

## TlIn<sub>1-x</sub>Dy<sub>x</sub>Se<sub>2</sub> və TlIn<sub>1-x</sub>Eu<sub>x</sub>Se<sub>2</sub> BƏRK MƏHLUL KRİSTALLARININ ELEKTRİK KEÇİRİCİLİYİNİN TEMPERATUR ASILILIĞI (x: 0.01, 0.03, 0.05)

VERDİYEVA NURANƏ ƏLİŞİR qızı

Gəncə Dövlət Universiteti

Gəncə şəhəri, Heydər Əliyev prospekti, 429, AZ-2000

e-mail:verdiyeva.nurane@bk.ru

Məlumdur ki, bir tip yükdaşıyıcı olan yarımkeçiricilərin elektrik keçiriciliyinin xüsusiyyətlərindən biri də ondan ibarətdir ki, temperaturun artması ilə Holl əmsalının ( $R$ ) artması uyğun şəkildə digər kinetik parametrlərə təsir edir. Holl əmsalının temperatur asılılıq qrafiklərindən aydın olur ki, müşahidə olunan asılılıq elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığı ilə yaxşı uyğunluq təşkil edir. Bilirik ki, tərkibdə lantanoid atomlarının nisbi miqdarının artması ilə elementar qəfəs parametrləri müəyyən həddə qədər xətti böyüyür. Bu da lantanoid atomlarının ( $Dy$ ,  $Eu$ ) ion radiusunun indiumun ion radiusuna nisbətən daha böyük olması ilə bağlıdır. Alınmış tərkibdə ilkin komponent TlInSe<sub>2</sub> birləşməsinə uyğun tetraqonal sinqoniya saxlanılır.

**Açar sözlər:** tetraqonal sinqoniya, məxsusi keçiricilik, elementar qəfəs, aktivləşmə enerjisi, yürüklük, akustik fonon

**Pacs:** 72.20-i, 71.20

Müasir mikroelektronikanın, nüvə energetikasının sürətli inkişafı yarımkeçiricilər fizikasının qarşısında xarici təsirlərə yüksək davamlığı olan, ionlaşdırıcı şüalara qarşı həssas, yüksək temperaturlara qarşı davamlı, bircinsli mükəmməl yarımkeçirici birləşmələrin alınması məsələsini həmişə aktual edir. Bu sahədə öyrənilən tədqiqat işlərindən görünür ki, bu cür materialların alınma texnologiyasının hazırlanması onların fiziki parametrlərinin məqsədyönlü şəkildə idarə edilməsinə və geniş praktik əhəmiyyətli cihazlar yaradılmasına şərait yaradır.

