

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

TlInTe₂ BİRLƏŞMƏSİNDƏ AŞQARLANMANIN YARATDIĞI NÖQTƏVİ DEFEKT LƏRİN KRİSTALIN RADİASİYA DAVAMLILIĞINA TƏSİRİ

İxtissas: 2225.01 - Radiasiya materialşünaslığı

Elmi sahəsi: Fizika

İddiaçı: **Kəmalə Həzrətqulu qızı Xəlilova**

Fizika üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün
təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı–2024

İş Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Fizika İnstitutu
və Radiasiya Problemləri İnstitutunda yerinə yetirilmişdir

Elmi rəhbərlər: Fizika–riyaziyyat elmləri doktoru, professor
Rəhim Səlim oğlu Mədətov

Kimya elmlər doktoru, dosent
Arzu İslam oğlu Nəcəfov

Rəsmi opponentlər: fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor
Namiq Abduləvvəl oğlu Əhmədov

fizika elmləri doktoru, professor
Cahangir İslam oğlu Hüseynov

fizika elmləri doktoru, dosent
Mətləb Nəbi oğlu Mirzəyev

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya
Komissiyasının Elm və Təhsil Nazirliyinin Radiasiya Problemləri
İnstitutu nəzdində fəaliyyət göstərən FD–1.21 sayılı Dissertasiya
Şurası

Dissertasiya Şurasının sədri:

AMEA–nın müxbir üzvü,
Fizika–riyaziyyat elmləri doktoru,
professor
Oqtay Əbil oğlu Səmədov

Dissertasiya Şurasının
elmi katibi:

Fizika üzrə fəlsəfə doktoru,
dosent
Günəl Tələt qızı İmanova

Elmi seminarın sədri:

Fizika elmlər doktoru, dosent
Fərid İbrahim oğlu Əhmədov

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Yarımkəçirici birləşmələrdə fiziki proseslərin kompleks şəkildə tədqiqi və bu proseslərə ionlaşdırıcı şüaların təsirinin tədqiqi həmişə elmi praktiki əhəmiyyət kəsb etməklə, tədqiqatçıların xüsusi diqqətinə səbəb olmuşdur.

Bu səbəbdən yeni materialların alınması və onların fiziki xassələrinin məqsədyönlü idarə edilməsi, xarici təsirlərə və ionlaşdırıcı şüalara qarşı davamlılığın artırılma üsullarının işlənilməsi elmi tədqiqat sahəsində aktual olaraq qalır. Təqdim edilən dissertasiya işinin mövzusu qeyd olunan elmi məsələlərin həllinə yönəldiyindən elmi və paraktiki cəhətdən aktualdır.

Dissertasiya işində tədqiqat obyektini olaraq laylı–zəncirvari quruluşa malik $\text{TlA}^{\text{III}}\text{C}^{\text{VI}}_2(\text{A}=\text{Ga,In}; \text{C}=\text{S, Se, Te})$ birləşməsinin perspektiv nümayəndəsi olan TlGaTe_2 və TlInTe_2 kristalları götürülmüşdür. Qeyd olunan xüsusiyyətləri özündə birləşdirən materiallardan biri də TlInTe_2 birləşməsidir. TlInTe_2 kristalı TlSe quruluş tipində (I4/mcm) kristallaşır və aşağıda göstərilən qəfəs parametrlərinə malikdir: $a=8,494 \text{ \AA}$; $c=7,181 \text{ \AA}$; $c/a=0,845$; $Z=4$; $d=7,36 \text{ q/sm}^3$. TlInTe_2 kristalında kimyəvi əlaqə ion–kovalent xarakterlidir. Bu sinif yarımkəçirici birləşmələrin elektrik, fotoelektrik, optik və s. xassələrinin tədqiqi nəticəsində çoxlu sayda maraqlı xüsusiyyətlər aşkar edilmişdir. Göstərilir ki, qeyd olunan xüsusiyyətlər kristalın quruluşundan, tərkib komponentləri arasında mövcud olan kimyəvi rabitənin növündən və kristallik qəfəsin nizamsızlıq dərəcəsindən (ionların dayanıqlılığından) asılıdır.

Yarımkəçirici monokristallar, (o cümlədən zəncirvari quruluşa malik kristallara xas olan xüsusiyyətlərdən biri də keçiriciliyin anizotropiyasıdır) içərisində müxtəlif kristalloqrafik istiqamətlərdə anizotrop xassələrə malik olan zəncirvari quruluşlu maddələr xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Kristallarda müşahidə olunan bu xüsusiyyət defektlərin kristal qəfəsdə paylanmasına, yeni tipli çeviricilərin, yaddaş elementlərinin və tunel diodlarının hazırlanmasına imkan verə bilər.

Bu tip yarımkeçirici birləşmələrin alınması və onlar əsasında yeni funksiyalı yarımkeçirici cihazların yaradılması praktiki cəhətdən əhəmiyyətli olsa da, qadağan olunmuş zonada defektlərin nizamız paylanması kristalın parametrlərini məqsədyönlü idarə etməyə imkan vermir. Qeyd olunan xüsusiyyəti praktiki cəhətdən həll etmək məqsədi ilə $TlGaTe_2$, $TlInTe_2$ kristallarına müxtəlif təbii və ion radiuslu aşqar atomlarının oktaedrik boşluqda yerləşdirilməsi məqsədi ilə xüsusi texnoloji rejim hazırlanmışdır. Qeyd olunan üsulun tətbiqi alınan kristalların elektrofiziki xassələrinin idarə edilməsinə və onların ionlaşdırıcı şüalara qarşı davamlılığının artırılmasına imkan yarada bilər.

Tədqiqatın məqsədi: Aşqar atomların (Te, Bi, Si) və γ -kvantların $TlGaTe_2$, $TlInTe_2$ birləşmələrində yaratdığı nöqtəvi defektlərin kristalın quruluş xüsusiyyətlərinə, cərəyanın keçmə mexanizminə, radiasiya davamlılığına təsir mexanizminin müəyyən edilməsi və praktiki təkliflərin araşdırılmasıdır.

Dissertasiya işində qarşıya qoyulmuş məqsədə uyğun olaraq, aşağıdakı məsələlər həll edilmişdir:

– müvafiq texnoloji rejim seçməklə $TlGaTe_2$, $TlInTe_2$ birləşmələrinin sintezi və monokristalların yetişdirilməsi;

– $TlGaTe_2$, $TlInTe_2$ birləşmələrində Te, Bi, Si aşqarlarının həllolma oblastının müəyyən edilməsi və $TlGaTe_2$ –Te, $TlInTe_2$ –Te, $TlInTe_2$ –Bi, $TlInTe_2$ –Si sistemlərinin faza diaqramlarının qurulması;

– $TlInTe_2$ kristalının elektrik keçiriciliyinə aşqar atomlarının (Te, Bi, Si) təsirinin tədqiqi;

– $TlInTe_2$ kristalının Volt–Amper xarakteristikasına aşqar atomlarının (Te, Bi, Si) təsirinin tədqiqi;

– Qamma şüaların Te, Bi və Si atomları ilə aşqarlanmış $TlInTe_2$ kristalının elektrik keçiriciliyinə təsirinin tədqiqi;

– Qamma şüaların Te, Bi və Si atomları ilə aşqarlanmış $TlInTe_2$ kristalının Volt–Amper xarakteristikasına təsirinin tədqiqi;

– $TlInTe_2$ kristalında keçiriciliyin anizotropiyasına aşqar atomlarının (Te, Bi, Si) və qamma–kvantların təsirinin tədqiqi;

Tədqiqat obyektı və metodları:

DTA HTP–75 aşağı tezlikli termoqrafik qurğusunda 293–1100 K temperatur diapazonunda tədqiq edilmişdir, proses dövründə qızma

və soyutma əyriləri qeydə alınmışdır. Temperaturun ölçülməsində xəta ± 1 K–dən çox olmamışdır.

Kiçik istilik effektlərini qeyd etmək üçün $\pm 2\%$ kalorimetrik dəqiqliyə malik “Perkin Elmer STA 6000” markalı termik analiz qurğusundan istifadə edilmişdir. Təcrübələr arqon atmosferində 293–600 K temperatur intervalında aparılmışdır.

Sistemin ərintilərinin rentgenfaza analizi vakuumda homogenləşdirici dəmləmədən sonra üyüdülmüş tozlarda aparılmışdır. Tədqiq olunan ərintilərin difraksiya nümunələri XRD D8 ADVANCE qurğusunda Cu–K $_{\alpha}$ şüalanmasından istifadə etməklə $4^{\circ} < \theta < 35^{\circ}$ bucaq diapazonunda sabit çəkiliş rejimində ($I=40$ mA, $V=40$ kV) tədqiq edilmişdir. Bərk məhlulların qəfəs parametrlərinin qiymətlərinin temperatur asılılığı XRD D8 ADVANCE qurğusunun yüksək temperatur kamerasından istifadə etməklə 300–900 K temperatur diapazonunda tədqiq edilmişdir. Qurğuda parametrlərin müəyyən edilməsi zamanı xəta $\pm 0,001$ Å təşkil etmişdir.

Xəlitələrin mikrostruktur analizi 150–300 $^{\circ}$ dəfə böyümə ilə MMP–4 metalloqrafik mikroskopundan istifadə edərək həyata keçirilmişdir. Analiz zamanı cilalanmış nümunələrin səthini aşındırmaq məqsədi ilə durulaşdırılmış K $_2$ Cr $_2$ O $_7$ +H $_2$ SO $_4$ qarışığı istifadə edilmişdir və aşındırma müddəti 1–2 dəqiqə olmuşdur.

Tədqiq olunan nümunələrin xüsusi çəkisi piknometrik üsulla ölçülmüşdür. Bunun üçün həcmi 5,0 sm 3 olan piknometrlərdən istifadə edilmişdir. Doldurucu kimi „чда“ markalı toluol götürülmüşdür.

Monokristal nümunələrin elektrikkeçiriciliyi 100–600 K temperatur diapazonunda 100 kHz tezlikdə tədqiq edilmişdir. Tədqiqatlar E7–25 rəqəmsal immitans ölçmə cihazı ilə iki (001;110) kristalloqrafik istiqamətdə aparılmışdır. Nümunələrə elektrik kontaktları gümüş pastasının köməyi ilə çəkilmişdir.

