

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

(TlInS₂)_{1-x}C_x BƏRK MƏHLULLARININ DİELEKTRİK VƏ ELEKTRİK XASSƏLƏRİNƏ İONLAŞDIRICI ŞÜALARIN TƏSİRİ

İxtisas: 2225.01 – Radiasiya materialşünaslığı

Elm sahəsi: Fizika

İddiaçı: **Xəyalə Bəybala qızı Orucova**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

BAKİ–2025

Dissertasiya işi Azərbaycan Respublikasının Elm və Təhsil Nazirliyinin Radiasiya Problemləri İnstitutunun “Nizamsız bərk cismlərin radiasiya fizikası” laboratoriyasında yerinə yetirilmişdir

Elmi rəhbərlər:

AMEA-nın müxbir üzvi, professor
Oqtay Əbil oğlu Səmədov

Fizika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Oktay Zeynal oğlu Ələkbərov

Rəsmi opponətlər:

Fizika elmləri doktoru, professor
Adil Polad oğlu Abdullayev

Fizika – riyaziyyat elmləri doktoru,
professor
Şakir Məmməd oğlu Nağıyev

Fizika elmləri doktoru, dosent
Fərid İbrahim oğlu Əhmədov

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Respublikasının Elm və Təhsil Nazirliyinin Radiasiya Problemləri İnstitutu nəzdində fəaliyyət göstərən **FD 1,21** Dissertasiya Şurası

Dissertasiya şurasının sədri:

Fizika elmləri doktoru, dosent
Nüşabə Nübarək qızı Hacıyeva

Dissertasiya şurasının
elmi katibi:

Fizika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent.
Günəl Tələt qızı İmanova

Elmi seminarın sədri:

Fizika –riyaziyyat elmləri doktoru,
professor
Rəhim Səlim oğlu Mədətov



İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Son illər ionlaşdırıcı şüalanmanın defektli yarımkeçiricilərdə yaratdığı təsirlər, müxtəlif sahələrdə tədqiqatların inkişafına təkan verməkdədir.

Müasir ölçü cihazlarının eyni zamanda birləşmələrin bir neçə parametrini ölçməyə imkan yaratması, özündə çoxsaylı xassələri birləşdirən birləşmələrin eləcə də kristalların və bərk məhlulların tədqiq olunmasını aktuallaşdırır.

$A^3B^3C^6_2$ tip birləşmələr sinfinə daxil olan laylı və zəncirvari strukturlu aşağı ölçülü xalkogenidlər bu sinif birləşmələrdəndir.

Son zamanlar onların elektrik, fotoelektrik və optik xassələrinin bir çox maraqlı xüsusiyyətləri, eləcə də praktik istifadə perspektivləri aşkar edilmişdir.

$A^3B^3C^6_2$ tip birləşmələr yüksək dielektrik nüfuzluğu, yüksək pyeoelektrik modulu, dielektrik histerezis ilgəyinin olması və unikal elektro-optik xüsusiyyətləri ilə seçilən senqetoelektrik xüsusiyyətlərə malikdir və buna görə də müasir texnologiyanın bir çox sahələrində geniş istifadə olunur: radiotexnika, elektroakustika, kvant elektronikasası və ölçmə texnologiyası, həmçinin yarımkeçiricilərdə tətbiqini həddindən artıq qiymətləndirmək olar.

$A^3B^3C^6_2$ tip birləşmələrin maraqlı doğuran xüsusiyyətlərindən biri də, onlarda güclü anizotropiyanın olmasıdır. Ədəbiyyat materiallarının təhlilindən məlum olduğu kimi, son illər anizotrop xassəli materiallara maraqlı nəzərəcarpacaq dərəcədə artmışdır. Bu kristallarda atomlar elə düzülüb ki, elektronların hərəkəti təkcə bir deyil, iki istiqamət ilə məhdudlaşır və qeyri-adi fiziki xüsusiyyətlərə malik olurlar. Həmçinin bu birləşmələrdə səthlərdə və səthlər arasında fərqli tip rabitələr (kovalent və molekulyar (Van-der-Vaals) mövcuddur.

Bu sinif kristallar eyni zamanda yarımkeçirici və senqetoelektrik xüsusiyyətləri göstərir, fotokeçiriciliyə malikdir və volt-ampere xarakteristikalarında qeyri-xətti effektlər müşahidə olunur.

Hal-hazırda $A^3B^3C^6_2$ tip üçqat birləşmələr sinfinə daxil olan laylı-zəncirvari kristallara maraqlı otaq temperaturundan yuxarı temperaturalarda onlarda ion keçiriciliyinin müşahidə olunması ilə

bağlıdır. Belə ki, Radiasiya Problemləri İnstitutunun Seqnetoelektriklərin radiasiya fizikası və Nizamsız bərk cismlərin radiasiya fizikası laboratoriyalarında $A^3B^3C^6_2$ tipli laylı və zəncirvari kristalları, geniş temperatur intervalında keçiricilikləri tədqiq olunub və göstərilib ki, bu birləşmələr elektron və ion keçiriciliyinə malikdirlər. Bu tip yarımkeçiricilər sinfini genişləndirmək üçün əvvəlcədən müəyyən edilmiş xüsusiyyətlər ilə axtarılması, son dövrlərdə tədqiqatçıların marağındadır. Məlumdur ki, bu birləşmələrin bəziləri və onların əsasında bərk məhlullar həm ferroelektrik, həm də yarımkeçirici xassələrə malikdirlər. $TlInS_2$ kristalının dielektrik nüfuzluğunun temperaturdan asılılığının tədqiqatlarından və diferensial termik analizi nəticələrinə əsasən stexiometriyadan hətta cüzi kənarlaşmalar da seqnetoelektrik $TlInS_2$ kristallarının dielektrik xüsusiyyətlərinə əhəmiyyətli təsir göstərir. Seqneto-yarımkeçirici materialların eyni zamanda həm ion həm də elektron keçiriciliyinə malik ola bilməsi, yeni xüsusiyyətli materialların axtarılmasına, alınmasına marağı artırır. Belə yeni xüsusiyyətli materialların sintezi zamanı, onların elektrofiziki xassələrinin, o cümlədən ion faza keçidinə uyğun temperaturların idarə edilməsi məqsədi ilə aşqar atomları (implantasiya şəkində) əlavə edilir. Araşdırmalar göstərir ki, yarımkeçirici kristallarda və ya digər məlum seqnetoelektrik- yarımkeçiricilərdə defekt və aşqar alt sistemlərinin struktur faza keçidləri mexanizmlərində rolu "klassik" yanaşmadan əsaslı şəkildə fərqlənir. Həmin materialların aşqar atomlar ilə aşqarlanması, daha dayanıqlı relaksor halını yaradaraq, struktur faza keçidlərinin sərhədlərini müəyyən etməyə köməklik edir. Məlum olduğu kimi, əvəz olunma, müxtəlif ion radiuslu atomların daxil edilməsi, implantasiya və qamma radiasiyanın təsirinə məruz qalmış kristallarda müxtəlif növ defektlər yaranır. Bu da öz növbəsində, materialın dielektrik, elektrik xassələrinə, temperatur asılılıqlarına, o cümlədən kristalların ion keçiriciliyinə və s. xassələrə güclü təsir edir. Ona görə bu xüsusiyyətləri özündə saxlayan birləşmələrin sintezi və onların elektrofiziki xassələrinin öyrənilməsi aktualdır.