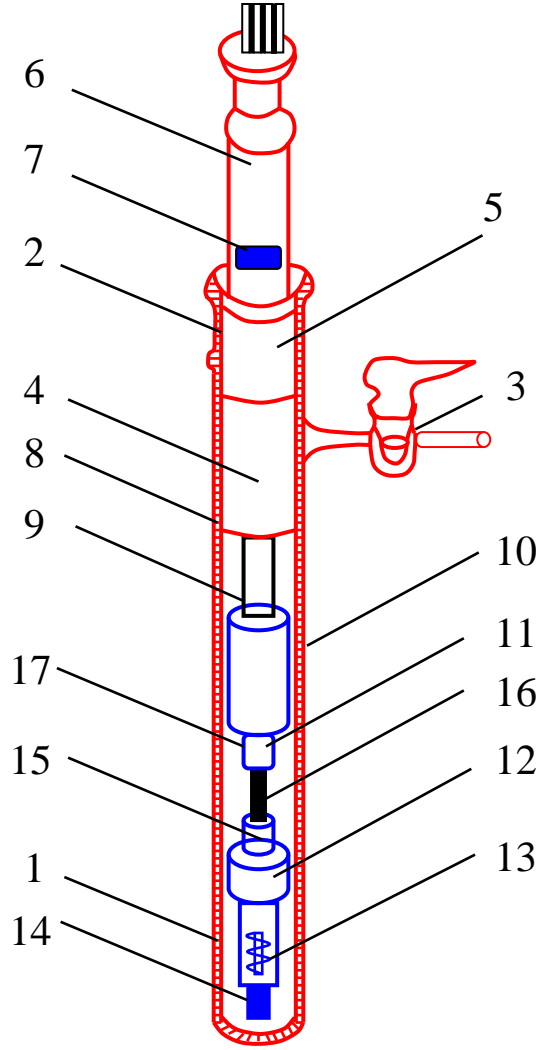
Elektrik ölçmələri aparmaq üçün laylı nümunəyə elektrik kontaktı müxtəlif metodlarla: vakuumda buxarlandırma üsulu ilə gümüş kontaktı çökdürməklə, bəzi hallarda gümüş pastası ilə, lehimləyici ilə indium kontaktı vurulur. Elektrik keçiriciliyinin və nümunənin volt-ampere xarakteristikasının təyində laylı nümunələrdən istifadə olunmuşdur. Laylara ayrılmış təbəqələrdə spiral formasında hazırlanan nazik məftilin uc hissəsi nümunənin üzərinə qoyulur, sonra onun üzərinə çox az miqdarda gümüş pastası vurulur. Belə kontakt mexaniki cəhətdən möhkəm olur. Keçiriciliyin hansı istiqamətdə (laylar istiqamətində və laylara perpendikulyar istiqamətdə) ölçülməsindən asılı olaraq nümunəyə kontakt ya nümunənin qarşı üzünə, ya da qatın uc hissələrinə vurulur. Kontaktın vurulma üsulu müxtəlif nümunələr üçün fərqli təyin edilir. Bir çox hallarda elektrik kontaktı lehimləyici vasitəsilə lehimlənilir. Belə olduqda lehimləyici maddə olaraq adətən qalay və ya indium elementlərindən istifadə olunur. Beləliklə, keçiriciliyin hansı istiqamətdə (kristalloqrafik ox istiqamətində, və ya oxa perpendikulyar istiqamətdə) ölçülməsindən asılı olaraq kontaktın vurulması seçilir. Elektrik keçiriciliyinin "c" oxuna nəzərən müxtəlif istiqamətlərdə tədqiqindən alınmışdır ki, müəyyən istiqamətdə keçiriciliyin anizotropluğu  $\sim 10^2$  tərtibindədir. Tədqiq olunan kristalda 100-200 K temperatur intervalında aşqar səviyyələrinin tam ionlaşması müşahidə edilir. Aparılan araşdırmaların təhlili göstərir ki, keçiriciliyin temperatur ( $\sigma \sim f(I/T)$ ) asılılığının yüksək temperatur intervalında müəyyən edilmiş qadağan olunmuş zonanın eni kristalloqrafik oxun istiqamətindən asılı olmayıb temperaturun artması ilə kristalların məxsusi keçiri-

ciliyinin anizotropluğundan asılıdır.

Elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığı "c" kristalloqrafik oxuna həm paralel ( $\sigma_{||}$ ), həm də perpendikulyar istiqamətdə ( $\sigma_{\perp}$ ) 100-450 K temperatur intervalında ölçülmüşdür. Tədqiq olunan nümunələr üçün həmçinin dielektrik nüfuzluğu da 100-450 K temperatur intervalında və 1-1000 kHs tezlik intervalında tədqiq olunmuşdur. Müəyyən edilmişdir ki, keçiricilikdə elektron keçiriciliyinin üstünlük təşkil etdiyi intervallar TlInSe<sub>2</sub> üçün uyğun istiqamətlərdə  $T_{par.}=391$  K,  $T_{per.}=388$  K və TlInTe<sub>2</sub> üçün  $T_{par.}=388$  K,  $T_{per.}=333$  K temperaturlardır.  $T_{kr}$ -dən böyük temperaturalarda temperaturun artması ilə elektrik keçiriciliyinin sıçrayışlı artımı müşahidə olunmuşdur ki, bu hadisəni də müəlliflər  $Tl^+$  kation alt qəfəsinin nizamlılığının pozulması ilə əlaqədar olan ion keçiriciliyinin artması ilə əlaqələndirirlər. Göstərilir ki, qeyd olunan temperatur intervalında kristalda ion keçiriciliyi elektron keçiriciliyindən böyük olur. TlInSe<sub>2</sub> və TlInTe<sub>2</sub> kristallarında elektrik keçiriciliyinin tətbiq olunan elektrik sahəsinin  $\vec{E}$  intensivliyinin modulundan asılılığının tədqiqi göstərmişdir ki, sahənin intensivliyinin müəyyən  $E_{kr}$ -kritik (böhran) qiymətində  $Tl^+$  alt qəfəsinin nizamlılığının sıçrayışla pozulması mümkündür, bu da elektrik keçiriciliyinin sıçrayışla dəyişməsinə səbəb olur.

