

(GaSb)_{0.866}-(CrSb)_{0.134} EVTEKTİK SİSTEMİNİN ELEKTRİK KEÇİRİCİLİYİNƏ FAZALARARASI ZONALARIN TƏSİRİ

M.V. KAZIMOV, R.N. RƏHİMOV, D.H. ARASLI, A.Ə. XƏLİLOVA

Azərbaycan MEA Fizika İnstitutu, AZ 1143, H. Cavid prospekti, 131.

mobilkazimov@gmail.com

İ.X. MƏMMƏDOV

Azərbaycan Milli Aviasiya Akademiyası, AZ 1045, Bakı, Binə, 25-km

GaSb-CrSb evtektik sisteminin SEM elektron mikroskopunda mikrostrukturunu tədqiq olunmuş və fazalararası qeyri-bircins zonaların yarandığı müəyyən olunmuşdur. Evtektik kompozitin elektrik keçiriciliyinin effektiv qiymətini təyin edərəkən fazalararası sərhəd bölgəsində yaranan qeyri-bircins zonanın rolu nəzərə alınmışdır.

Açar sözlər: evtektik kompozit, SEM, elektrik keçiriciliyi, fazalararası zona

PACS: 537.622

GİRİŞ.

Hal-hazırda eyni zamanda yarımkeçirici-metal və maqnit xassələrinə malik olan materialların yaradılması istiqamətində intensiv tədqiqatlar aparılır. III-V qrup elementləri və 3d-keçid metal əsaslı evtektik kompozitlərdə metal qatmaların iynələr şəklində matrisdə paralel düzülərək bərabər paylanması, kinetik parametrlərində anizotropiyanın yaranması, həm yarımkeçirici, həm də metal xassələrinin özündə cəmləşdirməsi bu kompozitlərin önəmli xüsusiyyətidir. Belə evtektik sistemlərin fiziki xassələri 3d-keçid metalların elektron konfigurasiyasından, qatmaların həndəsi formasından və fazalararası zonaların yaranmasından asılıdır. III-V qrup birləşmələri və 3d-elementləri əsasında evtektik kompozitlərin yaranması ilk dəfə Müllerin işlərində göstərilmiş, Umehara, Koda və başqaları GaSb-CrSb evtektik kompozitin hal diaqramını vermişlər [1].

GaSb-CrSb sisteminə daxil olan CrSb birləşməsində *c* oxuna perpendikulyar istiqamətdə düzülmüş ferromaqnit müstəvilər arasındakı əlaqənin antiferromaqnit xarakter daşması səbəbindən, belə sistemin az qatılıqlı maqnit material kimi öyrənilməsi əhəmiyyət kəsb edir [2-5]. İlk işlərimizdə GaSb-CrSb evtektik kompozitinin mikrostrukturunu, morfologiyasını, elektron-fonon prosesləri öyrənilib [6,7], diferensial termik analizləri aparılıb [8], elektrik və istilik xassələrinin xüsusiyyətləri göstərilmişdir [7,9,10].

Təqdim olunan işdə müxtəlif kristallaşma sürətləri ilə alınmış GaSb-CrSb evtektik kompozitinin kinetik parametrləri tədqiq olunmuş, effektiv mühit yaxınlaşması çərçivəsində effektiv elektrik keçiriciliyi hesablanmış və metal fazanın həcmi fraksiyasında fazalararası zonaların payının nəzərə alınmasının vacibliyi göstərilmişdir.

TƏDQIQATLARIN APARILMASI VƏ NƏTİCƏLƏRİN MÜZAKİRƏSİ.

Yarımkeçirici-metal tipli GaSb-CrSb evtektik kompozitin elektrik keçiriciliyi, termoelektrik hərəkət qüvvəsi kompensasiya metodu ilə ölçülmüşdür. Müxtəlif kristallaşma sürəti ilə alınmış kompozitlərin termoelektrik hərəkət

qüvvəsinin və elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılıqları 1-ci şəkildə verilib.

