

# AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

*Əlyazması hüququnda*

## **ABX<sub>2</sub> (HARADA KI, A=Cu, Tl; B=Fe, Cr, Co, Ni, Ga, In; X=S, Se, Te) TIPLİ AŞAĞI ÖLÇÜLÜ YARIMKEÇİRİCİLƏRDƏ FAZA KEÇİDLƏRİ VƏ YÜK DAŞINMASININ SIÇRAYIŞ MEXANİZMLƏRİ**

İxtisas: 2222.01 – Yarımkəçiricilər fizikası

Elm sahəsi: Fizika

İddiaçı: **Aydın İsmayıl oğlu Cabbarov**

Elmlər doktoru elmi dərəcəsi  
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

### **A V T O R E F E R A T I**

**Bakı – 2022**

Dissertasiya işi Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Fizika İnstitutunun “ Bərk cisimlərdə rezonans hadisələri ” laboratoriyasında yerinə yetirilmişdir.

Rəsmi opponentlər:

Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor  
**Kərim Rəhim oğlu Allahverdiyev**

Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, dosent  
**Nadir Allahverdi oğlu Abdullaev**

Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor  
**Rauf Mədət oğlu Sərdarlı**

Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor  
**Həmzə Səməd oğlu Seyidli**

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Fizika İnstitutu nəzdində fəaliyyət göstərən ED 1. 14 Dissertasiya şurası

Dissertasiya şurasının sədri:

AMEA-nin həqiqi üzvü,  
Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, profess  
**Nazim Timur oğlu Məmmədov**

Dissertasiya şurasının katibi:

Fizika elmləri doktoru, dosent  
**Rəfiqə Zəbul qızı Mehdiyeva**

Elmi seminarın sədri:

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

## İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

**Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi.** Faza keçidləri həm fundamental elmi tədqiqat, həm də texnoloji tətbiqlərdə ən geniş yayılmış və maraqlı hadisələrdən biridir. Faza keçidləri fizikasının əsas müddəalarını təsvir edən nəzəriyyə L.D. Landau tərəfindən verilmişdir. Bu nəzəriyyənin əsası nizamlılıq parametri- keçid temperaturundan yuxarıda qeyri-nizamlı fazada sıfıra bərabər, nizamlı fazaya keçid zamanı sıfırdan fərqli qiymət alan kəmiyyət daxil edilmiş anlayışdan ibarətdir. Nizamlılıq parametri faza keçidlərində baş verən simmetriyanın pozulmasını xarakterizə edir. Standart təsnifata əsasən, faza keçidləri iki növdən ibarətdir: birinci növdə nizamlılıq parametri sıçrayışla dəyişir, ikinci növdə isə nizamlılıq parametrinin dəyişməsi kəsilməz baş verir.

Son illərdə maddələrin elektron spinlərinin yeni maqnit hallarının öyrənilməsinə maraq artmışdır. Nano elektronika bir elektronun öz ətrafında fırlanması nəticəsində yaranan lokal (yerli) maqnit sahəsindən istifadə edir. Xarici maqnit sahəsinin və ya spin-qütblü elektrik cərəyanının təsiri elektron spininin istiqamətini dəyişə bilər (spintronika). Maddələrin belə vəziyyəti öz xüsusiyyətlərinə görə klassik ferromaqnitlərdən, ferrimaqnitlərdən və antiferromaqnitlərdən fərqlənir.

Misin halkopirit birləşmələri spintronikanın tədqiqat və araşdırmaları üçün ən perspektivli materiallardan biridir. Halkopiritlərdə maqnit strukturlarının maqnetik müxtəlifliyinin genişliyi əsasən  $\text{Cu}^{2+}$  ionunun struktur xüsusiyyətlərinə əsaslanır. Digər maqnitə aktiv ionlar, bir qayda olaraq, müəyyən tip kristalloqrafik pozisiyalara üstünlük verirlər. Məsələn,  $\text{Fe}^{3+}$  və  $\text{Mn}^{2+}$  ionları əsasən oktaedral, bəzən tetraedral pozisiyaları tutur.  $\text{Cu}^{2+}$  ionu oktaedral və tetraedral halkogen ətrafından başqa, həmçinin kvadrat və piramidal ətrafa malik ola bilər.  $\text{Cu}^{2+}$  ionunun belə "xüsusiyyətləri" elektron strukturunun xüsusiyyətləri ilə izah edilir ki, bu da müxtəlif tip halkogenlərə uyğunlaşmağa imkan verir.

$\text{TlBX}_2$  (B=Fe, Cr, Co, Ni, Ga, In; X=S, Se, Te) tipli üçqat yarımqeçirici birləşmələr laylı-zəncirli bir quruluşa malikdir. Onlar anizotrop fiziki xüsusiyyətləri ilə xarakterizə olunur ki, bu da onların

yük daşıyıcılarının laylar (zəncirlər) içərisində sərbəst hərəkətini təmin edir. Bu da daşıyıcıların laylar (zəncirlər) arasında hərəkətini van der Vaals qarşılıqlı təsirləri və qonşu layların (zəncirlərin) dalğa funksiyalarının bir-birini az örtməsi nəticəsində məhdudlaşır.

**Tədqiqatın obyektı və predmeti**  $ABX_2$ :  $CuFeTe_2$  (a, b, c),  $TlFeS_2$ ,  $TlFeSe_2$ ,  $TlCrS_2$ ,  $TlCrSe_2$ ,  $TlCoS_2$ ,  $TlCoSe_2$ ,  $TlNiS_2$ ,  $TlNiSe_2$  və bərk məhlullar  $(TlFeS_2)_{1-x}(TlGaS_2)_x$ ,  $(TlFeSe_2)_{0.5}(TlGaSe_2)_{0.5}$ ,  $(TlGaS_2)_{0.95}(TlCoS_2)_{0.05}$ ,  $(TlInSe_2)_{1-x}(TlGaTe_2)_x$  tipli birləşmələrdə faza keçidlərinin temperatur oblastları və onların yük daşıyıcılarının köçürülmə hadisələri aşkar edilmişdir.

Nəticə olaraq, müxtəlif xarici şəraitlərdə faza keçidlərinin (FK), elektrik keçiriciliyi mexanizmlərinin və aşağı ölçülü yarımkeçiricilərin maqnit xassələrinin tədqiqi aktual məsələdir. Tədqiqatlar 50kOe-ə qədər olan maqnit sahələrində və  $2 \div 400K$  temperatur diapazonunda aparılmışdır.

#### **Tədqiqatın məqsədi və vəzifələri:**

$ABX_2$  (A=Cu, Tl; B=Fe, Cr, Co, Ni, Ga, In; X=S, Se, Te) tipli aşağı ölçülü yarımkeçirici halkogenidlərdə və onların bərk məhlullarında faza keçidlərinin (maqnit, seqnetoelektrik və metal-dielektrik tipli) qanuna yğunluqlarını təyin etməkdən və yük köçürülməsi mexanizmlərini müəyyənləşdirməklə onların spintronika və yarımkeçirici elektronikada aktiv material kimi perspektivli tətbiqindən ibarətdir.

Bu məqsədlə işdə aşağıdakı vəzifələr qarşıya qoyulmuş və həll edilmişdir:

- Qaz daşınma üsulu ilə yetişdirilmiş  $Cu_{1.15}Fe_{1.23}Te_2$  monokristalda quruluş simmetriyası və strukturunun təyini.
- $CuFeTe_2$ ,  $TlFeS_2$  ( $Se_2$ ) və  $TlFe_{0.975}Ga_{0.025}S_2$  monokristallarının faza keçidi temperaturlarından aşağıda keçiriciliyin temperatur asılılıqlarının tədqiqi.
- Halkopirit tipli  $CuFeTe_2$  monokristala maqnit sahəsinin təsiri ilə monokristalın spin-şüşə halının keçid temperaturunun təhlili.

- $\text{CuFeTe}_2$  monokristallarında maqnit "klasterlər" arasındakı qarşılıqlı antiferromaqnit mübadiləsinin dəmir ( $\text{Fe}^{+3}$ ) kationu və tellur ( $\text{Te}^{-2}$ ) anionun düzülüşündən asılılığının təhlili.
- $\text{TlMeX}_2$  ( $\text{Me}=\text{Fe}, \text{Cr}, \text{Ni}$  və  $\text{X}=\text{S}, \text{Se}$ ) birləşmələrin və onların bərk məhsullarında maqnit nizamlılığı zamanı sıçrayışlı keçiriciliyi.
- $(\text{TlFeS}_2)_{1-x}(\text{TlGaS}_2)_x$  bərk məhlullarında onların nisbətlərinin dəyişməsinin ( $x=0.025, 0.05, 0.075$  və  $0.01$ ) Neel temperaturuna təsiri.
- $\text{TlCoS}_2$  və  $\text{TlCoSe}_2$  ferrimaqnitlərin aktivləşmə enerjilərinin maqnit faza keçidinə qədər və keçiddən sonra öyrənilməsi.
- Keçid temperaturunda heksaqonal  $\text{TlNiS}_2$  birləşməsində metal-dielektrik faza keçidinin təyini. Bu faza keçidin  $240\text{-}245\text{K}$  temperaturda keçiricinin tədqiqi.
- $(\text{TlInSe}_2)_{1-x}(\text{TlGaTe}_2)_x$  ( $x=0.4$  və  $0.6$ ) bərk məhlulların  $3.2\div 35$  kHz intervalında dəyişən cərəyan keçiriciliyi ilə cərəyan tezliyi arasında mütənasibliyin araşdırılması.

### **Tədqiqat metodları:**

Aparılan tədqiqatlara nümunələrin alınması texnologiyasına əməl olunmaqla, - XRDD2 PHASER rentgen qurğusundan və EDX (Energy Dispersive X – ray Analysis), Analyst – 800 Perkin Elmer tipli analizatorlardan istifadə etməklə keyfiyyətə və nümunələrin tərkibinə nəzarət edilmişdir.

Yarımkeçirici materialların öyrənilməsi üçün tətbiq olunan maqnit (SQUID maqnitometri, SQUID – Superconducting Quantum Interference Device) və kinetik xassələrin standart tədqiqat metodlarından, həm də, ПИУС-1уМ-К – yarımkeçirici materiallarının tipini təyin edən cihazdan istifadə edilməklə öyrənilmişdir. Müvafiq materiallar üzərində sınaqdan keçirilmiş eksperimental metodlardan istifadə edilmiş və digər üsullarla öyrənilmiş nəticələrə istinad edilmişdir. Geniş temperatur diapazonlarında ( $2\div 400\text{K}$ ) tədqiq olunan  $\text{A B X}_2$  tipli ( $\text{A}=\text{Cu}, \text{Tl}; \text{B}=\text{Fe}, \text{Cr}, \text{Co}, \text{Ni}, \text{Ga}, \text{In}; \text{X}=\text{S}, \text{Se}, \text{Te}$ ) aşağı ölçülü yarımkeçiricilərin və onların bərk məhlullarının maqnit, elektrik, termoelektrik və istilik xassələri tədqiq edilmişdir.

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

1. Göstərilmişdir ki, qaz daşınma üsulu ilə yetişdirilmiş  $\text{Cu}_{1.15}\text{Fe}_{1.23}\text{Te}_2$  monokristalda quruluş simmetriyası  $D_{2h}^2=P4/nmm$  olan tetraqonal struktura malikdir və qəfəs sabitləri  $a=0.402\text{nm}$ ,  $c=0.604\text{nm}$  -dir.

2. Müəyyən olunmuşdur ki, halkogen birləşmələrində  $\text{CuFeTe}_2$ ,  $\text{TlFeS}_2$ ,  $\text{TlFeSe}_2$  və onların bərk məhlullarında  $\text{TlFe}_{0.975}\text{Ga}_{0.025}\text{S}_2$  monokristallarının faza keçidi temperaturundan aşağıda keçiriciliyin temperatur asılılığında sınıma müşahidə olunur.

3. Müəyyən olunmuşdur ki, halkopirit tipli  $\text{CuFeTe}_2$  (a, b, c) monokristallarında Neel temperaturunda və spin-şüşə halında istilik tutumunun və maqnit qavrayıcılığının  $\chi(T)$  temperatur asılılıqlarında anomaliya müşahidə olunur.

4. Müəyyən edilmişdir ki,  $\text{CuFeTe}_2$  monokristallarında maqnit sahəsinin artması ilə spin-şüşə halının keçid temperaturu azalır.

5. Göstərilmişdir ki,  $\text{CuFeTe}_2$  monokristallarında maqnit "klasterlər" arasındakı qarşılıqlı antiferromaqnit mübadiləyə malikdir. Bu halda dəmir ( $\text{Fe}^{+3}$ ) kationu iki tellur ( $\text{Te}^{-2}$ ) anionu arasında yerləşir və spinlərin maqnit momenti (001) müstəvisinə paralel biri-birinə əks düzülür.  $\text{CuFeTe}_2$  monokristallarda kristal strukturu üçün  $Z=1$  olduğu halda, maqnit kristal strukturu səkkiz formul vahidindən ibarətdir, yəni  $Z=8$  olur.

6. Göstərilmişdir ki,  $\text{TlMeX}_2$  ( $\text{Me}=\text{Fe}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Ni}$  və  $\text{X}=\text{S}$ ,  $\text{Se}$ ) birləşmələrin və onların bərk məhsullarında maqnit nizamlılığı temperaturları intervallarında onların elektrik keçiriciliklərinin yük daşımaları sıçrayışla baş verir.

7. Göstərilmişdir ki,  $(\text{TlFeS}_2)_{1-x}(\text{TlGaS}_2)_x$  bərk məhlullarında onların nisbətlərinin dəyişməsi ( $x=0.025$ ,  $0.05$ ,  $0.075$  və  $0.01$ ) Neel temperaturlarının azalmasına və aktivləşmə enerjilərini artırmasına səbəb olur.

8. Göstərilmişdir ki,  $(\text{TlFeSe}_2)_{0.5}(\text{TlGaSe}_2)_{0.5}$  bərk məhlulun monokristalının təbii layları boyunca xüsusi elektrik keçiriciliyinin

sıçrayış uzunluğu  $R_{or.}=23.3\text{nm}$  olmuşdur. Eyni zamanda xüsusi müqavimətin temperatur asılılığında  $\text{TlGaSe}_2$  monokristalının mütənasib və qeyri-mütənasib fazaları ilə əlaqəli temperatur histerezisi müşahidə olunur.

9. Müəyyən edilmişdir ki,  $\text{TlCoS}_2$  və  $\text{TlCoSe}_2$  ferrimaqnitlərin aktivləşmə enerjisi maqnit faza keçidinə qədər  $\Delta E_a=0.009\text{eV}$ ,  $\Delta E_a=0.005\text{eV}$  və keçiddən sonra uyğun olaraq  $\Delta E_a=0.116\text{eV}$ ,  $\Delta E_a=0.014\text{eV}$  olmuşdur.

10. Göstərilmişdir ki, keçid temperaturda ( $240\text{K}$ ) heksaqonal  $\text{TlNiS}_2$  birləşməsində metal-dielektrik faza keçidi baş verir. Bu faza keçidindən yuxarı temperaturda keçiricilik p-tip yarımkəçiricilikdən metal keçiriciliyə dəyişir.

11. Müəyyən edilmişdir ki,  $(\text{TlInSe}_2)_{1-x}(\text{TlGaTe}_2)_x$  ( $x=0.4$  və  $0.6$ ) bərk məhlullarda dielektrik itkisi keçiriciliyin artması ilə izah olunur.  $3.2\div 35$  kHz intervalında onların dəyişən cərəyan keçiriciliyi tezliyin  $0.8$  tərtibi ilə mütənasibdir ( $\sigma_{ac}\sim f^{0.8}$ ).

### **Tədqiqatın elmi yeniliyi:**

1. Müəyyən edilmişdir ki, qaz nəqli üsulu ilə yetişdirilən  $\text{Cu}_{1.15}\text{Fe}_{1.23}\text{Te}_2$  monokristallarında tetraqonal quruluşda  $D_{2h}^2 - P4/nmm$  simmetriyaya malik faza əmələ gəlir. Rentgen tədqiqatı müəyyən etdi ki,  $\text{Cu}_{1.15}\text{Fe}_{1.23}\text{Te}_2$  üçün kristal qəfəsinin əsas parametrləri,  $a=0.402\text{nm}$ ,  $c=0.604\text{nm}$  və qəfəs parametrlərinin nisbəti  $c/a=1.5$ , həcmi  $v=0.09745\text{nm}^3$ , sıxlıqlar  $\rho_{hesab}=6.764\text{g/sm}^3$  və  $\rho_{rentgen}=6.76\text{q/sm}^3$ -dir.

2. Göstərilmişdir ki,  $\text{CuFeTe}_2$  tipli ( $a$ ,  $b$  və  $c$ ) monokristallarda yarımkəçirici-metal faza keçid temperaturundan ( $T_{YM}=125\text{K}$ ) aşağıda keçiriciliyin temperatur asılılıqlarında əyilmə müşahidə olunur, bu aktivləşmə enerjisinin dəyişməsi ilə izah olunur. Həmin temperatur diapazonunda yük daşınma prosesi dəyişən sıçrayış uzunluğu ilə baş verir. Birləşmədə dəmirin miqdarının artması ilə yarımkəçirici-metal faza keçidinin dağılma enerjisi artır.

3. Maqnit qavrayıcılığın temperaturdan asılılıqlarında  $\chi_{H=0}^{ZFC}(T)$  və  $\chi_{H=1\text{kOe}}^{FC}(T)$  genişlənməsi müşahidə olunur ki, bu da  $\text{CuFeTe}_2$  ( $a$ ,  $b$  və  $c$ ) klasterləşməsi ilə bağlıdır. Müəyyən edilmişdir

ki,  $\text{CuFeTe}_2$  (a, b və c) monokristallarında maqnit sahəsi artması ilə spin-şüşə vəziyyətinə keçid temperaturunda azalma müşahidə olunur.

4. Müəyyən edilmişdir ki,  $\text{CuFeTe}_2$  tipli birləşmələrdə (a, b və c) maqnit “klasterləri” ( $\text{Cu}^+-\text{Te}^{2-}-\text{Fe}^{3+}=\text{Te}^{2-}$ ) arasındakı qarşılıqlı maqnit mübadiləsi antiferromaqnitdir. Bu zaman  $\text{Fe}^{3+}$  kationları iki  $\text{Te}^{2-}$  anion arasında yerləşir və spinlərin maqnit momentləri (001) müstəvisinə paralel yerləşir və bir-birinə əks istiqamətləndirilir. Paramaqnit klasterlərin effektiv maqnit momentləri zəif (100÷1000 Oe) və güclü (10÷50 kOe) maqnit sahələri üçün hesablanır, paramaqnit Kuri temperaturu ( $\Theta_p$ ) mənfi olur. Müəyyən edilmişdir ki,  $\text{CuFeTe}_2$ -nin maqnit kristal quruluşu səkkiz düstur vahidindən ibarətdir -  $8(\text{CuFeTe}_2)$   $Z=8$ , kristal quruluşu isə  $Z=1$ -dir.  $\text{CuFeTe}_2$  tipli birləşmənin anizotropiya parametri  $\eta=0,309$ , üçölçülü Debay temperaturu  $\Theta_D=176,9\text{K}$  və ikiölçülü Debay temperaturu  $\Theta_2=122,2\text{K}$  tapılmışdır.

5. Göstərilmişdir ki,  $\text{TlFeS}_2$ ,  $\text{TlFeSe}_2$ ,  $\text{TlCrS}_2$  nümunələrində,  $(\text{TlFeS}_2)_{0,975}(\text{TlGaS}_2)_{0,025}$  və  $(\text{TlGaSe}_2)_{0,5}(\text{TlFeSe}_2)_{0,5}$  bərk məhlullarda maqnitlə düzəlmüş temperatur diapazonunda  $M_0\sigma_{\text{ttt}}$  koordinatları ilə müəyyən edilmişdir  $\lg\sigma=f(T^{-1/4})$  və dəyişən uzunluğu sıçrayış keçiricilik mexanizminə malikdir.

6. Məlum olmuşdur ki,  $(\text{TlFeS}_2)_{1-x}(\text{TlGaS}_2)_x$  tərkiblərində  $x=0,025$ ,  $0,05$ ,  $0,075$  və  $0,1$  artımı Neel temperaturunun ( $T_N$ ) azalmasına və aktivləşmə enerjisinin artmasına səbəb olur, bu maqnit strukturunda qallium və dəmir kationlarının yenidən paylanması ilə izah olunur.

7. Müəyyən edilmişdir ki, bərk məhlullarda  $(\text{TlFeS}_2)_{0,975}(\text{TlGaS}_2)_{0,025}$  bərk məhlulunda nümunələri  $P=1,5 \times 10^3 \text{kq/sm}^2$  təzyiq altında sıxıldıqda Neel temperaturu 150K-dan 180K-a dəyişir.