Kristallara tətbiq olunan elektrik sahəsinin intensivliyi Volt–Amper xarakteristikasının omik bölgəsinə uyğun götürülmüşdür və gərginlik 1 V–dan çox olmamışdır. TlGaTe $_2$, TlInTe $_2$, TlInTe $_2$ –(Te, Bi, Si) bərk məhlullarının VA xarakteristikaları və elektrikkeçiriciliyi 100–300 K temperatur intervalında tədqiq edilmişdir. Nümunələr γ –

kvantlarla ^{60}Co –mənbəsindən 0,01–5 MQR şüalanma dozalarında şüalandırılmışdır.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar:

1. $\text{TlInTe}_2\text{–Te}$, $\text{TlInTe}_2\text{–Bi}$, $\text{TlInTe}_2\text{–Si}$ sistemlərinin faza diaqramları qurulmuş, TlInTe_2 kristalında Te, Bi və Si aşqarlarının həllolma oblastları müəyyən edilmiş və alınmış bərk məhlulların parametrləri hesablanmışdır.

2. Te, Bi və Si–la aşqarlanmış TlInTe_2 monokristal nümunələrin (110) və (001) kristalloqrafik istiqamətlərdə 300–600 K temperatur diapazonunda elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılıqlarında $\sigma(T)$ ion keçiriciliyi müşahidə edilmişdir.

3. 0,01–5 MQR şüalanma dozalarında γ –kvantlarla şüalandırılmış aşqarlı TlInTe_2 (Te, Bi, Si) kristallarının Volt–Amper xarakteristikaları (VAX) (110 , 001) kristalloqrafik istiqamətlərdə 100–300 K temperatur intervalında tədqiq edilmiş və radiasiya defektlərinin cərəyanın keçmə mexanizminə təsiri müəyyən edilmişdir.

4. 0,01–5 MQR şüalanma dozalarında γ –kvantlarla şüalandırılmış aşqarlı TlInTe_2 (Te, Bi, Si) kristallarının xüsusi elektrik keçiriciliyi (110 ; 001) müxtəlif kristalloqrafik istiqamətlərdə 100–300 K temperatur intervalında tədqiq edilmiş və energetik səviyyələrin dərinlikləri hesablanmışdır.

5. TlInTe_2 kristalının anizotrop xassələrinə, radiasiya davamlılığına aşqar atomlarının (Te, Bi və Si) və γ –kvantların birgə təsiri müəyyən edilmiş, bu birləşmənin elektrofiziki xassələrinin məqsədyönlü idarə edilməsi məsələləri araşdırılmışdır.

Tədqiqatın elmi yeniliyi: Tədqiqat nəticəsində əldə edilən elmi yeniliklər aşağıdakılardan ibarətdir:

1. Te, Bi və Si aşqarlarının TlInTe_2 kristalında həllolma oblastlarını müəyyən etmək üçün $\text{TlInTe}_2\text{–Te}$, $\text{TlInTe}_2\text{–Bi}$, $\text{TlInTe}_2\text{–Si}$ birləşmələri üçün faza diaqramları 0–10 at.% konsentrasiya diapazonunda tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, TlInTe_2 birləşməsində Te, Bi, Si atomları 5,0 at.% həllolma oblastına malikdirlər.

2. Müəyyən edilmişdir ki, TlInTe_2 birləşməsində xüsusi müqavimətin qiyməti (001) kristalloqrafik istiqamətdə Te atomunun kristala daxil edilməsi ilə $\sim 10^3$ tərtib, (110) kristalloqrafik istiqamətdə

isə 5 dəfə azalır. Bi atomunun kristala daxil edilməsi xüsusi müqavimətin qiymətini (*110*) kristalloqrafik istiqamətdə ~8 dəfə, Si atomunun daxil edilməsi isə ~ 12 dəfə artırır.

3. Te, Bi və Si-la aşqarlanmış TlInTe₂ monokristal nümunələrin (*110*) və (*001*) kristalloqrafik istiqamətlərdə 300–600 K temperatur diapazonunda elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılıqlarından $\sigma(T)$ müəyyən edilmişdir ki, $T > 300$ K-dən yuxarı temperaturda müşahidə edilən anomal yüksək keçiricilik, “kritik temperaturda” tallium kationunun alt qəfəsinin pozulması ilə bağlıdır.

4. Müəyyən edilmişdir ki, aşqarsız TlInTe₂ kristalında $D < 0,5$ MQR dozalarında yaranan defektlər donor təbiətlidir və (*001*) kristalloqrafik istiqamətdə paylanma üstünlük təşkil edir. $D > 0,5$ MQR dozalarda isə yaranan defektlər akseptor təbiətli olub, (*110*) kristalloqrafik istiqamətdə paylanması üstünlük təşkil edir.

5. Müəyyən edilmişdir ki, p-TlInTe₂ kristalının (*001*) kristalloqrafik istiqamətdə radiasiya davamlılığı yüksəkdir və Te atomunun stexiometrik nisbətdən artıqlığı kristalda (*110*) kristalloqrafik istiqamətdə radiasiya davamlılığını azaldır. γ -kvantlarla şüalandırılmış p-TlInTe₂ +4% Te kristalının xassələrini defekt-aşqar assosiasiyasının qarşılıqlı təsiri ilə kristalın radiasiya davamlılığını və anizotrop xassələrini idarə etmək mümkündür.

İşin praktiki əhəmiyyəti:

Aşqarlanmış TlGaTe₂, TlInTe₂ kristalları əsasında yaradılacaq müxtəlif tipli çeviricilərin, düzləndiricilərin parametrlərini və radiasiya davamlılığını idarə etmək mümkündür.

Tədqiqatın aprobasiyası və tətbiqi:

Dissertasiyanın nəticələri aşağıdakı konfranslarda məruzə edilmişdir: “7th International conference MTP–2021: Modern trends in physics” Baku (2021); “XXVI Международная научно–техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения” Москва (2022); “Modern problems of theoretical & experimental chemistry” Baku (2022); “Sumqayıt Dövlət Universitetinin 60 illik yubileyinə həsr olunmuş Respublika elmi konfransı” Sumqayıt (2022);

Dissertasiya işinin mövzusunə aid respublika və xarici elmi jurnallarda 14 elmi əsər–9 məqalə, 5 konfrans materialı nəşr olunmuşdur.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı:

Təqdim olunan dissertasiya işi Azərbaycan Respublikasının Elm və Təhsil Nazirliyinin Fizika İnstitutunun “Materialşünaslıq” laboratoriyasında və Radiasiya Problemləri İnstitutunun “Yarımkeçiricilərin radiasiya fizikası” laboratoriyasında yerinə yetirilmişdir.

Dissertasiyanın quruluşu və həcmi:

Dissertasiya işi girişdən, dörd fəsildən, nəticələrdən və ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. Təqdim olunan dissertasiya işində 42 şəkil, 6 cədvəl və ümumilikdə 183200 işarədən istifadə olunmuşdur

İŞİN QISA MƏZMUNU

Girişdə təqdim olunan dissertasiya mövzusunun aktuallığı əsaslandırılmış, dissertasiya işinin məqsədi, elmi yeniliyi, praktiki əhəmiyyəti və müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar verilmişdir.

Dissertasiya işinin **I fəslində** $A^3B^3C^6_2$ qrup birləşmələr sinfinə daxil olan tallium əsaslı xalkogenidlərin elektrofiziki xassələri, bu xassələrə qamma şüaların təsiri ilə bağlı ədəbiyyat məlumatları araşdırılmış və superion keçiriciliyinin nəzəri əsasları verilmişdir.

Dissertasiya işinin **II fəslində** tədqiq olunan materialların sintez prosesi, aşqarların həll olmasının təyini və monokristalların yetişdirilməsi metodu şərh olunmuşdur. Bundan başqa bu fəsildə elektrik, dielektrik xassələrini tədqiq etmək üçün qurğuların sxemi, onların işləmə prinsipi və ionlaşdırıcı şüalarla şüalandırma üsulları şərh edilmişdir. Te, Bi, Si–la aşqarlanmış $TlGaTe_2$ və $TlInTe_2$ sistemlərinin ərintiləri evakuasiya edilmiş Stepanov kvars ampulalarında birbaşa tək temperaturlu sintez üsulu ilə 1,0 at.% intervalla sintez edilmişdir. İlkin komponentlər kimi polikristal $TlGaTe_2$, $TlInTe_2$ və Te, Bi, Si aşqarlarından istifadə edilmişdir. Sintez zamanı sobanın temperaturu ~ 150 K/saat sürəti ilə $T=1150$ K–ə

qaldırılmış, bu temperaturda ~2 saat saxlandıqdan sonra ~100 K/saat sürəti ilə otaq temperaturuna qədər soyudulmuşdur. Məsələrin əmələ gəlməsi ehtimalını azaltmaq üçün ərintilərin kristallaşması 50 Hs tezlikli vibrasiyadan istifadə edərək həyata keçirilmişdir. Sonra ərintilər iki həftə ərzində $T=470\pm 5$ K temperaturda tarazlıq vəziyyətinə çatana qədər dəmə qoyulmuş, xəlitələrdə tarazlıq halının yaranması rentgen faza analizi vasitəsi ilə müəyyən edilmişdir. Təcrübələrdə istifadə olunan elementlərin təmizlik dərəcəsi 99,999%-dən az olmamışdır.

Dissertasiyanın **III fəslində** $TlGaTe_2$ və $TlInTe_2$ birləşmələrində Te, Bi, Si aşqarlarının həll olmasını təyin etmək üçün fiziki-kimyəvi tədqiqatların nəticələri verilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, bu birləşmələrdə əvvəlcədən planlaşdırılmış nöqtəvi defektlər yaratmaqla keçiriciliyin növünü, xüsusi keçiriciliyin, dielektrik nüfuzluğunun qiymətini və s. fiziki xassələri məqsədyönlü şəkildə idarə etmək mümkündür.