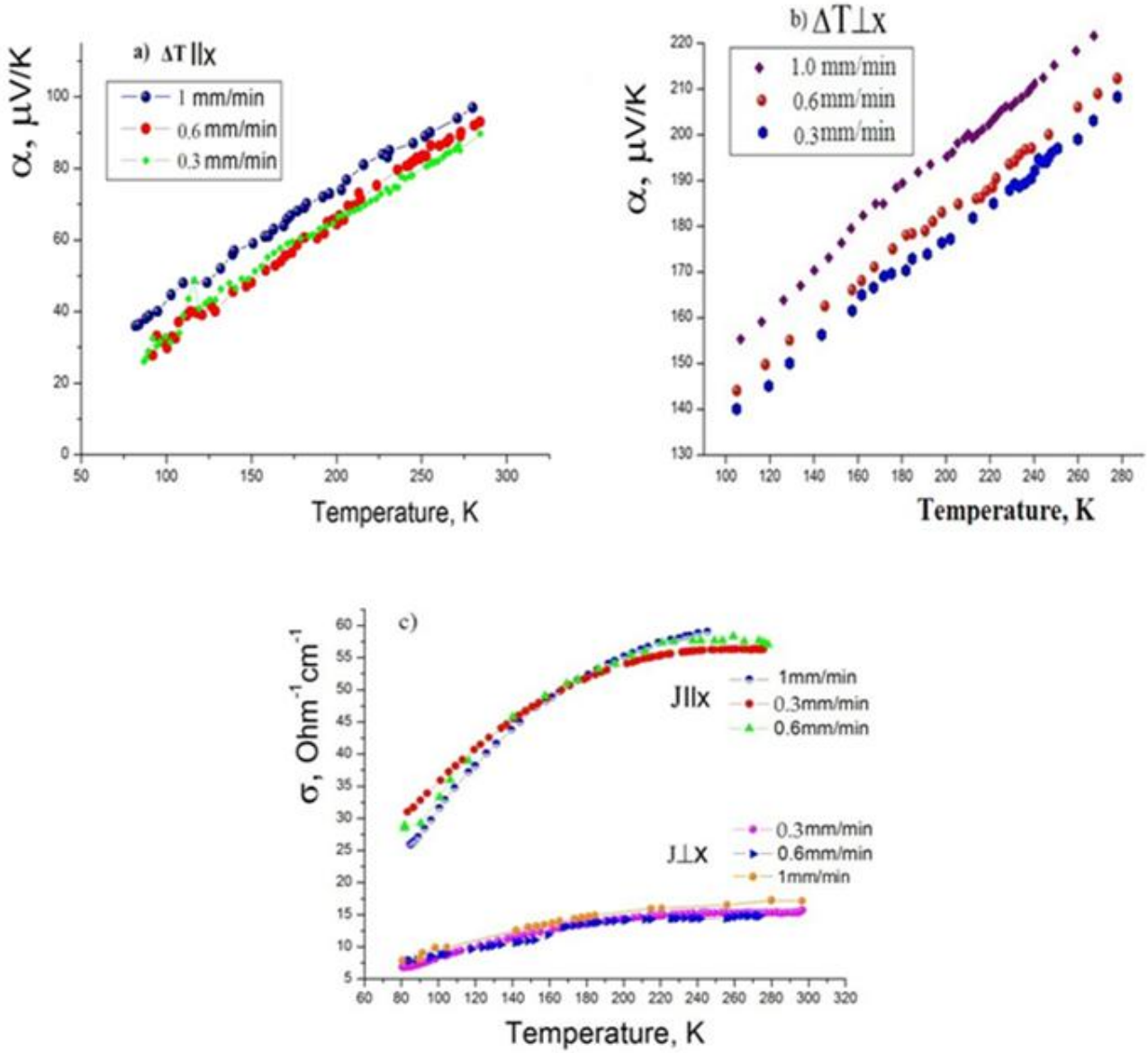
Şəkildən görüldüyü kimi evtektik kompozitlər sintez olunarkən kristallaşma sürəti 0.3mm/dəq, 0.6 mm/dəq və 1mm/dəq olduqda, iynələrin ölçülərinin dəyişməsi elektrik keçiriciliyinin və elektrik hərəkət qüvvəsinin dəyişməsinə səbəb olur. Müxtəlif kristallaşma sürətləri ilə alınmış GaSb-CrSb evtektik kompozitin 80÷300K temperatur aralığında elektrik hərəkət qüvvəsinin asılılığında elektrik keçiriciliyindən fərqli olaraq daha çox dəyişmə müşahidə olunur. Kristallaşma sürəti 0.3mm/dəq və 1mm/dəq olduqda, bu dəyişmə 80 K temperaturda 18%, 300K temperaturda isə 10% olur.