Şəkil 1-də laylı quruluşlu TlInSe<sub>2</sub> tipli bərk məhlul kristallarının elektrik parametrlərini təyin etmək üçün istifadə olunan tutacağın prinsipial quruluşu göstərilib. Qurğuda elektrik ölçmələri 80-600 K temperatur intervalında aparılmışdır.

Tədqiqat zamanı təmiz TlInSe<sub>2</sub> bərk məhlul kristalı, həmçinin müxtəlif atom faizli Dy və Eu lantanoid element atomları daxil edilmiş TlIn<sub>1-x</sub>Dy<sub>x</sub>Se<sub>2</sub> və TlIn<sub>1-x</sub>Eu<sub>x</sub>Se<sub>2</sub> (x: 0,01, 0,03, 0,05 at. %) bərk məhlul kristalları alınmış onların elektrik keçiriciliyinin mexanizmi geniş temperatur intervalında (80-600 K) tədqiq olunmuşdur. TlInSe<sub>2</sub> tetraqonal sinqoniyada kristallaşır. Elementar qəfəsin parametrləri  $a=8,04\text{Å}$ ,  $c=6,84\text{Å}$ ,  $z=4$  olub klassik TlSe-nin struktur quruluşuna uyğundur. Tl atomu 8 selen atomu ilə, In atomu isə 4 selen atomu ilə əhatə olunub.



Şəkil 1. Laylı quruluşlu TIInSe<sub>2</sub> tipli bərk məhlul kristallarının elektrik parametrlərini ölçmək üçün tutacağıın prinsiplial quruluşu. 1-tutqacın daxili hissəsi, 2 – şlifli hissə, 3 – vakuum kranı, 4 – şlifli tutqacı birləşdirən kvarts boru, 5 – xarici şlif, 6 – zondların toplandığı kvarts boru, 7 – zondların çıxışı, 8, 9 -kvarts aralıq, 10 –zondlar üçün dar kanallar, 11 – tərpanməz blok, 12 – butulka, 13 – yay, 14 – fiksator, 15 – blok, 16 – nümunə, 17-teflon ox.

Ədəbiyyatdan [1, 2, 3] məlumdur ki, tərkibdə lantanoid atomlarının nisbi miqdarının artması ilə elementar qəfəs parametrləri müəyyən həddə qədər xətti böyüyür. Bu da lantanoid atomlarının (Dy, Eu) ion radiusunun indiumun ion radiusuna nisbətən daha böyük olması ilə bağlıdır. Alınmış tərkibdə ilkin komponent TIInSe<sub>2</sub> birləşməsinə uyğun tetraqonal sinqoniya saxlanılır və elementar qəfəsdə atomların sayı dəyişmir.

Yarımqeçiricilərin qadağan olunmuş zonasının eninin, sərbəst yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının, yürüklüyünün təcrübi təyini ədəbiyyatda [4, 5, 6] işlərində müxtəlif üsullarla tədqiq olunmuşdur. Laylı və kiçik ölçülü nümunələrdə elektrik keçiriciliyi, Holl əmsalı və termo e.h.q əmsalını geniş temperatur intervalında eyni nümunədə, eyni vaxtda ölçmək üçün şəkil 1 -də göstərilən ölçü qurğusundan istifadə olunmuşdur. TIInSe<sub>2</sub> - TlDySe<sub>2</sub> və TIInSe<sub>2</sub> - TlEuSe<sub>2</sub> sistemlərinin bərk məhlullarının Holl və termoelektrik əmsallarının, elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılıqları monokristallik nümunələrdə 80-600 K temperatur intervalında tədqiq olunmuşdur.