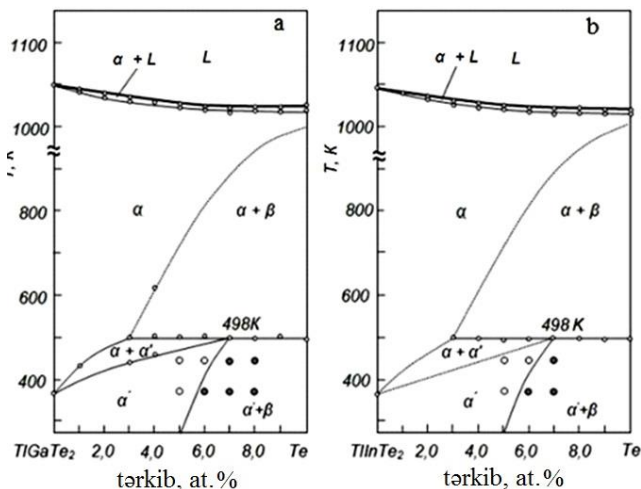
$A^3B^3C^6_2$ qrup birləşmələr və onlar əsasında yaranan bərk məhlulların tədqiqinə son illər marağın artması, bu materialların istifadə perspektivləri ilə bağlıdır. Bu kristalların tədqiqinə artan marağ, onlarda otaq temperaturuna yaxın temperaturlarda ion keçiriciliyinin aşkarlanması ilə əlaqədardır.

Qəfəs strukturuna daxil edilmiş atomların növünün seçilməsi onların kimyəvi aktivliyinə, ion radiusunun qiymətinə və koordinasiya ədədinə əsasən edilmişdir. Bu zaman seçilmiş atomun kimyəvi aktivliyi qəfəs atomlarının kimyəvi aktivliyindən çox olmamalıdır, əks halda qəfəs atomlarının tərkibdən sıxışdırılıb çıxarılması və əvəz etmə bərk məhlulunun yaranması hadisəsi baş verər. Bundan başqa qəfəsə daxil edilən atomun ion radiusunun qiyməti və koordinasiya ədədi onu elementar qəfəsi deformasiya etmədən seçilmiş poliedrdə yerləşdirməyə imkan verməlidir.

$TlGaTe_2$ -Te, $TlInTe_2$ -Te, $TlInTe_2$ -Bi, $TlInTe_2$ -Si birləşmələri üçün faza diaqramları qurulmuş və xəlitələrin fiziki-kimyəvi tədqiqinin nəticələri göstərilmişdir.

Sistem xəlitələri diferensial termik (DTA), rentgen faza (RFA) və mikrostruktur analizləri(MSA) vasitəsi ilə tədqiq edilmişdir. $TlGaTe_2$ -Te, $TlInTe_2$ -Te sistemlərinin DTA və MSA-nin nəticələri

əsasında qurulmuş faza diaqramlarının fraqmentləri şəkil 1-də verilmişdir. Göstərilmişdir ki, $TlGaTe_2$ və $TlInTe_2$ üçlü birləşmələrində tellurun həllolma oblastı 5,0 at.%-dir. MSA-nin nəticələrinə görə, $TlGaTe_2$ -Te, $TlInTe_2$ -Te sisteminin 1,0–5,0 at.%Te konsentrasiyası olan ərintiləri birfazalıdır və $TlGaTe_{2+x}$ və $TlInTe_{2+x}$ -in bərk məhlullarıdır.



Şəkil 1. $TlGaTe_2$ -Te (a) və $TlInTe_2$ -Te (b) sistemlərinin 0–10,0 at.% konsentrasiya diapazonunda tədqiq edilmiş faza diaqramlarının fraqmentləri. Şəkilə Te konsentrasiya sahəsində ərintilərin birfazalı vəziyyəti ağ, ikifazalı vəziyyətləri isə qara dairələrlə qeyd olunmuşdur.

$TlInTe_2$ -Te sistemi xəlitələrinin rentgen difraktoqramlarının tədqiqi nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, nümunələrin qəfəs parametrlərində $TlInTe_2$ kristalları ilə müqayisədə ($a=8,494 \text{ \AA}$, $c=7,181 \text{ \AA}$) cüzi dəyişmə müşahidə edilir. Tərkibində 4,0 at.% Te olan bərk məhlul polikristallarından çəkilmiş toz difraktoqramına əsasən qəfəs parametrləri aşağıdakı kimidir: $a=8,4850 \text{ \AA}$, $c=7,1924 \text{ \AA}$. Göründüyü kimi, elementar qəfəsin a -parametrinin kiçilməsi, c -parametrinin isə cüzi böyüməsi müşahidə olunmuşdur.

Konsentrasiyası 3,0; 4,0; və 5,0 at.% Te olan $\text{TlGaTe}_2\text{-Te}$, $\text{TlInTe}_2\text{-Te}$ sistemlərinin ərintiləri üzərində RF analizləri aparılmışdır. RF analizinin nəticələrinə əsasən göstərilmişdir ki, α - bərk məhlulların tərkibində tellurun konsentrasiyasının artması ilə qəfəs parametrlərinin qiymətləri cüzi dəyişir. Tərkibində 5,0 at.%Te olan ərinti üçün 004, 006 və 400 indeksli reflekslər əsasında hesablanan qəfəs parametrləri aşağıdakılardır: $\text{TlGaTe}_{2,04}$ $a=8,476\text{Å}$, $c=6,985\text{ Å}$ və $\text{TlInTe}_{2,04}$, $a=8,482\text{ Å}$, $c=7,192\text{ Å}$.

Həmçinin bismutun TlInTe_2 kristallarında həllolma miqdarını müəyyən etmək üçün fiziki–kimyəvi analiz üsulları ilə $\text{TlInTe}_2\text{-Bi}$ faza diaqramı 0–10 at.% Bi konsentrasiya diapazonunda tədqiq edilmişdir.

Metalların elektrokimyəvi aktivliyi sırasında Bi hidrogendən sonra dayanır, kimyəvi aktivliyi tallium və indiumdan aşağıdır, Bi^{3+} vəziyyətində ion radiusu $1,2\text{ Å}$ –dir. Bismut ionları qəfəs strukturunda koordinasiya ədədi 5; 6 və 8 olan mövqeləri tuta bilər. Beləliklə, ilkin qiymətləndirməyə görə, daxil etdiyimiz aşqar atomları TlGaTe_2 və TlInTe_2 elementar qəfəsindəki tallium atomları arasındakı oktaedrik boşluqlarda yerləşə bilər.

$\text{TlInTe}_2\text{-Si}$ sisteminin tədqiqi üçün $1,0\text{ at.}\%$ interval ilə 0–10,0 at.% Si tərkibli xəlitələr sintez edilmişdir. Si–un kimyəvi aktivliyi tədqiq olunan üçlü birləşmənin tərkibində olan Tl, In kationlarından zəif olduğuna görə, TlInTe_2 birləşməsində əvəzləmə və sıxışdırıb çıxarma halları baş verə bilmir. Si^{4+} ion radiusunun 4–lü koordinasiyada $0,4\text{ Å}$, 6–lıq koordinasiyada isə $0,54\text{ Å}$ olduğunu nəzərə alsaq onun TlInTe_2 birləşməsində həllolma ehtimalı böyükdür.

Cilalanmış nümunələr üzərində mikroquruluş analizi aparılmış və alınmış nəticələrə görə müəyyən edilmişdir ki, $1,0\text{--}5,0\text{ at.}\%$ Si tərkibli xəlitələr bircinsli olmaqla TlInTe_2 birləşməsi əsasında bərk məhlul oblastına aiddirlər.

Yetiştirilmiş monokristaldan c oxu boyunca hündürlüyü 5–7 mm olan nümunələr kəsilmişdir. Kristalların səthinə (001) və (110) kristalloqrafik istiqamətlərdə gümüş pastası ilə kontaktlar çəkilmişdir. Nümunələrin VA xarakteristikasının asılılıqları çıxarılmış, tip keçiriciliyi təyin edilmiş, 100–370 K temperatur

oblastında elektrik keçiriciliyi ölçülmüş, aktivləşmə enerjisi (E_a) və xüsusi müqavimətin (ρ) qiymətləri hesablanmışdır.

Müəyyən edilmişdir ki, Te, Bi və Si atomları ilə aşqarlanmış nümunələrin elektrofiziki xassələri və göstəriciləri $TlInTe_2$ monokristalının eyni adlı göstəricilərindən ciddi fərqlənir. $TlInTe_2$ monokristalından fərqli olaraq Bi və Si ilə aşqarlanmış nümunələr n–tip keçiriciliyə malikdir. Te, atomlarının qəfəsə daxil olması (001) kristalloqrafik istiqamətdə xüsusi müqavimətin qiymətini $\sim 10^3$ tərtib, (110) kristalloqrafik istiqamətində isə ~ 5 dəfə azaldır. Bi atomlarının qəfəsə daxil edilməsi (110) kristalloqrafik istiqamətində xüsusi müqavimətin qiymətini ~ 8 dəfə, Si atomlarının daxil edilməsi isə ~ 12 dəfə artırır.

$TlInTe_2$, $TlInTe_{2,04}$ kristallarının (001) və (110) kristalloqrafik istiqamətlərdə 300 K temperaturda Volt–Amper xarakteristikaları da tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, (001) kristalloqrafik istiqamətdə götürülmüş $TlInTe_2$ nümunəsində $I \sim U^n$ asılılığı xətti xarakter daşıyır ($n=1$) və tələsiz hal kimi xarakterizə edilir. (110) kristalloqrafik istiqamətdə isə Volt–Amper xarakteristikasında gərginliyin müəyyən qiymətinə qədər omik bölgə ($J \sim U$), sahənin qiymətinin sonrakı artmasında kvadratik oblast ($J \sim U^n$, $n>1$) müşahidə edilir. Xətti hissə 1–11,5 V/sm, kvadratik bölgə isə 11,5–13,0 V/sm sahə diapazonunda müşahidə olunur. Cərəyanın qiymətinin omik oblastdan kvadratik oblasta keçid gərginliyindən asılı olaraq artması akseptor tipli defektlərin ionlaşması nəticəsində baş verir.

$TlInTe_{2,04}$ kristalında isə, (001) kristalloqrafik istiqamətdə, aşqarsız nümunədə olduğu kimi $I \sim U^n$ asılılığı xətti xarakter daşıyır ($n=1$) və tələsiz hal kimi xarakterizə edilir. Göstərilmişdir ki, Te atomunun əlavə edilməsi ilə $TlInTe_2$ kristalında (001) kristalloqrafik istiqamətdə defektlərin paylanması nizamlanır və nəticədə kristalın keçiriciliyi artır.