EDX analizi ilə müəyyən olunub ki, matris Ga və Sb, metal çubuqlar Cr və Sb elementlərdən və bəzi hissələrdə cüzi miqdarda (3÷5%) Ga elementindən ibarətdir. Matris və metal çubuqlar arasında görünən fazalararası zonada isə 3÷5% Cr elementi müşahidə olunur. Fazalararası zonalar (bu bölgələri üçüncü faza da adlandırmaq olar) kələ-kötür quruluşa malik olmaqla yanaşı, onların ölçüləri iynələr boyunca bir-neçə dəfə fərqlənir [7]. 2-ci şəkildə GaSb-CrSb evtektik kompoziti üçün kristallaşma oxuna perpendikulyar istiqamətdə SEM görüntüləri verilmişdir.

Son zamanlar bu tip evtektiklərin elektron mikroskopunda tədqiqi ilə onların mikrostrukturunda bir sıra xüsusiyyətlər müəyyən olunmuş və bu xüsusiyyətlər əsasında müəyyən fərziyyələr inkişaf etdirilmiş, sərhəd bölgələrdə yaranan qeyri-bircins zonaların elektrik keçiriciliyində əhəmiyyətli rol oynadığı göstərilmişdir [11-14].

Məlumdur ki, qeyri bircins sistemlərdə, xüsusən kompozit materiallarda, qatqıların konsentrasiyası az olduqda, başqa sözlə, komponentlərdən biri özünü matrisə kimi, digəri isə kiçik miqdarda onun içərisində izolə olunmuş qatmalar şəklində olarsa, belə sistem üçün Maksvel-Qarnet modeli [13] doğrudur.

Kompozit mühiti matris və qatmalara ayırmaq mümkün olmadıqda (statistik mühit halında), daha çox Bruqqeman modeli istifadə olunur. Bu modeldə fərz olunur ki, hər bir zərrəcik matrisədə deyil, parametrləri hər bir komponentin parametridən fərqlənən effektiv mühiddə yerləşir.



Şəkil 1. Kristallaşma sürəti 0.3 mm/dəq, 0.6 mm/dəq və 1mm/dəq olduqda, GaSb-CrSb evtektik kompozitinin termoelektrik hərəkət qüvvəsi (a,b) və elektrik keçiriciliyinin (c) temperaturdan asılılığı

Real kompozitdə qatmaların konfigurasiyası müxtəlif formada olur və effektiv mühit modeli istifadə olunarkən onların forma və ölçülərinin nəzərə alınması mühüm şərtidir. Effektiv keçiriciliyin hesablanmasına həsr olunmuş külli miqdarda tədqiqat işlərində bu modellər daha çox ikinci fazası kürə və ya ellipsoid şəklində olan kompozitlər üçün işlənərək inkişaf etdirilmişdir. Balaqurovun [15] təklif etdiyi metoddə isə effektiv keçiriciliyi hesablayarkən ikinci faza müstəvi halında götürülür. Onun son işlərində isə qatqılar iynəyəbənzər formada götürülür. [16] işində müəlliflər yarımkeçirici və yarımmetal kompozitlər üçün məsələni həll edərkən sirkulyasiya cərəyanlarının keçiriciliyi təsirini nəzərə alan model vermişlər. Metal fazası silindrik şəkildə olan və anizotrop xassəyə malik heterogen sistemlərin effektiv keçiriciliyinə həsr olunmuş işlərin sayı çox deyildir.