Tədqiqatın obyektı və predmeti. Yarımkeçirici $TlInS_2$ birləşməsinə karbon atomunun daxil edilməsi ilə alınan

(TlInS_2) $_{0.95}\text{C}_{0.05}$ və (TlInS_2) $_{0.9}\text{C}_{0.1}$ bərk məhlulları, tədqiqatın obyektidir. Tədqiqatın predmeti isə həmin birləşmələrin dielektrik və elektrik xassələrində ionlaşdırıcı şüaların təsirinin tədqiqidir.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri. İonlaşdırıcı şüaların (γ -şüaların və H^+ ionlarının) (TlInS_2) $_{1-x}\text{C}_x$ bərk məhlullarının strukturuna, dielektrik, elektrik xassələrinə, kompleks impedans spektrlərinə, elektron-ion keçiriciliklərinə, ionların diffuziya və dielektrik relaksasiya hadisələrinə təsirinin öyrənilməsindən ibarətdir.

Qarşıya qoyulan məqsədə çatmaq üçün aşağıdakı məsələlərin həll edilməsi nəzərdə tutulmuşdur:

- (TlInS_2) $_{0.95}\text{C}_{0.05}$ və (TlInS_2) $_{0.9}\text{C}_{0.1}$ birləşmələrinin sintezi və yetişdirilməsi;

- Tədqiq edilən birləşmələrin γ -şüalarla və H^+ (protonlarla) şüalandırılması;

- $0 \div 0,8$ MQR dozalarında γ -şüalarla şüalandırılmış (TlInS_2) $_{0.95}\text{C}_{0.05}$ və (TlInS_2) $_{0.9}\text{C}_{0.1}$ birləşmələrinin dielektrik xassələrinin tədqiq edilməsi;

- $0 \div 0,8$ MQR dozalarında γ -şüalarla şüalandırılmış (TlInS_2) $_{0.95}\text{C}_{0.05}$ və (TlInS_2) $_{0.9}\text{C}_{0.1}$ birləşmələrinin elektrik keçiriciliklərinin tədqiq edilməsi;

- $0 \div 0,8$ MQR dozalarında γ -şüalarla şüalandırılmış (TlInS_2) $_{0.95}\text{C}_{0.05}$ və (TlInS_2) $_{0.9}\text{C}_{0.1}$ birləşmələrinin kompleks impedans spektrlərinin tədqiq edilməsi;

- $0 \div 0,8$ MQR dozalarında γ -şüalarla şüalandırılmış (TlInS_2) $_{0.95}\text{C}_{0.05}$ və (TlInS_2) $_{0.9}\text{C}_{0.1}$ birləşmələrinin dielektrik relaksasiya hadisələrini tədqiq etmək;

- H^+ (protonlarla) şüalanmadan əvvəl və sonra (TlInS_2) $_{0.95}\text{C}_{0.05}$ birləşməsinin dielektrik, elektrik xassələri və kompleks impedans spektrlərini tədqiq etmək;

- İmplantasiya olunmuş H^+ ionlarının (TlInS_2) $_{0.95}\text{C}_{0.05}$ birləşməsinin müxtəlif dərinliklərində paylanması və hədəf atomlarda vakant yerlərin müxtəlif dərinliklərdə paylanmasını tədqiq etmək;

Tədqiqat metodları. (TlInS_2) $_{1-x}\text{C}_x$ birləşmələri Bricmen-Stokbarqer metodu ilə yetişdirilmişdir. Birləşmələri sintez etmək üçün

diametri 0,02 m olan kvardsan hazırlanmış ampulalardan istifadə edilmişdir. Sintez olunan nümunələrin komponentləri kvars ampulalara doldurulur və ampulalarda vakuum şəraitində sobaya yerləşdirilir. Elektrik sobası 0,16-0,2 K/san sürəti ilə lazım olan temperatura kimi qızdırılır və sonra sobanın temperaturu otaq temperaturuna qədər aşağı salınır.

(TlInS₂)_{0.95}C_{0.05} və (TlInS₂)_{0.9}C_{0.1} birləşmələri Radiasiya Problemləri İnstitutunda fəaliyyət göstərən şüalanma mənbəyi Co⁶⁰ izotopundan ibarət γ -25 radiasiya tədqiqat qurğusunda şüalandırılmışdır. Qamma şüalarından qorunmaq üçün, mənbə suyun altında saxlanılır. Qamma şüa mənbəyi aşağı və yuxarı tutacaqlarla əlaqələndirilmiş doqquz radioaktiv çubuqlar, borulardan və kasetlərdən ibarətdir. Hal-hazırda qurğunun ümumi dozası 3500 Küridir. Co⁶⁰ izotopundan hazırlanmış radioaktiv çubuqlar çevrə boyunca simmetrik düzülmüşlər. Şüalanan nümunənin ölçüləri kameranın ölçüsündən kiçik olur və alınan doza yerləşmə vəziyyətindən asılı olaraq fərqli olur.

Nümunələrin ion implantasiyası Polşanın Lublin şəhərində yerləşən Maria Kuri-Sklodovska Universitetinin nəzdində olan Fizika İnstitutunun “İon Fizikası və İmplantasiyası” kafedrasında aparılmışdır. İmplantasiya UNİMAS 79 sürətləndiricisində otaq temperaturunda, 150keV enerjili $D=10^{16}$ ion/sm²san doza gücündə və 10° bucaq altında aparılmışdır.

(TlInS₂)_{1-x}C_x birləşmələrinin Rentgenoqrafik tədqiqatları Almaniyanın “Bruker” firmasının “D2 Phaser” difraktometrində (CuK_α-şüalanma, Ni-filtr) aparılmışdır.

İşığın Raman səpilməsinin spektri Nanofinder-30 üçölçülü konfokal mikroskopda (Tokyo Instr.Yaponiya), həyəcanlandırıcı işıq kimi dalğa uzunluğu $\lambda=532$ nm YAG: Nd lazerindən istifadə edilmişdir.

