

# AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

*Əlyazması hüququnda*

## **Ag<sub>2</sub>Te ƏLAVƏ FAZALI AgSbTe<sub>2</sub> KRİSTALLARININ KİNETİK XASSƏLƏRİ**

İxtisas: 2203.01 – Elektronika

Elm sahəsi: Fizika

İddiaçı: **Aygün Eyvaz qızı Babayeva**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi  
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

### **AVTOREFERATI**

**Bakı-2022**

Dissertasiya işi Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Fizika İnstitutunun "Spektroskopik ellipsometriya" laboratoriyasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər: Fizika elmləri doktoru, dosent  
**Sədiyar Soltan oğlu Rəhimov**

Rəsmi opponetlər: Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor  
**Kamal Əsgər oğlu Əsgərov**

Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor  
**Vaqif Əli oğlu Məhərrəmov**

Fizika elmləri doktoru, dosent  
**Tərlan Xanbaba oğlu Hüseynov**

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Fizika İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən ED 1.14 Dissertasiya şurasının bazasındakı qeydiyyat nömrəsi BED 1.14 olan Birdəfəlik dissertasiya şurası

Dissertasiya şurasının sədri:

AMEA-nın həqiqi üzvü,  
fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor  
**Nazim Timur oğlu Məmmədov**

Dissertasiya şurasının elmi katibi:

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

Elmi seminarın sədri:

Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, dosent  
**Ayaz Hidayət oğlu Bayramov**

## İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

**Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi.** Müasir dövrün tələblərindən biri enerjinin alınması və çevrilməsi məsələsidir. Praktik tətbiq üçün daha rahat və universal enerji forması elektrik enerjisidir. Bu səbəbdən onun alınması üçün daha effektiv metodların axtarılması daim aktualdır. Bərk cisimli termoelektrik çeviriciləri bu sarıdan böyük maraq kəsb edir. Bu tip çeviricilərin üstünlükləri, əsasən konstruksiyasının sadəliyi, səssiz iş rejimi, yüksək etibarlılığı, effektivliyini itirmədən miniatürləşdirmə imkanının olmasıdır. Lakin, termoelektrik çeviricilərin effektivliyi adi konstruksiyalı elektrik generatorları və ya soyuducularının effektivliyindən aşağıdır və bu səbəbdən sənayedə geniş tətbiq tapmamışdır. Onlar həm infraqırmızı çeviricilərdə həssas element kimi, həm də xalq təsərrüfatında, tibbdə və kosmik aparatlarda yığcam soyuducu aqreqlərin hazırlanmasında və s. üçün tətbiq olunur. Bu enerji çeviricilərinin sənayedə geniş tətbiqi üçün onların effektivliyini əhəmiyyətli dərəcədə artırmaq lazımdır.

$A^I B^V C^VI$  birləşmələri yaxşı termoelektrik material kimi tanınır. İlk tədqiqatlar göstərir ki, bu tip birləşmələr çox kiçik istilik keçiriciliyinə malikdir.  $A_2^V B_3^VI$  birləşməli maddələrlə müqayisədə aşağı termoelektrik effektivliyinə malik olsalar da, bu maddələrdə  $S/k$  ( $S$ - termoelektrik hərəkət qüvvəsi,  $k$ - istilikkeçirmə əmsali) nisbəti böyük qiymətə malikdir. Bu da öz növbəsində onlardan həssas çevirici elementlərinin hazırlanmasına şərait yaradır. Son dövrlər termoelektrik effektivliyinin artırmaq məqsədilə aparılan elmi tədqiqat işlərinin böyük əksəriyyəti, əsasən bu materialların nanostrukturlaşması istiqamətindədir. Bu halda effektivliyin artması bir tərəfdən fononların nanomaterialın sərhədlərində səpilməsi hesabına qəfəs istilikkeçirməsinin və uyğun olaraq, ümumi istilikkeçirmənin azalması, digər tərəfdən isə kiçik ölçülü strukturlarda Fermi səviyyəsi yaxınlığında hal sıxlığının dəyişməsi nəticəsində termoe.h.q-nin artması hesabına baş verir.

$AgSbTe_2$  birləşməsi  $Ag_2Te$  və  $Sb_2Te_3$  kimi iki binar birləşmə əsasında alınır.  $Ag_2Te-Sb_2Te_3$ - faza diaqramının tədqiqi göstərir ki,  $Ag-Sb-Te$  sisteminə daxil olan birləşmələr həm bir, həm də ikifazlı

alınır. Bu baxımdan, Ag-Sb-Te sistemi nümunələrinin kinetik, xüsusilə də termoelektrik xassələrinə  $\text{Ag}_2\text{Te}$  əlavə fazasının təsirinin araşdırılması xüsusi maraq kəsb edir.

**Tədqiqatın obyektı və predmeti:** Monofazalı və  $\text{Ag}_2\text{Te}$  əlavə fazalı  $\text{AgSbTe}_2$  kristalları və onların kinetik xassələrinin tədqiqıdır.

**Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri:** Əlavə  $\text{Ag}_2\text{Te}$  fazası daxil olan  $\text{AgSbTe}_2$  kristallarında kinetik hadisələrin xüsusiyyətlərinin müəyyənləşdirilməsi və onların termoelektrik çeviricilərində tətbiq imkanlarının araşdırılması olmuşdur.

Qarşıya qoyulan məqsədə çatmaq üçün aşağıdakı məsələlər həll edilmişdir.

- Monofazalı Ag-Sb-Te sistemi kristallarının sintezi.
- $\text{Ag}_2\text{Te}$  fazası daxil olan  $\text{AgSbTe}_2$  kristalların sintezi.
- Termoelektrik effektivliyini artırmaq məqsədi ilə  $\text{AgSbTe}_2$  kristalına Ag, Te, Cd elementləri əlavə edilmiş tərkiblərin sintezi.
- Tədqiq olunmuş tərkiblərdə rentgen quruluş və DSK analizlərinin aparılması.
- Monofazalı və ikifazalı Ag-Sb-Te sistemi kristallarında geniş temperatur intervalında kinetik hadisələrin tədqiq edilməsi.
- $\text{Ag}_2\text{Te}$  fazasının müxtəlif həcmi faiz miqdarının kinetik əmsallara təsirinin araşdırılması.
- Tədqiq olunmuş tərkiblərin termoelektrik çeviricilərdə tətbiq imkanlarının araşdırılması.

**Tədqiqat metodları.** Tədqiq olunan tərkiblərin quruluş və faza analizi zamanı rentgen difraktometriya və differensial skanedici kalorimetriya (DSK), qalvanomaqnit və termoelektrik xassələrinin təyini üçün isə dördzondlu potensiometrik və ikifazalı sistemlər üçün verilənlərin riyazi hesablanması metodlarından istifadə edilmişdir.

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

- İki fazalı  $\text{AgSbTe}_2$  kristallarında 423,5K-də  $\text{Ag}_2\text{Te}$ -un faza keçidinə uyğun endotermik hadisənin baş verməsi.
- $\text{Ag}_2\text{Te}$  əlavə fazalı  $\text{AgSbTe}_2$ -də Holl əmsalının temperatur asılılığının maksimumdan keçməsi.

- Əlavə  $\text{Ag}_2\text{Te}$  fazasının mövcudluğu nəticəsində  $\text{AgSbTe}_2$  birləşməsində dəşiklərin effektiv kütləsinin monofazalı  $\text{Ag}_{0.82}\text{Sb}_{1.18}\text{Te}_{2.18}$ -ə nəzərən daha böyük qiymətə malik olması.
- Monofazalı  $\text{Ag}_{0.82}\text{Sb}_{1.18}\text{Te}_{2.18}$  və ikifazalı  $\text{AgSbTe}_2$  birləşmələrində qəfəs istilikkeçirməsinin qiymətinin kiçik olması və fononların səpilmə mexanizmlərinin təyini.
- Əlavə  $\text{Ag}_2\text{Te}$  fazasının mövcudluğu nəticəsində  $\text{AgSbTe}_2$  birləşməsinin istilikkeçirməsinin qiymətinin artması.
- Təcrübi nəticələrin “effektiv mühit” nəzəriyyəsi əsasında izahı və  $\text{AgSbTe}_2$  birləşməsində termoelektrik effektivliyinin maksimal qiymətlərinin 0-15%  $\text{Ag}_2\text{Te}$  əlavə fazası mövcud olduqda alınması.
- $\text{AgSbTe}_2+0.4\text{at.}\% \text{Te}$  tərkibində 500K-də termoelektrik effektivliyi üçün  $Z=2.3 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$  qiymətinin alınması və onun termoelektrik çeviricilərin p- qanadı kimi istifadəyə yararlı olması.

### **Tədqiqatın elmi yeniliyi:**

1. Ag-Sb-Te sisteminə aid monofazalı və müxtəlif miqdarda  $\text{Ag}_2\text{Te}$  fazası daxil olan tərkiblərdə geniş temperatur intervalında kinetik hadisələr tədqiq edilmişdir.
2. Bir fazalı və iki fazalı  $\text{AgSbTe}_2$  kristallarında DSK və rentgen quruluş analizlərinin nəticələri əsasında göstərilmişdir ki, ikifazalı tərkiblərdə 423K ətrafında  $\text{Ag}_2\text{Te}$ -un faza keçidinə uyğun endotermik hadisə baş verir.
3.  $\text{Ag}_{0.82}\text{Sb}_{1.18}\text{Te}_{2.18}$  və  $\text{AgSbTe}_2$ -də termoelektrik effektivliyinin əsas parametrlərdən biri olan termoe.h.q-ni təyin edən yükdaşıyıcıların effektiv kütlələri hesablanmış və göstərilmişdir ki,  $\text{AgSbTe}_2$  birləşməsində effektiv kütlənin böyük qiymətə malik olması həm yükdaşıyıcıların valent zonaya termik aktivləşməsi, həm də ikinci  $\text{Ag}_2\text{Te}$  fazasının mövcudluğu ilə izah olunur.
4. Göstərilmişdir ki,  $\text{AgSbTe}_2$  və  $\text{Ag}_{0.82}\text{Sb}_{1.18}\text{Te}_{2.18}$  birləşmələrində qəfəs istilikkeçirməsinin kiçik qiymətə malik olması kristallik qəfəsin nizamsızlığı, nöqtəvi defektlərdən səpilmə və struktur komponentləri kimi bir neçə faktordan asılıdır.