Yarımkeçirici matrisdən və onun içərisində paralel düzülmiş metal qatmalardan ibarət heterogen sistemlərin ümumiləşdirilmiş keçiriciliyini hesablamaq üçün Odelevskiyn təklif etdiyi model daha əlverişlidir. Odelevskiyn

[17] sadə matrisdən ibarət struktura baxmış və qatmaların böyük konsentrasiyalarında sistemin ümumiləşdirilmiş keçiriciliyini hesablamaq üçün ifadələr vermişdir. Onun modelinə görə fazanın müqavimətindən və cərəyanın istiqamətindən asılı olaraq, hər bir fazanın keçiriciliyi və ya müqaviməti toplanılır. Liebman və Müller [18], həmçinin Leonov və b. görə cərəyan iynələrə paralel $I \parallel X$ olduqda evtektik struktura iki paralel keçirici kimi, cərəyan iynələrə perpendikulyar $I \perp X$ olduqda isə ardıcıl və paralel birləşmiş keçiricilərin kombinasiyası kimi baxmaq olar. Kristallaşma istiqamətində (σ_{\parallel}) və ona perpendikulyar istiqamətdə (σ_{\perp}) elektrik keçiriciliyinin effektiv qiymətləri üçün aşağıdakı ifadələr verilmişdir [17].

$$\sigma_{\perp} = \frac{(\sigma_1 - \sigma_2) \left(1 - \sqrt{\frac{c}{1+c}} \right) + \sigma_1 \sqrt{\frac{1+c}{c}}}{1 + \left(\frac{\sigma_2}{\sigma_1} \right) \sqrt{\frac{1+c}{c-1}}} \quad (1)$$

$$\sigma_{\parallel} = \sigma_1 \frac{1}{1+c} + \sigma_2 \frac{c}{1+c} \quad (2)$$

burada σ_1 və σ_2 - matrisin və metal fazanın elektrik keçiriciliyi, c -metal iynələrin ümumi həcmnin matrisin həcminə nisbətidir.

$$c = \frac{V_i N_i}{1 - V_i N_i} \quad (3)$$

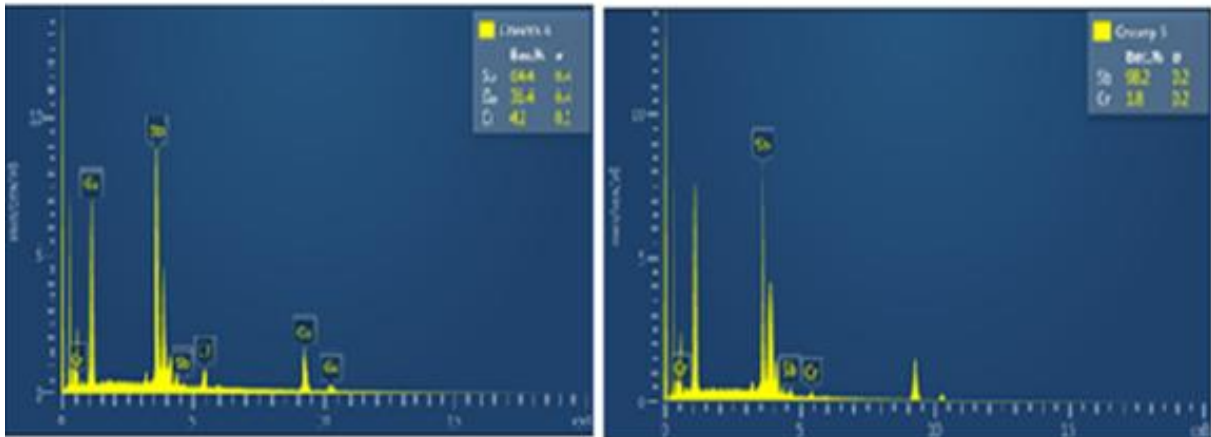
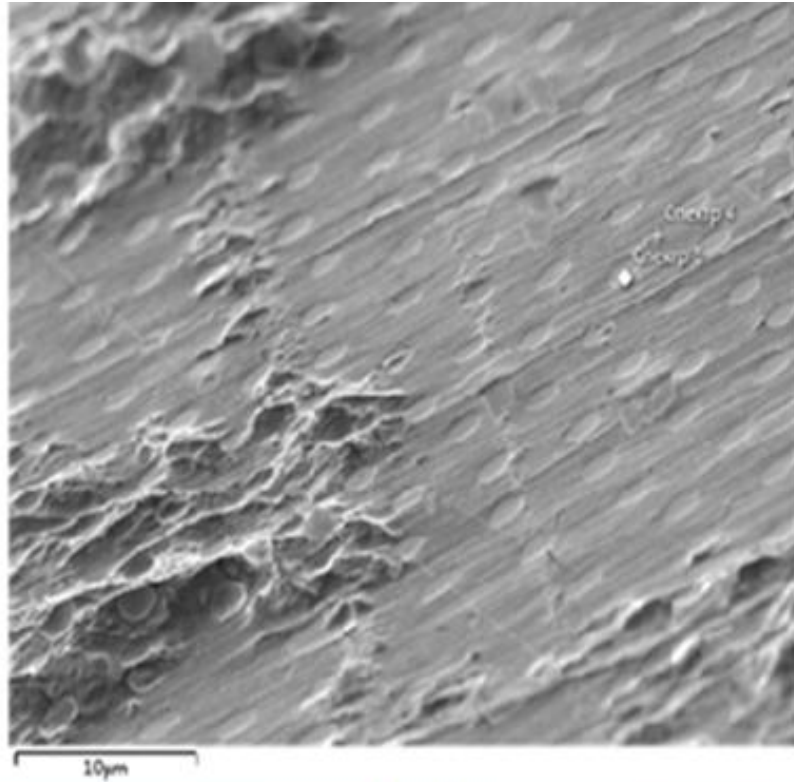
burada N_i - metal fazanın sıxlığı, V_i - bir metal iynənin həcmidir.

