

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

İNDİUM TELLURİDLƏRİ ƏSASINDA YENİ MATERİALLARIN VƏ QURULUŞLARIN ALINMA TEXNOLOGİYASININ FİZİKİ-KİMYƏVİ ƏSASLARI, ONLARDA ELEKTRON, İSTİLİK HADİSƏLƏRİ

İxtisas: 2220.01 –Yarımkəçiricilər fizikası

Elmi sahəsi: Fizika

İddiaçı: **Mehriban Şirin qızı Həsənova**

Elmlər doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilən dissertasiyanın

AVTOREFERATI

BAKİ – 2022

Dissertasiya işi Azərbaycan Texniki Universitetində “Mühəndis fizikası və elektronika” kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbərlər: Texnika elmləri doktoru, professor
Çingiz İldırım oğlu Əbilov

Rəsmi opponentlər: AMEA-nın müxbir üzvü, fizika- riyaziyyat elmləri doktoru, professor
Oktay Əbil oğlu Səmədov

Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor
Hüseyn Behbud oğlu İbrahimov

Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor
Rasim Qara oğlu Məmmədov

Fizika elmləri doktoru, professor
Adil Polad oğlu Abdullayev

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Fizika İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən ED 1.14 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 Mehditeva

Elmi seminarın sədri: Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, dosent

Tələt Rzaqulu oğlu Mehdiyev

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Müasir elektron texnikasında, xüsusilə də onun materialşünaslıq istiqamətində mürəkkəb tərkibli yarımkeçirici birləşmələrin və bərk məhlul kristallarının alınması və xassələrinin tədqiq edilməsinə geniş yer ayrılır. Belə materiallar optoelektron cihazlarda, termo- və fotoelektrik enerji çevricilərində, maqnit və elektron yaddaş elementlərində, tenzo- və termometrik qurğularda, nanoelektronikada və digər yeni texnika sahələrində səmərəli tətbiq edilirlər. Sabit və təkrarlanan xassəli effektiv işləyən bərk cisim quruluşlarını yaratmaq üçün həm onların materiallarının alınma texnologiyaları mükəmməl işlənməli, həm də bu materiallar əsasında idarə olunan parametrlərə malik müxtəlif növ enerji çeviricilərinin, eləcə də informasiya elektron vasitələrinin yaradılması texnikası sadələşdirilməli, iqtisadi cəhətdən qənaətcil vəziyyətə gətirilməlidir. Bu məsələlərin həlli silisium, germanium, qallium, arsen kimi yarımkeçirici materiallarda keyfiyyətli həll edilməsinə baxmayaraq, mürəkkəb tərkibli birləşmə və bərk məhlul kristalları nadir hallarda etibarlı tətbiq sahələri tapır. Bu səbəbdən hazırda dünyanın əksər inkişaf etmiş ölkələrində, o cümlədən müstəqil respublikamızda mürəkkəb tərkibli elektron texnikası materiallarının alınma texnologiyası və onların tətbiq sahələrinin genişləndirilməsi istiqamətində intensiv tədqiqatlar yerinə yetirilir.

Belə perspektivli yarımkeçirici materiallardan $A^{III}B^{VI}$ ($A_2^{III}B_3^{VI}$) tipli birləşmələr və onlar əsasında alınan bərk məhlul kristallarıdır. Bu sinifdən olan yarımkeçiricilərə olan maraq ona görə yüksəkdir ki, tərkibə daxil olan elementlərin elektron konfigurasiyası, kimyəvi əlaqənin təbiəti və növü, halkogenin hesabına yaranan defektlərin miqdarının tənzimlənən olması və bu kimi bir çox digər fiziki-kimyəvi və texnoloji aspektlər onların etibarlı alınmasını, cihaz və qurğularda etibarlı işləyəcəklərini əvvəlcədən müəyyənləşdirməyə imkan yaradır. Göstərilən $A^{III}B^{VI}$ ($A_2^{III}B_3^{VI}$) tip birləşmələrin ümumi xüsusiyyətləri ondan

ibarətdir ki, onlar sadə və mürəkkəb tərkibli digər yarımkeçirici birləşmələrlə qarşılıqlı təsirə girərək yeni bircins fazalar əmələ gətirir. Tərkibi göstərilən tip yarımkeçiricilərlə zəngin olan belə materialların xüsusi elektrik müqavimətləri nisbətən yüksək, yükdaşıyıcılarının yürüklüyü və ümumi istilikkeçiricilikləri kiçik və yüksək termo - e.h.q. əmsalına malik olmaqla yanaşı əridilmiş halda da yarımkeçirici xassələrini saxlayırlar, onlar optik şüalandırmaya qarşı həssasdırlar və s. bu kimi elmi-tətbiqi əhəmiyyətli cəhətləri özlərində cəmləşdirirlər.

Bu tip birləşmələr arasında indium telluridləri xüsusilə fərqlənilir. Baxmayaraq ki, indium telluridlərinin alınması və öyrənilməsinə keçən əsrin əvvəllərində başlanılmışdır, hazırda da bu sahədə intensiv tədqiqatlar aparılır. Belə ki, bu birləşmələrdə faza keçidlərinin mövcudluğu və onların sayının mübahisəli olduğu məsələsinə aydınlıq gətirməyə ehtiyac böyükdür. Həmçinin, göstərilən birləşmələrin maraqlı bir xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, əksər elementar kimyəvi elementlər onlarda özlərini qeyri-aktiv aşqarlar kimi göstərir. Bu səbəbdən istər InTe -a, istərsə də In_2Te_3 -ə mürəkkəb tərkibli birləşmələrlə təsir etmək daha məqsədəuyğundur. İndium telluridlərinə mürəkkəb tərkibli güclü termoelektrik, maqnit, fotoelektrik və s. xassələrə malik olan birləşmələrlə təsir etməklə, onların tətbiq sahələrini genişləndirmək olar. İndium monotelluridi struktur analoqları olan indium sulfidi və selenidindən fərqlənir və TİS təbiətlidir. Belə ki, InTe -dəki indium atomları müxtəlif koordinasiyaya malikdirlər və bu amil birləşmənin fiziki xassələrinə, xüsusilə də onun maqnit xassələrinə güclü təsir göstərərək diamaqnit olmasına səbəb olur.

Özünəməxsus xüsusiyyətlər In_2Te_3 birləşməsinə də xasdır. In_2Te_3 birləşməsi o qədər maraqlı xassələrə malikdir ki, 1960-cı ildə dərc edilmiş “Bərk cisim fizikası” jurnalının bir buraxılışı (№11) onun xassələrinin tədqiqindən alınan nəticələrə həsr edilmişdir. Modifikasiya keçidlərinin sayının qeyri-müəyyənliyi, kubik kristallik quruluşunda qəfəs sabitinin adi kubik quruluşlarda

olduğundan üç dəfə böyük olması və nəhayət, indium atomlarının kation yarımqəfəsin yalnız 2/3-də qərarlaşması, yəni kristallik qəfəsin 1/3-nin tərkib elementlərinə görə boşluqlardan (defektlərdən) ibarət olması bu birləşməni elmi cəhətdən çox maraqlı edir. Tədqiqatlar göstərir ki, yüksək müqavimətli yarımqəçirici In_2Te_3 -ə termoelektrik xassələri yüksək olan maddə aşqarları ilə təsir etməklə onu həm səmərəli termoelektrik materialına çevirmək, həm də tərkibindəki vakansiya tipli defektləri əlverişli idarə etmək olur.

Göstərilən amilləri nəzərə alaraq, belə qərara gəlmək olar ki, indium telluridləri ilə ikili, üçlü və dördlü birləşmələr arasındakı fiziki-kimyəvi qarşılıqlı təsirin təbiətini aydınlaşdırmaqla böyük elmi və tətbiqi əhəmiyyət kəsb edən yeni mürəkkəb tərkibli yarımqəçirici materialların alınması, onların istilik - fiziki, elektron, termo- maqnit və digər xassələrinin öyrənilməsi, yük və istilik daşınma mexanizmlərinin müəyyənləşdirilməsi müasir elektron texnikasının aktual məsələsidir. InTe və In_2Te_3 birləşmələri əsasında yeni bərk cisim quruluşları, xüsusilə də alternativ enerji çeviriciləri üçün aktiv elementlər yaratmaq faydalı olardı. Hazırkı dissertasiya işi məhz bu məsələlərin həllinə həsr edilmişdir.

Tədqiqatın obyektı və predmeti.

Tədqiqatın obyektı indium telluridlərinin iştirakı ilə coxkomponentli bərk məhlul birləşmələr və quruluşlar. Tədqiqatın predmeti bu yarımqəçiricilərin fiziki – kimyavi, elektron-istilik, fotoelektrik və voltamper xassələrinin tədqiqi.

Tədqiqatın məqsədi və vəzifələri.

Tədqiqatın məqsədi indium telluridləri ilə coxkomponentli yarımqəçiricilər arasındakı qarşılıqlı təsirin təbiətinin aydınlaşdırılması, aşkar edilən bərk məhlul və yeni birləşmələrin elektron-istilik xassələrinə temperaturun, tərkibin, işıq selinin, elektrik və maqnit sahələrin təsiri mexanizmlərinin müəyyənləşdirilməsi, alınan material və quruluşların müəyyən tətbiq sahələrində istifadəsini təyin etməkdən ibarətdir.

Məqsədə nail olmaq üçün dissertasiya işinin qarşısında aşağıdakı vəzifələr qoyulmuş və həll edilmişdir:

1. Tərkibində 3d-, s və p- elementləri olan ikili, üçlü və dördlü yarımkeçirici birləşmələrlə indium telluridləri arasındakı $[\text{InTe}-(\text{Cr}_2\text{Te}_3, \text{CoTe}_2, \text{TlGaTe}_2, \text{TlInSe}_2, \text{TlBiTe}_2, \text{CuGaTe}_2, \text{Bi}_{1,3}\text{Sb}_{0,7}\text{Te}_3, \text{CuCr}_2\text{Te}_4, \text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4)]$ və $[\text{In}_2\text{Te}_3-(\text{MnTe}_2, \text{Ni}_3\text{Te}_4, \text{CuInSe}_2, \text{CuGaSe}_2, \text{Cd}_{0,9}\text{Zn}_{0,1}\text{Te}, \text{CuCr}_2\text{S}_4, \text{Cu}_2\text{Ga}_4\text{Te}_7, \text{Cu}_2\text{In}_4\text{Te}_7, \text{CuZn}_2\text{InTe}_4)]$, $(\text{CuTe}-\text{Cr}_2\text{Te}_3)$ faza tarazlığının təbiətinin aydınlaşdırılması;
2. Aşkar edilən fazaların fiziki-kimyəvi, istilik-fiziki, fotoelektrik, VAX və kristallofiziki xassələrinin tədqiq edilməsi;
3. Bircins fazaların kinetik əmsallarının tərkibdən, temperaturdan, işıq selinin təsirindən asılılıqlarının tədqiq edilməsi;
4. Perspektivli ərintilərin tədqiq olunmuş parametrlərinin optimal qiymətlərinə əsaslanaraq tətbiqolunma sahələrinin və imkanlarının müəyyənləşdirilməsi;
5. Tədqiq olunan materiallardan elektron signal gücləndiricilərinin, informasiya ötürücülərinin, elektron açarlarının və alternativ enerji mənbələrin aktiv elementlərinin yaradılma texnologiyasının işlənməsi.

Tədqiqat metodları:

Tədqiqat metodlarına ərintilərin vibrasiyalı birbaşa sintez texnologiyası ilə alınması və onların yüksək dəqiqlikli differensial-termiki analiz qurğularında (HTP-73, və TERMOSKAN-5 pirometrləri), rentgenoqrafiki analiz (DRON-3, DUNKER-2D və D2 PHASER qurğuları), mikroquruluş analizi və mikrobərkliyin təyin edilməsi (MİM-7, PMT-3, ViewMet mikroskopları, MicroMet -5101 mikrobərklik ölçəni) üsulları olmaqla yanaşı, kompensasiya metodu ilə termoelektrik, qalvano- və termomaqnit xassələrinin, stasionar üsulla istilikkeçiriciliyinin geniş temperatur intervalında ölçülməsi, fotoelektrik xassələrin spektral, voltamper və voltfarad xarakteristikalarının öyrənilməsi daxildir. Nazik təbəqələrin və bərk cisim quruluşlarının alınmasında termiki buxarlandırma qurğusunun “isti divar” variantından və maqnetron tozlandırılması texnologiyalarından istifadə edilmişdir. Aşkar olunan yeni birləşmələrin mövcudluğunun təsdiqi kompyüter modelləşdirilməsi ilə sübuta

yetirilmişdir.

Müdafiyyə çıxarılan əsas müddəalar:

1. Tədqiq edilən yarımkeçirici sistemlərdə faza tarazlığının təbiəti, indium telluridlərində baş verən faza keçidlərinin tərkibdən və temperaturdan asılı olaraq dəyişmə xarakteri və termodinamiki funksiyaların hesablanmasına əsasən əmələ gələn fazaların dayanıqlıq (stabilitet) dərəcəsinin müəyyənəndirilməsi. Aşkar edilən məhlullarda kimyəvi rəbitənin vəziyyətinin nəticələri.

2. Tədqiq edilən sistemlərdə aşkar edilən faza tarazlığı proseslərinin xüsusiyyətlərindən istifadə edərək, elektron texnikası üçün səmərəli yarımkeçirici materialların optimal tərkiblərinin və kristallaşma rejimlərinin müəyyən edilməsi. Ərintilərin tərkibində 3d-elementlərinin və növünün miqdarının dəyişilməsilə baş verən fiziki-kimyəvi proseslərin qanunauyğunluqlarının xüsusiyyətləri.

3. Homogen ərintilərin xassələrinin tərkib və temperaturdan asılılıqlarında müşahidə edilən anomaliyalar və qanunauyğunluqlar. Onlarda yükdaşıyıcılarının səpilmə mexanizmlərindəki mürəkkəblilik və əlavə istilik müqavimətinin yaranması səbəbləri və elektron- istilik daşınması təbiətinin müxtəlifliyi.

4. İndium monotelluridi ilə yaradılan heteroqəçidin enerji diaqramı və energetik parametrləri, konstruksiya edilən bərk cisim quruluşlu termoelektrik və günəş elementlərinin, nazik təbəqəli termorezistor və Peltze elementli siqnal gücləndiricisinin, p-n qəçidli və elektron açarlarının hazırlanma texnologiyası şəraitinin əsas tətbiqi xarakteristikalara və işçi parametrlərə təsiri.

Tədqiqatın elmi yeniliyi:

1. InTe və In_2Te_3 birləşmələrinin iştirakı ilə çoxkomponentli yarımkeçirici sistemlərin hal diaqramları qurulmuş, onlardakı faza tarazlığının təbiəti aydınlaşdırılmışdır. Bu sistemlərdə yeni mürəkkəb tərkibli birləşmələr (CuIn_3Te_5 , InCr_2Te_4 , TlInGaTe_2 , CuCr_2Te_4) alınmış və onların fiziki-kimyəvi və elektrofiziki xassələri tədqiq edilmişdir. İlkin komponentlər əsasında bərk məhlul sahələri aşkar edilmiş, onların sərhədləri və növləri müəyyənəndirilmişdir. Sistemlərdəki bərk məhlulların və yeni

birləşmələrin termodinamiki funksiyaları hesablanmış, kimyəvi rəbitənin gücünün dərəcəsi müəyyən edilmişdir.

2. Tədqiqat obyektlərində ilkin komponent olan CuCr_2Te_4 birləşməsinin mövcudluğuna və əmələgəlməsinin təbiətinə aydınlıq gətirmək məqsədilə əlavə olaraq CuTe və Cr_2Te_3 birləşmələri arasındakı qarşılıqlı təsir tədqiq edilmiş, ilk dəfə olaraq $\text{CuTe-Cr}_2\text{Te}_3$ sisteminin hal diaqramı qurulmuşdur. Sistemdə CuCr_2Te_4 üçlü birləşməsinin mövcudluğu, əmələgəlmə xarakteri və temperaturu müəyyənləşdirilmişdir.

3. $[\text{In}_2\text{Te}_3-(\text{MnTe}_2, \text{Ni}_3\text{Te}_4, \text{Cd}_{0,9}\text{Zn}_{0,1}\text{Te}, \text{CuZn}_2\text{InTe}_4)]$, $[\text{InTe-Cr}_2\text{Te}_3, \text{TlGaTe}_2, \text{TlBiTe}_2, \text{CuZnSnS}_4]$, $(\text{Cu}_2\text{Ga}_4\text{Te}_7)_{1-x}(\text{In}_2\text{Te}_3)_x$

bərk məhlul və yeni birləşmələrin (CuIn_3Te_5 , InCr_2Te_4 , TlInGaTe_2 , CuCr_2Te_4) elektrofiziki, qalvano- və termomaqnit və digər xassələrinin temperatur asılılıqları tədqiq edilmiş, bu maddələrdə elektron-fonon səpilməsinin mexanizmi müəyyən edilmişdir.

4. Göstərilən $(\text{Cr}_2\text{Te}_3)_{1-x}(\text{In}_2\text{Te}_3)_x$, $(\text{CuCr}_2\text{Te}_4)_{0,99}(\text{InTe})_{0,01}$ bərk məhlul və birləşmələrin $\text{CuGa}_2\text{InTe}_5$ termoelektrik parametrləri hesablanmış, onlardan yüksək termoelektrik effektivliyinə malik olan $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$, $(\text{Cr}_2\text{Te}_3)_{1-x}(\text{In}_2\text{Te}_3)_x$, $(\text{CuCr}_2\text{Te}_4)_{0,99}(\text{InTe})_{0,01}$ seçilərək termoelektrik enerji çevrəcilərində istifadəsi tövsiyə olunmuşdur.

5. Bərk məhlul $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{In}_2\text{Te}_3)_x$ tərkiblərinin elektrik, fotoelektrik, voltamper və digər xassələri öyrənilərək onların günəş elementlərinin hazırlanmasında və perspektivli bərk cisim quruluşlarının yaradılmasında tətbiq olunma dərəcəsi.

6. Tədqiq edilən kompleks xassələrin nəticələrinə və səmərəli tərkiblərə əsasən termoelektrik və günəş elementlərinin konstruksiyaları işlənmiş, nazik təbəqəli heteroqeydlər və elektron açarları hazırlanaraq onların tətbiqi parametrləri müəyyənləşdirilmişdir.

7. Alınan material və bərk cisim $n-(\text{Bi}_{1,3}\text{Sb}_{0,7}\text{Te}_3)_{1-x}(\text{InTe})_x$, $p-(\text{CuCr}_2\text{Te}_4)_{0,99}(\text{InTe})_{0,01}$ quruluşlarından istifadə edərək zəif siqnalın ölçülməsi üçün elektron sxem yaradılmış, onun tətbiqi parametrləri hesablanmışdır.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti:

1. Hal diaqramlarında [InTe-(Cr₂Te₃, CoTe₂, TlGaTe₂, TlInSe₂, TlBiTe₂, CuGaTe₂, Bi_{1,3}Sb_{0,7}Te₃, CuCr₂Te₄, Cu₂ZnSnS₄)] və [In₂Te₃-(MnTe₂, Ni₃Te₄, CuInSe₂, CuGaSe₂, Cd_{0,9}Zn_{0,1}Te, CuCr₂S₄, Cu₂Ga₄Te₇, Cu₂In₄Te₇, CuZn₂InTe₄)], (CuTe-Cr₂Te₃) kifayət qədər elmi əsasları və texnoloji informasiya cəmlənmişdir.