5. Nöqtəvi defektlərdən və fazalar arası səpilmə nəticəsində əlavə istilik müqavimətinin yaranmasına baxmayaraq, aşağı temperaturlarda əlavə  $\text{Ag}_2\text{Te}$  fazasının mövcudluğu  $\text{AgSbTe}_2$  birləşməsinin ümumi istilikkeçirməsinin qiymətinin artmasına gətirib çıxarır.
6. Effektiv mühit nəzəriyyəsi əsasında aparılan hesablamalar göstərmişdir ki, ikifazlı  $\text{AgSbTe}_2$  birləşməsində termoelektrik effektivliyinin maksimal qiymətləri 0-15%  $\text{Ag}_2\text{Te}$  ikinci fazası mövcud olduqda alınır.
7. Termoelektrik istilik çeviricilərində tətbiq məqsədilə Ag-Sb-Te sisteminə daxil olan monofazalı, ikifazlı, Ag, Te və Cd elementləri ilə aşqarlanmış tərkiblərin müxtəlif temperaturlarda termoelektrik effektivlikləri təyin edilmiş və göstərilmişdir ki,  $\text{AgSbTe}_{2+0.4\text{at.}\% \text{Te}}$  tərkibində termoelektrik effektivliyinin qiyməti daha yuxarı olub  $500\text{K}$ -də  $Z=2.3 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$  qiymətini alır.

**Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti:** Ag-Sb-Te sisteminə aid olan monofazalı və  $\text{Ag}_2\text{Te}$  əlavə fazalı tərkiblərdə termoelektrik xassələrin geniş temperatur intervalında tədqiqinin nəticələri onların əsasında digər kimyəvi birləşmələrin və bərk məhlulların hazırlanması zamanı istifadə oluna bilər. Alınmış təcrübə nəticələri tədqiq olunmuş tərkiblərdə nizamsız quruluşun onların termoelektrik effektivliyinin qiymətinin artırılmasında mühüm rol oynadığını əsaslandırmağa imkan verir. Göstərilmişdir ki, həm  $\text{AgSbTe}_2$ , həm də  $\text{Ag}_{0.82}\text{Sb}_{1.18}\text{Te}_{2.18}$  kristalları termoelektrik çeviricilərin p-qanadının həssas elementi kimi tətbiq oluna bilər. Bundan başqa, alınmış nəticələr ikifazlı sistemlərdə kinetik hadisələrin interpretasiyası zamanı istifadə oluna bilər.

**Aprobasiyası və tətbiqi:** Dissertasiya işində alınmış nəticələr aşağıdakı konfranslarda məruzə edilmişdir:

Akademik B.M. Əsgərovun 80 illik yubileyinə həsr olunmuş «Fizikanın aktual problemləri» beynəlxalq elmi konfransında (Bakı-2013); I<sup>st</sup> International Scientific Conference of young scientists and specialists; «The role of multidisciplinary approach in solution of actual problems of fundamental applied sciences (earth, technical and chemical)» (Baku-2014); Международная конференция,

посвящённая 80-летию член-корреспондента РАН И.К. Камилова «Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах» (Челябинск, Россия-2015); XI Международный семинар, «Магнитные фазовые переходы», посвященный 80-летию член-корреспондента Российской Академии Наук Камилова И.К. (Россия, Махачкала-2015); «Fizikanın aktual problemləri» Respublika elmi konfransı (Bakı-2015); «XəzərNeftQazYataq-2016» elmi-təcrübi konfrans (Bakı-2016); Magistrantların və gənc tədqiqatçıların «Fizika və Astronomiya problemləri» XVIII Respublika elmi konfransı (Bakı, BDU-2016); VIII Международная научно-техническая конференция «Микро- и нанотехнологии в электронике» (Россия, Нальчик-2016); X Международная научно-техническая конференция «Микро- и нанотехнологии в электронике» (Россия, Нальчик-2018).

Dissertasiya işinin mövzusuna aid 18 iş dərc edilmişdir. Onlardan 9-u məqalə şəklində yerli və xarici jurnallarda, 9-u isə Respublika və Beynəlxalq konfranslarda material və tezis formasında çap olunmuşdur.

**Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı:** Dissertasiya işi Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Fizika İnstitutunda yerinə yetirilmişdir.

**Dissertasiyanın strukturu və həcmi:** Dissertasiya işi girişdən, dörd fəsildən, nəticələrdən və 133 adda istinad edilmiş ədəbiyyat siyahısından ibarət olmaqla, 147 səhifədə şərh olunmuşdur. Şəkillər, cədvəllər və istinad edilmiş ədəbiyyat siyahısı istisna olmaqla, giriş 17506, I fəsil 44952, II fəsil 10301, III fəsil 34831, IV fəsil 52832, nəticələr 2393, ixtisarlar və şərti işarələr isə 765 işarədən ibarətdir. Dissertasiya işinin ümumi həcmi 166963 işarədən ibarətdir.

## **DİSSERTASIYANIN ƏSAS MƏZMUNU**

**Girişdə** dissertasiya işinin ümumi xarakteristikası, aktuallığı, məqsədi, elmi yeniliyi, praktiki əhəmiyyəti, müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar, approbasiya və nəşrlər haqqında məlumat verilmişdir. Daha sonra isə fəsilər qısa şəkildə şərh olunmuşdur.

Dissertasiya işinin **I fəslində**  $A^I B^V C_2^{VI}$  üçqat yarımkəçirici birləşmələrinin kristallik strukturuna aid ədəbiyyat materialları araşdırılmışdır. Göstərilmişdir ki,  $AgSbTe_2$  üçqat birləşməsi  $A^I B^V C_2^{VI}$  qrupuna daxil olub, NaCl tipli səthə mərkəzləşmiş kubik quruluşa malikdir. Bu birləşmə iki binar-  $Ag_2Te$  və  $Sb_2Te_3$  birləşmələri əsasında alınır və geniş temperatur oblastında işləyən termoelektrik material kimi tanınır. Bundan əlavə  $AgSbTe_2$  birləşməsinin  $PbTe$  və  $GeTe$  əsasında alınan bərk məhlul kristallarında kinetik hadisələr analiz edilmiş,  $Ag-Sb-Te$  sistemi birləşmələrinin termoelektrik xassələrinə aşqarlanmanın təsirinə aid ədəbiyyat materialları təhlil edilmişdir.

**II Fəsilə** əvvəlcə monofazlı, ikifazlı və  $Ag$ ,  $Te$ ,  $Cd$  elementləri ilə aşqarlama nəticəsində alınan  $Ag-Sb-Te$  sistemi birləşmələrinin sintez metodikası təqdim olunmuşdur.  $Ag-Sb-Te$  sistem nümunələrində ikinci  $Ag_2Te$  fazasının yaranma ehtimalını nəzərə alaraq tədqiq edilmiş tərkiblər yavaş soyuma, kəskin soyuma və zona əriməsi kimi müxtəlif üsullarla sintez olunmuş və bu haqda ətraflı məlumat verilmişdir. İlk olaraq tədqiq olunmuş tərkiblər  $3K/sm$  daimi temperatur qradienti olan sobada sintez olunmuşdur.

Əlavə  $Ag_2Te$  fazasının miqdarını dəyişmək məqsədilə ilk olaraq,  $AgSbTe_2$  tərkibinin sintez zamanı soyudulma sürətləri  $1^0C/dəq-8^0C/dəq$  intervalında dəyişdirilmişdir. Ən qənaətbəxş nəticələr daha az-  $1^0C/dəq$  soyudulma sürətində alınmışdır. Kristallaşma oblastında soyudulma sürəti fərqli olsa da,  $AgSbTe_2$  birləşmələrində  $Ag_2Te$  fazasının yaranması qaçılmaz olmuşdur.

Yuxarıtemperaturlu fazanı saxlamaq üçün  $AgSbTe_2$  birləşməsinin ərintisi olan ampula  $500^0C$ -də sobadan çıxarılmış və soyuq suya atılaraq bərkidilmişdir. Lakin belə kəskin soyudulmuş nümunədə  $AgSbTe_2$  ilə bərabər daha bir neçə faza müşahidə olunmuşdur. Sintez olunmuş nümunələrinin bəziləri zona əriməsinə məruz qoyulmuşdur. Bu zaman stexiometrik tərkibdəki nümunə ilk olaraq, yavaş soyuma üsulu ilə sintez olunub, daha sonra ampula 4 dəfə zona sobasından keçirilmişdir.

Daha sonra nümunələr almaz mişarla paralepiped formasında kəsilmiş və cilalayıcı tozla cilalanmışdır. Hazır nümunələr etil



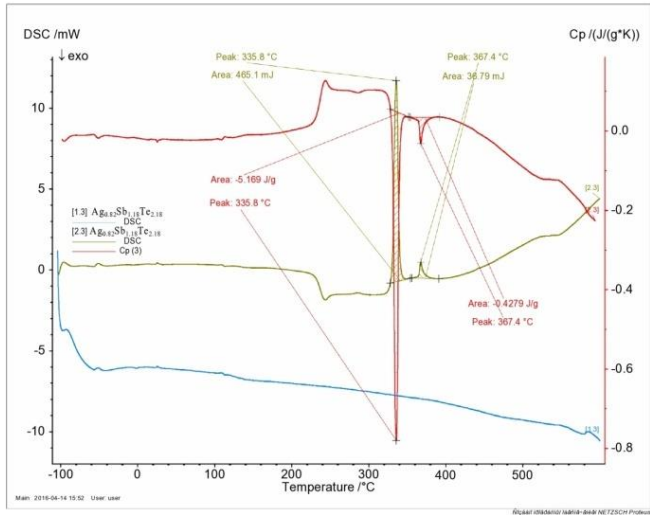
spirtində və distillə olunmuş suda qaynadılmışdır. Sonra nümunələrə elektrik kontaktları qoyulmuş və ölçü zamanı ölçü zondun qismində mis məftillərdən istifadə olunmuşdur. Bu fəsilə, həmçinin kinetik əmsalları təyin etmək üçün istifadə olunan kriostatın konstruksiyası və elektrik ölçü sxemi verilmişdir.