($TlInTe_2$)_{0,95}Bi_{0,05} kristalının (001) kristalloqrafik istiqamətdə VA xarakteristikasında sahənin 0–0,68 V/sm qiymətinə qədər omik oblast ($J \sim U$) aşkar edilmişdir. (110) kristalloqrafik istiqamətdə isə sahənin 0–32,5 V/sm qiymətində gərginliyin daha kəskin artması ($J \sim U^n$, $n>1$) müşahidə olunur. Təəssüf ki, nümunənin qızması

səbəbindən sahənin yüksək qiymətlərində VA xarakteristikasını ölçmək mümkün olmamışdır.

Həmçinin $(\text{TlInTe}_2)_{1-x}\text{Si}_x$ nümunəsinin Volt–Amper xarakteristikası tədqiq edilmişdir. Göstərilmişdir ki, Si–la aşqarlanmış TlInTe_2 kristalının (110) kristalloqrafik istiqamətdəki $I(U)$ asılılığı xətti xarakter daşıyır, bu da defekt səviyyəsinin termik ionlaşması ilə əlaqələndirilmişdir. Bundan fərqli olaraq (001) kristalloqrafik istiqamətdə VA xarakteristikası eksponensial xarakter daşıyır. Asılılığın belə xarakteri sərbəst yükdaşıyıcıların lokal oblastlar arası keçidi ilə bağlıdır.

Dissertasiyanın III fəslində 100–370 K temperatur oblastında TlInTe_2 və Te, Bi, Si–la aşqarlanmış nümunələrinin (001) , (110) kristalloqrafik istiqamətlərdə elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılıqlarının tədqiqi nəticələri verilmişdir.

TlInTe_2 və $\text{TlInTe}_{2,04}$ nümunələrinin (001) , (110) kristalloqrafik istiqamətlərdə elektrik keçiriciliyinin $\sigma(T)$ temperaturdan asılılığı tədqiq edilmişdir. TlInTe_2 kristalının $\sigma(T)$ asılılıq əyrlərindən E_a aktivləşmə enerjilərinin qiymətləri müəyyən edilmişdir: (001) kristalloqrafik istiqamətdə 0,12 eV, (110) kristalloqrafik istiqamətində isə 0,35 eV.

TlInTe_2 kristalında (001) kristalloqrafik istiqamətdə $\sigma(T)$ asılılığı aşqar keçiriciliyə malik olub iki hissədən ibarətdir. 165–250 K temperatur intervalında keçiricilik temperaturdan asılı deyil. 250–300 K temperatur intervalında isə temperaturun artması ilə keçiricilik artır.

Göstərilmişdir ki, Te atomunun daxil edilməsi ilə kristalın keçiriciliyi artır və Te aşqar atomu TlInTe_2 kristalında akseptor tipli energetik səviyyə yaradır.

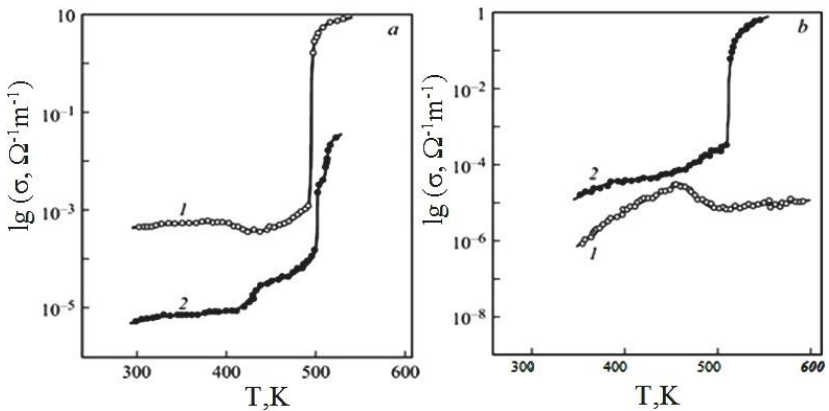
$(\text{TlInTe}_2)_{1-x}\text{Bi}_x$ $x=0,05$ tərkibi üçün (001) kristalloqrafik istiqamətdə 165–307 K temperatur intervalında $\sigma(T)$ asılılığı xəttidir və temperaturdan asılı deyil. Belə asılılıq kristala bismut atomunun daxil edilməsi nəticəsində əmələ gələn enerji baxımından yaxın defekt səviyyələrin çoxluğu ilə bağlıdır.

Göründüyü kimi, Bi aşqarının əlavə olunması nəticəsində, kristalın (110) kristalloqrafik istiqamətdə elektrik keçiriciliyinin qiyməti bir tərtib azalmış, aktivləşmə enerjisinin qiyməti $E_a=0,5$ eV

olmuşdur. Kristalın elektrik keçiriciliyinin azalması, akseptor səviyyələrinin kompensasiyası və donor səviyyələrinin formalaşması ilə əlaqədardır. Belə ki, kristalda keçiriciliyin növü dəyişir.

Si atomunun TlInTe_2 kristalına daxil edilməsi ilə hər iki kristalloqrafik istiqamətdə elektrik keçiriciliyinin qiymətində zəif dəyişmə müşahidə edilir, belə ki, (001) kristalloqrafik istiqamətdə keçiriciliyin qiyməti nisbətən azalır. Bu da silisium aşqar atomunun TlInTe_2 kristalına əlavə edilməsi ilə hər iki kristalloqrafik istiqamətdə defektlərin paylanmasını nizamlayır və nəticədə kristalın keçiriciliyi qismən dəyişir. $(\text{TlInTe}_2)_{1-x}\text{Si}_x$ $x=0,05$ kristalında keçiriciliyin tipi dəyişir, deşik keçiriciliyi elektron keçiriciliyi ilə əvəz olunur.

Dissertasiyanın III fəslində həmçinin $\text{TlGaTe}_{2,04}$ və $\text{TlInTe}_{2,04}$ monokristallarının (110) və (001) kristalloqrafik istiqamətlərdə elektrik keçiriciliyinin temperaturdan $\sigma(T)$ asılılıqlarının 300–600 K temperatur intervalında tədqiqi nəticələri verilmişdir. (şəkil 2) Tədqiqatlar E7–25 rəqəmsal immitans ölçmə cihazı ilə aparılmışdır. Kristallara tətbiq olunan elektrik sahəsinin intensivliyi $I\sim f(U)$ xarakteristikasının omik bölgəsinə uyğun gəlir və gərginlik 1 V–dan çox deyildir.



Şəkil 2. 100 kHz ölçmə tezliyində TlGaTe_2 (a) və $\text{TlGaTe}_{2,04}$ (b) kristallarının elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılıqları: (001) kristalloqrafik istiqamətdə (əyri 1), (110) kristalloqrafik istiqamətdə (əyri 2).

Müəyyən edilmişdir ki, $TlGaTe_2$ kristalının $\sigma(T)$ asılılıqlarında hər iki kristalloqrafik istiqamətdə superionfazaya keçidlə bağlı sıçrayışlar müşahidə olunmuşdur. (001) kristalloqrafik istiqamətdə müşahidə olunan keçid (110) kristalloqrafik istiqamət ilə müqayisədə aşağı temperaturda baş verir və (001) kristalloqrafik istiqamətdə keçiriciliyin dəyişməsi üç tərtib çox olur.

$TlGaTe_{2,04}$ kristalının $\sigma(T)$ asılılığında isə, superionfazaya keçid yalnız (110) kristalloqrafik istiqamətdə müşahidə olunur (şəkil 3 b). $TlGaTe_2$ və $TlGaTe_{2,04}$ kristallarının (110) kristalloqrafik istiqamətdə $\sigma(T)$ əyrilərinin müqayisəsi göstərir ki, $TlGaTe_{2,04}$ kristalında ion keçirici fazaya keçid temperaturu 5 K yüksəkdir. Qeyd edək ki, oxşar mənzərə $TlInTe_2$ və $TlInTe_{2,04}$ kristallarının $\sigma(T)$ asılılıqlarında da müşahidə edilir.

Dielektrik sabitinin temperatur asılılığında $\varepsilon(T)$ 300 K–dən yuxarı temperaturda dielektrik nüfuzluğunun qiymətində artım, 498 K temperaturda isə kəskin sıçrayış müşahidə olunur və kristal ion keçirici hala keçir.

Beləliklə, $(TlInTe_2)_{1-x}Bi_x$ $x=0,05$ nümunəsinin (001) kristalloqrafik istiqamətdə tədqiq edilmiş $\varepsilon(T)$ asılılığında iki anomaliya müşahidə edilir. Birinci anomaliya 450–500 K temperatur oblastında yaranır, bu zaman dielektrik nüfuzluğunun qiyməti bir tərtib yüksəlir.

İkinci anomaliya 567 K temperaturda baş verir, bu zaman dielektrik nüfuzluğunun qiyməti 4 tərtib artır. Müəyyən edilmişdir ki, $TlInTe_2$ kristal qəfəsinə daxil edilmiş bismut atomları kristalın ion keçirici fazaya keçid temperaturuna (T_i) təsir edərək (001) kristalloqrafik istiqamətdə onu 69 K artırır.

Tədqiq olunan nümunələrin elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılıq əyrilərində müvafiq temperaturalarda keçiricilik anomaliaları: $TlInTe_2$ kristalı üçün iki tərtibdən çox, $(TlInTe_2)_{1-x}Bi_x$ $x=0,05$ tərkibli nümunədə isə 4 tərtib olmuşdur.

Oxşar anomaliya $(TlInTe_2)_{1-x}Bi_x$ $x=0,05$ tərkibli nümunə üçün 100 kHz ölçü tezliyində çəkilmiş $\sigma(T)$ asılılığında da müşahidə edilir. Bu zaman (001) kristalloqrafik istiqamətdə 567 K, (110) kristalloqrafik istiqamətində isə 572 K temperaturda keçiriciliyin 4 tərtib yüksəlməsi baş verir və kristal ion keçirici hala keçir.