Mürəkkəb tərkibli (CuCr₂S₄)_{1-x}(In₂Te₃)_x, InCr₂Te₄, TlInGaTe₂, kristalların nəzəri olaraq termodinamiki funksiyaları hesablanmış, InCr₂Te₄ birləşməsinin mövcudluğu kompüter proqnozlaşdırılması ilə təsdiqlənmişdir.

Bərk məhlul və birləşmələr əsasında elektron texnikası üçün yeni materialların və quruluşların alınması zamanı bu diaqramlardan dəqiq texnoloji rejimlər seçmək olar.

2. Tədqiq edilən yarımkeçirici materiallardan termoelektrik, fotoelektrik, ölçmə texnikası və günəş enerjisi çeviriciləri üçün bərk cisim quruluşları, termorezistor, Peltje effektiv gücləndirici və nazik təbəqəli elektron açarlarının konstruksiyaları yaradılmışdır ki, bunlar da elektron texnikası cihazlarının hazırlanmasında geniş tətbiq edilə bilərlər.

3. Hal diaqramlarından, termodinamiki hesablamalardan və fiziki parametrlərin tədqiqindən əldə edilən nəticələrdən magistrləri, respublikanın gənc alimləri, texnoloqları, aspirantları və s. səmərəli istifadə edə bilərlər.

4. Yeni nəticələr elektron materialşünaslığı üçün səmərəli sorğu informasiyası sayıldıqlarından texnikanın müvafiq sahələrinə aid olan verilənlər bazasına və sorğu kitablarına daxil edilmiş və gələcəkdə də edilə bilərlər.

Tədqiqatın aprobeşiyası və tətbiqi:

Dissertasiyada əldə edilən elmi nəticələr aşağıdakı beynəlxalq, respublika və universitetdaxili konfranslarda məruzə edilərək müzakirə olunmuşlar:

1) Труды седьмой Международной Научно Технической Конференции “Актуальные Проблемы Твердотельной электроники и МЭ” Дивноморское, Россия, 17-22 сентября 2000, Таганрог Россия, 2) AzTU-nun professor-müəllim heyətinin 47-ci elmi-texniki konfransı, 2000 AzTU, Bakı,

Azərbaycan; 3) Prof. A.A. Abdullayevin 70 illik yubileyinə həsr edilən respublika konfransı, 2001 AzTU Bakı, Azərbaycan, 4) “Fiziki-kimyəvi analiz və qeyri-üzvi materialşünaslıq”. 7-ci elmi-texniki respublika konfransı 2001, BDU, Bakı, Azərbaycan; 5) “H. Əliyev və Azərbaycanda elmi-texniki tərəqqi”, 7-8 may 2003 AzTU, Bakı, Azərbaycan; 6) “Fizika-2005” beynəlxalq konfransı, 7-9 iyun 2005, BDU, Bakı, Azərbaycan; 7) XIX Ulusal kimya kongresi, 30 eylul-4 ekim 2005, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiyə, 8) AzTU-nun professor-müəllim heyətinin və aspirantların 53-cü elmi-texniki konfransı 2006, AzTU, Bakı, Azərbaycan; 9) Ulusal kimya kongresinin, Türkiyədə 20, 21, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 31 konfransları (29 Haziran-3 Temmuz 2006 Kayseri; 23-24 agustos 2007 Malatya; 29 Haziran-2 Temmuz 2010 Zonquldağ; 27 Haziran-2 Temmuz 2011 Ərzurum ; 1-6 Ekim 2012, Muğla, 23-28 agustos 2015, Çanaqqala ; 15- 21 agustos 2016, Mərsin; 10-14 eylul 2017, Ankara; 10-14 eylul 2019, İstanbul); 10) AzTU-nun 60 illik yubileyinə həsr olunmuş “Təhsildə İnnovasiya texnologiyaları” respublika elmi-praktiki konfransı 2010 Bakı, Azərbaycan; 11) Fizikanın müasir problemləri IV Respublika konfransı, 24-25 dekabr 2010, Bakı, Azərbaycan; 12) H. Əliyevin 90 illik yubileyinə həsr edilən “Metallurgiya və materialşünaslığın problemləri” beynəlxalq konfransı, 29-30 aprel 2013, AzTU, Bakı, Azərbaycan; 13) 9th International Conference on Technical and Physical Problems of Electrical Engineering, 9-11 september 2013, İstanbul, Turkey; 14) Седьмая международная научно-техническая конференция “Микроэлектронные преобразователи и приборы на их основе” 27-29 ноября 2013, Сумгаит (МЭПП), Баку, Азербайджан; 15) XI международный конгресс “Кардиостим”, 27 февраля-1марта 2014, Санкт-Петербург, Россия; 15) 31th International Physical Congress, 21-24 Temmuz 2014, Bodrum, Turkey; 16) 11th International Conference on Technical and Physical Problems of Electrical Engineering, 10-12 september 2015, Bucharest, Romania; 17) 9th International Physics Conference of the Balkan Physics Union, 24-25 august 2015, Istanbul, Turkey; 18) 32th International Physical Congress, 2015, Bodrum, Turkey.; 19) Prof. Tahir Pənahovun 80 illik yubileyinə həsr

edilmiş “Metallar fizikasının müasir problemləri” V beynəlxalq elmi-praktiki konfransı,10-11iyun 2016, Bakı, Azərbaycan; 20) 33th International Physical Congress, Turkey, Bodrum, 2017; 21) XIII Российская конференция по физике полупроводников, Россия, 2-6 октября 2017, Екатеринбург , Россия; 22) “Heydər Əliyev və Azərbaycan ordusu” elmi-praktiki konfransı, Azərbaycan Respublikasının Müdafiə Nazirliyi, Bakı, 2018; 23) 7th Rostocker International conference “Thermophysical properties for technical thermodynamics”, 27-26 july 2018, Rostock, Germany ; 24) 35th International Physical Congress, 04-08 september 2019 Bodrum, Turkey; 25) 31-ci Ulusal kimya konfransı, Yıldız Teknik Üniversitesi, 10-13 eylül, İstanbul, Türkiyə 26) 10th Rostocker International conference: “Technical Thermodynamics: Thermophysical properties and energy systems” 9-10 september 2021, Rostock, Germany; 27) Proceedings of III international Agricultural, biological & life science conference AGBIOL,1-3 september 2021, Edirne ,Turkey; 28) Uluslararası katılımlı 23 ISI bilimli və texniği kongresi 8-10 september 2021, Gaziantep, Türkiyə; 29) XVIII Межгосударственная конференция “Термоэлектрики и их применения”. ISCTA, 19-21 сентября 2021 Санкт-Петербург, Россия:

Nəticələr elektron texnikası istiqamətində təhsil alan AzTU-nun tələbələrinə müvafiq fənlərin tədrisi prosesində geniş istifadə edilmişdir.

Dissertasiyanın mövzusu üzrə aparılmış tədqiqatların nəticələri əsasında 59 iş çap olunmuşdur. Bunlardan 26–ü elmi jurnal məqalələri, 12 konfrans materialı 21–i müxtəlif səviyyəli elmi konfransların tezisləridir.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilat: Dissertasiya işi Azərbaycan Texniki Universitetinin “Mühəndis fizikası və elektronika” kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Dissertasiyanın strukturu və həcmi. Dissertasiya girişdən, 6 fəsildən, əsas nəticələrdən, istifadə edilən ədəbiyyat siyahısından və ixtisarlardan ibarətdir. Dissertasiya A4 formatlı 333 səhifə kompüter mətnindən və 327 adda istifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısından və 445311 işarədən ibarətdir.

DISSERTASIYANIN ƏSAS MƏZMUNU

Girişdə, dissertasiya işinin mövzusunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi, tədqiqatın məqsədi və vəzifələri, tədqiqat metodları, müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar, tədqiqatın elmi yeniliyi, tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti, aprobasiyası və tətbiqi əks olunur. Burada həmçinin işin tətbiqi əhəmiyyəti göstərilmişdir.

Birinci fəsildə indium telluridlərinin fiziki-kimyəvi, kristalloqrafiki və elektrofiziki xassələri, bu birləşmələrin elektron texnikasındakı tətbiq istiqamətləri və tərkibində indium telluridləri olan sistemlərin tədqiqi haqqında müasir elmi ədəbiyyat məlumatlarının analizi aparılmışdır.

Elmi ədəbiyyatın ilkin araşdırılması göstərmişdir ki, indium telluridləri analoqları ilə müqayisədə nisbətən az tətbiq sahələri tapmışlar. Bunu nəzərə alaraq indium telluridlərinə təsir edən ikinci komponentlər elə seçilir ki, onlar indium telluridlərinin tətbiqini genişləndirməklə yanaşı, elmi aspektlərini də maraqlı etsinlər. Məsələn, son zamanların tədqiqatları göstərir ki, InTe effektiv termoelektrik materialı olmağa yaxındır, bu səbəbdən indium monotelluridinə əsasən yüksək termoelektrik effektivlikli komponentlər əlavə edilir. Yaxud da In_2Te_3 birləşməsinin istifadəsi elektron informasiya daşıyıcılarında perspektivli olduğundan ona təsir edən ikinci komponentlər bu xassələri yaxşılaşdıran birləşmələr olmalıdır.

İkinci fəsil metodiki xarakterlidir, yəni burada təcrübə qurğuları, onlarda ölçmələrin yerinə yetirilməsi prinsipləri, In_2Te_3 və InTe birləşməli sistemlərdə mürəkkəb tərkibli ərintilərin alınması, fiziki-kimyəvi, istilikfiziki, qalvano- və termomaqnit, həmçinin bəzi digər xassələrinin ölçülmə metodları haqqında məlumat verilmişdir. Fəslin sonunda təcrübə qurğularında yaranan xətaların hesablanmış qiymətləri təqdim edilmişdir.

Üçüncü fəsildə indium telluridlərinin iştirakı ilə yarımkeçirici sistemlərdə faza tarazlığı təbiətinin aydınlaşdırılmasına, yeni birləşmələri və bərk məhlulları müəyyənləşdirilərək fiziki-kimyəvi xassələrin öyrənilməsinə həsr edilmişdir. Burada In_2Te_3 və InTe birləşmələri ilə tədqiq edilən 18

hal diaqramında faza tarazlığının təbiəti işıqlandırılır. Qarşılıqlı təsirdə olan ikinci komponentlərdən birinin (CuCr_2Te_4) mövcudluğu ədəbiyyat verilənlərinə görə şübhəli sayıldığından, tərəfimizdən həmin birləşmənin əmələ gəldiyi sistem də əlavə olaraq tədqiq edilmiş və bu birləşmənin əmələgəlmə xarakteri müəyyənləşdirilmişdir, beləliklə dissertasiyada ilk dəfə qurulan hal diaqramlarının sayı 19 (18+1 əlavə) olmuşdur. Bu diaqramlardan doqquzu In_2Te_3 -lə olan sistemlərə, doqquzu isə InTe -lə olan sistemlərə aiddir.

Müəyyən edilmişdir ki, qurulan hal diaqramlarında baş verən mürəkkəb təbiətli faza əmələgəlməsinin səbəbi In_2Te_3 birləşməsində, həmçinin ikinci komponentlərdə olan polimorf çevrilmələr və faza keçidləri, həmçinin indium telluridlərinin defekt quruluşlu olması və təsiredici komponentlərin tərkiblərinin mürəkkəb və müxtəlif konfigurasiyalı elementlərdən təşkil olunmasıdır. In_2Te_3 birləşməsi ilə olan sistemlərin hamısında bu birləşməyə xas olan faza keçidləri müşahidə olunur, lakin burada da ikinci komponentlərin təsirindən faza keçidlərinin təbiəti həm evtektoid, həm də peritektoid təbiətli olur.

Tədqiq edilən sistemdəki ərintilərin termodinamiki parametrləri hesablanmış sistemlərdə olan bərk məhlul və birləşmələrin əmələgəlmə enerjiləri tapılmışdır. Tərkibi In_2Te_3 -lə zəngin olan homogen ərintilərdə kimyəvi əlaqənin təbiəti araşdırılmış və müəyyən edilmişdir ki, tərkibin mürəkkəbləşməsi ilə kimyəvi əlaqənin gücünün zəifləməsi prosesi baş verir. Həmçinin, In_2Te_3 əsasında aşkar edilən bəzi bərk məhlul tərkiblərinin kristallaşma texnologiyalarında səmərəli işləmələr aparmaqla onların nanoölçülü naqıl şəkilli kristalları alınmışdır.

İlk dəfə qurulan hal diaqramlarından alınan nəticələri qısa olaraq belə ümumiləşdirmək olar:

1. In_2Te_3 - MnTe_2 sistemi qeyri-kvazibinardır və onda mürəkkəb kimyəvi qarşılıqlı təsirlər baş verir. Sistemin xüsusiyyətləri həm MnTe_2 -nin inkonqruent olması ilə, həm də onun In - Mn - Te konsentrasion üçbucağındakı vəziyyəti ilə izah edilir. 300 K temperaturda sistemdə sərhədi ~5 mol% MnTe_2 olan In_2Te_3 əsaslı bərk məhlul sahəsi aşkar olunmuşdur.

2. **In₂Te₃-Ni₃Te₄** sistemində qarşılıqlı təsirin təbiəti aydınlaşdırılmış, sistemin kvazibinar olduğu, hər iki başlanğıc komponentin əsasında sərhədləri 300 K temperaturda ~10 mol% In₂Te₃ və ~5 mol% Ni₃Te₄ olan həllolma əmələ gəlmiş müəyyənləşdirilmişdir. (Şəkil 1)

3. **In₂Te₃-CuInSe₂** sisteminin fiziki-kimyəvi analizi aparılmış, sistemin kvazibinar olduğu və hər iki başlanğıc birləşmənin əsasında həddü bərk məhlul sahəsinin mövcudluğu aşkar edilmişdir. Homogen sahələr ~4 mol% CuInSe₂ və ~3 mol% In₂Te₃ konsentrasiyasını əhatə edirlər.

4. **In₂Te₃-CuGaSe₂** sistemi kvazibinardır. Hər iki başlanğıc komponent əsasında bərk məhlul sahələri aşkar edilmişdir ki, onların da sərhədi otaq temperaturunda In₂Te₃ əsasında ~5 mol%-ə, CuGaSe₂ əsasında isə ~10 mol%-ə qədərdir.

5. **In₂Te₃-Cd_{0,9}Zn_{0,1}Te** sistemi kvazibinardır, hal diaqramı monotektik tiplidir, In₂Te₃ tərəfdən otaq temperaturunda həllolma ~3 mol%-ə, Cd_{0,9}Zn_{0,1}Te tərəfdən In₂Te₃-ün həllolması isə 5 mol%-ə qədərdir. Müəyyən edilmişdir ki, ilkin komponentlərdən Cd_{0,9}Zn_{0,1}Te ərintisinin ~18-41 mol% konsentrasiyasında sistemdə təbəqələşmə prosesi baş verir.

6. **In₂Te₃-CuCr₂S₄** sistemi qismən kvazibinardır. Hər iki başlanğıc komponenti əsasında bərk məhlul sahəsi aşkar edilmişdir. Onların sərhədi 300 K-də In₂Te₃ tərəfdən ~3 mol%-ə, CuCr₂S₄ tərəfdən isə ~5 mol%-ə qədərdir. Termodinamiki parametrlərin hesablamalarından müəyyən edilmişdir ki, CuCr₂S₄ birləşməsindən onun əsasında alınan bərk məhlullara keçdikdə kimyəvi əlaqənin gücü zəifləyir. CuCr₂S₄ birləşməsinin təsirdən In₂Te₃-də olan modifikasiya keçidlərinin temperaturunun azalması aşkar edilmişdir.

7. **In₂Te₃-Cu₂Ga₄Te₇** sisteminin tədqiqindən aşkar edilmişdir ki, sistem kvazibinardır, In₂Te₃-ə məxsus modifikasiya keçidləri evtektoid təbiətli olaraq hal diaqramında özlərinə yer tapırlar. Sistemdə konqruent əriyən yeni CuGa₂InTe₅ birləşməsi və hər iki başlanğıc komponentin əsasında bərk məhlul sahəsi əmələ gəlir. Qurulan hal diaqramının likvidus əyrisi maye fazada ilkin

kristallaşan α -fazasının, yeni $\text{CuGa}_2\text{InTe}_5$ birləşməsinin və γ -fazasının likvidus qanadlarından təşkil olunur.

8. **$\text{In}_2\text{Te}_3\text{-Cu}_2\text{In}_4\text{Te}_7$** sisteminin tədqiqindən aşkar edilmişdir ki, sistemdə başlanğıc komponentlərin 1:1 nisbətində konqruent əriyən CuIn_3Te_5 üçlü birləşməsi əmələ gəlir. Həmçinin, hər iki başlanğıc komponentin əsasında hüdudlu bərk məhlul sahələri mövcuddur. $\text{Cu}_2\text{In}_4\text{Te}_7$ -nin təsirindən In_2Te_3 -də olan faza keçidləri müxtəlif xarakterli, yəni yüksək temperaturlu modifikasiya keçidi peritektoid təbiətli, aşağı temperaturlu modifikasiya keçidi isə evtektoid təbiətli olur.

9. **$\text{In}_2\text{Te}_3\text{-CuZn}_2\text{InTe}_4$** sistemi kvazibinardır, hər iki başlanğıc komponentin əsasında bərk məhlul sahələri aşkar edilmişdir. Onların sərhədi 300 K-də 3 mol% $\text{CuZn}_2\text{InTe}_4$ və 10 mol% In_2Te_3 tərkiblərindədir. In_2Te_3 birləşməsinə xas olan iki modifikasiya keçidi bu sistemdə də peritektoid tipli çevrilmə şəklində özlərini biruzə verir.

10. **$\text{InTe-Cr}_2\text{Te}_3$** sisteminin hal diaqramından məlum olmuşdur ki, sistem kvazistabildir. Sistemdə ilkin komponentlərin 1:1 nisbətində inkonqruent əriyən InCr_2Te_4 birləşməsi əmələ gəlir. Bu birləşmənin kristal qəfəs sabitləri hesablanmış və müəyyən edilmişdir ki, o, fəza qrupu 14/mcm olan tetraqonal quruluşda kristallaşır. Tərkibindəki elementlərin elektron konfigurasiyaları nəzərə alınaraq Çebişev əmsalları seçilmiş, Reqrusion diskriminant funksiyası metodu ilə aşkar edilən (InCr_2Te_4) birləşməsi mövcudluğu kompyüter proqnozlaşdırılması ilə təsdiqlənmişdir. Sistemin hər iki başlanğıc komponenti əsasında bərk məhlul sahəsinin mövcudluğu aşkar edilmişdir (Şəkil 1).