Dissertasiyanın **III fəslində** monofazalı  $Ag_{0.82}Sb_{1.18}Te_{2.18}$  və ikifazalı  $AgSbTe_2$  birləşmələrinin kristal quruluşu, termoelektrik və qalvanomaqnit xassələrinin tədqiqindən alınmış nəticələr şərh olunmuş, DSK analizlərinin nəticələri verilmişdir.

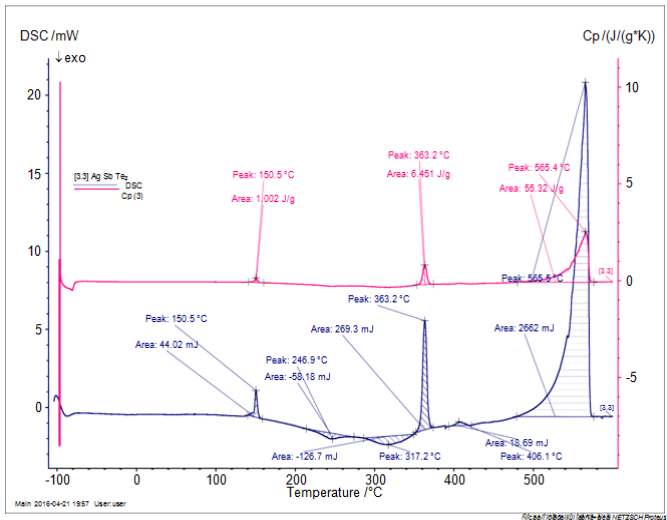
Aparılan rentgen quruluş analizlərinin nəticələri göstərmişdir ki, monofazalı  $Ag_{0.82}Sb_{1.18}Te_{2.18}$  birləşməsi  $Fm\bar{3}m$  fəza qrupuna aid olub, qəfəs parametrləri  $a=6.08\text{\AA}$  olan səthə mərkəzləşmiş kubik quruluşda kristallaşır. Alınmış nəticələrə əsasən, tədqiq olunan bütün monofazalı tərkiblərdə digər fazalara uyğun piklər müşahidə olunmamış və bu da öz növbəsində bu nümunələrin monofazalı olmasını göstərmişdir.  $AgSbTe_2$ -nin rentgen quruluş analizinin nəticələri əsasında müəyyən olunmuşdur ki, monofazalı  $Ag_{0.82}Sb_{1.18}Te_{2.18}$  birləşməsi ilə müqayisədə  $AgSbTe_2$ -də  $Ag_2Te$  fazasına aid piklər müşahidə olunur. Aparılmış analizlər göstərmişdir ki, bu nümunələrdə  $AgSbTe_2$  ilə yanaşı, kiçik miqdarda qəfəs parametrləri  $a=16.27$ ,  $b=26.68$ ,  $c=7.55\text{\AA}$  olan ortorombik strukturda kristallaşan  $Ag_2Te$  fazası mövcuddur.

Yavaş soyuma metodundan fərqli olaraq, həmçinin zonadan keçirilmə üsulu ilə sintez olunmuş  $AgSbTe_2$  nümunəsinin müxtəlif hissələrinin rentgen quruluş analizi aparılmışdır. Göstərilmişdir ki, ərintinin kristallaşmağa başlayan hissəsində  $Ag_2Te$  əlavə fazasının miqdarı çox az olub, monofazalı hala uyğun gəlir. Lakin ərintinin sonluq hissəsinin rentgen analizi əlavə fazalı  $AgSbTe_2$  nümunəsinin rentgen analizi ilə uyğunluq təşkil edir. Şəkil 1-də nümunənin uzunluq boyunca üç hissəsindən kəsilmiş nümunələrin rentgen quruluş analizinin nəticələri göstərilmişdir. Göründüyü kimi, hər üç nümunə üçün rentgen quruluş analizinin nəticələri üst-üstə düşür, lakin nümunənin orta və sonluq hissələrində  $Ag_2Te$  əlavə fazasının mövcudluğu müşahidə olunur.





a)



b)

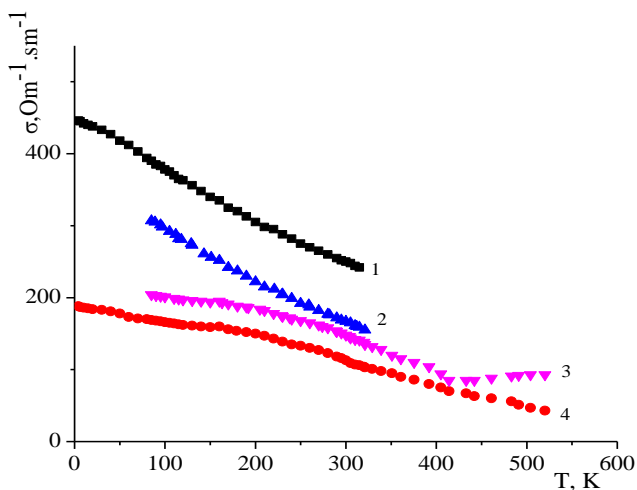
**Şəkil 2. Monofazalı  $\text{Ag}_{0.82}\text{Sb}_{1.18}\text{Te}_{2.18}$  (a) və  $\text{AgSbTe}_2$  (b) birləşmələrinin DSK əyrisi**

Qızdırılma zamanı kristallik qəfəsin deformasiyası baş verir, soyudulduqda isə ilkin nizamlı quruluş bərpa olunur. Eyni zamanda, qızdırılma zamanı termoqramda  $150.5^{\circ}\text{C}$  və  $363.2^{\circ}\text{C}$ -də 2 endoeffekt müşahidə olunur. DSK analizlərinin nəticələrinə əsasən, demək olar ki, monofazalı  $\text{Ag}_{0.82}\text{Sb}_{1.18}\text{Te}_{2.18}$ -dən fərqli olaraq ikifazalı  $\text{AgSbTe}_2$ -də  $150.5^{\circ}\text{C}$ -də ( $423,5\text{K}$ ) müşahidə olunan zəif endoeffekt  $\text{Ag}_2\text{Te}$ -a aiddir. Bu endoeffekt  $\text{Ag}_2\text{Te}$ -da baş verən struktur faza keçidi ilə əlaqədardır.  $363.2^{\circ}\text{C}$ -də müşahidə olunan endoeffekt isə  $\text{AgSbTe}_2$ -də temperaturun bu aralığında  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  fazasının yaranması ilə əlaqədardır ki, bu haqda ədəbiyyatda ətraflı məlumat verilir.  $\text{AgSbTe}_2$ -nin kinetik xassələrinə  $\text{Ag}_2\text{Te}$  əlavə fazasının təsirini hərtərəfli öyrənmək üçün monofazalı və ikifazalı tərkiblərdə kinetik əmsalların temperatur asılılıqlarını tədqiq edilmişdir. Aparılan tədqiqatlar  $\text{Ag}_{0.82}\text{Sb}_{1.18}\text{Te}_{2.18}$  birləşməsinin elektrikkeçiriciliyinin temperatur asılılığının metallik gedişə malik olmasını göstərmişdir (şəkil 3).

Termoelektrik effektivliyini təyin edən parametrlərdən biri də termoe.h.q-dir. Termoe.h.q-nin qiyməti böyük olan yarımkeçirici termoelementlər istilik enerjisini birbaşa elektrik enerjisinə çevirən termoelektrik generatorlarında və çeviricilərdə tətbiq olunur. Termoe.h.q. elektron daşınma hadisələrini xarakterizə edən əsas kəmiyyətlərdən biridir. Yarımkeçiricilərdə termoe.h.q. konsentrasiya, enerji spektri, yükdaşıyıcıların səpilmə mexanizmi və temperatur intervalı kimi fiziki xarakteristikalarla təyin olunur. Bundan əlavə olaraq termoe.h.q., həmçinin keçiriciliyin tipini müəyyən etməyə imkan verən parametrlərdən biridir.

$\text{Ag}_{0.82}\text{Sb}_{1.18}\text{Te}_{2.18}$  birləşməsinin termoe.h.q-nin temperatur asılılığında da metallik gediş müşahidə olunmuş və bütün temperatur aralığında p-tip keçiricilik göstərmişdir. Qeyd edək ki, tədqiq olunmuş monofazalı  $\text{Ag}_{0.82}\text{Sb}_{1.18}\text{Te}_{2.18}$  birləşməsinin termoe.h.q. otaq temperaturunda kifayət qədər böyük qiymət alıb ( $250\text{mkV}\cdot\text{K}^{-1}$ ), temperaturdan asılı olaraq artır.

III fəsildə həm də  $\text{Ag}_{0.82}\text{Sb}_{1.18}\text{Te}_{2.18}$  birləşməsinin Holl əmsalının temperatur asılılığından alınan nəticələr təqdim olunmuşdur. Bütün tədqiq olunan temperatur aralığında ( $4.2\text{-}550\text{K}$ )



**Şəkil 3.  $\text{Ag}_{0.82}\text{Sb}_{1.18}\text{Te}_{2.18}$  (1-[1<sup>1</sup>, s.332], 4) və  $\text{AgSbTe}_2$  (2, 3) birləşmələrinin xüsusi elektrikkeçiriciliyinin temperatur asılılıqları**

$\text{Ag}_{0.82}\text{Sb}_{1.18}\text{Te}_{2.18}$  birləşməsində Holl əmsalına görə yükdaşıyıcıların işarəsi  $\text{Ag}_2\text{Te}$  əlavə fazalı  $\text{AgSbTe}_2$ -dən fərqli olaraq həmişə p-tip olmuşdur.