E7-20 və E7-25 immitans qurğularının köməkliyi ilə nümunələrin (C tgδ) və (Z φ) parametrlərini ölçərək, dielektrik nüfuzluğunun (ε)–nun həqiqi və xəyali hissələri eləcə də, impedans parametrləri qiymətləndirilmişdir. Təcürbələr 0,5K temperatur dəyişməsi ilə, 300÷600K temperatur və 25Hz÷1MHs tezlik intervallarında yerinə yetirilmişdir.

Müdafəyə çıxarılan əsas elmi müddəalar:

1. $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$, $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{C}_{0.1}$ birləşmələrinin quruluşları Rentgen difraksiyası və Işıqın Kombinasiyalı Səpilməsi metodları ilə TlInS_2 kristalının quruluşu ilə müqayisəli şəkildə araşdırılaraq müəyyən edilmişdir ki, bu birləşmələrin təcrübədən alınan rəqslərinin tezlikləri eynidir;

2. $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ və $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{C}_{0.1}$ birləşmələrinin otaq temperaturundan yuxarı temperaturalarda dielektrik nüfuzluğunun $\varepsilon(T)$ düz xəttə uyğun gəlməsi ion keçiricilərinə xasdır və $\text{tg}\delta$ -nın temperatur asılılıqlarında anomaliyaların müşahidə edilməsi, γ -şüalarının həmin anomaliyalara təsirinin araşdırılması;

3. $0 \div 0,8$ MQR udulma dozalarında γ -kvantlarla şüalandırılmış $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ və $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{C}_{0.1}$ birləşmələrində dielektrik nüfuzluğunun temperatur asılılıqlarında müşahidə edilən anomaliyalar və Koul-Koul diaqramlarının ($\varepsilon''(\varepsilon')$) düzxəttə yaxın olması, onlarda çoxlu sayda relaksatorların olması ilə müəyyən edilmişdir;

4. $0 \div 0,8$ MQR udulma dozalarında $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ və $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{C}_{0.1}$ birləşmələrinin sabit temperaturalarda, tam keçiricilikdə iştirak edən ion, elektron payını, ionların diffuziya və relaksasiya müddətlərini σ/σ_0 (t) asılılıqlarından təyin olunaraq qiymətləndiriləməsi;

5. $0 \div 0,8$ MQR udulma dozalarında γ -şüalarla şüalandırılmış $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ və $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{C}_{0.1}$ birləşmələrinin kompleks impedans spektrlərini tədqiq edərək, ekvivalent sxemlər təklif etmək və tezlik diapazonunu aşkar etmək;

6. H^+ (protonlarla) şüalanmanın geniş temperatur və tezlik intervalında $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ birləşməsinin dielektrik parametrlərində, kompleks impedans spektrlərində dispersiyaların müşahidə edilməsi və onların müqayisəli şəkildə araşdırılaraq tezlik diapazonunun müəyyən olunması;

7. H^+ protonlarla şüalanmadan əvvəl və sonra $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ birləşməsinin sabit elektrik sahəsində tam keçiricilikdə iştirak edən ion, elektron payının, diffuziya əmsalının və relaksasiya müddətinin σ/σ_0 (t) asılılıqlarından təyin olunaraq qiymətləndirilməsi;

8. 150 keV enerjili H^+ ionlarla implantasiya olunmuş $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ birləşməsində, ionların dərinlikdə paylanması,

implantasiya ionlarının yaratdığı vakansiyalar üzrə paylanmanı SRİM proqramı ilə modelləşdirilmiş və İKS spektrləri ilkin halla müqayisə olunmuşdur;

Tədqiqatın elmi yeniliyi:

1) Rentgen difraksiyası və Işığın Kombinasialı Səpilməsi analizlərinə görə TlInS_2 , $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$, $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{C}_{0.1}$ birləşmələrinin sturukturlarının bir-birini təkrar etməsi, qrafit (C) atomlarının In_4S_{10} kompleksində olan oktaedrik boşluqlarda yerləşməsi ilə izah edilir;

2) $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ və $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{C}_{0.1}$ birləşmələri otaq temperaturundan yuxarı temperaturlarda dielektrik nüfuzluğunun temperatur asılılıqlarında müşahidə edilən anomaliyalar ion faza keçidinə və $\text{tg}\delta$ -nın temperatur asılılıqlarındakı kənarəçıxmalar isə Debay tipli relaksasiya proseslərinə aid edilir, γ - şüalanmanın təsiri ion fazaya keçid temperaturunu artıraraq genişləndirir;

3) $0\div 0,8$ MQR udulma dozalarında γ - şüalarla şüalandırılmış $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ və $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{C}_{0.1}$ birləşmələrində Koul-Koul diaqramlarının ($\varepsilon''(\varepsilon')$) düzxəttə yaxın olması, onlarda çoxlu sayda relaksatorların olması ilə izah edilərək, Conşer modeli ilə polyarlaşmanın uzun və ya qısa məsafələr boyunca ionların yerdəyişməsi ilə əlaqələndirilir;

4) Sabit elektrik sahəsində $0\div 0,8\text{MQR}$ udulma dozalarında γ - şüalarla şüalandırılmış $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ və $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{C}_{0.1}$ birləşmələrinin tam keçiricilikdə ion və elektron payı, Vaqnerin polyarizasiya metodu ilə təyin olunmuş və ion keçiriciliyinin artması, elektrod yanı oblastda yaranan həcmi yüklərin polyarizasiyası hesabındadır;

5) Dəyişən elektrik sahəsində $0\div 0,8\text{MQR}$ udulma dozalarında γ - şüalarla şüalandırılmış $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ və $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{C}_{0.1}$ birləşmələrində ekvivalent sxem əsasında yüklərin daşınması prosesinə uyğun diaqramda, yarım çevrə alınır (qodoqrafın yüksək tezlikli hissəsi). Elektrod yanı oblastın həcmi yüklərin polyarizasiyası hesabına (qodoqrafın aşağı tezlikli hissəsi) meyilli düz xətt uyğun gəlir;

6) Sabit elektrik sahəsində $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ və $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{C}_{0.1}$ birləşmələrində həcmi yüklərin polyarizasiyasının artması hesabına

elektron payı, relaksasiya müddətinin azalmasına və ion payı, diffuziya əmsalı qiymətlərində artım müşahidə olunur;

7) H^+ ionlarla şüalanmadan əvvəl və sonra $(TlInS_2)_{0.95}C_{0.05}$ birləşməsinin dielektrik parametrlərində, kompleks impedans spektrlərində dispersiyaların artımı, laylı quruluşlu birləşmədə aşağı enerjili protonların təsiri nəticəsində bu birləşmədə interstisial tipli defektlərin yaranması ilə bağlıdır.