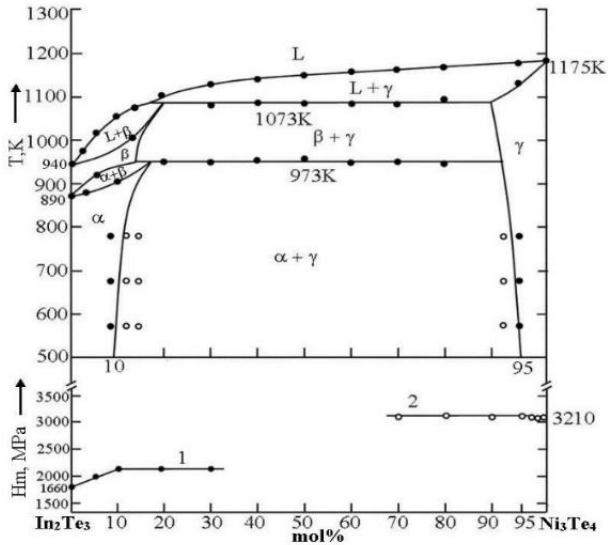
11. **InTe-CoTe_2** arasındakı fiziki-kimyəvi qarşılıqlı təsirin təbiəti aydınlaşdırılmışdır. CoTe_2 inkonqruent əriyən birləşmə olduğundan qurulan hal diaqramı da nisbətən mürəkkəb təbiətlidir. Ümumilikdə sistem kvazistabildir, InTe birləşməsi əsasında sərhədi 6 mol%-ə qədər olan bərk məhlul sahəsi aşkar edilmişdir.

12. **InTe-TlGaTe_2** sistemində faza tarazlığı tədqiq edilmiş və müəyyən edilmişdir ki, InTe-TlGaTe_2 sistemi kvazibinardır və ilkin komponentlərin 1:1 nisbətində sistemdə TlGaInTe_3 tərkibli konqruent əriyən yeni birləşmə əmələ gəlir. Bu birləşmənin qəfəs

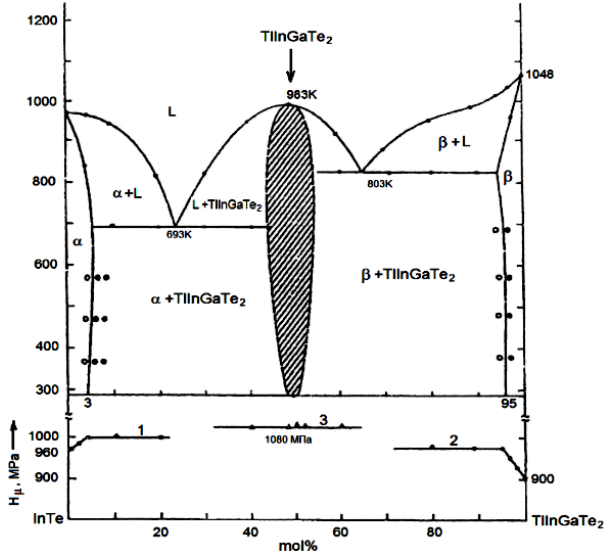
sabidləri $a=8,437 \text{ \AA}$, $c=6,92 \text{ \AA}$ olan tetraqonal sinqoniyada kristallaşdığı müəyyən edilmişdir. InTe əsasında 3 mol% TlGaTe₂ həllolma olduğu halda, TlGaTe₂ əsasında bərk məhlul sahəsi 5 mol% InTe təşkil edir (Şəkil 2).

13. InTe-TlInSe₂ sistemi kvazibinar olub, sadə evtektik tiplidir. Otaq temperaturunda InTe əsasında 6 mol% TlInSe₂ həll olduğu halda, TlInSe₂ əsasında bərk məhlul sahəsi 10 mol% InTe təşkil edir.

14. InTe-TlBiTe₂ sistemi qismən kvazibinardır ki, buna da səbəb TlBiTe₂ birləşməsinin inkonqruent (peritektik) əriyən təbiətli olmasıdır. InTe-la olan digər sistemlərdən fərqli olaraq burada faza əmələgəlmə prosesi nisbətən mürəkkəbdir və sistemdə yalnız InTe komponenti əsasında bərk məhlul sahəsi yaranır. Bu sahənin otaq temperaturundakı sərhədi ~3 mol% TlBiTe₂ tərtibindədir.



Şəkil 1. In₂Te₃-Ni₃Te₄ sisteminin hal diaqramı.



Şəkil 2. InTe-TlGaTe₂ sisteminin hal diaqramı.

15. **InTe-CuGaTe₂** sistemi kvazibinar olub, evtektik tiplidir. Sistemdə otaq temperaturunda InTe əsasında 3 mol% CuGaTe₂ həllölmə olduğu halda, CuGaTe₂ əsasında bərk məhlul sahəsi 5 mol% InTe tərkibini təşkil edir.

16. **InTe-Bi_{1,3}Sb_{0,7}Te₃** sistemi kvazibinardır. InTe əsasında sərhədi ~2 mol% Bi_{1,3}Sb_{0,7}Te₃ olan bərk məhlul sahəsi aşkar edilmişdir. Sistemdə 803 K-dən yüksəkdə 19-54 mol% Bi_{1,3}Sb_{0,7}Te₃ tərkiblərində maye fazada təbəqələşmənin baş verdiyi müəyyənləşdirilmişdir ki, bunu da, ədəbiyyat məlumatlarına əsaslanaraq, ilkin komponentlərin sıxlıqları və tərkibləri arasında olan kəskin fərqlərlə əlaqələndirmək olar.

17. **InTe-CuCr₂Te₄** sisteminə ilkin kristallaşan maddə Cr₅Te₈ birləşməsi olur. Lakin artıq 1346 K-dən başlayaraq sistemdə CuCr₂Te₄ birləşməsinin və digər fazaların kristallaşması prosesi baş verir. Sistemdə 903 K temperaturuna qədər üçfazlı sahələrin mövcudluğu sistemin kvazistabil təbiətli olduğunu göstərir, eyni zamanda, sistemdə əmələ gələn α-bərk məhlul sahəsi istisna olmaqla, bütün tərkiblər ikifazlı qarışıq şəklində çökürlər (InTe əsasında yaranan bərk məhlul tərkiblərindən başqa). InTe tərəfdən sistemdə bərk məhlul sahəsi əmələ

gəlir ki, onun da sərhədi 300 K-də ~2 mol% CuCr_2Te_4 tərkibinə qədərdir.

18. **InTe-CuCr₂Te₄** sistemində CuCr_2Te_4 -ün mövcudluğuna aydınlıq gətirmək məqsədilə, əlavə olaraq **CuTe-Cr₂Te₃** sistemində faza əmələgəlməsinin təbiəti araşdırılmış və göstərilmişdir ki, sistemdə ~1120°C temperaturunda inkonqruent əriyən CuCr_2Te_4 birləşməsi yaranır. Sistemdə bu birləşmə ilə yanaşı Cr_2Te_3 komponenti əsasında faza və maqnit keçidlərinə malik və sərhədi otaq temperaturunda ~3 mol% CuTe olan bərk məhlul sahəsi də aşkar edilmişdir.

19. **InTe-Cu₂ZnSnS₄** sisteminin hal diaqramı qurulmuş və aşkar edilmişdir ki, sistem kvazibinardır, onun hal diaqramı sadə evtektik tiplidir. Evtektikanın koordinatları 813 K temperaturuna və 25 mol% $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ tərkibinə uyğundur. Hər iki başlanğıc komponent əsasında bərk məhlul sahələri yaranır ki, onların da 300 K-dəki sərhədi InTe tərəfdən ~2 mol% $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$, $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ tərəfdən isə ~3 mol% InTe tərkibinə qədərdir.

In_2Te_3 birləşməsinin və onun əsasında bərk məhlul tərkiblərinin polimorfizmə meyl göstərməsini izah etmək üçün nəzərə alınmalıdır ki, xarici təsirlərin (məs., təzyiq, temperatur və s.) nəticəsində defekt quruluşlu kristal dayanıqsız (labil) olur .

Nəticədə atom və defektlərin paylanması dəyişikliklər baş verir və onlar ya nizamlı ya da qeyri-nizamlı vəziyyət alırlar. Belə hal həm bərk məhlulun, həm də polimorfizmin yaranmasına səbəb olur.

InTe və In_2Te_3 -lə tədqiq edilən sistemlərdə ikinci komponent kimi bərk məhlul tərkibləri götürüldükdə (müvafiq olaraq $\text{Bi}_{1,3}\text{Sb}_{0,7}\text{Te}_3$ və $\text{Cd}_{0,9}\text{Zn}_{0,1}\text{Te}$), bu sistemlərin ikisində də digər sistemlərdən fərqli olaraq, təbəqələşmə (likvasiya) sahələri aşkar edilmişdir. Adətən, belə sahələr tərkibləri və sıxlıqları (xüsusi çəkiləri) kəskin fərqlənən komponentlərin fiziki-kimyəvi qarşılıqlı təsiri zamanı yaranırlar. Tədqiq edilən bu iki sistemin ilkin komponentlərinin tərkibləri çox fərqlidir. Digər tərəfdən bərk məhlullarda kimyəvi əlaqənin təbiətini araşdırarkən göstərmişdik ki, bərk məhlullarda kimyəvi əlaqənin gücünün zəifləməsi onların stabil faza olmamasını göstərir. Belə dayanıqsızlıq $\text{Cd}_{0,9}\text{Zn}_{0,1}\text{Te}$ və $\text{Bi}_{1,3}\text{Sb}_{0,7}\text{Te}_3$ bərk məhlullarında da ola bildiyindən, onların indium telluridləri ilə qarşılıqlı təsirində dayanıqsız fazaların yaranması vəziyyəti istisna edilmir.

Sistemlərdəki həllolma sahələrinin sərhədlərinin eninin müqayisəli analizindən belə bir nəticəyə gəlmək olar ki, indium telluridlərinə əlavə olunan ikinci komponentlərin tərkiblərində $Cr \rightarrow Mn \rightarrow Ni$ istiqamətində həllolma sahəsi genişlənilir. Çox güman ki, bunun səbəbi xromun digər 3d-elementləri ilə müqayisədə daha stabil elektron quruluşuna malik olmasıdır.

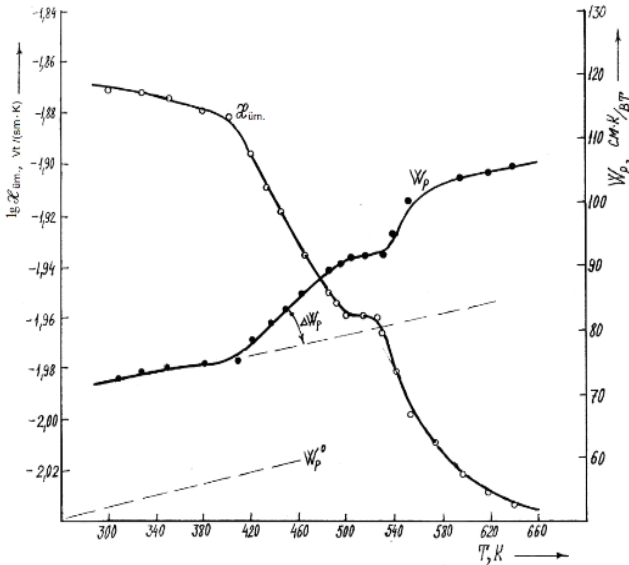
Tədqiq edilən yarımkəçirici sistemlərdə aşkar edilən bərk məhlul tərkiblərinin və yeni birləşmələrin termodinamik funksiyaları hesablanmış və alınan nəticələrə görə indium telluridləri əsasındakı tərkiblərin qismən stabil qarışıqlar olduqları müəyyən edilmişdir. Bu bərk məhlullarda tərkibin mürəkkəbləşməsi ilə kimyəvi əlaqənin gücünün zəifləməsi xüsusiyyəti isə fonon istilikkeçiriciliyinin mikrobərklikdən asılılığına görə aydınlaşdırılmışdır.

Öyrənilən sistemlərdəki bəzi yeni birləşmələrin mövcudluğu kompüter proqnozlaşdırılması üsulu ilə təsdiqlənmişdir.

Həmçinin $(In_2Te_3)_{1-x}(Cu_2Ga_4Te_7)_x$ bərk məhlullarının nanoölçülü naqılvari kristalları alınmış, onların elektron mikroskopunda böyümə morfologiyası tədqiq edilmişdir.

Dördüncü fəsildə In_2Te_3 və $InTe$ birləşmələri əsasında aşkar edilən bərk məhlul kristallarında istilik və elektrik yükdaşınma mexanizmlərinin araşdırılmasının nəticələri verilir. Alınan bərk məhlulların istilikfiziki, qalvano-, termomaqnit və digər xassələrinin tədqiqindən məlum olmuşdur ki, nümunələrdə yükdaşıyıcıların səpilməsi aşağı temperaturlarda əsasən, ionlaşmış aşqar atomlarından, yüksək temperaturlarda isə kristal qəfəsin istilik rəqslərindən baş verir. Lakin tərkiblərdən asılı olaraq elektronların səpilməsində digər mexanizmlər, məs. kristal qəfəsin polyarlaşmış optik rəqslərindən, akustik fononlardan səpilmələr də mövcuddur. Göstərilmişdir ki, termoe.h.q. əmsalının In_2Te_3 birləşməsi əsasında bərk məhlullarda azalaraq inversiyaya uğraması, $InTe$ əsasında bərk məhlullarda isə temperaturun yüksəlməsi ilə kəskin artma halı baş verir. Belə dəyişilməyə səbəb In_2Te_3 əsasında ərintilərdə vakansiya tipli boşluqların intensiv zəbt edilməsi ilə kristal qəfəsin nizamlı vəziyyətə gəlməsidirsə, $InTe$ əsasında bərk məhlul ərintilərinin isə mürəkkəb zona quruluşuna malik olmasıdır.

(In_2Te_3) $_{1-x}$ (MnTe_2) $_x$ bərk məhlullarında ($x=0,05$) bəzi istilikfiziki və termomaqnit parametrlərinin temperatur asılılıqlarından aşkar olunmuşdur ki, ərintidə istiliyin daşınması mürəkkəb çoxfonlu və akustik-optiki mexanizmlərinə uyğun baş verir. Yüksək temperaturlarda bərk məhlul ərintisində əlavə fonon istilik müqaviməti yaranır ki, bunun da səbəbinin istiliyin səpilməsinin nöqtəvi defektlərdən (vakansiyalardan) baş verməsidir. MnTe_2 -nin In_2Te_3 -ə əlavə edilməsi (In_2Te_3) $_{1-x}$ (MnTe_2) $_x$ bərk məhlullarında qadağan zonanın eninin kiçilməsi ilə nəticələnir. Tədqiq edilən tərkibdə istilikkeçiriciliyinin təbiətini aydınlaşdırmaq üçün elektronlara və fononlara görə hissələri hesablanmış (Videman-Frans qanununa uyğun $\alpha_{el}=L\sigma T$) və onların temperatur asılılıqları analiz olunmalıdır. α_{fonon} kəmiyyətinin tərs qiymətlərinə görə fonon istilik müqaviməti hesablanmış və onun temperatur asılılığı qurulmuşdur. Məlum olmuşdur ki, ~ 420 K temperaturuna qədər kristal qəfəsin istilik müqaviməti (W_f) birfononlu istilik daşınmasına uyğun asılılığa malikdir və bu kəmiyyətin nəzəri hesablanmış əmsalı (W_0) ilə keyfiyyətlə uzlaşır (Şəkil 3).



Şəkil 3. (In_2Te_3) $_{0,95}$ (MnTe_2) $_{0,05}$ tərkibli bərk məhlul ərintisinin ümumi istilikkeçiriciliyinin ($\alpha_{\text{üm}}$) və fonon istilik müqavimətinin (W_f) temperatur asılılıqları.

Lakin göstərilən temperaturdan başlayaraq, istilikkeçiriciliyinin kiçik intervalda sabit qaldığı temperatur da daxil olmaqla, nümunədə əlavə fonon istilik müqaviməti (ΔW_f) yaranır. Yəni, bu zaman istilikkeçiriciliyinin mexanizmi dəyişərək çoxfonlu daşınma vəziyyətini alır. Özü də, ~500 K yaxınlığında fonon istilik müqavimətinin dəyişməsi 500-540K-dən yüksəkdə daha güclü təbiətli olur. Görünür, 420-500 K temperatur intervalında istiliyin çoxfonlu daşınması prosesinə istiliyin akustik-optiki daşınması mexanizmi əlavə olunur. Kəmiyyətə belə mexanizmin miqdarını $\Delta W = W_{\text{təcrübə}} - W_{\text{coxfonon}}$ kimi qiymətləndirmək olar. Fonon istilik müqavimətinin Klemens formulu ilə hesablanması $\alpha_f = cT^{-n}$ (burada c – sabit kəmiyyət olub kristal qəfəsin mükəmməlliyini xarakterizə edir) göstərdi ki, “ n ” kəmiyyəti tədqiq edilən bərk məhlul ərintisində $-(0,7 \div 0,32)$ qiymətlərindədir, yəni istiliyin daşınmasında çoxfonlu səpilmə mexanizmi dominantlıq təşkil edir. Lakin, istiliyin daşınma mexanizmi dəyişə də bilir ki, belə dəyişilmənin temperaturunu ölçüsüz Nernst-Ettingshauzen əmsalının (ϵ_y) temperatur asılılığı da təsdiqləyir. Belə ki, ϵ_y əmsalı aşağı temperaturlarda mənfi işarəyə malikdir, lakin temperaturun yüksəlməsi ilə bu kəmiyyət mütləq qiymətə azalır və nümunədə istiliyin daşınma mexanizmi dəyişdikdə bu kəmiyyət də inversiyaya uğrayır.

$(\text{In}_2\text{Te}_3)_{1-x}(\text{Ni}_3\text{Te}_4)_x$ bərk məhlullarında kinetik əmsalların temperatur asılılıqlarından elektron və fonon səpilmə mexanizmlərinin daha sadə təbiətli olduqları aşkar edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, $(\text{In}_2\text{Te}_3)_{1-x}(\text{Ni}_3\text{Te}_4)_x$ bərk məhlullarında yükdaşıyıcılarının səpilməsi aşağı temperaturlarda ionlaşmış aşqar atomlarından, yüksək temperaturlarda isə kristal qəfəsin istilik rəqslərindən baş verir. İstiliyin daşınması birfononlu səpilmə mexanizminə uyğun olaraq dəyişir. Həmçinin, bu ərintilərdə əlavə fonon istilik müqavimətinin yaranması baş vermir.