Geniş temperatur intervalında  $\text{Ag}_{0.82}\text{Sb}_{1.18}\text{Te}_{2.18}$  birləşməsinin Holl əmsalının temperaturdan asılı olmadığı müşahidə edilmiş və bu hal yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının sabit olması ilə əlaqələndirilmişdir. Monofazalı  $\text{Ag}_{0.82}\text{Sb}_{1.18}\text{Te}_{2.18}$  birləşməsindən fərqli olaraq,  $\text{Ag}_2\text{Te}$  əlavə fazalı  $\text{AgSbTe}_2$  birləşməsinin Holl əmsalının temperatur asılılığı 180-200K aralığında maksimumdan keçir.  $\text{AgSbTe}_2$ -də həmçinin termoe.h.q-nin (+) və Holl əmsalının (-) işarələri geniş temperatur intervalında fərqlənir və bu haqda dissertasiya işinin IV fəslində ətraflı məlumat verilir.

<sup>1</sup> Алиев, С.А., Рагимов, С.С. Термоэлектрические свойства образцов системы Ag-Sb-Te // Журнал “Неорганические Материалы”, – 1992. 28(2), – с. 329-334.

$\text{Ag}_{0.82}\text{Sb}_{1.18}\text{Te}_{2.18}$  birləşməsinin Holl əmsalının (R) maqnit sahəsindən asılılığına da baxılmış və R-in maqnit sahəsindən asılı olmaması müşahidə olunmuşdur. Bu onu deməyə əsas verir ki, keçiricilikdə bir növ yükdaşıyıcılar- dəşiklər iştirak edir. Holl ölçmələri əsasında  $\text{Ag}_{0.82}\text{Sb}_{1.18}\text{Te}_{2.18}$ -də yükdaşıyıcıların konsentrasiyası və Holl yürüklüyünün qiymətləri təyin edilmişdir ( $p=10^{19}\text{sm}^{-3}$ ,  $\mu=15\text{-}20\text{sm}^2\cdot\text{V}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Termoe.h.q. qiyməti yükdaşıyıcıların effektiv kütləsinin artımı və konsentrasiyanın azalması ilə əlaqədardır. Buna görə də, termoe.h.q. və konsentrasiyanın təcrübi qiymətləri əsasında  $\text{Ag}_{0.82}\text{Sb}_{1.18}\text{Te}_{2.18}$  birləşməsi üçün 250-300K temperatur intervalında dəşiklərin effektiv kütlələri hesablanmışdır ( $m_p^*=0.61m_0$ )<sup>2</sup>.

Holl effekti ölçmələrinə görə  $\text{Ag}_{0.82}\text{Sb}_{1.18}\text{Te}_{2.18}$  birləşməsi bütün tədqiq olunan temperatur intervalında dəşik,  $\text{AgSbTe}_2$  birləşməsi isə 60-415K intervalında elektron tip keçiriciliyə malikdir.  $\text{AgSbTe}_2$  birləşməsinin Holl əmsalının, termoe.h.q. və elektrikkeçiriciliyinin temperatur asılılığının 420K oblastında kəskin dəyişikliklər müşahidə olunsa da,  $\text{Ag}_{0.82}\text{Sb}_{1.18}\text{Te}_{2.18}$  birləşməsi üçün həmin temperatur aralığında tədqiq olunan kinetik əmsallarda heç bir dəyişiklik müşahidə olunmur.  $\text{AgSbTe}_2$  birləşməsində 420K ətrafında kinetik əmsallarda müşahidə olunan dəyişikliklər əlavə  $\text{Ag}_2\text{Te}$  fazasının olması ilə əlaqəlidir və bu IV fəsildə ətraflı şəkildə verilmişdir.

Holl yürüklüyünün kiçik qiymətə malik olması məxsusi defektlərin konsentrasiyasının böyük olması ilə əlaqədardır. Defektlərin belə böyük konsentrasiyaya malik olması istilikkeçiriciliyinin qiymətinin azalmasına öz təsirini göstərir ki, bu da termoelektrik maddələr üçün əsas tələblərdən biridir.

Bu fəsildə, həmçinin geniş temperatur intervalında  $\text{Ag}_{0.82}\text{Sb}_{1.18}\text{Te}_{2.18}$  birləşməsinin istilikkeçiriciliyinin (k) temperatur asılılığının nəticələri təqdim edilmişdir.

---

<sup>2</sup> Рагимов, С.С. Эффективная масса дырок в  $\text{Ag}_{0.82}\text{Sb}_{1.18}\text{Te}_{2.18}$  и  $\text{AgSbTe}_2$  / С.С. Рагимов, Р.И. Селим-Заде, А.Э. Бабаева [и др.] // Известия высших учебных заведений-Физика, – 2020. т.63, №4, – с. 150-153.

İstilikkeçiriciliyinin temperatur asılılığının tədqiqi termoelektrik çeviricilərdə istifadə ilə yanaşı, həm də fononların səpilmə mexanizmləri haqqında fikir irəli sürməyə imkan verir.

$\text{Ag}_{0.82}\text{Sb}_{1.18}\text{Te}_{2.18}$ -in istilikkeçirməsi 18-20K temperatur aralığında maksimumdan keçib, temperaturdan asılı olaraq azalır və otaq temperaturunda kifayət qədər aşağı qiymət alır.  $k(T)$  asılılığının maksimumdan keçməsi fononların kristalın sərhədlərindən səpilməsi ilə izah olunur.

İstilikkeçiriciliyinin elektron hissəsi Videman-Frans qanunu ilə hesablanmış və çox kiçik qiymətə malik olması göstərilmişdir ( $k_e=0.2\%k_{\text{üm}}$ ). İstilikkeçirmənin təcrübi və hesablama nəticələri müqayisəli şəkildə analiz olunmuşdur. Fononların nöqtəvi defektlərdən, sərhədlərdən və fononlardan səpilməsini nəzərə alan Kalaveyin nəzəri modeli əsasında hesablamlar aparılmışdır.  $\text{Ag}_{0.82}\text{Sb}_{1.18}\text{Te}_{2.18}$  birləşməsi üçün  $k(T)$  asılılığı əsasən, akustik fononlardan səpilmə ilə izah olunub.

$\text{Ag}_{0.82}\text{Sb}_{1.18}\text{Te}_{2.18}$  birləşməsində gümüş atomunun çatışmazlığı bütün kristal boyu atom kütləsinin dəyişməsinə və böyük miqdarda nöqtəvi defektlərin yaranmasına səbəb olur. Atom kütləsinin belə dəyişməsi və nizamsızlıq qısa dalğalı fononların səpilməsini təmin edir. Məlum olduğu kimi, akustik rəqslər kristallik qəfəsdə əsas istilik daşıyıcılarıdır. Optik fononlar kiçik qrup sürətinə malik olduğu üçün istiliyi pis daşıyır. Onlar akustik fononlarla qarşılıqlı təsir nəticəsində istilikkeçiriciliyinə təsir göstərə bilirlər. Ədəbiyyatda elektron, optik və qəfəs rəqsləri üçün hesablamlar aparılmış və göstərilmişdir ki,  $\text{AgSbTe}_2$  birləşməsində olan optik modlar aşağı tezliyə malikdir və istilik akustik modlarla örtülür. Bu aşağı tezlikli optik və yuxarı tezlikli akustik modların güclü qarşılıqlı təsirinə gətirib çıxara bilər. Akustik fononların optik modlardan səpilməsi, eyni zamanda, Ag və Sb atomlarının nizamsızlığı istilik müqavimətinin artmasına səbəb olur. Beləliklə, kristallik qəfəsin nizamsızlığı və nöqtəvi defektlərdən səpilmə fononların səpilmə sürətinin artmasına və nəticədə qəfəs istilikkeçirməsinin azalmasına səbəb olur.

**Dördüncü fəsil**də  $\text{Ag}_2\text{Te}$  əlavə fazasının müxtəlif həcmi faiz nisbətlərinin  $\text{AgSbTe}_2$ -nin kinetik xassələrinə təsiri araşdırılmışdır.

AgSbTe<sub>2</sub>-nin kinetik xassələrinə Ag<sub>2</sub>Te əlavə fazasının təsirini hərtərəfli öyrənmək üçün həm monofazalı, həm də ikifazalı tərkiblərdə kinetik əmsalların temperatur asılılıqlarını tədqiq edilmişdir. Faza diaqramına əsasən, Ag-Sb-Te sisteminə daxil olan birləşmələr həm bir, həm də ikifazalı alınır.

Qeyd edək ki, AgSbTe<sub>2</sub> birləşməsində əlavə fazanın istilik və yük daşınma hadisələrinə təsirinə dair ədəbiyyatda materiallar mövcuddur<sup>1</sup>. Ag-Sb-Te sistemində kinetik əmsalların analizi aparılmış, əlavə fazanın bu kinetik əmsallara təsiri qismən analiz edilmiş, R əmsalı və termo.e.h.q. üçün isə yalnız iki nümunədə hesablamalar aparılmışdır. Bununla yanaşı ikinci fazanın müxtəlif həcmi faiz miqdarlarının elektrikkeçiriciliyinə, Holl əmsalına, istilikkeçiriciliyinə təsirinə aid hesablamalar ümumiyyətlə aparılmamışdır.