8.  $(\text{TlGaSe}_2)_{0.5}(\text{TlFeSe}_2)_{0.5}$  bərk məhlulun müqavimətinin temperatur asılılığında  $T_{\text{gis}}=109\div 120\text{K}$  temperatur histerezi göstərir ki, bu da  $\text{TlGaSe}_2$  monokristalının mütənasib və qeyri-mütənasib fazaları ilə bağlıdır.

9. Göstərilir ki, aktivləşmə enerjisinin qiymətləri  $\text{Tl}(\text{Fe}, \text{Cr}, \text{Co}, \text{Ni})\text{S}_2(\text{Se}_2)$  kristallarında və onların bərk məhlullarında maqnit faza keçidi temperaturundan əvvəl və sonra hesablanır. Bu dəyərlər arasındakı fərq (FK-dən əvvəl və sonra) maqnit faza keçidinin dağılmasının enerjisini göstərir.

10. Müəyyən edilmişdir ki,  $\text{TlNiS}_2$  birləşməsində sabit elektrik sahəsində Fermi səviyyəsi yaxında lokallaşdırılmış dəyişən uzunluğa malik ( $R_L=3.0\text{nm}$ ) olan sıçrayış keçiriciliyi mexanizminə malikdir. Müəyyən edilmişdir ki, qeksoqonal qurluşlu  $\text{TlNiS}_2$ -də metal-dielektrik (MD) faza keçidi Kuri temperaturunda  $T_C=240\text{K}$  və  $T_C$ -dən aşağı temperaturda baş verir və elektrik müqavimətinin ( $\rho/\rho_{\text{otaq}}$ )  $10^3$  kəskin sıçrayışı ilə müşayiət olunur. Termo-EHQ  $S(T)$ -dən  $10^2$ -dən çox ( $S/S_{\text{otaq}}$ ) böyükdür. MD faza keçidi zamanı  $\text{TlNiSe}_2$  kristalları üçün temperaturdan asılılığın  $\rho(T)$  əyilməsi  $T_N=120\text{K}$ -da müşahidə olunur və bu temperaturda termo-THQ  $S(T)$  işarəsinin inversiyası baş verir.

11. Göstərilmişdir ki, bərk məhlulların  $(\text{TlInSe}_2)_{1-x}(\text{TlGaTe}_2)_x$  ( $x=0.4$  və  $0.6$ ) nümunələrində dielektrik itkilər keçiriciliyin artması ilə izah olunur.  $f=3,2\div 35\text{kHz}$  tezlik diapazonunda onların dəyişən keçiriciliyi ( $\sigma_{\text{ac}}$ ) Fermi səviyyəsinə yaxın lokallaşdırılmış vəziyyətlər boyunca yük ötürülməsinin sıçrayıç mexanizmi üçün xarakterik olan  $\sigma_{\text{ac}}\sim f^{0.8}$  qanunauyğunluğuna tabe idi.

### **Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti:**

Aparılan tədqiqatların əhəmiyyəti onunla müəyyən edilir ki, onun nəticələri nümunələrin alınması, və keyfiyyətə nəzarət metodlarının təkmilləşdirilməsi üçün istifadə oluna bilər. İşin nəticələri elektrik keçiriciliyi və maqnit xassələrinin seçilməsində, maqnit enerji asılılığı olmayan yaddaşın düzəldilməsində istifadə

edilə bilər. Bundan əlavə, tədqiqat nəticələri öyrənilmiş materialların bu və ya digər yük daşıyıcıların spin asılı daşıyıcılar qurğularında, o cümlədən maqnit tunel strukturlarında istifadəsini asanlaşdırır. CuFeTe<sub>2</sub> monokristallarının sintezi üçün optimal şərtlər müəyyən edilmişdir. CuFeTe<sub>2</sub> birləşmə layının köməyi ilə foto-akкумуляtor yaratmaq olar. Bu CuFeTe<sub>2</sub> monokristallarının layları Oksigen qazının (O<sub>2</sub>) təzyiqini ölçmək üçün istifadə olunur. Al – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – CuFeTe<sub>2</sub> (Cu<sub>2-x</sub>Te) kimi mis halkogenidləri əsasında Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> qalınlığı 0.3 nm-dən 10 nm-ə qədər olan tunel quruluşlarında çox mövqeli çeviricilər yaratmaq mümkündür. (TlInSe<sub>2</sub>)<sub>1-x</sub>(TlGaTe<sub>2</sub>)<sub>x</sub> (burada x=0.1, 0.2, 0.4 və 0.6) bərk məhlulları spintronika üçün baza materialı ola bilər. Tl(Fe, Cr, Co, Ni)S<sub>2</sub> (Se<sub>2</sub>) aşağı ölçülü monokristalların maqnit faza keçidindən əvvəl və sonra hesablanmış aktivasiya enerjilərindən nəzəri hesablamalarda istifadə etmək olar. Əldə edilmiş nəticələr, həm spintronika və yarımkeçirici elektronikada aktiv material kimi perspektiv tətbiqədən ibarətdir.

#### **Aprobasiyası və tətbiqi.**

Dissertasiyanın əsas materialları aşağıdakı beynəlxalq konfranslarda, müşavirə və seminarlarda məruzə və müzakirə edilmişdir:

- Inorganic Materials Conference, Konstanz, Germany. 7-10 September 2002, Abs. Ref. Number 38.

- Abstracts of 13-th International Conference on ternary and multinary Compounds - ICTMC-13, Paris, France. Code Number 20 (SO3 A020), October 14 – 18, 2002, P.P. 2-1.

- International conference on Technical and Physical Problems in Power Engineering, Baku – Azerbaijan, № 93, 2002, p. 366-369.

- TPE – 06 3-rd International Conference on technical and Physical Problems in Power Engineering Turkey, Ankara., May 29-31, 2006, p. 607- 609.

- Сб. док. IV-ой Международной научной конференции «Актуальные проблемы физики твердого тела ФТТ-2009». Минск. Беларусь. 20 – 23 октября. 2009, т. 2, с. 127-129.

- Bakı Dövlət universiteti. Fizikasının müasir problemləri V-ci respublika konfransı “Opto-, nanoelektronika və kondensə olunmuş mühit fizikası” material. Bakı 16-17 dekabr, 2011, s. 85-86.

- Fizikanın Müasir Problemləri. VI Respublika Konfransının Materialları “Opto, nanoelektronika, kondensə olunmuş mühit və yüksək enerjilər fizikası”. Bakı. Azərbaycan. 14 – 15 dekabr, 2012. s.163 – 165.

- Труды XVII-ой Международной конференции «Опто-наноэлектроника, нано технологии и микросхемы». Ульяновск, Россия. 15-19 сентября 2014, с. 79-80.

- Тезисы докладов Шестой Международной конференции «Кристаллофизика и деформационное поведение перспективных материалов», посвященной 90-летию со дня рождения проф. Ю.А. Скакова. Москва. 26-28 мая 2015, с. 223.

- Nineteenth Symposium on Thermophysical Properties, University of Colorado at Boulder, CO, USA. June 21-26, 2015, pp. 272.

- Труды международной конференции: «Фундаментальные и прикладные вопросы физики», 13-14 июня Ташкент, т. 2, 2017, с. 44-46.

- Восьмая Международная конференция «Кристаллофизика и деформационное поведение перспективных материалов» 5–8 ноября 2019 Москва, с. 162.

Dissertasiya mövzusunda 36 elmi məqalə dərc edilmişdir: Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında AAK tərəfindən tövsiyə olunan nəşrlərdə 25 məqalə (onlardan 12-si beynəlxalq sitat indeksləri olan jurnallarda məqalələr - SCI) və 11 konfrans materialları.

#### **Müəllifin iştirak dərəcəsi:**

Dissertasiya işinin mövzusu, ideyası və tədqiqatın əsas istiqaməti müəllif tərəfindən müəyyənləşdirilmişdir. Tədqiqatın yerinə yetirilməsi zamanı qarşıya qoyulmuş əsas məqsəd və həll edilməsi vacib olan məsələlər müəllif tərəfindən müəyən edilmişdir.  $A B X_2$  ( $A=Cu, Tl$ ;  $B=Fe, Cr, Co, Ni, Ga, In$ ;  $X=S, Se, Te$ ) və onların əsaslı həlləri, nəticələrin işlənməsi və onların təhlili, müdafiə üçün ümumi müddəalar, nəticələr və tövsiyələr tərtib edilmişdir.

### **İşin görüldüyü təşkilatın adı:**

Dissertasiya işi Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Fizika İnstitutunun “Bərk cisimlərdə rezonans hadisələri” laboratoriyasında aparılmışdır.

### **Dissertasiyanın həcmi, quruluşu və əsas məzmunu:**

Təqdim edilən dissertasiya işi girişdən, altı fəsildən, əsas nəticələrdən və 203 adda istifadə olunmuş ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. Dissertasiyanın işi ümumilikdə 381.754 işarədən, 82 şəkildən 13 cədvəldən ibarətdir.

### **İşin məzmunu**

**Girişdə** seçilmiş tədqiqat mövzusunun aktuallığı əsaslandırılır, dissertasiyanın məqsədi və əsas vəzifələri, işin elmi yeniliyi, praktiki əhəmiyyəti müəyyənləşdirilir, müdafiə olunacaq əsas elmi müddəalar təqdim edilir və dissertasiyanın ayrı-ayrı fəsillərinin əsas məzmunu ümumiləşdirilir.

**Birinci fəsil** aşağıölçülü kristalların faza keçidi və sıçrayış keçiriciliyinin tədqiqat işlərinin icmalına həsr olunmuşdur.

Bu fəsildə antiferromaqnit mübadilə və qarşılıqlı təsiri olan aşağı ölçülü kristalların maqnit sistemlərdə yaranan fluktasiya maqnit strukturları müzakirə olunur. Zəncirdəki ən yaxın ionlar və ikinci qonşular arasındakı mübadilə qarşılıqlı təsirlərin rəqabətindəki güclü kvant fluktasiyaları səbəbindən bu cür sistemlər qeyri-adi maqnit strukturların geniş spektrini nümayiş etdirir.

Spintroniklərin tədqiqi və öyrənilməsi üçün ən yaxşı perspektivli siniflərdən biri misin halkogen birləşmələri və ya halkopiritlərdir.

Ümumi formulu  $ABX_2$  olan bir sıra yarımkeçirici birləşmələrdə A və B metal atomları müxtəlif valentlikləri nümayiş etdirməyə meyllidirlər ki, bu da spintronika və yarımkeçirici opto elektronika üçün yeni materiallar əldə etməyə imkan verir.

Digər maddə qrupları ilə müqayisədə 3d - birləşmələr təəccüblü dərəcədə geniş müxtəliflikli elektrik xassələrinə malikdir. Üçqat  $TlMeX_2$  (Me=Fe, Cr, Co, Ni və X=S və Se) birləşmələri anizotrop maqnit yarımkeçiricilər sinfinə aid olur.

Keçid metalların halkogenidlərində elektron strukturları, elektrik və maqnit xassələri 3d-elektronların olması ilə mürəkkəbləşir. Bu xüsusiyyətlər, ən yaxşısı, d-elektronları daxil edilməklə molekulyar - orbitalları və zona modelini genişləndirməyin köməyilə təhlil edilə bilər.

Metal-dielektrik keçidi (MDK) elektron faza keçidləri sinfinə aiddir, çünki onun əsas xarakteristikası elektron enerji spektrinin yenidən qurulmasıdır - aşağı dolmuş hallar və yuxarı dolmamış halları ayıran spin sıxlığı dalğasının (SSD) və yük sıxlığı dalğasının (YSD) enerji zolağının yaranmasıdır. Əksər hallarda,  $\rho(T)$  elektrik müqavimətinin temperaturdan asılılığı Kuri temperaturu  $T_C$  nöqtəsində sıçrayışla dəyişir ki, bu da birinci növ faza keçidi olduğunu göstərir. Bəzən bu sıçrayış kiçik və ya ümumiyyətlə heç olmur, belə ki, ikinci növ faza keçidinə yaxın birinci növ faza keçidi və ya ikinci növ faza keçidi olması mümkündür.

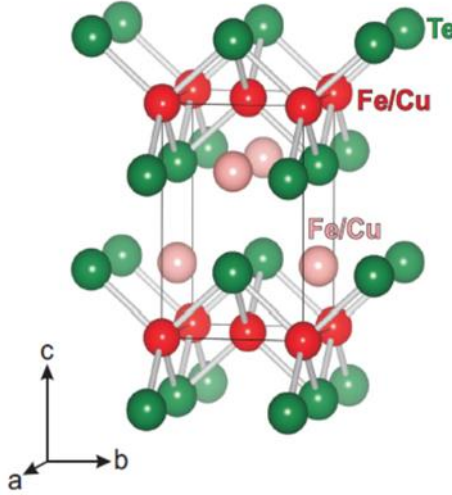
Son bir neçə ildə  $TlBX_2$  (burada  $B=In^{3+}$ ,  $Ga^{3+}$  və  $X=S$ ,  $Se$ ,  $Te$ ) tipli laylı talium birləşmələrində struktur faza keçidləri aşkarlandı və intensiv şəkildə tədqiq olunur. Bütün bu laylı kristallarda müəyyən  $T_0$  temperaturdan aşağıda ifrat struktur - əsas qəfəsin tarazlıq vəziyyətindən atomların yerdəyişməsi meydana çıxır. Bu ifrat strukturun dövrü, bir qayda olaraq, əsas qəfəsin dövrü ilə mütənasib deyil (qəfəsi  $T_0$ -dan yuxarı) və temperaturun sonrakı azalması ilə ifrat struktur kəsilməz olaraq və ya sıçrayışla ilkin strukturla mütənasib olan struktura yaxınlaşır.

Bu cür materialların qəfəs dinamikasını öyrənmək daxili və laylararası qarşılıqlı təsirin dəyişikliklərinin təbiətini əks etdirən və xarakterizə edən məlumatlar verir ki, bunun əsasında da müxtəlif mikroskopik modellər qurmaq olar.

**İkinci fəsil** halkopirit və onun müxtəlif növlərinə aid  $CuFeTe_2$  tipli birləşmələrin struktur-kristal kimyəvi xüsusiyyətlərinə həsr edilmişdir. Bu fəsildə bütün məlum faktlar ümumiləşdirilmiş və sıx yanaşma prinsipinə əsasən, tetraedral koordinasiyalı yarımqeçirici birləşmələrin böyük bir qrupu nəzərdən keçirilmişdir. Bu sinif birləşmələrin kristal-kimyəvi xüsusiyyətlərinə baxdıqdan sonra halkopirit və onun müxtəlif növ strukturlarında fazaların yaranma səbəbləri və qanuna uyğunluqları izah olunur. Üçqat və daha

mürəkkəb birləşmələrin əsas fiziki-kimyəvi xassələri təhlil edilir və müxtəlif müəlliflərin təcrübi nəticələrindən alınan fərq və ziddiyyətlər haqqında müvafiq nəticələr çıxarılır.

Rentgenstruktur tədqiqatları göstərdi ki, lövhəyəbənzər kristallar tetraqonaldır:  $a=0.402$  nm,  $c=0.604$  nm, fəza qrupu  $P4/nmm$ ,  $Z=1$ ,  $\rho=6.59$  q/sm<sup>3</sup>. Rentgenstruktur tədqiqatları göstərdi ki, halkopirit tipli  $CuFeTe_2$  (a, b, c) monokristalları ən mükəmməldir.



Şəkil. 1.  $CuFeTe_2$ -nin kristal quruluşu

Şək. 1-də  $CuFeTe_2$ -nin kristal quruluşu göstərilir, burada Cu və Fe atomları (qırmızı ilə işarələnmiş) bu atomların hər biri üçün təxminən 50% ilə  $2a(0\ 0\ 0)$  kristalloqrafik mövqələrdə yerləşir. Te atomları isə (yaşıl rənglə işarələnmiş)  $2c(0\ \frac{1}{2}\ z)$  kristalloqrafik mövqələrdə yerləşmişdirlər.  $[2c' \ - (01/2z')]$  kristalloqrafik mövqələrdə yerləşmiş (çəhrayı ilə işarələnmiş) içərisindəki əlavə yerlərdə qismən 15%-dən az tutm isə Cu və Fe atomları ilə doldurulmuşdur. Buna görə də, monokristalların nominal tərkibini müəyyən etmək və onların kristal strukturlarını dəqiqləşdirmək üçün EDX tipli analizatorunda (Enerji Dispersiv X-ray Analizi) rengen qurğusunda təhlil edilmiş və Perkin Elmer Analyst-800 cihazında analiz üsulu ilə təkrarlanmışdır. Avtomatik hesablanmış atom faizləri aşağıdakı dəyərlərə uyğundur:

- stexiometrik tərkibdən yetişdirilən  $\text{CuFeTe}_2$  monokristalları üçün:  $\text{Cu}=24.53 \pm 1.85$ ;  $\text{Fe}=28.68 \pm 1.86$ ;  $\text{Te}=46.79 \pm 2.27$ ;
- polikristal tərkibdən yetişdirilən  $\text{Cu}_{1.15}\text{Fe}_{1.23}\text{Te}_2$  monokristallar üçün isə:  $\text{Cu}=27.95 \pm 1.98$ ;  $\text{Fe}=25.47 \pm 1.61$ ;  $\text{Te}=46.59 \pm 2.18$  (tərkib üçün atom faizində). Yuxarıdakı analiz qiymətləri əsasında hesablanan monokristalların kimyəvi tərkibi  $\text{Cu}_{1.15}\text{Fe}_{1.23}\text{Te}_2$  formuluna uyğundur.

Halkopirit tipli monokristalların struktur formulu aşağıdakılara uyğundur:

$\text{Cu}^{1+}\text{Fe}^{3+}\text{Te}_2$  ( $\text{Cu}_{0.22}$  и  $\text{Fe}_{0.1}$ ),  $\text{Cu}^{1+}\text{Fe}^{3+}\text{Te}_2$  ( $\text{Cu}_{0.13}$  и  $\text{Fe}_{0.22}$ ) və  $\text{Cu}^{1+}\text{Fe}^{3+}\text{Te}_2$  ( $\text{Cu}_{0.15}$  və  $\text{Fe}_{0.23}$ ) və "artıq" Cu (bir və ya iki valentli) və Fe (iki və ya üç valentli) metal atomları kristal qəfəsin boşluqlarında xaoslu yerləşir və özlərini aşqar (nano hissəciklər) kimi aparır<sup>1</sup>.

Normal qrup metallarında kollektiv elektronlar sistemindəki mübadilə qüvvələri Fermi enerjisi ilə qırılır və maqnit nizamlılığının yaranmasına gətirib çıxarda bilməz. Keçid 3d- metalların birləşmələrində mübadilə qüvvələri üçün vəziyyət daha əlverişli ola bilər. Bərk cismin kristal strukturu 230 fəza simmetriya qrupuna, atom nizamlı maqnit strukturu isə 1651 fəza simmetriya qrupuna malik olduğunu nəzərə alsaq, buna görə də bəzi hallarda mübadilə əlaqələrin üstünlük təşkil etməsi nəticəsində onlarda ferromaqnetizm və ya antiferromaqnetizm müşahidə olunur. Kristal düyünlərində yük və spin sıxlığının nəzərəcarpacaq dərəcədə lokalizasiyasını saxlamaqla, keçmiş daxili 3d - elektronların məhz dar enerji zolaqlarının olması, kollektivləşdirilmiş s - və d - elektronların 3d - metal və birləşmələr sistemində spin nizamlılığını mümkün edir. Beləliklə, yarımmetallarda və yarımkeçiricilərdə elektron maqnit momentlərinin mübadilə rəhbərliyinin mənşəyi keçmiş 3d - elektronların kompensasiya olunmayan maqnit momentləri sistemə keçirici elektronların aktiv təsirindən qaynaqlanır.

Antiferromaqnit nizamlı kristallarda keçirici elektronlar bir maqnit alt qəfəsin düyünündən digər alt qəfəsin düyününə keçərkən elektron

---

1.Valdivia, P.N. Copper-substituted iron telluride: A phase diagram / P.N. Valdivia, M.G. Kim, T.R. Forrest [et al.] // Amer. Phys. Rev. B 91, - 2015, - p. 224424.

spini müəyyən qiymətdə və istiqamətdə olan bir düyündən spini fərqli qiymətə və istiqamətə malik digər bir düyünə keçir. Buna görə bir neçə maqnit alt qəfəsli kristalda keçirici elektronların halı bir alt qəfəsi olan kristaldakı və ya bir paramaqnit kristaldakı keçirici elektronların halından əhəmiyyətli dərəcədə fərqlənməlidir. Fərq ondadır ki, keçirici elektronların antiferromaqnit kristalında fəza cırlaşması qismən götürülür, çünki bir neçə maqnit alt qəfəsin olması elektronların hərəkət etdiyi potensial sahənin periodluğunun dəyişməsinə (yəni onun simmetriyasının azalmasına) səbəb olur. Bu halda müxtəlif proyeksiyalı spinlərə malik keçirici elektronlar üçün enerji alt zonaların sürüşməsi baş vermir, lakin buna baxmayaraq enerji spektri əhəmiyyətli dərəcədə dəyişə bilər. Məsələn, keçirici elektronların 4s-enerji zolağının orta hissəsində, atom nizamlılıq zamanı ərintilərdə baş verənə bənzər,  $\Delta E_{af}$  qadağan olunmuş hissənin yaranması mümkündür.

