

# AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

*Əlyazması hüququnda*

## **TlInSe<sub>2</sub> KRISTALLARININ ELEKTROFİZİKİ XASSƏLƏRİNƏ LANTANOİD ELEMENTLƏRİNİN (Dy, Eu) VƏ İONLAŞDIRICI ŞÜALARIN TƏSİRİ**

İxtisas: 2220.01- Yarımkəçiricilər fizikası

Elm sahəsi: Fizika

İddiaçı: **Nuranə Əlişir qızı Verdiyeva**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün  
təqdim edilmiş dissertasiyanın

### **AVTOREFERATI**

**BAKI – 2023**

Dissertasiya işi Azərbaycan Respublikası Gəncə Dövlət Universiteti və qismən Bakı Dövlət Universitetinin Fizika Problemləri İnstitutunda yerinə yetirilmişdir.

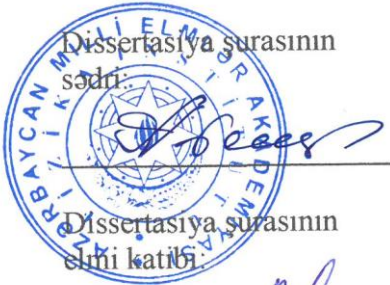
Elmi rəhbərlər: fizika -riyaziyyat elmləri doktoru,  
professor  
**Məntiq Bahadur oğlu Cəfərov**

Rəsmi opponətlər: fizika-riyaziyyat elmləri doktoru,dosent  
**Abdullayev Nadir Allahverdi oğlu**

fizika -riyaziyyat elmləri doktoru,  
professor  
**Mədətov Rəhim Səlim oğlu**

fizika elmləri doktoru, professor  
**Abdullayev Adil Polad oğlu**

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Elm və Təhsil Nazirliyi Fizika İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən ED 1.14 Dissertasiya Şurası



Akademik  
**Arif Məmməd oğlu Həşimov**

fizika elmləri doktoru, dosent  
**Rəfiqə Zabil qızı Mehdiyeva**

Elmi seminarın sədri:

fizika-riyaziyyat elmləri doktoru,  
dosent  
**Tələt Rzaqulu oğlu Mehdiyev**

## İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

**Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi.** Elektronikanın hazırkı inkişafı yeni çoxkomponentli yarımkeçirici materialların alınması və öyrənilməsinə qarşıya məqsəd qoyur. Bu materiallar sırasında lantanoid tərkibli  $A^{III}B^{III}C_2^{VI}$  tipli birləşmələri qeyd etmək olar. Nadir torpaq elementlərinin daxil olduğu bir sıra tərkiblər müxtəlif termoelektrik çeviricilərin hazırlanmasında perspektivli materiallar hesab olunur.  $A^{III}B^{III}C_2^{VI}$  tipli birləşmələrə lantanoid aşqarları daxil edildikdə müxtəlif xassələr müşahidə olunur. Bunlara misal lüminisensent, termoelektrik, termomaqnit və s. xassələri göstərmək olar. Bu isə lantanoid atomlarının daxili elektron quruluşunun 4f səviyyəsində olan elektronların həyəcanlaşması olması ilə izah olunur. Bu səviyyədə olan elektronlarda  $f \rightarrow d \rightarrow s$  keçidləri asanlıqla baş verir. Lantanoid tərkibli birləşmələrdə bu cür keçidlərə əsaslanan  $4f_0$ ,  $4f_7$ ,  $4f_{14}$  dayanıqlı elektron səviyyələrinin olması bu materialların tədqiqinə olan marağı daha da artırır.  $5d6s$  səviyyələrindəki elektronlar birləşmənin tərkibinə təsir edərək onun kinetik xassələrinin dəyişməsinə gətirir. 4f elektronları 5s və 5p təbəqələrini tutan elektronlar tərəfindən əhatə olunaraq atomun içərisində sıx şəkildə tutulur. Buna görə də, 4f elektronları kimyəvi əlaqələrə kiçik təsir göstərir və ilk yaxınlaşmada özlərini sərbəst ionlar kimi aparırlar. Son illər belə laylı və zəncirvari quruluşda olan birləşmələrin öyrənilməsinə həm elmi və həm də praktik maraq xeyli artmışdır. Bu materiallara yaranan maraq, onların bazasında yaradılan cihazların spektrin şüaları - infraqırmızı, görünən və rentgen oblastlarında böyük həssaslığa malik olmaları ilə bağlıdır.

Otaq temperaturundan yuxarı temperaturlarda Lu və La elementləri istisna olmaqla, bütün nadir torpaq elementləri güclü paramaqnit xassəsinə malik olurlar. Bunun səbəbi isə bu elementlərin dolmayan 4f təbəqələrində spin və orbital maqnit momentlərinə malik olmalarıdır. Aşağı temperaturlarda lantanoidlərin bəziləri antiferromaqnit olurlar, ittrium alt qrup lantanoidləri və onların müxtəlif birləşmələri (Dy, Er, Ho, Tb, Tm) çox aşağı temperaturlarda ferromaqnit xassəsinə malik olurlar. Fiziki xassələrin dəyişməsi kimyəvi rəbitədə s, p və df elektronlarının

iştirakı ilə əlaqədardır. Başqa sözlə valentliyin dəyişməsi bu atomların ion strukturundakı 4f səviyyəsində aktiv elektronun hesabına baş verir ki, bu da tərkibində lantanoidlər olan birləşmələrin tədqiqinə böyük maraq yaradır. Bu sahədə aparılan tədqiqatlar göstərir ki, lantanoid tərkibli çoxkomponentli birləşmələrin öyrənilməsi bir sıra yeni yarımkeçirici materialların alınmasını stimullaşdırır.

Ədəbiyyat materiallarına əsaslanaraq demək olar ki, diamaqnetizm yüksək olduqca Holl əmsalı böyük, yükdaşıyıcıların konsentrasiyası kiçik olur ki, bu da paramaqnitizmlə bağlı məlumatlarla üst-üstə düşür. Disproziyum və onun birləşmələrinin maqnit xassələri, bu elementin radiotexnika və elektronikada geniş istifadəsinə imkan yaradır. Yüksək ərimə nöqtəsinə malik olması bu elementdən paslanmayan poladların xüsusi ərintilərində və nüvə nəzarəti cihazlarının hissələrində istifadə olunmasına imkan verir. Dy maqnitlərə vurulur ki, onların istiliyə və korroziyaya davamlılığını artırsın və bu da Dy elementinə olan tələbatı daha da artırır.

Beləliklə, bu işdə Dy-nin istifadəsi, ilk növbədə, xarici maqnit sahəsi ilə idarə olunan termoelektrik çeviricisi yaratmaq cəhdi ilə bağlıdır. Yaradılmış termoelementdə Dy, Eu defektinin tədqiqi onun termoelektrik generatorlarının istehsalında, inteqrasiya olunmuş mikroelektronikada, həmçinin funksional nanoelektronikanın maqnit elementi kimi geniş tətbiqi ilə əlaqədardır. Bəzi birləşmələrin kristal qəfəsinə daxil edilmiş Eu ionları intensiv flüoressansiyanın əmələ gəlməsinə şərait yaradır və yayılan işığın dalğa uzunluğu Eu ionlarının oksidləşmə dərəcəsiindən asılı olur.  $\text{Eu}^{3+}$  praktiki olaraq kristal qəfəsinə intensiv qırmızı rəngə uyğun gələn 613 və 618 nm dalğa uzunluğunda işıq saçır. Əksinə,  $\text{Eu}^{2+}$  ionu isə əsas maddənin kristal qəfəsinin strukturundan çox asılı olub, misal olaraq, barium-maqnezium alüminatda, buraxılan işığın dalğa uzunluğu 447 nm-dir və mavi rəngə uyğundur.

$\text{TlInSe}_2$  üçqat birləşməsi zəncirvari kristal quruluşlu yarımkeçiricilər qrupuna aiddir və tallium selenidinin struktur analoqudur, burada üçvalentli talium ionları (Tl) üçvalentli indium

ionları ( $\text{In}^{3+}$ ) ilə əvəz olunur. Üçvalentli indium ionları  $\text{In}^{3+}$  dörd selenium ionu ilə əhatə olunub tetraqonal Z oxu boyunca mənfə yüklü zəncirlər ( $\text{In}^{3+}\text{Se}^{2-}$ ) əmələ gətirir. Bu zəncirlər birvalentli tallium ionları  $\text{Tl}^{1+}$  ilə birləşir. Zəncirlərdəki atomlar arasındakı qüvvələr güclü, kovalentdir və zəncirlər arasında ion tipli daha zəif qüvvələr mövcuddur.

Bu materiala olan maraq yalnız optik xassələr, udma kənarının strukturu, stasionar fotokeçiricilik, tutma proseslərinə və s. görə olmayıb, onların mümkün praktiki tətbiq imkanları ilə bağlıdır. Adətən bu tip birləşmələr ( $\text{TlB}_x\text{Z}$ ) (B-In, Ga; Z-Se, Te, S) aşağı temperaturlarda maraqlı faza keçidlərinə malik olurlar. Bu materiallarda Zeyebek effekti müşahidə olunur ki, bu da istilik enerjisini elektrik enerjinə çevirməyə imkan verir. Lakin geniş praktiki tətbiq üçün enerjinin çevrilmə effektivliyinin əhəmiyyətli dərəcədə artırılması məqsədə uyğundur.

Termoelementlərin effektivliyi keyfiyyət dərəcəsi ilə müəyyən olunur  $ZT=(S^2\sigma/kT)$ . Köçürmə xassələri bir – biri ilə əlaqəli olduqlarından texnoloji olaraq qurğuların effektivliyinin artırılması mürəkkəb məsələ olaraq qalır. Müxtəlif fikirlər arasında ən optimal nəticə əldə etmək üçün qəfəs fononlarının səpilmə sürətinin artırılması hesabına istilikkeçirməsinin azaldılma mexanizmi seçilir.

$\text{TlInSe}_2$  birləşməsinə kvazibirölcülü fonon strukturuna malik model sistemi kimi baxmaq olar.

Elementar kristal qəfəsdə atomların sayının çox olmaması bu birləşməyə funksional sıxlıq nəzəriyyəsini tətbiq etməklə modelləşmə aparmağa imkan verir.

$\text{TlInSe}_2$ -nin kristal strukturu In- nin kristal oxu boyunca yerləşən Se atomları ilə kovalent rabitədə olan üçvalentli zəncirlərindən ibarətdir. Oktoedrik koordinasiyalı Tl atomlarının daha zəif ion əlaqəsi bu zəncirlərin bir – birilə zəif əlaqəsini təmin edir.

Bu struktur xassələrinə görə  $\text{TlInSe}_2$  birləşməsi kvaziölcülü fonon xassəli nanoölcülü materiallar sinfinə aid edilir. Buradan da belə nəticə alınır ki, fononların yayılması məhdudlaşsın və yekunda fonon istilikkeçirməsi azalsın.