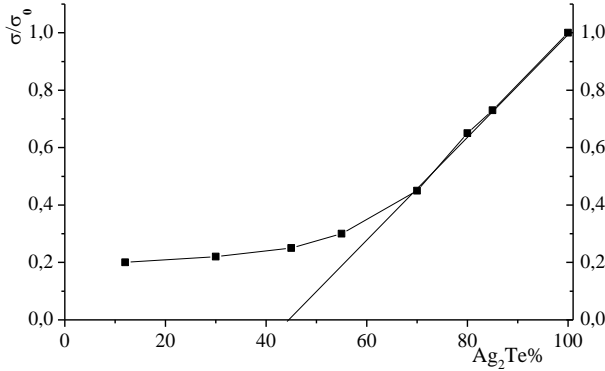
Bu səbəbdən, təqdim olunan dissertasiya işində AgSbTe<sub>2</sub> birləşməsinin istilik və yük daşınma hadisələrinə əlavə fazanın təsiri araşdırılmış və Ag<sub>2</sub>Te-un müxtəlif faiz nisbətlərində perkolyasiya (axın) və “effektiv mühit” nəzəriyyəsi çərçivəsində hesablamalar aparılmışdır. Aparılan hesablamalar zamanı təcrübi nəticələr mövcud ədəbiyyatdan fərqli olaraq daha aşağı və geniş temperatur aralığında götürülmüşdür.

Qeyd etmək lazımdır ki, çoxfazlı sistemlərin analizi perkolyasiya nəzəriyyəsi və “effektiv mühit” metodları əsasında aparılır. Məlum olduğu kimi, “effektiv mühit” metodu perkolyasiya sərhədlərindən kənarada tətbiq olunur. Təcrübi olaraq, bu vahidə normallaşdırılmış keçiriciliyin əlavə fazanın faiz miqdarından asılılıq əyriləri qurulması vasitəsilə aparılır.

Asılılığın xətti hissəsi effektiv mühit metodlarının tətbiq edilmə oblastına uyğun gəlir. Eyni zamanda, axın sərhəddinə yaxınlaşdıqca bu asılılıq xətilikdən kənara çıxır, kritik qiymətə uyğun gələn hissədə faiz oxu ilə kəsişmə hissəsində üstlü xarakter alır. Nəzərə alsaq ki, əksər tədqiqatlarda perkolyasiya sərhədlərindən kənarada və ya “effektiv mühit” oblastında aparılır, təcrübi verilənlərə bu və ya digər yanaşmanı dəqiq vurğulamaq lazımdır.



Şəkil 4-də Ag-Sb-Te sisteminin nümunələri üçün normallaşdırılmış keçiriciliyin ikinci fazanın miqdarından aslılığı verilmişdir.

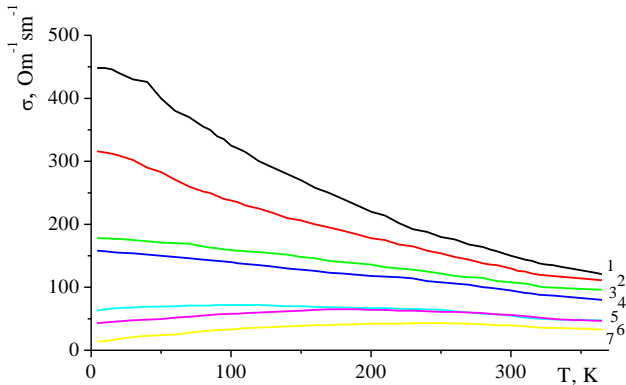


**Şəkil 4. AgSbTe<sub>2</sub> birləşməsi üçün keçiriciliyin Ag<sub>2</sub>Te fazasından həcmi faiz aslılığı**

Göründüyü kimi, uyğun koordinatlar üzərində qurulmuş əyri 40% oblastında xəttlilikdən kənara çıxıb, üstlü xarakterə malikdir. Bu da perkolyasiya sərhəddinə yaxınlaşmanı göstərir. Təcrübi nəticələrə görə perkolyasiya həddinin kritik qiyməti hesablanmışdır ( $p_K=0,4$ ) və bu qiymət nəzəri əsaslarla üst-üstə düşür. Bu oblastdan aşağıda isə effektiv mühit nəzəriyyəsi tətbiq edilib və elektrikkeçiriciliyi, termoe.h.q., Holl əmsalları hesablanmışdır. Ag<sub>2</sub>Te-un müxtəlif həcmi faiz nisbətlərində elektrikkeçiriciliyi üçün hesablamalar aparılmış və bu zaman əsas faza olaraq Ag<sub>0.82</sub>Sb<sub>1.18</sub>Te<sub>2.18</sub> birləşməsinin, ikinci faza olaraq isə p-Ag<sub>2</sub>Te birləşməsinin nəticələrindən istifadə edilmişdir. Nümunələrin xüsusi müqavimətinin hesablanması, təqribən eyni uzaqlıqda olan daxilolmalara malik matris sistemləri üçün verilmiş aşağıdakı ifadə üzrə aparılmışdır:

$$\sigma = \sigma_0 \left( 1 + \frac{X_1}{\frac{1-X_1}{3} + \frac{\sigma_0}{\sigma_1 - \sigma_0}} \right), \quad \rho = \rho_0 \left( 1 + \frac{x}{\frac{1-x}{2} + \frac{\rho_0 - \rho_1}{\rho_1}} \right) \quad (1)^3$$

Burada  $x$  - ikinci fazanın vahid həcmdəki konsentrasiyası;  $\rho_0$  və  $\rho_1$  uyğun olaraq, əsas matrisin və əlavə fazanın xüsusi müqavimətidir. Hesablama nəticələri şəkil 5-də bütöv xətlərlə göstərilmişdir.



**Şəkil 5. Ag-Sb-Te birləşməsində ikinci fazanın müxtəlif həcmi faiz miqdarlarında ( $\text{Ag}_2\text{Te}$ ): 1-0%; 2-5%; 3-8%; 4-13%; 5-15%; 6-20%; 7-30% xüsusi elektrikkeçirciliyinin temperatur asılılığının nəzəri hesablamaları**

Bəzi nümunələr üçün hesablamalarla təcrübi nəticələr arasında kənara çıxmalar mövcuddur. Təcrübi və hesablama nəticələrində alınan müəyyən uyğunsuzluqları matris və əlavə fazanın sərhədlərində yükdaşıyıcıların hərəkətinin dəyişməsi (səpilməsi) və

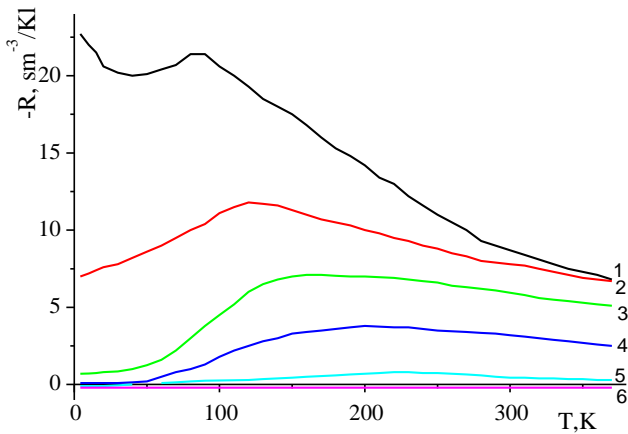
<sup>3</sup> Herring, C. Effect of random inhomogeneities on electrical and galvanomagnetic measurements // Journal of Applied Physics, – 1960. 31(11), – p. 1939-1953.

kristallaşma sürətinin artması zamanı qeyri-bircins ikinci fazanın miqdarının artması ilə izah etmək olar.

Əlavə fazanın düzgün ortalanmaması xüsusi müqavimətin artırılmış və eyni zamanda, azaldılmış qiymətini verə bilər. Bu dəyişiklik bütün temperatur intervalında sabit qalacaq. Qeyd etmək lazımdır ki, kristallaşmanın böyük sürətlərində  $Ag_{0.82}Sb_{1.18}Te_{2.18}$  əsas fazasının xətti ölçüləri kiçilir və faza sərhədlərinin ümumi səthi artır. Məhz bu səthlərdə yükdaşıyıcıların diffuziya səpilməsi və ya güzgü əks olması baş verə bilər.

Əgər faza özəklərinin ölçüləri sərbəst qaçış yolunun uzunluğu ilə üst-üstə düşərsə, yükdaşıyıcıların sərbəst qaçış yolunun uzunluğu faza sərhədləri ilə məhdudlana bilər.

Şəkil 6-da əlavə fazanın müxtəlif faizlərində Holl əmsalının hesablama əyriləri təqdim edilib (ikinci faza olaraq p-Ag<sub>2</sub>Te).



**Şəkil 6. Ag<sub>2</sub>Te əlavə fazasının müxtəlif həcmi faiz miqdarları üçün AgSbTe<sub>2</sub>-də Holl əmsalının temperatur asılılıqlarının hesablama qiymətləri: 1-30%; 2-20%; 3-13%; 4-8%; 5-5%; 6-0%**

Təcrübədən alınan nəticələr əsasında nəzəri hesablamalar aparılmışdır. Bu hesablamalar ikifazlı sistemlər üçün nəzərdə tutulmuş kinetik hallar nəzəriyyəsinə əsaslanaraq aparılmışdır. Bu nəzəriyyəyə əsasən, Holl əmsalı aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur:

$$R = \frac{\langle \sigma^2 R \rangle}{\langle \sigma^2 \rangle} \left\{ 1 + \frac{2}{3} \sum_{i=1,2} X_i \left[ \frac{(\sigma_i - \langle \sigma \rangle)^2}{\langle \sigma^2 \rangle} - \frac{(\sigma_i^2 R_i - \langle \sigma^2 R \rangle)(\sigma_i - \langle \sigma \rangle)}{\langle \sigma^2 R \rangle \langle \sigma \rangle} \right] \right\} \quad (2)$$

İfadədəki kəmiyyətlərin orta qiymətini  $\langle P \rangle$  ilə işarə etsək ( $P = \sigma, \rho, \sigma^2 R$  və s.) aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$\langle P_i \rangle = X_1 P_1 + X_2 P_2 \quad (3)$$

Burada  $P_1$  və  $P_2$ - ayrı fazaların xassələri;  $X_1$  və  $X_2$  – fazaların həcm miqdarıdır. Hesablamalar zamanı əsas faza olaraq  $\text{Ag}_{0.82}\text{Sb}_{1.18}\text{Te}_{2.18}$ , ikinci faza olaraq  $p\text{-Ag}_2\text{Te}$  birləşməsinin nəticələrindən istifadə olunub.