Yarımkeçirici materiallarda elektron səpilməsinin təbiətini ölçüsüz Nernst-Ettingshauzen (ε_y) əmsalının $\frac{HU_H}{c}$ kəmiyyətindən asılılığından müəyyənləşdirmək olur əsasən əgər, $\varepsilon_y \sim f\left(\frac{HU_H}{c}\right)$ asılılığında $\frac{HU_H}{c} > 1$ olursa səpilmə qeyri-elastiki, $\frac{HU_H}{c} < 1$ halında isə, səpilmə mütəhərrik təbiətli olur.

$(\text{In}_2\text{Te}_3)_{0,97}(\text{Ni}_3\text{Te}_4)_{0,03}$ tərkibli bərk məhlul üçün qurulan asılılıqdan məlum olmuşdur ki, $\frac{HU_H}{c}$ kəmiyyəti vahiddən böyükdür. Yəni göstərilən bərk məhlul ərintisində yükdaşıyıcıların səpilməsi mütəhərrik təbiətlidir.

Bu fərziyyəni $\frac{\Delta\rho}{\rho}$ kəmiyyətinin işarəsinin müsbət olması da təsdiqləyir. $(\text{In}_2\text{Te}_3)_{1-x}(\text{Cd}_{0,9}\text{Zn}_{0,1}\text{Te})_x$ bərk məhlul ərintilərinin kinetik əmsallarının temperatur asılılıqlarından müəyyən edilmişdir ki, onlarda elektron və fonon səpilmə mexanizmləri mürəkkəb təbiətlidir ki, bu da bir tərəfdən kristalix qəfəsin defektli olması, digər tərəfdən isə tərkibdəki komponentlərin çoxluğu ilə əlaqədardır. Nümunələrdə elektronların səpilməsi mütəhərrik təbiətlidir. İstiliyin daşınmasında isə yüksək temperaturlarda əlavə fonon istilik müqavimətinin yaranması ilə müşahidə olunan çoxfonlu istilik səpilməsi mexanizmi dominantlıq edir. Tərkibdən asılı olaraq bu bərk məhlullarda istiliyin daşınmasında nöqtəvi defektlərdən səpilməsinin də mövcudluğu aşkar edilmişdir

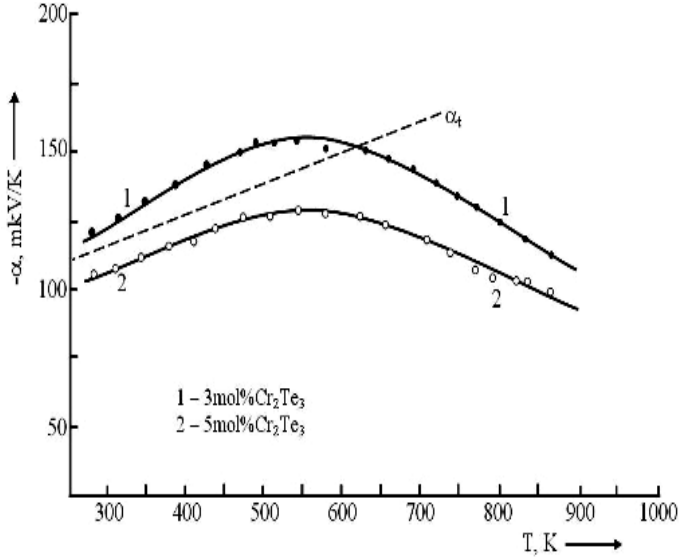
$(\text{In}_2\text{Te}_3)_{1-x}(\text{Cd}_{0,9}\text{Zn}_{0,1}\text{Te})_x$ bərk məhlul ərintilərinin ümumi istilik keçiriciliyinin temperatur asılılıqlarında temperaturun artması ilə əüm mənfi üstlü qanuna uyğun dəyişməyə malikdir. Lakin $\sim 700 \div 800$ K-dən başlayaraq istilikkeçiriciliyində zəif yüksəlmə baş verir. Adətən yarımkeçirici materialda belə yüksəlmə bipolyar istilikkeçiriciliyinin ε_{b-p} yaranması nəticəsində olur. Ancaq hesablamalar göstərdi ki, tədqiq edilən bərk məhlullarda ε_{b-p} kəmiyyətinin payı təsiredici həddə deyil. $(\text{In}_2\text{Te}_3)_{1-x}(\text{Cd}_{0,9}\text{Zn}_{0,1}\text{Te})_x$ ərintilərinin fonon istilik müqavimətinin temperatur asılılıqlarında ~ 500 K-ə qədər fonon istilik müqaviməti düzxətli olaraq artır və bu kəmiyyətin nəzəri hesablanan qiyməti (W_0) ilə keyfiyyətlə uzlaşır. Temperaturun sonrakı artımı

nümunələrdə əlavə fonon istilik müqavimətinin yaranmasına səbəb olur. Əlavə fonon istilik müqavimətinin yaranması nümunələrdə istilik daşınmasının akustik-optiki fononlardan baş verməsinin göstəricisidir. Hesablamalardan məlum olmuşdur ki, ~573 K temperaturuna qədər W_f -nin dəyişməsi $T^{0,3\pm 0,5}$ qanunu üzrə baş verir. Yəni $(\text{In}_2\text{Te}_3)_{0,99}(\text{Cd}_{0,9}\text{Zn}_{0,1}\text{Te})_{0,01}$ tərkibi üçün 753 K-dən yüksəkdə istiliyin daşınmasında çoxfonlu səpilmə mexanizmi əsas rola malik olur.

$(\text{In}_2\text{Te}_3)_{0,97}(\text{Cd}_{0,9}\text{Zn}_{0,1}\text{Te})_{0,03}$ ərintisinin uzununa Nernst-Ettinqshauzen əmsalının $\frac{\Delta\alpha}{\alpha}$ və maqnit müqavimətinin $\frac{\Delta\rho}{\rho}$ temperatur asılılıqlarından aydın olur ki, ~473 K temperaturunda $\frac{\Delta\rho}{\rho}$ kəmiyyətinin işarəsinin dəyişməsi baş verir. Yəni yükdaşıyıcıların səpilmə mexanizmindəki dəyişilmə burada özünü təsdiqləyir.

Aşkar edilmişdir ki, $(\text{InTe})_{1-x}(\text{CuZn}_2\text{InTe}_4)_x$ bərk məhlullarında elektron-fonon səpilməsinin təbiəti əsasən tərkibin kiçik əvəzləmələrdə kristal qəfəsdəki boşluqların (vakansiyaların) zəbt edilməsi proseslərilə izah edilə bilər. Baxmayaraq ki, tərkib daha mürəkkəb vəziyyətdədir, buradakı daşınma hadisələri daha sadə mexanizmlər üzrədir.

$(\text{InTe})_{1-x}(\text{Cr}_2\text{Te}_3)_x$ bərk məhlul ərintilərinin termiki qadağan zonasının eninin qiymətləri hesablanmış və məlum olmuşdur ki, Cr_2Te_3 -ün indium monotelluridinə əlavə edilməsi qadağan zolağının kiçilməsi ilə nəticələnir. Görünür burada bərk məhlul əmələ gələrkən heteropolyar kimyəvi əlaqənin formalaşması, əmələ gəlmə prosesini üstələyir. $(\text{InTe})_{1-x}(\text{Cr}_2\text{Te}_3)_x$ bərk məhlul ərintilərinin termo-e.h.q əmsalının temperatur asılılığında, aşağı temperaturlarda (yəni ~600 K-ə qədər) mürəkkəb zona quruluşlu yarımkeçiricilərdə olduğu kimi termo-e.h.q. əmsalı düzxətli yüksəlməyə malikdir (Şəkil 4). Temperaturun bu sahəsində termo-e.h.q. əmsalı və xüsusi elektrikkeçiriciliyi aşağıdakı ifadələrlə xarakterizə olunurlar:



Şəkil 4. (InTe)_{1-x}(Cr₂Te₃)_x bərk məhlul ərintilərinin termo- e.h.q. əmsalının temperatur asılılıqları.

$$\alpha = \pm \frac{k}{e} \left[\frac{r+1}{r+2} \frac{F_{r+1}(\mu^*)}{F_r(\mu^*)} \right],$$

$$\sigma = \frac{16e^2 m^* \ell_0(\mu_0)}{h^3} F_{\frac{1}{2}}(\mu^*).$$

Yüksək temperaturlarda termo-e.h.q. əmsalı hər iki növ yükdaşıyıcıların iştirakı ilə baş verən proseslərlə səciyyələnir.

Bu zaman termo-e.h.q. əmsalı $\alpha = \frac{\alpha_p \sigma_p + \alpha_n \sigma_n}{\sigma_p + \sigma_n}$ düsturu ilə ifadə

olunur. Yüksək temperaturlarda maksimumdan keçən termo-e.h.q. əmsalı temperaturun sonrakı yüksəlməsi ilə azalmağa başlayır. Termo-e.h.q. əmsalının yüksək temperaturlarda azalmasının səbəbi energetik zolaqda üçüncü növ yükdaşıyıcıların, yəni kütləsi daha ağır olan yükdaşıyıcıların aktivləşməsidir. Bu zaman $\alpha \sim f(T)$ asılılığı

$$\alpha = \frac{\alpha_p \sigma_p + \alpha_n \sigma_n - \alpha_{ağır} \sigma_{ağır}}{\sigma_p + \sigma_n - \sigma_{ağır}}$$
 ifadəsi ilə müəyyənləşdiriləcəkdir.

Bərk məhlul tərkiblərində yükdaşıyıcıların Holl yürüklüyünün temperatur asılılığından məlum olur ki, artıq otaq temperaturundan başlayaraq səpilmə mexanizmində dəyişiklik baş verir. Yürüklük əyriləri yayılmış maksimumdan keçərək yüksək temperaturlarda zəif azalmağa meyl göstərirlər. Yüksək temperaturlarda yürüklük $T^{-(0,85-0,95)}$ qanunu üzrə dəyişir. Belə vəziyyət yükdaşıyıcıların ionlaşmış aşqar atomlarından səpilməsini göstərir. Qeyd etmək lazımdır ki, analogi səpilmə mexanizmi təmiz indium monotelluridinə xas olan bir xüsusiyyətdir. $(\text{InTe})_{1-x}(\text{Cr}_2\text{Te}_3)_x$ ərintilərinin ümumi istilikkeçiriciliyinin temperatur asılılıqları ~ 673 K-ə qədər mənfi üstlü dəyişməyə malikdirlər. Temperaturun sonrakı artımında istilikkeçiriciliyi zəif yüksəlməyə meyl göstərir. α_{b-p} komponentinin hesablanmasından məlum olmuşdur ki, tədqiq edilən bərk məhlul tərkiblərində belə mexanizmin iştirakı nəzərə alınacaq dərəcədə deyil. İstilikkeçiriciliyində digər mexanizmlərin iştirakını müəyyənəlmək üçün fonon istilik müqavimətinin temperatur asılılığı qurulmuşdur. Hesablamalardan məlum olmuşdur ki, aşağı (500 K-ə qədər) temperatur intervalında istilikdaşınma prosesində $T^{-0,004}$ qanunu üstünlük təşkil edir. Temperaturun 500-773 K intervalında dəyişdiyində istilikkeçiriciliyində $T^{-0,25}$ qanunu dominantlıq edir. Bu onu göstərir ki, aşağı temperaturlarda istiliyin səpilməsi birfononlu mexanizm üzrə baş verir. Lakin üst kəmiyyətinin qiymətlərinə görə belə bir qənaətə gəlmək olur ki, ərintilərdə coxfononlu proseslər başlayır istiliyin daşınmasında daha bir mexanizmin nöqtəvi qeyri-mükəmməllikdən səpilmə mexanizminin mövcudluğu da istisna deyil.

$(\text{InTe})_{1-x}(\text{Cr}_2\text{Te}_3)_x$ bərk məhlul ərintilərinin termoelektrik parametrlərinin temperatur asılılıqlarından məlum olmuşdur ki, ~ 700 K temperaturunda ərintilər termoelektrik materialları üçün qəbul edilən effektivliyə malikdirlər ki, $(Z_{700}=0,52 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1})$ bu göstərici də onları termoelektrik enerji çevricilərinin hazırlanması üçün perspektivli edir.

$(\text{InTe})_{1-x}(\text{TlGaTe})_x$ bərk məhlul kristallarında istilik keçiriciliyinin və yükdaşıyıcıların Holl yürüklüyünün temperatur asılılıqları tədqiqindən məlum olmuşdur ki, InTe-da istiliyin daşınması birfononlu səpilmə mexanizmi üzrə olduğu halda

(InTe)_{1-x}(TlGaTe₂)_x bərk məhlullarda səpilmə coxfononlu mexanizm üzrə baş verir. . Burada həmçinin, polyarlaşan optik rəqslərdən səpilmədə müşahidə olunur.

Nümunələrin termo-e.h.q. əmsalının temperaturdan asılı olaraq dəyişməsindən aydın olmuşdur ki, burada da termo-e.h.q. əmsalı mürəkkəb zona quruluşuna malik yarımkeçiricilərdə olduğu kimi, əvvəl düzxətli kəskin artmağa, sonra isə maksimumdan keçərək azalmağa meyl göstərir. Tədqiq edilən kristallarda istiliyin daşınma mexanizmini aydınlaşdırmaq məqsədilə ümumi istilikkeçiriciliyinin tərkib hissələri hesablanmış və bir qədər geniş təhlil edilmişdir.

Burada əsasən $\alpha_{b-p} = 2L_0\sigma T \left(\frac{\Delta E}{4kT} + 1 \right)^2$ düsturundan [6] istifadə edilmişdir. InTe birləşməsinin və (InTe)_{1-x}(TlGaTe₂)_x bərk məhlul kristallarının elektronlara görə istilikkeçiriciliyinin temperatur asılılıqlarından aydın olmuşdur ki, temperaturun yüksəlməsi elektronlara görə olan istilikkeçiriciliyinin artmasına səbəb olur. Görünür, yüksək temperaturlarda istilikkeçiriciliyində elektronların rolu nəzərəçarpacaq dərəcədədir. Lakin, fikrimizcə, kristallarda istiliyin daşınmasında əsas rol fononlara məxsusdur. Nümunələrdə temperaturun yüksəlməsi ilə kristalın qəfəsin istilik müqaviməti də artır. Belə artma aşqarsız InTe-da istilik müqavimətinin nəzəri hesablanmış qiymətinə (W_0) uyğun olaraq düzxətlidirsə, tərkibində TlGaTe₂ olan nümunələrdə analogi uyğunluq yalnız aşağı temperaturlarda (~500 K-ə qədər) ödənilir. Temperaturun sonrakı yüksəlməsi əlavə fonon istilik müqavimətinin (ΔW_f) yaranması ilə müşahidə olunur. Bərk məhlulun 0,5 mol% TlGaTe₂ tərkibində əlavə fonon istilik müqavimətinin qiyməti kiçikdir. Tərkibində ikinci komponentin miqdarı çox olan nümunələrdə isə fonon istilik müqavimətinin qiyməti daha böyükdür.

Məlum olmuşdur ki, (InTe)_{0,995}(TlGaTe₂)_{0,005} tərkibli ərintilər də istiliyin daşınması $T^{-0,01}$ qanunu, (InTe)_{0,99}(TlGaTe₂)_{0,01} tərkibli nümunədə isə 500 K-ə qədər $T^{-0,05}$ və daha yüksək temperaturlarda

$T^{-0,16}$ qanunu üzrə baş verir. keçir. Yəni InTe-da birfononlu istilik hadisələri üstünlük təşkil etdiyi halda, bərk məhlul tərkiblərində mexanizm dəyişilərək coxfononlu istilik səpilməsi

mexanizminə gəlmək olar ki, göstərilən nümunələrdə “atılma” mexanizminə uyğun olan səpilmə-də özünə yer tapır.

Bipolyar istilikkeçiriciliyi üzrə yerinə yetirilən hesablamalar qənaətbəxş nəticələr vermədiyindən, tədqiq edilən bərk məhlullarda yüksək temperaturlarda istilikkeçiriciliyində digər mexanizmlərinin mövcudluğu nəticəsinə gəlmək olar. A^{III}B^{VI} tipli birləşmələrdə və onlar əsasında ərintilərdə yüksək temperaturlarda dislokasiya

mexanizmi zəifləyir və əvəzində elektron keçidlərinin aktivləşən enerjilərinin güclənməsi hesabına istilikkeçiriciliyinin yüksəlməsi prosesi baş verir. Fikrimizcə, (InTe)_{1-x}(TlGaTe₂)_x bərk məhlullarında GaTe tərkibli çox kiçik ölçülü asosiatlar əmələ gəlir və onlar da ümumi istilikkeçiriciliyinə göstərilən mexanizmlərlə təsir edir. Yüksək temperaturlarda istilikkeçiriciliyinin yüksəlməsinin bir səbəbi də eksitonlara görə yaranan istilikkeçiriciliyidir ki, bu mexanizm (InTe)_{1-x}(TlGaTe₂)_x bərk məhlul kristallarında da yarana bilər. Müəyyən olunmuşdur ki, (InTe)_{1-x}(TlBiTe₂)_x bərk məhlul ərintiləri 700 K temperaturunda yüksək termoelektrik effektivlik gücünə ($\alpha^2\sigma$) malikdirlər.

Həmçinin, müəyyən edilmişdir ki, (InTe)_{1-x}(Cu₂ZnSnS₄)_x bərk məhlul ərintilərində istiliyin daşınması birfononlu mexanizmə uyğun olaraq həyata keçirilir. (InTe)_{0,98}(Cu₂ZnSnS₄)_{0,02} tərkibli bərk məhlul ərintisi yüksək termoelektrik effektivliyinə malikdir ($Z_{700-800K}=1,5 \cdot 10^{-3} K^{-1}$) və ondan termoelektrik enerji generatorlarının hazırlanmasında istifadə etmək olar. Məlum olmuşdur ki, Cu₂ZnSnS₄-ün əlavə edilməsi InTe-un qadağan zonasının eninin və termo-e.h.q. əmsalının artmasına səbəb olur. (InTe)_{0,98}(Cu₂ZnSnS₄)_{0,02} tərkibində Z-in böyük qiymətə malik olmasının səbəbi istilikkeçiriciliyinin kiçik qiymətlərdə olmasıdır. Bunun əsas səbəbi yüksək temperaturlarda (~800 K-də) fonon-fonon anharmonizminin yüksəlməsi nəticəsində istilikkeçiriciliyinin azalmasıdır. Yüksək termoelektrik effektivliyinə malik olan (InTe)_{0,98x}(Cu₂ZnSnS₄)_{0,02} tərkibi üçün 800 K temperaturunda olan anharmoniklik əmsalının qiyməti hesablanmışdır. Məlum olmuşdur ki, (InTe)_{0,98}(Cu₂ZnSnS₄)_{0,02} tərkibi üçün Qrünayzen əmsalının $\gamma_{800K}=2,7$. Bu qiymət göstərilən tərkibdə anharmonikliyin həqiqətən yüksək səviyyədə olmasını göstərir.