Beləliklə, keçid metal kristalında maqnit nizamlılığın olması keçirici elektronların enerji spektrində əhəmiyyətli dəyişikliklərə gətirib çıxardır. Üstəlik, burada iki əsas effekt müşahidə olunur:

- 1) spin cırlaşmasının (istiqamət üzrə) aradan qaldırılması və
- 2) fəza cırlaşmasının aradan qaldırılması.

Keçirilmiş eksperimental tədqiqatların nəticələri bu materiallarda mövcud olan fikir ayrılıqlarının bütün suallarına cavab verir və fazaların əmələ gəlməsi prosesi haqqında və bu və ya digər xassələrin təzahürü ilə bağlı yeni nəticələr çıxarmağa imkan verir. Bu fəsilə polikristalların müxtəlif tərkiblərindən yetişdirilmiş monokristalların kimyəvi analizinə də kifayət qədər yer verilmişdir.

Daha sonra geniş temperatur intervalında  $\text{CuFeTe}_2$  (a, b və c) tipli halkopirit monokristallarının elektrik keçiriciliyi ( $\sigma$ ), termo-EHQ (S) əmsalı, maqnit qavrayıcılığı ( $\chi$ ), maqnitlənmə (M) tədqiqatlarının nəticələri izah edilir.

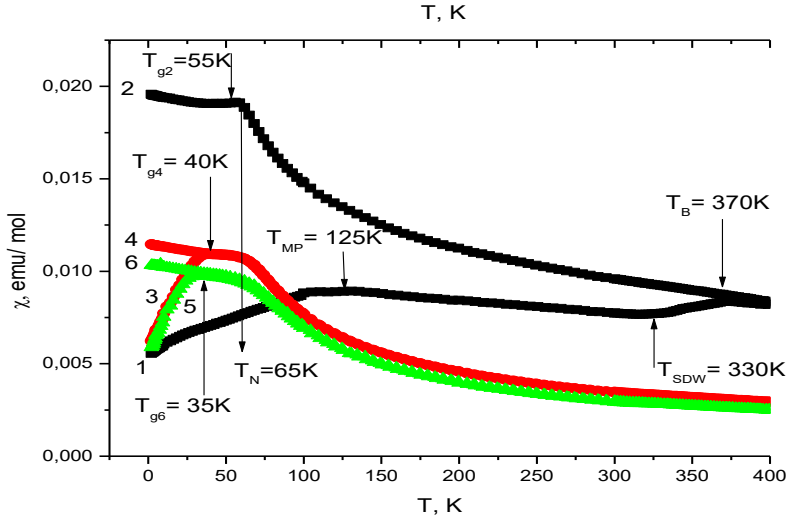
Tədqiq olunan  $\text{ABX}_2$  (A=Cu, Tl; B=Fe, Cr, Co, Ni, Ga, In; X=S, Se, Te) tipli aşağı ölçülü yarımkeçiricilər və onların bərk məhlulları  $P=1.5 \times 10^3 \text{ kq/sm}^2$  təzyiq altında preslənmiş və elektrik ölçmələri üçün hazırlanmışdır düzbucaqlı paralelepiped şəklinə malikdirlər. Kontaktları vurmada əvvəl, onlar  $\sim 450\text{K}$  temperaturda qızdırılır. Omik kontaktlar misin elektrolitik çöküntüsü ilə yaradılmışdır. Alınmış nümunələrin elektrik keçiriciliyi  $\sigma(T)$  və termo-EHQ (S)



əmsalları  $77\div 400\text{K}$  temperatur intervalında 3% dəqiqliyə qədər dörd zond metodu ilə ölçülmüşdür.

Faza keçidləri probleminə iki əsas istiqaməti ayırmaq olar. Birincisi, sistemin xüsusiyyətlərinin kritik temperaturun ətrafında davranışının öyrənilməsi ilə əlaqədardır. Faza keçidinin mikroskopik nəzəriyyəsinin əsaslandığı başqa bir istiqamət, sistemin əsas halının xassələrinin bu və ya digər model konsepsiyaları çərçivəsində təhlil etmək və onun dayanıqsızlığın mümkün səbəblərini, bunun təsiri altında sistemin daha yeni, daha əlverişli enerji halına keçməsinə izah etməkdir. Bu iki istiqamətin vahid faza keçid nəzəriyyəsinə qovuşması prosesi hazırda araşdırılır.

Maqnit qavrayıcılığının  $\chi(T)$  və istilik tutumunun  $C_p(T)$  temperatur asılılıqları  $\chi(T)$  asılılığını təkrarlayaraq, Neel temperatur oblastında anomaliyaların olması, spin-şüşə dalğalarının (SSD) yaranması və dağılması ilə, həmçinin  $\chi(T)$  asılılığını təkrarlayan kilidləmə temperaturu ( $T_B$ ) ilə xarakterizə olunur.  $\text{CuFeTe}_2$  (a, b, c) halkopirit tipli monokristalları üçün  $T_N=65\text{K}$  Neel temperaturu və supermaqnitlərə xas olan kilidləmə  $T_B>360\text{K}$  müəyyən edilmişdir.  $\text{Fe}^{3+}$  kationları iki  $\text{Te}^{2-}$  anionları arasında yerləşir və spinlərin antiferromaqnit maqnit momentləri bir-birinə əks (001) müstəvisinə paralel istiqamətdə yönəlmişdir.  $\text{CuFeTe}_2$ -nin maqnit kristal strukturu səkkiz formul vahidindən ibarətdir - 8 ( $\text{CuFeTe}_2$ )  $Z=8$ , halbuki kristal strukturunda  $Z=1$ -dir. Paramaqnit klasterlərin effektiv maqnit momentləri zəif ( $100\div 1000\text{Oe}$ ) və güclü ( $10\div 50\text{kOe}$ ) maqnit sahələrində ölçülmüş və göstərilmişdir ki, zəif  $\mu_{\text{eff.}}\geq 0.7\mu_B$  və güclü  $\mu_{\text{eff.}}\sim 2.4\mu_B$  ( $\mu_B$  - Bor maqnitonudur) olmuşdur.  $T_g=55\text{K}$ -dən aşağıda  $\text{CuFeTe}_2$  (a, b, c) halkopirit tipli monokristallarda spin-şüşə halı müşahidə olunur. Kilidləmə temperaturundan aşağı temperaturda soyuma zamanı  $\chi^{\text{ZFC}}(T)$  maqnit sahəsinin sıfır və  $\chi^{\text{FC}}(T)$  maqnit sahəsinin  $1\text{kOe}$ -də asılılıqlarının fərqli davranışı halkopirit tipli  $\text{CuFeTe}_2$  monokristalının klasterizasiyasını göstərən əsas əlamətlərdən biridir (Şək.2)



Şək. 2.  $\text{Cu}_{1.13}\text{Fe}_{1.22}\text{Te}_2$  monokristalının maqnit qavrayıcılığının temperatur asılılığı:

ZFC-də 1-1.0, 3-10 və 5-20kOe və FC – 2 – 1.0, 4 - 10 və 6 - 20kOe.

Temperaturlar:  $T_{MP}=125\text{K}$ ,

Maqnit sahələrində spin-şüşə halı:  $1.0\text{ kƏ} - T_{g2}=55\text{K}$ ,  $10\text{ kƏ} - T_{g4}=40\text{K}$  и  $20\text{ kƏ} - T_{g6}=35\text{K}$ .

Spin sıxlığı dalğası  $T_{SDW}=330\text{K}$  və kilidənmə temperaturu  $T_B=370\text{K}$

Effektiv maqnit momenti  $\mu_{\text{eff}}=2.0\div 2.4\mu_B$ .

Şək. 2-də halkopirit tipli  $\text{CuFeTe}_2$  monokristalın müxtəlif temperaturlarda maqnitlənmənin (histerezis) sahədən asılılığı göstərilmişdir. Görünür ki, yüksək temperaturlarda (100 K-dan yuxarı), maqnitlənmə (sahə ilə), demək olar ki, paramaqnit oblast üçün xarakterik olduğu kimi xətti artır. Aşağı temperaturlarda (2K və 4K) maqnitlənmənin sahə asılılığında yerini dəyişən histerezis ilgək müşahidə olunur (ölçülər FC –  $50\div 0\div 50\text{kOe}$  və əks rejimində aparılmışdır). Histerizin ilgəyi daha genişdir və ferrimaqnit tiplidir. Bütün halkopirit tipli  $\text{CuFeTe}_2$  (a, b və c) monokristallarında da, dəmir ( $\text{Fe}^{3+}$ ) üç valentli haldadır və Messbauer məlumatları ilə

uzlaşır. Ədəbiyyatda göstərilmişdir ki,  $\text{CuFeTe}_2$ -nin Messbauer spektri maqnit ifrat nazik qarşılıqlı təsir səbəbindən altı komponentə parçalanan tək pikdən ibarətdir. Bu, strukturda bir mövqe tutan dəmirin ( $\text{Fe}^{3+}$ ) maqnit nizamlı atomları ilə əlaqədardır. İzomer sürüşmə kiçikdir, kvadrupol parçalanma isə yoxdur. Müşahidə olunan parametrlər, maqnit-rabitəli  $\text{Fe}^{3+}$  atomlarının tetraedral mövqelərdə yüksək spin hallarında yerləşməsi təsəvvürləri ilə uyğun gəlir.  $\text{CuFeTe}_2$  monokristalının müxtəlif temperaturlarında  $M(H)$  maqnitləşmənin (histerezis) sahədən asılılığından qalıq maqnitləşmə müəyyən edilmişdir. Görünür ki, yüksək temperaturda (100 K-dən yuxarı) maqnitləşmə (sahə ilə) paramaqnit bölgə üçün xarakterik olduğu kimi, demək olar ki, xətti artır. Aşağı temperaturlarda (2K və 4K) maqnitləşmənin sahədən asılılığında yerdəyişmiş histerezis halqası müşahidə olunur (ölçmələr maqnit sahəsinin  $-50-0+50$  kOe rejimində aparılmışdır). Histerezis dövrəsi daha geniş və ferrimaqnit tiplidir.  $\text{CuFeTe}_2$  (a, b və c) tipli xalkopiritin bütün monokristallarında dəmir ( $\text{Fe}^{3+}$ ) Mössbauer məlumatlarına uyğun olaraq üçvalent vəziyyətdədir. Ədəbiyyatda göstərilir ki,  $\text{CuFeTe}_2$ -nin Mössbauer spektrləri maqnit hiperincə qarşılıqlı təsirlərə görə altı komponentə bölünmüş tək pikdən ibarətdir. Quruluşda bir mövqe tutan maqnitlə düzülmiş dəmir atomlarının ( $\text{Fe}^{3+}$ ) səbəbi olur. İzomerik yerdəyişmə kiçikdir və dördqütblü parçalanma yoxdur. Müşahidə olunan parametrlər tetraedral mövqelərdə yüksək fırlanma vəziyyətində maqnitlə bağlı  $\text{Fe}^{3+}$  atomları konsepsiyasına uyğundur.

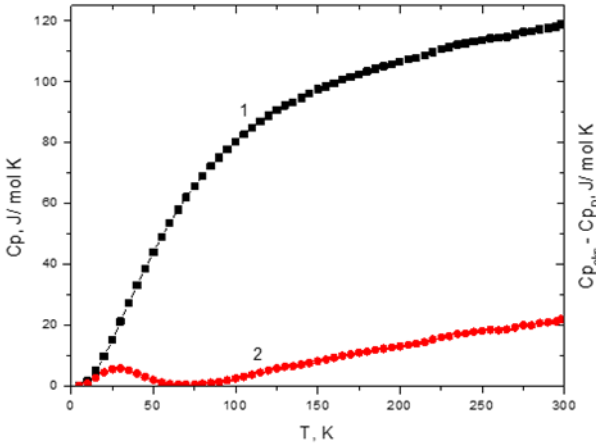
Laylı kristallarda atomlararası qarşılıqlı təsir, aşağı temperaturlarda xüsusi qanunlarla istilik tutumunun qeyri-adi temperatur asılılığına gətirib çıxarır<sup>2</sup>. Eyni şey faza keçidlərinin təbiətdə dəyişkən olduğu anizotrop laylı maqnitlərdə də müşahidə edilmişdir.

$\text{Cu}_{1.04}\text{Fe}_{1.12}\text{Te}_{1.84}$  istilik tutumu 2÷306K diapazonunda Kvant Dizaynı PPMS (Fiziki Xüsusiyyət Ölçmə Sistemi) kommersiona cihazında ölçüldür. Şək. 3-də eksperimental nəticələrini göstərdiyi

---

2 Андерс, Э.Е. О теплоемкости слоистых структур. Э.Е. Андерс, Б.Я. Сухаревский, Л.С. Шестаченко. // ФНТ, 1979, т. 5, № 7, с. 783 – 793

istilik tutumunun temperaturdan asılılığı ( $C_p$ ) və eksperimental istilik tutumunun və Debay modelinə görə hesablanmış qəfəs istilik tutumunun fərqi göstərir.  $C_{p\text{exs}} - C_{pD} = \Delta C_p(T)$ , burada  $C_{p\text{exs}}$  eksperimental nəticələrin və  $C_{pD}$  Debye modelinə görə hesablanmış qəfəs istilik tutumunun qiymətlərinin fərqidir. (Debye temperaturu verilmiş  $\text{CuFeTe}_2$  birləşməsinin bütün tezliklərinin həyəcanlandığı temperaturdur. Temperaturun daha da artması yeni rəqslərin yaranmasına səbəb olmur, ancaq mövcud olanların amplitudalarının artmasına səbəb olur, yəni temperaturun artması ilə rəqslərin orta enerjisi artır.

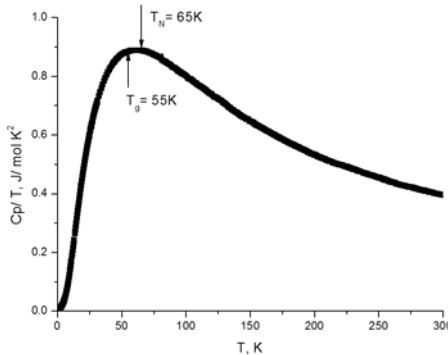


Şək. 3. İstilik tutumunun temperaturdan asılılıqları.

Şəkil 3-də  $\text{Cu}_{1.04}\text{Fe}_{1.12}\text{Te}_{1.84}$  birləşməsinin istilik tutumu (1) və 2–artıq istilik tutumunun (2) temperatur asılılığı göstərilmişdir – ( $C_{p\text{exs}} - C_{pD}$ ).  $C_p$  və  $C_{p\text{exs}}$  istilik tutumunun eksperimental qiyməti,  $C_{pD}$  isə Debye modelinə görə istilik tutumunun hesablanmış qəfəs dəyərləridir.  $C_p(T)$  xətti kəsiyi 65–125K temperatur diapazonunu əhatə edir.  $\Delta C_p(T)$  əyrisi (1) antiferromaqnit  $T_N=65\text{K}$  temperaturunda və spin-şüşə çevrilməsində əyilməyə məruz qalır.

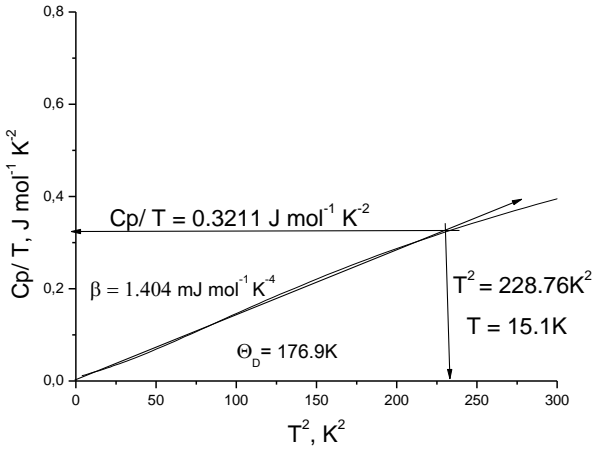
Şəkil 3-də  $\Delta C_p(T)$  asılılığından  $\Delta C_p=0$  faza keçidlərini antiferromaqnit-paramaqnit ( $T_N=65K$ ) və spin-şüşə halını ( $T_g=55K$ ) aydın şəkildə göstərir.

Bu faza keçidlərini görmək üçün istilik tutumunun temperatur nisbətbnin temperaturdan asılılığı şəxk. 4(a)-da göstərilmişdir.



Şəkil 4 İstilik tutumunun  $C_p/T$ -nin temperaturdan asılılığı.

İstilik tutumunun  $\Delta C_p(T)$  temperaturdan asılılığında faza keçid temperaturuna yaxın yayılmış olur və o ikinci növ faza keçidləri ilə kritik hadisələr arasında eyniliyi müəyyən edir. Maqnit faza keçidi temperaturu yaxınlığında, dalğalanmaların inkişafı ilə əlaqədar homogen faza maqnit dispersli sisteminin meydana gətirən çoxlu sayda spin "qruplarına" ayrılır. Faza keçidində temperaturun dəyişməsi dispersiyanı azaldır və sistem homogen olur. Faza keçid bölgəsində bu dispersliyin olması istilik tutumunun temperatur əyrisində maksimumun səpilməsinə səbəb olur. Aşağı temperaturlarda alınan nəticələrin təhlili bunu aydın görünür. Aşağı temperaturda kinetik enerji kiçikdir, ona görə də  $C_p(T)$  və  $C_p/T(T)$  asılılıqlarının davranışı tamamilə fərqli olacaq. Aşağı kinetik enerjili bölgədə,  $C_p/T$ -nin temperaturdan asılılığı qurulmuş (şəxk.4a) və əyridə potensial enerjiddə kiçik dəyişikliklər hesabına faza keçidlərinin görünməsi mümkün olmuşdur.  $Cu_{1.04}Fe_{1.12}Te_{1.84}$ -də maqnit faza keçidinin qeyri-adi xarakterini nəzərə alaraq,  $C_p/T$ -nin temperaturdan asılılığı  $C_{Peks}(T)$  təcrübi məlumatlar əsasında qurulur.



Şəkil 4a. İstilik tutumunun  $C_p/T$ -nin  $T^2$ -dən temperaturdan asılılığı (Debayın kub qanunu).

Şəkil 4a və 4b-də faza keçidinin qeyri-adi (diffuziya, səpilmə və fluktuasiya) xarakterini aydın şəkildə nümayiş etdirir.

Şəkil 4-də işdə təsvir edilən üsula uyğun olaraq eksperimental məlumatların işlənməsinin nəticələri şəkil 4b-də təqdim olunur, burada  $n_0=4$  tədqiq olunan kristalın molekulunda atomların sayı,  $3k_B N=R_g$  qaz sabiti,  $N$  - Avogadro ədədi,  $k_B$  - Boltzmann sabitidir,  $\Theta_D$  - Debay temperaturudur. Şəkildə (şəkil 4a)  $C_p/T$ -nin  $T^2$ -dən (Debayın kub qanunu) asılılığı göstərilir.  $T \ll \theta_D$  daxilində

$$C_{qaf} \rightarrow \beta \cdot T^3 = 12 R \pi^4 / 5 \cdot (T / \theta_D)^3 \quad (1)$$

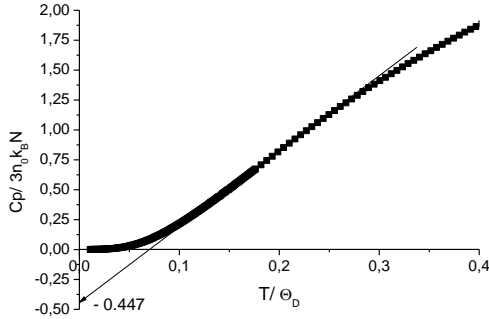
Təcrübə məlumatlarından Debay temperaturu:

$$\Theta_D = (1942.7 n_0 / \beta)^{1/3} \quad (2)$$

burada  $n_0=4$  tədqiq olunan kristalın molekulundakı atomların sayı,  $\beta=1.452 \text{ mJ} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-4}$  düsturu ilə hesablanmışdır.  $\Theta_D=176.9 \text{ K}$   $T \rightarrow 0 \text{ K}$ -da Debay temperaturudur. Bu, birləşmələrdə struktur anizotropiyanın 15.1K-dən aşağı istilik tutumunun davranışına təsir etmədiyini göstərir (şəkil 4a).