Hesablama qiymətlərinin təcrübə qiymətləri ilə uyğun gəlməsi, ilk olaraq matris və əlavə fazanın orta tərkibinin düzgün seçilməsi və bu kristallarda yükdaşıyıcıların sərbəst qaçış yolunu məhdudlaşdıran amilin təsirinin əhəmiyyətsiz olduğunu göstərir. Sərbəst qaçış yolunun orta uzunluğu yükdaşıyıcıların yürüklüyünün qiymətini müəyyən edir. Bu səbəbdən, ilk olaraq daha yüngül yükdaşıyıcıların yürüklüyü məhdudlanır. Göründüyü kimi, əlavə fazanın faiz miqdarı artdıqca Holl əmsalının qiymətinin artması və maksimumun aşağı temperatur tərəfə sürüşməsi müşahidə olunur.

$S(T)$  və  $R(T)$  asılılıqları göstərir ki, monofazlı nümunələr  $p$ -tip keçiriciliyə malikdirlər və tədqiq olunan bütün temperatur aralığında  $R(T) = \text{const}$ . Müəyyən miqdarda ikinci fazanı daxil etməyə başladıda  $R_X$  asılılığı stexiometrik nisbətdə alınmış nümunələrin asılılığı ilə oxşardır. Yuxarıda qeyd olunduğu kimi,  $T > 40\text{K}$  olduqda Holl əmsalı müsbətdən mənfiyə işarəsini dəyişir və daha sonra maksimumdan keçir.

Eyni zamanda, faza faizinin artması ilə  $R(T)$  asılılığı əyrisində maksimumun temperatur sürüşməsi müşahidə olunur. Qeyd etmək

lazımdır ki, nəzəri hesablamaların nəticələrinə əsasən, ikinci fazanın böyük həcmli nümunələrində aşağı temperaturlarda R sıfırdan keçmir və maye helium temperaturlarına qədər əks işarəli qalır. Əlavə fazanın müxtəlif faiz miqdarlarına uyğun Holl əmsalının  $R(T)$  hesablamaları şəkil 6-da bütöv xətlərlə göstərilmişdir.

Hesablamalar göstərmişdir ki,  $\text{AgSbTe}_2$  birləşməsinə 5%  $\text{Ag}_2\text{Te}$  ikinci fazası əlavə olunduqda  $\sim 180\text{-}200\text{K}$  aralığında Holl əmsalının maksimumu və  $\sim 60\text{K}$ -də işarəsinin inversiyası müşahidə olunur. Bu  $p\text{-Ag}_2\text{Te}$  temperatur asılılığının  $60\text{K}$ -də Holl əmsalının işarəsinin müsbətdən mənfiyə dəyişməsi ilə əsaslanır. Verilmiş temperatur ətrafında  $\text{Ag}_2\text{Te}$  ikinci fazasının keçiriciliyinin və elektronların yürüklüyünün qiymətinin böyük olması Holl effektinə və termoe.h.q-nə görə keçiriciliyin tipinin fərqlənməsinə gətirir. Qeyd edək ki, ikinci fazanın artması ilə keçiriciliyin qiyməti monoton olaraq azalır. Hesablamalar nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, həcmdə 5%  $\text{Ag}_2\text{Te}$  ikinci fazasının olması faza keçidində tədqiq olunan əmsalların kəskin dəyişməsi üçün kifayətdir.

Eyni zamanda, hesablama nəticələrinin təcrübi nəticələrdən cüzi kənara çıxması da müşahidə olunur. Təcrübi və hesablama nəticələrinin belə fərqlənməsini yükdaşıyıcıların matris və əlavə fazanın sərhədlərində səpilməsi və kristallaşma sürətinin artması nəticəsində güclü qeyri-bircins ikinci fazanın da artması ilə izah etmək olar.

Məlum olduğu kimi, termoelektrik materialların effektivliyi aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur.

$$Z = \frac{\sigma S^2}{k} \quad (4)$$

S- termoe.h.q. ;

$\sigma$ - xüsusi elektrikkeçirmə;

k- istilikkeçirmə əmsalıdır.

Son illərdə materialşünaslıq sahəsində daha yaxşı Z əmsalına malik termoelektrik materiallar aktiv tədqiq olunur. Bu baxımdan, termoelektrik materiallar üçün termoe.h.q-nin tədqiqi əsas məsələlərdən biridir.

Stexiometrik tərkibli  $\text{AgSbTe}_2$  birləşməsinin termoe.h.q-nin temperatur asılılığından müəyyən olunmuşdur ki, tədqiq olunan nümunələrdə ikinci fazanın miqdarı soyuma (kristallaşma) sürətindən asılıdır və termoe.h.q-nin cüzi dəyişməsinə gətirib çıxarır. Lakin  $S(T)$  asılılığının görünüşü dəyişmir. 100-220K aralığında  $S(T)$  asılılığından termoe.h.q-nin xarakterik yavaşlaması, 220K yuxarıda isə xətti artması müşahidə olunur. Bu nümunələr üçün aşağı temperaturalarda termoe.h.q-nin qiyməti temperatur artdıqca artır. Tədqiq olunan bütün nümunələr otaq temperaturunda kifayət qədər böyük termoe.h.q-nə malikdir və tədqiq olunan bütün temperatur aralığında p-tip keçiriciliyi göstərir.

Müxtəlif faza miqdarına malik nümunələrin termoe.h.q-nin temperatur asılılıqları böyük maraq kəsb edir. Monofazalı nümunələr üçün termoe.h.q-nin temperatur asılılığı xətti olaraq artır. İkinci fazanın miqdarının artması ilə  $S(T)$  asılılığında 90K ətrafında yüngül əyilmə müşahidə olunur. İkinci fazanın nisbətən böyük miqdarlarında 50-240K aralığında termoe.h.q. sabitliyi müşahidə olunur.

Yuxarıda təklif olunan model çərçivəsində termoe.h.q-nin qiymətinin nəzəri hesablamaları zamanı uyğun olaraq, elektrikkeçiriciliyinin və Holl əmsalının hesablamalarında istifadə olunan fazaların faiz və temperatur asılılıqları götürülmüşdür. Həmin model çərçivəsində termoe.h.q. aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$S = \langle S \rangle = - \sum_{i=1,2} S_i X_i \left( \frac{1}{3} \frac{k_i - \langle k \rangle}{\langle k \rangle} + \frac{2}{3} \frac{\rho_i - \langle \rho \rangle}{\langle \rho \rangle} \right) \quad (5)$$

Burada,  $\langle S \rangle = S_1 X_1 + S_2 X_2$  - sadə həcmi ortası;

$X_1$  və  $X_2$  - fazanın həcmi miqdarı;

$k_1$  və  $k_2$  - fazaların istilikkeçirmə əmsalı;

$\sigma_1$  və  $\sigma_2$  - fazaların xüsusi elektrikkeçiriciliyidir.

Qeyd etmək lazımdır ki, bu model keçiriciliyin və yüürlüüyün qiymətlərinin az fərqləndiyi ikifazalı sistemlər üçün nəzərdə tutulmuşdur.

Termoe.h.q-nin nəticələrinə əsasən, demək olar ki, tədqiq olunan bütün temperatur intervalında  $\text{AgSbTe}_2$  dəşik tip keçiriciliyinə malikdir. Holl əmsalının, termoe.h.q-nin və elektrikkeçiriciliyinin faza keçidi oblastında ( $T=420\text{K}$ ) temperatur asılılıqlarında kəskin dəyişikliklər müşahidə olunur ki, bu da ayrılan  $\text{Ag}_2\text{Te}$  birləşməsində struktur faza keçidinin olması ilə izah olunur. Müəyyən edilmişdir ki,  $\text{AgSbTe}_2$  birləşməsində ikinci fazanın miqdarı soyuma (kristallaşma) sürətindən asılıdır. Bu da tədqiq olunan nümunələrdə termoe.h.q-nin cüzi dəyişməsinə gətirib çıxarır. Lakin faza miqdarının dəyişməsi Holl əmsalının temperatur asılılığında özünü kəskin surətdə büruzə verir.

Bu tərkiblərin istilikkeçiriciliyinin əhəmiyyətli dərəcədə aşağı qiymətə malik olması xüsusi maraq cəlb edir və nizamsız quruluş, nöqtəvi defektlər və struktur komponentləri kimi bir neçə faktorla izah olunur. Məlum olduğu kimi,  $\text{AgSbTe}_2$  birləşməsi  $\text{NaCl}$  kubik strukturunda kristallaşır. Burada  $\text{Ag}$  və  $\text{Sb}$  ionları  $\text{Te}$  ionlarının sıx yerləşmiş təbəqələri arasında nizamsız paylanmışdır. Kimyəvi cəhətdən fərqli olan bu atomlar eyni kristalloqrafik mövqələrdə yerləşir, lakin valent elektronlarının konfigurasiyasına görə fərqlənir. Bu da kristal qəfəsdə təhriflərə və nəticədə istilikkeçiriciliyinin azalmasına səbəb olur. Lakin nəzərə alsaq ki, gümüşün (107.868) və stibiumun (121.75) atom kütlələri bir-birinə yaxın və fərqləri əhəmiyyətsiz dərəcədə az olduğundan güclü səpilməyə səbəb ola bilməz.

Beləliklə, kristallik qəfəsin nizamsızlığı və nöqtəvi defektlərdən səpilmə fononların səpilmə sürətinin artmasına və nəticədə bu maddələrdə qəfəs istilikkeçirməsinin azalmasına səbəb olur. Strukturda fazaların bərabər paylanmış halında, ikifazlı sistemin istilikkeçiriciliyi əsas matrisin istilikkeçiriciliyindən aşağı olmalıdır. Lakin təcrübədə əks hal müşahidə olunur.