8) H^+ (protonlarla) şüalanmadan əvvəl və sonra $(TlInS_2)_{0.95}C_{0.05}$ birləşməsində implantasiya ionlarının yaratdığı defektlər səthə yaxın oblastda amorflaşmanın yaranması ilə əlaqədardır;

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti. Dissertasiyada əldə olunmuş nəticələr elektrik və optik informasiyanın toplanması üçün sistemlərin hazırlanmasında, elektron çevricilərində, yaddaş elementlərində və nanoelektronikada geniş istifadə edilə bilər. İşdə kiçik ion radiusuna malik atomların bərk cisimlərə daxil edilməsi, H^+ ionları ilə implantasiya və qamma şüalanma, fiziki xassələrin idarə olunmasına gətirir ki, bu da öz növbəsində həmin birləşmələrin müxtəlif sahələrdə istifadə imkanlarını əhəmiyyətli dərəcədə artırır.

İşin absorbsiyası: Dissertasiyanın nəticələri aşağıdakı konfranslarda məruzə edilmişdir:

-IX International conference Semipalatinsk test site: Legacy and Prospects for Scientific and Technical Potential development (07-09 september, 2021, Kurchatov, Republic of Kazakstan.).

-IX International scientific conference “Actual Problems of Solid State Physics” (22-26 november, 2021, .Minsk, Belarus.).

- Radiasiya Texnologiyaları və onun tətbiqi “Ulu öndər Heydər Əliyevin anandan olmasının 100 illiyinə həsr olunmuş Elmi-Texniki konfrans”.(5 may, 2023, Bakı, Azərbaycan.).

-X International Scientific Conference “Actual Problems of Solid State Physics” (May 22-26, 2023, Minsk, Belarus.).

-Radiasiya Təhlükəsizliyi Problemləri: Regional aspektlər elmi texniki konfrans. (18-19 oktyabr, 2023, Nəhcivan.)

və həmçinin Azərbaycan Respublikasının Elm və Təhsil Nazirliyinin Radiasiya Problemləri İnstitutunun seminarlarında çıxış edilmişdir.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı. Təqdim olunan dissertasiya işi Azərbaycan Respublikasının Elm və Təhsil Nazirliyinin Radiasiya Problemləri İnstitutunun “Nizamsız bərk cisimlərin radiasiya fizikası” laboratoriyasında yerinə yetirilmişdir.

Aparılan tədqiqatda iddiaçının şəxsi töhfəsi. Dissertasiya işində iddiaçı ədəbiyyat mənbələrinin öyrənilməsi əsasında tədqiqat işlərinin aktuallığını əsaslandıraraq, tədqiqat metodlarının seçilməsi və onların elmi problemlərin həllində tətbiqini, tədqiqatın bütün mərhələlərində planlaşdırılmış təcrübələrin icrasını, əldə olunan nəticələrin sistemləşdirilməsini həyata keçirilmişdir. Bununla yanaşı, təcrübələrin nəticələrinin təhlili, elmi konfranslarda işin müzakirəsi və əldə edilmiş nəticələr əsasında elmi məqalələrin hazırlanması da iddiaçı tərəfindən yerinə yetirilmişdir.

Çap edilmiş işlər. Dissertasiya işinin mövzusunə aid respublika və xarici elmi jurnallarda 12 elmi əsər, o cümlədən 7 məqalə (məqalələrdən 2-si Web of Science və Scopusda dərc olunmaqla), 5 konfrans materialı nəşr olunmuşdur.

Dissertasiyanın quruluşu və həcmi. Dissertasiya işi girişdən, dörd fəsildən, nəticələrdən və ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. Təqdim olunan dissertasiya işində 44 qrafik, 10 şəkil, 5 cədvəldən və ümumilikdə 182400 işarələrdən istifadə olunmuşdur.

İşin əsas məzmunu.

Girişdə təqdim olunan dissertasiya işinin mövzusunun aktuallığı əsaslandırılmış, dissertasiya işinin məqsədi, elmi yeniliyi və praktiki əhəmiyyəti göstərilmiş və müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar verilmişdir. Həmçinin girişdə işin nəticələrinin təsdiq edilməsi, fəsilər üzrə əsas məzmunu qısa şərh olunmuşdur. Dissertasiya işinin **I fəslində** $A^3B^3C^6_2$ tip birləşmələr sinfinə daxil olan tallium əsaslı xalkogenidlərin elektrofiziki xassələri, bu xassələrə protonların implantasiyanın və qamma şüalarının təsiri ilə bağlı ədəbiyyat məlumatları araşdırılmışdır. Həmçinin bu fəsildə, ədəbiyyat materiallarının təhlili nəticəsində ion keçiriciliyinin nəzəri əsasları verilmişdir.

Dissertasiya işinin **II fəslində** tədqiq olunan materialların sintez və yetişdirilmə prosesi şərh olunmuşdur. Bundan başqa, bu fəsildə elektrik və dielektrik xassələrini tədqiq etmək üçün qurğuların sxemi (qurğu Radiasiya Problemləri İnstitutunun, Nizamsız bərk cisimlərin radiasiya fizikası laboratoriyasında qurulmuşdur) və onların işləmə prinsipi, ionlaşdırıcı şüalarla şüalanma üsulları şərh edilmişdir.

Dissertasiyanın **III fəslində** Rentgen analizinə əsasən müəyyən edilmişdir ki, TlInS_2 , $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ və $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{C}_{0.1}$ difraktoqrammaları yalnız reflekslərin intensivliklərinin cüzi fərq ilə oxşarıdırlar, $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ və $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{C}_{0.1}$ birləşmələrinin strukturları TlInS_2 kristalının $a=10,96 \text{ \AA}$; $b=10,97 \text{ \AA}$; $c=15,14 \text{ \AA}$; $\beta=100,0^\circ$; $Z=64$, faza qrupu $C 2/c$. parametrlərlə monoklin strukturu təkrar edirlər. İşdə həmçinin $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ və $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{C}_{0.1}$ birləşmələrinin Raman spektrləri çəkilmiş və TlInS_2 kristalı üçün ədəbiyyatda məlum olan spektrlər ilə müqayisəli şəkildə analiz edilmişdir.

Rentgen struktur analizinə və işığın Kombinasional Səpilməsi ilə aparılan eksperimentlərdən alınan nəticələr göstərir ki, TlInS_2 , $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ və $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{C}_{0.1}$ birləşmələrinin strukturları bir-birindən fərqlənmirlər. Başqa sözlə, qrafit (C) atomlarının In_4S_{10} kompleksində olan oktaedrik boşluqlarda yerləşərək, daxil olma bərk məhlullarını əmələ gətirdiyini deməyə imkan verir.