Anizotropiya parametri  $\eta$  və ikiölçülü Debay temperaturunu ( $\Theta_2$ ) müəyyən etmək üçün temperaturdan asılılığın xətti hissəsi olan laylı kristallar üçün xarakter olan tənliyindən istifadə etmişdik. Şəkil 4b-dən  $\eta=0,309$  və  $\theta_2=122.2 \text{ K}$   $C_p/3n_0k_B N = -0.447$ -ni  $T=0$  və

$\eta=0.309$ -da qiymətləndirmək asandır, və  $\theta_2=(1-\eta)\times\theta_D=122.2\text{K}$  burada,  $\eta=|\frac{\Delta C_p}{1+\Delta C_p}|$ -dir.



Şək. 4b. İstilik tutumunun temperatur asılılığın  $C_p/3n_0k_B N - T/\Theta_D$  koodinatlarında quruluşu.

Yuxarıda göstərilənlərdən aşağıdakı nəticələri çıxarm aq olar:

1. P4/nmm tetraqonal quruluşlu  $\text{Cu}_{1.22}\text{Fe}_{1.10}\text{Te}_2$  (a),  $\text{Cu}_{1.04}\text{Fe}_{1.12}\text{Te}_{1.84}\approx\text{Cu}_{1.13}\text{Fe}_{1.22}\text{Te}_2$  (b) və  $\text{Cu}_{1.15}\text{Fe}_{1.23}\text{Te}_2$  (c) monokristallar yetişdirildi.

2.  $\text{CuFeTe}_2$  (a, b və c) monokristalları üçün super paraqaqnitlərə xas olan kilidlənmə temperaturları  $T_B=358\text{K}$  (a),  $T_B=360\text{K}$  (b) və  $T_B=370\text{K}$  (c) və Neel temperaturu  $T_N=65\text{K}$  müəyyən edilmişdir.  $\text{CuFeTe}_2$  (a, b və c) tipli halkopirit AFM monokristalları üçün (001) müstəvisinə paralel və perpendikulyar maqnit momentləri və paraqaqnit Kuri temperaturu hesablanmışdır:

a)  $\text{CuFeTe}_2$  (a, b və c) üçün  $100\div 1000\text{Oe}$  maqnit sahəsində  $\mu_{\text{eff}}\leq 0.7\mu_B$ ,

b)  $\text{CuFeTe}_2$  (a, b və c) üçün  $10\div 50\text{kOe}$  maqnit sahəsində  $\mu_{\text{eff}\parallel}\approx 2.0\div 2.6$  və  $\mu_{\text{eff}\perp}=2.0\div 2.30\mu_B$ , həmçinin paraqaqnit Kuri temperaturu  $\Theta_{P\parallel}$  və  $\Theta_{P\perp}$  mənfidir.

Müəyyən edilmişdir ki, bütün  $\text{CuFeTe}_2$  monokristallarında (a, b və c) dəmir ( $\text{Fe}^{3+}$ ) üçvalentlidir.

3. Göstərilmişdir ki,  $\text{CuFeTe}_2$  monokristallarında (a, b və c) uyğun olaraq  $T_g=35, 50$  və  $55\text{K}$  donma temperaturlarında spin-şüşə halı müşahidə olunur.

4. Müəyyən edilmişdir ki,  $\text{Fe}^{3+}$  kationları iki  $\text{Te}^{2-}$  anion arasında yerləşir və spinlərin maqnit momentləri bir-birinə əks olan (001) müstəvisinə paralel (antiferromaqnit) yönəlmişdir. Bu kristalların maqnit quruluşu:  $\text{Cu}^+-\text{Te}^{2-}-\text{Fe}^{3+}-\text{Te}^{2-}$  bir-birinə qarşı yerləşən dörd "klaster" - dən ibarətdir.

5. Müəyyən edilmişdir ki,  $\text{CuFeTe}_2$  (b) monokristalının elektrik keçiriciliyin  $\sigma(T)$  və termo-EHQ  $S(T)$  temperaturdan asılılıqlarını dörd oblasta bölmək olar:

a) temperatur diapazonu  $77\div 121\text{K}$ , yarımkəçirici oblast:  $\Delta E_a=0.008\text{eV}$  (a),  $\Delta E_a=0.002\text{eV}$  (b) və  $\Delta E_a=0.002\text{eV}$  (c);

b) temperatur diapazonu  $155\div 267.5\text{K}$  - spin dalğalarının sıxlığı (SDS) mövcud olduğu (metal oblast):  $\Delta E_a=0.013\text{eV}$  (a),  $\Delta E_a=0.008\text{eV}$  (b) və  $\Delta E_a=0.013\text{eV}$  (c), burada (a), (b) və (c) sıxılmış monokristalların aktivləşmə enerjiləridir;

Yarımkəçirici – metal keçidinə kimi və keçiddən sonra aktivləşmə enerjilərinin fərqi bu faza keçidinin dağılmasına sərf olunan enerjidir. Bu fərq halkopirit tipli  $\text{CuFeTe}_2$  (a, b və c) üçün müvafiq olaraq  $0.005\text{eV}$ ,  $0.006\text{eV}$  və  $0.011\text{eV}$  qiymətlərini göstərir. Bu yarımkəçirici – metall faza keçidinin dağılmasına sərf olunan enerjidir və dəmir ionların artması ilə bu keçidin davamlığı artır.

c)  $289\div 360\text{K}$  temperatur diapazonu - burada SDS müşahidə edilir;

d)  $360\div 390\text{K}$  temperatur diapazonu ( $T_B$ -nin kilidləmə temperaturundan sonra) – superparamaqnit halında olması.

6.  $\text{CuFeTe}_2$  (b) birləşməsinin termo-EHQ  $S(T)$  temperaturdan asılılığından metal-yarımkəçirici (iki valentli mis və dəmir) keçid temperatur oblastında anomaliya, SDS-nin cırlaşması və dağılması və eləcə də  $\chi(T)$  maqnit qavrayıcılığının temperaturdan asılılığını təkrarlayaraq  $T_B$ -nin kilidləmə temperaturu müəyyən edilmişdir.

7.  $77\div 120\text{K}$  temperaturda  $\text{CuFeTe}_2$   $77\text{K}$ -də  $R_L=2.1\text{nm}$  və  $120\text{K}$ -də  $R_L=2.3\text{nm}$  dəyişən sıçrayış uzunluğuna malik sıçrayışlı yük daşıma mexanizminə uyğundur.  $\text{CuFeTe}_2$   $N_F=5.3 \times 10^{21}\text{eV}^{-1}\text{sm}^{-3}$ -də Fermi səviyyəsinə yaxın lokallaşmış halların sıxlığı müəyyən edilmişdir.  $\text{CuFeTe}_2$ -də hesablanmış orta sıçrayış məsafəsi



$R_{or}=2.2\text{nm}$ , Fermi səviyyəsinə yaxın lokallaşmış hallarının enerji yayılması isə  $\Delta E=0.01\text{eV}$  olmuşdur.  $\Delta E$ -nin qiyməti təqribən  $\text{CuFeTe}_2$ -də sıçrayışın aktivləşmə enerjisinin orta qiymətinə uyğundur bu da  $\Delta W=0.005\text{eV}$ -dur.  $\text{CuFeTe}_2$  zolaq boşluğunda lokallaşmış halların təxmini konsentrasiyası  $N_t=5.3 \times 10^{19}\text{sm}^{-3}$  olmuşdur.

8. Eksperimental tədqiqatlar göstərdi ki, maqnit qarşılıqlı təsirləri ( $\text{Cu}^+-\text{Te}^{2-}-\text{Fe}^{3+}-\text{Te}^{2-}$ ) antiferromaqnit “klasterlər”dir. Qeyd etmək lazımdır ki,  $\text{CuFeTe}_2$  (a, b və c) tipli bu halkopirit monokristallarında maqnit strukturu səkkiz formul vahidindən ibarətdir -  $8(\text{CuFeTe}_2)$   $Z=8$ , belə ki, kristal strukturda isə  $Z=1$ -dir.  $\text{Fe}^{3+}$  kationları iki  $\text{Te}^{2-}$  anionları arasında yerləşir və maqnit spinləri bir-birinə əks (antiferromaqnit olaraq) (001) müstəvisinə paralel yönəlmişdir.

9. Bu halda iki  $\text{Te}^{2-}$  3p valent elektrondan biri  $\text{Fe}^{3+}$  keçid metal ionunun (beş 3d elektronu ilə) yarıdolu təbəqəsinə köçürülə bilər və Hund qaydasına uyğun olaraq onun spini beş d-elektronun spininə antiparalel olacaqdır. Tellur ionlarında qalan ikinci elektronun spini birinci elektronun spininə antiparalel olacaqdır (Pauli istisna prinsipinə uyğun olaraq). Qoşalaşmamış elektronların antiparalel düzülüşü ilə eyni əlaqə tellur ionunun əks tərəfində yerləşən digər metal ionu ( $\text{Fe}^{3+}$ ) ilə də baş verə bilər.

10. Aşkar edilmiş spin-şüşə ( $T_g=55\text{K}$ ) və antiferromaqnit ( $T_N=65\text{K}$ ) faza keçidləri kvaziikiölçülü materiallar üçün xarakterik olan istilik nunumunun  $C_p/T$ -nin  $T$ -dən asılılığında istilik tutumunun əyilməsi ilə xarakterizə olunur.

11. Anizotropiya parametri  $\eta=0.309$ . Üç ölçülü (3D) Debay temperaturu  $\Theta_D=176.9\text{K}$  və ikiölçülü (2D) Debay temperaturu  $\theta_2=122.2\text{K}$  tapılır.

**Üçüncü fəsildə** aşağıölçülü  $\text{TlFeX}_2$  ( $X = \text{S}$  və  $\text{Se}$ ) maqnetiklərin və onların  $(\text{TlFeS}_2)_{1-x}(\text{TlGaS}_2)_x$  və  $(\text{TlFeSe}_2)_{0.5}(\text{TlGaSe}_2)_{0.5}$  bərk məhlullarının 77-400K temperatur intervalında aparılan tədqiqatlarının nəticələri təqdim olunmuşdur.

$\text{TlFeX}_2$  üçqat birləşmələri maddənin digər qrupları ilə müqayisədə 3d- birləşmələrdir və son dərəcədə müxtəlif elektrik xassələrinə malikdirlər.  $\text{TlFeX}_2$  üçqat birləşmələri

anizotrop maqnit yarımkeçiricilər sinfinə aiddir.  $\text{TlFeS}_2$  və  $\text{TlFeSe}_2$  monokristalları dəyişdirilmiş Bricmen - Stokbarger metodu ilə yetişdirilmişdir. Aparılan struktur tədqiqatları göstərmişdir ki, alınan  $\text{TlFeS}_2$  kristalları zəncirvari struktura malik olub kristal qəfəsin parametrləri aşağıdakı qiymətlər alır:  $a=1.1643$ ,  $b=0.5306$ ,  $c=0.6802\text{nm}$ ;  $\beta=116.75^\circ$ , fəza qrupu  $C2/m$ .  $\text{TlFeSe}_2$  elementar özəyin parametrləri  $a=1.202$ ,  $b=0.55$ ,  $c=0.713\text{nm}$ ;  $\beta=118.52^\circ$  olan monoklin sinoniyada kristallaşır.

Elektrik ölçmələri üçün nümunələr  $\text{TlFeS}_2$  və  $\text{TlFeSe}_2$  kristal liflərinə təziq altında presslənmiş, onlar müvafiq olaraq  $12.5 \times 5.0 \times 1.3\text{mm}^3$  və  $12.5 \times 5.0 \times 2.3\text{mm}^3$  ölçüləri olan paralelepiped şəklini aldılar. Preslənmiş ( $P=10^3\text{kq/sm}^2$ ) nümunələr daha sonra 450K temperaturda tavllanmışdır. Omik kontaktlar misin elektrolitik çökməsi ilə yaradılmışdır.  $\text{TlFeS}_2$  və  $\text{TlFeSe}_2$  nümunələrinin elektrik keçiriciliyi ( $\sigma$ ) və termo-EHQ əmsalları ( $S$ ) 85÷400K temperatur diapazonunda dörd zond üsulu ilə ölçüldü [78, 154, 166].

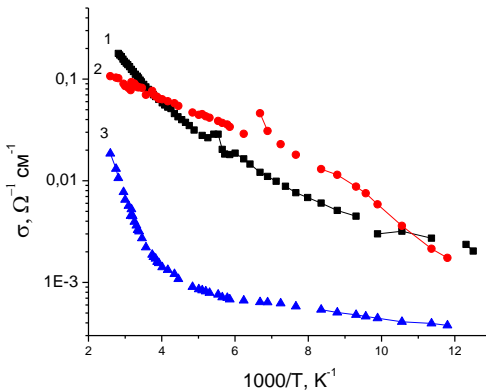
Néel temperaturunda elektrik keçiriciliyinin  $\sigma(T)$  temperaturdan asılılığından keçiriciliyin kiçik əyilməsi müşahidə olunur ki, bu da sıçrayış prosesinin aktivləşmə enerjisinin dəyişməsi ilə izah olunur. Təcrübə nəticələrindən aydın olur ki,  $T < 200\text{K}$ -da  $\text{TlFeS}_2$  nümunəsinin keçiriciliyi və  $\text{TlFeSe}_2$  nümunəsi üçün 250K-dən yuxarı olan temperaturlardan asılı deyil. Temperaturdan asılı olmayan keçiricilik bu kristalların antiferromaqnit nizamının (müvafiq olaraq  $T_N=196\text{K}$  və  $290\text{K}$ ) dağılması ilə bağlı ola bilər<sup>3</sup>.

$\text{TlFeS}_2$  birləşməsinin termo-EHQ  $S(T)$  temperaturdan asılılığından Neel temperaturunda  $T_N=196\text{K}$ ,  $\text{TlFeSe}_2$  üçün isə  $290\text{K}$  işarəli inversiya var.  $S_p$ -d qarşılıqlı təsirinin formalaşmasına təsiri termo-EHQ-nin temperaturdan asılılığı işarənin dəyişməsindən və yüksək temperaturda mənfə  $S(T)$  kəsiyinin görünməsindən ibarətdir. Temperaturun daha da artması əvvəllər tamamilə doldurulmuş bu alt zonanın tükənməsinə səbəb olur. Sonuncu, verilmiş d-alt sistemində dəşiklər vasitəsilə cərəyan daşıyıcılarının sayının artmasına səbəb

---

3 Seidov, Z. Magnetic susceptibility and ESR study of the covalent-chain antiferromagnet  $\text{TlFeS}_2$  and  $\text{TlFeSe}_2$  / Z. Seidov, H.-A. Krug von Nidda, J. Hemberger [et al.] // Physical review B, - 2001, vol. 65, - p.014433.

olur. Eyni zamanda, enerjiləri aşağı sürüşən digər d-alt sistemində daşıyıcıları da artır.  $\text{TlFeS}_2$  və  $\text{TlFeSe}_2$  birləşmələri üçün aparılan maqnit tədqiqatları  $\text{TlFeS}_2$  monokristalları üçün  $T_N=196\text{K}$  və  $\text{TlFeSe}_2$  üçün  $T_N=290\text{K}$ -dan aşağı antiferromaqnit faza keçidinin olduğunu göstərir.  $2\div 400\text{K}$  temperatur diapazonunda  $\text{TlFeS}_2$  və  $\text{TlFeSe}_2$  monokristalları üçün maqnit həssaslığının ölçülməsi kvazibirövlü antiferromaqnitlərə xas olan davranış xarakteristikasını göstərdi. Bu maqnit tədqiqatları neytron difraksiyası və EPR ölçmələri ilə uyğun gəlir.  $(\text{TlFeS}_2)_{0.975}(\text{TlGaS}_2)_{0.025}$  bərk məhlulda keçiriciliyin temperaturdan asılılığının və termo-EHQ əmsalının tədqiqi şəkil 5-də göstərilmişdir.



Şəkil 5.  $(\text{TlFeS}_2)_{0.975}(\text{TlGaS}_2)_{0.025}$  nümunəsinin  $\sigma(1000/T)$  elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılıqları göstərilmişdir;

1 - monokristal ( $\sigma_{\text{mon}}$ ), 2 –  $a$  oxu boyunca presslənmiş monokristal ( $\sigma_p$ ) və 3 –ovulmuş və presslənmiş monokristal ( $\sigma_{\text{ovul.p}}$ ).

Elektrik ölçmələri üçün  $(\text{TlFeS}_2)_{0.975}(\text{TlGaS}_2)_{0.025}$  nümunələri paralelepiped formasına malik idi: 1 - monokristal  $14.48 \times 1.4 \times 1.26 \text{mm}^3$  və 2 - presslənmiş monokristal

10.9x5.27x1.0mm<sup>3</sup>, 3 – ovulmuş və preslənmiş monokristal 8.7x5.09x1.14mm<sup>3</sup>.

Kristalların baş və ayaq müstəvisinə kontaktlar misin elektrolitik çökməsi ilə yaradılmışdır. Alınmış nümunələrin elektrik keçiriciliyinin ( $\sigma$ ) və termo-EHQ-nin (S) temperaturdan asılılıqları 80÷355K temperatur diapazonunda dördzondlu üsulla 3%-ə qədər dəqiqliklə ölçülmüşdür. Elektrik ölçmələri zamanı tədqiq olunan nümunələrə tətbiq olunan xarici sabit elektrik sahəsi amplitudası VAX-nin omik bölgəsinə uyğun gəlirdi [1, 60, 85, 87].

Təcrübə göstərir ki, əvəzedici kationların aşağı konsentrasiyalarında (10%-ə qədər) bərk məhlulların müqaviməti adətən artır. Bu, aşağı konsentrasiyalarda əvəz edilmiş kationların kristallarda bərabər paylanma bilməyəcəyini göstərə bilər, bunun nəticəsində kristal simmetriyasının yerli pozuntuları baş verir. Bu, elektronların sərbəst yolunun və müvafiq olaraq onların hərəkətliliyinin azalmasına səbəb ola bilər.

Bərk məhlullarda əvəzedici qallium katyonunun (x) konsentrasiyasının artması ilə, praktikada keçiriciliklə ifadə olunan aşqar mərkəzləri arasında qarşılıqlı təsir mexanizmi işə düşür. Temperatur yüksəldikcə daxili keçirici mexanizm tədricən təsir göstərməyə başlayır və  $\ln\sigma=f(T)$  asılılığı eksponensial olur.

Şəkil 5-dən hesablanmışdır ki,  $TiFe_{0.975}Ga_{0.025}S_2$  nümunələrinin aktivləşmə enerjisi ( $\Delta E_a$ ) paramaqnit bölgəsində Neel temperaturundan yuxarı temperatur diapazonunda: 1 - monokristal üçün  $\Delta E_{a_{mon}}=0.083eV$ , 2 - preslənmiş monokristal üçün  $\Delta E_{a_p}=0.103eV$  və 3 – ovulmuş və presslənmiş monokristal üçün isə  $\Delta E_{a_{ovul.p}}=0.337eV$  olmuşdu.  $T_N$ -dən aşağı temperaturda maqnit düzülüşlü bölgə, aktivləşmə enerjisi: 1 – monokristal üçün  $\Delta E_{a_{mon}}=0.137eV$ , 2 – preslənmiş monokristal üçün  $\Delta E_{a_p}=0.063eV$  və 3 – ovulmuş və preslənmiş monokristal üçün isə  $\Delta E_{a_{ovul.p}}=0.02eV$  olmuşdur. Bu aktivləşdirmə enerjilərinin fərqləri müvafiq olaraq 1 – 0.054, 2 – 0.04 və 3 – 0.317eV olmuşdur ki, bu da enerjinin AFM faza keçidində dağılmasına sərf edilmişdir.

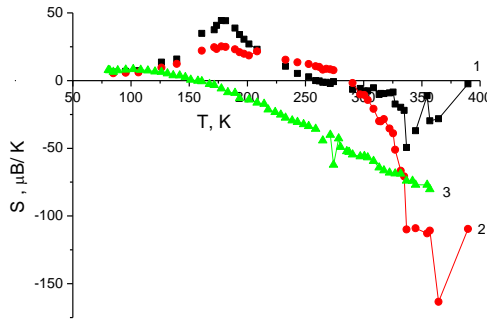
Şəkil 6-da,  $TiFe_{0.975}Ga_{0.025}S_2$  bərk məhlulunun termo-EHQ-nin S(T) temperaturdan asılılığı göstərilmişdir.

1 - monokristal  $S_{\text{mon}}$ , 2 - preslənmiş  $S_p$  və 3 – ovulmuş və preslənmiş  $S_{\text{ovul.p}}$ , Neel temperaturunda ( $T_N$ ) müxtəlif qiymətlər alır. Neel temperaturunda  $\text{TlFe}_{0.975}\text{Ga}_{0.025}\text{S}_2$  bərk məhlulunun maqnit faza keçidinin temperaturunda termo-EHQ aşağıdakı qiymətləri alır:

1 – monokristal  $S_{\text{mon}}=0 \mu\text{V}$  ( $T_N=150\text{K}$ ),

2 - preslənmiş  $S_p=44\mu\text{V}$  ( $T_N=180.5\text{K}$ ) və

3 – ovulmuş və preslənmiş  $S_{\text{ovul.p}}=24,8\mu\text{V}$  ( $T_N=180,5\text{K}$ ). Bu nəticələr göstərir ki, mexaniki hərəkətlər antiferromaqnit faza keçidinə təsir göstərir.