Beşinci fəsilə öyrənilən sistemlərdən $(\text{Cr}_2\text{Te}_3)_{1-x}(\text{In}_2\text{Te}_3)_x$ $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{In}_2\text{Te}_3)_x$, $(\text{Cu}_2\text{Ga}_4\text{Te}_7)_{1-x}(\text{In}_2\text{Te}_3)_x$, $(\text{CuCr}_2\text{Te}_4)_{0,99}(\text{InTe})_{0,01}$ bərk məhlullarının və yeni $\text{CuGa}_2\text{InTe}_5$ birləşməsinin kinetik əmsallarının temperatur asılılıqlarının tədqiqindən alınan nəticələr verilir və göstərilir ki, onların bəziləri yüksək termoelektrik effektivliyinə malik olmaqla yanaşı, xassələrdə müəyyən anomallığa malikdirlər. Aşkar edilən daşınma mexanizmlərinin müxtəlif növ olmasının səbəbi bir tərəfdən tərkibin mürəkkəbliyidirsə, digər tərəfdən zona quruluşunun qeyri-adiliyidir.

$(\text{Cr}_2\text{Te}_3)_{1-x}(\text{In}_2\text{Te}_3)_x$ bərk məhlullar sırasında $x=0,01$ tərkibli ərintinin termoelektrik parametrlərinin tədqiqindən müəyyən edilmişdir ki, bu tərkib yüksək temperaturlarda böyük termoelektrik effektivliyinə malikdir ($Z_{600}=1,18 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$). $(\text{Cr}_2\text{Te}_3)_{0,99}(\text{In}_2\text{Te}_3)_{0,01}$ tərkibinin və köməkçi məqsədlə işlənmiş $\text{Cr}_2\text{Te}_3\text{-CuTe}$ sistemində aşkar edilən $(\text{Cr}_2\text{Te}_3)_{0,99}(\text{CuTe})_{0,01}$ bərk məhlulunun xüsusi elektrik keçiriciliyinin, termoe.h.q. əmsalının və ümumi istilikkeçiriciliyinin temperatur asılılıqları tədqiq edilmiş, onların termoelektrik effektivliyinin qiymətləri hesablanaraq müqayisəli təhlili aparılmışdır. Elektrik keçiriciliyinin aşağı temperaturlarda azalmasını kristal sahədə elektron sıxlığının 3d-elementlərinin ionlaşmış hissəcikləri ətrafında asimmetrik paylanmasının təsirinin nəticəsi kimi təsəvvür etmək olar. 3d-elementlərinin yüksək konsentrasiyalarında və yaxud, kristalların həyacanlanma hallarında 3d-dalğa funksiyaları qismən biri-birini örtərək, nəticə etibarilə ensiz, tam dolmayan 3d-zonaları yarada bilirlər ki, onlar da elektrik yüklərinin daşınmasına maneçilik törədirlər. Temperaturun sonrakı yüksəlməsində dalğa funksiyalarının biri-birini örtmə dərəcəsi zəifləyir, bunun nəticəsində də elektrik yükdaşınma hadisəsində həm tam dolmayan ensiz zolaqlar, həm də energetik zonada qərarlaşan digər aşqar yarımzonalar iştirak etməyə başlayırlar. 470 K-dən yüksəkdə məxsusi keçiricilik sahəsi yaranır ki, bu sahədən hesablanan termiki qadağan zonasının eninin qiyməti $\sim 0,28 \text{ eV}$ olmuşdur. $(\text{Cr}_2\text{Te}_3)_{0,99}(\text{CuTe})_{0,01}$ ərintisinin termoe.h.q. əmsalı temperaturdan bütün ölçü diapazonunda artır, ümumi istilikkeçiriciliyi isə azalır. İstilikkeçiriciliyinin temperaturun yüksəlməsi ilə azalması nümunədə normal fonon hadisələrinin baş

verməsinə və Z -in 600 K temperaturda vahiddən böyük qiymət alması, bu bərk məhlul ərintisinin termoelektrik enerji çeviricilərinin hazırlanması üçün perspektivli olduğunu göstərir.

Perspektivli termoelektrik materiallarının axtarışı $\text{Cr}_2\text{Te}_3\text{-CuTe}$ sistemində Cr_2Te_3 əsasında aşkar edilən bərk məhlul tərkiblərində də aparılmışdır. $(\text{Cr}_2\text{Te}_3)_{0,99}(\text{CuTe})_{0,01}$ tərkibinin müxtəlif temperaturlarda termoelektrik effektivlik əmsalının qiyməti hesablanmış və aşkar edilmişdir ki, 500 K-də $Z=0,51 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$, 800 K temperaturunda isə $Z=0,64 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ qiymətlərini alır. Bu qiymətlərin $(\text{Cr}_2\text{Te}_3)_{0,99}(\text{In}_2\text{Te}_3)_{0,01}$ bərk məhlulunun eyni parametrlərinin qiymətləri ilə müqayisədə çox kiçik olduqları aşkar edilmişdir.

$(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{In}_2\text{Te}_3)_x$ ərintilərinə xüsusi elektrikkeçiriciliyi, termo-e.h.q. əmsalı, yükdaşıyıcıların Holl yürüklüyü, ümumi istilikkeçiriciliyi və termoelektrik effektivlik əmsalının temperatur asılılıqları tədqiq edilmiş, bu asılılıqlarda müəyyən anomal xüsusiyyətlər aşkar olunmuşdur. Holl yürüklüyü temperaturdan asılı olaraq ~540 K-ə qədər artır və müəyyən qarışıq səpilmə sahəsindən keçdikdən sonra azalmağa meyli göstərir. Holl yürüklüyünün böyümə sahəsindəki səpilmə mexanizminin göstəricisi $T^{3,5}$ olmuşdur. Sərbəst yükdaşıyıcıların səpilmə mexanizmini xarakterizə edən kəmiyyətin böyük qiymət alması yüksək müqavimətli materiallara xas olan cəhətdir və burada kristal quruluşun mövcud olan nizamsızlıqlarından əlavə səpilmənin baş verməsi meydana çıxır. Yəni, elə yarımkəçirici materiallar vardır ki, onlarda yükdaşıyıcıların yürüklüyü böyük deyil və sərbəst qaçış yolunun orta uzunluğu kristallik qəfəs sabitindən kiçikdir. Bu zaman yükdaşıyıcılar bir elementar qəfəsdən digərinə sıçraya bilər. Belə hərəkətlərin tezliyi

$e \frac{\Delta E}{kT}$ kəmiyyəti ilə səciyyələndiyindən, yürüklük də $U_H \sim e \frac{\Delta E}{kT}$ ilə müəyyənəndirilir. Dolayısıyla, belə yarımkəçiricilərdə səpilmə mexanizmini əks etdirən kəmiyyət böyük olur. Tədqiq etdiyimiz tərkiblər də polikristal olduqundan müəyyən nizamsızlığa malikdirlər və bunun nəticəsində onlarda əlavə səpilmə mənbələri yarana bilər. $(\text{CuInSe}_2)_{0,99}(\text{In}_2\text{Te}_3)_{0,01}$ bərk məhlul tərkibi üçün aparılan tədqiqatlar göstərmişdir ki, temperaturun artması ilə Z -in

yüksək olmayan qiymətləri artmağa başlayır, bunu da termoelementlərin hazırlanması üçün qənaətbəxş saymaq olar.

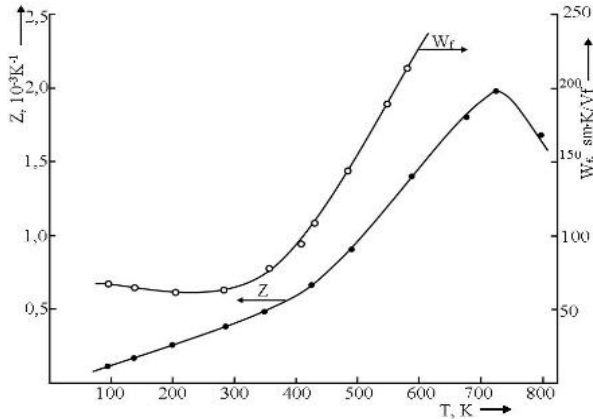
$(\text{Cu}_2\text{Ga}_4\text{Te}_7)_{0,95}(\text{In}_2\text{Te}_3)_{0,05}$ və $(\text{Cu}_2\text{Ga}_4\text{Te}_7)_{0,99}(\text{In}_2\text{Te}_3)_{0,01}$ tərkibli bərk məhlul ərintilərinin ümumi istilikkeçirmə əmsalının temperatur asılılıqları göstərmişdir ki, burada istiliyin daşınması çoxfonlu səpilmə mexanizmi üzrə baş verir. Həmçinin aşkar edilmişdir ki, $(\text{Cu}_2\text{Ga}_4\text{Te}_7)_{1-x}(\text{In}_2\text{Te}_3)_x$ bərk məhlul ərintilərində yüksək temperturlarda istililiyin daşınması mexanizmləri arasında U –prosesləri (Uniklab, yaxud da “atılma” prosesləri) də özünə yer tapır. Tədqiq edilən nümunələrdə bipolyar və foton mexanizmlili istilikkeçiriciliklərinin yox səviyyəsində olduqları nəzərə alınaraq,

α_{b-p} və α_{fot} kəmiyyətlərini sıfıra bərabər qəbul edib, $\alpha_{\text{fon}} = \alpha_{\text{üm}} - \alpha_{\text{el}}$ fərqinə əsasən fonon istilikkeçiriciliyinin qiymətləri hesablanmış və $\frac{1}{\alpha_{\text{fon}}}$ nisbətində əsaslanaraq fonon istilik müqavimətinin

temperatur asılılıqları qurulmuşdur. Tədqiq edilən hər iki bərk məhlul ərintilərində istilikkeçiriciliyi temperaturla $T^{0,1}$ qanunu üzrə dəyişir. Belə dəyişmə istiliyin çoxfonlu mexanizm üzrə daşınmasını göstərir. Lakin ~ 550 K-dən başlayaraq fonon istilik müqaviməti daha güclü artmağa başlayır və nümunələrdə əlavə fonon istilik müqavimətinin (ΔW_f) yaranması baş verir. Bu zaman istiliyin daşınması $T^{0,3}$ qanununa tabe olur.

$(\text{Cu}_2\text{Ga}_4\text{Te}_7)_{1-x}(\text{In}_2\text{Te}_3)_x$ bərk məhlul ərintilərinin kinetik əmsallarının temperatur asılılıqlarından məlum olmuşdur ki, aşağı temperaturlarda elektron səpilməsi əsasən aşqar atomlarının ionlaşmış mərkəzlərinin, yüksək temperaturlarda isə kristal qəfəsin istilik rəqslərinin hesabına baş verir. Nümunələrdəki fonon mexanizmləri isə əsasən birfononlu toqquşma qanunlarına uyğundur. Yüksək temperaturlarda fonon istilik müqavimətinin yaranması fonon səpilməsinin kristal qəfəsdə olan vakansiya tipli defektlərdən baş verdiyini göstərir. $(\text{Cu}_2\text{Ga}_4\text{Te}_7)_{0,95}(\text{In}_2\text{Te}_3)_{0,05}$ tərkibli ərintinin termoelektrik effektivliyinin qiymətindən müəyyən olunmuşdur ki, 700 K-də bu tərkibin termoelektrik effektivliyinin qiyməti $Z=0,5 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$ -ə bərabərdir.

Aşkar edilmişdir ki, $(\text{CuCr}_2\text{Te}_4)_{0,99}(\text{InTe})_{0,01}$ tərkibli bərk məhlul ərintisində yükdaşınma hadisələrində rast gəlinən anomallıq bir tərəfdən ərintinin zona quruluşunun mürəkkəbliyi, digər tərəfdən isə effektiv kütlənin artması ilə əlaqədardır. Tədqiq edilən tərkib yüksək termoelektrik effektivliyinə malikdir ($Z_{700\text{K}}=2,0 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$) və ondan orta temperatur intervalında işləyən termoelektrik enerji çeviricilərinin hazırlanmasında istifadə etmək olar (Şəkil 5).



Şəkil 5. $(\text{CuCr}_2\text{Te}_4)_{0,99}(\text{InTe})_{0,01}$ tərkibli bərk məhlul ərintisinin fonon istilik müqaviməti (W_T) və termoelektrik effektivlik əmsalının (Z) temperatur asılılığı.

Göstərilmişdir ki, $\lg \sigma \sim f\left(\frac{10^3}{T, \text{K}}\right)$ asılılığı yarımmetalik təbiətlidir.

Artıq otaq temperaturundan başlayaraq nümunədə məxsusi keçiricilik sahəsi başlayır və elektrikkeçiriciliyinin artma prosesi yüksək temperaturlarda da davam edir. Məlum olmuşdur ki, tədqiq edilən tərkib üçün termiki qadağan zolağının eninin qiyməti $\Delta E_g=0,32 \text{ eV}$ -dur. Maye azot temperaturundan başlayaraq nümunədə termo-e.h.q. əmsalı artır. Onun səngiməsi $\sim 500 \text{ K}$ -dən yüksəkdə baş verir. Termo-e.h.q. əmsalının temperaturla armtası şpinel quruluşlu ferromaqnit yarımkeçirici materiallara xasdır. Belə anomal dəyişməni həm zona quruluşunun mürəkkəbliyi, həm də effektiv kütlənin böyüməsi ilə əlaqələndirmək olar. 77 K-də nümunənin Holl

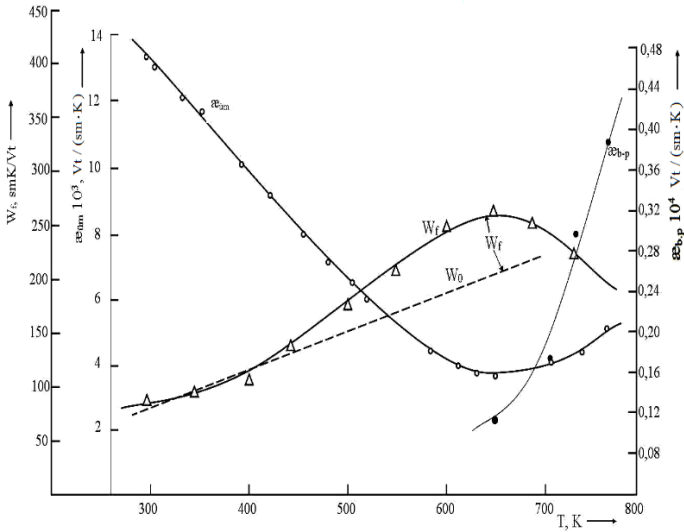
yürüklüyü $\sim T^{-1,2}$ qanunu üzrə dəyişir. Yəni, burada yükdaşıyıcılar yalnız birfononlu toqquşma ilə kifayətlənir. Temperaturun yüksəlməsi zamanı yükdaşıyıcıların səpilməsi $\sim T^{-1,9}$ qanununa tabe olur və burada toqquşma artıq çoxfonlu səpilmə ilə nəticələnir. Tərkibin ümumi istilik keçiriciliyinin və onun elektronlara görə olan payının temperatur asılılıqları göstərmişir ki, maye azot temperaturunda ümumi istilikkeçiriciliyinin artması baş verir və o, otaq temperaturunda maksimuma çatdıqdan sonra azalmağa başlayır. Belə dəyişmə misin halkogenidli birləşmələrinə xasdır. Temperaturun yüksəlməsi ilə α_{el} əmsalı da böyüyür. Lakin bu artım ümumi istilikkeçiriciliyinin dəyişilməsinə ciddi təsiredici səviyyədə deyil. Görünür, elektronlara görə istilikkeçiriciliyinin yüksək olması kristal özəkdə atomların (elektronların) çox olmasından qaynaqlanır. Beləliklə, $(CuCr_2Te_4)_{0,99}(InTe)_{0,01}$ tərkibinin kinetik əmsallarının temperatur asılılıqlarında müşahidə olunan anomallıqlardan birinci növbədə termo-e.h.q. əmsalının temperaturdan asılı olaraq artmasını qeyd etmək olar ki, belə vəziyyət də, adətən, mürəkkəb zona quruluşuna malik olan yarımkəçirici materiallara xasdır. Xassələr göstərir ki, tədqiq edilən tərkib də analoji zona quruluşuna malikdir. Belə materiallar “yüngül” və “ağır” növ effektiv kütləyə malik olurlar və onlarda termo-e.h.q.-nin temperaturla artması effektiv kütlənin hesabına baş verir. Hazırkı tədqiqatlarda da effektiv kütlənin qiyməti hesablanmış və onun temperaturdan asılılıq qrafiki qurulmuşdur. Məlum olmuşdur ki, aşağı temperaturlarda (məs., 160 K-də)

$$\frac{m^*}{m_0} = 0,26 \text{ olduğu halda, yüksək temperaturlarda (məs., 700 K-də) } \frac{m^*}{m_0} = 1,17 \text{ qiymətini alır.}$$

Aşkar edilmiş yeni $CuGa_2InTe_5$ birləşməsinin kinetik əmsallarının temperatur asılılıqlarından məlum olmuşdur ki, elektrik yüklərinin və istiliyin daşınması bir neçə mexanizm üzrə baş verir. Müəyyənləşdirilən daşınma mexanizmlərinin müxtəlif növ olmasının səbəbi bir tərəfdən tərkibin çoxkomponentliyidirsə, digər tərəfdən onun zona quruluşunun mürəkkəbliyidir. Birləşmənin elektrikkeçiriciliyinin temperatur asılılığı yarımmetalik təbiətlidir. ~ 413 K temperaturundan başlayaraq elektrikkeçiriciliyinin kəskin

artması baş verir ki, bu da məxsusi keçiricilik sahəsinin yaranmasının göstəricisidir. Hesablanan termiki qadağan zolağının eninin qiyməti $\sim 0,88$ eV olmuşdur. Termo-e.h.q. əmsalının temperatur asılılığında ~ 473 K temperaturuna qədər termo-e.h.q. əmsalı düzxətli yüksəlməyə malikdir. Sonra $\alpha \sim f(T)$ asılılığı maksimumdan keçərək, məxsusi keçiricilik sahəsində güclü azalmağa meyl göstərir. Ölçülən bütün temperatur intervalında α -nın işarəsi mənfi olmuşdur. Yükdəşıyıcılarının Holl yürüklüyünün (U_H) və uzununa Nernst-Ettinqshauzen əmsalının (ε_y) temperatur asılılıqlarından məlum olmuşdur ki, yürüklük ~ 400 K temperaturuna qədər $T^{1,5}$ qanunu üzrə dəyişir. $\lg U_H \sim f(\lg T)$ asılılığı ~ 417 K temperaturunda maksimumdan keçərək, sonra $T^{-3,5}$ qanunu üzrə azalmağa başlayır. Asılılığın maksimumdan keçməsi yükdəşıyıcıların polyar optiki rəqslərdən səpilməsinin mövcudluğunu göstərir. Qeyd edilən temperaturda ε_y kəmiyyətinin də işarəsinin inversiyası baş verir. ~ 653 K temperaturuna kimi, $\varepsilon_{\text{üm}}$ əmsalı mənfi üstlü qanunla dəyişir ki, belə hal da birləşmədə normal fonon hadisələrinin baş verməsini göstərir. Lakin ~ 653 K-dən başlayaraq ümumi istilikkeçiriciliyi artmağa meyl göstərir. Məsələyə aydınlıq gətirmək məqsədilə birləşmənin istilikkeçiriciliyində elektron, fonon və bipolyar istilikkeçiriciliklərinin kəmiyyətcə rolu qiymətləndirilmiş və məlum olmuşdur ki, istilik dəşilmə prosesində ε_{b-p} kəmiyyətinin rolu böyükdür. Fonon istilik müqavimətinin temperatur asılılığından məlum olmuşdur ki, tədqiq edilən birləşmənin istilikkeçiriciliyi temperaturla $\sim T^{-0,32}$ qanunu ilə dəyişir. Bu amil istiliyin daşınmasının çoxfonlu mexanizm üzrə baş verdiyini göstərir. İstilik keçiriciliyində coxfononlu səpilmənin mövcudluğu yürüklüyün yüksək temperaturlarda $T^{-3,5}$ qanunu üzrə dəyişməsi də sübuta yetirir. Bu mexanizm ~ 653 K-ə qədər dominantlıq edir, çünki bu temperaturdan sonra ümumi istilikkeçiriciliyində artma müşahidə olunur. Məlum olmuşdur ki, yüksək temperaturlarda ε_{b-p} güclü artır (Şəkil 6). Bu onun ümumi istilikkeçiriciliyinə təsirinin həlledici olduğunu göstərir. $\frac{\Delta\rho}{\rho}$ kəmiyyətinin mənfi işarəsi birləşmədəki yükdəşıyıcılarının yürüklüyünün kiçik olmasını göstərir, eyni

zamanda mənfi işarə yükdaşıyıcıların səpilməsinin qeyri-elastiki təbiətliliyinin bir əlamətidir.