Qeyd etmək lazımdır ki, $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ və $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{C}_{0.1}$ birləşmələri ilk dəfə bizim tərəfimizdən sintez olunaraq yetişdirilib və onların fiziki xassələri birinci dəfə öyrənilir.

Bu fəsildə $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ və $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{C}_{0.1}$ birləşmələrinin elektrik və dielektrik xassələrinin $300\div 600\text{K}$ -də tədqiqi nəticələri verilmişdir. $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ və $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{C}_{0.1}$ birləşmələrinin dielektrik nüfuzluluğunun temperatur asılılıqları $\epsilon'(T)$ tədqiq edilmiş və şəkil 1.(a,b) -də təsvir edilmişdir. Qrafiklərdə, dielektrik nüfuzluluğunun temperatur asılılıqlarında aşağı intensivlikli və yüksək intensivlikli maksimumlar müşahidə edilmişdir.

Belə ki, $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ birləşməsində $T = 370\text{K}$, $T = 415\text{K}$ və $T = 532\text{K}$ temperaturlarda, $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{C}_{0.1}$ üçün isə $\epsilon(T)$ asılılıqlarında $T = 396\text{K}$, $T = 503\text{K}$ və $T = 555 \text{ K}$ temperaturlarında anomaliyalar müşahidə edilmişdir. Anomaliyaların müşahidə edilməsi, onlarda

çoxlu sayda relaksatorların olması ilə əlaqələndirilir. Aşağı temperaturda sərbəst hərəkət edən ionlar azdır və onlar çox yavaş hərəkət edirlər, buna görə də əslində ion keçiriciliyi çox kiçik olur. Temperaturun artması düyünlərarası ionların sayını artırır. Buna görə, qızdırılan zaman kristalın ion keçiriciliyi tədricən artmalıdır.

Qeyd etmək lazımdır ki, $\varepsilon'(T)$ qrafiklərin xarakteristik forması ion keçiriciliyinə uyğun gəlir, belə ki, ion keçiriciliyi halında ε' qiyməti faza keçidinə yaxın temperaturlarda kəskin artır. Şəkil 1.(a,b)-də şəkil üstü qrafiklərdə maksimumlara yaxın temperaturlarda dielektrik nüfuzluğunun $\ln(\varepsilon)$ -nın $1000/T$ asılılıqlarındakı nöqtələr bir düz xətt üzərində yığılır ki, bu da birləşmələrin ion fazaya keçdiyini deməyə imkan verir və dielektrik nüfuzluğu eksponensial qanununa tabe olaraq aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur¹:

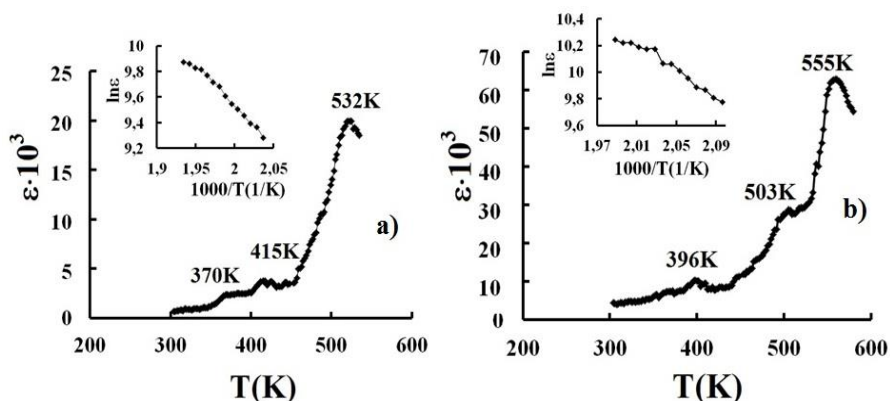
$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \exp(-\Delta E_a / k T) \quad (1)$$

burada ΔE -aktivləşmə enerjisi, k -Bolsman sabitidir

Dielektrik nüfuzluğu (1) tənliyindən, otaq temperaturlarından yuxarı temperaturlarda ionların aktivasiya enerjilərini hesablaya bilərik. $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ birləşməsinin aktivasiya enerjiləri $\Delta E_{a1}=0.6\text{eV}$, $\Delta E_{a2} = 0.38\text{eV}$, $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{C}_{0.1}$ üçün isə $\Delta E_{a1} = 0.54\text{eV}$, $\Delta E_{a2} = 0.32\text{eV}$, $\Delta E_{a3} = 0.22\text{eV}$ qiymətləri hesablanmışdır.

Məlumdur ki, ion keçiriciliyinin əmələ gəlməsinin əsas şərtlərindən biri də strukturda yüksək poyarizasiyalı kationların olması (Pb^{2+} , Bi^{3+} , Tl^{1+} və sair) və həmçinin ionların hərəkətiliyini əlverişli edən böyük boşluqların olmasıdır. Yuxarıda deyilənləri nəzərə alaraq demək olar ki, TlInS_2 , $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ və $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{C}_{0.1}$ birləşmələrində aşağı tezliklərdə dielektrik nüfuzluğunun böyük qiymətlər alması, ion polyarizasiyası mexanizminə əsaslanır. Buna səbəb, Tl^{1+} alt qəfəsinə, Tl^{1+} ionların vakansiyalar üzrə diffuziya etməsidir.

¹ Лидьярд А. Ионная проводимость кристаллов. Изд-во ИЛ.М., – 1962, с.222.



Şəkil 1. (a)(TlInS₂)_{0.95}C_{0.05} və (b)(TlInS₂)_{0.9}C_{0.1} birləşmələrinin dielektrik nüfuzluğunun temperatur asılılığı.(şəkil üstü əlavədə lnε (1000/T))

Kristallokimyəvi mülahizələrdən belə demək olar ki, (TlInS₂)_{0.95}C_{0.05} və (TlInS₂)_{0.9}C_{0.1} birləşmələrinin strukturu yüksək polarizasiyalı Tl⁺ kationlarının hərəkətliliyi üçün ən əlverişlidir. Kristalın qəfəs parametrlərinə görə, karbon atomları TlInS₂ monoklin qəfəsinin [In₄S₁₀] tetraedral komplekslərinin daxilində InS₄ tetraedrləri arasında oktaedral boşluqları tuta bilər (karbon ionlarının kiçik ölçülərinə görə (0,2Å)) və nəticədə (TlInS₂)_{1-x}C_x birləşmələrində elektromüsbət atomun yerləşməsi, kükürd və tallium atomları ilə əlaqəni zəiflədəcəkdir.