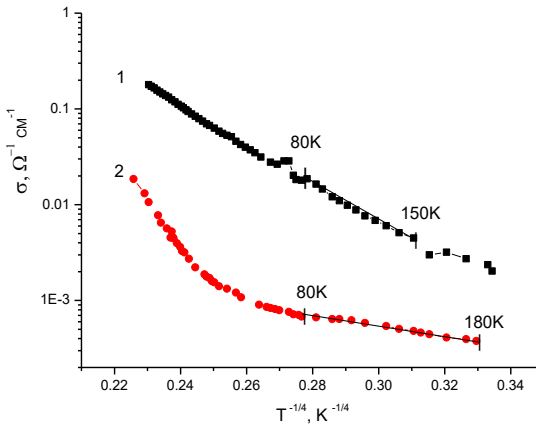
Şəkil 6. Nümunələrin termo-EHQ  $S(T)$  temperaturdan

asılılıqları  $(\text{TlFeS}_2)_{0.975}(\text{TlGaS}_2)_{0.025}$ ; 1 - monokristal ( $S_{\text{mon}}$ ), 2 –  $a$  ox boyunca preslənmiş monokristal ( $S_p$ ) və 3 – ovulmuş və presslənmiş ( $S_{\text{ovul.p}}$ ).

Neel temperaturunda  $\rho(T)$ -də xüsusi müqavimətin asılılığında kiçik sınıma müşahidə olunur ki, bu da sıxrayış prosesinin aktivləşmə enerjisinin dəyişməsi ilə izah olunur. Eksperimental nəticələr göstərir ki,  $T < 200\text{K}$  qiymətlərdə  $\text{TlFeS}_2$  nümunəsinin keçiriciliyi temperaturdan asılı deyil. Temperaturdan asılı olmayan keçiricilik bu kristalın antiferromaqnit nizamlılığının ( $T_N=196 \text{ K}$ ) dağılması ilə əlaqədar ola bilər.

$T_N=196\text{K}$ -də  $\text{TlFeS}_2$  birləşməsinin  $S(T)$  asılılığında işarənin inversiyası baş verir.  $S_p$ -d qarşılıqlı təsirinə termo-EHQ-nin

temperatur asılılığının formalaşmasına təsiri işarənin dəyişməsindən və yüksək temperaturda  $S(T)$  asılılığında mənfi hissənin meydana gəlməsindən ibarətdir. Temperaturun sonrakı artması əvvəllər tamamilə dolmuş alt zonanın boşalmasına gətirir. Sonuncu, verilmiş d-alt sistemdə cərəyan daşıyıcılarının sayında dəşiklərin artmasına səbəb olur. Bununla eyni zamanda, enerjiləri aşağıya doğru yerini dəyişən başqa bir d-alt sistemdə, cərəyan daşıyıcıların sayı da artır.  $TiFeS_2$  və  $TiFeSe_2$  birləşmələri üçün aparılan maqnit tədqiqatları  $TiFeS_2$  monokristalları üçün  $T_N=196K$  və  $TiFeSe_2$  üçün isə  $T_N=290K$  olaraq göstərdi ki, bu temperaturlarından aşağıda antiferromaqnit faza keçidinin mövcuddur.  $TiFeS_2$  və  $TiFeSe_2$  monokristallarının maqnit qavrayıcılığının ölçülməsi, 2-400 K temperatur intervalında kvazi-bir ölçülü antiferromaqnitlər üçün xarakterik olan davranışı göstərdi. Bu maqnit tədqiqatları neytronoqrafik və EPR ölçmələri ilə uzlaşır.



Şək.7.  $TiFe_{0.975}Ga_{0.025}S_2$   $\sigma(T^{-1/4})$  nümunəsinin keçiriciliyinin Motta koordinatında temperatur asılılığı: 1-monokristal, 2-preslənmiş monokristal.

Yç qat bərt məhlulun  $(TiFeS_2)_{1-x}(TiGaS_2)_x$   $x=0.025$  qiymətində elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığı  $\sigma(1000/T)$  temperaturun azalması ilə monoton azalan aktivasiya enerjisi ilə xarakterizə olunur. 80÷180K temperaturlarda (maqnit nizamlılıq

halı) bərk məhlulda keçiriciliyin bu davranış xarakteri, cərəyanın Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış hallarda yerləşən yük daşıyıcıları tərəfindən köçürüldükdə, yük daşınmasının dəyişən uzunluqlu sıçrayış mexanizminə xasdır. Bu halı Mott koordinatlarında  $\lg(\sigma) = f(T^{-1/4})$  yenidən qurulmuş keçiriciliyin temperaturdan asılılığı da sübut etmişdir

Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış halların sıxlığı  $N_F = 2.9 \times 10^{19} \text{eV}^{-1} \text{sm}^{-3}$  olaraq qiymətləndirilmişdir. Bu hal üçün lokalizasiya radiusu üçün binar GaS-dən  $a_L = 1.4 \text{nm}$  qiyməti götürülmüşdür.  $\text{TlFeS}_2$  üçün  $N_F = 1.7 \times 10^{18} \text{eV}^{-1} \text{sm}^{-3}$ . Öyrənilən  $(\text{TlFeS}_2)_{1-x}(\text{TlGaS}_2)_x$  nümunələrində  $80 \div 180 \text{K}$  müxtəlif temperaturlarda yük daşıyıcıların sıçrayış uzunluğu ( $R_L$ ) hesablanmışdır.  $\text{TlFe}_{0.975}\text{Ga}_{0.025}\text{S}_2$ -də  $80 \div 180 \text{K}$  temperaturlarda  $R_{\text{or}} = 6.2 \text{nm}$ , nisbət  $R_{\text{or}}/a_L = 4.4$  olmuşdur. Qeyd edək ki,  $\text{TlFeS}_2$ -də  $R_{\text{or}} = 10.9 \text{nm}$  qiymətindədir.  $(\text{TlFeS}_2)_{1-x}(\text{TlGaS}_2)_x$  (burada  $x = 0.025$ ) bərk məhlul üçün Fermi səviyyəsi yaxınlığında olan tələ hallarının enerji səpilməsi  $\Delta E = 0.07 \text{eV}$ , dərin tələlərin konsentrasiyası isə  $N_t = 2 \times 10^{18} \text{sm}^{-3}$  olmuşdur. (Şək.7).

$128-178 \text{K}$  temperatur oblastında  $(\text{TlFeSe}_2)_{0.5}(\text{TlGaSe}_2)_{0.5}$  bərk məhlulunlaylı monokristalında təbii təbəqələr boyunca sabit elektrik sahəsində sıçrayış keçiriciliyinin olduğu müəyyən edilmişdir. Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış  $N_F = 2.8 \times 10^{17} \text{eV}^{-1} \text{sm}^{-3}$  hallar üzrə dəyişkən sıçrayışuzunluqlu keçiricilik və onların səpələnməsi  $\Delta E = 0.13 \text{eV}$ ,  $R_{\text{or}} = 23.3 \text{nm}$  və dərin tələlərin konsentrasiyası  $N_t = 3.6 \times 10^{16} \text{sm}^{-3}$  olur.

Ferromaqnitlərdə, antiferromaqnitlərdə və ferrimaqnitlərdə, atomların spinləri və onlarla əlaqəli maqnit momentləri həyəcanlanma olmadıqda ciddi şəkildə nizamlıdırlar. Maqnit sisteminin həyəcanlanma halı spinin tarazlıq vəziyyətindən kənara çıxması ilə əlaqədardır. Atomlar arasındakı qarşılıqlı təsir səbəbindən belə kənara çıxmalar lokallaşmır, ancaq maqnit mühitində dalğa şəklində yayılır.  $(\text{TlFeSe}_2)_{0.5}(\text{TlGaSe}_2)_{0.5}$  bərk məhlulun  $\rho(T)$  əyrisində  $T_{\text{his}} = 109 \div 120 \text{K}$ -də, temperatur histerizisi müşahidə olunur ki, bu da  $T_1 \approx 117.2 \text{K}$ -də qeyri-mütənasib fazaya keçid ( $\text{TlGaSe}_2$ ) və  $T_C \approx 114 \text{K}$ -də isə mütənasib fazaya keçidlə əlaqələndirilir.

Keçiriciliyin  $\sigma$ -nin  $1000/T$ -dən asılılığının aşağı temperatur qolunda temperaturun azalması ilə monoton şəkildə azalan aktivləşmə enerjisi ilə xarakterizə olunurdu.  $TiFeS_2$ ,  $(TiFeS_2)_{0.975}(TiGaS_2)_{0.025}$  və  $(TiFeSe_2)_{0.5}(TiGaSe_2)_{0.5}$ -də kükürd üçün 80 K-dən 180 K-ə qədər və selen üçün 300 K-ə qədər aşağı temperaturda keçiriciliyin bu cür davranışı yük daşınmanın sıçrayış mexanizmi üçün xarakterikdir. Bu halda, cərəyan Fermi səviyyəsinə yaxın lokallaşdırılmış olan yük daşıyıcıları tərəfindən aparılır. Bu, həmçinin Mott koordinatlarında  $\lg\sigma=f(T^{-1/4})$  yenidən qurulan keçiriciliyin temperatur asılılığı ilə də göstərilmişdir.

Yuxarıda göstərilənlərdən aşağıdakı nəticələri çıxarmaq olar:

1. Müəyyən etdik ki,  $TiFeS_2$ -nin Mott koordinatlarında  $\lg\sigma=f(T^{-1/4})$  yenidən qurulmuş  $\sigma(T)$  keçiriciliyinin temperaturdan asılılığından müxtəlif temperaturlarda sıçrayış məsafələrini qiymətləndirmək üçün istifadə edilə bilər. Beləliklə,  $T=230K$ -də  $R_L=10.7nm$ ,  $T=203K$ -də  $R_L=11$  nm qiymətlərini alır. Göstərilən temperatur intervalında orta sıçrayış məsafəsi  $R_{or}=10.9$  nm, nisbət isə  $R_{or}/a_L=8$ , yəni orta sıçrayış məsafəsi yük daşıyıcısının lokallaşma mərkəzləri arasındakı orta məsafəni əhəmiyyətli dərəcədə üstələyir.  $TiFeS_2$  nümunəsinin  $R_{or}$  qiymətlərindən Fermi səviyyəsinə yaxın tələ hallarının enerji paylanması qiymətləndirilmişdir: 1 -  $\Delta E=0.005eV$  və 2 -  $\Delta E=0.007eV$ .

2. Göstərilir ki,  $TiFeS_2$  birləşməsinin elektrik keçiriciliyinin  $\sigma(T)$  və termo-EHQ  $S(T)$  temperatur asılılıqları anomaliyalara malikdir. Belə ki, antiferromaqnit faza keçidi zamanı  $T_N=196K$ -də elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılıqlarında sınıma, termo-EHQ asılılıqlarında isə p-tipdən n-tipə işarəli inversiya müşahidə olunurdu.

Preslənmiş  $TiFeS_2$  üçün maqnit faza keçidinin dağılmasına hesablanmış enerjisi 0,129 eV-dir.

3. Hesablanmışdır ki,  $(TiFeS_2)_{0.975}(TiGaS_2)_{0.025}$  bərk məhlulunda Mott koordinatlarında qurulmuş asılılığının maillik bucağının tangensi  $T_0=2.3 \times 10^6 K$ -ə bərabərdir ki, bu da Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış hallarının sıxlığını qiymətləndirməyə imkan verir. Lokallaşmış Fermi halları ( $N_F$ ) monokristal üçün  $N_F=1.7 \times 10^{18} eV^{-1} sm^{-3}$  və preslənmiş monokristal



üçün  $N_F=2.9 \times 10^{18} \text{eV}^{-1} \text{sm}^{-3}$  bərabər olur. Hesablanmışdır ki,  $80 \div 180 \text{K}$  temperatur intervalında müxtəlif temperaturalarda tədqiq olunmuş  $(\text{TlFeS}_2)_{0.975}(\text{TlGaS}_2)_{0.025}$  nümunələrində yük daşıyıcının sıçrayış uzunluğu ( $R_L$ )  $T=80 \text{K}$ -da  $6.8 \text{nm}$ ,  $T=180 \text{K}$ -da isə  $5.6 \text{nm}$ -dir. Beləliklə,  $(\text{TlFeS}_2)_{0.975}(\text{TlGaS}_2)_{0.025}$ -nin  $80 \div 180 \text{K}$  (antiferromaqnit nizamlılıq) temperatur diapazonunda orta sıçrayış məsafəsi  $R_{or}=6,2 \text{nm}$  olmuşdur.  $R_{or}$ -ın qiyməti yük daşıyıcılarının lokalizasiya mərkəzləri arasındakı orta məsafəsinin lokalizasiya radiusuna nisbəti  $4.4$  dəfə yüksək olmuşdur, yəni  $R_{or}/a_L=4.4$ -dür.  $0.106 \text{eV}$  və  $0.013 \text{eV}$  olan maqnit nizamlı və paramaqnit fazalar arasında aktivləşmə enerjisi fərqinin qiyməti monokristalın və presslənmiş bərk məhlulların  $(\text{TlFeS}_2)_{0.975}(\text{TlGaS}_2)_{0.025}$  maqnit faza keçidinin dağılmasına sərf edilən enerjisidir.

4.  $(\text{TlFeS}_2)_{0.975}(\text{TlGaS}_2)_{0.025}$  bərk məhlulunun termo-EHQ  $S(T)$  temperatur asılılığında göstərilmişdir ki,  $T_N=150 \text{K}$ -də monokristalda  $S_{mon}=0 \mu\text{V}$ -də p-tipdən n-tipə işarə inversiyasına məruz qalır.  $T_S=255 \text{K}$ -də presslənmiş monokristalda  $S_p=0 \mu\text{V}$  və  $T_S=284 \text{K}$ -da sürtülmüş presslənmiş monokristalda  $S_{ovul,p}=0 \mu\text{V}$  olur. Termo-EHQ-nin bu qiymətləri göstərir ki, alt zonanın p tipli elektronlar tərəfindən yaradılan dar enerji zolağı temperatur artması ilə dağılır.  $150 \div 180 \text{K}$  oblastda  $\text{TlFe}_{0.975}\text{Ga}_{0.025}\text{S}_2$  nümunələrinin elektrik müqavimətlərinin temperaturdan nisbi asılılığında  $\rho/\rho_m(T)$ : presslənmiş müqaviməti  $p/\rho_m(T)$  və sürtülüb presslənmiş müqaviməti  $\rho_{sür,p}/\rho_m(T)$  antiferromaqnit faza keçidi ilə əlaqəli anomalialar var.

5. Müəyyən edilmişdir ki,  $\text{TlFeSe}_2$  birləşməsinin nümunələrində  $\lg \sigma = f(T^{-1/4})$  temperatur asılılığından Fermi səviyyəsinə yaxın lokallaşmış halların sıxlığı hesablanmışdır ki, bu da  $N_F=3,3 \times 10^{18} \text{eV}^{-1} \text{sm}^{-3}$  olmuşdur.  $\text{TlFeSe}_2$  birləşməsində orta sıçrayış məsafəsi  $R_{or}=10.4 \text{nm}$  olmuşdur. Temperaturun artması ilə termo-EHQ əmsalı bir qədər artmış, Neel temperaturunda  $T_N=290 \text{K}$  maksimum qiymətinə çatmış, sonra  $T=340 \text{K}$ -də sıfıra enmiş, bundan sonra p-tipindən n-tipinə işarə inversiyası olmuşdur.  $T=400 \text{K}$ -da termo-ehq ( $S$ )  $-20 \mu\text{K}$ -ya çatır. Presslənmiş  $\text{TlFeSe}_2$  üçün maqnit faza keçidinin dağılmasının hesablanmış enerjisi  $0.29 \text{eV}$ -dur.

6.  $\text{TlGa}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}\text{Se}_2$  bərk məhlulunun laylı monokristalında  $128\div 178\text{K}$  diapazonunda elektrik keçiriciliyinin  $\lg\sigma=f(T^{-1/4})$  temperaturdan asılılığına əsaslanaraq onun təbii layları boyunca Fermi səviyyəsinə yaxın lokallaşdırılmış halların yaxınlığında sabit elektrik sahəsində dəyişən uzunluqlu sıçrayış keçiriciliyi baş verdiyi müəyyən edilmişdir. Fermi səviyyəsinin yaxınlığında sıxlıq  $N_F=2.8\times 10^{17}\text{eV}^{-1}\text{sm}^{-3}$ , onların yayılması  $\Delta E=0.13\text{eV}$ , sıçrayışların orta məsafəsi  $R_{or}=23.3\text{nm}$ , eləcə də dərin tələlərin konsentrasiyası bu monokristalda  $N_t=3.6\times 10^{16}\text{sm}^{-3}$ -dir.

7. Müəyyən edilmişdir ki,  $(\text{TlFeSe}_2)_{0.5}(\text{TlGaSe}_2)_{0.5}$  bərk məhlulunda  $T_{his}=109\div 120\text{K}$  temperaturda elektrik keçiriciliyinin  $\sigma(T)$  temperatur asılılığında temperatur histerizisi mövcuddur ki, bu da  $\text{TlGaSe}_2$  birləşməsinin  $T_I\approx 117.2\text{K}$ -da qeyri-mütənasib fazaya və  $T_S\approx 114\text{K}$ -da mütənasib seqnetelektrik fazaya faza keçidi ilə bağlıdır.

8. Göstərilmişdir ki,  $T_S=327\text{K}$  temperaturda  $(\text{TlFeS}_2)_{0.95}(\text{TlGaS}_2)_{0.05}$  antiferromaqnitinin termo-EHQ-nin  $S(T)$  temperatur asılılığında termo-EHQ p-dən n-tipinə keçid inversiyası və  $T_N=190.9\text{K}$ -də  $\rho(T)$  asılılığında sınıma baş verir. Beləliklə,  $(\text{TlFeS}_2)_{0.9}(\text{TlGaS}_2)_{0.1}$  və  $(\text{TlFeS}_2)_{0.975}(\text{TlGaS}_2)_{0.025}$  antiferromaqnitlər üçün  $T_S=150\text{K}$ -də termo-EHQ-nin p-tipindən n-tipinə inversiyası və  $\rho(T)$ -də müvafiq olaraq  $T_N=176.1\text{K}$  və  $T_N=150\text{K}$  temperaturlarda qırılma olur.

9. Müəyyən edilmişdir ki,  $(\text{TlFeS}_2)_{0.975}(\text{TlGaS}_2)_{0.025}$  bərk məhlulunun  $80\text{K}$ -dən  $T_N$ -ə qədər termo-EHQ  $S(T)$  temperaturdan asılılığında işarə müsbət (p-tip) olmuşdur və bu da göstərilən temperatur intervalında tədqiq edilən nümunələrdə p-tip keçiricilik olduğunu göstərir. Temperaturun artması ilə Néel temperaturunda  $T_N=150\text{K}$ -də bərk məhlulun monokristalları üçün termo-EHQ-də inversiya baş verir. Bu bərk məhlulunun  $a$  oxu boyunca preslənmiş monokristalı və bərk məhlulun ovulmuş preslənmiş monokristalı üçün  $T_N=180.5\text{K}$ -dir. Preslənmiş və ovulmuş preslənmiş monokristallar üçün termo-EHQ-nin işarəsinin inversiyası uyğun olaraq  $255\text{K}$  və  $284\text{K}$ -də baş verir.  $(\text{TlFeS}_2)_{0.975}(\text{TlGaS}_2)_{0.025}$  bərk məhlulunun hər üç nümunəsinin Neel temperaturundan sonra  $355\text{K}$ -ə qədər termo-EHQ n-tipidir.

**Dördüncü fəsil**də aşağı ölçülü  $\text{TlCrS}_2$ ,  $\text{TlCrSe}_2$ ,  $\text{TlCoS}_2$ ,  $\text{TlCoSe}_2$  və  $(\text{TlGaS}_2)_{0.95}(\text{TlCoS}_2)_{0.05}$  bərk məhlulun 77 - 400K temperaturu intervalında elektrik və termoelektrik xassələrinin tədqiqatlarının nəticələri təqdim olunmuşdur.

$\text{TlCrS}_2$  və  $\text{TlCrSe}_2$ -nin rentgenoqrafik analizi otaq temperaturunda DRON-3M diffraktometrində  $\text{CuK}_\alpha$  şüalanma ilə aparılmışdır.