Beləliklə hesab olunur ki,  $TlInSe_2$  birləşməsi üçün  $T < 500K$  – də  $ZT > 2$  almaq olar ki, bu da  $PbTe$  və  $PbSe$  üçün olan  $ZT$  – nin  $\sim 1,8$  qiymətini üstələyir. Bütün bu deyilənlər təqdim olunan işin yüksək aktuallığını göstərir.

$TlInSe_2$  üçqat birləşməsi əsasında yeni xassəli kristallarını alınması və onların fiziki xassələrinin tədqiq olunması praktiki əhəmiyyətlidir. Alınan yeni tərkibli birləşmələr də tetraqonal sinqoniyada kristallaşırlar. Belə kristallar yaxın infraqırmızı şüalanma, rentgen, qamma, neytron şüalanmalarının detektorları, günəş enerji çeviriciləri, termoelementlər, yaddaş çeviriciləri və s. kimi cihazların hazırlanmasında perspektivli materiallar sayılır.

**Tədqiqatın obyektı və predmeti.** Tədqiqatın obyektı lantanoid atomları ( $Dy, Eu$ ) ilə aşqarlanmış  $TlIn_{1-x}M_xSe_2$  ( $M=Dy, Eu$ ) ( $x=0,01; 0,03; 0,05$ ) monokristalları.

Tədqiqat obyektləri olan yarımqeçirici materialların elektrofiziki xassələrinin yüksəldilməsi, xassə göstəricilərinin stabilləşdirilməsində və onların idarə olunmasında reallaşan fiziki – kimyəvi mexanizmlərinin, elektron –ion səviyyəsində və struktur dəyişmələri baxımından müəyyən edilməsi tədqiqatın predmetini təşkil etmişdir.

**Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri.** Dissertasiyanın məqsədi lantanoid ( $Dy, Eu$ ) atomları, ionlaşdırıcı qamma ( $\gamma$ ) şüaların təsiri ilə  $TlIn_{1-x}M_xSe_2$  ( $M=Dy, Eu$ ) ( $x=0,01; 0,03; 0,05$ ) monokristallarında əmələ gələn müxtəlif təbiətli defektlərin kristallik quruluşun formalaşma qanunauyğunluqlarına, istilikkeçirmə və elektron hadisələrinə təsir mexanizmlərinin təyin edilməsi və tətbiq imkanlarının müəyyənəşdirilməsidir.

Qoyulan məqsədə çatmaq üçün aşağıdakı məsələlər həll olunmuşdur:

$TlIn_{1-x}M_xSe_2$  ( $M=Dy, Eu$ ) ( $x=0, 0,01; 0,03; 0,05$ ) bərk məhlulları sintez olunmuş və Bridcmen -Stokbarqer metodu ilə onların monokristalları yetişdirilmişdir.

-  $TlIn_{1-x}M_xSe_2$  ( $M=Dy, Eu$ ) ( $x=0, 0,01; 0,03; 0,05$ ) monokristalları müxtəlif dozalı  $\gamma$  – şüaların təsirinə məruz edilmişdir.

-  $TlIn_{1-x}M_xSe_2$  ( $M=Dy, Eu$ ) ( $x=0, 0,01; 0,03; 0,05$ ) bərk məhlul kristallarının elektrikkeçiriciliyi, Holl effekti, termoelektrik hərəkət qüvvəsi və istilikkeçirməsinin temperatur asılılıqları müəyyənləşdirilmişdir.

-  $TlIn_{1-x}M_xSe_2$  ( $M=Dy, Eu$ ) ( $x=0, 0,01; 0,03; 0,05$ ) monokristallarında fononların səpilmə mexanizmi, müxtəlif təbiətli defektlərin yaranma mexanizmləri müəyyən edilmişdir;

-  $TlIn_{1-x}M_xSe_2$  ( $M=Dy, Eu$ ) ( $x=0, 0,01; 0,03; 0,05$ ) monokristallarında  $\gamma$  – şüalanmanın təsiri ilə yaranan müxtəlif təbiətli defektlərin istilikkeçirmə və elektrikkeçirmənin təbiətinə təsiri müəyyənləşdirilmişdir:

**Tədqiqat metodları.** Aşqarsız və lantanoid atomları ilə aşqarlanmış  $TlIn_{1-x}M_xSe_2$  ( $M=Dy, Eu$ ) ( $x=0,01; 0,03; 0,05$ ) monokristallarının elektrofiziki xassələrinə ionlaşdırıcı şüaların ( $\gamma$ ) təsirini tədqiq edərəkən rentgen şüalarının difraksiyası, sabit cərəyan, diferensial skanedici kalorimetriya (DSK) stasionar fotokeçiricilik, stasionar istilikkeçirmə, Holl şüalanma mənbəyi  $Co^{60}$  izotopu, ferrosulfid metodları tətbiq olunmuşdur.  $TlIn_{1-x}M_xSe_2$  ( $M=Dy, Eu$ ) ( $x=0,01; 0,03; 0,05$ ) monokristalları şüalanma mənbələri  $Co^{60}$  izotopundan ibarət  $\gamma$ -25 radiasiya tədqiqatları qurğusunda şüalandırılmışdır. Təcrübələr zamanı elektrik ölçmələri üçün eni  $\approx 4-5$  mm, uzunluğu  $\approx 10-15$  mm və qalınlığı  $\approx 1-2$  mm olan  $TlIn_{1-x}M_xSe_2$  ( $M=Dy, Eu$ ) ( $x=0,01; 0,03; 0,05$ ) laylı monokristal nümunələrdən istifadə olunmuşdur. Termoelektrik ölçmələrdə və istilikkeçirmə əmsalının təyində silindirik formalı nümunələrdən istifadə olunmuşdur. İonlaşdırıcı şüaların təsirindən əvvəl tədqiqat obyektləri olan kristalların səthinə xüsusi şəraitdə gümüş kontaktlar vurulub, kontaktın keçiriciliyi və keyfiyyəti yoxlanılaraq elektrofiziki tədqiqatlar aparılmışdır.

#### **Müdafiəyə çıxarılan əsas elmi müddəalar:**

1)  $TlIn_{1-x}M_xSe_2$  ( $M=Dy, Eu$ ) ( $x=0, 0,01; 0,03; 0,05$ ) monokristallarında keçiriciliyin  $\sigma$  (T), termoelektrik hərəkət qüvvəsinin  $\alpha(T)$  temperatur asılılıqlarında dəyişmələrin müşahidə edilməsi;

2)  $\text{TlInSe}_2$  kristallarının elektrik keçiriciliyinə, termoelektrik hərəkət qüvvəsinə nadir torpaq element atomlarının (Dy, Eu) təsirinin müəyyən edilməsi;

3)  $\text{TlIn}_{1-x}\text{M}_x\text{Se}_2$  ( $\text{M}=\text{Dy, Eu}$ ) ( $x=0, 0,01; 0,03; 0,05$ ) monokristallarında istilikkeçirmənin mexanizminin müəyyən edilməsi;

4)  $\text{TlIn}_{1-x}\text{M}_x\text{Se}_2$  ( $\text{M}=\text{Dy, Eu}$ ) ( $x=0, 0,01; 0,03; 0,05$ ) elektrikkeçiriciliyinə və istilikkeçiriciliyinə  $\gamma$  – şüalanmanın təsirinin müəyyən edilməsi;

5)  $\text{TlIn}_{1-x}\text{M}_x\text{Se}_2$  ( $\text{M}=\text{Dy, Eu}$ ) ( $x=0, 0,01; 0,03; 0,05$ ) bərk məhlul kristallarında müxtəlif temperatur intervalında (100-600 K) səpilmə mexanizminin müəyyən edilməsi.

### **Tədqiqatın elmi yeniliyi.**

1. Tədqiqatlarda  $\text{TlIn}_{1-x}\text{M}_x\text{Se}_2$  ( $\text{M}=\text{Dy, Eu}$ ) ( $x=0, 0,01; 0,03; 0,05$ ) materialların termoelektrik xassələrinə dair yeni nəticələr əldə edilmişdir.  $\text{TlIn}_{1-x}\text{M}_x\text{Se}_2$  ( $\text{M}=\text{Dy, Eu}$ ) ( $x=0,01; 0,03; 0,05$ ) kristallarında termoelementlər üçün Eu – nun səmərəliliyi Dy ilə müqayisə edilir, və Eu elementi termoelementlərin hazırlanmasında Dy elementinə nisbətən daha effektiv olduğu göstərilir. Lakin maqnit xüsusiyyətləri elementin idarə edilməsi üçün istifadə olunarsa Dy –un dəyişməsi Eu – dan daha təsirli olur.

2. Laylı və zəncirvari quruluşa malik  $\text{TlIn}_{1-x}\text{M}_x\text{Se}_2$  ( $\text{M}=\text{Dy, Eu}$ ) ( $x=0,01; 0,03; 0,05$ ) bərk məhlul kristallarının elektrik, termoelektrik xassələri, atomların yerləşməsində lokal dəyişmələr yaradan defektlərin konsentrasiyasından kəskin asılıdır.

3.  $\text{TlInSe}_2$  bərk məhlul kristalının enerji zolağında dayaz və dərin lokal enerji səviyyələri mövcuddur. Onların dolub–boşalma sürəti tətbiq olunan elektrik sahəsindən asılıdır.

4.  $200^0\text{K}$ -dən aşağı temperaturalarda keçiricilik qadağan zonada olan aşqar səviyyələrdən baş verən keçidlərlə əlaqədardır, valent zonasının tavanından  $\Delta E$  energetik məsafədə yerləşən akseptor səviyyələr məxsusi yükdaşıyıcılar üçün “tələ” rolunu oynayır və Fermi səviyyələrinin bu zonaya daxil olduğu temperatur intervalında bu səviyyələrin “tutulması” baş verir.



5.  $TlIn_{1-x}M_xSe_2$  ( $M=Dy, Eu$ ) ( $x=0,01; 0,03; 0,05$ ) dördqat birləşmə bərk məhlullarının tetraqonal sinqoniyada kristallaşmaları aşkar edilmişdir.

6.  $TlInSe_2$  bərk məhlul kristalına əlavə olunan nadir torpaq element atomları və  $\gamma$ -kvantlarla şüalanma maddənin istilikkeçirməsinin həm ədədi qiymətinə, həm də onun temperatur asılılığına kəskin təsir edir. İstilikkeçirmədə  $300\text{ K}$ -dən aşağı temperaturlarda akustik, nisbətən yuxarı temperaturlarda isə optik həm də akustik fononlar iştirak edir.

**Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti.** Dissertasiyada əldə olunmuş nəticələr nanoelektronikada, elektron çeviricilərinin yaddaş elementlərinin, elektrik və optik informasiyanın toplanması üçün sistemlərin hazırlanmasında geniş istifadə edilə bilər. Həmçinin dissertasiyada göstərilmişdir ki,  $TlIn_{1-x}M_xSe_2$  ( $M=Dy, Eu$ ) ( $x=0,01; 0,03; 0,05$ ) bərk məhlul kristalları geniş temperatur intervalında ( $300-600\text{ K}$ ) işləyə bilən tenzo-, termo-, fotoçeviricilərdə effektiv material kimi istifadə oluna bilər.