Dissertasiyanın III fəslində həmçinin (TlInS₂)_{0.95}C_{0.05} və (TlInS₂)_{0.9}C_{0.1} birləşmələrində dielektrik nüfuzluğunun və dielektrik itgi bucağının tangensinin tezlikdən asılılıqlarının tədqiqi nəticələri verilmişdir. Tədqiqatlar 300÷600 K-də aparılmışdır. Dielektrik nüfuzluğunun və dielektrik itgi bucağının tangensinin tezlikdən asılılıqlarında dispersiyalar müşahidə edilmişdir. Ədəbiyyatdan məlum olduğu kimi, bu cür effektlər Debay tipli relaksasiya proseslərinə uyğundur². Debay tipli relaksasiya proseslərdə dəyişən tezlikli elektrik sahəsində dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələrinin dispersiyasına aiddir. Dielektrik kəmiyyətlərinin maksimumlarının

² Желудов, И.С. Физика кристаллических диэлектриков / И.С. Желудов.– Москва: Наука, – 1968. -463с.

ölçü sahəsinin tezliyindən xarakterik asılılığı, anomaliyanın relaksasiya xarakterli olduğunu göstərir. Bu halda, relaksasiyaya səbəb kristal qəfəsdə zəif əlaqəli ionların mövcudluğudur.

$\text{tg}\delta(T)$ asılılıqlarında aşağı və yüksək temperaturda maksimumlar müşahidə edilmişdir. Ölçmə tezliyinin artması ilə, $\text{tg}\delta(T)$ pikləri daha yüksək temperatur oblastına doğru sürüşür və $\text{tg}\delta$ -nın qiyməti azalır. Tədqiq olunan birləşmələr üçün, baryerdən keçən yük daşımının tezliyi $\lg f_{\max}$ -un $1/T$ asılılığından hesablanmışdır. Bu asılılıqlardan alınan düz xəttin meyl bucağı, baryerdən keçən yük daşımının bir aktına düşən enerjini göstərir və bu enerji $E_{a1} = 0.24\text{eV}$ və $E_{a2} = 0.26\text{eV}$ -dur. $1/T \rightarrow 0$ ilə düz xəttin ekstrapolyasiyasından sıçrayışın tezliyi (relaksorların tezliyi) $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ üçün $\nu = 8 \cdot 10^{12}$ Hs, $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{C}_{0.1}$ üçün isə $\nu = 4 \cdot 10^{12}$ Hs təyin olunmuşdur. Alınan tezliyin qiyməti elektron proseslər üçün çox azdır. Bu tezlik, uzaq infraqırmızı spektrdəki fononların tezliyinə uyğun gəlir. Yəni ağır Tl^{+1} atomlarının rəqslərinə uyğundur.

Üçüncü fəsilə müxtəlif sabit temperaturlarda bu birləşmələrin Koul-Koul diaqramları qurulmuş və tədqiq edilmişdir. Göstərilmişdir ki, $\varepsilon(T)$ və $\text{tg}\delta(T)$ anomaliyaların baş verdiyi temperatur oblastlarında Koul-Koul diaqramları monoton xarakter daşıyır və $\varepsilon''(\varepsilon')$ kompleks müstəvidə asılılıqlar klassik Koul-Koul yarım dairəsinə bənzəmir. $\varepsilon''(\varepsilon')$ asılılığındakı monotonluq (yəni düzxəttə yaxınlığı) dielektriklər üçün energetik yanaşmaya əsaslanan universal Conşer modeli çərçivəsində mümkündür³. Conşer modelində polyarlaşma uzun və ya qısa məsafələr boyunca ionların yerdəyişməsi ilə izah edilir. Yüklərin diskret yerdəyişməsi ilə qəfəs relaksasiyası hesabına yaranan polyarlaşmanın ekranlaşması müşahidə olunur.

TlInS_2 , $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ və $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{C}_{0.1}$ birləşmələrinin "c" oxu istiqamətində dielektrik xassələri müqayisəli şəkildə öyrənilmiş, alınan nəticələr bu fəsilə verilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ "c" oxu istiqamətdə dielektrik nüfuzluğu TlInS_2 kristalından (eyni temperaturda) 30 dəfə böyükdür. Eyni zamanda

³ Jonscher, A.R. Analysis of thermally stimulated depolarisation in "non-debye" dielectrics // Journal of Electrostatics, -1977, 3, -p. 53-68.

həmin istiqamətdə və həmin temperaturda $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{C}_{0.1}$ dielektrik nüfuzluğu $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ -dan 1,15 dəfə çoxdur.

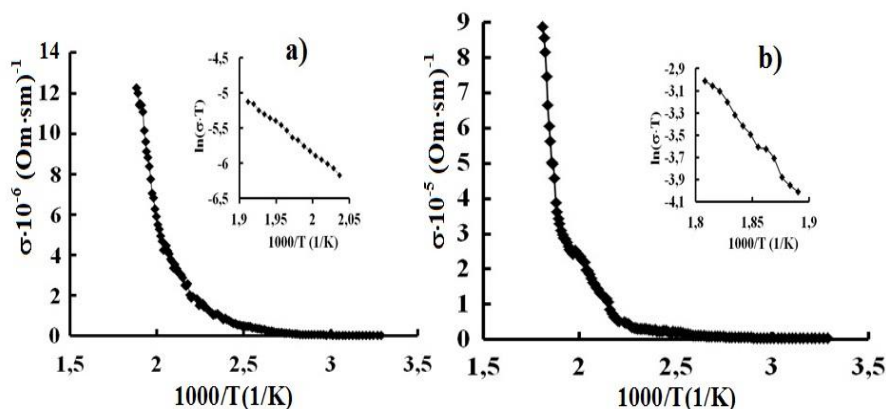
Üçüncü fəsildə həmçinin, $(\text{TlInS}_2)_{1-x}\text{C}_x$ ($x=0, 0.05, 0.1$) sistemli bərk məhlulların elektrik xassələri 300÷600K tədqiq edilmiş, alınan nəticələr şəkil 2.-də verilmişdir. Şəkil 2.-yə əsasən, otaq temperaturundan yuxarı temperaturlarda keçiriciliyin qiymətində bir neçə dəfə artma müşahidə olunur.