$\text{TlCrS}_2$  və  $\text{TlCrSe}_2$ -nin sintez edilmiş tərkibi heksaqonal sinqoniyada (fəza qrupu  $R\bar{3}m$ ) kristallaşır, qəfəsin parametrləri:  $\text{TlCrS}_2$  üçün  $a=0.3538\text{nm}$ ,  $c=2.1962\text{nm}$ ,  $c/a \sim 6.207$ ,  $Z=3$  və  $\rho_x=6.705\text{q/sm}^3$   $\text{TlCrSe}_2$  üçün isə  $a=0.36999\text{nm}$ ,  $c=2.26901\text{nm}$ ,  $c/a \approx 6.133$ ,  $Z=3$  və  $\rho_x=6.209\text{q/sm}^3$  olur. 77÷400K temperatur intervalında  $\text{TlCrS}_2$  və  $\text{TlCrSe}_2$  laylı birləşmələrində elektrik xassələri və termoelektrik tədqiqatları göstərdi ki, bu birləşmələr elektrik keçiriciliyi p-tip olan yarımkəçirici xarakterə malikdir. Aydın olmuşdur ki, ferromaqnit nizamlılıq oblastında  $\text{TlCrS}_2$  üçün aktivləşmə enerjisi  $\Delta E_a=0.008\text{eV}$ ,  $\text{TlCrSe}_2$  üçün isə  $\Delta E_a=0.006\text{eV}$  qiymətləri alır. Paramaqnit temperatur oblastında  $\text{TlCrS}_2$  və  $\text{TlCrSe}_2$  üçün aktivləşmə enerjisi müvafiq olaraq  $\Delta E_a=0.018\text{eV}$  və  $\Delta E_a=0.018\text{eV}$  olur. Bu birləşmələrin Küri temperaturları  $\text{TlCrS}_2$  üçün  $T_C=125\text{K}$  və  $\text{TlCrSe}_2$  üçün isə  $T_C=140\text{K}$ , effektiv maqnit momentləri müvafiq olaraq  $\mu_{\text{eff}}=3.59$  və  $\mu_{\text{eff}}=3.71\mu_B$  olan ferromaqnitlərdir<sup>4</sup>. 80÷300K temperatur diapazonunda  $\text{TlCrS}_2$  nümunəsi üçün  $\text{Lg}\sigma$ -nin  $T^{-1/4}$ -dən asılılığı Mott koordinatlarında verilmişdir. 80÷190K diapazonunda  $\text{TlCrS}_2$  birləşməsi üçün  $T^{-1/4}$ -dən  $\text{Lg}\sigma$  koordinatlarında keçiriciliyin temperaturdan asılılığının qurulmuş. qrafiki bir xəttin üzərində düzülüşdür.  $\text{Lg}\sigma$ -nin  $T^{-1/4}$ -dən asılılığının mailliyindən  $T_0=6.3 \times 10^4\text{K}$  qiyməti müəyyən edilmişdir. Eksperimental tapılmış  $T_0$  dəyərindən  $\text{TlCrS}_2$   $NF=8,2 \times 10^{19}\text{eV}^{-1}\text{sm}^{-3}$ -də Fermi səviyyəsinə yaxın lokallaşdırılmış vəziyyətlərin sıxlığı müəyyən edilmişdir. Bu halda lokalizasiya radiusu üçün  $a_L=3.3\text{nm}$  dəyəri götürülüb.  $\text{TlCrS}_2$  kristalında müxtəlif temperaturlarda sıçrayış məsafəsi müəyyən edilmişdir. Beləliklə,  $T=80\text{K}$ -da qiymət  $R_L=6.6\text{nm}$ ,  $T=190\text{K}$ -da isə

---

<sup>4</sup> Rosenberg, M. Magnetic properties and structure of some ternary chromium chalcogenides with thallium and silver / M. Rosenberg, A. Knulle, H. Sabrowsky [et al.] // J. Phys. Chem. Solids, - 1982, vol. 43, № 2, - p. 87-95.

$R_L=5.3\text{nm}$ , yəni.  $\text{TlCrS}_2$ -də orta sıçrayış məsafəsi ( $R_{av}$ )  $6.0\text{nm}$  idi.  $R_{av}$  dəyəri  $\text{TlCrS}_2$ -də yük daşıyıcısının lokalizasiya mərkəzləri arasındakı orta məsafədən demək olar ki, iki dəfə yüksək idi.  $\text{TlCrS}_2$  birləşməsi üçün müxtəlif temperaturlarda ( $R_L$ ) sıçrayış məsafəsini təyin etdikdən sonra Fermi səviyyəsinə yaxın tələ vəziyyətlərinin enerji yayılmasını təyin etdik:  $\Delta E=0.027\text{eV}$ . Məhz  $\text{TlCrS}_2$  kristalının zolaq boşluğundakı  $\Delta E$  enerji zolağında sıçrayışla yük ötürülməsi baş verir. Bu zaman  $\text{TlCrS}_2$ -də sıçrayışların aktivləşmə enerjisinin  $80\div 190\text{K}$  temperatur diapazonunda müəyyən edilmiş orta qiyməti  $\Delta W=0.026\text{eV}$  olmuşdur. Sabit cərəyanda  $\text{TlCrS}_2$ -də yüklərin ötürülməsinə cavabdeh olan lokallaşdırılmış vəziyyətlərin ( $N_t$ ) konsentrasiyası da hesablanmışdır:  $N_t=N_F \times \Delta E=2.2 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ .

$\text{TlCrS}_2$  kristalının sıçrayış keçiriciliyi bölgəsində termo-EHQ-nin temperaturdan asılılığı təhlil edilmişdir. Dəyişən atlama uzunluğu ( $\log \sigma \sim T^{-1/4}$ ) ilə sıçrayış keçiriciliyinin təsir sahəsindəki materialların termo-EHQ əmsalı Mott düsturu ilə əlaqəli xətti asimptotiklərlə də xarakterizə edilə bilər. Temperaturun artması ilə, Fermi enerjisinə ( $E_F$ ) yaxın  $k_B T$ -lik bir enerji boşluğunda yük ötürülməsi zamanı metal materiallarda termo-EHQ əmsalında xətti artım müşahidə olunur. Bu, yalnız  $k_B T \ll E_F$  olduqda doğrudur. Buradan belə nəticə çıxır ki,  $T=0$ -da termo-EHQ əmsalı da sıfıra bərabərdir. Yarımkeçirici materiallardan fərqli olaraq yarımkeçiricilərin sıçrayış keçiriciliyi bölgəsində metal materiallarda termo-EHQ əmsalının ( $S$ ) temperaturdan asılılığı  $S(T)=A+BT$  (1) formasına malikdir, burada  $B$  - termo- EHQ temperatur əmsalı. Yəni  $S(T)$  əyrisinin  $T=0$ -a ekstrapolyasiyası sıfırdan keçmir. Sıçrayış bölgəsində  $S(T) \approx \text{const}$  olması da mümkündür. Beləliklə, termo-EHQ-nin nəzəri modellərinin və eksperimental məlumatların təhlilindən belə çıxır ki, sıçrayış keçiriciliyi bölgəsində termo-EHQ-i təsvir etmək üçün üç növ qanunauyğunluq mümkündür:  $S(T) \sim T^{1/2}$ ,  $S(T) \sim T$  və  $S(T) \approx \text{const}$ . Bu düsturlar yarımkeçiricilərdə ( $\text{TiMX}_2$ , burada  $M=\text{Fe, Cr}$ ;  $X=\text{S, Se}$ ) termo-EHQ əmsalının sıçrayış yük daşıyıcısının ötürülməsi bölgəsində tədqiqində sınaqdan keçirilmişdir.

$\text{TlCrS}_2$  birləşməsindəki termo-EHQ  $S(T)$ -nin temperaturdan asılılığı aşağı temperaturda, sıçrayışla yükünün daşınması baş verir,

bu halda termo-EMF temperaturun artması ilə xətti olaraq artır.  $\text{TlCrS}_2$  birləşməsinin eksperimental nəticələri (1) düsturuna uyğundur.  $T=0$ -da termo-EHQ oxunu  $-13\mu\text{V/K}$  kəsir qiymət (A) əmsalidir. Termo-EHQ-nin temperatur əmsalı  $B=0.2\mu\text{V/K}^2$  idi, yəni.  $\text{TlCrS}_2$ -də aşağı temperaturlu termo-EHQ əmsalı  $S(T)=(0.2T-13)\mu\text{V/K}$  düsturu ilə təxyin edilir.

$\text{TlCoS}_2$  və  $\text{TlCoSe}_2$ -nin sintezi  $10^{-3}\text{Pa}$  təzyiqə qədər vakuumyaradılmış kvars ampulalarında yüksək təmizliyə malik ilkin komponentlərin qarşılıqlı təsiri ilə həyata keçirilmişdir.  $\text{TlCoS}_2$  və  $\text{TlCoSe}_2$  nümunələrinin difraktoqramları eynidir və heksaqonal sinoniyaya əsasında elementar özəyin parametrləri:  $\text{TlCoS}_2$  üçün  $a=0.3726\text{nm}$ ,  $c=2.2510\text{nm}$ ,  $Z=3$  и  $\rho=6.026\text{q/sm}^3$  və  $\text{TlCoSe}_2$  üçün  $a=0.3747\text{nm}$ ,  $c=2.2472\text{nm}$  və  $Z=3$ . Kifayət qədər böyük  $c/a=6.04$  nisbətində görə,  $\text{TlCoS}_2$ -nin kvazi- iki ölçülü ferrimaqnit olduğunu qəbul etmək olar.

$\text{TlCoS}_2$  və  $\text{TlCoSe}_2$  birləşmələrin tərs maqnit qavrayıcılığının  $\chi^{-1}(T)$  temperaturdan asılılıqlarının hər ikisi hiperbolik formaya malikdir, bu da ferrimaqnitizmin əlamətidir. Paramagnet Küri temperaturu ( $\Theta_P$ )  $\chi^{-1}(T)$  asılılığını temperatur oxuna ekstrapolyasiya edərək müəyyən edilmişdir.  $\text{TlCoS}_2$  üçün Küri temperaturu  $T_C \sim 120\text{K}$  və  $\text{TlCoSe}_2$  üçün isə  $T_C \sim 75\text{K}$  olmuşdur.  $\chi^{-1}(T)$  asılılığından effektiv maqnit momentinin eksperimental qiymətləri  $\text{TlCoS}_2$  üçün  $\mu_{\text{eff}}=4.6\mu_B$  və  $\text{TlCoSe}_2$  üçün  $\mu_{\text{eff}}=4.85\mu_B$  hesablanmışdır. Üç valentli kobalt ionunun ( $\text{Co}^{3+}$ ) sırf spin qiyməti nəzərə alınmaqla hesablanan effektiv maqnit momentinin nəzəri qiyməti  $4.9\mu_B$ -dir.  $\text{TlCoSe}_2$  üçün eksperimental və nəzəri nəticələr arasında yaxşı uyğunluq müşahidə olunur.  $\text{TlCoS}_2$  üçün  $T_C \sim 120\text{K}$  və  $\text{TlCoSe}_2$  üçün  $T_C \sim 75\text{K}$  Küri temperaturları ədəbiyyat məlumatlarına uyğun gələn maqnit ölçmələrindən tapıldı.

$\text{TlCoS}_2$ -də maqnit faza keçidinin təbiətini öyrənilməsi üçün bu birləşmənin istilik tutumu tədqiq edilmişdir. Bərk cisim halının termodinamik funksiyaları (enerji, entropiya, həcm və s.) ikinci növ faza keçidi nöqtəsindən keçərkən kəsilməz qalır. Eyni zamanda, bu funksiyaların törəmələri (qavrayıcılıq, istilik tutumu və s.) bu kritik nöqtədə sıçrayışa məruz qalır. Bu səbəbdən, maqnetikin qeyri-maqnit xassələrində, məsələn, istilik tutumunda anomaliyanın

maksimumu, maqnit keçidinin vəziyyətini qiymətləndirmək üçün istifadə edilə bilər. Belə ki, kobalt-talium sulfidinin 118 K temperaturda istilik tutumunda olan kiçik pik Küri nöqtəsinə uyğun, ikinci növ zəif faza keçidi üçün xarakterikdir. Bu maksimum, ferrimaqnitin alt qəfəsinin maqnitləşməsinin kəskin temperaturdan asılılığı ilə əlaqədardır ki, bu temperaturda maqnit nizamlılığının dağılması enerjisinin əsas hissəsinin udulmasına gətirib çıxarır. Lakin  $\text{TlCoS}_2$ -də müşahidə olunan istilik tutumunun anomaliyasının qiyməti və təyin edilən maqnit entropiyası ( $\sim 8\text{J}/(\text{mol K})$ ) ferrimaqnit nizamlılığı üçün gözləniləndən daha kiçikdir. Ehtimal ki, bu, ( $T > T_C$ ) temperaturda yaxın nizamlılığın olması ilə əlaqədar ola bilər. Bu, yaxın məsafələrdə spinlərin qarşılıqlı təsiri səbəbindən kritik nöqtədən yuxarı olan temperaturlarda maqnit nizamlılığının saxlanmasından ibarətdir. Bu halda, mübadilə qüvvələri yaxın məsafələrdə nizamlılıq yaratmaq üçün kifayətdir və nizamlı spinlər klasterini (maqnitləşmə fluktasiyası) yaradır.

$\text{TlCoS}_2$  laylı ferrimaqnitin entropiyası  $\Delta S/R = 0.02 < \ln 2$  nisbətinin kiçik qiyməti, bu faza keçidinin yer dəyişmə tipli ikinci növ keçidlərə aid olduğunu göstərir.

$\text{TlCoS}_2$  və  $(\text{TlGaS}_2)_{0.95}(\text{TlCoS}_2)_{0.05}$  bərk məhlulunun keçiriciliyinin temperatur asılılığı metallar üçün xarakterikdir,  $\text{TlCoSe}_2$  üçün isə yarımkəçirici davranış baş verir.  $\text{TlCoS}_2$ ,  $(\text{TlGaS}_2)_{0.95}(\text{TlCoS}_2)_{0.05}$  bərk məhlulu və  $\text{TlCoSe}_2$  birləşmələrində maqnit nizamlılıq olan temperatur oblastında aktivasiya enerjisi uyğun olaraq  $\Delta E_a = 0.009\text{eV}$ ,  $\Delta E_a = 0.002\text{eV}$  və  $\Delta E_a = 0.005\text{eV}$ -dur. Bu ferrimaqnitlər üçün paramaqnit temperatur oblastında aktivasiya enerjisi uyğun olaraq  $\Delta E_a = 0.116\text{eV}$ ,  $\Delta E_a = 0.005\text{eV}$  və  $\Delta E_a = 0.014\text{eV}$  təşkil edir.

Yuxarıda göstərilənlərdən aşağıdakı nəticələri çıxarmaq olar:

1. Müəyyən edilmişdir ki, elektrik keçiriciliyinin  $\sigma(T)$  temperaturdan asılılığından  $\text{TlCrS}_2$  və  $\text{TlCrSe}_2$  üçün  $\Delta E_a = 0.008\text{eV}$  aktivləşmə enerjiləri ferromaqnit maqnit sıralı bölgədə (keçiddən əvvəl)  $\Delta E_a = 0.006\text{eV}$  hesablanmışdır. Eləcə də paramaqnit bölgəsində (faza keçidindən sonra)  $\text{TlCrS}_2$  və  $\text{TlCrSe}_2$  üçün müvafiq olaraq  $\Delta E_a > 0.018\text{eV}$  və  $\Delta E_a < 0.018\text{eV}$ . Preslənmiş  $\text{TlCrS}_2$  və  $\text{TlCrSe}_2$  üçün maqnit faza keçidlərinin dağılmasına hesablanmış

enerjisi müvafiq olaraq 0.01eV və 0.012eV-dir. Bu birləşmələr üçün 100K temperaturda müqavimət  $\rho=134.8\text{Om sm}$  və  $\rho=0.1025\text{Om sm}$ , 300K-da isə müvafiq olaraq  $\rho=48.2\text{Om sm}$  və  $\rho=0.1482\text{Om sm}$ -dir.

2. Göstərilmişdir ki, bütün tədqiq olunan temperatur diapazonunda ferromaqnitlər  $\text{TlCrS}_2$  ( $T_C=116.8\text{K}$ ) və  $\text{TlCrSe}_2$  ( $T_C=138\text{K}$ ) p tipli keçiriciliyə malikdirlər. Bu birləşmələr müvafiq olaraq effektiv maqnit momentləri  $\mu_{\text{eff}}=3.59$  və  $\mu_{\text{eff}}=3.71\mu_B$  olan  $\text{TlCrS}_2$  üçün Kuri temperaturu  $T_C=125\text{K}$  və  $\text{TlCrSe}_2$  üçün  $T_C=140\text{K}$  olan ferromaqnitlərdir. Üçvalentli xrom ionunun ( $\text{Cr}^{+3}$ ) maqnit momentinin sırf spin qiyməti nəzərə alınmaqla hesablanmış effektiv maqnit momentinin nəzəri qiyməti  $3.87\mu_B$ -dur.

3. Göstərilmişdir ki, 338÷370K temperatur intervalında  $\text{TlCrS}_2$  birləşməsi üçün  $S(1/T)$  asılılığının mailliyi  $\Delta E^S=0.06\text{eV}$  olmuşdur. Termo-EHQ əmsalının ( $\Delta E^S=0.06\text{eV}$ ) və elektrik keçiriciliyinin ( $\Delta E^G=0.05\text{eV}$ ) temperatur asılılığından əldə edilən aktivləşdirmə enerjisi dəyərləri bir-birinə uyğundur. Keçirilmənin aktivləşmə enerjisinin temperatur əmsalı müəyyən edilmişdir ki, bu da  $\gamma=2.06 \times 10^{-4}\text{eV/K}$ -nə bərabər olduğu halda,  $\text{TlCrS}_2$  nümunəsində optik boşluğun ( $\beta$ ) temperatur əmsalı  $\beta=2\gamma=4.12 \times 10^{-4}\text{eV/K}$ -ə bərabər olmuşdur.

4. Müəyyən etdik ki, keçiriciliyin  $\lg\sigma \sim T^{-1/4}$  temperaturdan asılılığından tapılan  $T_0=6.3 \times 10^4\text{K}$  qiyməti  $\text{TlCrS}_2$ -də Fermi səviyyəsinə yaxın lokallaşdırılmış vəziyyətlərin sıxlığını hesablamağa imkan verir ki, bu da  $N_F=8.2 \times 10^{19}\text{eV}^{-1}\text{sm}^{-3}$ -yə bərabərdir. Sıçrayış məsafəsi müxtəlif temperaturlarda müəyyən edilmişdir,  $T=80\text{K}$ -da sıçrayış məsafəsi  $R_L=6.6\text{nm}$ ,  $T=190\text{K}$ -da  $R_L=5.3\text{nm}$ -dir. Beləliklə,  $\text{TlCrS}_2$ -də orta sıçrayış məsafəsi ( $R_{\text{orta}}$ )  $6.0\text{nm}$ -dir.  $R_{\text{av}}$  məsafəsi  $\text{TlCrS}_2$  birləşməsindəki yük daşıyıcısının lokalizasiya mərkəzləri arasındakı orta məsafədən iki dəfədir.

5. Müəyyən edilmişdir ki, antiferromaqnit  $\text{TlCr}_3\text{Se}_5$  üçün 100K temperaturda müqavimət ( $\rho$ )  $23.65\text{Om sm}$ , 300K-də isə  $1.674\text{Om sm}$ -ə bərabər olmuşdur. Bütün temperatur diapazonunda  $\text{TlCr}_3\text{Se}_5$  birləşməsinin termo-EHQ p-tipində qaldı. Preslənmiş  $\text{TlCr}_3\text{Se}_5$  üçün maqnit faza keçidinin dağıdılmasının hesablanmış enerjisi  $0.007\text{eV}$ -dir.

6. Göstərilmişdir ki,  $\text{TlCoS}_2$  və  $\text{TlCoSe}_2$  üçün 100K temperaturda müqavimət müqaviməti  $\rho=0.053\text{Om sm}$  və  $\rho=0,0246\text{Om sm}$ , 300K-da isə müvafiq olaraq  $\rho=0.58\text{Om sm}$  və  $\rho=0.0448\text{Om sm}$ -dir.  $\text{TlCoS}_2$  üçün  $T_C=230\text{K}$  temperaturda ( $T_C=109.9\text{K}$ ) termo-EHQ işarəsinin p-tipindən n-tipinə çevrilməsi baş verir. Bütün temperatur diapazonunda  $\text{TlCoSe}_2$  ( $T_C=140\text{K}$ ) n tipli ferrimaqnitdir. Preslənmiş  $\text{TlCoS}_2$  və  $\text{TlCoSe}_2$  üçün maqnit faza keçidinin dağıdılmasının hesablanmış enerjisi müvafiq olaraq  $0.007\text{eV}$  və  $0.009\text{eV}$ -dur.