Şəkil 6. CuGa₂InTe₅ yeni birləşməsinin ümumi istilikkeçiriciliyi ($\alpha_{üm}$), fonon istilik müqaviməti (W_f) və bipolyar istilikkeçiriciliyinin (α_{b-p}) temperatur asılılığı.

Beləliklə, V fəslin nəticələrini yekunlaşdıraraq belə bir qənaətə gəlmək olar ki, tədqiq edilən əksər bərk məhlul ərintiləri və yeni dördlü birləşmənin kinetik əmsalları temperaturdan asılı olaraq özlərini mürəkkəb zona quruluşlu yarımkeçirici materiallar kimi göstərirlər. Baxmayaraq ki, bu bərk məhlul ərintiləri günəş enerji çeviriciləri (məs., CuInSe₂) və maqnit texnikası üçün (CuCr₂Te₄) perspektivli sayılan birləşmələr əsasında yaranmışlar, onların termoelektrik effektivliyi də yüksək qiymətli olmuşdur. Bu səbəbdən tədqiq edilən bərk məhlul ərintilərinin əksəriyyəti effektiv termoelektrik material kimi termogeneratorların hazırlanmasında termoelementin müsbət və mənfi qolu kimi tətbiq edilə bilərlər. Termomaqnit effektlərinin təqiqi isə bu bərk məhlul və yeni birləşmələrin termomaqnit çeviriciləri və vericiləri üçün perspektivli materiallar olduqlarını göstərir.

Altıncı fəsildə sintez edilən kristallar və onların nazik təbəqələrindən istifadə edilərək bərk cisim heteroqəçidləri, termoelektrik enerji çeviricisi və günəş batareyası elementlərinin yaradılması, onların tətbiqi parametrlərinin və əsas xarakteristikalarının öyrənilməsindən alınan nəticələr verilmişdir. Termiki buxarlandırılmanın «isti divar» variantı ilə InTe birləşməsinin, InTe və In₂Te₃ birləşmələri əsasında bərk məhlul ərintilərinin, həmçinin tərkibində indium telluridləri olan üçlü birləşmələrin nazik təbəqələri alınmış və tədqiq edilmişdir.

n-InTe/p-TlGaTe₂ quruluşlu nazik təbəqəli heteroqəçid yaradılmış, onun fotoelektrik, volt-ampere və digər xarakteristikaları öyrənilmiş, energetik diaqramı qurulmuşdur. Göstərilmişdir ki, gərginliyin kiçik qiymətlərində heteroqəçiddə cərəyanın axması tarazlı keçiriciliklə müəyyənləşdirilir. n-InTe təbəqəsinin injeksiya cərəyanının həcmi fəza yükləri ilə məhdudlaşdığı müəyyənləşdirilmişdir. Burada lokal vəziyyətlərin qadağan zonada eksponensial paylanması halı p-TlGaTe₂ təbəqəsindən nazik n-InTe təbəqəsinə əsas yükdaşıyıcıların düzünə tunelləməsinin nəticəsi olduğu göstərilmişdir. Tədqiqatlarda işıq şüaları ilə qadağan zonasının eni böyük olan yarımkeçirici tərəfdən təsir edilmişdir. Yaradılan n-InTe/p-TlGaTe₂ heteroqəçidində elektron-deşik cütlərinin rekombinasiyası ilə əlaqədar olan və ədəbiyyatda “pəncərə effekti” kimi tanınmış hadisə nəticəsində fotocavabın böyüməsi prosesinin baş verməsi istisna təşkil etmədiyindən, quruluş p-TlGaTe₂ tərəfdən işıqlandırılmış və spektral xarakteristikası tədqiq edilmişdir. Fotokeçiricilik ölçülərkən heteroqəçidə gərginlik də tətbiq edilmişdir. Məlum olmuşdur ki, tətbiq edilən gərginliyin qiyməti artdıqca, fotohəssaslıq böyüyür. Gərginliyin müəyyən bir qiymətində spektral asılılıqda maksimuma rast gəlinir. Xarakteristikadakı maksimum ~0,93 mkm dalğa uzunluğuna uyğun gəlir. Lakin materialın qadağan zonasının eninin qiyməti maksimumdan sonra əmələ gələn spektral sönmənin 1,05 mkm qiymətindən istifadə edilərək hesablanmış və qadağan zolağının eni üçün ~1,18 eV qiyməti tapılmışdır ki, bu da TlGaTe₂ birləşməsinin energetik parametri ilə keyfiyyətlə uzlaşır. Fotokeçiriciliyin maksimal qiymətə çatması onu göstərir ki, yaradılan n-InTe/p-

TlGaTe₂ quruluşlu heteroqəçid yaxın infraqırmızı diapazonda həssas qeydiyyat cihazı kimi istifadə edilə bilər. Yaradılan n-InTe/p-TlGaTe₂ quruluşlu heteroqəçidin VAX-1 otaq temperaturunda ölçülmüşdür. Omik kontaktlar indiumdan olduğundan VAX-ın daha yüksək temperaturalarda tədqiq edilməsi mümkün olmamışdır. Səthi elektrik vəziyyətlər nəzərə alınmamaq şərti ilə ədəbiyyatlarda təklif edilən modelə əsasən yaradılan heteroqəçidin energetik diaqramı qurulmuşdur. Diaqram InTe və TlGaTe₂ birləşmələrinin energetik parametrlərinin ədəbiyyatdan götürülən qiymətlərinə görə qurulmuşdur. Bəzi verilənlər bu işdə aparılan tədqiqatlardan götürülmüşdür. Fermi səviyyəsinin enerjisi E_F dissertasiyanın əvvəlki paraqraflarında tapılan aşqarların aktivləşmə enerjisinə mütənasib qəbul edilmişdir.

p-InTe/n-TlInSe₂ quruluşlu heteroqəçid yaradılmış, onun volt-ampere, volt-farad və digər xarakteristikaları tədqiq edilmiş, energetik diaqramı qurulmuşdur. Göstərilmişdir ki, InTe ilə TlInSe₂ birləşmələri arasında baş verən sadə qarşılıqlı fiziki-kimyəvi təsir heteroqəçiddə də özünü biruzə verir. Belə ki, bu heteroqəçiddə n-In₂Te₃/p-Cu₂Ga₄Te₇ heteroqəçidində aşkar edilən əlavə yüksək müqavimətli nazik təbəqənin əmələ gəlməsi prosesi baş vermir. Heteroqəçidin VFX-nın düzxətli olduğu aşkar edilmiş, $C^2 \sim f(U)$ asılılığına əsasən U_d=0,57 V qiyməti tapılmışdır. Göstərilmişdir ki, heteroqəçidin kontakt sahələrində aktiv mərkəzlərin rekombinasiya təbiətliliyindən səpilmə təbiətliliyinə keçməsi istisna edilmir. Məlum olmuşdur ki, heteroqəçid kiçik düzləndirmə əmsalına malikdir (k=3÷8).

Altılığa n-TlInSe₂-dən müsbət polyarlıqlı xarici sürüşmə tətbiq edildikdə buraxma (ötürmə) gərginliyi realizə olunur. Qaranlıq volt-ampere xarakteristikası kiçik gərginlik sahələrində simmetrik təbiətlidir. Bu onu göstərir ki, kiçik gərginliklərdə cərəyanın axması injeksiya prosesləri ilə deyil, tarazlı keçiriciliklə müəyyənləşdirilir. Lakin burada injeksiya proseslərinin iştirakı istisna edilmir. VAX-ın ~0,5-1,5 V gərginlik sahəsini əhatə edən eksponensial hissəsi

$$I = I_0 \exp\left(\frac{eV}{\beta kT}\right)$$
 ifadəsilə, $\beta=1,2-1,4$ halı üçün keyfiyyətlə uzlaşır. Bu onu göstərir ki, fəza yükləri sahəsində heteroqəçiddə

generasiya-rekombinasiya prosesləri üstünlük təşkil edir. VAX-ın düzxətli hissəsindən cərəyan kəsilməsinin gərginliyinin tapılan qiyməti $U_d=0,58$ V olmuşdur. Bu gərginlikdən yüksək qiymətlərdə VAX-ın düzxətli sahəsi $I = BU^m$ ifadəsi ilə səciyyələnir ki, burada B mütənəsiblik əmsalıdır. Dərəcə göstəricisi olan $m=1,6-1,8$ qiymətlərini alır. Belə asılılıq InTe nazik təbəqəsinin qadağan zonada lokal səviyyələrin eksponensial paylanmalı injeksiya cərəyanı fəza yüklərinin məhdudiyəti ilə əlaqədar ola bilər. Buna əsaslanaraq fərz edilir ki, n-TlInSe₂ təbəqəsindən əsas yükdaşıyıcıların birbaşa InTe təbəqəsinin lokal səviyyələrinə tunelləməsi və sonradan da valent zonasına termiki aktivləşməsi prosesi baş verir. Bu hadisə $U < U_d$ vəziyyətində reallaşır. U_d gərginliyindən yüksəkdə cərəyanın axması InTe təbəqəsindəki fəza yükləri ilə tənzimlənir. Əks istiqamətdə gərginliyin nisbətən aşağı hədlərində ($U \leq -1,5V$) yaradılan heteroqəçidin VAX-ı xətti qanuna tabe olur. Əks gərginliyin yüksək qiymətlərində isə zəif dəşilmə müşahidə olunur ki, bu da əks cərəyanın tunel mexanizminə uyğun dəyişməsinə göstərir. Buraxma istiqamətində VAX-ın xətti sahəsindən sıfır gərginlikdə təyin edilən doyma qaranlıq cərəyanı 10^{-6} A/sm² qiymətindən böyük olmur ki, bu da keçiricilik prosesində iştirak edən tarazlı dəşiklərin konsentrasiyasının çox da yüksək olmamasını göstərir. Yaradılan heteroqəçidin volt-farad asılılığına görə müəyyən edilmişdir ki, $U_d=0,75$ V-dur. Kontaktada olan komponentlərin ionlaşma potensialı və elektromənfiliklərinin qiymətləri nəzərə alınaraq, heteroqəçidin energetik diaqramı tərtib edilmişdir.

Sintez edilən və yüksək termoelektrik effektivliyinə malik olan bərk məhlul və yeni birləşmələrdən istifadə edilərək termoelektrik enerji çeviriciləri üçün termoelement konstruksiyaları hazırlanmış, onların əsas parametrləri tədqiq edilmişdir. Termoelementin p- və n-qollarının səmərəli kontaktda olması üçün öyrənilən hal diaqramlarından sadə evtektik tərkiblər seçilmiş, onların kommutasiya təbəqələri kimi istifadə edilməsi müəyyənləşdirilmişdir.

(Bi_{1,3}Sb_{0,7}Te₃)_{0,99}(InTe)_{0,01} tərkibinin yüksək termoelektrik effektivliyinə malik olmasından istifadə etməklə Peltje elementinin konstruksiyası hazırlanmış, onun istifadəsi ilə zəif siqnalların

gücləndirilməsi prinsiplərinin elmi əsasları işlənmişdir. Bu məqsədlə tərtib edilən elektrik sxemində termorezistor kimi istifadə olunan elementin $(\text{In}_2\text{Te}_3)_{0,95}(\text{Ni}_3\text{Te}_4)_{0,05}$ tərkibli ərintidən hazırlanması təklif edilmişdir. Təqdim edilən termoelement konstruksiyaları orta temperatur intervalında işləyən termogeneratorlar üçün nəzərdə tutulur. Eyni zamanda termoelektrik soyuducularında (həmçinin qızdırıcılarında) istifadə edilən materiallar da alınmışdır. Bunlar $\text{InTe-Bi}_{1,3}\text{Sb}_{0,7}\text{Te}_3$ sistemində aşkar edilən $(\text{Bi}_{1,3}\text{Sb}_{0,7}\text{Te}_3)_{1-x}(\text{InTe})_x$ bərk məhlul ərintiləridir. Təcrübi istifadə edilən Peltje elementinin p-qolunun $(\text{Bi}_{1,3}\text{Sb}_{0,7}\text{Te}_3)_{0,99}(\text{InTe})_{0,01}$ tərkibindən, n-qolunun isə $(\text{Bi}_2\text{Te}_3)_{0,99}(\text{TlInTe}_2)_{0,01}$ tərkibindən hazırlanması məsləhət görülür. Peltje elementinin qoşulduğu sxemə bir e.h.q. mənbəyi və bir yük müqaviməti də daxil edilmişdir. Elementdə ayrılan istilik $Q=\varepsilon W$ ifadəsi ilə xarakterizə oluna bilər ki, burada da ε soyuqluq (ε_S) və ya istilik (ε_0) əmsallarına uyğundur. Termoelementdə temperaturların fərqi çox böyük olmadıqda $\varepsilon=\varepsilon_S=\varepsilon_0$ olur. Ədəbiyyata əsasən ε kəmiyyəti üçün yazmaq olar:

$$\varepsilon = \frac{T}{\Delta T_m} f(Z), \quad (6.1)$$

burada, T – kobaltdan olan birləşdirici lövhənin temperaturu, ΔT_m – termoelementdə yaranan temperatur fərqi, Z – termoelektrik effektivlik əmsalındır. Əgər $\Delta T=1$ dərəcədirsə müasir termoelementlər üçün $f(Z)\approx 0,2$ qəbul edilir. (1) ifadəsinə əsasən $\varepsilon\approx 60$, yəni birləşdirici Co lövhəsində və onunla bərabər $R_{\text{yük}}$ müqavimətində ayrılan istiliyin miqdarı, sxemin girişinə verilən W gücündən 60 dəfə çox olacaqdır. Termorezistorun kifayət qədər böyük temperatur müqaviməti əmsalı (TMƏ) qiymətində sxemin çıxışındakı siqnal girişdəki siqnaldan çox-çox böyük olacaqdır. Termorezistorun temperaturunun dəyişməsi nəticəsində çıxış gərginliyinin ($U_{\text{çix}}$) dəyişməsinə belə göstərmək olar:

$$U_{\text{çix}} = \frac{ER}{(R_T+R)^2} \frac{dR_T}{dT} \Delta T_m. \quad (6.2)$$

Bu ifadədə ΔT_m -in qiymətini nəzərə alsaq, o zaman gərginliyə görə gücləndirmə əmsalını tapmaq olar:

$$\beta_m = \frac{\Delta U_{\text{çix}}}{\Delta U_{\text{gir}}} = \frac{1}{\alpha} \frac{ZT}{1+ZT} \frac{ER}{(R_T+R)^2} \frac{dR_T}{dT}. \quad (6.3)$$

Əgər, R_T termorezistorundakı ayrılan istilik nəzərə alınarsa, o zaman yaranan ΔT temperaturlar fərqi ΔT_m -dən ya kiçik, ya da böyük olacaq (bu termoelementin birləşmə yerində istiliyin ayrılması və yaxud, udulmasından asılıdır). Belə vəziyyətdə yazmaq olar ki:

$$\beta' = \beta_m \frac{\Delta T}{\Delta T_m}. \quad (6.4)$$

Bu ifadədən belə bir nəticəyə gəlmək olar ki, istiliyin ayrılması zamanı müsbət əks əlaqənin hesabına gücləndirmə əmsalının kifayət qədər böyüməsinə nail olunur, özü də müəyyən şərtlər daxilində burada generasiya əmələ gəlir. Gücə görə gücləndirmə əmsalını (γ) hesabladığımızda R_T termorezistorunda ayrılan istiliyi nəzərə almamaq olmaz. Fərz etmək olar ki, $W_{R_T} = W_R = W$ və rəqsi güc, yəni gücün kənara çıxmaları $\Delta W = \frac{1}{2} W$ olur. Burada ΔW termoelement üçün yük sayılır:

$$\Delta W = \alpha I T - \varkappa \Delta T. \quad (6.5)$$

$\alpha I T = \varkappa \Delta T_m$ olduğundan, yazmaq olar ki,

$$\begin{aligned} \Delta W &= \varkappa (\Delta T_m - \Delta T) \\ \gamma &= \frac{\Delta W_{\text{çix}}}{\Delta W_{\text{gir}}} = \frac{\varkappa (\Delta T_m - \Delta T)}{R_T I^2 + \alpha I \Delta T}. \end{aligned} \quad (6.6)$$

(6) ifadəsində $I = \frac{\varkappa}{\alpha T} \Delta T_m$ və $\frac{\Delta T}{\Delta T_m} = \theta$ ilə göstərsək, sadə çevrilmələr apararaq yazmaq olar ki,

$$\gamma = \frac{1}{2} \frac{T}{\Delta T_m} Z T \frac{1-\theta}{1+ZT\theta} \quad (6.7)$$

Yuxarıda göstərilən halda Peltie istiliyi ilə Coul istiliyi əks işarəyə malik idilər. Əgər bu istiliklər toplanarsa, $\Delta T > \Delta T_m$ olar. Yəni yazmaq olar:

$$\gamma = \frac{1}{2} \frac{T}{\Delta T_m} Z T \frac{\theta-1}{1+ZT\theta}. \quad (6.8)$$

(3) və (8) ifadələrinin təhlili göstərir ki, bu üsuldən istifadə etməklə gərginliyə və gücə görə 10^3 - 10^4 tərtibində güclənməyə nail olmaq olar. Bu prinsip əsasında az enerji sərfiyyatına malik olan düzləndiricilər, şüa çeviriciləri, generatorlar və digər siqnal çeviriciləri yaratmaq mümkündür.