Daha sonra stexiometrik tərkibli  $\text{AgSbTe}_2$  birləşməsinin geniş temperatur aralığında istilikkeçiriciliyinin temperatur asılılığının nəticələri təqdim olunmuş və göstərilmişdir ki, tədqiq olunan nümunələrdə istilikkeçirmənin qiyməti temperatur artdıqca artır və 180-200K aralığında maksimumdan keçir. Bu hal fononların kristalın sərhədlərindən səpilməsi ilə izah olunur. Göstərilən  $k(T)$  asılılıqlarını

istilikkeçirmənin fonon hissəsinə aid etmək olar, çünki Videman-Frans qanununa görə hesablanmış istilikkeçirmənin elektron hissəsi verilmiş temperatur intervalında 1%-dən az olduğu göstərilmişdir.

Eyni zamanda, Ag-Sb-Te sisteminin ikifazlı nümunələrində istilikkeçiriciliyinin p-Ag<sub>2</sub>Te ikinci fazasından asılılığının hesablama nəticələri verilmişdir. Göstərilmişdir ki, aşağı temperaturlarda ikinci fazanın miqdarı artdıqca istilikkeçiriciliyinin qiyməti də artır<sup>4</sup>. Lakin 300K ətrafında əsas (Ag<sub>0.82</sub>Sb<sub>1.18</sub>Te<sub>2.18</sub>) və əlavə fazanın (Ag<sub>2</sub>Te) istilikkeçiriciliyinin qiymətlərinin yaxın olması nəticəsində bu fərq azalır. Alınmış təcrübi nəticələr “effektiv mühit” nəzəriyyəsi çərçivəsində izah edilmişdir.

Aparılan hesablamalar zamanı təcrübi nəticələr mövcud ədəbiyyatdan fərqli olaraq daha aşağı və geniş temperatur aralığında götürülmüşdür.

Hesablamalar bütün hallarda matrisi Ag<sub>0.82</sub>Sb<sub>1.18</sub>Te<sub>2.18</sub>, ikinci fazası isə p-Ag<sub>2</sub>Te olan ikifazlı model əsasında aparılmışdır. Təcrübi nəticələrdə və hesablama qiymətlərində alınan uyğunluq, matris və əlavə fazanın orta tərkibinin düzgün seçilməsi ilə izah olunur.

Orta temperatur intervalında termoelektrik çeviricilərdə həssas element kimi istifadə olunan AgSbTe<sub>2</sub>-nin termoelektrik effektivliyini artırmaq məqsədilə bir neçə tərkibdə maddələr sintez edilmiş və onların termoelektrik xassələri 80-550K temperatur aralığında tədqiq olunmuşdur. Termoelektrik şüa çeviriciləri yüksək etibarlılıq, zamana görə parametrlərin stabilliyi, geniş dalğa uzunluğu diapozonunda selektivsizliyi və s. kimi üstünlüklərə malikdir. Digər çeviricilərlə müqayisədə bu çeviricilərin qeyri selektiv olması onların əsas üstünlüyü sayılır. Termoelektrik çeviricilərinin (şüa qəbulediciləri) iş prinsipi termoelektrik (Zeebek) effektinə əsaslanır. Bu çeviricilərdə istifadəsi üçün materiala qoyulan əsas tələb-termoe.h.q-nin qiymətinin yuxarı olmasıdır.

---

<sup>4</sup> Ragimov, S.S., Babayeva, A.E. and Aliyeva, A.İ. On the thermal conductivity of AgSbTe<sub>2</sub> and Ag<sub>0.82</sub>Sb<sub>1.18</sub>Te<sub>2.18</sub> // Low Temperature Physics, – 2018. 44(11), – p.1195-1197.



Digər tərəfdən isə, qəbul edilən şüalanmanın gücü əsasən, termoelementin temperaturunun artması hesabına ölçüldüyündən, termoelektrik maddənin istilikkeçirməsinin qiyməti aşağı olmalıdır.

Tədqiq edilmiş nümunələr əsasən, ilkin kristalın aşqarlanması nəticəsində alınmışdır. Aşqarların vurulması maddədə yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının dəyişməsinə və uyğun olaraq, elektrofiziki xassələrin dəyişməsinə gətirib çıxarır.

NaCl kristallik strukturuna malik  $\text{AgSbTe}_2$  birləşməsi Ag və Sb atomlarının nizamsız şəkildə Na atomunun mövqelərini tutan qəfəs quruluşuna malikdir. Bu səbəbdən  $\text{AgSbTe}_2$  birləşməsinin istilikkeçiriciliyi çox aşağı, termoe.h.q. isə nisbətən yüksəkdir. İstilikkeçiriciliyinin belə aşağı və termoe.h.q-nin yuxarı qiymətə malik olması nəticəsində bu maddənin termoelektrik effektivliyinin Z orta temperatur aralığında böyük qiymətə malik olur.

Məlum olduğu kimi, maddələrə müxtəlif aşqarların daxil edilməsi onların zona parametrlərinə, termoelektrik xassələrinə və yükdaşıyıcıların səpilmə mexanizmlərinə təsir edir. Aşqarların vurulması maddədə yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının dəyişməsinə və uyğun olaraq, elektrofiziki xassələrin dəyişməsinə gətirib çıxarır. Termoelektrik effektivliyini artırmaq məqsədilə  $\text{AgSbTe}_2$ -ə Ag, Te, Cd elementləri əlavə olunmaqla bir neçə tərkibdə maddələr sintez edilmiş və onların termoelektrik xassələri 80-550K temperatur aralığında tədqiq olunmuşdur.

Aparılmış tədqiqatlar nəticəsində göstərilmişdir ki, Ag-Sb-Te sisteminə daxil olan tərkiblərin arasında  $\text{AgSbTe}_2+0.4\text{at.}\% \text{Te}$  birləşməsində termoelektrik effektivliyinin qiyməti daha yuxarı olub 500K-də  $Z=2.3 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$  qiymətini alır və onu termoelektrik çeviricilərin p- qanadı kimi istifadə etmək olar (Cədvəl).

**Cədvəl . Termoelektrik effektivliyinin müxtəlif temperaturlardakı qiymətləri**

$Z(T) \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$					
Nümunə	300K	350K	400K	450K	500K
$\text{Ag}_{0.82}\text{Sb}_{1.18}\text{Te}_{2.18}$	0.96	0.98	0.9	0.78	0.7
$\text{AgSbTe}_2$	1	1	0.98	1	1.2
$\text{AgSbTe}_2+0.2\text{at.}\% \text{Ag}$	0.34	0.3	0.3	0.13	0.1
$\text{AgSbTe}_2+0.4\text{at.}\% \text{Te}$	1.2	1.2	1	1.5	2.3
$\text{AgSbTe}_2+5\text{at.}\% \text{Cd}$	0.1	0.12	0.1	0.04	0.04

Son illərdə materialşünaslıq sahəsində, termoelektrik qurğuların effektivliyini təyin edən  $ZT$  keyfiyyətlik əmsalı yuxarı olan termoelektrik materialları geniş tədqiq olunur. Hal-hazırda praktikada tətbiq edilən termoelektrik materialların keyfiyyətlik əmsalı  $ZT \sim 1$  ətrafındadır. Əsas məsələlərdən biri də termoelektrik qurğuların effektivliyinin qiymətinin artırılması və ənənəvi elektromexaniki sistemlərdə olan qiymətə çatdırılmasıdır. Qeyd edək ki, hər bir termoelektrik material effektivliyinin ən yuxarı qiymətini müəyyən temperatur intervalında alır. Bu mənada  $ZT$ -nin maksimum qiymətinə görə termoelektrik materiallar a) aşağı temperatur ( $< 523\text{K}$ ), b) orta temperatur ( $523-923\text{K}$ ) və c) yuxarı temperatur ( $> 923\text{K}$ ) intervallarında işləmək üçün daha yararlı olurlar.  $\text{AgSbTe}_2+0.4\text{at.}\% \text{Te}$  birləşməsinin  $500\text{K}$ -də aldığı  $Z=2.3 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$  termoelektrik effektivliyinin qiyməti əsasında keyfiyyətlik əmsalı üçün  $ZT \sim 1,15$  alınmışdır. Bu isə əsas üstünlüyü aşağı temperatur oblastı olmaqla praktikada termoelektrik soyuducular, generatorlar və istilik qəbuledicilərində tətbiq üçün imkan yaradır.

## Nəticə

1. Termoelektrik istilik çeviricilərində istifadə üçün yararlı parametrlərə malik olan Ag-Sb-Te sisteminə aid monofazlı və müxtəlif həcmi faiz miqdarında  $\text{Ag}_2\text{Te}$  fazası daxil olan tərkiblərin alınma metodları işlənmişdir. DSK və rentgen quruluş analizləri əsasında iki fazalı  $\text{AgSbTe}_2$  kristallarında  $150.5^\circ\text{C}$  ( $423,5\text{K}$ ) ətrafında müşahidə edilən endotermik effektin  $\text{Ag}_2\text{Te}$ -un faza keçidinə uyğun olması göstərilmişdir.
2. Monofazlı  $\text{Ag}_{0.82}\text{Sb}_{1.18}\text{Te}_{2.18}$  ( $m_p^* = 0.61m_0$ ) və iki fazalı  $\text{AgSbTe}_2$ -də ( $m_p^* = 1.76m_0$ ) termoe.h.q. və Holl əmsallarının təcrübi nəticələri əsasında dəşiklərin konsentrasiyaları və effektiv kütlələri təyin edilmişdir. Göstərilmişdir ki, əlavə  $\text{Ag}_2\text{Te}$  fazasının mövcudluğu  $\text{AgSbTe}_2$ -də effektiv kütlənin artmasına səbəb olur və Holl yürüklüyünün kiçik qiyməti ( $15\text{-}20\text{sm}^2/\text{V}\cdot\text{san}$ ) həm yükdaşıyıcıların, həm də məxsusi defektlərin konsentrasiyasının böyük qiymətə malik olması ilə əlaqədardır.
3. Kristallik quruluşda Te ionlarının sıx yerləşmiş layları arasında Ag və Sb ionlarının nizamsız paylanması nəticəsində Ag və Sb kation mərkəzlərinin nizamsızlığı və böyük miqdarda nöqtəvi defektlər yaranır. Bundan başqa faza sərhədlərindən səpilməyə səbəb olan əlavə fazaların yaranması kimi struktur komponentləri  $\text{AgSbTe}_2$  və  $\text{Ag}_{0.82}\text{Sb}_{1.18}\text{Te}_{2.18}$  birləşmələrində qəfəs istilikkeçirmə əmsalının çox kiçik qiymətə ( $(6\text{-}8)\cdot 10^{-3}\text{Vt/sm}\cdot\text{K}$ ) malik olmasına səbəb olur.
4. Göstərilmişdir ki, fazalar arası səpilmə nəticəsində əlavə istilik müqavimətinin yaranmasına baxmayaraq, əlavə  $\text{Ag}_2\text{Te}$  fazasının mövcudluğu, aşağı temperaturalarda həmin fazanın istilikkeçirməsinin qiymətinin yuxarı olması hesabına  $\text{AgSbTe}_2$  birləşməsinin ümumi istilikkeçirməsinin qiymətinin artmasına səbəb olur.
5. Effektiv mühit nəzəriyyəsi əsasında aparılan hesablamalar göstərmişdir ki, ikifazlı  $\text{AgSbTe}_2$  birləşməsində termoelektrik effektivliyinin maksimal qiymətləri həcmdə  $0\text{-}15\%$   $\text{Ag}_2\text{Te}$  ikinci fazası mövcud olduqda alınır.  $\text{AgSbTe}_2$  birləşməsində  $5\%$ -dən