**Beşinci fəsilə** 77÷400K temperatur oblastında  $\text{TlNiS}_2$  və  $\text{TlNiSe}_2$  aşağı ölçülü birləşmələrin elektrik və termo-EHQ xassələri müzakirə olunur.

Yüksək dərəcədə təmiz ilkin elementlərin (Tl, Ni, S və Se) qarşılıqlı təsiri yolu ilə sintez edilmiş  $\text{TlNiS}_2$  və  $\text{TlNiSe}_2$  nümunələri rentgenofaza analizinə uğradılmışdır. RFA göstərdi ki, bu kristallarheksaqonal sinqoniyaya malik olub qəfəs parametrləri:  $\text{TlNiS}_2$  üçün  $a=1.228\text{nm}$ ,  $c=1.932\text{nm}$ ,  $\rho=6.900\text{q/sm}^3$  və  $\text{TlNiSe}_2$  üçün  $a=1.260\text{nm}$ ,  $c=1.984\text{nm}$  qiymətləri alır.

Göstərilmişdir ki, metal-dielektrik faza keçidindən (MDK) əvvəl olan temperatur oblastında  $\text{TlNiS}_2$  və  $\text{TlNiSe}_2$  nümunələrinin aktivasiya enerjisi müvafiq olaraq  $\Delta E_a=0.012\text{eV}$  və  $\Delta E_a=0.004\text{eV}$  qiymətləri alır. MDK-dən sonra olan temperatur oblastında  $\text{TlNiS}_2$  və  $\text{TlNiSe}_2$  nümunələri üçün uyğun olaraq  $\Delta E_a=0.006\text{eV}$  və  $\Delta E_a=0.2\text{eV}$  qiymətləri alınır. 100K temperaturda  $\text{TlNiS}_2$  və  $\text{TlNiSe}_2$  nümunələrinin xüsusi müqaviməti  $\rho=201\text{Om sm}$  və  $\rho=0.0032\text{Om sm}$ , müvafiq olaraq 300K-də isə  $\rho=0.25\text{Om sm}$  və  $\rho=0.0357\text{Om sm}$  təşkil edir.

$\text{TlNiS}_2$  nümunələrin  $\rho(T)$  və  $S(T)$  ayrılırlarında  $T_C=240\text{K}$  Kuri temperaturundakı MDK elektrik müqavimətinin  $\rho/\rho_{\text{otaq}} \sim 10^3$  və termo-EHQ  $S/S_{\text{otaq}} \sim 2 \times 10^2$  kəskin sıçrayışı ilə baş verir və yük daşıyıcıların köçürülməsi isə sıçrayışla olur.  $T_N=120\text{K}$  temperaturda  $\text{TlNiSe}_2$ -nin  $\rho(T)$  temperatur asılılığında müşahidə olunan sınıq və termo-EHQ  $S(T)$  işarəsinin inversiyası bu birləşmədə MDK-ni göstərir ki, bu da 3d- keçid metalları üçün xarakterikdir.

Yuxarıda göstərilənlərdən aşağıdakı nəticələri çıxarmaq olar:



1. Müəyyən edilmişdir ki, altıbucaqlı  $\text{TlNiS}_2$ -də metal-dielektrik faza keçidi (MDK)  $T_S=240\text{K}$  və  $T_S$ -dən aşağı temperaturda baş verir və elektrik müqavimətinin kəskin sıçrayışı ( $\rho/\rho_{\text{otaq}} > 10^3$ ) ilə müşayiət olunur. p-tipli yarımkeçiricidən metala qədər keçiricilik növü. Thermo-EMF  $S(T)$  faza MDK temperaturunda ( $S/S_{\text{otaq}} > 10^2$ ) və yük daşıyıcılarının sıçrayışı ilə baş verir.  $\text{TlNiSe}_2$  nümunəsinin asılılıqlarından MDK  $T_N=120\text{K}$ -da  $\rho(T)$  əyilməsi və termo-EHQ  $S(T)$  işarəsinin inversiyası ilə müşayiət olunur.

2. Göstərilmişdir ki, MDK-ə qədər olan temperatur intervalında  $240\text{K}$ -ə kimi  $\text{TlNiS}_2$  və  $120\text{K}$ -ə kimi  $\text{TlNiSe}_2$ -nin preslənmiş nümunələrinin aktivləşmə enerjisi müvafiq olaraq  $\Delta E_a=0.012\text{eV}$  və  $\Delta E_a=0.004\text{eV}$ -dur. Və  $\text{TlNiS}_2$  və  $\text{TlNiSe}_2$  nümunələri üçün MDK-dən sonra temperatur intervalında müvafiq olaraq  $\Delta E_a=0.006\text{eV}$  və  $\Delta E_a=0.2\text{eV}$  olmuşdur.  $100\text{K}$  temperaturda  $\text{TlNiS}_2$  və  $\text{TlNiSe}_2$  nümunələrinin xüsusi müqaviməti müvafiq olaraq  $\rho=201\text{Om sm}$  və  $\rho=0.0032\text{Om sm}$ ,  $300\text{K}$ -da isə müvafiq olaraq  $\rho=0.25\text{Om sm}$  və  $\rho=0.0357\text{Om sm}$ -dir. Preslənmiş  $\text{TlNiS}_2$  və  $\text{TlNiSe}_2$  üçün metal-dielektrik faza keçidinin dağıdılmasının hesablanmış enerjisi müvafiq olaraq  $0.006\text{eV}$  və  $0.196\text{eV}$ -dir.

**Altıncı fəsilə** aşağı ölçülü  $(\text{TlInSe}_2)_{1-x}(\text{TlGaTe}_2)_x$  bərk məhlulları müzakirə olunur. Laylı kristallar, laydakı ionlar güclü kovalent və/və ya ion rabitəsi ilə bağlı olduğu, iki ölçülü materialların prototipləridir, layların birləşməsi istiqamətində isə, əksər hallarda, rabitə van-der-Waals qüvvəsi ilə xarakterizə olunur. Qəfəsdə onu meydana gətirən elementlər arasındakı qarşılıqlı təsir qüvvələrində belə nisbi böyük fərq onların mexaniki, elektrik, optik, elastik və s, xassələrin əhəmiyyətli anizotropiyasına səbəb olur. Aşağıda, keçidin səbəbini və Mott nəzəriyyəsinə əsaslanan keçidlərin təsvirini anlamağa imkan verən struktur keçidləri haqqında eksperimental məlumatları nəzərdən keçirəcəyik.

$(\text{TlInSe}_2)_{1-x}(\text{TlGaTe}_2)_x$  bərk məhlulların nümunələri, əvvəlcədən hazırlanmış  $\text{TlInSe}_2$  və  $\text{TlGaTe}_2$  ilkin elementlərin stexiometrik ölçülmüş hissələrini  $10^{-3}\text{Pa}$  vakuumdahəimlənmiş kvarts ampulalarında əridilməklə alınmışdır.  $\text{TlInSe}_2$  və  $\text{TlGaTe}_2$  hazırlamaq üçün tərkibində 5 %-dən artıq aşqar olmayan tallium,

indium, galliumu Tl-000, In-000, Ga-000, tellurium TB-3 və selenium OST-16<sup>4</sup> markalarından istifadə edilmişdir.

(TlInSe<sub>2</sub>)<sub>0.1</sub>(TlGaTe<sub>2</sub>)<sub>0.9</sub>, (TlInSe<sub>2</sub>)<sub>0.2</sub>(TlGaTe<sub>2</sub>)<sub>0.8</sub>, (TlInSe<sub>2</sub>)<sub>0.4</sub>(TlGaTe<sub>2</sub>)<sub>0.6</sub> və (TlInSe<sub>2</sub>)<sub>0.6</sub>(TlGaTe<sub>2</sub>)<sub>0.4</sub> nümunələri, sabit elektrik cərəyanında elektrik ölçmələri üçün elə konfigurasiyada hazırlanmışdır ki, xarici sabit elektrik sahəsi kristalın zəncirləri boyunca yönəlmiş olsun. Nümunələrə elektrodlar kristalların yan üzlərinə misin elektrolitik çökməsi ilə yaradılmışdır. Elektrodlar arasındakı məsafə L=9 mm təşkil edir. Kristallara tətbiq olunan elektrik sahəsinin intensivliyi voltamper xarakteristikasının omik oblastına uyğundur. Sabit cərəyanda (TlInSe<sub>2</sub>)<sub>1-x</sub>(TlGaTe<sub>2</sub>)<sub>x</sub> (burada x=0.1, 0.2, 0.4 və 0.6) bərk məhlulların keçiricilin (σdc) temperatur asılıqları həm Arrenius koordinatlarında, həm də Mott koordinatlarında yenidən qurulmuşdur. Sabit cərəyanda elektrik ölçmələri 172–373K temperatur intervalını təşkil edir.

Dəyişən cərəyanda elektrik ölçmələri üçün olan (TlInSe<sub>2</sub>)<sub>1-x</sub>(TlGaTe<sub>2</sub>)<sub>x</sub> nümunələr kondensator şəklində hazırlanmışdır ki, onlarda yük köçürülməsi kristalın zəncirlərin eni boyunca baş versin. Elektrodlar olaraq gümüş pastasından istifadə edilmişdir. Kristalın qalınlığı d ~ 0.45 mm təşkil edir. Kristalların (TlInSe<sub>2</sub>)<sub>1-x</sub>(TlGaTe<sub>2</sub>)<sub>x</sub> dielektrik əmsalları TESLA BM 560 kumetrin köməyindən istifadə edərək rezonans metodu ilə ölçülmüşdür. Dəyişən elektrik sahəsinin tezlik diapazonu 5kHz÷35MHz təşkil edir. Bütün dielektrik ölçmələr 300K temperaturda aparılmışdır. Rezonans vəziyyətinin təkrar edilməsi tutum üzrə±0.2pF, Q faktoru üzrə (Q=1/tgδ) ±1.0÷1.5 şkalanın bölünməsi olmuşdur. Bu vəziyyətdə orta qiymətlərdən ən böyük kənara çıxma ε üçün 3÷4%, tgδ üçün 7% olmuşdur.

Tetraqonal quruluşa malik (TlInSe<sub>2</sub>)<sub>1-x</sub>(TlGaTe<sub>2</sub>)<sub>x</sub> bərk məhlulların monokristallarının fiziki xassələrinin aparılan ölçülmələri dielektrik xüsusiyyətləri və onların tezliyi dispersiyasını müəyyən etməyə, dielektrik itkilərinin təbiətini və sabit və dəyişən cərəyanda yük köçürülməsinin mexanizmini təyin etməyə imkan vermişdir. Lokallamış halların sıxlığı və enerji səpələnməsi, sıçrayışların orta müddəti və uzunluğu, habelə sabit və dəyişən cərəyanda keçiriciliyə cavabdeh olan dərin tələlərin konsentrasiyası qiymətləndirilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, (TlInSe<sub>2</sub>)<sub>1-x</sub>(TlGaTe<sub>2</sub>)<sub>x</sub>

bərk məhlullarında sabit və dəyişən cərəyanda Fermi səviyyəsinə yaxın lokallaşmış hallar üzrə sıçrayışkeçiriciliyi baş verir.  $(\text{TlInSe}_2)_{1-x}(\text{TlGaTe}_2)_x$  -də dielektrik nüfuzluğunun dispersiyası relaksasiya xarakteri daşıyır. 50 kHz-dən 35 MHz-ə qədər tezlik artması ilə dielektrik itkisi bucağının tangensinin hiperbolik düşməsi  $(\text{TlInSe}_2)_{1-x}(\text{TlGaTe}_2)_x$ -də birbaşa keçiriciliyinin itkilərini göstərir.

Yuxarıda göstərilənlərdən aşağıdakı nəticələri çıxarmaq olar:

1. Tetraqonal quruluşa malik  $(\text{TlInSe}_2)_{0.1}(\text{TlGaTe}_2)_{0.9}$  bərk məhlulun monokristallarının ölçülməsi aparıldı ki, bu da dielektrik xüsusiyyətlərini və onların tezlik dispersiyasını təyin etməyə, dielektrik itkilərin xarakterini təyin etməyə imkan verdi. DC və AC yüklərin ötürülməsi mexanizmi. Lokallaşdırılmış vəziyyətlərin sıxlığı və enerji yayılması, mayalanmaların orta vaxtı və uzunluğu, sabit cərəyan və dəyişən cərəyan keçiriciliyinə cavabdeh olan dərin tələlərin konsentrasiyası  $(\text{TlInSe}_2)_{0.1}(\text{TlGaTe}_2)_{0.9}$  qiymətləndirilir.

Müəyyən edilmişdir ki, Fermi səviyyəsinə yaxın lokallaşdırılmış yük daşıyıcılar sıçrayış keçiriciliyi ilə  $(\text{TlInSe}_2)_{0.1}(\text{TlGaTe}_2)_{0.9}$  bərk məhlulda birbaşa və dəyişən cərəyanda baş verir.  $(\text{TlInSe}_2)_{0.1}(\text{TlGaTe}_2)_{0.9}$  bərk məhlulun keçiricilik dispersiyası relaksasiya xarakteri daşıyır.

2. Tezliyi 50 kHz-dən 35 MHz-ə qədər artan dielektrik itkisi tangensindəki hiperbolik düşmə  $(\text{TlInSe}_2)_{0.1}(\text{TlGaTe}_2)_{0.9}$ -da keçiriciliyin itirilməsini göstərir

3. Tetraqonal sinqoniyaya malik  $(\text{TlInSe}_2)_{0.2}(\text{TlGaTe}_2)_{0.8}$  bərk məhlulun kristalları yetişdirilmişdir. Sabit elektrik sahəsində  $(\text{TlInSe}_2)_{0.2}(\text{TlGaTe}_2)_{0.8}$  kristallarda 100÷175K temperaturda Fermi səviyyəsinə yaxın lokallaşdırılmış səviyyələrdə sıçrayış keçiriciliyi müşahidə edilir. Fermi səviyyəsinin yaxınlığında lokallaşdırılmış vəziyyətlərin sıxlığı  $(N_F=4 \times 10^{20} \text{eV}^{-1} \text{sm}^{-3})$  və onların enerji yayılması  $(\Delta W=0.02 \text{eV})$ , aktivləşmə enerjisi  $(\Delta E=0.018 \text{eV})$  və orta atlama məsafəsi  $(R_{av}=3.7 \text{nm})$  təxmin edilir. Aşağı temperaturda  $(\text{TlInSe}_2)_{0.2}(\text{TlGaTe}_2)_{0.8}$  bərk məhlulda termo-EHQ yük daşıyıcılar sıçrayış keçiriciliyi mexanizmi üçün xarakterik olan  $S(T)=(86+1.14T)\mu\text{V/K}$  qanunauyğunluğuna tabe olub. Temperaturun artması ilə, icazə verilən zonada həyəcanlanan yük daşıyıcıları keçiricilikdə üstünlük təşkil etməyə başlayanda, termo-EMF

temperaturla tərs mütənəşib olur. Keçirilmənin aktivləşmə enerjisinin temperatur əmsalı  $\gamma=1.86 \times 10^{-4} \text{eV/K}$  müəyyən edilmişdir.

4. Müəyyən edilmişdir ki,  $(\text{TlInSe}_2)_{1-x}(\text{TlGaTe}_2)_x$  (burada  $x=0.1, 0.2, 0.4$  və  $0.6$ ) tərkiblərinin sintezi zamanı tetraqonal sistemli bərk məhlullar əmələ gəlir. Yetiştirilmiş zəncirvari monokristalların sabit və dəyişən cərəyanda elektrik və dielektrik xassələri öyrənilmişdir.

5. Müəyyən edilmişdir ki,  $(\text{TlInSe}_2)_{0.4}(\text{TlGaTe}_2)_{0.6}$  nümunələrindəki dielektrik itkilər keçiriciliyin artması ilə izah olunur.  $f=3.2 \div 35 \text{MHz}$  tezlik diapazonunda onların dəyişən cərəyan keçiriciliyi  $\sigma_{ac} \sim f^{0.8}$  qanunauyğunluğuna tabe idi ki, bu da Fermi səviyyəsinə yaxın lokallaşdırılmış vəziyyətlər boyunca yük daşınmasının sıçrayış mexanizmi üçün xarakterikdir.

6. Bu vəziyyətlərin sıxlığı ( $N_F$ ) və enerji yayılması ( $\Delta E$ )  $N_F=5.8 \times 10^{18} \text{eV}^{-1} \text{sm}^{-3}$ ,  $\Delta E=29 \text{meV}$ , sıçrayışların orta vaxtı ( $\tau$ ) və məsafəsi ( $R_L$ )  $\tau=7.4 \times 10^{-8} \text{c}$  kimi qiymətləndirilir. və  $R_{\text{orta}}=14.1 \text{nm}$ , həmçinin dərin tələlərin konsentrasiyası  $N_t=1.7 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ ,  $(\text{TlInSe}_2)_{0.6}(\text{TlGaTe}_2)_{0.4}$  kristallarının keçiriciliyinə cavabdehdir.

7. Müəyyən edilmişdir ki,  $291 \div 357 \text{K}$  temperatur diapazonunda  $(\text{TlInSe}_2)_{0.4}(\text{TlGaTe}_2)_{0.6}$ -da termo-EMF işarəsi müsbət,  $T > 357 \text{K}$ -da isə termo-EMF işarəsinin inversiyası, yəni. kristalın keçiriciliyi p-tipindən n-tipinə dəyişdi.

## ƏSAS NƏTİCƏLƏR

1. Müəyyən edilmişdir ki, qaz daşınma üsulu ilə yetiştirilmiş  $\text{Cu}_{1.22}\text{Fe}_{1.10}\text{Te}_2(\text{a})$  və  $\text{Cu}_{1.15}\text{Fe}_{1.23}\text{Te}_2(\text{v})$  monokristalları və yönləndirilmiş kristallaşma üsulu ilə yetiştirilmiş  $\text{Cu}_{1.13}\text{Fe}_{1.22}\text{Te}_2(\text{b})$  halkopirit tipli birləşmələrdə tetraqonal strukturda  $D_{2h}^2=P4/nmm$  simmetriyalı faza yaranır. Rentgenoqrafik tədqiqatla  $\text{CuFeTe}_2(\text{a}, \text{b}, \text{c})$  üçün kristallik qəfəsin əsas parametrləri hesablanmışdır:  $\text{Cu}_{1.22}\text{Fe}_{1.10}\text{Te}_2(\text{a})$  üçün  $a=0.399 \text{nm}$  və  $c=0.617 \text{nm}$ ,

$\text{Cu}_{1.04}\text{Fe}_{1.12}\text{Te}_2 \approx \text{Cu}_{1.13}\text{Fe}_{1.22}\text{Te}_2$  üçün  $a=0.39749 \text{nm}$  və  $c=0.6078$  və həmçinin  $\text{Cu}_{1.15}\text{Fe}_{1.23}\text{Te}_2(\text{v})$  üçün  $a=0.402 \text{nm}$ ,  $c=0.604 \text{nm}$  və  $c/a=1.5$ , həcmi  $v=0.09745 \text{nm}^3$ , sıxlığı  $\rho_{\text{hes}}=6.764 \text{q/sm}^3$  və  $\rho_{\text{rentgen}}=6.76 \text{q/sm}^3$ .

2. Müəyyən olunmuşdur ki, halkopirit tipli  $\text{CuFeTe}_2(\text{a}, \text{b}, \text{c})$  monokristallarının yarımkeçirici-metal keçid temperaturundan

( $T_{YM}=125K$ ) aşağıda  $\sigma(T)$  keçiriciliyinin temperatur asılılığında sınıma müşahidə olunur, bu sıçrayışının orta uzunluğu  $R_{orta}=2.2nm$  olan yüklərin daşınma prosesinin aktivləşmə enerjisinin dəyişməsi ilə izah olunur. Neel temperaturunda ( $T_N=65K$ ) və spin-şüşə halında ( $T_g=55K$ )  $C_p(T)$  və  $\chi(T)$  temperatur asılılıqlarında antiferromaqnit-paramaqnit FK(faza keçidi) və spin-şüşə halı ilə bağlı anomaliyalar müşahidə olunur.  $125K$ -dən ( $T_{YM}$ ) yuxarı spin sıxlığı dalğaları (SSD) müşahidə olunur və  $\sim 300K$  yaxınlığında bu dalğalar dağılır. Maqnit qavrayıcılığının temperatur asılılıqlarından (maqnit sahəsinin  $H=0$ )  $\chi^{ZFC}(T)$  və ( $H=1kOe$ )  $\chi^{FC}(T)$  maqnit qavracılığın genişlənməsi müşahidə olunur və bu temperatur asılılıqlarının kəşidiyi nöqtə qapanma temperaturu  $T_Q$  adlanır.  $T_Q$  temperaturadan yuxarı ( $T_Q>360K$ ) maqnit qavracılığının temperatur asılığı  $\chi(T)$  superparamaqnitlərə məxsus dəyişir.