**Aprobasiyası və tətbiqi.** Dissertasiyanın ümumi müddəaları barədə GDU-nın fizika kafedrasında vaxtaşırı məruzələr edilmişdir. Dissertasiya işinin məzmunu 22 elmi əsərdə, o cümlədən Respublika və xarici jurnallarda 11 məqalə, 11 konfrans materialı çap olunmuşdur. Məqalələrdən yeddisi xaricdə-bunlardan 2-si Beynəlxalq bazalara daxil olan jurnallarda, dördü isə AAK-ın tövsiyə etdiyi jurnallarda dərc edilmişdir. Məqalələrdən dördü təkmüəlliflidir. Dissertasiya işinin əsas nəticələri aşağıda qeyd olunan konfranslarda dərc olunmuşdur:

Bakı Dövlət Universiteti, Fizika Problemləri İnstitutu. (-Bakı, -25-26 dekabr, -2015, -səh.227-230). Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. Санкт –Петербургский Государственный Аграрный Университет, Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения. Сборник научных трудов. (-Санкт –Петербург, част 1,-2017, -ст.535-537). Bakı Mühəndislik Universiteti, I International Scientific Conference of Young Researchers, (-Bakı, 05-06 may, -2017, -səh.123-125, 125-127). Gəncə Dövlət Universiteti, Beynəlxalq Elmi Konfrans, Müasir təbiət və iqtisad elmlərinin

aktual problemləri. (- Gəncə, V hissə, -04-05 may, -2018, -səh38-41, 265-268). ADİU. Azərbaycanda qida və tekstil sənayesinin inkişaf perspektivləri və qarşıda duran vəzifələr. II Respublika Elmi-Praktik Konfransı. (-Bakı, -25 aprel 2018, -səh. 136-142). Sumqayıt Dövlət Universiteti, Tətbiqi Fizika və energetikanın aktual məsələləri, Beynəlxalq elmi konfransın materialları. (- Sumqayıt, -24-25 may, -2018, -st.228-231). Gəncə Dövlət Universiteti, Gəncə Beynəlxalq Elmi Konfrans, Müasir təbiət və iqtisad elmlərinin aktual problemləri. (-Gəncə, IV hissə, -03-04 may, -2019, -səh. 7-10). Azərbaycan Texnologiya Universiteti, Qida və Yüngül sənayenin aktual problemləri, Beynəlxalq elmi praktik konfrans. -(Gəncə, -2019. Səh.211-212). III Международный научно-практической конференции European Research Forum, Российская Федерация МЦНП, Новая наука, -Петрозаводск,(- 19 aprel, -2021, ст.73-79).

**İddiaçının şəxsi iştirakı:** Tədqiqatın əsas məqsədi və məqsədə müvafiq təcrübi və nəzəri işlərin yerinə yetirilməsinin sistemləşdirilməsi, tədqiqat nümunələrinin hazırlanması, təcrübi tədqiqat sxemlərinin, qurğuların və texniki vasitələrin hazırlanması, təcrübi işlərin yerinə yetirilməsi, dissertasiya işinin tərtibatı şəxsən iddiaçı tərəfindən həyata keçirilmişdir. Yerinə yetirilmiş tədqiqatın nəticələri elmi məqalələrin konfrans materiallarının tərtibatı dissertasiyanın elmi rəhbəri və həmmüəlliflərlə müzakirə edilmişdir.

**Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı.** Gəncə Dövlət Universiteti, qismən BDU – nun Fizika Problemləri İnstitutu

**Dissertasiyanın strukturu və həcmi.** Təqdim olunan dissertasiya işi girişdə 20244 işarə, I fəsildə 57627 işarə, II fəsildə 32478 işarə, III fəsildə 69862 işarə, IV fəsildə 26450 nəticələrdə isə 3267 işarə olmaqla ümumilikdə 209928 işarədən ibarətdir. Dissertasiya işi 165 səhifədən, o cümlədən, 126 səhifə ancaq mətn (209928 işarə), 16 şəkil, 26 qrafik və 3 cədvəldən ibarətdir.

## İŞİN MƏZMUNU

**Girişdə** dissertasiyanın aktualığı və texnologiyada tətbiqi əsaslandırılmış, aparılan tədqiqatların məqsədi, işin elmi yeniliyi və praktiki əhəmiyyəti göstərilmiş, müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar, aprobeasiya dərəcəsi, nəşr edilmiş elmi əsərlər barədə məlumat verilmiş və dissertasiyanın fəsilərə görə qısaca olaraq əsas məzmunu şərh edilmişdir.

**Dissertasiya işinin birinci fəslə**  $A^{III}B^{III}C_2^{VI}$  tipli birləşmələr sinfinə daxil olan  $TlInSe_2$  bərk məhlul kristalının elektrofiziki xassələrinin, ədəbiyyat məlumatlarının araşdırılmasına həsr olunmuşdur. Bu fəsildə  $A^{III}B^{III}C_2^{VI}$  tipli birləşmələrin elektrofiziki xassələri, Lantanoid əsaslı bərk məhlul kristalları, onların elektron quruluşu haqqında ümumi məlumat verilmişdir. Bu fəsildə həmçinin  $A^{III}B^{VI}$ ,  $A^{III}B^{III}C_2^{VI}$  tipli kristallarda müxtəlif təbiətli defektlərin yaranma mexanizmi haqqında olan ədəbiyyat məlumatları təhlil olunmuşdur.

Ədəbiyyatda  $TlInSe_2$ ,  $TlInTe_2$  və  $TlGaTe_2$  üçqat birləşmələrinin monokristallarının yetişdirilmə, sintezi metodları araşdırılmış və səmərəli yetişdirilmə metodu kimi zona əritmə metodu ən effektiv hesab olunmuşdur.

Bu fəsildə həmçinin nadir torpaq elementlərinin daxil olduğu bir sıra tərkiblərin müxtəlif termoelektrik, termomaqnit və lüminifor xassələri haqqında ədəbiyyat məlumatları araşdırılmışdır.

$TlInTe_2$  laylı quruluşlu yarımkəçiricinin həm laylara perpendikulyar, həm də laylar istiqamətində xüsusi müqavimətinin temperatur asılılığı öyrənilmiş, aşqar keçiriciliyin aktivləşmə enerjisi təyin olunmuşdur<sup>1</sup> Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşma radiusu və hal sıxlıqları təyin olunmuşdur. Bu fəsildə  $A^{III}B^{VI}$ ,  $A^{III}B^{III}C_2^{VI}$  tipli yarımkəçirici birləşmələrdə müxtəlif tip məxsusi (nöqtəvi və makroskopik) defektlərin mövcudluğu və həmin

---

<sup>1</sup> Керимова, Э. М., Мустафаева С. Н., Исмаилова П. Г., Керимов Р. Н., Ахмедова Г. М. Электрические и термоэлектрические свойства  $TlCoS_2$   $TlCoSe_2$  // Матер.респ.научн.конф. «Неорганическое материалов-едение», - Баку: БДУ. -2002, -ст.39.

materiallarda müxtəlif radiasiya defektlərinin və aşqar səviyyələrin yaranma mexanizmi haqqında məlumat verilmişdir. Belə birləşmələrdə var olan həm məxsusi, həm də müəyyən üsullarla yaradılmış defektlərin yaranma üsullarının tədqiq edilməsi həmişə aktualdır.

Radiasiya şüalarının təsiri nəticəsində yarımkeçiricinin kristal quruluşunda müəyyən nizamsızlıq müşahidə edilir. Bu nizamsızlıq hissəciklərin atomlarla toqquşma xarakterindən asılı olub atomların həyəcanlanmasına və ya koordinat mərkəzinin dəyişməsinə səbəb olur. Həmçinin müxtəlif faizli nadir torpaq element atomları ilə aşqarlanmış  $\text{TlInSe}_2$  kristallarında aparılan tədqiqatlardan aydın olmuşdur ki, kristalda akseptor və donor tipli radiasiya defektləri  $\gamma$ -şüalanma zamanı yaranır, lakin donor səviyyələr üstünlük təşkil etdiyindən p tip  $\text{TlInSe}_2$  kristallarında kompensə dərəcəsi artır<sup>2</sup>. Radiasiya şüalarının yarımkeçirici elementlərin fiziki xassələrinə təsiri ilə bağlı məlumatlar təhlil olunmuşdur<sup>3,4</sup>

**Dissertasiya işinin ikinci** fəslı metodik hissədir. Bu fəsilde  $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{III}}\text{C}_2^{\text{VI}}$  tipli bərk məhlul kristallarının fiziki-kimyəvi xassələri araşdırılır. Burada Eu və Dy nadir torpaq element atomları vurulmuş müxtəlif tərkibli kristalların alınması, onların qamma kvantlarla şüalandırılması, alınan kristalların elektrofiziki, termoelektrik və istilik xassələrinin tədqiqi, ölçmə üsulları haqqında məlumat verilmişdir. Bu fəsilde həmçinin yarımkeçiricilərin əsas parametrlərinin təyini, onların hesablanması üsulları, prinsipial elektrik dövrələri, tədqiqat qurğuları, nümunələrin  $\gamma$ -şüalarla şüalandırma metodikası ətrafı araşdırılmışdır.

---

<sup>2</sup> Мадатов Р. С. Влияние ионизирующего излучения на механизм электропроводности монокристаллов Особенности механизма токопрохождения в кристаллах  $\text{TlInSe}_2$  / Р.С.Мадатов, А.И. Наджафов., М. Р. Газанфаров // Перспективные материалы, -2012, №3, -ст.1-5.

<sup>3</sup> Зарбалиев М. М. Особенности электрических свойств твердых растворов  $\text{TlIn}_{1-x}\text{Yb}_x\text{S}_2(\text{Te}_2)$  // Физика. -1999. Т.5. №3. -с.26-29.

<sup>4</sup> Мадатов, Р.С., Эффект переключения в монокристаллах  $\text{TlInS}_2$  облученных гамма квантами / Р. С. Мадатов, А. И. Наджафов, М. А. Мамедов, В. С. Мамедов // АМЕА-ның Хəбərləri. Fizika-riyaziyyat və texnika elmləri seriyası,- 2008, № 2, -с. 64-68.

$A^{III}B^{III}C_2^{VI}$  tipli birləşmələr sinfinə daxil olan  $TlInSe_2$  tipli birləşmələr və onların əsasında alınan bərk məhlulların fiziki-kimyəvi xassələrinin təhlili, öyrənilən kristalların yetişdirilmə texnologiyası təhlil olunaraq göstərilən birləşmələrin anion və kationların əvəz edilməsi ilə müxtəlif tərkibli bərk məhlul kristalları alınmağın mümkünlüyü araşdırılmışdır<sup>5</sup>.