Yarımqeçiricilərin keçiriciliyinin temperaturdan eksponensial asılılıq qanunundan istifadə edərək

$lg \sigma = f\left(\frac{1000}{T}\right)$  asılılığından aktivləşmə enerjisi (qadağan olunmuş zonanın eni) təyin edilmişdir.

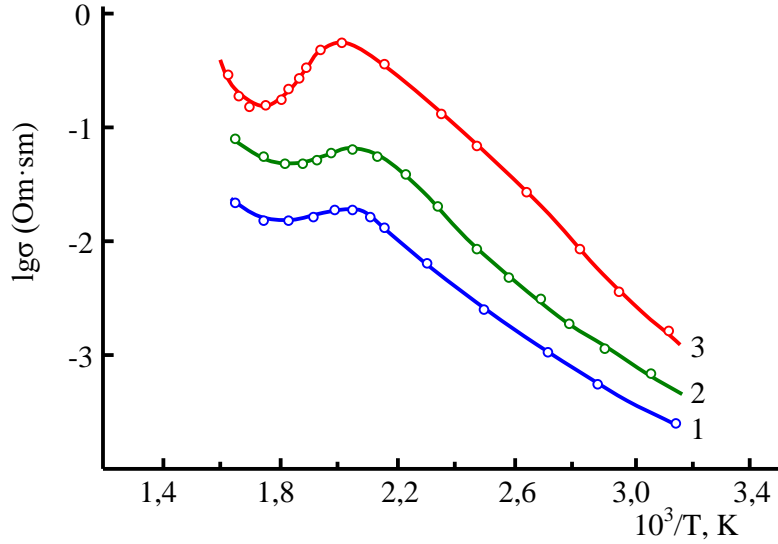
Holl gərginliyinin təyində maqnit sahəsi monokristalda laylara perpendikulyar, elektrik cərəyanı isə monokristalın layları istiqamətində yönəlmişdir. Tədqiq olunan temperatur intervalında istifadə edilən nümunələr *p*-tip keçiriciliyə malik olur. Məxsusi keçiricilik oblastında qadağan olunmuş zonanın eni adətən elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığının meylinə görə təyin olunur. Ədəbiyyatda məxsusi keçiricilik oblastında nümunənin elektrik keçiriciliyi aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur [7].

$$\sigma_i = en_i(b+1)\mu_p \quad (1)$$

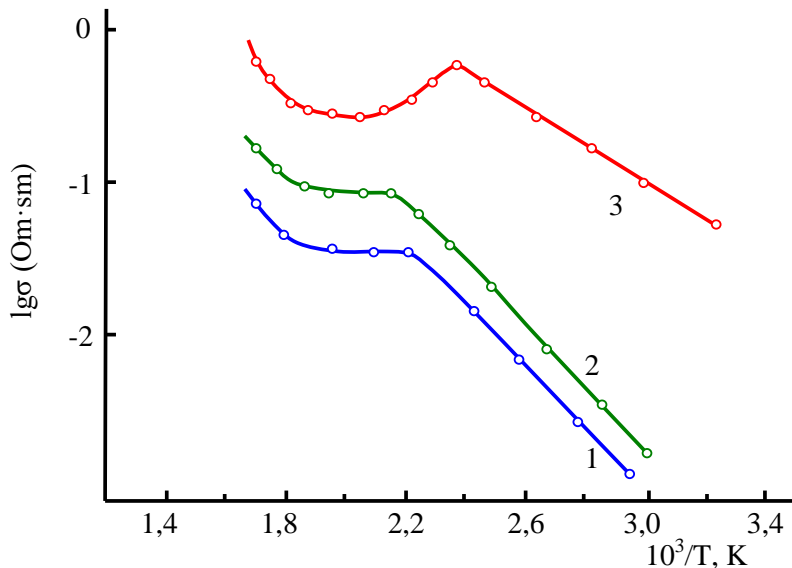
Şəkil 2 və 3-də TIIn<sub>1-x</sub>Dy<sub>x</sub>Se<sub>2</sub> və TIIn<sub>1-x</sub>Eu<sub>x</sub>Se<sub>2</sub> bərk məhlullarının elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılıqları  $lg \sigma = f(10^3/T, K^{-1})$  koordinatlarında göstərilmişdir. Nisbətən aşağı temperaturalarda (80-450 K) aşqar keçiricilik, ~450 K-dən yuxarı temperaturalarda isə məxsusi keçiricilik müşahidə olunur. Keçiriciliyin temperatur asılılığının meyllərinə görə uyğun tərkib üçün qadağan olunmuş zonanın