Ədəbiyyat materiallarında $\ln(\sigma \cdot T)$ -nin $(1/T)$ asılılığından ion keçiriciliyinin aşağıdakı formula ilə təyin olunduğu qeyd olunmuşdur. Məlum olduğu kimi, ion keçiriciliyinə malik birləşmələrdə keçiriciliyin temperatur asılılığı Arrenius qanununa tabe olur⁴.

$$\sigma \cdot T = \sigma_0 \cdot \exp(-\Delta E_a/kT) \quad (2)$$

Burada ΔE_a -aktivasiya enerjisi, k -Bolsman sabitidir. (2) düsturundan istifadə edərək $(\text{TlInS}_2)_{1-x}\text{C}_x$ ($x=0.05, 0.1$) sistemli bərk məhlullar üçün aktivləşmə enerjiləri hesablanmışdır. $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ tərkibli bərk məhlullar üçün isə $\Delta E = 0,3\text{eV}$, $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{C}_{0.1}$ bərk məhlulu üçün isə $\Delta E = 0,26\text{ eV}$ bərabərdir. Göstərilmişdir ki, 450÷600K –də elektrik keçiriciliyinin ədədi qiymətinin sıçrayış şəkilli artması şəkil 2.(a,b) tədqiq olunan birləşmələrdə yüksək mobilliyə malik ionların olması, temperaturun artması ilə onların sayının artması və həmin ionların vakansiyalar üzrə diffuziyası ilə əlaqədardır.

⁴ Лидьярд А. Ионная проводимость кристаллов. Изд-во ИЛ.М., – 1962, с.222.



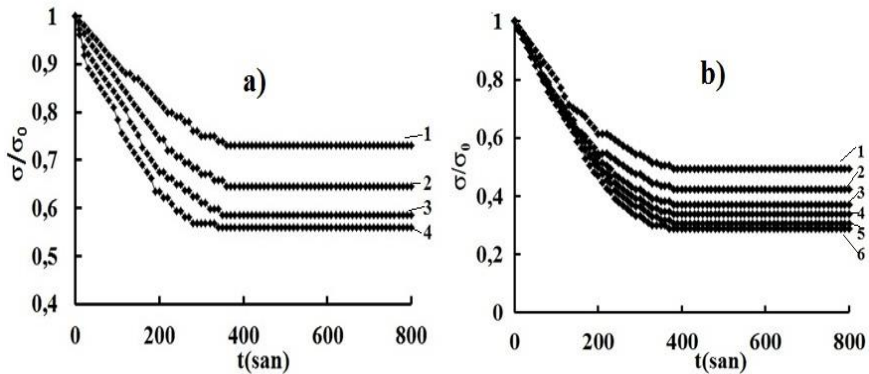
Şəkil 2. (a) $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ və (b) $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{C}_{0.1}$ birləşmələrinin elektrikkeçiriciliklərinin temperatur asılılığı (şəkil üstü əlavədə $\ln(\sigma \cdot T)$ -nin $(1/T)$ -dən asılılığı)

Dissertasiya işinin yerinə yetirilməsində həmçinin müxtəlif sabit temperaturalarda keçiriciliyin ion və elektron payları qiymətləndirilmiş və alınmış nəticələr bu fəsildə verilmişdir. Keçiriciliyin elektron və ion komponenti Vaqnerin polyarizasiya metodu ilə izah edilir⁵. Vaqner metoduna görə nümunəyə sabit elektrik sahəsi verilir. Sabit elektrik sahəsinin təsiri altında mobil ionlar nümunə-elektrod sərhədində mənfi yüklənmiş elektrodun yaxınlığında toplanır. Elektrik sahəsinin təsiri yox olarsa, elektrik keçiriciliyini ölçərkən, keçiriciliyin zamandan asılı düşdüyü müşahidə edilir. Bu halda, nümunə olan ölçmə yuvasında polyarizasiya prosesinin baş verməsinə səbəb olur ki, bu da, nümunə-elektrod sərhədində ikiqat elektrik layının əmələ gəlməsinə səbəb olur.

Beləliklə, nümunə həcmində konsentrasiya qradienti yaranır. Müsbət yüklü ionların konsentrasiya qradientlərinin mövcudluğu, ionların dreyf axınının tərsi istiqamətində diffuziya axınının yaranmasına yol açır.

⁵ Wagner, C. Z. Electrochem.Berichte bunsenges // Phys. Chem., -1956, 60, - p. 4.

Şəkil 3.(a,b)-də bu birləşmələrin sabit elektrik sahəsində, müxtəlif sabit temperaturalarda elektrik keçiriciliyinin zamandan asılılıqları verilmişdir. Şəkil.3.(a,b)-də elektrik keçiriciliyi əvvəlcə eksponensial olaraq azalır və müəyyən zamandan sonra dəyişməz qalır.



Şəkil 3. a) $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{Co}_{0.05}$ birləşməsinin $\sigma(t)/\sigma_0(t)$ asılılığı
1-350K; 2-400K; 3-450K; 4- 500 K.

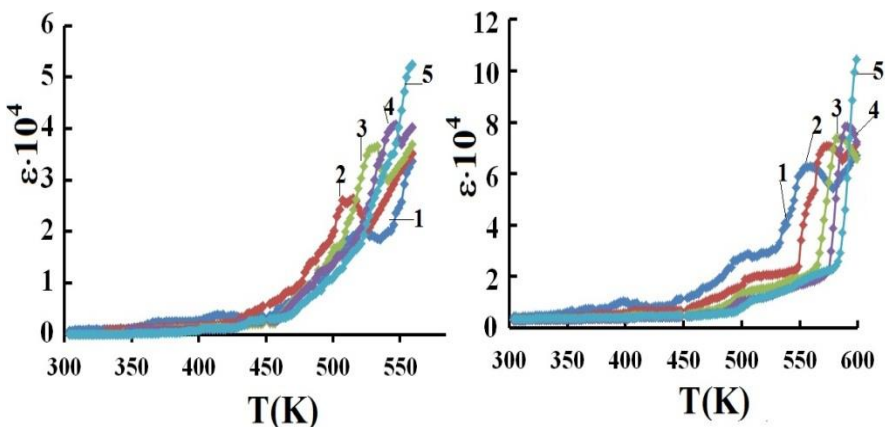
b) $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{Co}_{0.1}$ birləşməsinin $\sigma(t)/\sigma_0(t)$ asılılığı
1-350K; 2-400K; 3-470K; 4-500K; 5-550K; 6-600K

Elektrik keçiriciliyinin qeyri-xətti düşməsi nisbətən yuxarı temperaturalarda sürətlə baş verir. Sabit elektrik sahəsində cərəyanın zamandan asılı düşməsi elektrodların yaxınlığında həcmi yüklərin qarşılıqlı kompensasiyası hesabına olur. Hesablamalar nəticəsində göstərilmişdir ki, həcmi yüklərin elektrod sərhəddində polyarizasiyası temperaturdan asılı olaraq infra-aşağı tezlik oblastında artaraq, $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{Co}_{0.05}$ bərk məhlulu üçün diffuziya əmsalı $(4 \div 7) \cdot 10^{-10} \text{ (m}^2/\text{san)}$ və $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{Co}_{0.1}$ birləşməsində diffuziya əmsalı isə temperaturdan asılı olaraq $(4,5 \div 9,5) \cdot 10^{-10} \text{ (m}^2/\text{san)}$ intervalında dəyişir. Yəni temperaturun artması ilə, ion keçiriciliyində iştirak edən ionların konsentrasiyasının artması deməkdir. Keçiriciliklərin nisbətinin zamandan asılılığına əsaslanaraq $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{Co}_{0.05}$ sistemli bərk məhlulunun tam

keçiricilikdə ion payı 44%, həmin temperaturda isə $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{C}_{0.1}$ birləşməsi ion payı 70%-ə qədər artır.