Ədəbiyyat məlumatlarında  $TlGaSe_2 - TlInSe_2$  sistemində kimyəvi təsirin xarakteri təhlil olunaraq kristal qəfəsdə anion və kation əvəzətmələrinin mümkünlüyü məsələlərinə baxılmışdır. Burada  $TlIn_{1-x}M_xSe_2$  ( $M=Dy, Eu$ ) ( $x=0, 0,01; 0,03; 0,05$ ) bərk məhlul monokristallarının sintez və Bridgman-Stokbarqer üsulu ilə alınma metodu geniş şəkildə göstərilmiş və qurğunun təsviri verilmişdir. Eyni zamanda nümunələrin qamma şüalarla şüalandırma metodu və radiasiya defektlərinin yaradılma yolu təhlil olunmuşdur.  $TlIn_{1-x}M_xSe_2$  ( $M=Dy, Eu$ ) ( $x=0, 0,01; 0,03; 0,05$ ) kristallarının elektrik keçiriciliyini, termoelektrik hərəkət qüvvəsini ölçmək üçün istifadə olunan qurğu haqqında məlumat verilmişdir. Nümunələrin elektrik və termoelektrik xassələrini azot temperaturundan 600 K temperatura qədər ölçmək üçün istifadə olunan kriostatın prinsipial quruluşunun təsviri verilmişdir.

Nümunələrin hazırlanması və elektrofiziki kəmiyyətlərin ölçü metodu təhlil olunmuşdur. Alınan kristalların monokristallığı, quruluşu və kimyəvi tərkibi rentgenfaz analizi üsulu ilə yoxlanılmışdır. Müəyyən olunmuşdur ki, monokristallar tetraqonal quruluşa malikdirlər və kristal qəfəsin parametrləri-  $a=8,062 \text{ \AA}^0$ ,  $c=6,820 \text{ \AA}^0$  olmuşdur. Kristalların keçiricilik tipi termo-e.h.q.-nin işarəsinə görə təyin olunmuş və p-tip keçiriciliyə malik olmaları müəyyən edilmişdir. Hall effekti və elektrik keçiriciliyinə əsasən sərbəst yükdaşıyıcıların konsentrasiyası, xüsusi müqaviməti müəyyən edilmişdir. Bu parametrlər uyğun olaraq  $\approx 5 \cdot 10^{11} \text{ sm}^{-3}$ ,  $\approx 10^5 - 10^7 \text{ Om} \cdot \text{sm}$  tərtibində olmuşdur.

Kristalların səthi hamar-güzgü olduğu üçün əlavə kimyəvi və

---

<sup>5</sup> Зарбалиев, М. М. Теплопроводность твердых растворов системы  $TlIn_{1-x}Yb_x S_2$  // РАН, Неорганич. Материалы. -2000. Т.36.№ 5. -с.619-623

cilalanmaya ehtiyac olmamışdır.

**Dissertasiya işinin üçüncü fəsl**i təcrübi hissədir. Bu fəsilde  $TlIn_{1-x}M_xSe_2$  ( $M=Dy, Eu$ ) ( $x=0,01; 0,03; 0,05$ ) sistem birləşmələrin elektrik, termoelektrik xassələrinin tədqiqindən alınan nəticələr, onların araşdırılması və izahı verilmişdir.

Ədəbiyyatdan 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 böyük olması ilə bağlıdır.

Amma alınan tərkibdə ilkin komponent  $TlInSe_2$  birləşməsinə uyğun olan tetraqonal sinqoniya saxlanılır və elementar qəfəsdə atomların sayı dəyişmir. Aparılan araşdırmalar bir daha təsdiq edir ki,  $0 \div 11$  mol faiz  $TlInSe_2$  intervalında otaq temperaturunda  $TlInSe_2 - TlDySe_2$ , və  $TlInSe_2 - TlEuSe_2$  sistemlərində  $TlIn_{1-x}Dy_xSe_2$ , və  $TlIn_{1-x}Eu_xSe_2$  tərkibli bərk məhlul oblastı mövcuddur.

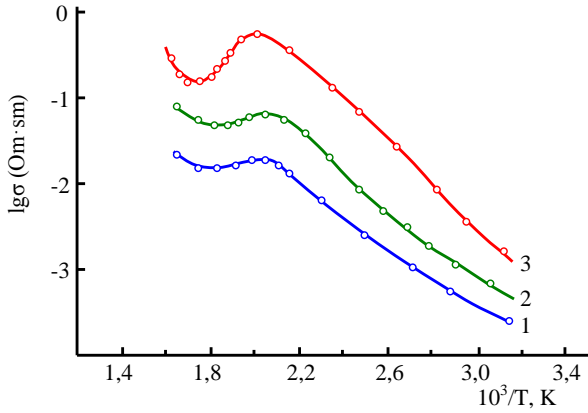
Şəkil 1 və 2-də  $TlIn_{1-x}M_xSe_2$  ( $M=Dy, Eu$ ) ( $x= 0,01; 0,03; 0,05$ ) bərk məhlullarının elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılıqları  $\lg \sigma = f(10^3 / T, K^{-1})$  koordinatlarında, 3 şəkildə isə  $TlIn_{1-x}Dy_xSe_2$  kristalı üçün Holl əmsalının  $\lg RT^{3/2} = f(10^3 / T, K^{-1})$  koordinatlarında temperatur asılılıqları göstərilmişdir. Aşağı temperaturlarda (80-450 K) aşqar keçiricilik, ~500 K-dən yuxarı temperaturlarda isə məxsusi keçiricilik müşahidə olunur. Keçiriciliyin temperatur asılılığının meyllərinə görə uyğun tərkib üçün qadağan olunmuş zonanın eni (aktivləşmə enerjisi) müəyyən olunmuşdur. 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. 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. Holl əmsalının temperatur asılılığından müəyyən olunmuşdur ki, müşahidə olunan bu asılılıq elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığı ədəbiyyat məlumatları ilə yaxşı uyğunluq təşkil edir. Temperaturun 300-500 K intervalında sərbəst yükdaşıyıcıların konsentrasiyası praktik olaraq dəyişməz qalır və yüksək temperatur oblastindəki  $\lg RT^{3/2} = f\left(\frac{1}{T}\right)$  asılılığının meylinə

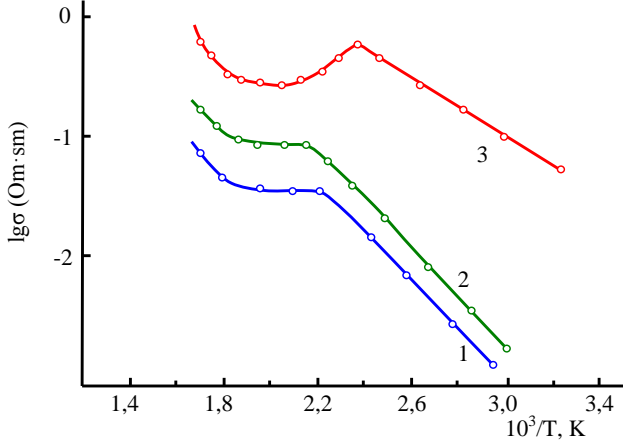
görə qadağan olunmuş zonaların eninin hesablanmış qiyməti ilə təcrübi xəta tərtibində bir-birinə uyğundur.

Holl yürüklüyünün temperatur asılılığına əsasən demək olar ki, yükdaşıyıcılar əsasən akustik fononlardan səpilirlər. Tədqiqat aparılan temperatur intervalında yürüklüyün temperatur asılılığı  $\mu \sim T^{3/2}$  qanunu ilə dəyişir, bu isə yükdaşıyıcıların uzundalğalı akustik fononlardan səpilməsinə uyğun gəlir. Temperaturun 100-450 K intervalında kristalda baş verən keçidlər qadağan olunmuş zonada yerləşən aşqar səviyyələrdən yaranır. Müəyyən temperaturdan sonra bu səviyyədən olan keçidlər “tükənir”. Yenidən keçidlərin baş verməsi üçün daha böyük enerji, yəni yüksək temperatur tələb olunur.

Holl əmsalının temperatur asılılığından aydın olur ki, təqribən  $\sim 450$  K-dən başlayaraq temperaturun artması ilə Holl əmsalının ( $R$ -in) artması baş verir. Bu halda İndium atomlarını lantanoid atomları ilə əvəz etdikdə Holl əmsalının artması daha yüksək temperatur oblastına doğru sürüşür. Bütün hallarda Holl əmsalının artması müəyyən temperatura qədər davam edir, sonra isə kəskin azalma müşahidə edilir. Başqa sözlə Holl əmsalı maksimumdan keçir və tərkibdə lantanoid atomlarının nisbi miqdarı artdıqca Holl əmsalının ( $R$ -in) maksimumu yüksək temperatur oblastına doğru sürüşür. Holl əmsalının artması konsentrasiyanın azalması hesabına baş verir. Temperaturun sonrakı artımında isə aşqar səviyyələr tədricən dolur və yükdaşıyıcıların orta kinetik enerjisi qadağan olunmuş zonanın enindən böyük olduqda ( $kT > \Delta E$ ) keçirici zonaya elektronların keçidi həmin səviyyələrdən baş verir. Baş verən bu effekt öz növbəsində Holl əmsalının azalmasına və uyğun olaraq da yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının və keçiriciliyin artmasına səbəb olur.

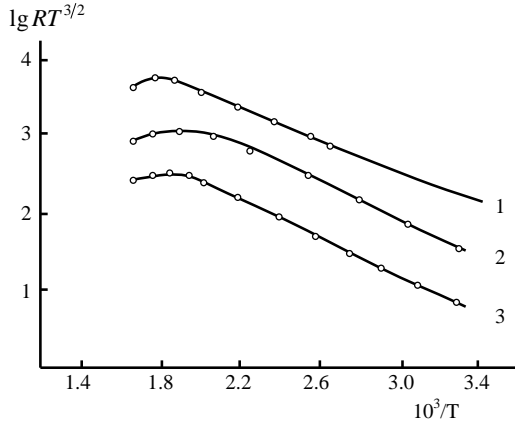


**Şəkil 1.**  $TlIn_{1-x}Dy_xSe_2$  ( $x$ : 0,01; 0,03; 0,05) bərk məhlul kristalının elektrik keçiriciliyinin  $lg \sigma = f(10^3 / T, K^{-1})$  koordinatlarında temperatur asılılıqları

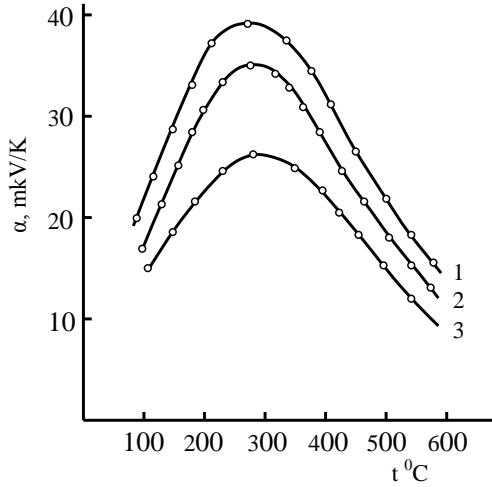


**Şəkil 2.**  $TlIn_{1-x}Eu_xSe_2$  bərk məhlul kristalının elektrik keçiriciliyinin  $lg \sigma = f(10^3 / T, K^{-1})$  koordinatlarında temperatur asılılıqları ( $x$ : 0,01; 0,03; 0,05)

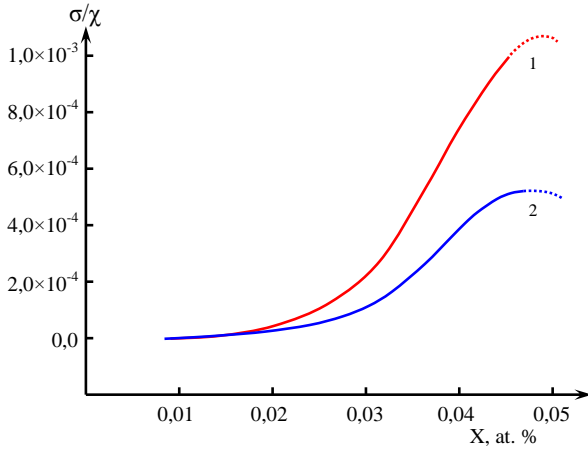




**Şəkil 3.**  $\text{TIIn}_{1-x}\text{Dy}_x\text{Se}_2$  kristalı üçün Hall əmsalının  $\lg RT^{3/2} = f(10^3/T, K^{-1})$  koordinatlarında temperatur asılılıqları ( $x: 0,01; 0,03; 0,05$ ).