Qeyd edək ki, hər iki nümunədə $\varepsilon(T)$ və $\sigma(T)$ əyrilərində anomaliyalar (*110*) kristalloqrafik istiqamətdə də müşahidə olunur. TlInTe_2 kristalı üçün bu anomaliya 485 K, $(\text{TlInTe}_2)_{1-x}\text{Bi}_x$ $x=0,05$ tərkibli nümunədə isə 572 K temperaturda baş verir. (*001*) və (*110*) kristalloqrafik istiqamətlərdə faza keçid temperaturunun T_i qiymətlərini müqayisə etdikdə məlum olur ki, bismutla aşqarlanma dielektrik xassələrinə güclü təsir göstərir. Faza keçid temperaturu T_i (*001*) kristalloqrafik istiqamətdə 69 K, (*110*) kristalloqrafik istiqamətdə isə 87 K artır.

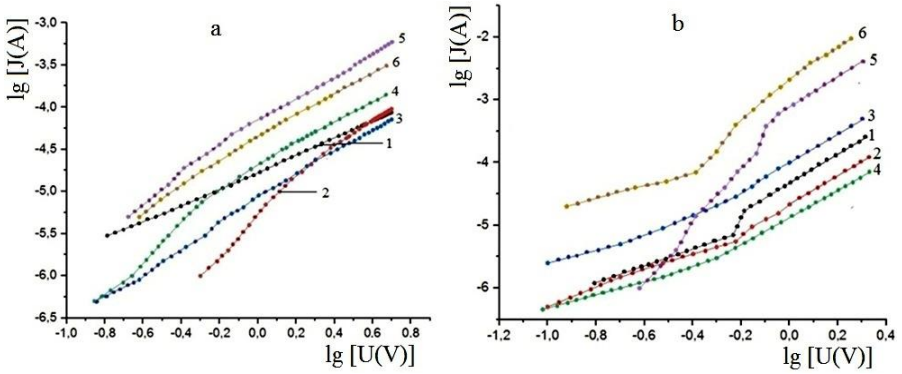
Göstərilmişdir ki, $(\text{TlInTe}_2)_{1-x}\text{Bi}_x$ $x=0,05$ tərkibli nümunədə bismut aşqarları (*001*) kristalloqrafik istiqamətdə keçiriciliyin qiymətini artmasına, TlInTe_2 kristalında keçiriciliyin tipinin dəyişməsinə səbəb olur. Bismut aşqarları $(\text{TlInTe}_2)_{1-x}\text{Bi}_x$ $x=0,05$ tərkibli nümunədə $\rho_{\perp}/\rho_{\parallel}$ keçiriciliyin anizotropiyasını aşqarsız kristalla müqayisədə 10^3 dəfədən çox artırır.

Alınan nəticələr praktiki əhəmiyyət kəsb edir, idarə olunan xassələrə malik ion keçiricilərinin və yüksək elektrik keçiriciliyi anizotropiyasına malik materialların alınmasında istifadə edilə bilər.

Dördüncü fəsilə γ -şüalanmanın TlInTe_2 , $\text{TlInTe}_2\text{-Te}$, Bi, Si bərk məhlullarında yükün daşınma mexanizminə təsiri tədqiq olunmuş və alınmış nəticələr elmi ədəbiyyatdakı materiallarla müqayisə edilmişdir.

Yarımkeçirici materiallarda γ -şüaların təsirindən yaranan radiasiya defektləri xüsusi maraq kəsb edir. Çünki ağır zərrəciklərdən fərqli olaraq, enerjisi 1,2 MeV tərtibində olan γ -şüalarla nümunələri şüalandırıldıqda vakansiya və düyünlərarası atomlar kimi sadə defektlər (Frenkel cütləri) yaranır.

Dissertasiyanın IV fəslində TlGaTe_2 , TlInTe_2 , $\text{TlInTe}_2\text{-Te}$, Bi, Si bərk məhlullarının VA xarakteristikaları 300 K temperaturda, 0–5 V gərginlik intervalında (*001*) və (*110*) kristalloqrafik istiqamətlərdə tədqiqi nəticələri verilmişdir (Şəkil 3).



Şəkil 3. TIInTe₂ kristalının 300 K temperaturda müxtəlif kristalloqrafik istiqamətlərdə VA xarakteristikası: a–(001) kristalloqrafik istiqamət, b–(110) kristalloqrafik istiqamət.
 1–D=0; 2–D=0,01 MQR; 3–D=0,1 MQR; 4–D=0,5 MQR;
 5–D=2,5 MQR; 6–D=5 MQR

Müəyyən edilmişdir ki, şüalanmadan əvvəl TIInTe₂ kristalının (001) kristalloqrafik istiqamətdə $I \sim f(U)$ asılılığı xətti xarakter daşıyır və cərəyanın qiyməti tətbiq edilən gərginliyin qiyməti ilə mütənəsib olaraq artır və $I \sim U^n$ qanununa tabe olur. Alınan nəticələr Lampert qanununa əsasən izah edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, TIInTe₂ kristalında müşahidə olunan $I \sim f(U)$ asılılığında cərəyanın eksponensial asılılığı qadağan olunmuş zonada olan lokal səviyyələrin termik ionlaşması və kontaktdan injeksiya olunan yükdaşıyıcıların hesabına yaranan cərəyan ilə izah edilir.

γ -kvantların TIInTe₂ kristalında VAX-a təsiri öyrənilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, 0,01–0,5 MQR dozalarda şüalanma zamanı yaranan radiasiya defektləri TIInTe₂ kristalında (001) kristalloqrafik istiqamətdə cərəyanın azalmasına, 0,5–5 MQR dozalarda isə cərəyanın artmasına səbəb olur. TIInTe₂ kristalında (110) kristalloqrafik istiqamətdə 0,01–0,5 MQR dozalarda şüalanmadan sonra cərəyanın azalması, 0,5–5 MQR dozalarda isə cərəyanın artması müşahidə edilir. Müşahidə olunan nəticələrə əsasən demək olar ki, şüalanma zamanı yaranan defektlərin təbiəti udulma dozasının qiymətindən asılıdır. Belə ki, aşağı şüalanma dozalarında yaranan

defektlər anion təbiətli olduğundan donor səviyyəsi yaradır, yüksək dozalarda isə kation təbiətli olduğundan kristalın keçiriciliyi artır.

Te atomları ilə aşqarlanmış TlInTe_2 kristallarında şüalanmadan əvvəl və sonra VA xarakteristikaları müxtəlif kristalloqrafik istiqamətlərdə tədqiq edilmişdir.

Müəyyən edilmişdir ki, 0,1–2,5 MQR dozalarda şüalandırılmış TlInTe_2 -Te kristalına elektrik sahəsi tətbiq edilən zaman, cərəyanın kəskin azalması, defektlərin əsasən (001) kristalloqrafik istiqamətdə paylandığını və yaranan defektlərin donor təbiətli olduğunu göstərir. Alınan nəticələr əsasında demək olar ki, 2,5 MQR dozada şüalanma zamanı γ -kvantlar In–Te əlaqəsini zəiflədir və bu səbəbdən Tl-ionlarının yürüklüyü yüksəlir, nəticədə (001) kristalloqrafik istiqamətdə keçiricilik azalır, (110) kristalloqrafik istiqamətdə isə artır.

Tədqiqatlar zamanı həmçinin Bi–la aşqarlanmış TlInTe_2 kristalının müxtəlif kristalloqrafik istiqamətlərdə 300 K temperaturda çəkilmiş VA xarakteristikalarına qamma şüaların təsiri öyrənilmişdir.

Göstərilmişdir ki, 0,01 MQR dozada şüalanma zamanı $\text{TlInTe}_2\langle\text{Bi}\rangle$ kristalının keçiriciliyi donor tipli energetik səviyyənin yaranması səbəbindən azalır. 0,1 MQR dozada şüalanmadan sonra keçiricilik artır. Şüalanmanın 0,5–5 MQR dozalarında, $\text{TlInTe}_2\langle\text{Bi}\rangle$ kristalının keçiriciliyi yenidən azalmağa başlayır. Buna səbəb, şüalanma dozasının artması ilə donor tipli defektlərin konsentrasiyasının artmasıdır. 0,1 MQR dozada kristalın keçiriciliyinin ilkin nümunəyə nəzərən artmasına səbəb şüalanma zamanı yaranan radiasiya defektlərinin öz-özünə dəmlənməsidir. Yəni yaranan Frenkel cütlərinin rekombinasiya olması səbəbindən donor tipli defektlərin konsentrasiyası azalır. Beləliklə, müəyyən edilmişdir ki, qamma-kvantlarla şüalanma zamanı $\text{TlInTe}_2\langle\text{Bi}\rangle$ kristalının keçiriciliyi (001) kristalloqrafik istiqamətdə azalır.

(110) kristalloqrafik istiqamətdə 0,01–5 MQR şüalanma dozalarında $\text{TlInTe}_2\langle\text{Bi}\rangle$ kristalının keçiriciliyi kristala tətbiq edilən elektrik sahə intensivliyinin aşağı qiymətlərində (10^3 V/sm) azalır, yüksək sahələrdə isə artır. Alınan nəticələr əsasında demək olar ki, tətbiq edilən sahənin enerjisi potensial çəpərin hündürlüyündən kiçik olduğu üçün keçiricilikdə iştirak edən yükdaşıyıcıların

konsentrasiyası azalır. Tətbiq edilən yüksək sahələrdə isə, sahənin təsiri ilə potensial çəpərin hündürlüyü azalır, keçiricilikdə iştirak edən yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının artması nəticəsində kristalın keçiriciliyi də artır.

Seçilmiş şüalanma dozasında şüalandırılmış tədqiq olunan kristalların VA xarakteristikalarının təhlilindən alınan nəticələr göstərir ki, struktur defektlərinin radiasiya defektləri ilə qarşılıqlı təsiri nəticəsində yaranan komplekslər kristalloqrafik istiqamətdə keçiriciliyin dəyişməsinə səbəb olur.