eni (aktivləşmə enerjisi) müəyyən olunmuş və tərkibə uyğun olaraq TlIn<sub>1-x</sub>Dy<sub>x</sub>Se<sub>2</sub> üçün  $\Delta\varepsilon \approx 2,10; 1,95; 1,80$  eV, TlIn<sub>1-x</sub>Eu<sub>x</sub>Se<sub>2</sub> üçün isə  $\Delta\varepsilon \approx 2,10; 1,98; 1,80$  eV qiymətlər alınmışdır ( $x: 0,01; 0,03; 0,05$ ). İstər elektrik keçiriciliyinin, istərsə də Holl əmsalının yüksək temperaturlu hissələrinin meyllərinə görə təyin olunan qadağan olunmuş zonaların eninin qiymətləri təcrübə xətası daxilində bir-biri ilə uyğunluq təşkil edir. Aşağı temperaturlarda (80-450 K temperatur intervalında) keçiricilik kiçik meyllərlə artır. Belə asılılıq nümunədə yaranan aşqar keçiriciliklə əlaqədar olub,

kvazimetallik xarakter daşıyır [8, 9]. Müəyyən temperaturdan başlayaraq elektrik keçiriciliyinin nisbətən azalması müşahidə olunur və bu azalma tərkibdə lantanoid atomlarının artması ilə daha kəskin hiss olunur. Temperaturun sonrakı artımında elektrik keçiriciliyinin eksponensial artımı ilə məxsusi keçiricilik oblastı müşahidə olunur. Temperaturun kifayət qədər yuxarı qiymətlərində yükdaşıyıcıların istilik enerjiləri onların qadağan olunmuş zonanı keçmələrinə daha yaxşı imkan yaradır.



Şəkil 2. TlIn<sub>1-x</sub>Dy<sub>x</sub>Se<sub>2</sub> bərk məhlul kristalının elektrik keçiriciliyinin  $lg\sigma = f(10^3/T, K^{-1})$  koordinatlarında temperatur asılılıqları ( $x: 0,01; 0,03$ )



Şəkil 3. TlIn<sub>1-x</sub>Eu<sub>x</sub>Se<sub>2</sub> bərk məhlul kristalının elektrik keçiriciliyinin  $lg\sigma = f(10^3/T, K^{-1})$  koordinatlarında temperatur asılılıqları ( $x: 0,01; 0,03; 0,05$ )

Müəyyən olunmuşdur ki, elektrik keçiriciliyi və Holl əmsalının temperatur asılılıqları tədqiq olunan bərk məhlul kristalları üçün bir-biri ilə yaxşı uzlaşır.

Bir tip yükdaşıyıcı olan yarımkəçiricilərin elektrik keçiriciliyinin xüsusiyyətlərindən biri də ondan ibarətdir ki, temperaturun artması ilə Holl əmsalının ( $R$ ) artması uyğun şəkildə digər kinetik parametrlərə təsir

edir.

Holl əmsalının temperatur asılılıq qrafiklərindən aydın olur ki, müşahidə olunan asılılıq elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığı ilə yaxşı uyğunluq təşkil edir. Temperaturun 300-500 K intervalında sərbəst yükdaşıyıcıların konsentrasiyası praktik olaraq dəyişməz qalır və yüksək temperatur oblastındakı

$\lg RT^{3/2} = f\left(\frac{1}{T}\right)$  asılılığının meylinə görə qadağan olunmuş zonaların eninin hesablanmış qiyməti ilə təcrübi xəta tərtibində uyğundurlar.