**Şəkil 4.**  $\text{TIIn}_{1-x}\text{M}_x\text{Se}_2$  ( $M=\text{Dy}, \text{Eu}$ ) ( $x=0, 0,05$ ) bərk məhlul kristalının termo-elektrik hərəkət qüvvəsinin temperatur asılılığı. 1- $\text{TIInSe}_2$ , 2-  $\text{TIIn}_{0,95}\text{Dy}_{0,05}\text{Se}_2$ , 3- $\text{TIIn}_{0,95}\text{Eu}_{0,05}\text{Se}_2$ .



**Şəkil 5.  $\text{TIIn}_{1-x}\text{Eu}_x\text{Se}_2$  (1) və  $\text{TIIn}_{1-x}\text{Dy}_x\text{Se}_2$  (2) ( $x=0,01; 0,03; 0,05$  at. %) kristallarının ZT əmsalının təyini**

Termoelektrik hərəkət qüvvəsinin (termo-e.h.q.) öyrənilməsi bərk cismin fiziki xassələrinin və onun temperatur asılılığının öyrənilməsində çox böyük əhəmiyyətə malikdir. Yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının temperatur asılılığı haqqında fikir söyləmək üçün termo-e.h.q.-nin temperatur asılılığının öyrənilməsi vacib məsələlərdəndir. Termo-e.h.q.-si yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının eksponensial qanunla artması zamanı temperaturun da yüksəlməsi ilə azalmalıdır.  $\text{TIIn}_{1-x}\text{M}_x\text{Se}_2$  ( $\text{M}=\text{Dy}, \text{Eu}$ ) ( $x=0,01; 0,03; 0,05$ ) monokristallarının termo-e.h.q.-nin təyin edilməsi zamanı müəyyən edilmişdir ki  $\alpha(T)$  asılılıqlarının xüsusiyyətləri praktiki olaraq hər iki kristal üçün eyni xarakterlidir. Hər iki kristal üçün alınan  $\alpha=f(1/T)$  asılılığı xəttidir. Bu nəticələr temperaturun artması ilə konsentrasiyanın artdığını, tədqiq olunan maddələrin yarımkəçirici təbiətli olduğunu sübut edir.

Termoelektrik materialşünaslıqda əsas söylər ölçüsüz parametr ZT-nin ən yüksək dəyəri olan materialı tapmaq məqsədi daşıyır.  $\text{TIIn}_{1-x}\text{M}_x\text{Se}_2$  ( $\text{M}=\text{Dy}, \text{Eu}$ ) ( $x=0, 0,01; 0,03; 0,05$ ) monokristallarının istilik keçiriciliyinin temperatur asılılığından müəyyən olmuşdur ki,  $\text{TIInSe}_2$  kristalına əlavə olunan nadir torpaq elementləri kristalın ümumi istilikkeçirməsinə təsir edir. Məlum

olmuşdur ki, Dy və Eu atomlarının  $TlInSe_2$  kristalına təsiri zamanı istilikkeçirmənin qiyməti azalır. Bu da  $ZT$  əmsalının artmasına gətirir, yəni monokristalın termoelektrik xassəsi güclənir.

Maqnetizm xassəsi maddədə elementar xüsusiyyət kimi maqnit nizamından və temperatur şəraitindən asılıdır. Disproziyum lantanoidi paramaqnitdir. Yüksək maqnit gücünə malikdir. 85 K-dən aşağı temperaturda ferromaqnetizm, bu temperaturdan yuxarı isə 300 K-də spiralvari antiferromaqnetizm və paramaqnetizm xassəsinə malik olur.

Yarımkəçiricilərdə yükdaşıyıcıların səpilmə mexanizmini müəyyən etmək müəyyən nəzəri çətinliklə bağlıdır. Amma müəyyən şərtlər nəzərə alınmaqla məsələni sadələşdirmək olur. Elektron qazının cırlaşmadığı hal üçün xüsusi halda qismən yuxarı temperaturlarda yürüklük temperaturdan mürəkkəb asılıdır. Yükdaşıyıcıların yürüklüyünün müşahidə olunan  $\mu \sim T^{-3/2}$  qanunu ilə temperatur asılılığı yükdaşıyıcıların akustik fononlardan səpilməsinə uyğundur.

Müxtəlif atom faizli lantanoid element atomları əlavə olunmuş  $TlIn_{1-x}M_xSe_2$  ( $M=Dy, Eu$ ) ( $x=0,01; 0,03; 0,05$ ) bərk məhlul kristallarının bəzi əsas yarımkəçirici parametrlərinin nəzəri hesablanmış qiymətləri aşağıdakı cədvəldə verilmişdir.

### Cədvəl

#### $TlIn_{1-x}M_xSe_2$ ( $M=Dy, Eu$ ) ( $x=0,01; 0,03; 0,05$ ) tərkibli bərk məhlulların bəzi yarımkəçirici parametrləri

Tərkiblər	$\Delta\varepsilon_g, eV$ $\lg \sigma = f(10^3 / T)$ - dən	$\Delta\varepsilon_g, eV$ $\lg RT^{3/2} = f(10^3 / T)$ - dən	$\alpha$ V/K 500 K-də
$TlIn_{0,99}Dy_{0,01}Se_2$	1,20	1,19	730
$TlIn_{0,97}Dy_{0,03}Se_2$	1,12	1,09	657
$TlIn_{0,95}Dy_{0,05}Se_2$	1,10	1,06	600
$TlIn_{0,99}Eu_{0,01}Se_2$	1,17	1,17	672
$TlIn_{0,97}Eu_{0,03}Se_2$	1,15	1,14	585
$TlIn_{0,95}Eu_{0,05}Se_2$	1,10	1,02	500

Şəkil 6-da müxtəlif temperaturalarda  $TlIn_{0,97}Dy_{0,03}Se_2$  kristalının nazik təbəqəsinin təcrübədən alınan volt-ampər xarakteristikası göstərilmişdir. Nümunəyə vurulan kontakt omik olduqda volt-ampər xarakteristikası xəttidir. Amma nümunəyə tətbiq olunan xarici sahə artdıqda kontakt qeyri omik olur. Xarici elektrik sahəsi ilə bağlı yaranan bu fakt aşağıdakı effektlərlə əlaqələndirilir<sup>6,7</sup>

a) Yaradılan güclü elektrik sahəsinin təsiri hesabına elektrodlar arasında axan yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının artması hesabına yaranan cərəyan sıxlığı kəskin artır. b) Volt-ampər xarakteristikasında yaranan qeyri xəttiliyin digər səbəbi qadağan olunmuş zonada tutma mərkəzlərinin olmasıdır. Tutma mərkəzləri kristala vurulmuş müxtəlif xarakterli element atomları – aşqarlar, defektlər, dislokasiyalar və digər növ qəfəs defektləri ola bilər.

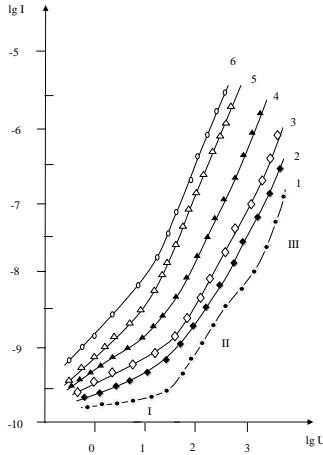
Qrafik asılılıqdan görüldüyü kimi, elektrik sahəsinin  $10 \div 10^3$  V/sm qiymətlərində tədqiq olunan nümunə üçün geniş temperatur intervalında volt-ampər xarakteristikasında (VAX-da) xətti və qeyri xətti oblastlar mövcuddur.  $TlIn_{0,97}Dy_{0,03}Se_2$  bərk məhlul monokristalının nazik təbəqəsinin volt-ampər xarakteristikasında omik ( $I \sim U$ ), kvadratik ( $I \sim U^2$ ) və cərəyanın kəskin artdığı ( $I \sim U^3$ ) intervallar müşahidə olunur. Volt-ampər xarakteristikasında müşahidə olunan I hissə omik hissəyə ( $I \sim U$ ), II hissə kvadratik ( $I \sim U^2$ ) və III hissə isə cərəyanın kəskin artmasına uyğundur ( $I \sim U^3$ ). Müxtəlif temperaturlarda çıxarılan xarakteristikalarda temperaturun azot temperaturundan 600 K temperatura kimi artması ilə, xarakteristikada xətti asılılıqdan kvadratik asılılığa keçid astana gərginliyi azalır. Bu dəyişməyə səbəb kristalda injeksiya olunmuş yükdaşıyıcıların tələlər tərəfindən tutulma ehtimalının dəyişməsidir. Müşahidə olunan asılılıq nümunələrin keçiriciliyinin azalması ilə əlaqədardır.  $80 \div 600$  K temperatur intervalında  $TlIn_{0,97}Dy_{0,03}Se_2$  –

---

<sup>6</sup> Нифтиев Н. Н. Электрические свойства слоистых монокристаллов  $FeGaInS_4$  // ФТП, 2004, т.38, в.5, с.522-523.

<sup>7</sup> Керимова Э. М., Мустафаева С. Н., Керимов С. Н., Гаджиева Г. А. Фото и рентгенопроводимость твердых растворов  $(TiGaS_2)_{1-x}(TlInSe_2)_x$  // Неорган. материалы, 1999, т.35. №11. с.1313-1314.

monokristalının volt-ampere xarakteristikasında cərəyanın xarici sahədən asılı olaraq dəyişməsi, Çayld-Lenqmür qanununa tabe olub Lampert nəzəriyyəsi ilə izah olunur. Tədqiq olunan kristalda bu effektin yaranmasının səbəbi, temperaturun artması ilə qadağan olunmuş zonada yeni tutma mərkəzlərinin yaranması və injeksiya olunmuş yükdaşıyıcıların tələlər tərəfindən tutulma ehtimalının dəyişməsi ilə bağlıdır. Bu tip tutma mərkəzlərinə kristalda mövcud olan aşqar səviyyələr, dislokasiyalar və kristal qəfəsdəki müxtəlif təbiətli defektlər aiddir.