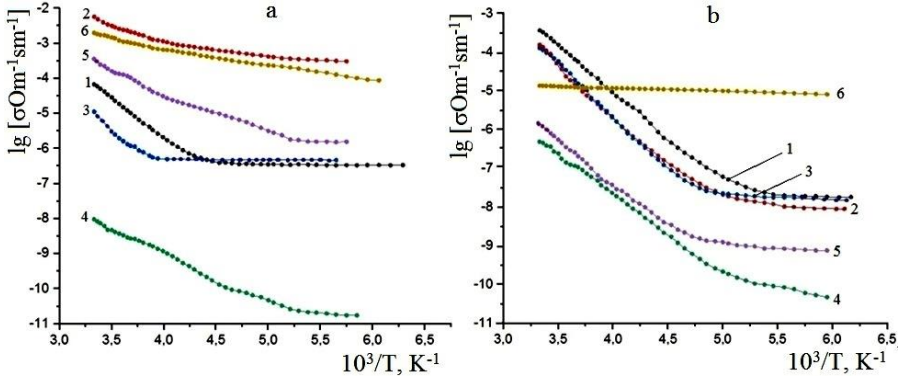
Dissertasiya işinin dördüncü fəslində 0,01–5 MQR dozalarda şüalandırılmış $(\text{TlInTe}_2)_{1-x}\text{Si}_x$ nümunəsinin (001) və (110) kristalloqrafik istiqamətlərdə Volt–Amper xarakteristikaları tədqiq edilmişdir.

Şüalanmanın 0,01 MQR dozasında cərəyanın qiyməti kəskin azalır və müşahidə olunan kvadratik oblast yüksək gərginlik oblastına tərəf sürüşür. Cərəyanın azalması göstərir ki, şüalanma zamanı yaranan radiasiya defektləri donor təbiətlidir. Şüalanma dozasının 0,1 və 0,5 MQR qiymətlərində cərəyanın artması müşahidə olunur. Dozanın artması ilə (2,5; 5 MQR) cərəyan ilkin qiymətə nəzərən artır və kvadratik oblast kiçik gərginlik oblastına tərəf sürüşür. Alınan nəticələrin təhlili göstərir ki, şüalanma dozasından asılı olaraq cərəyanın dəyişməsi yaranan radiasiya defektlərinin təbiətindən asılıdır. $\text{TlInTe}_2+5,0$ at.% Si kristalında (110) kristalloqrafik istiqamətdə şüalanma dozasının 0,01–5 MQR qiymətlərində cərəyanın qiyməti ilkin qiymətə nəzərən artır. Alınan nəticələr göstərir ki, (110) kristalloqrafik istiqamətdə cərəyanın artması yaranan radiasiya defektlərinin akseptor təbiətli olması ilə bağlıdır.

Dissertasiyanın IV fəslində $\text{TlInTe}_2+4\%\text{Te}$ kristalının müxtəlif şüalanma dozalarında (0,01–5 MQR) xüsusi elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığı şəkil 4–də verilmişdir.

TlInTe_2 kristalında Te atomunun artıqlığı $\lg\sigma\sim f(1/T)$ asılılığında əyrinin xarakterini dəyişdirmir, ancaq keçiriciliyin qiyməti qismən artır. $\lg\sigma_1\sim f(1/T)$ asılılığında 0,01 MQR şüalanmadan sonra keçiricilik kəskin artır və aktivləşmə enerjisi $E_a=0,14$ eV olan akseptor tipli energetik səviyyə yaranır. Şüalanma dozasının $D=0,5$

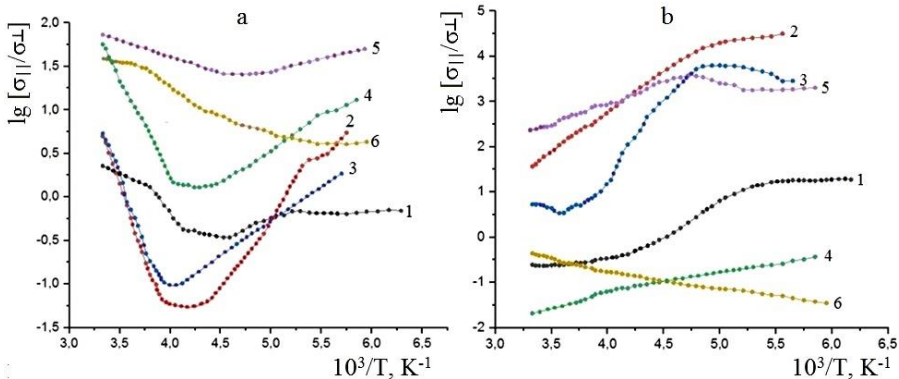
MQR qiymətində isə keçiriciliyin kəskin azalması, aktivləşmə enerjisi $E_a=0,30$ eV olan donor tipli səviyyənin yaranması nəticəsində baş verir. Şüalanmanın sonrakı artımı ilə, keçiriciliyin kəskin artması müşahidə olunur.



Şəkil 4. Müxtəlif şüalanma dozalarında (0,01÷5 MQR) şüalandırılmış TIInTe₂–Te (a,b) kristalının xüsusi elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılıqları: a–(001)kristalloqrafik istiqamət, b–(110) kristalloqrafik istiqamət. 1–D=0; 2–D=0,01 MQR; 3–D=0,1 MQR; 4–D=0,5 MQR; 5–D=2,5 MQR; 6–D=5 MQR

TIInTe₂–Te kristalında 0,01–2,5 MQR dozalarda şüalanmadan sonra (110) kristalloqrafik istiqamətdə elektrik keçiriciliyinin qiyməti azalır. Buna səbəb donor tipli defektlərin üstünlük təşkil etməsi, yəni donor tipli səviyyələrin yaranmasıdır. 5 MQR dozada şüalanmadan sonra $\sigma(T)$ asılılığında keçiriciliyin qiyməti temperaturdan asılı olaraq dəyişmir. Belə asılılıq, TIInTe₂ kristalına tellur aşqarının daxil edilməsi və radiasiya defektlərinin təsiri nəticəsində əmələ gələn enerji baxımından yaxın defekt səviyyələrinin çoxluğu ilə bağlıdır.

TIInTe₂ və TIInTe₂–Te kristallarında şüalanmanın 0,01÷5 MQR dozalarında xüsusi elektrik keçiriciliyinin anizotropiyasının temperatur asılılığı şəkil 5–də verilmişdir.



Şəkil 5. Müxtəlif şüalanma dozalarında (0,01÷5 MQR) şüalandırılmış TlInTe_2 (a) və $\text{TlInTe}_2\text{-Te}$ (b) kristallarının xüsusi elektrik keçiriciliyinin anizotropiyasının temperatur asılılıqları. 1– $D=0$; 2– $D=0,01$ MQR; 3– $D=0,1$ MQR; 4– $D=0,5$ MQR; 5– $D=2,5$ MQR; 6– $D=5$ MQR

Müəyyən edilmişdir ki, $\lg\sigma_{||}/\lg\sigma_{\perp} \sim f(1/T)$ asılılığı eksponensial xarakter daşıyır. $(\lg[\sigma_{||}/\sigma_{\perp}] \sim f(1/T))$ asılılığın müqayisəsindən müəyyən edilmişdir ki, $p\text{-TlInTe}_2$ kristalında 160–300 K temperatur intervalında keçiriciliyin anizotropiyası $-0,5 \div +0,5$ qiymətlər arasında dəyişir və bu hal yükdaşıyıcıların effektiv kütləsinin zəif anizotropiyası ilə bağlıdır. Ancaq 200–250 K temperatur intervalında σ_{\perp} –komponentinin qismən artması müşahidə olunur ki, bu da kristal qəfəsdə elektroaktiv defektlərin nizamsız paylanması ilə bağlıdır. 0,01 MQR dozada γ –kvantlarla şüalanmadan sonra 160–300 K temperatur intervalında keçiriciliyin σ_{\perp} –komponentinin $\sigma_{||}$ –nə nəzərən kəskin artması müşahidə olunur. Şüalanmanın sonrakı dozalarında isə keçiriciliyin σ_{\perp} –komponentinin $\sigma_{||}$ –nə nəzərən azalması müşahidə olunur. $D=2,5$ MQR şüalanma dozasında isə $\lg\sigma_{||}/\lg\sigma_{\perp}$ nisbəti vahidə yaxınlaşır, yəni sistemin anizotropiyası kəskin azalır.

Müşahidə olunan faktlar göstərir ki, $p\text{-TlInTe}_2$ kristalında γ –kvantlarla şüalanma zamanı ilkin dozalarda yaranan radiasiya defektləri donor təbiətlidir– V_{Tl} vakansiyasının düyünlər arası Tl atomları ilə tutulması nəticəsində yaranır və keçiriciliyin

anizotropiyasını artırır. Şüalanmanın yüksək dozalarında isə yaranan komplekslərin $[V_{Tl}-Tl_i]$ dissosiasiyası nəticəsində akseptor səviyyəsinin konsentrasiyasının artması hesabına $\sigma_{||}$ -komponentin qiyməti əks tərəfə doğru dəyişir.

Həmçinin dissertasiya işində $TlInTe_2-Te$ kristalının xüsusi elektrik keçiriciliyinin anizotropiyasının temperaturdan asılılığı tədqiq edilmiş və alınmış nəticələr dördüncü fəsilə şərh olunmuşdur. $TlInTe_2-Te$ kristalında $lg[\sigma_{||}/\sigma_{\perp}] \sim f(1/T)$ asılılığında göstərilmişdir ki, Te -aşqar atomunun daxil edilməsi anizotropiyanın $lg[\sigma_{||}/\sigma_{\perp}]$ $T < 250$ K temperaturlarda qismən artmasına səbəb olur. Öyrilərin təhlilindən müəyyən edilmişdir ki, Te -atomunun artıqlığı kristal qəfəsdə oktaedrik boşluğu qismən doldurur və (001) kristalloqrafik istiqamətdə Tl^+ ionlarının sərbəst hərəkəti üçün əlavə potensial çəpər yaradır. $lg[\sigma_{||}/\sigma_{\perp}]$ -da $\sigma_{||}$ -komponenti σ_{\perp} -nə nəzərən şüalanmanın 0,01 MQR dozasında kəskin artır, dozasının 0,1 MQR qiymətində isə qismən artır. 0,5 MQR dozada şüalanmamış nümunə ilə müqayisədə keçiriciliyin qiymətinin kəskin azalması, 2,5 MQR dozada isə artması müşahidə olunur. Şüalanma zamanı yaranan radiasiya defektləri stexiometriyadan artıq Te atomunun yenidən paylanmasına stimullaşdırıcı təsir göstərir və nəticədə defektlərin nizamlanması baş verir. Bu səbəbdən (001) kristalloqrafik istiqamətdə keçiricilik artır. Yüksək şüalanma dozalarında $[V_{Tl}-Te_i]$ kompleksinin yaranması nəticəsində keçiriciliyin $\sigma_{||}$ -komponenti kəskin azalır. 5 MQR dozada isə keçiriciliyin anizotropiyasının qiymətində azalma müşahidə edilir.