Mikrostrukturda müşahidə olunmuş xüsusiyyətləri nəzərə almaq üçün fazalararası qeyri-bircins bölgənin həcmcə pay nisbəti nəzərə alınmalıdır. Fazalararası zonanın həcmi V_{FAZ} olarsa, elektrik cərəyanın qısa qapanma prosesində iştirak edən metal iynələrin və fazalararası zo-

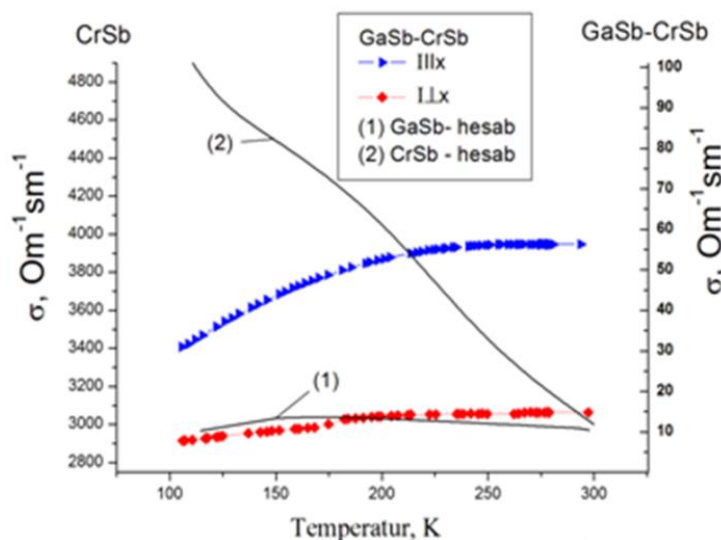
naların birlikdə ümumi həcmi $N(V_i + V_{FAZ})$ olacaqdır. V_i həcmi mikroskopdan alınan görünüşlərə görə təxmini hesablamaq mümkün olsa da ($V_i = \pi a^2 L$), fazalararası qeyri-bircins zonanın həcmi hesablamaq mümkün deyildir. Ona görə də, $V_i + V_{FAZ}$ həcmli zona $V_{ef} = \pi b^2 L$ ($b = a + h$) həcmli effektiv zona ilə əvəz olunmuşdur. Bu isə (1) və (2) ifadələrinə daxil olan c – metal fazanın həcmcə pay nisbətinin $c_{ef} = NV_{ef}/V_m$ ilə əvəz olunmasına ekvivalentdir:

$$c_{ef} = \varphi c \quad (4)$$

Burada φ - hesablama zamanı aproksimasiya yolu ilə tapılan ədədi vuruqdur.