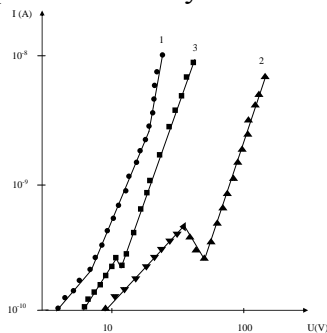


**Şəkil 6. Müxtəlif temperaturlarda  $TlIn_{0,97}Dy_{0,03}Se_2$  kristalının volt-ampere xarakteristikaları. 1-100 K; 2-200 K; 3-300 K; 4-400 K; 5-500 K; 6-600 K.**

Müşahidə olunan fakt  $80 \div 600$  K temperatur intervalında,  $TlIn_{0,97}Dy_{0,03}Se_2$  – monokristalının volt-ampere xarakteristikası Lampert nəzəriyyəsinə uyğundur və aşağı temperatur oblastında cərəyan termik ionlaşma hesabına yaranan yükdaşıyıcılarla, yüksək temperaturlarda isə, injeksiya olunmuş yükdaşıyıcılarla müəyyən olunur. Omik hissədən kvadratik hissəyə keçid gərginliyi temperaturun dəyişməsi ilə gərginlik  $U_{keç}=8-15$  V intervalında dəyişir. Gərginliyin bu qiymətləri, volt – ampere xarakteristikalarından Lampert nəzəriyyəsiindən istifadə etməklə

hesablamaq mümkündür. Lampert nəzəriyyəindən istifadə etməklə azot temperaturunda tarazlıq halında elektronların konsentrasiyası ( $n_0$ ), yükdaşıyıcıların yürüklüyü ( $\mu$ ) və tələlərin konsentrasiyası ( $N_t$ ) Lampert nəzəriyyəsinə görə hesablanmışdır. Uyğun olaraq bu kəmiyyətlər üçün  $n_0 = 5 \cdot 10^{10} \text{ sm}^{-3}$ ,  $\mu = 1,9 \text{ V} \cdot \text{m} \cdot \text{san}^{-1}$ ,  $N_t = 1,5 \cdot 10^{17} \text{ sm}^{-3}$  qiymətləri alınmışdır.

Şəkil 7-də şüalanmamış  $\text{TlIn}_{0,97}\text{Dy}_{0,03}\text{Se}_2$  və 50 krad  $\gamma$ -kvantları ilə şüalandırılmış  $\text{Ag}-\text{TlInSe}_2-\text{Ag}$  strukturu üçün 300 K temperaturda VAX asılılıqları göstərilmişdir. Şəkildə 1-ci əyri şüalanmamış, 2 və 3 əyriləri isə uyğun olaraq, şüalanmış  $\text{TlIn}_{0,97}\text{Dy}_{0,03}\text{Se}_2$  nümunənin 24 saat və 240 saatdan sonra volt-ampere xarakteristikalarıdır. Məlum olmuşdur ki, şüalanmadan müəyyən müddət keçdikdən sonra VAX asılılıqları sola sürüşür və 240 saatdan sonra şüalanmamış nümunənin xarakteristikasına yaxınlaşır (şəkildə 3-cü əyri). Qrafik asılılıqlarından görünür ki, xarici elektrik sahəsinin intensivliyi artdıqca, elektronların tutulma ehtimalı da artır və sahənin müəyyən qiymətində kvadratik asılılıq deyil,  $N$  şəkilli asılılıq müşahidə olunur. Cərəyan şiddətinin gərginlikdən belə asılılığı, nümunədə domenlərin yaranma prosesində cərəyanın tədricən azaldığını göstərir.

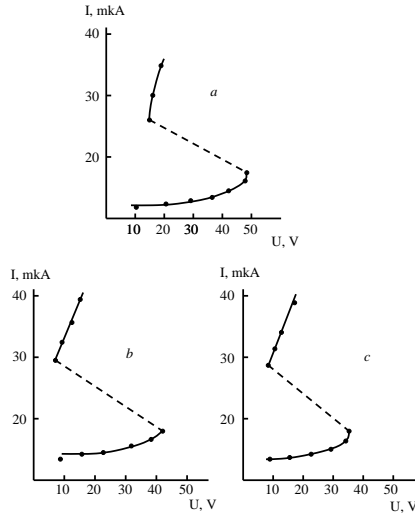


**Şəkil 7.  $\text{Ag}-\text{TlIn}_{0,97}\text{Dy}_{0,03}\text{Se}_2-\text{Ag}$  strukturunun (1-şüalanmamış, 2, 3 uyğun olaraq  $\gamma$ -kvantlarla şüalanmadan 24 və 240 saat sonra) volt-ampere xarakteristikaları.**

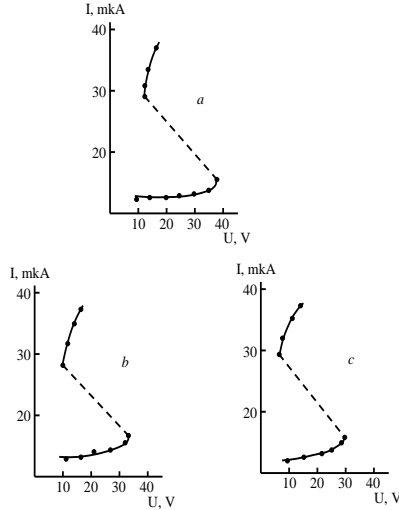
Aparılan tədqiqatlar nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, şüalandırılmış  $TlIn_{0,97}Dy_{0,03}Se_2$  monokristallarının VAX-nın kvadratik oblastında  $E < 10^2$  V/sm sahələrdə yükün daşınması, ilkin kristallarda olduğu kimi, monopolyar injeksiya ilə bağlıdır və şüalanma dozasının artması ilə tələlərin dolub-boşalma sürəti artır. Cərəyanın kəskin artma oblastında müşahidə olunan istilik-sahə ionlaşması isə  $\gamma$ -kvantların təsiri ilə əlaqədar olub, elektrik sahəsinin yüksək qiymətlərində ( $E > 10^3$  V/sm) müşahidə edilir. Bu isə şüalanma nəticəsində donor tipli mərkəzlərin konsentrasiyasının artması ilə əlaqədardır.

8- ci şəkildə  $TlIn_{1-x}Dy_xSe_2$ , 9-cu şəkildə isə  $TlIn_{1-x}Eu_xSe_2$  bərk məhlul kristalları üçün volt-ampere xarakteristikaları verilmişdir. Şəkildən görünür ki, bütün tədqiq olunan strukturlar çevirmə xassəsinə malikdir və tərkibdə disproziy və yevropium atomlarının nisbi miqdarı artdıqca astana gərginliyinin qiyməti kiçilir.

Müşahidə olunan çevirmə hadisələri elektrotermik, istilik mexanizmləri əsasında izah oluna bilər. Çevirmənin elektron mexanizmində ikiqat injeksiya, potensial çəpərdən elektronların tunel keçidləri, valent elektronların və aşqar atomlarının zərbə yolu ilə ionlaşmasını, Pul-Frenkel effektini nəzərə almaq lazımdır. Çevirmənin elektron-termik mexanizmində keçiriciliyi az olan haldan keçiriciliyi çox olan hala keçid tətbiq olunan elektrik sahəsindən və temperaturdan asılıdır. Çevirmə oblastında çevirmənin elektron mexanizmi əsas rol oynayır. Çevirici elementlərin əsas çatışmamazlığı astana gərginliyinin stabil olmamasıdır. Stabilliyi artırmaq üçün müxtəlif termik işlənmə üsullarından istifadə olunur.



**Şəkil 8. Disproziy element atomları vurulmuş  $TlIn_{1-x}Dy_xSe_2$  bərk məhlul kristalının volt amper xarakteristikaları:**  
**a)  $TlIn_{0,99}Dy_{0,01}Se_2$ , b)  $TlIn_{0,97}Dy_{0,03}Se_2$ , c)  $TlIn_{0,95}Dy_{0,05}Se_2$ .**



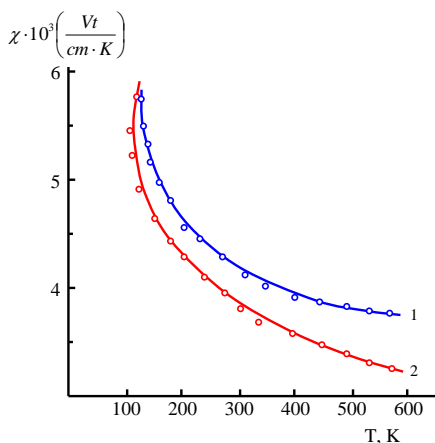
**Şəkil 9. Evropiy element atomları vurulmuş  $TlIn_{1-x}Eu_xSe_2$  bərk məhlul kristalının volt-amper xarakteristikaları.**  
**a)  $TlIn_{0,99}Eu_{0,01}Se_2$ , b)  $TlIn_{0,97}Eu_{0,03}Se_2$ , c)  $TlIn_{0,95}Eu_{0,05}Se_2$ .**



**Dissertasiya işinin dördüncü fəslində**  $A^{III}B^{III}C_2^{VI}$  tipli kristallarda istilik enerjisinin daşınma mexanizmi araşdırılmış, yarımqeçiricilərdə istilikkeçirmənin növləri, istilikkeçirmənin tədqiqat metodları,  $TlInSe_2$  kristalının istilikkeçirməsinin təyini metodikası,  $TlInSe_2$  bərk məhlul kristalının istilik keçirməsinə müxtəlif atom faizli lantanoid atomlarının (Dy, Eu) və radiasiya şüalanmasının təsiri araşdırılmışdır. Tədqiqat zamanı istilikkeçirmə əmsalı stasionar metodla 80-600 K temperatur intervalında ölçülmüş və bu tip kristallarda istilikkeçirmənin mexanizmi araşdırılmışdır. Müəyyən olunmuşdur ki, tədqiq olunan kristallarda istilikkeçirmə əsasən qəfəs fononları ilə baş verir. İşdə həmçinin müxtəlif atom faizli Dy və Eu lantanoid atomları daxil edilmiş  $TlInSe_2$  bərk məhlul kristallarında müxtəlif təbiətli defektlərin yaranma mexanizmi, fononların qəfəs düyünlərindən, müxtəlif təbiətli defekt mərkəzlərindən yaranan səpilmə mexanizmi araşdırılmışdır. Aparılan tədqiqatdan müəyyən olunmuşdur ki,  $TlInSe_2$  bərk məhlul kristalının əlavə olunan müəyyən faizli Dy və Eu nadir torpaq element atomları maddənin istilikkeçirməsinin həm ədədi qiymətinə və həm də istilikkeçirmə əmsalının temperatur asılılığının xarakterinə təsir edir. Müəyyən olunmuşdur ki, Dy element atomları Eu element atomlarına nisbətən istilikkeçirmə əmsalının həm ədədi qiymətinə, həm də temperatur asılılığının xarakterinə daha çox təsir edir. Aşkar olunmuşdur ki, tədqiq olunan hər iki bərk məhlul kristalında elektron istilikkeçirməsi nəzərə alınmayacaq dərəcədə kiçikdir və istilikkeçirmədə əsasən fononlar iştirak edir.