Şüalanmanın təsiri nəticəsində radiasiya defektlərinin əmələ gəlməsi, onların miqrasiyası, aşqar və kation atomlarının iştirakı ilə komplekslərin yaranması müşahidə olunur. Yüksək şüalanma dozalarında komplekslərin dissosiasiyası nəticəsində nöqtəvi defektlərin konsentrasiyası artır, keçiriciliyin anizotropiyası isə azalır.

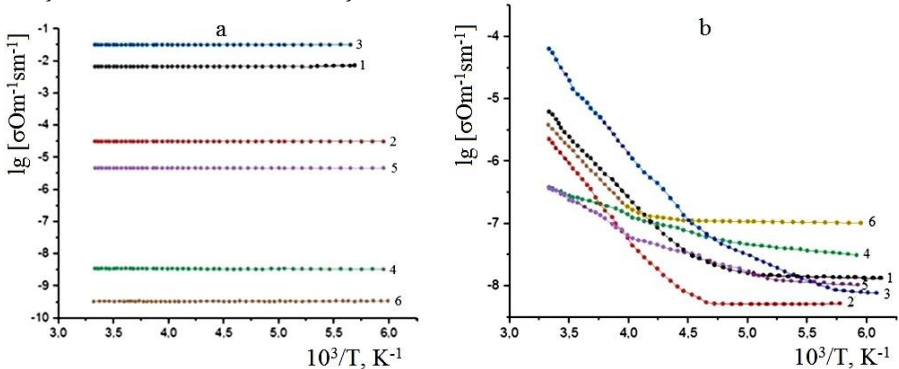
Müəyyən edilmişdir ki, γ -kvantların təsiri ilə defektlərin kristalloqrafik istiqamətdə paylanmasını idarə etmək mümkündür. Belə ki, yüksək şüalanma dozalarında stexiometriyadan artıq Te atomu daxil edilmiş $p-TlInTe_2 < Te >$ kristalında radiasiya defektlərinin aşqar atomları ilə qarşılıqlı təsiri nəticəsində ilkin

defektlərin kompensasiyası baş verir, nəticədə kristalın keçiriciliyi azalır. Aşağı şüalanma dozalarında isə radiasiya defektlərinin konsentrasiyası struktur defektlərinə nisbətən az olduğundan keçiricilik yüksək olur. Alınmış nəticələrin təhlili göstərir ki, zəncirvari quruluşa malik kristallarda aşqar atomunun artıqlığı materialların anizotrop xassələrini idarə etməyə və kristalların radiasiya davamlılığını artırmağa imkan verir.

Tədqiqatların nəticələrinə əsasən demək olar ki, γ -kvantların və Te atomunun artıqlığı TlInTe_2 -Te kristalında keçiriciliyin anizotropiyasını məqsədyönlü şəkildə idarə etmək üçün imkan yaradır.

Dissertasiyanın dördüncü fəslində həmçinin Bi atomları ilə aşqarlanmış TlInTe_2 kristalının elektrik keçiriciliyinin 100–300 K temperatur intervalında tədqiqi nəticələri verilmişdir.

0; 0,01; 0,1; 0,5; 2,5 və 5 MQR dozalarda şüalandırılmış TlInTe_2 və TlInTe_2 -Bi kristallarının müxtəlif kristalloqrafik istiqamətlərdə elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığı öyrənilmiş və şəkil 6-da təsvir edilmişdir.



Şəkil.6 Müxtəlif şüalanma dozalarında (0,01÷5 MQR) şüalandırılmış TlInTe_2 -Bi (a,b) kristalında xüsusi elektrik keçiriciliyinin temperaturasılılığı: a-(001) kristalloqrafik istiqamət; b-(110) kristalloqrafik istiqamət. 1-D=0; 2-D=0,01 MQR; 3-D=0,1 MQR; 4-D=0,5 MQR; 5-D=2,5 MQR; 6-D=5 MQR

Müəyyən edilmişdir ki, $(\text{TlInTe}_2)_{1-x}\text{Bi}_x$ $x=0,05$ tərkibli nümunədə 165–307 K temperatur intervalında (001) kristalloqrafik

istişamətdə şüalanmadan əvvəl və sonra $\sigma(T)$ asılılığı xətti xarakter daşıyır və temperaturdan asılı olaraq dəyişmə müşahidə olunmur. Belə asılılıq, $TlInTe_2$ kristalına bismut aşqarlarının daxil edilməsi nəticəsində əmələ gələn enerji baxımından yaxın defekt səviyyələrin çoxluğu kimi izah edilir.

$(TlInTe_2)_{1-x}Bi_x$ $x=0,05$ tərkibli kristalda (110) kristalloqrafik istiqamətdə $lg\sigma\sim f(1/T)$ asılılığında əyrilərin xarakterində dəyişmə müşahidə olunur. $lg\sigma\sim f(1/T)$ asılılığında $150\text{--}200$ K temperatur intervalında dəyişmə müşahidə edilmir, yüksək temperatur oblastında isə artma müşahidə olunur. $TlInTe_2$ kristalında Bi atomunun artıqlığı $lg\sigma\sim f(1/T)$ asılılığında müşahidə olunan iki hissə əyrinin xarakterini dəyişdirmir, ancaq keçiriciliyin qiyməti qismən artır. $lg\sigma_{||}\sim f(1/T)$ istiqamətdə şüalanma dozasından sonra keçiriciliyin qiymətinin azalması müşahidə edilir. Şüalanmanın $0,01$ və $0,1$ MQR dozalarında da demək olar ki, ilkin əyrinin xarakteri saxlanılır. Şüalanma dozasının $D=0,5$ MQR, $2,5$ MQR və 5 MQR doza qiymətlərində isə keçiriciliyin temperaturdan asılılığında dəyişmə zəif xarakter daşıyır. Şüalanma dozasının $D=0,01$ MQR qiymətində isə keçiriciliyin azalması aktivləşmə enerjisi $E_a=0,40$ eV olan donor tipli səviyyənin yaranması nəticəsində baş verir.

Alınan nəticələr əsasında göstərilmişdir ki, γ -kvantlarla şüalanma zamanı kristalda kation və anion tipli defektlər yaranır. Şüalanmanın ilkin dozalarında yaranan Frenkel tipli defektlərin konsentrasiyası struktur defektlərin konsentrasiyasından az olduğu üçün akseptor tipli defektlər üstünlük təşkil edir. Bu səbəbdən şüalanmanın $0,1$ MQR dozasında $TlInTe_2$ kristalında keçiricilik artır. Dozanın $0,5$ və $2,5$ MQR qiymətlərində isə donor tipli defektlər üstünlük təşkil etdiyindən keçiricilik azalır.

Alınan nəticələrin xarakterik cəhəti ondan ibarətdir ki, şüalanma zamanı yaranan radiasiya defektləri struktur defekt təbiətli olduğundan onların ancaq konsentrasiyası dəyişir, energetik səviyyələrin aktivləşmə enerjisi isə dəyişmir.

Həmçinin dissertasiya işinin yerinə yetirilməsində $(TlInTe_2)_{1-x}Si_x$ nümunəsinin müxtəlif dozalarda və (001) və (110) kristalloqrafik istiqamətlərdə $100\text{--}350$ K temperatur oblastında xüsusi elektrik keçiriciliyinin $\sigma(T)$ temperaturdan asılılığı tədqiq edilmiş və

dördüncü fəsildə şərh olunmuşdur. $(\text{TlInTe}_2)_{1-x}\text{Si}_x$ nümunəsinin şüalanmamış nümunə ilə müqayisəsindən müəyyən edilmişdir ki, 0,01 MQR və 0,1 MQR dozalarda γ -kvantlarla şüalandırıldıqdan sonra keçiriciliyin qiyməti artır. Tədqiq olunan temperatur oblastında əyrinin meyli dəyişmir. Şüalanmanın 0,1 və 0,5 MQR dozalarında da demək olar ki, ilkin əyrinin xarakteri saxlanılır, lakin keçiriciliyin qiyməti azalır. Sonrakı şüalanma dozasında (5 MQR) keçiriciliyin qiymətində dəyişmənin zəif xarakter daşması müşahidə olunur. Alınan nəticələr göstərir ki, γ -kvantlarla şüalanma zamanı kristalda kation və anion tipli defektlər yaranır. Şüalanmanın ilkin dozalarında yaranan Frenkel tipli defektlərin konsentrasiyası struktur defektlərin konsentrasiyasından az olduğundan akseptor tipli defektlər üstünlük təşkil edir. Bu səbəbdən şüalanmanın 0,01–0,1 MQR dozalarında silisiumla aşqarlanmış TlInTe_2 kristalında keçiricilik artır. 0,5 və 2,5 MQR şüalanma dozalarında donor tipli defektlər üstünlük təşkil etdiyi üçün keçiriciliyin qiymətində qismən azalma müşahidə olunur. 5 MQR şüalanma dozasında keçiriciliyin qiymətində dəyişmənin zəif xarakter daşması müşahidə edilir.

$(\text{TlInTe}_2)_{1-x}\text{Si}_x$ tərkibli kristalın (110) kristalloqrafik istiqamətdə müxtəlif şüalanma dozalarında (0,01÷5 MQR) xüsusi elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığı tədqiq edilmişdir. Təcrübi nəticələr əsasında müəyyən edilmişdir ki, tədqiq olunan kristal γ -kvantlarla şüalandırıldıqdan sonra şüalanmamış nümunə ilə müqayisədə (110) kristalloqrafik istiqamətdə $\sigma(T)$ asılılığının xarakteri dəyişir. 5 MQR dozada şüalanmadan sonra $\sigma(T)$ asılılığında keçiriciliyinin qiyməti temperaturdan asılı olaraq dəyişmir. Asılılığın belə xarakteri, TlInTe_2 kristalına silisiumun aşqarının daxil edilməsi və şüalanmadan sonra radiasiya defektlərinin yaranması nəticəsində əmələ gələn enerji baxımından yaxın defekt səviyyələrin çoxluğu ilə bağlıdır.