artıq  $\text{Ag}_2\text{Te}$  əlavə fazası mövcud olduqda, elektronların yürüklüyünün yuxarı olması hesabına  $\sim 60\text{K}$  ətrafında işarəsinin p-dən n-ə inversiyası və temperaturun  $150\text{-}200\text{K}$  aralığında Hall əmsalının maksimumdan keçməsi müşahidə olunur.

6. Termoelektrik istilik çeviricilərində tətbiq məqsədilə elektrikkeçiriciliyi, termoe.h.q. və istilikkeçirmə əmsallarının temperatur asılılıqları əsasında  $\text{Ag-Sb-Te}$  sisteminə daxil olan monofazalı, ikifazalı,  $\text{Ag}$ ,  $\text{Te}$  və  $\text{Cd}$  elementləri ilə aşqarlanmış tərkiblərin  $300\text{-}500\text{K}$  temperatur intervalında termoelektrik effektivlikləri təyin edilmişdir. Göstərilmişdir ki,  $\text{AgSbTe}_2+0.4\%\text{at.Te}$  tərkibində termoelektrik effektivliyinin qiyməti daha yuxarı olub  $500\text{K}$ -də  $Z=2.3 \cdot 10^{-3}\text{K}^{-1}$  qiymətini alır və onu termoelektrik çeviricilərin p- qanadı kimi istifadə etmək olar.

### **Dissertasiyanın mövzusu üzrə dərc olunmuş işlərin siyahısı**

1. Rəhimov, S.S., Babayeva, A.E.  $\text{AgSbTe}_2$ -in termoelektrik xassələri // Fizika, – 2013. Vol.9, №2, – s. 95-98
2. Рагимов, С.С., Бабаева, А.Э. Термoeлектрические свойства  $\text{Ag}_{19}\text{Sb}_{29}\text{Te}_{52}+0.3\text{at.}\% \text{CdCl}$  // Академик В.М. Əsgərovun 80 illik yubileyinə həsr olunmuş “Fizikanın aktual problemləri” beynəlxalq elmi konfransının materialları, – Bakı, – 6 dekabr, – 2013, – s. 102-103
3. Babayeva, A.E. Influence of Cd on the thermoelectric power of  $\text{Ag}_{0.82}\text{Sb}_{1.18}\text{Te}_{2.18}$  // 1st International Scientific Conference of young scientists and specialists, “The role of multidisciplinary approach in solution of actual problems of fundamental applied sciences (earth, technical and chemical)”, Book of abstracts, – Bakı, – 15-16 october, – 2014. – p. 177-178
4. Рагимов, С.С., Саддинова, А.А., Бабаева, А.Э. Электрофизические свойства  $\text{Ag}_{0.82}\text{Sb}_{1.18}\text{Te}_{2.18}$  // Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Xəbərləri, Fizika-texnika və riyaziyyat elmləri seriyası, Fizika və Astronomiya, – 2014. c. XXXIV, №5, – s. 81-84

5. Рагимов, С.С., Рагимов, Р.Ш., Бабаева, А.Э. Влияние легирования кадмием на термоэлектрические свойства  $\text{AgSbTe}_2$  // BDU Xəbərləri, Fizika-riyaziyyat seriyası, – 2014. №3, – с. 124-127
6. Рагимов, С.С., Саддинова, А.А., Бабаева, А.Э. Влияние дополнительной фазы на электрофизические свойства  $\text{AgSbTe}_2$  в области фазового перехода // Тезисы докладов Международной конференции, посвящённой 80-летию члена-корреспондента РАН И. К. Камилова “Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах” – Челябинск, – Россия, – 24-28 август, – 2015. с. –132-133
7. Рагимов, С.С., Саддинова, А.А., Бабаева, А.Э. Особенности электрофизических свойств  $\text{AgSbSe}_2$  и  $\text{AgSbTe}_2$  // Материалы XI Международного семинара "Магнитные фазовые переходы", посвященного 80-летию член-корреспондента Российской академии наук Камилова Ибрагимхана Камиловича. – Махачкала, – Россия, – 19-21 ноября, – 2015, – с. 243-245
8. Rəhimov, S.S., Babayeva, A.E., Səddinova, A.A., Əliyev, İ.M., Rəhimov, R.Ş.  $\text{AgSbTe}_2$  və  $(\text{AgSbSe}_2)_{0,8}(\text{PbTe})_{0,2}$ -nin quruluş və elektrofiziki xassələri // "Fizikanın aktual problemləri" Respublika elmi konfransı, – Bakı, – 17 dekabr, – 2015, – s. 125-128
9. Рагимов, С.С., Бабаева, А.Э. Электрофизические свойства соединения  $\text{Ag}_{0,82}\text{Sb}_{1,18}\text{Te}_{2,18}+0.2\text{at.}\% \text{Ag}$  // Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Xəbərləri, Fizika-texnika və riyaziyyat elmləri seriyası, Fizika və Astronomiya, – 2016. с. XXXVI, №2, – s. 62-65
10. Babayeva, A.E., Əliyeva, A.İ. 0.2at.% Ag artıqlığının  $\text{AgSbTe}_2$  birləşməsinin elektrik və istilik keçirməsinə təsiri // BDU, Magistrantların və gənc tədqiqatçıların Fizika və Astronomiya problemləri XVIII Respublika elmi konfransının materialları, – 19 may, – 2016. – s. 136-137

11. Рагимов, С.С., Бабаева, А.Э., Саддинова, А.А., Алиева, А.И. Особенности эффекта Холла в  $\text{AgSbTe}_2$  и  $\text{AgSbSe}_2$  // VIII Международная научно-техническая конференция “Микро- и нанотехнологии в электронике”, – Нальчик, – Россия, – 30мая-4 июня, – 2016. – с. 20-24
12. Rəhimov, S.S., Babayeva, A.E. Cd ilə aşqarının  $\text{AgSbTe}_2$  birləşməsinin istilikkeçirməsinə təsiri // XəzərNeftYataq-məqalələr toplusu, – 12-14 dekabr, – 2016. – s. 612-613
13. Ragimov, S.S., Babayeva, A.E., Aliyeva, A.İ. Electrophysical properties of  $\text{AgSbTe}_{1.5}\text{Se}_{0.5}$  and  $\text{AgSbTe}_2$  // Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Xəbərləri, Fizika-texnika və riyaziyyat elmləri seriyası, Fizika və Astronomiya, – 2018. с. XXXVIII, №2, – s. 69-73
14. Рагимов, С.С., Бабаева, А.Э., Алиева, А.И., Селим-Заде, Р.И. Структурные и электрические свойства  $\text{AgSbTe}_2$  и  $\text{AgSbTe}_{1.5}\text{Se}_{0.5}$  // Микро и нано технологии в электронике. Материалы X Международной научно-технической конференции, – 28 мая - 2 июня, – 2018, – с. 160-162
15. Ragimov, S.S., Babayeva, A.E., Aliyeva, A.I. On the thermal conductivity of  $\text{AgSbTe}_2$  and  $\text{Ag}_{0,82}\text{Sb}_{1,18}\text{Te}_{2,18}$  // Low temperature physics, – 2018. Vol.44, №11, – p. 1195-1197
16. Babayeva, A.E.  $\text{AgSbTe}_2+4\%\text{Te}$  birləşməsinin termoelektrik effektivliyi // Energetikanın problemləri, –2019. №3, – s. 81-84
17. Бабаева, А.Э. Термоэлектрические свойства соединения  $\text{AgSbTe}_2+5\%\text{Cd}$  // Gənc tədqiqatçı, –2019. №5, – с. 53-56
18. Рагимов, С.С., Бабаева, А.Э., Алиева, А.И., Селимзаде, Р.И. Эффективная масса дырок в  $\text{Ag}_{0,82}\text{Sb}_{1,18}\text{Te}_{2,18}$  и  $\text{AgSbTe}_2$  // Известия высших учебных заведений, Физика, – 2020. 63(5), – с. 150-153

Dissertasiyanın müdafiəsi 02 mart 2022-ci il tarixində saat 1100 da Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Fizika İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən ED 1.14 Dissertasiya şurasının bazasındakı qeydiyyat nömrəsi BED 1.14 Birdəfəlik dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

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

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

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

Avtoreferat 28 yanvar 2022-ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 25.01.2022

Kağızın formatı: A5

Həcm: 39502

Tiraj: 100