3. Müəyyən edilmişdir ki,  $CuFeTe_2$  (a, b və c) monokristallarında maqnit sahəsinin 1, 10 və 20 kOe artması ilə spin-şüşə halının keçid temperaturu  $T_g = 55, 40$  və 35K uyğun olaraq azalır. Paramaqnit klasterlərin effektiv maqnit momentləri zəif sahədə  $100 \div 1000 Oe$   $\mu_{eff} \geq 0.7\mu_B$  və güclü sahədə  $10 \div 50 kOe$   $\mu_{eff} \sim 2.4\mu_B$  ( $\mu_B$  – Bor maqnetonu) qiymətlərinə malikdir. Paramaqnit Kuri temperaturu ( $\theta_P$ ) isə mənfidir.

4. Göstərilmişdir ki,  $CuFeTe_2$  (a, b və c) monokristallarında ( $Cu^+-Te^{2-}-Fe^{3+}=Te^{2-}$ ) maqnit "klasterlər" arasındakı qarşılıqlı mübadilə antiferromaqnitdir. Bu halda dəmir ( $Fe^{+3}$ ) kationu iki tellur ( $Te^{2-}$ ) anionu arasında yerləşir və spinlərin maqnit momentləri bir-birinə əks (001) müstəvisinə paralel düzülür.  $CuFeTe_2$  monokristallarda kristal strukturu üçün  $Z=1$  olduğu halda, səkkiz formul vahidindən ibarətdir - 8 ( $CuFeTe_2$ )  $Z=8$ -dir. İstilik tutumunun temperatur asılılığından anizotropiya əmsalı  $\eta=0.309$ , üçölçülü Debay temperaturu  $\theta_D=176.9K$  və ikiölçülü Debay temperaturu  $\theta_2=122.2K$  hesablanmışdır.

5. Göstərilmişdir ki,  $TlFeS_2$  və  $TlFeSe_2$  nümunələrində antiferromaqnit nizamlılığa malik oblastda  $R_L$  dəyişkən uzunluğu olan sıçrayışlı keçiricilik baş verir.  $80 \div 180K$  temperatur intervalında orta sıçrayış məsafəsi uyğun olaraq  $TlFeS_2$  üçün  $R_{orta}=10.9nm$  və

$R_{orta}/a_L > 8$  ( $a_L$ -lokallaşma radiusu) və  $85 \div 250K$  intervalda  $TiFeSe_2$  üçün  $R_{orta} = 10.4nm$  və  $R_{or}/a_L < 8$ -dir.

6. Müəyyən edilmişdir ki,  $(TiFeS_2)_{0.975}(TiGaS_2)_{0.025}$  bərk məhlullarda Neel temperaturunda kiçik sınma baş verir.  $80 \div 180K$  temperatur intervalında (antiferromaqnit nizamlılıq halında) alınmış bu bərk məhlullarda Fermi səviyyəsinin yaxınlığında lokallaşmış hallar üzrə orta sıçrayış məsafəsi  $R_{orta} = 6.2nm$  olan sıçrayışlı keçiricilik baş verir. Nümunələrin  $P = 1.5 \times 10^3 kq/sm^3$  təzyiç altında presslənəsi zamanı Neel temperaturu  $150K$ -dən  $180K$ -ə dəyişir.

7. Göstərilmişdir ki,  $(TiFeS_2)_{1-x}(TiGaS_2)_x$  bərk məhlullarında  $x = 0.025, 0.05, 0.075$  və  $0.01$  qiymətlərinin dəyişməsi Neel temperaturunun azalmasına və aktivləşmə enerjisinin artmasına gətirib çıxarır. Bu bərk məhlullarda  $77 \div 180K$  temperatur intervalında qallium (Ga) kationunun və dəmirin (Fe) maqnit strukturunda yenidən paylanmasını göstərir.

8. Göstərilmişdir ki,  $128 \div 178K$  temperatur oblastında  $(TiFeSe_2)_{0.5}(TiGaSe_2)_{0.5}$  bərk məhlulun laylı monokristalının təbii layları boyunca orta sıçrayış uzunluğu  $R_{orta} = 23.3nm$  və  $R_{or}/a_L = 16$  olan sıçrayışlı keçiricilik baş verir.  $(TiFeSe_2)_{0.5}(TiGaSe_2)_{0.5}$  bərk məhlulun  $\rho(T)$  xüsusi müqavimətinin temperatur asılılığında  $T_{his} = 109 \div 120K$  temperatur intervalında  $TiGaSe_2$  monokristalının mütənasib və qeyri-mütənasib fazaları ilə əlaqəli temperatur histerezisi müşahidə olunur.

9. Müəyyən edilmişdir ki,  $TiCrS_2$  nümunələrdə  $100 \div 190K$  temperatur intervalında sıçrayışın orta uzunluğu  $R_{orta} = 10.9nm$  və  $R_{or}/a_L > 8$  olan sıçrayışlı keçiricilik mövcuddur. Müəyyən edilmişdir ki,  $TiCoS_2$  və  $TiCoSe_2$  ferrimaqnitlərinin maqnit nizamlılıq oblastında aktivləşmə enerjisi üçün uyğun olaraq  $\Delta E_a = 0.009eV$  və  $\Delta E_a = 0.005eV$  qiymətləri hesablanmışdır. Bu ferrimaqnitlər üçün paramaqnit oblastında aktivləşmə enerjiləri müvafiq olaraq  $\Delta E_a = 0.116eV$  və  $\Delta E_a = 0.014eV$  qiymətinə bərabərdir. Presslənmiş  $TiCoS_2$  və  $TiCoSe_2$  üçün maqnit faza keçidinin dağıdılmasının hesablanmış enerjisi müvafiq olaraq  $0.007eV$  və  $0.009eV$ -dur.

10. Müəyyən edilmişdir ki,  $TiNiS_2$  birləşməsində sabit elektrik sahəsində Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış hallarda  $R_L = 3.0nm$  orta uzunluqlu dəyişkən sıçrayışlı keçiricilik

olur. Göstərilmişdir ki, heksaqonal  $\text{TlNiS}_2$  birləşməsində metal-dielektrik FK(MDK)  $T_C=240\text{K}$  temperaturda baş verir və bu  $T_C$ -dən aşağı temperaturda keçiriciliyin p-yarımkəçiricidən metala dəyişməsilə gedən  $\rho/\rho_{\text{otaq}} > 10^3$  kəskin sıçrayışlı elektrik keçiriciliyi ilə müşayiət olunur. Termo ehq  $S(T)$  MDK faza keçidi temperaturunda  $S/S_{\text{otaq}} > 10^2$ -dir.  $\text{TlNiS}_2$  kristallarında MD faza keçidinin  $\rho(T)$  temperatur asılılığında sınma və termo EHQ-nin  $T_N=120\text{K}$ -də işarəsinin inversiyası müşahidə olunur.

11. Müəyyən edilmişdir ki,  $(\text{TlInSe}_2)_{1-x}(\text{TlGaTe}_2)_x$  ( $x=0.4$  və  $0.6$ ) bərk məhlullarda dielektrik itkilər keçiriciliyin artması ilə izah olunur. Göstərilən bərk məhlullar  $f=3.2 \div 35\text{MHz}$  tezlik diapazonunda onların dəyişən cəryan keçiriciliyi  $\sigma_{\text{as}} \sim f^{0.8}$  qanunauyğunluğuna tabe olur, bu da Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış hallar üzrə yük köçürülməsinin sıçrayış mexanizmi üçün xarakterikdir.

## DİSSERTASIYA MÖVZUSU ÜZRƏ NƏŞRLƏR

1. Мустафаева, С.Н. Перенос заряда в  $\text{TlFeS}_2$  и  $\text{TlFeSe}_2$ . С.Н. Мустафаева, Э.М. Керимова, А.И. Джаббарлы. // ФТТ, т.42, 2000, с. 2132– 2135.

2. Алиев, Ф.Ю. Кристаллическая структура и электрические свойства  $\text{CuFeTe}_2$ . Ф.Ю. Алиев, Г.Г. Гусейнов, А.И. Джаббаров и С.К. Оруджев. // Физика, т. IV, № 1, 2000, с. 58-60.

3. Mustafaeva, S.N. Thermoelectric properties and DC-hopping conductivity of  $\text{TlMeX}_2^6$  ( $\text{Me}=\text{Fe, Ni}$ ;  $\text{X}=\text{S, Se}$ ). S.N. Mustafaeva, E.M. Kerimova, A.I. Jabbarli. / Inorganic Materials Conference, Konstanz, Germany. 7-10 September 2002, Abs. Ref. Number 38.

4. Mustafaeva, S.N. Novel thermoelectric materials on the base of  $\text{TlGaS}_2\text{-TlCoS}_2$ . S.N. Mustafaeva, E.M. Kerimova, F.M. Seidov, A.I. Jabbarli. / Abstracts of 13-th International Conference on ternary and multinary Compounds - ICTMC-13, Paris, France. Code number 20 (SO3 A020), October 14 – 18, 2002, P.P. 2-1.

5. Mustafaeva, S.N. Электрические и термоэлектрические свойства  $\text{TlNiS}_2$ . S.N. Mustafaeva., E.M. Kerimova., S.İ. Mehdiyeva, A.И. Джаббаров. / International conference on

Technical and Physical Problems in Power Engineering, Baku – Azerbaijan, 2002, № 93, p. p. 366-369.

6. Мустафаева, С.Н. Термо-ЭДС в области прыжковой проводимости  $TiNiS_2$ . С.Н. Мустафаева, Э.М. Керимова, А.И. Джаббарлы. // ФТТ, т.45, № 4, 2003, с. 587-589.

7. Выращивание монокристаллов, структурные и магнитные свойства  $CuFeTe_2$ . А.И. Джаббаров, С.К. Оруджев., Г.Г. Гусейнов, Н.Ф. Гахраманов. // Кристаллография, т.49, № 6, 2004, с. 1136-1139.

8. Керимова, Э.М. Температурные зависимости проводимости, термо-ЭДС и теплоемкости  $TiCoS_2$ . Э.М. Керимова, С.Н. Мустафаева, М.А. Алджанов, А.И. Джаббарлы. // Физика низких температур, т. **30**, № 4, 2004, с. 395-396.

9. Veliev, R.G. The phase diagram and magneto dielectric properties of the homogeneous phases of  $TiInS_2 - TiCoS_2$  and  $TiGaSe_2 - TiCoSe_2$  systems. R.G Veliev, M.-G.Yu. Seyidov, E.M. Kerimova et ol. // Fizika, cild X, № 1-2, 2004, s. 62-65.

10. Kerimova, E.M. New magnetic semiconductors on the base of  $TiB^{VI} - MeB^{VI}$  systems (Me – Fe, Co, Ni, Mn; B – S, Se, Te). E.M. Kerimova, S.N. Mustafaeva, A.I. Jabbarli et al. / Physics of Spin in Solids: Materials, Methods and Applications, NATO Sciences; II Mathematics, Physic and Chemistry, v. 156, 2004, p. 195-206.

11. С.К. Оруджов, Магнитные свойства монокристаллов  $Cu_{1.22}Fe_{1.1}Te_2$ . Оруджов С.К., Гусейнов Г.Г., Джаббаров А.И. и др. // Изв. НАН Азербайджана, № 2, 2004, с.104-107.

12. Мустафаева, С.Н. Проводимость по локализованным состояниям в монокристалле твердого раствора  $TiGa_{0.5}Fe_{0.5}Se_2$ . С.Н. Мустафаева, Э.М. Керимова, А.И.Джаббарлы. //ФТТ, т. 47, №. 2, 2005, с. 208-209.

13. E.M. Kerimova, Electric conductivity and magnetic susceptibility of  $Tl(Cr,Mn,Co)S_2$  layered compounds. E.M. Kerimova, R.G. Veliyev, R.Z. Sadikhov, A.I. Jabbarov. / TPE – 06 3-rd International Conference on technical and Physical Problems in Power Engineering Turkey, Ankara., May 29-31, 2006, p. 607- 609.

14. Велиев, Р.Г. Влияние магнитного упорядочения на перенос заряда в слоистых полупроводниковых



ферромагнетиках  $TiCrS_2$ ,  $TiCrSe_2$ . Р.Г. Велиев, Р.З. Садыхов, Э.М. Керимова. // «Физика» №1-2, т. XIII, 2007, s. 260-263.

15. Veliev, R.G.,. State diagram of  $TlInS_2 - TiCrS_2$ ,  $TlGaSe_2 - TiCrSe_2$  systems and electric properties of layered compounds  $TiCrS_2$ ,  $TiCrSe_2$ . R.G. Veliev, F.V.Seyidov, A.I. Jabbarov. // Fizika №1, cild XIV, 2008, s. 43-45.

16. Велиев, Р.Г. Рентгенографический анализ, магнитная восприимчивость и электропроводность  $TiCoS_2$  и  $TiCoSe_2$ . Р.Г. Велиев, Э.М. Керимова, Р.З. Садыхов и др. // Fizika № 2, cild XV, 2009, s.111-114.

17. Велиев, Р.Г. Магнитные и электрические свойства слоистых магнетиков  $Tl(Cr, Mn, Co)Se_2$ . Р.Г. Велиев, Р.З. Садыхов, Э.М. Керимова и др. // ФТП, т. 43, вып. 2, 2009, с. 163-166.

18. Велиев, Р.Г. Влияние магнитного фазового перехода на перенос заряда в слоистых полупроводниковых ферромагнетиках  $TiCrS_2$ ,  $TiCrSe_2$ . Р.Г. Велиев, Р.З. Садыхов, Э.М. Керимова и др. //ФТП, т. 43, вып. 9, 2009, с. 1175-1178.

19. Велиев, Р.Г. Электрофизические и магнитные свойства слоистых полупроводниковых ферромагнетиков  $TiCrS_2$ ,  $TiCrSe_2$ . Р.Г. Велиев, Р.З. Садыхов, Э.М. Керимова и др. // Изв. РАН, серия «Неорганич. Материалы», т. 45, вып. 5, 2009, с. 528-533.

20. Керимова, Э.М. Термоэлектрические свойства монокристаллов  $(TlInSe_2)_{0.2}(TlGaTe_2)_{0.8}$ . Э.М. Керимова, С.Н. Мустафаева, А.И. Джаббаров. // Сб. док.IV-ой Международной научной конференции «Актуальные проблемы физики твердого тела ФТТ-2009». Минск. Беларусь. 20 – 23 окт. 2009, т. 2, с.127-129.

21. Мустафаева, С.Н. Параметры локализованных состояний в твердом растворе  $(TlInSe_2)_{0.1}(TlGaTe_2)_{0.9}$ . С.Н. Мустафаева, Э.М. Керимова., А.И. Джаббаров и др. / Bakı Dövlət universiteti. Fizikanın vüasir problevləri V-ci respublika konfransı “Opto-, nanoelektronika və kondensə olunmuş mühit fizikası” materi. Bakı 16-17 dekabr 2011, s. 85-86.

22. Мустафаева, С.Н. Диэлектрические и термоэлектрические свойства кристаллов на основе исходных соединений системы  $\text{TlInSe}_2\text{--TiGaTe}_2$ . С.Н. Мустафаева, М.М. Асадов, А.И. Джаббаров, Э.М. Керимова. // Конденсированные среды и межфазные границы, т. 15, № 2, 2013, с. 150–155.

23. Пашаев, А.М. Частотно-зависимые диэлектрические характеристики и термо-ЭДС в кристаллах  $(\text{TlInSe}_2)_{1-x}(\text{TiGaTe}_2)_x$ . А.М. Пашаев, С.Н. Мустафаева, Э.М. Керимова и др. // Журнал Ученые Записки Национальной Академии Авиации, т.15, №1, 2013, с. 18-23.

24. Мустафаева, С.Н. Диэлектрические свойства и перенос заряда в  $(\text{TlInSe}_2)_{0.1}(\text{TiGaTe}_2)_{0.9}$  на постоянном и переменном токе. С.Н. Мустафаева, М.М. Асадов, А.И. Джаббаров. // ФТТ, том 56, вып. 6, 2014, с. 1055-1058.

25. Мустафаева, С.Н. Температурная зависимость термо-ЭДС и проводимости твердого раствора  $\text{TlFe}_{0.975}\text{Ga}_{0.025}\text{S}_2$  в постоянном электрическом поле. С.Н. Мустафаева, Э.М. Керимова, А.И. Джаббаров. // Изв. НАН Азербайджана. Сер. Физика и астрономия, т. 34, № 5, 2014, с. 56-60.

26. Мустафаева, С.Н. Перенос носителей заряда в  $\text{TlFe}_{0.975}\text{Ga}_{0.025}\text{S}_2$  с участием глубоких локальных центров. С.Н. Мустафаева А.И. Джаббаров. / Труды XVII-ой Международной конференции «Опто-нанoeлектроника, нанотехнологии и микросхемы». Ульяновск, Россия. 15-19 сентября 2014, с. 79-80.

27. Мустафаева, С.Н. Структура и свойства новых функциональных материалов на основе системы  $\text{TlFeS}_2\text{--TiGaS}_2$ . С.Н. Мустафаева, Керимова Э.М., А.И. Джаббаров и др. / Тезисы докладов Шестой Международной конференции «Кристаллофизика и деформационное поведение перспективных материалов», посвященной 90-летию со дня рождения проф. Ю.А. Скакова. Москва. 26-28 мая 2015, с. 223.

28. Mustafaeva, S.N. Charge Transport and Thermo-Emf in the  $\text{TlFe}_{0.975}\text{Ga}_{0.025}\text{S}_2$  Solid Solution. S.N. Mustafaeva, A.I. Jabbarov / Nineteenth Symposium on Thermophysical Properties, University of Colorado at Boulder, CO, USA. June 21-26, 2015, pp. 272.

29 Мустафаева, С.Н. Проводимость и термо-ЭДС кристаллов  $(\text{TlInSe}_2)_{0.2}(\text{TlGaTe}_2)_{0.8}$ . Мустафаева С.Н., М.М. Асадов, А.И. Джаббаров, Э.М. Керимова // Неорганические материалы, том 51, № 3, 2015, с. 267-271.

30. Джаббаров, А.И. Магнитные свойства монокристаллов  $\text{Cu}_{1.13}\text{Fe}_{1.22}\text{Te}_2$  и  $\text{Cu}_{1.15}\text{Fe}_{1.23}\text{Te}_2$  // Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Xəbərləri Fizika-texnika və riyaziyyat elmləri seriyası, fizika və astronomiya, cild XXXVII, №5, 2017, s. 31-39.

31. Джаббаров, А.И. Электрические свойства монокристаллов  $\text{Cu}_{1.13}\text{Fe}_{1.22}\text{Te}_2$  / Труды международной конференции: «Фундаментальные и прикладные вопросы физики», 13-14 июня Ташкент, т. 2, 2017, с. 44-46.

32. Мустафаева, С.Н. Параметры локализованных состояний и прыжковая термо-ЭДС в  $\text{TlCrS}_2$ . С.Н. Мустафаева, С.М. Асадов, А.И. Джаббаров / Восьмая Международная конференция «Кристаллофизика и деформационное поведение перспективных материалов» 5–8 ноября 2019, Москва, с. 162.

33. Мустафаева, С.Н. Прыжковая термо-ЭДС в  $\text{TlCrS}_2$ . С.Н. Мустафаева, С.М. Асадов, А.И. Джаббаров // Неорганические материалы, - 2020, том 56, № 4, - с. 351-355.

34. Jabbarov, A.I. Magnetic interaction of “excess” cations  $\text{Cu}^{+2}$  and  $\text{Fe}^{+2}$  in the 2D-plane in a single crystal  $\text{Cu}_{1.04}\text{Fe}_{1.12}\text{Te}_{1.84}$  // AJP Fizika, 2020, vol.XXVI № 2, pp. 33-37, section: En.

35. Cabbarov, A.İ.  $\text{TlFe}_{0.975}\text{Ga}_{0.025}\text{S}_2$  bərk məhlulun nümunənin hazırlanmasından asılı olaraq elektrik və termoelektrik xassələrinin AFM faza keçidinə təsiri // -Bakı: AJP Fizika, - 2022, vol. XXVIII, №1, - s.3-6, section: Az

36. Jabbarov, A. I. Heat capacity and phase transitions in a quasi-duty  $\text{Cu}_{1.04}\text{Fe}_{1.12}\text{Te}_{1.84}$  // AJP FIZIKA, 2022, vol. XXVIII, № 1, pp.8-12, section: En







Dissertasiyanın müdafiəsi 16 Sentyabr 2022-ci il tarixində saat 11.00-də Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Fizika İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən ED 1.14 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: Bakı şəh., H. Cavid pr. 131, AZ-1143.

Dissertasiya ilə Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Fizika İnstitutunun kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Fizika İnstitutunun rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 12 Avqust 2022-ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 30.06.2022  
Kağızın formatı: A5  
Həcm: 83064  
Tiraj: 100