Nəticələr

Dissertasiya işinin yerinə yetirilməsi zamanı aşağıdakı əsas nəticələr alınmışdır:

1. Te, Bi, və Si atomlarının TlInTe_2 və TlGaTe_2 kristallarında həllolma dərəcəsini müəyyən etmək üçün faza diaqramı 0–10 at.%

konsentrasiya diapazonunda tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, TlInTe_2 birləşməsində Te, Bi, Si atomları 5at.% həllolma oblastına malikdir. Te, Bi və Si atomlarının qəfəsə daxil olması (001) kristalloqrafik istiqamətdə xüsusi müqavimətin qiymətini $\sim 10^3$ tərtib azaldır, Te atomunun daxil edilməsi ilə (110) kristalloqrafik istiqamətdə xüsusi müqavimətin qiyməti 5 dəfə azalır, Bi–un daxil edilməsi ilə 8, Si–daxil edilməsi ilə isə ~ 12 dəfə artır.

2. Müəyyən edilmişdir ki, Te atomlarının oktaedrik boşluqlarda (001) kristalloqrafik istiqamətdə yerləşməsi səbəbindən $\text{TlInTe}_2\text{–Te}$ (4at.%) kristalında $\sigma(T)$ asılılığında superionfazaya keçid yalnız (110) kristalloqrafik istiqamətdə müşahidə olunur.

TlInTe_2 , $\text{TlInTe}_2\text{–Te}$ kristallarında (001) və (110) kristalloqrafik istiqamətlərdə energetik səviyyələrin aktivləşmə enerjiləri hesablanmışdır, bu enerjilərin qiymətləri uyğun olaraq 0,12; 0,35 eV və 0,10; 0,32 eV–dur.

3. TlInTe_2 kristalına stexiometriyadan artıq Te atomunun daxil edilməsi nəticəsində oktaedrik boşluğun qismən doldurulması, 110 kristalloqrafik istiqamətdə Tl^+ ionlarının sərbəst hərəkəti üçün əlavə potensial çəpər yaradır. Nəticədə keçiriciliyin anizotropiyası $T > 250$ K temperaturlarda artır, $T < 250$ K temperaturlarda isə azalır. 0,5–5 MQR γ –kvantlarla şüalanma nəticəsində yaranan defektlər aşqar və struktur defektlərini qismən kompensasiya edir, nəticədə keçiriciliyin anizotropiyası temperaturdan asılı olmur.

4. γ –kvantlarla şüalandırılmış TlInTe_2 və $\text{TlInTe}_2\text{–Te}$ (4at.%) kristallarının Volt–Amper xarakteristikası və xüsusi elektrik keçiriciliyi 100–300 K temperatur intervalında tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, aşqarsız TlInTe_2 kristalında $D < 0,5$ MQR dozalarda yaranan defektlər donor təbiətli olub, (001) kristalloqrafik istiqamətdə paylanması üstünlük təşkil edir. $D > 0,5$ MQR dozalarda isə yaranan defektlər akseptor təbiətli olub (110) kristalloqrafik istiqamətdə paylanması üstünlük təşkil edir.

5. Müəyyən edilmişdir ki, Te, Bi və Si aşqar atomları ilə aşqarlanmış p– TlInTe_2 kristallarında γ –kvantlarla şüalanma zamanı mürəkkəb defektlər–komplekslər yaranır və onların (001), (110) kristalloqrafik istiqamətlərdə paylanması aşqar atomun təbiətindən və şüalanma dozasından asılı olaraq anizotrop xassələri dəyişir.

6. Müəyyən edilmişdir ki, p-TlInTe₂<Te>, n-TlInTe₂<Si> kristallarında 0,01–0,5 MQR şüalanma dozalarında (001) kristalloqrafik istiqamətdə donor tipli defektlər üstünlük təşkil etdiyindən keçiricilik azalır, 0,5–5 MQR dozalarda isə akseptor təbiətli defektlər üstün olduğundan keçiricilik artır.

7. Müəyyən edilmişdir ki, p-TlInTe₂ kristalının (001) kristalloqrafik istiqamətdə radiasiya davamlılığı artır, stexiometriyadan artıq Te atomu daxil edilmiş p-TlInTe₂<Te> kristalında isə (110) kristalloqrafik istiqamətdə radiasiya davamlılığı azalır. γ -kvantlarla şüalandırılmış p-TlInTe₂+4%Te sistemində defekt-aşqar assosiasiyasının qarşılıqlı təsiri kristalın radiasiya davamlılığını və anizotrop xassələrini idarə etməyə imkan verir.

Dissertasiya işinin əsas nəticələri aşağıdakı məqalə və tezislərdə dərc edilmişdir.

1. Наджафов, А.И. Растворимость теллура в кристаллах TlGaTe₂, TlInTe₂ и свойства твердых растворов / А.И. Наджафов, Н.А. Алиева, Г.З. Джафарова, К.Г. Халилова, [и. др.] // Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Xəbərləri, Fizika–texnika və riyaziyyat elmləri seriyası, fizika və astronomiya, –Bakı:–2016. c.XXXVI, № 5, –s.74–80.

2. Алекперов, О.А. Высокотемпературные фазовые переходы в кристаллах TlInTe₂ / О.А.Алекперов, А.И. Наджафов, О.А.Самедов, Г.З.Джафарова, Н.А.Алиева, К.Г.Халилова [и. др.] // Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Xəbərləri, Fizika–texnika və riyaziyyat elmləri seriyası, fizika və astronomiya, –Bakı: –2017. c.XXXVII, № 5, –s.18–24.

3. Наджафов, А.И. Растворимость теллура в кристаллах TlGaTe₂, TlInTe₂ и электрофизически свойства твердых растворов / А.И.Наджафов, Н.А.Алиева, К.Г.Халилова // Физика твердого тела, –2018. т.60, в.9, –с.1656–1661.

4. Мəдəтов, R.S. TlInTe₂–Te kristallarında keçiriciliyin anizotropiyasına elektrik sahəsinin və temperaturun təsiri /

R.S.Mədətov, K.H.Xəlilova, A.İ.Nəcəfov [və s.] // Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Xəbərləri, Fizika–texnika və riyaziyyat elmləri seriyası, fizika və astronomiya, –Bakı: –2021. c.XLI, № 2, – s.65–72.

5. Madatov, R.S., Khalilova, K.H., Najafov, A.I., Mammadov, M.A. Anisotropy of electrical conductivity in TlInTe₂–Te solid solutions // 7th International conference mtp–2021: Modern trends in physics, Baku State University, –Bakı: –15–17 december, –2021, – p.126–127.

6. Наджафов, А.И. Точечные дефекты висмута в кристаллах TlInTe₂, электрофизические и диэлектрические свойства твердых растворов / А.И.Наджафов, Р.С.Мадатов, К.Г.Халилова [и др.] // Физика твердого тела, – 2022. т. 64, в.7, –с. 816–822.

7. Наджафов, А.И. Растворимость висмута в кристаллах TlInTe₂, электрофизические и диэлектрические свойства твердых растворов / А.И.Наджафов, Р.С.Мадатов, К.Г.Халилова, [и др.] // Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Xəbərləri, Fizika–texnika və riyaziyyat elmləri seriyası, fizika və astronomiya, –Bakı: –2022. №2, –s.34–41.

8. Xəlilova, K.H. TlInTe₂ və TlInTe₂–Te kristallarının müxtəlif şüalanma dozalarında xüsusi elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığının tədqiqi // –Bakı: Fizika jurnalı,–2022. c.XXVIII, №3, – s.21–24.

9. Xəlilova, K.H. TlInTe₂, TlInTe₂–Te bərk məhlullarında γ –şüalanmanın kristalda yükün daşınma mexanizminə təsiri // –Bakı: Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Xəbərləri, Fizika–texnika və riyaziyyat elmləri seriyası, fizika və astronomiya, –Bakı:–2022. c.XLII, №5, –s.98–101.

10. Мадатов, Р.С., Наджафов, А.И., Мамедов, М.А., Балаев, В.С., Халилова, К.Г. Электрические, фотоэлектрические свойства соединения TlInTe₂ и влияние γ излучения на эти свойства // XXVI Международная научно–техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения Москва, –Россия: –25–27 мая, –2022, –с.442–444.

11. Khalilova, K.H. Interstitial solid solutions formed in the TlInTe₂–Bi system // Modern problems of theoretical &

experimental chemistry Baku State University, –Baku: –29–30 september,–2022, –p.330–331.

12. Madatov, R.S., Khalilova, K.H., Isgandarova, G.M. Physicochemical properties of $TlGaTe_2$ and $TlInTe_2$ solid solutions doped with the Te atom // Modern problems of theoretical & experimental chemistry Baku State University, –Baku: –29–30 september,–2022, –p.319–320.

13. Mədətov, R.S., Xəlilova, K.H., İsgəndərova, G.M. $TlInTe_2$ –Te bərk məhlulunda aşqarların təsiri ilə yaranan radiasiya defektləri // Sumqayıt Dövlət Universitetinin 60 illik yubileyinə həsr olunmuş Respublika elmi konfransı,–Sumqayıt: –17–18 noyabr, –2022, c.1, s.68–69.

14. Mədətov, R.S. $TlInTe_2$ kristallarında keçiriciliyin xüsusiyyətlərinə aşqar atomların və qamma kvantların birgə təsiri / K.H. Xəlilova, A.İ. Nəcəfov, G.M. İsgəndərova [və b.] // Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Xəbərləri Fizika–texnika və riyaziyyat elmləri seriyası, fizika və astronomiya,–Bakı: –2023. cild XLIII № 2, –s.58–65.



Dissertasiyanın müdafiəsi 27 iyun 2024–cü il tarixində saat 14⁰⁰– da Elm və Təhsil Nazirliyinin Radiasiya Problemləri İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən FD–1.21 Dissertasiya Şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ1143, B.Vahabzadə küç., 9, Bakı ş.

Dissertasiya ilə Elm və Təhsil Nazirliyinin Radiasiya Problemləri İnstitutunun kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları Elm və Təhsil Nazirliyinin Radiasiya Problemləri İnstitutunun rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 24 may 2024–cü il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 21.05.2024

Kağız formatı: A5

Həcm: 39 857

Tiraj: 100