Holl yürüklüyünün temperatur asılılıq meyllərinə görə, yükdaşıyıcıların əsasən akustik fononlardan səpilməsini söyləmək olar. Tədqiqat aparılan temperatur intervalında yürüklüyün temperatur asılılığı  $\mu \sim T^{3/2}$  qanunu ilə dəyişir, bu isə yükdaşıyıcıların uzundalğalı akustik fononlardan səpilməsini bir daha təsdiq edir. Temperaturun 100-450 K intervalında keçiricilikdə baş

verən elektron keçidləri qadağan olunmuş zonada yerləşən aşqar səviyyələrdən yaranır. Müəyyən temperaturdan sonra bu səviyyədən yaranan keçidlər “tükənir”. Yenidən keçidlərin baş verməsi üçün daha böyük enerji, uyğun olaraq nisbətən yuxarı temperatur tələb olunur.

Müqayisə üçün  $TlIn_{1-x}Dy_xSe_2$  və  $TlIn_{1-x}Eu_xSe_2$  bərk məhlul kristallarının bəzi yarımkeçirici parametrlərinin nəzəri hesablanmış qiymətləri 1-cədvəldə verilmişdir.

Cədvəl 1

$TlIn_{1-x}Dy_xSe_2$ ,  $TlIn_{1-x}Eu_xSe_2$  tərkibli bərk məhlulların bəzi yarımkeçirici parametrləri

Tərkiblər	$\Delta\varepsilon_g, eV$ $\lg \sigma = f(10^3/T)$	$\Delta\varepsilon_g, eV$ $\lg RT^{3/2} = f(10^3/T)$
$TlIn_{0,99}Dy_{0,01}Se_2$	2,15	2,13
$TlIn_{0,97}Dy_{0,03}Se_2$	1,92	1,93
$TlIn_{0,95}Dy_{0,05}Se_2$	1,78	1,81
$TlIn_{0,99}Eu_{0,01}Se_2$	1,17	1,17
$TlIn_{0,97}Eu_{0,03}Se_2$	1,15	1,14
$TlIn_{0,95}Eu_{0,05}Se_2$	1,10	1,02

## NƏTİCƏ

Elektrik keçiriciliyinin və Holl əmsalının yüksək temperaturlu hissələrinin meyllərinə görə uyğun tərkiblər üçün aktivləşmə enerjiləri müəyyən olunmuş və tərkibdən asılı olaraq  $TlIn_{1-x}Dy_xSe_2$  və  $TlIn_{1-x}Eu_xSe_2$  ( $x$ : 0,01; 0,03; 0,05) birləşmələri üçün uyğun olaraq  $\Delta\varepsilon \approx 2,10; 1,95; 1,80$  eV və  $\Delta\varepsilon \approx 2,10; 1,98; 1,80$  eV qiymətlər alınmışdır.

Müəyyən olunmuşdur ki, aşağı temperaturlarda keçiricilik qadağan olunmuş zonada olan aşqar səviyyələrdən olan keçidlərlə əlaqədardır. Valent zonasının tavanından  $\Delta E$  energetik məsafədə olan akseptor səviyyələr məxsusi yükdaşıyıcılar üçün “tələ” rolunu oynayır və Fermi səviyyələrinin bu zonaya daxil olduğu temperatur intervalında onların “tutulması” baş verir. Bu səviyyələrin kifayət qədər böyük konsentrasiyalarında aşqar zonalar əmələ gəlir və keçiricilik məhz bu səviyyələrdən baş verir.