10-cu şəkildə  $TlInSe_2$  bərk məhlul kristalında (1 – laylara paralel; 2 – laylara perpendikulyar istiqamətdə) istilikkeçirmə əmsalının 80-600 K temperatur intervalında temperatur asılılığı verilmişdir. İstilikkeçirmə əmsalının belə temperatur asılılığı istilik enerjisinin daşınmasında tədqiq olunan kristalda temperaturdan asılı olaraq üçfononlu səpilmə prosesini təsdiq edir. Müəyyən olunmuşdur ki, tədqiq olunan  $TlInSe_2$  bərk məhlul kristalında elektron istilikkeçirməsi nəzərə alınmayacaq dərəcədə kiçikdir və istilikkeçirmədə əsasən fononlar iştirak edir. Aparılan riyazi hesablamalarda otaq temperaturunda laylara paralel istiqamətdə

$\chi_q \cdot T = 7,5 \text{ Vt/sm}$  qiymətləri alınmışdır. Alınan qiymətlər ədəbiyyatda göstərilən məlumatlara uyğundur<sup>8</sup>.



**Şəkil 10. TIInSe<sub>2</sub> bərk məhlul kristalında (1 – laylara paralel; 2 – laylara perpendikulyar istiqamətdə) istilikkeçirmə əmsalının temperatur asılılığı.**

Lantanoid element atomları daxil edilən halda da istilikkeçirmənin elektron komponenti nəzərə alınmayacaq dərəcədə kiçik olduğundan ( $\chi_{el} \approx 10^{-7} \text{ Vt/sm} \cdot \text{K}$  tərtibindədir) istilikkeçirmə əmsalının temperatur asılılığı və həmçinin onun ədədi qiyməti tədqiq olunan kristallarda istilik enerjisinin qəfəs fononları ilə daşınmasını bir daha təsdiq edir.

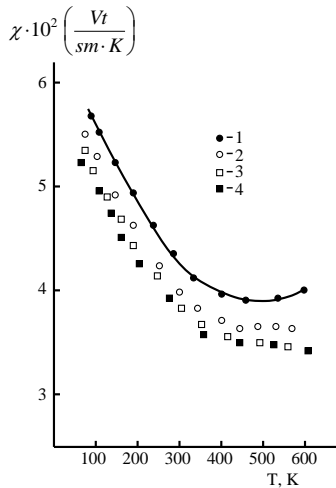
Şəkil 11-də TIIn<sub>1-x</sub>Dy<sub>x</sub>Se<sub>2</sub> bərk məhlul kristalının istilikkeçirmə əmsalının temperatur asılılığı. (x: 1-0; 2-0,01; 3-0,03; 4-0,05), şəkil 12-də TIIn<sub>1-x</sub>Eu<sub>x</sub>Se<sub>2</sub> bərk məhlul kristalının istilikkeçirmə əmsalının temperatur asılılığı (x: 1-0; 2-0,01; 3-0,03; 4-0,05) verilmişdir

Hər iki kristal üçün temperaturun artması ilə müəyyən

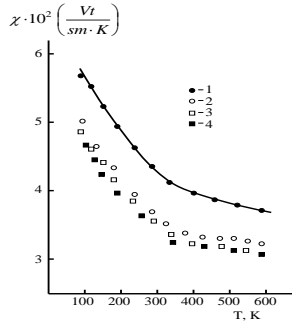
<sup>8</sup> Козловский С. Ю. О методах измерения электропроводности. ПТЭ. 1989. № 3, с. 110-113.

temperatur intervalında istilikkeçirmə əmsalının azalması müşahidə olunur. Bu azalma 80 – 300 K temperatur intervalında  $\chi \approx T^{-1}$  qanunu ilə baş verir, daha sonra azalma qismən zəifləyir. İstilikkeçirmə əmsalının müşahidə belə temperatur asılılığı kristalda üç fononlu səpilmə mexanizminə uyğundur.

Qeyd etmək lazımdır ki, müxtəlif faizli nadir torpaq elementləri (Dy, Eu) daxil edilmiş  $\text{TlInSe}_2$  bərk məhlul kristalının istilikkeçirmə əmsalının temperatur asılılığı  $\text{TlSe}$  struktur tipində kristallaşan kristallar üçün xarakterik asılılığa uyğundur. Tərkibdə In ionlarının Dy və Eu ionları ilə əvəz etdikdə kristalda ümumi istilikkeçirmə əmsalının qiyməti azalır.



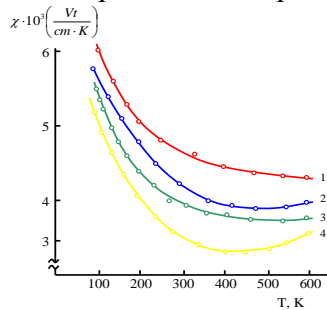
**Şəkil 11.  $\text{TlIn}_{1-x}\text{Dy}_x\text{Se}_2$  bərk məhlul kristalının istilikkeçirmə əmsalının temperatur asılılığı. (x: 1-0; 2-0,01; 3-0,03; 4-0,05).**



**Şəkil 12. TIIn<sub>1-x</sub>Eu<sub>x</sub>Se<sub>2</sub> bərk məhlul kristalının istilikkeçirmə əmsalının temperatur asılılığı. (x: 1-0; 2-0,01; 3-0,03; 4-0,05).**

Müəyyən olunmuşdur ki, TIInSe<sub>2</sub> kristalı  $\gamma$ -kvantlarla şüalandırıldıqda məxsusi defektlərin miqراسiyasının aktivləşməsi nəticəsində radiasiya-stimullaşdırıcı proseslər baş verir. Bu proseslərin idarə olunması kristalların elektrik parametrlərini məqsədyönlü şəkildə dəyişməyə imkan verir. TIInSe<sub>2</sub> bərk məhlul kristalına əlavə olunan nadir torpaq element atomları və  $\gamma$ -kvantlarla şüalanma maddənin istilik keçirməsinin həm ədədi qiymətinə və həm də onun temperatur asılılığına kəskin təsir edir. İstilikkeçirmədə aşağı temperaturlarda akustik, nisbətən yuxarı temperaturlarda optik fononlar iştirak edir.

13-cü şəkildə TIInSe<sub>2</sub> bərk məhlul kristalı üçün istilikkeçirmə əmsalının temperatur asılılıqları verilmişdir.



**Şəkil 13. TIInSe<sub>2</sub> bərk məhlul kristalı üçün istilikkeçirmə əmsalının temperatur asılılıqları. 1 – şüalanmamış, 2 – 50 kQrey  $\gamma$ -kvantlarla şüalanmış, 3 – şüalanmadan 240 saat sonra, 4 – 100 kQrey  $\gamma$ -kvantlarla şüalandırılmış nümunələr üçün.**

Nöqtəvi defektlər fononların əlavə səpilməsini yaratdığından uyğun olaraq kristalın istilik keçirməsi temperatur artdıqca azalır. Müşahidə olunan təcrübi faktlar nəzəri mülahizələrlə yaxşı uyğunlaşır.

Aparılan araşdırmalar göstərir ki,  $A^{III}B^V$ ,  $A^{III}B^{III}C_2^{VI}$  tipli birləşmələr  $\gamma$ -kvantlarla şüalanmaya həssasdır və onların bəzi fiziki xassələrini bu üsulla idarə etmək olar.

## İŞİN ƏSAS NƏTİCƏLƏRİ

1. Aparılan diferensial, termik, mikrostruktur, rentgenostruktur və digər xassələrin tədqiqinə əsasən 100-600 K temperatur intervalında  $TlInSe_2$ - $TlDySe_2$ ,  $TlInSe_2$ - $TlEuSe_2$  sistemlərinin hal diaqramları qurulmuş, aşkar olunmuşdur ki, bu sistemlərdə ilkin birləşmələrin 1:1 nisbətində yeni dördqat  $TlIn_{1-x}M_xSe_2$  ( $M=Dy, Eu$ ) ( $x=0,01; 0,03; 0,05$ ) birləşmələri əmələ gəlir. Həm dördqat birləşmə həm də  $TlInSe_2$  bərk məhlullarının kristalları tetraqonal sinqoniyada kristallaşır və tərkibdə nadir torpaq elementi atomlarının nisbi miqdarı artdıqca məhlulların elementar qəfəs parametrləri artır.

2. Laylı və zəncirvari quruluşa malik kristalların  $TlIn_{1-x}M_xSe_2$  ( $M=Dy, Eu$ ) ( $x=0,01; 0,03; 0,05$ ) termoelektrik xassələri atomların yerləşməsində lokal dəyişmələr yaradan defektlərin konsentrasiyasından kəskin asılıdır.  $TlIn_{1-x}M_xSe_2$  ( $M=Dy, Eu$ ) ( $x=0,01; 0,03; 0,05$ ) kristallarından termoelementlərin hazırlanmasında  $Eu$ -nin  $Dy$  –yə nisbətən daha effektiv olduğu göstərilmişdir. Lakin maqnit xüsusiyyəti termoelementlərin hazırlanması üçün istifadə olunarsa  $Dy$  –un təsiri  $Eu$  – dan daha çox olur.

3. Göstərilmişdir ki, tədqiq olunan bərk məhlul kristallarında 80-600 K temperatur intervalında istilik enerjisinin daşınmasında, üçfononlu səpilmə prosesləri ( $U$ -proseslər) iştirak edir.  $TlIn_{1-x}M_xSe_2$  ( $M=Dy, Eu$ ) ( $x=0,01; 0,03; 0,05$ ) məhlullarının kristallarının enerji zolağında dayaz və dərin lokal səviyyələr mövcuddur ki, onların da dolub – boşalma sürəti elektrik sahəsindən asılıdır.

4.  $TlIn_{1-x}M_xSe_2$  ( $M=Dy, Eu$ ) ( $x=0,01; 0,03; 0,05$ ) üçün elektrikkeçiriciliyinin və Holl əmsalının yüksək temperaturlu hissələrinin meyllərinə görə müxtəlif tərkiblər üçün aktivləşmə enerjiləri müəyyən olunmuş və  $\Delta\varepsilon \approx 1,20; 1,12; 1,10 eV$  və  $\Delta\varepsilon \approx 1,17; 1,15; 1,10 eV$  qiymətləri alınmışdır.