$(\text{In}_2\text{Te}_3)_{0,97} (\text{MnTe}_2)_{0,03}$ tərkibli bərk məhluldan istifadə edərək nazik təbəqəli elektron çevirmə açarı işlənilərək, onun əsas fiziki xassələri və tətbiqi parametrləri müəyyənləşdirilmişdir.

Ni-SnO₂/p-(CuInS₂)_{0,99}(In₂Te₃)_{0,01}/n-TlInSe₂ quruluşlu günəş elementi hazırlanmış, onun tətbiqi parametrləri öyrənilmişdir. Bu məqsədlə (CuInS₂)_{0,99}(In₂Te₃)_{0,01} bərk məhlulunun və TlInSe₂ birləşmələrinin ayrı-ayrılıqda fotoelektrik xassələri tədqiq edilmiş, onların yüksək fətohəssaslığa malik fətovoltaik materiallar olduqları aşkar edilmişdir. Əvvəlcə günəş elementinin yarımkəçirici materiallarının bircins kristalları alınmış, sonra altlıq kimi götürülən K-208 tipli şüşə üzərində “isti divar” texnologiyası ilə onların nazik təbəqələri çökdürülmüşdür. (Qeyd etmək lazımdır ki, K-208 şüşəsi səthi SnO₂ şəffaf nazik keçirici təbəqə ilə örtülmüş təmiz tərkibli xüsusi şüşədir). Çökdürülən nazik təbəqələrin qalınlığı ~4-6 mkm tərtibində olmuşdur. Altlıq dairəvi olduğundan yaradılan nazik təbəqələr də dairəvi alınır və onların diametri şüşənin səthindəki SnO₂ təbəqəsinin diametrindən kiçik olur. SnO₂-nin yan tərəflərdən artıq qalan səthinə maska üsulu ilə omik kontakt olan nikel materialından qalın təbəqə yaradılmışdır. Belə nikel kontakt strukturunun üst səthində də formalaşdırılır. Günəş elementində yükdaşıyıcıları işıq kvantlarını udaraq həyəcanlanır və valent zonasından keçiricilik zonasına keçməyə başlayırlar. Yaranan elektron-deşik cütləri p-n keçidində mövcud olan potensial çəpərdəki elektrik sahəsinin təsirindən ayrılırlar və fətovoltaik prosesin baş verməsi üçün zəmin yaradırlar. Yaradılan günəş elementinin qaranlıqda və işıqda VAX-ları çəkilməmiş və məlum olmuşdur ki, xarakteristikanın əks qolu işıqlandırılmaya qarşı daha həssasdır. Hər iki VAX-ın əks qollarında xəttilik mövcuddur, lakin -30 mV gərginliyində əks qollarda zəif sınıma baş verir. Ölçmələrdən məlum olmuşdur ki, heterokeyçidin qısa qapanma fətoçərəyanı (I_{sc}) işıqlandırma intensivliyinin (E) dəyişməsindən aşağıdakı kimi asılıdır:

$$I_{sc} \sim E^m.$$

Məlum olmuşdur ki, bu asılılıq xətti olaraq artır və artmanın meylinə əsasən m kəmiyyətinin qiymətini hesablamaq olar. İşıqlandırmanın yüksək qiymətlərində m əmsalı vahiddən kiçik qiymətlər alır ki, bu da günəş elementinin işçi diapazonunun sərhədini hüdudlaşdırır. Bu məsələyə aydınlıq gətirmək məqsədilə qısa qapanma cərəyanının işıqlandırma intensivliyindən asılılığı tədqiq edilmişdir.

Bu asılılıqdan $V_{oc} = \frac{1}{A \ln\left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{s0}}\right)+1\right]}$ ifadəsindən istifadə etməklə günəş elementinin çıxış gücünü qiymətləndirmək olar. Burada $A = \frac{q}{nkT}$. Formuladakı n kəmiyyəti işıqlandırma zamanı ideallaşdırma faktoru sayılır və onun qiyməti $\ln I_{sc} \sim f(U_{oc})$ asılılığından hesablanmışdır. I_{sc} və U_{oc} kəmiyyətlərindən istifadə edərək günəş elementinin VAX-nın doldurma faktorunun $FF=0,44$ olduğu müəyyənəşdirilmişdir. Günəş elementinin açıq dövrə gərginliyi $U_{oc}=16,8$ mV, qısa qapanma cərəyanı $I_{sc}=0,88$ mA və digər parametrlərinin qiymətləri tapılmışdır. Elementin faydalı iş əmsalı $\eta \approx 6,5\%$ tərtibində olmuşdur.

Sintez edilən bərk məhlul ərintilərinin voltamper xarakteristikasının xüsusiyyətləri (onlarda çevirmə effektinin mövcudluğu) nəzərə alınaraq nazik təbəqəli elektron çevirmə açarları hazırlanmış, onların konstruksiyası tərtib edilərək, əsas parametrləri tədqiq edilmişdir.

NƏTİCƏLƏR

1. Differensial termik, mikrostruktur, rentgenofaza və xassə - tərkib analiz üsulları ilə $[\text{InTe}-(\text{Cr}_2\text{Te}_3, \text{CoTe}_2, \text{TlGaTe}_2, \text{TlInSe}_2, \text{TlBiTe}_2, \text{CuGaTe}_2, \text{Bi}_{1,3}\text{Sb}_{0,7}\text{Te}_3, \text{CuCr}_2\text{Te}_4, \text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4)]$ və $[\text{In}_2\text{Te}_3-(\text{MnTe}_2, \text{Ni}_3\text{Te}_4, \text{CuInSe}_2, \text{CuGaSe}_2, \text{Cd}_{0,9}\text{Zn}_{0,1}\text{Te}, \text{CuCr}_2\text{S}_4, \text{Cu}_2\text{Ga}_4\text{Te}_7, \text{Cu}_2\text{In}_4\text{Te}_7, \text{CuZn}_2\text{InTe}_4)]$, $(\text{CuTe}-\text{Cr}_2\text{Te}_3)$ sistemlərinin faza tarazlığı prosesləri aydınlaşdırılaraq, hal diaqramları qurularaq göstərilmişdir ki, bu sistemlərdə mürəkkəb tərkibli bərk məhlul sahələri, yeni üçlü və dördlü birləşmələr alınır. Bərk məhlul sahələrinin sərhədləri müəyyənəşdirilmiş, fiziki-kimyəvi, termodinamiki xassələri tədqiq edilərək onlarda kimyəvi rabitənin xarakteri aydınlaşdırılmışdır.
2. Müəyyən edilmişdir ki, In_2Te_3 birləşmə ilə olan sistemlərdə bu birləşməyə xas olan faza keçidləri müşahidə olunur, onlarda ikinci komponentlərin təsirindən faza keçidlərinin təbiəti həm evtektoid, həm də peritektoid çevirməli olur. Yeni InCr_2Te_4 birləşməsinin tərkibdəki elementlərinin elektron quruluşlarına əsaslanaraq diskriminant reqresion funksiyalar metodu ilə komputer proqnozlaşdırılması aparılmış, birləşmənin

mövcudluğu nəzəri olaraq da təsdiqlənmişdir.

Xüsusi texnoloji işləmələr nəticəsində $(\text{In}_2\text{Te}_3)_{1-x}(\text{Cu}_2\text{Ga}_4\text{Te}_7)_x$ ərintilərinin nanonaqıl şəkilli kristalları alınmış, onların froktal böyümə təsviri tədqiq edilmişdir.

3. In_2Te_3 əsasında aşkar edilən bəzi bərk məhlullarda kimyəvi rabitə zəifləməsi fonon istilikkeçiriciliyinin mikrobərklikdən asılılığına əsasən aydınlaşdırılmışdır. Sistemlərdə aşkar edilən həllolma sahələrinin eninin müqayisəli analizindən nəticəyə gəlinmişdir ki, indium telluridlərinə əlavə olunan ikinci komponentlərin tərkiblərində $\text{Cr} \rightarrow \text{Mn} \rightarrow \text{Ni}$ istiqamətində həllolma sahəsinin genişlənməsinin səbəbi xromun digər 3d-elementləri ilə müqayisədə daha stabil elektron quruluşuna malik olmasıdır.
4. $(\text{In}_2\text{Te}_3)_{1-x}(\text{MnTe}_2, \text{Ni}_3\text{Te}_4)_x$ bərk məhlullarda kinetik əmsalların temperatur asılılıqlarından müəyyən olunmuşdur ki, yükdaşıyıcıların səpilməsi aşağı temperaturlarda ionlaşmış aşqar atomlarından, yüksək temperaturlarda isə əsasən kristallik qəfəsin istilik rəqslərindən qaynaqlanır. $(\text{In}_2\text{Te}_3)_{1-x}(\text{MnTe}_2)_x$ bərk məhlullarında istiliyin daşınması coxfononlu mexanizm üzrə baş verir və yüksək temperaturlarda nümunələrdə əlavə fonon istilik müqaviməti yaranır. $(\text{In}_2\text{Te}_3)_{1-x}(\text{Ni}_3\text{Te}_4)_x$ ərintilərində isə istiliyin daşınması birfononlu mexanizm üzrə baş verir və əlavə qəfəs istilik müqaviməti yaranmır. Göstərilən ərintilərdə elektron-fonon səpilməsində baş verən mexanizm dəyişikliyi, ölçüsüz Nernst-Ettingshauzen əmsalının temperatur asılılığı ilə də təsdiqlənir.
5. $(\text{In}_2\text{Te}_3)_{1-x}(\text{Cd}_{0,9}\text{Zn}_{0,1}\text{Te})_x$ bərk məhlulların kinetik əmsallarının temperatur asılılıqlarına əsasən müəyyən edilmişdir ki, bu ərintilərdə müxtəlif temperatur intervallarında elektron və fonon səpilmə mexanizmləri mürəkkəb təbiətlidir. Tədqiq edilən bərk məhlulların boşluq tipli defektlərlə zəngin olan In_2Te_3 əsasında alındığından, bu materiallarda fonon səpilməsinin nöqtəvi defektlərdən də baş verməsi əsaslandırılmışdır. Yüksək temperaturlarda əlavə fonon istilik müqavimətinin yaranması ilə müşahidə olunan coxfononlu istilik səpilməsi mexanizminin üstünlük təşkil etdiyi müəyyənləşdirilmişdir.
6. InTe birləşməsində və $(\text{InTe})_{1-x}(\text{TlGaTe}_2)_x$ bərk məhlullarında istilik-fiziki və qalvanomaqnit parametrlərin temperatur

asilılıqlarından müəyyən edilmişdir ki, həm indium monotelluridində, həm də $(\text{InTe})_{1-x}(\text{TlGaTe}_2)_x$ bərk məhlullarında istiliyin daşınması aşağı temperatur birfononlu, yüksək temperaturlarda isə istiliyin daşınması elektronlar və eksitonlar üzrə baş verən mexanizmlə əlaqədardır.

7. $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ birləşməsinin InTe-un termoelektrik xassələrinə və elektron-fonon hadisələrinə təsirinin öyrənilməsinə əsasən Qrünayzen əmsalının qiyməti hesablanmış ($\gamma=2,7$) və belə bir nəticəyə gəlinmişdir ki, yüksək temperaturlarda fonon hadisələrindəki anharmoniklik dərəcəsi yüksək səviyyədədir. Aşkar edilmişdir ki, $(\text{InTe})_{0,98}(\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4)_{0,02}$ bərk məhlulu 800, K temperaturunda yüksək termoelektrik effektivliyinə ($Z=1,5 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$) malikdir. Həmçinin müəyyən edilmişdir ki, $(\text{Cr}_2\text{Te}_3)_{1-x}(\text{In}_2\text{Te}_3)_x$ və $(\text{CuCr}_2\text{Te}_4)_{0,99}(\text{InTe})_{0,01}$ bərk məhlulları praktiki əhəmiyyət kəsb edən yüksək termoelektrik effektivliyinə ($Z_{600\text{K}}=2,0 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$) malik materiallardır. $(\text{CuCr}_2\text{Te}_4)_{0,99}(\text{InTe})_{0,01}$ bərk məhlul yarımmetallıq keçiriciliyə ($\Delta E=0,32 \text{ eV}$) malikdir və onun kinetik əmsalının temperatur asılılıqlarında anomaliyalar müşahidə edilir. Ərintidə effektiv kütlə temperaturun yüksəlməsi ilə artır; ($m^*/m=0,26$ (160K) və $m^*/m = 1,17$ (700K) ki, bu da bərk məhlulun mürəkkəb zona quruluşuna malik olması ilə əlaqədardır. Aşkar edilmişdir ki, $(\text{CuCr}_2\text{Te}_4)_{0,99}(\text{InTe})_{0,01}$ tərkibli yüksək termoelektrik effektivliyinə ($Z_{700} = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$) malikdir və ondan orta temperaturlar intervalında işləyən termogeneratorların hazırlanmasında istifadə etmək olar.
8. Eksperimental tədqiqatlarda $(\text{Cu}_2\text{Ga}_4\text{Te}_7)_{1-x}(\text{In}_2\text{Te}_3)_x$ bərk məhlullarında elektron-fonon daşınması mexanizmləri aydınlaşdırılmış və göstərilmişdir ki, elektron səpilməsi hadisələrində ionlaşmış aşqar atomlarından və kristallıq qəfəsin istilik rəqslərindən baş verən səpilmələrlə yanaşı, polyarlaşmış optik rəqslərdən səpilmə mexanizmi də mövcuddur. Bu bərk məhlullunda istiliyin daşınmasındakı fonon səpilməsi “atılma”(U-prosesləri) mexanizmi üzrə baş verir.
9. Alınmış $\text{CuGa}_2\text{InTe}_5$ birləşməsinin kinetik əmsallarının temperatur asılılıqları tədqiqiqindən məlum olmuşdur ki, elektrik enerjisinin və istiliyin daşınması qarışıq təbiətlidir və yüksək temperaturlarda

bipolyar istilikkeçiriciliyi mexanizmi üstünlük təşkil edir, daşınma mexanizmlərinin müxtəlif təbiətli olmasının səbəbi $\text{CuGa}_2\text{InTe}_5$ birləşməsinin çoxkomponentliliyi və energetik zona quruluşunun mürəkkəb olmasıdır.

10. Termiki çökdürmə texnologiyasının “isti divar” variantı ilə n-InTe/p-TlGaTe₂ və p-InTe/n-TlInSe₂ struktur quruluşuna malik nazik təbəqəli heteroqəçidlər alınmış, onların fotoelektrik, volt-ampere və volt-farad xarakteristikaları tədqiq edilərək, göstərilmişdir ki, n-InTe/p-TlGaTe₂ heteroqəçidi yüksək fotokeçiriciliyə malikdir və ondan yaxın infraqırmızı dalğa uzunluqlarında həssas qeydiyyat cihazı kimi istifadə etmək olar. Göstərilmişdir ki, p-InTe/n-TlInSe₂ heteroqəçidində fəza yükləri sahəsində generasiya-rekombinasiya prosesləri üstünlük təşkil edir, heteroqəçidin kontakt sahələrindəki aktiv mərkəzlərin rekombinasiya təbiətliliyindən səpilmə təbiətliliyinə keçməsi prosesi baş verir.

(In₂Te₃)_{0,97}(MnTe₂)_{0,03} tərkibinin VAX-nın tədqiqindən aşkar edilən çevirmə effektivinə əsaslanaraq nazik təbəqəli elektron açarı hazırlanmış, onun siqnalı çevirmə müddəti, çevirmə potensialı, takt sahələrinin ölçüsü, aktiv təbəqənin həndəsi ölçüləri və digər təbii parametrləri hesablanmışdır.

11. Yüksək termoelektrik effektivliyinə malik olan bərk məhlul və yeni birləşmələrdən istifadə edilərək termoelektrik enerji çeviriciləri üçün termoelement konstruksiyaları hazırlanmış, onların əsas parametrləri və təbiiqolunma imkanları, tədqiq edilmiş, termoelementin p- və n-qollarının səmərəli kontaktda olması üçün öyrənilən sadə hal diaqramlarından ikili evtektik tərkiblərindən kommutasiya təbəqələri kimi istifadə olunması göstərilmişdir.

12. Yüksək termoelektrik effektivliyinə malik (Bi_{1,3}Sb_{0,7}Te₃)_{0,99}(InTe)_{0,01} bərk məhluldan istifadə etməklə termoelementinin konstruksiyası hazırlanmış, onun istifadəsi ilə zəif siqnalların gücləndirilməsi prinsiplərinin elmi əsasları işlənmişdir. Bu məqsədlə tərtib edilən elektrik sxemində termorezistor kimi istifadə olunan elementin (In₂Te₃)_{0,95}(Ni₃Te₄)_{0,05} bərk məhluldan hazırlanması tövsiyə edilmişdir.

13. Ni-SnO₂/p-(CuInSe₂)_{0,99}(In₂Te₃)_{0,01}/n-TlInSe₂/Ni quruluşlu günəş

batareyasının aktiv elementinin konstruksiyası və onun ekvivalent elektrik sxemi, həmçinin energetik diaqramı tərtib edilmişdir. Aktiv elementin işıqda və qaranlıqda VAX-ları, qısa qapanma cərəyanı, açıq dövrə gərginliyinin işıqlandırma intensivliyindən asılılıqları tədqiq edilmiş və çıxış gücünün $P_0 = I_{SC} \cdot U_{OC} = 14,784 \text{ mWt}$, VAX-nın doldurma əmsalının $FF=0,44$, f.i.ə.-nin $\eta \approx 6,5 \%$, qısa qapanma cərəyanının $I_{q.q.}=0,88 \text{ mA}$ və açıq dövrə gərginliyinin $U_{a.d.}=16,8 \text{ mV}$ qiymətlərində olduğu aşkar edilmişdir.

Dissertasiya mövzusunə aid çap edilmiş elmi nəşrlərin siyahısı

1. Abilov, Ch.I., Eyvazov, E.A., Zeinalov, S.A., Gasanova M.Sh. Phase diagram of $\text{In}_2\text{Te}_3\text{-Cr}_2\text{Te}_3$ // Journal of Alloys and Compounds (Germany), 1998, v. 280, issue 209, pp. 4418-4419.
2. Искендерзаде, З.А., Абилов, Ч.И., Гасанова, М.Ш. Электрические свойства и переключение в кристаллах на основе твердых растворов $\text{In}_{2-x}\text{Fe}_{3x}\text{Te}$ // Труды седьмой \международнойнаучно-технической конференции \“Актуальные проблемы твердотельной электроники и МЭ”-Россия: Таганрог, ТГРУ: - 2000. 17-22 сентября - с. 129-131
3. Абилов, Ч.А., Исмаилов, Ш.С., Гасанова, М.Ш. Особенности теплофизических свойств твердого раствора $(\text{In}_2\text{Te}_3)_{0,95}(\text{MnTe}_2)_{0,05}$ / Материалы Международной конференции “Физика -2005”, Баку, 2005, Элм, № 48, с. 191-192.
4. Агдамская, С.Г., Абилов, Ч.А., Мухтарова, З.М., Гасанова М.Ш. Физико-химические и термоэлектрические свойства сплавов $(\text{Cr}_2\text{Te}_3)_{1-x}(\text{In}_2\text{Te}_3)_x$ / Азерб. журнал “Проблемы химии”, 2005, №3, с.89-91.
5. Гасанова, М.Ш., Ахмедова, Дж.А., Абилов, Ч.И., Аждарова Д.С. Фазовая диаграмма системы $\text{In}_2\text{Te}_3\text{-MnTe}_2$ // Известия ВУЗов России, Научно-технический журнал “Химия и химическая технология”, Иваново (Россия), 2005, том 48, вып.1, с. 134-135.

