononların səpildiyi mexanizmlərin intensivliyi təyin olunarkən bir neçə yaxınlaşdırıcı parametrlərdən istifadə olunur. Təklif olunan yeni analitik modellərdə isə əsasən kompoziti təşkil edən komponentlərin həcmi fraksiyası və onların fiziki parametrləri iştirak edir. Tədqiq etdiyimiz evtektikalarda metal iynələrin perpendikulyar və paralel istiqamətlərində istilik keçiriciliyin effektiv qiymətini təyin etmək üçün effektiv mühit yaxınlaşması əsasında verilmiş formullardan istifadə etmişik [10]:

$$K_{\parallel} = K_2 + (1-c)(K_1 - K_2) ; \quad K_{\perp} = K_2 + \frac{2K_2(1-c)(K_1 - K_2)}{2K_2 + c(K_1 - K_2)}, \quad (1)$$

burada, K_1 və K_2 - uyğun olaraq matrisanın və metal fazanın istilik keçiriciliyi, K_{\parallel} və K_{\perp} - istilik selinin iynələrə paralel və perpendikulyar istiqamətlərində evtektik kompozitin istilik keçiriciliyidir. c - metal fazanın həcmi fraksiyasıdır. Bu formulların köməyi ilə həm kompozitin, həm də ayrı-ayrı komponentlərin istilik keçiriciliyini təyin etmək mümkündür.

İlkin hesablamalar [3] göstərmişdir ki, metal fazanın həcmi fraksiyası cüzi olduğundan, onların istilik keçiriciliyinə verdiyi pay his olunmayacaq dərəcədədir. Qeyd edək ki, bu hesablamalarda fazalararası qarşılıqlı təsir nəzərə alınmamışdır. Hesab edirik ki, (1) ifadələrində fazalararası qarşılıqlı təsir nəzərə alınmalıdır. Ona görə də, elektrik keçiriciliyin hesablamalarında [2] olduğu kimi, metal iynənin V_i həcmi V_{ef} effektiv həcmi ilə əvəz olunmuşdur:

$$V_{ef} = V_i \phi^2 \quad \text{və} \quad c_{ef} = \frac{V_i N_i \phi^2}{1 - V_i N_i \phi^2}, \quad (2)$$

burada N_i - metal iynələrin həcmi sıxlığı, V_i - bir metal iynənin həcmi, ϕ - fazalararası zonanın və metal iynələrin radiusları nisbətidir.

InSb-MnSb evtektik kompozitin ayrı-ayrı komponentlərinin (InSb və MnSb birləşmələrinin) istilik keçiriciliyi məlum olduğundan, (1) və (2) ifadələrindən istifadə edərək, iynələrin istilik selinə paralel və perpendikulyar istiqamətində bu kompozit üçün istilik keçiriciliyin effektiv qiyməti hesablanmışdır. Nəticələr 1 və 2 bütöv əyriləri ilə 1-ci şəkildə eksperimental nöqtələrlə yanaşı verilmişdir. Şəkildən görüldüyü kimi $\phi=1.7$; $c_{ef}=0.12$ qiymətlərində istilik keçiriciliyin eksperimental qiymətləri və hesablanmış effektiv qiymətlər arasında yaxşı uyğunluq alınmışdır. ϕ -in qiyməti elektrik keçiriciliyin tədqiqatlarından alınmış nəticələrə uyğun gəlir.

FeGa_{1.3} və FeSb komponentləri haqqında ayrılıqda eksperimental bilgilər mövcud deyildir. Elmi ədəbiyyatda ancaq FeGa₃ [11] və FeSb₂ [12] birləşmələrin istilik keçiriciliyi öyrənilmişdir. Ona görə də göstərilən kompozitlərin K_{\parallel} və K_{\perp} eksperimental bilgilərinə əsasən həm GaSb və InSb matrisaların, həm də FeGa_{1.3} və FeSb birləşmələrin istilik keçiriciliyi hesablanmışdır. 80-300K temperatur bölümündə aparılmış hesablamaların nəticələri eksperimental nəticələrlə birlikdə 2-ci və 3-cü şəkildə verilmişdir. GaSb-FeGa_{1.3} üçün $\phi=1.6$; $c_{ef}=0.089$ və InSb-FeSb üçün $\phi=1.4$; $c_{ef}=0.01$ qiymətləri seçildikdə GaSb və InSb üçün hesablanmış qiymətlər onların eksperimental bilgilərinə uyğun gəlir.