Şəkil 2. Kristallaşma oxuna perpendikulyar istiqamətdə GaSb-CrSb evtektik kompozitin səthində element tərkibi.



Şəkil 3. GaSb-CrSb üçün elektrik keçiriciliyin temperaturasılılığı. GaSb və CrSb üçün effektiv keçiricilik (1 və 2) formulları ilə hesablanmışdır.

GaSb-CrSb evtektik kompoziti üçün elektron mikroskopundan aldığımız mikroqrafika təsvirləri əsasında metal iynələr ətrafında matrisə və metal fazanın elementlərindən təşkil olunmuş örtüyün yarandığı aşqar görünür. Parametrlərin effektiv qiyməti hesablanarkən, fazalararası qarşılıqlı təsir fazalararası zonaların həcmi fraksiyasının daxil edilməsi ilə nəzərə alın bilər. Hesablamalarda fazalararası zonaların rolunu nəzərə almaq üçün, metal iynələr və onun ətrafındakı örtüklər (fazalararası zonalar) bir-birinin içərisinə yerləşdirilmiş a və b radiuslu silindirlər şəklində təsvir olunaraq, (3) ifadəsində V_i həcmi V_{ef} effektiv həcmi ilə əvəz edilmişdir.

(1) və (2) tənlikləri birgə həll edilərək, həmçinin, iynələrin və cərəyanın müxtəlif istiqamətlərində GaSb-CrSb evtektik kompozitin elektrik keçiriciliyinin σ_{\perp} və σ_{\parallel} eksperimental qiymətlərindən, metal fazanın və fazalararası zonanın həcmi payları nisbətindən istifadə olunaraq, matrisanın və metal fazanın elektrik keçiriciliyi $\phi=1.5$ qiyməti üçün hesablanmış və nəticələr 3-cü şəkildə verilib.

Hesablamalar göstərir ki, anizotropluğa səbəb olan qısa qapama prosesində metal iynələrlə yanaşı fazalararası zonalar da mühüm rol oynayır.

YEKUN.

GaSb-CrSb evtektik kompoziti sintez olunarkən, kristallaşma sürəti 0.3mm/dəq, 0.6 mm/dəq və 1mm/dəq seçilmişdir. Müəyyənləşdirilmişdir ki, evtektik kompozitlər müxtəlif kristallaşma sürətləri sintez olunarkən, iynələrin ölçülərinin dəyişməsi kinetik parametrlərin dəyişməsinə səbəb olur.

GaSb-CrSb evtektik kompozitin SEM elektron mikroskopunda mikrostrukturuna baxılmış və fazalararası qeyri-bircins zonaların yarandığı müəyyən olunmuşdur. Elektrik keçiriciliyinin effektiv qiymətini təyin edərkən, fazalararası sərhəd bölgəsində yaranan qeyri-bircins zonanın rolu nəzərə alınmışdır.