6. Abilov, Ch., Gasanova, M. Characteristics of chemical bond in solid solutions of $(\text{In}_2\text{Te}_3)_{1-x}(\text{Cr}_3\text{Te}_4, \text{Co}_3\text{Te}_4)_x$ / XIX Ulusal kimya kongresinin məruzələr toplusu. Türkiyə, İzmir, Kuşadası, 2005, TÜBİTAK yayımı, s. 281.
7. Həsənova, M.Ş., Əbilov, Ç.İ. “ $(\text{In}_2\text{Te}_3)_{1-x}(\text{MnTe}_2)_x$ kristallarında defekt əmələgəlməsinin tədqiqi” / AzTU-nun professor-müəllim heyətinin 53-cü elmi-texniki konfrasının materialları. Bakı, 2006, Tİ-MEDIA, s. 40-41.
8. Həsənova, M.Ş. $(\text{CuInSe}_2)_{0,99}(\text{In}_2\text{Te}_3)_{0,01}$ bərk məhlul ərintisinin bəzi elektrofiziki xassələri // Bakı Universitetinin xəbərləri, Fizika-riyaziyyat elmlər seriyası, Bakı, 2007, № 2, s. 171-174.
9. Həsənova, M.Ş., Əbilov, Ç.İ. $\text{CuInSe}_2\text{-In}_2\text{Te}_3$ sisteminin faz diaqramı / Türkiyənin 2-ci Ulusal Kimya kongresinin materialları, Türkiyə, Malatya, 2007, s. 25.
10. Гасанова, М.Ш. Фазовое равновесие в системе $\text{In}_2\text{Te}_3\text{-Cu}_2\text{In}_4\text{Te}_7$ // AzTU-nun “Elmi əsərlər” VII Fundamental elmlər, 2008, № 4, s. 8-10.
11. Həsənova, M.Ş. $\text{In}_2\text{Te}_3\text{-CuGaSe}_2$ sisteminin hal diaqramı // Azərb. Kimya problemləri jurnalı, Bakı, 2009, № 2, s. 334-336.
12. Həsənova, M.Ş. Günəş batareyaları üçün yarımkeçirici materialların alınma texnologiyası tədqiqatları nəticələrinin tədris prosesində istifadəsi / AzTU-nin professor-müəllim heyətinin və aspirantların 54-cü elmi-texniki və tədris-metodiki konfransının materialları. Bakı, 2009, AzTU- nun mətbəəsi, I hissə, s.106-107.
13. Гасанова, М.Ш. Система $\text{CuInSe}_2\text{-In}_2\text{Te}_3$ // Изв. РАН, Неорганические материалы, Москва, 2009, том 45, № 9, с. 918-920.
14. Həsənova, M.Ş., Əbilov, Ç.İ. $\text{In}_2\text{Te}_3\text{-Cd}_{0,90}\text{Zn}_{0,10}\text{Te}$ sisteminin faz diaqramı / Türkiyənin 24- cü Ulusal kimya kongresinin materialları. Türkiyə, Zonquldak, 2010, s.130.
15. Əbilov, Ç.İ., Həsənova, M.Ş., Zeynalov, S.A $(\text{InTe})_{1-x}(\text{TlGaTe}_2)_x$ bərk məhlul kristallarında defektlərin təbiəti / “Fizikanın müasir problemləri” IV resp. konf. materialları. Bakı, 2010, BDU-nun mətbəəsi, s. 222-223.

16. Гасанова, М.Ш., Абилов, Ч.А. Физико-химические и некоторые электрофизические свойства сплавов системы InTe-TlGaTe₂/Матер. VI межд. симпозиума ЮУрГУ “Фундаментальные и прикладные проблемы науки”, 13-15 сентября 2011 года, Непряхино, Челябинской обл. Том 1, с. 46-51.
17. Gasanova, M., Abilov, Ch. InTe-TlGaTe₂ sistemi alışımlerinin fiziki-kimyasal özellikləri / Türkiyənin 25-cı Uluslararası kimya kongresinin məruzələr kitabı. Türkiyə, Ərzurum Atatürk Universiteti, 2011, s. 110.
18. Gasanova, M., Abilov, Ch., Seyidov, M. InTe-CuGaTe₂ sistemi alışımlerinin fiziko-kimyasal Özellikləri / 26-cı Uluslararası kimya kongresinin materialları, Türkiyə, Mugla, Fateh Üniversitesi, 2012, IP –TR-133, s. 298.
19. Əbilov, Ç.İ., Həsənova, M.Ş. InTe-CuGaTe₂ sisteminin hal diaqramı / H. Əliyevin 90 illik yubileyinə həsr edilən “Metallurgiya və Materialşünaslığın problemləri” Beynəlxalq konfransının materialları, AzTU-nun Elmi Əsərləri, Bakı, 2013, AzTU-nun mətbəəsi, s. 130-133.
20. Həsənova, M.Ş., Əbilov, Ç.İ. Физико-химическое исследование системы In₂Te₃-Cd_{0,9}Zn_{0,1}Te // Azərbaycan kimya jurnalı, 2013, № 1, s. 64-67, (ISSN 005-6645).
21. Həsənova, M.Ş. n-InTe/p-TlGaTe₂ quruluşlu heteroqəçid / Материалы седьмой Международной научно-технической конференции “Микроэлектронные преобразователи и приборы на их основе” (МЭПП). Баку, Сумгаит, 2013, s. 33-34.
22. Абилов, Ч.И., Мамедов, А.Н., Гасанова, М.Ш., Гулиева, С.А. Фазообразование в системе InTe-TlGaTe₂ / Сборник материалов Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 85-летию со дня рождения В.А. Кухтина. “Современные проблемы химической науки и фармации”. Россия, Чебоксары, 2014, типогр. ЧГУ, с. 12.
23. Гасанова, М.Ш., Искендерзаде, З.А., Абилов, Ч.И. Разработка электронного переключателя сигналов

- биомедицинских аппаратов на основе структуры p-InTe/n-CuGaTe₂ / Сборник докладов XI Международного конгресса «Кардиостим». Санкт-Петербург, 2014, с. 246.
24. Abilov, Ch.I., Gasanova, M. Sh, Guseinova, N.T. Elaboration of solid state structure n- In₂Te₃/p-Cu₂Ga₄Te₇ / Book of abstracts Turkish Physical Society 31st International Physics Congress. Turkey, Bodrum, 21-24 July 2014, p. 339.
 25. Гасанова, М.Ш. Природа фазообразования в системе In₂Te₃-Cu₂Ga₄Te₇ / Материалы VIII Международной научной конференции "Кинетика и механизм кристаллизации. Кристаллизация как форма самоорганизации вещества", Россия, Иваново, 2014, с. 187.
 26. Abilov, Ch.I., Kuliyeu, A.F., Hasanova, M.Sh. Phase equilibration and some electrophysical properties in the CuCr₂S₄-In system // Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST). Berlin, 2015, Vol. 2, Issue 3, pp. 267-270.
 27. Гасанова, М.Ш. Теплофизические свойства соединения CuGa₂InTe // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. Россия, Курск, 2015, №2, (104), с. 105-108.
 28. Abilov, Ch.I., Gasanova, M.Sh. Creation of heteropassage p-InTe/n-TlInSe₂ and exposing the character of interaction between its constituent components / The 11th International Conference on "Technical and Physical Problems of Electrical Engineering" (ICTPE-2015). Romania, Bucharest, 2015, pp. 224-227.
 29. Abilov, Ch.I., Hasanova, M.Sh., Huseynova, N.T., Zeynalov S.A. Thermal and galvanomagnetik properties of CuInGa₂Te₅ monocrystals / Book of abstract 9th International physical conference of the Balkan Physical Union. Turkey, Istanbul, 2015, p. 429.
 30. Hasanova, M.Sh., Abilov, Ch.I., Guseinova, N.T. InTe-Cu₂ZnSnS₄ sisteminde alışımlerin fiziko-kimyasal ve termoelektrik karakteristiklerinin özellikleri / Türkiyenin 27-ci Ulusal kimya kongresinin materialları. Türkiyə, Çanaqqala, 2015, s. 632.

31. Gasanova, M.Sh., Abilov, Ch.I. The character of phase formation in the In_2Te_3 - $\text{Cu}_2\text{Ga}_4\text{Te}_7$ system and some electrophysical properties in the solid solutions $(\text{Cu}_2\text{Ga}_4\text{Te}_7)_{1-x}(\text{In}_2\text{Te}_3)_x$ // International Journal of Engineering Innovation and Research (IJEIR), 2015, Vol. 4, Issue 6, pp. 884-887.
32. Abilov, Ch.I., Hasanova, M.Sh., Huseynova, N.T., Zeynalov S.A. Thermal and galvanomagnetik properties of $\text{CuInGa}_2\text{Te}_5$ monocrystals // J. American Institute of Physics, 2016, Vol. 1772, pp. 220011-220014.
33. Hasanova, M.Sh., Abilov, Ch.I., Huseynova, N.T. Specificities of phase equilibrium in the In_2Te_3 - CuCr_2S_4 system / Book of abstract the 28th National Chemistry Congress. Turkey, Mersin, 2016, p.123.
34. Hasanova, M.Sh., Abilov, Ch.I. The Features of the Physico-chemical and Thermoelectrical Properties of the $\text{InTe-Cu}_2\text{ZnSnS}_2$ System Alloys // The International Journal of Engineering and Science (IJES), 2016, Vol. 5, Issue 10, pp. 08-12.
35. Həsənova, M.Ş., Əbilov, Ç.İ. İndium monotelluridi və $(\text{InTe})_{1-x}(\text{TlGaTe}_2)_x$ bərk məhlul kristallarında elektron və fonon səpilməsinin təbiəti // Azərbaycan Fizika jurnalı, Bakı, 2016, cild XXII, №4, s. 7-9.
36. Həsənova, M.Ş., Əbilov, Ç.İ. $\text{CuTe-Cr}_2\text{Te}_3$ intermetallik sisteminin hal diaqramı və $(\text{Cr}_2\text{Te}_3)_{1-x}(\text{CuTe})_x$ bərk məhlul ərintilərinin termoelektrik xassələri / “Metallar fizikasının müasir problemləri” beynəlxalq elmi-praktiki konfransının materialları. Bakı, 2016, s. 168-170.
37. Hasanova, M.Sh., Abilov, Ch.I. The effect of many-component compound $\text{CuZn}_2\text{InTe}_4$ on the physico-chemical and thermophysical properties of In_2Te_3 // International Journal of Scientific Engineering and Applied Science (IJSEAS), 2017, Vol. 3, Issue 3, pp. 145-155.
38. Исмаилов, Н.Д., Абилов, Ч.И., Гасанова, М.Ш. О фотопроводимости TlInSe_2 // Физика и техника полупроводников, Россия, 2017, том 51, вып. 5, с. 663-666.
39. Abilov, Ch.I., Gasanova, M.Sh. The Thermoelectric Properties of Solid solutions $(\text{InTe})_{1-x}(\text{CrTe}_3)_x$ / Turkish

- Physical Society International 33rd Physics Congress. Turkey, Bodrum, 2017, p. 656.
40. Abilov, C., Hasanova, M. Yarıiletken InTe-TlBiTe₂ sisteminde fiziko-kimyasal karşılıklı etkinin karakteri / 29. Ulusal kimya kongresinin bildiri özetler kitabı. Türkiye, Ankara, ODTÜ KKM, 2017, s. 477.
 41. Абилов, Ч.И., Гасанова, М.Ш. Некоторые электрофизические свойства твердых растворов $(\text{In}_2\text{Te}_3)_{1-x}\text{Cd}_{0,9}\text{Zn}_{0,1}\text{Te}_x$ / XIII Российская конференция по физике полупроводников. Россия, Екатеринбург, 2017, с. 41.
 42. Abilov, Ch.I., Kuliyeu, A.F., Gasanova, M.Sh., Gasimova E.K. The Features of Thermomagnetic Properties of Solid Solutions $\text{Cu}_{1-x}\text{In}_x\text{Cr}_2\text{S}_4$ // International Journal of Scientific Engineering and Applied Science (IJSEAS), Vol. 3, Issue 11, 2017, pp. 54-57.
 43. Abilov, Ch.I., Gasanova, M.Sh. The Thermoelectric Properties of Solid solutions $(\text{InTe})_{1-x}(\text{CrTe}_3)_x$ // Journal of AIP (American Institute of Physics), 2018, Vol.1935, № 1, p. 150005-1 -150005-5.
 44. Həsənova, M.Ş. InTe-TlBiTe₂ sistemində bərk məhlullar və onların bəzi elektrofiziki xassələri // Azərbaycan Respublikası Silahlı Qüvvələrinin Hərbi Akademiyasının “Milli təhlükəsizlik və Hərbi elmlər” jurnalı. 2018, cild 4, № 1, s. 47-50.
 45. Абилов, Ч.И., Гасанова М.Ш. Характер физико-химического взаимодействия в полупроводниковой системе InTe-TlBiTe₂ // Научно-технический журнал “Ученые записки АзТУ”, 2018, № 1, s. 17-20.
 46. Abilov, Ch.I., Hasanova, M.Sh., Mamedov A., Huseynova N.T. Some of the thermodynamic functions of InCr_2Te_4 compound / THERMAM 2018-10-18 7th Rostocker International conference “Thermophysical properties for technical thermodynamics”. Germany, Rostock, 26-27 July 2018, s. 58.
 47. Abilov, Ch.I., Gasanova, M.Sh., Gasimova E.K. Physicochemical and some electrophysical properties of $\text{In}_2\text{Te}_3\text{-Ni}_3\text{Te}_4$ system alloys // International Journal on

- “Technical and Physical Problems of Engineering” (IJTPE), 2018, Vol. 10, № 3, pp. 39-43.
48. Əbilov, Ç.İ., Həsənova, M.Ş. $(\text{CuCr}_2\text{Te}_4)_{0,99}(\text{InTe})_{0,01}$ bərk məhlulunda kinetik əmsalların xüsusiyyətləri // Azərbaycan Fizika jurnalı , Bakı, 2019, Vol. XXV, № 2, s. 14-17.
 49. Hasanova M.Sh., Abilov, Ch.I., Huseynova, N. T. Features of thermal conductivity and thermomagnetic effects of solid solutions $(\text{In}_2\text{Te}_3)_{1-x}(\text{Cd}_{0,9}\text{Zn}_{0,1}\text{Te})$ // Turkish Physical society 35th International Physical Congress (TPS-35) Turkey, Bodrum, 2019, p. 340.
 50. Abilov, C., Hasanova, M., Huseynova, N. InTe-CoTe₂ sisteminde fiziko-kimyasa karşılıklı etkinin ve alışımaların termodinamik fonksiyonlarının özellikleri//31. Ulusal kimya kongresi,10-13 Eylül 2017, Turkey, İstanbul, Yıldız Teknik Üniversitesi, s. 244.
 51. Abilov, Ch.I., Hasanova, M.Sh., Huseynova, N.T. Physico-chemical properties and thermodynamic functions of alloys of the system // Materials Chemistry and Physics, Vol. 241, 2020, pp.122341-122345.[https://doi.org/10.1016/j. matchemphys.2019.122341](https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2019.122341)
 52. Hasanova, M.Sh., Abilov, Ch.I, Gasimova, E.K.. Some thermophysical properties of $(\text{In}_2\text{Te}_3)_{1-x}(\text{Cd}_{0,9}\text{Zn}_{0,1}\text{Te})_x$ solid solutions // Journal of Applied Physics, American Institute of Physics, United States 2020. Vol.127, Simvol-1931, - p 125114 -1-125114-3 . <https://doi.org/10.1063/1.5140478>
 53. Əbilov, Ç.İ., Həsənova, M.Ş. p- $(\text{CuInSe}_2)_{0,99}(\text{In}_2\text{Te}_3)_{0,01}/\text{n-TlInSe}_2$ hetrokeçid quruluşlu günəş elementi və onun parametrləri // Bakı:- Enerjetikanın problemləri, elmi-texniki jurnal , Elm,-2020. -№1,- s.65- 69
 54. Abilov, Ch.I., Kasumova, Elmira., Huseynova, N.T., Thermodynamics functions of the $\text{CuGa}_2\text{InTe}_5$ compound// 10th Rostocker International conference: “Technical Thermodynamics: Thermophysical properties and energy systems” Germany, Rostock, September 9-10, 2021, p.108
 55. Cingiz ,Abilov, Mehriban Hasanova, Elmira Gasımova, Nigar Huseynova $(\text{Ni}_3\text{Te}_4)_{0,99}(\text{In}_2\text{T}_3)_{0,01}$ kristalinde ısı deverilmesi

- mekanizması // Uluslararası katılımlı 23.151 bilimi və təknigi kongresinin bildiri Bildiri kitabı ULIBTK Türkiyə , Gaziantep /, 08-10 Eylül / September 2021, s.1774-1776
56. Həsənova, M.Ş. Tərkibində indium telluridləri olan bəzi ərintilərin termodinamik parametrlərinin hesablanması // AzTU-nun Elmi əsərləri, 2021, № 1, s. 43-47
57. Əbilov, C.İ., Həsənova, M.Ş. Termoelektrik enerji çeviricisi elementi materialı olan InCr_2Te_4 yarımkəçirici birləşmənin əmələ gəlməsinin təyin edilməsi üsulları //Energetikni problemlər telmi-texniki jurnal-Bakı Elm. 2022.№1, s.68- 73
58. Ч.И. Абилов, М.Ш. Гасанова, Н.Т. Гусейнова, Э.К. Касумова., Термоэлектрические свойства твердых растворов $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{In}_2\text{Te}_3)_x$ // Физика и техника полупроводников, Санкт- Петербург. 2022. том.56, №1,с. 38-41
59. Əbilov, Ç.İ.,Həsənova, M.Ş., Qasımova, E.K. In_2Te_3 və InTe əsasında bərk məhlul tərkiblərində kimyəvi əlaqənin təbiəti // Ümumi Lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 99-ci ildönümünə həsr edilmiş” Müasir təbiət və iqtisad elmlərinin aktual problemləri” beynəlxalq elmi konfransın materialları. Gəncə, 9-10 iyun 2022, cild IV, s.104

Dissertasiyanın müdafiəsi 12 oktyabr 2022 -ci il tarixində saat 1700 Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Fizika İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən ED 1.14 Dissertasiya Şurasının iclasında keçiriləcək.

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

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

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

Avtoreferat 08 Sentyabr 2022-ci il tarixindən zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb:
Kağız formatı: A5
Həcm:72806
Tiraj 100