[1] Э.М. Годжаев, М.М. Зарбалиев, Ф.М. Новрузова и др. Изд. АН СССР. Ж. физ.химия. 1975, т. 49, № 9, с. 2458.  
 [2] Э.М. Годжаев, М.М. Зарбалиев, К.М. Рзаева. Электрические свойства сложных сплавов типа  $TlIn_xLn_{1-x}C_2^{VI}$  где  $0 \leq x \leq 1$ ; C=Se, Te; Ln=La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu. Тезисы докладов Всесоюзной конференции по физике и химии редкоземельных полупроводников. Ленинград. 1976.- с.62.  
 [3] Q. İ. Zeynalov, M. M. Kurbanov, N. S. Sardarova. Neornaniç. Mater. -2003, v.39. №4. p. 409-411.  
 [4] M.M. Zərbəliyev. Yarımkeçiricilərin elektrofiziki parametrlərini ölçmə üsulları. SDU. Sumqayıt, 2004, səh.117.

[5] Н.А. Абдуллаев, М.А. Алджанов, Э.М. Керимова. ФТТ. 2002, т.44, №2, с.213-214.  
 [6] И.В. Алексеев, М.Х.Алиева, Ф.Н.Казиев. Изв. АН Азерб. ССР, сер.физ.-техн. и мат.наук, - Баку, 1974, № 4, с.9-12.  
 [7] M.M. Zərbəliyev. Yarımkeçiricilər fizikası. Bakı. 2008, 456.s.  
 [8] M.M. Zərbəliyev. Электрические и тепловые свойства твердых растворов  $TlIn_{1-x}Nd_xTe_2$ : Дисс. На соиск. Ученой степ. Кан.физ.мат. наук. Баку:Аз.гос. Университета, 1983, 152. с.  
 [9] Э.М. Керимова. Низкоразмерные полупроводниковые соединения. Баку. 2010, 620 с.

Verdiyeva Nurana Alisher

## TEMPERATURE DEPENDENCE OF ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF SOLID SOLUTION CRYSTALS $TlIn_{1-x}Dy_xSe_2$ and $TlIn_{1-x}Eu_xSe_2$ ( $x$ : 0,01, 0,03, 0,05)

It is known that one of the characteristics of the electrical conductivity of semiconductors, which is a type of charge carrier, is that with an increase in temperature, an increase in the Hall coefficient ( $R$ ) appropriately affects other kinetic parameters. From the temperature dependence graphs of the Hall coefficient it is clear that the observed dependence is in good harmony with the temperature dependence of electrical conductivity. We know that with an increase in the relative amount of

## TIn<sub>1-x</sub>Dy<sub>x</sub>Se<sub>2</sub> və TIn<sub>1-x</sub>Eu<sub>x</sub>Se<sub>2</sub> BƏRK MƏHLUL KRİSTALLARININ ELEKTRİK KEÇİRİCİLİYİNİN TEMPERATUR...

lanthanoid atoms in the composition, the parameters of the elementary lattice grow linearly to a certain limit. This is also due to the fact that the Ionic radius of lanthanoid atoms (Dy, Eu) is greater than the Ionic radius of indium. Tetragonal syngony corresponding to the initial component TInSe<sub>2</sub> compound is retained in the obtained composition.

**Вердиева Нурана Алишировна**

### **ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ КРИСТАЛЛОВ ТВЕРДОГО РАСТВОРА TIn<sub>1-x</sub>Dy<sub>x</sub>Se<sub>2</sub> и TIn<sub>1-x</sub>Eu<sub>x</sub>Se<sub>2</sub> (x: 0,01, 0,03, 0,05)**

Известно, что одно из свойств электропроводности полупроводников заключается в том, что увеличение коэффициента Холла ( $R$ ) с повышением температуры соответствующим образом влияет на другие кинетические параметры. Из графиков температурной зависимости коэффициента Холла видно, что наблюдаемая зависимость согласуется с температурной зависимостью электропроводности. С увеличением относительного количества атомов лантаноида в составе параметры элементарной клетки линейно растут до определенного предела. Это также связано с тем, что ионный радиус атомов лантаноида (Dy, Eu) больше, чем ионный радиус индия. В полученном составе сохраняется тетрагональная сингония, соответствующая соединению исходного компонента TlSe<sub>2</sub>.

*Qəbul olunma tarixi: 01.09.2022*