5.  $TlInSe_2$  kristalı  $\gamma$ -kvantlarla şüalandırıldıqda məxsusi defektlərin miqrasiyasının aktivləşməsi nəticəsində radiasiya-stimullaşdırıcı proseslər baş verir. Bu proseslərin idarə olunması kristalların elektrik parametrlərini məqsədyönlü şəkildə dəyişməyə imkan verir.  $TlInSe_2$  bərk məhlul kristalına əlavə olunan nadir torpaq elementi atomları və  $\gamma$ -kvantlarla şüalanma maddənin istilik keçirməsinin ədədi qiymətinə və onun temperatur asılılığına kəskin təsir edir. İstilikkeçirmədə aşağı temperaturlarda akustik, 300 K-dən yuxarı temperaturlarda optik fononlar iştirak edir.

6. Göstərilmiş ki, zəncirvari laylı quruluşa malik  $TlIn_{1-x}M_xSe_2$  ( $M=Dy, Eu$ ) ( $x=0,01; 0,03; 0,05$ ) kristal maddələri əsasında vakuumda termik buxarlanma üsulu ilə alınan nazik təbəqəli planar strukturların VAX-xarakteristikaları mənfi diferensial müqavimətli (S-şəkilli) asılılıqla xarakterizə olunan yaddaşlı elektrik keçiriciliyinə malikdir.

7. Geniş temperatur intervalında  $TlIn_{1-x}M_xSe_2$  ( $M=Dy, Eu$ ) ( $x=0,01; 0,03; 0,05$ ) birləşmələri yaddaş çeviricilər hazırlamaq üçün perspektivli materiallardır, həmçinin onlardan 300 – 600 K temperatur intervalında işləyə bilən termoelektrik çeviriciləri hazırlamaq mümkündür.

## Dissertasiya işi üzrə dərc olunmuş elmi əsərlərin siyahısı.

1. Cəfərov, M.B., Verdiyeva, N.Ə. Lantanoid əsaslı bərk məhlul kristalları və onların alınması // Bakı Dövlət Universiteti, Fizika Problemləri İnstitutu. -Bakı, -25-26 dekabr, -2015, -səh.227-230.
2. Сардарова Н.С. Электрические свойства кристаллов твердых растворов  $TlInSe_2$ - $TlInEuSe_2$  различного состава // Н.С Сардарова, Б.Ш. Бархалов, Ю.Г. Нуруллаев, Н.А.Вердиева, М.Б.Джафаров / Наука, Техника и образование. Научно-методический журнал. –Москва, -2016, №11(29), -ст.6-9.
3. Sərdarova N.S.  $TlIn_{0,97}Dy_{0,03}Se_2$  monokristalında injeksiya cərgəyanı // N.S. Sərdarova, N.Ə. Verdiyeva, N.F. Qəhrəmanov, Y.Q. Nurullayev, E.S.Qarayev/ Azərbaycan Texniki Universiteti, Elmi əsərlər, Texnika elmləri.-Bakı, 2017, № 2, -səh. 102-107.
4. Sərdərova N.S.  $TlIn_{1-x}Dy_xSe_2$  bərk məhlul kristalının elektron xassələrinə Dy atomlarının təsiri ( $x$ ; 0,02, 0,03, 0,05) // N.S.Sərdərova, N.Ə. Verdiyeva, M.B.Cəfərov, Y.Q.Nurullayev/ Bakı Universitetinin Xəbərləri, Fizika-riyaziyyat elmləri seriyası. –Bakı, № 3, -2017, -səh.136-142.
5. Джафаров, М.Б., Вердиева,Н.А. Влияние редкоземельного элемента европия на электрические и термоэлектрические свойства твердых растворов  $TlInS_2$ - $TlInEuS_2$  // Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. Санкт –Петербургский Государственный Аграрный Университет, Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения. Сборник научных трудов. -Санкт –Петербург, часть 1,-2017, -ст.535-537.
6. Verdiyeva, N.Ə., Cəfərov, M.B.  $TlIn_{1-x}Dy_xSe_2$  bərk məhlul kristallarının volt-ampere xarakteristikaları ( $x=0,01$ ; 0,03; 0,05) / Bakı Mühəndislik Universiteti, I International Scientific Conference of Young Researchers, -Bakı, 05-06 may, -2017, -səh.123-125.

7. Verdiyeva, N.Ə., Cəfərov, M.B.  $TlIn_{1-x}Dy_xSe_2$  bərk məhlul kristallarında yükdaşıyıcıların səpilmə mexanizmi // Bakı Mühəndislik Universiteti, I International Scientific Conference of Young Researchers, -Bakı, -05-06 may, -2017, səh. 125-127.
8. Verdiyeva, N.Ə., Quliyev, N.İ.  $TlIn_{1-x}Dy_xSe_2$  kristalının termoelektrik xassələrinə Dy atomlarının təsiri // Gəncə Dövlət Universiteti, Beynəlxalq Elmi Konfrans, Müasir təbiət və iqtisad elmlərinin aktual problemləri. - Gəncə, V hissə, -04-05 may, -2018, -səh 265-268.
9. Verdiyeva, N.Ə., Cəfərov, M.B.  $TlIn_{1-x}Dy_xSe_2$  bərk məhlullarının monokristallarının yetişdirilməsi üsulu // Gəncə Dövlət Universiteti, Beynəlxalq Elmi Konfrans, Müasir təbiət və iqtisad elmlərinin aktual problemləri.-Gəncə, V hissə, -04 - 05 may, -2018, -səh.38-41.
10. Verdiyeva, N.Ə., Nurullayev, Y.Q., Qəhrəmanov, N., Qarayev, E. Radioaktiv şüaların  $TlInSe_2$  əsaslı yarımkəçirici detektorların keyfiyyət göstəricilərinə təsiri // ADİU. Azərbaycanda qida və tekstil sənayesinin inkişaf perspektivləri və qarşıda duran vəzifələr. II Respublika Elmi-Praktik Konfransı. –Bakı, -25 aprel 2018, -səh. 136-142.
11. Сардарова, Н.С, Вердиева, Н.А., Бархалов, Б.Ш., Нуруллаев, Ю.Г., Караев, Э.С. Влияние  $\gamma$ -квантов на электрофизические свойства кристаллов  $TlInS_2$ // Sumqayıt Dövlət Universiteti, Tətbiqi Fizika və energetikanın aktual məsələləri, Beynəlxalq elmi konfransın materialları. – Sumqayıt, -24-25 may, -2018, -st.228-231.
12. Нуруллаев Ю.Г. Влияние редкоземельного элемента диспрозия на теплопроводность кристаллов твердых растворов  $TlInSe_2$  // Н.А.Вердиева, Ю.Г. Нуруллаев, Б.Ш. Бархалов, Н.Ф.Гахраманов, Н.С. Сардарова, Т.М. Гасымзаде/ Наука, техника и образование, Научно-методический журнал. -Москва, №10(63), -2019, -ст.11-15,
13. Cəfərov, M.B., Verdiyeva, N.Ə.  $A^{III}B^{III}C_2^{VI}$  tipli kristallarda defektlərin yaranma mexanizmi // Gəncə Dövlət Universiteti, Gəncə Beynəlxalq Elmi Konfrans, Müasir təbiət və iqtisad



- elmlərinin aktual problemləri. -Gəncə, IV hissə, -03-04 may, -2019, -səh. 7-10.
14. Verdiyeva, N.Ə., Cəfərov M.B İsmayılov Q.M. İstilikkeçirmə əmsalının tədqiqat metodları. Bərk məhlul kristalının istilikkeçirməsinin təyini üsulu // Azərbaycan Texnologiya Universiteti, Qida və Yüngül sənayenin aktual problemləri, Beynəlxalq elmi praktik konfrans. -Gəncə, -2019. Səh.211-212
  15. Гахраманов Н.Ф. Влияние облучения на теплопроводность монокристаллов твердого раствора  $TlIn_{0,97}Dy_{0,03}Se_2$  // Н.А. Вердиева, Н.Ф. Гахраманов, Б.Ш. Бархалов, Ю.Г. Нуруллаев, Н.С. Сардарова/ Наука, техника и образование, Научно-методический журнал. –Москва, №9(73), -2020, səh 6-11.
  16. Вердиева, Н.А. Влияние  $\gamma$ -квантов на вольт-амперные характеристики монокристаллов  $TlIn_{0,95}Dy_{0,05}Se_2$  // Вестник Науки и Образования. -Москва, №10 (113)Ч.3, -Июнь,-2021, -ст.6-10.
  17. Вердиева, Н.А. Эффекты, возникающие при воздействии  $\gamma$ -квантов в кристаллах типа  $A^{III}B^{III}C_2^{VI}$  // Вестник Науки и Образования. -Москва, №12(115), -Июль, -2021, -Ст 10 -14.
  18. Джафаров, М.Б., Вердиева, Н.А. Тагиева, М.Д. Теплопроводность кристалла твердого раствора  $TlIn_{0,97}Dy_{0,03}Se_2$  // III Международный научно-практической конференции European Research Forum, Российская Федерация МЦНП, Новая наука, -Петрозаводск, -19 aprel, -2021, ст.73-79.
  19. Verdiyeva N.Ə.  $A^{III}B^{III}C_2^{VI}$  tipli kristallarda defektlərin yaranması və bu defektlərin  $TlInSe_2$  kristalının istilikkeçirməsinə təsiri. /N.Ə.Verdiyeva// Fizika İnstitutu, Azerbaijan Journal of Physics, -Bakı, -2022, volume XXVIII, -n.3, -səh.17-20.
  20. Verdiyeva N.Ə.  $TlIn_{1-x}Dy_xSe_2$  və  $TlIn_{1-x}Eu_xSe_2$  bərk məhlul kristallarının elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığı (x: 0,01, 0,03, 0,05). /N.Ə.Verdiyeva// Fizika İnstitutu,

Azerbaijan Journal of Physics, -Bakı, -2022, volume XXVIII, -n.3, -səh.37-41.

21. Cafarov M.B. Influence of  $\gamma$ - quanta on TlInSe<sub>2</sub> crystal electrical properties. /Cafarov M.B, Verdiyeva N.A.// Chalcogenide letters, -v 19, -number 12. –Ruminiya, -P- 885-889, -2022.
22. Verdiyeva N.A. Effect of gamma irradiation and Dy atoms on the thermal conductivity of TlInSe<sub>2</sub> crystals. /Verdiyeva N.A, Cafarov M.B., Rzayev R.M., Nagiyeva T.G.// International Journal of Modern Physics B.-2023



Dissertasiyanın müdafiəsi 20 oktyabr 2023-cü il tarixdə, saat 10<sup>00</sup>-da Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Fizika İnstitutu nəzdində fəaliyyət göstərən ED 1.14 Dissertasiya Şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: Az – 1143, Bakı şəhəri, H.Cavid pr. 131

Dissertasiya ilə Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Fizika İnstitutunun kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Fizika İnstitutunun rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 18 sentyabr 2023 -cü il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 15.09.2023

Kağızın formatı: A5

Həcm: 39534

Tiraj: 100