- [1] Y. Umehara, S. Koda. J.Japan Inst. Metals, 1986, v.50, pp. 666-670.
- [2] M. Shirai. Journal of Applied Physics, 2003, v.93, No 10, pp.6844-6846.
- [3] S. Polesya, G. Kuhn, S. Mankovsky, H. Ebert, M.Regus, W. Bensch. J Phys Condens Matter. 2012 Jan 25, 24, 3.
- [4] J.H. Zhao, F. Matsukura, K. Takamura, E. Abe, D. Chiba and H. Ohno. Appl. Phys. Lett., 2001, v.79, pp. 2676-2778.
- [5] M. Regusa, G. Kuhnb, S. Mankovsky, H. Ebert, W. Bensch. Journal of Solid State Chemistry, vol.196, 2012, pp. 100-109.
- [6] R.N. Rəhimov, İ.X. Məmmədov, M.V. Kazimov, D.H. Arashı, A.Ə. Xəlilova. Journal of Qafqaz University-Physics, 2013, vol.1, №2, s.166-168.
- [7] R.N. Rahimov, M.V. Kazimov, D.H. Arasly, A.A. Khalilova, I.Kh. Mammadov. Journal Ovonic Research, 2017, vol. 13, No 3, pp. 113-118 123.
- [8] R.N. Rəhimov, İ.X. Məmmədov, M. V. Kazimov, D.H. Arashı, A.Ə. Xəlilova. AMEA-nın Xəbərləri, Fizika-Riyaziyyat və Texnika Elmləri Seriyası, Fizika və Astronomiya, 2015, c.35, №5, 9, s.104-107.
- [9] R.N. Rəhimov, İ.X. Məmmədov, D.H. Arashı, A.Ə. Xəlilova, M.V. Kazimov. AMEA-nın Xəbərləri, Fizika-Riyaziyyat və Texnika Elmləri Seriyası, Fizika və Astronomiya, 2016, c.36, №2, s.56-61.
- [10] R.N. Rahimov, I.Kh. Mammadov, M.V. Kazimov, D.H. Arasly, A.A. Khalilova. Moldavian Journal of the Physical Sciences, 2015, v.14, No 2, pp.44-50
- [11] G.İ. İsakov. Inorganic materials, Springer, 2003, No 11, pp.1117-1121.
- [12] S.F. Marenkin, A.V. Kochura, I.V. Fedorchenko, A.D. Izotov, M.G. Vasilev, V.M. Trukhan, T.V. Shelkovaya, O.A. Novodvorsky and A.L.Zheludkevich. Inorganic Materials, 2016, v.52, N 3, pp. 268-273.

- [13] *J.R. Kalnin, E. Kotomin.* J.Phys. A: Math. Gem., 1998, v.31, pp.7227-7234
- [14] *M.I. Aliyev, A.A. Khalilova, D.H. Arasly, R.N.Rahimov, M. Tanoglu and L. Ozyuzer.* J. Phys. D: Appl. Phys., 2003, 36, 2627–2633.
- [15] *B.Ya. Balagurov.* Journal of Experimental and Theoretical Physics, 2016, v.123, No. 2, pp. 348–356.
- [16] *B.B. Крюк, А.А. Повзнер, Д.А. Молодцев, А.В.Пилюгин.* ЖЭТФ, 2003, т.73, в.8, с. 78-84.
- [17] *В.И. Оделевский.* Журн.Техн.Физики, 1951, т.21, №6, с.667-677.
- [18] *W.K. Liebmann and E.A. Miller.* J. Appl. Phys. 1963, 34, 2653.

M.V. Kazymov, R.N. Rahimov, D.H. Arasly, A.Ə. Khalilova, I.Kh. Mammadov

**INFLUENCE OF INTERFACE ZONES ON ELECTRICAL CONDUCTION OF
(GaSb)_{0.866}-(CrSb)_{0.134} EUTECTIC SYSTEM**

By investigation of microstructure of GaSb-CrSb eutectic composite by electron microscope it has been established that the interface zones between the semiconductor matrix and metallic inclusions generate. The role of these interface zones at calculation of effective electrical conduction value of the composite is taken into account.

М.В. Кязимов., Р.Н. Рагимов., Д.Г. Араслы, А.А. Халилова, И.Х. Мамедов

**ВЛИЯНИЕ МЕЖФАЗНЫХ ЗОН НА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ
ЭВТЕКТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ (GaSb)_{0.866}-(CrSb)_{0.134}**

Исследованием микроструктуры эвтектического композита GaSb-CrSb на электронном микроскопе (SEM) установлено, что между полупроводниковой матрицей и металлическими включениями образуются межфазные зоны. При вычислении эффективного значения электропроводности композита учитывается роль этих межфазных зон.

Qəbul olunma tarixi: 15.01.2018