Beləliklə, fazalararası zonaların həcmi fraksiyasının nəzərə alınması ilə aparılan hesablamalar və eksperimental bilgilər arasında uyğunluğun alınması göstərir ki, fazalararası zonalar, elektron proseslərində olduğu kimi [2], fonon proseslərində də mühüm rol oynayır və istilik keçiriciliyində anizotropluğu yaranmasında rol oynayan başlıca amildir.

YEKUN

Yarımkəçirici-metal tipli evtektik kompozitlərdə metal iynələrin ətrafında yaranan örtüyün – fazalararası zonaların rolu elektrik keçiriciliyi və termoelektrik hərəkət

qüvvəsində olduğu kimi, istilik keçiriciliyində də kifayət dərəcədə rol oynayır və effektiv istilik keçiriciliyi hesablanarkən onlar nəzərə alınmalıdır.

1. M.I.Aliyev, A.A.Khalilova, D.H.Arasly, R.N.Rahimov, M.Tanoglu, L.Ozyuzer, *J.Phys.D: Appl. Phys.*, **36** (2003) 2627.
2. M.I.Əliyev, A.Ə.Xəlilova, D.H.Araslı, R.N.Rəhimov, M.Tanoğlu, L.Özyüzər, *Fizika*, **13** №4 (2007) 8.
3. M.I.Aliyev, D.H.Arasly, R.N.Rahimov, A.A.Khalilova, I.Kh.Mammadov, R.M.Cabbarov, *Transactions of Azerbaijan Academy of Sciences, Series of Physical-mathematical and Technical sciences, Physics and Astronomy*, **XXVII** №2 (2007) 72.
4. R.N.Rəhimov, D.H.Araslı, A.Ə.Xəlilova, M.İ.Əliyev, , *Transactions of Azerbaijan Academy of Sciences, Series of Physical-mathematical and Technical sciences, Physics and Astronomy*, **XXVIII** №5 (2008) 101.
5. J.C.Maxwell-Garnett, *Phil. Trans. R. Soc. London*, 203 (1904) 385; R.K.Juris, K.Eugene, *J.Phys. A: Math. Gen.*, **31** (1998) 7227. Printed in the UK PII: S0305-4470(98)93976-2.
6. D.A.G.Bruggeman, *Ann. Phys. (Leipzig)*, **24** (1935) 636; J.R.Kalnin, E.Kotomin, *J. Phys. A: Math. Gem.*, 31 (1998) 7227.
7. Kl.Hadjov, D.Dontchev, *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*, **43** (2008) 438.
8. A.Müller, M.Wilhem, *J.Phys.Chem.Solids*, **26** (1965) 2021; 2029.
9. P.G. Klemens, *Phys.Rev.*, **119** (1960) 507.
10. В.В.Леонов, Е.Н.Чунарев, Ю.Е.Спектор, Кн.: *Физико-химические процессы в гетерогенных системах, Красноярск*, (1977) 68.
11. Y.Amaga, A.Yamamoto, C.H.Lee, *Materials Research Society, Symp.Proc.* 793 (2004) S8.38.1.
12. A.Benten, S.Johnsen, G.H.Madsen, B.B.İversen, F.Steglich, *EPL (A Letters Journals Exploring, The Frontiers of Physics)* **80** (2007) 17008.
13. М.И.Алиев, Д.Г.Араслы, Р.Э.Гусейнов, Р.М.Джаббаров, *ФТТ*, **8** (1974) 2139.

**ROLE OF INTERPHAZE ZONE IN THERMAL CONDUCTIVITY OF EUTECTIC
COMPOSITIONS OF SEMICONDUCTOR-METAL TYPE**

M.I.ALIYEV, R.N.RAHIMOV, D.H.ARASLY, A.A.KHALILOVA, I.Kh.MAMMADOV

It has been shown that the role of the interphase zone in anisotropy of thermal conductivity of eutectic compositions of the semiconductor-metal type is substantial and that it is necessary to take into account volume fractions of the interphase zone in computation of effective thermal conductivity in the framework of the effective medium theory.

**РОЛЬ МЕЖФАЗНЫХ ЗОН В ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ КОМПОЗИТОВ ТИПА
ПОЛУПРОВОДНИК-МЕТАЛЛ**

М.И.АЛИЕВ, Р.Н.РАГИМОВ, Д.Г.АРАСЛЫ, А.А.ХАЛИЛОВА, И.Х.МАМЕДОВ

Показано, что роль межфазных зон в анизотропии теплопроводности композитов типа полупроводник-металл существенна и необходим учет объемных фракции межфазных зон и металлических включений при вычислении эффективных значений теплопроводности в рамках теории эффективных сред.