Bu fəsildə həmçinin $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ və $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{C}_{0.1}$ birləşmələrinin müxtəlif temperturlarında impedans spektrləri öyrənilmişdir. Bərk cisimlərin mikrostrukturunu nəzərə alınmaqla yükdaşınma haqqında məlumat almaq üçün impedans spektroskopiyaya (İS) metodundan istifadə edilir. Göstərilmişdir ki, $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{C}_{0.1}$ sistemli bərk məhlulunun kompleks müstəvidəki ($Z''=f(Z')$) 300K, 380K, 450K, 550K –də impedans spektrləri verilmişdir. Burada da, kompleks müstəvidə həcmi yüklərin yığılmasına uyğun tezlik intervalı 25 Hs-dən 2kHs- ə qədər dəyişir və müxtəlif sabit temperaturda tezliyin maksimumunda yükdaşınmaya uyğun tezliyin qiyməti 500Hs-dən 50kHs-ə qədər dəyişir.

Dissertasiya işinin dördüncü fəslində qamma kvantlarla şüalandırılmış ($0 \div 0,8\text{Mqr}$) $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ və $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{C}_{0.1}$ birləşmələrinin otaq temperaturundan yuxarı temperaturalarda kompleks $\varepsilon^*(T)$ dielektrik nüfuzluğunun temperatur asılıqlarının tədqiqi nəticələri verilmişdir şəkil 4.(a,b).



Şəkil 4. (a) $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ və (b) $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{C}_{0.1}$

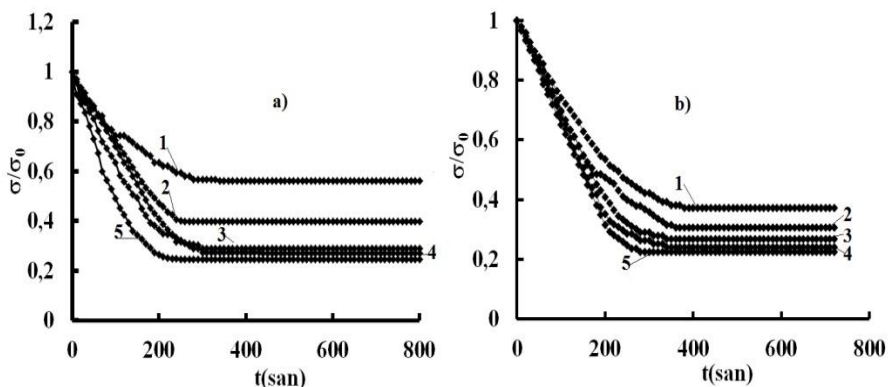
birləşmələrinin dielektrik nüfuzluğunun temperatur asılılığı:

1-0; 2-0,2 Mqr ; 3-0,4Mqr;4-0,6Mqr; 5-0,8Mqr.

Müəyyən edilmişdir ki, $0 \div 0.8 \text{MQr}$ şüalanma dozalarında dielektrik nüfuzluğunun ədədi qiyməti artır, maksimumlar temperaturun artması istiqamətində dəyişir və ion keçiriciliyinə aid olan temperatur intervalı genişlənir. Defektin istiliklə əmələgəlməsi əgər digər defektə yaxındırsa (məsələn, aşqar atomu) elektron və ya vakansiyanı qəbul edə bilər, bu da kristalın sərbəst enerjisinin azalmasına səbəb olur. Əgər əmələgələn defekt öz energetik səviyyəsini qadağan olunmuş zonaya gətirərsə və əmələgələn səviyyədə cərəyan daşıyarsa yaxınlıqdakı defektərin mövcudluğu vacib olmur. Əmələ gələn defekt, yükdaşıyıcının tutulması ilə enerji baxımından sərfəlidir. Məlumdur ki, kristalların nizamsızlıq dərəcəsini γ -radiasiyanın təsiri altında dəyişmək mümkündür. Yarımkəçiricilərdə γ - kvantlarının təsiri altında vakansiyalar, düyünlərarası atomlar şəklində radiasiya defektləri müxtəlif növ defekt komplekslərinin əmələ gəlməsinə səbəb olur. Bu proseslərdə əsas rol γ -kvantlarla şüalanma nəticəsində yaranan ionlaşma tipli defektlər (yükli defektlər) oynayır

Dördüncü fəsilə müxtəlif sabit temperaturalarda $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ və $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{C}_{0.1}$ birləşmələrinin sabit elektrik sahəsində $0 \div 0.8 \text{MQr}$ udulma dozası intervalında $\sigma/\sigma_0(t)$ nisbi keçiriciliyinin zamandan asılılığı öyrənilmişdir. Şəkil 5.(a,b)-də müxtəlif sabit temperaturalarda, $0 \div 0.8 \text{MQr}$ doza intervalında γ -şüalarla şüalanmış $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ və $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{C}_{0.1}$ elektrik keçiriciliklərinin kinetikaları verilmişdir.

Şəkil 5.(a,b)-də, γ -şüalarının udulma dozası artdıqca ümumi keçiricilikdə elektron payı azalır və nəticədə ion payı artır. Alınan təcrübi nəticələr göstərir ki, $0 \div 0.8 \text{MQr}$ udulma dozalarında uyğun olaraq, $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ və $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{C}_{0.1}$ birləşmələrinin tam keçiricilikdə ion payı 44%-dən 75% ə və 63%-dən 78,5%-ə qədər artır.



Şəkil.5 Sabit sahədə $T=550K$ (a) $(TlInS_2)_{0.95}C_{0.05}$ və (b) $T=470K$ $(TlInS_2)_{0.9}C_{0.1}$ elektrik keçiriciliklərin nisbətinin zamandan asılılığı:

1-0; 2-0,2 MQr ; 3-0,4MQr;4-0,6MQr; 5-0,8MQr.

Relaksasiya müddətinin və diffuziya əmsalının udulma dozəsindən asılılığı cədvəl 1-də verilmişdir. Cədvəl 1-də udulma dozəsinin artması ilə relaksasiya müddəti azalır və diffuziya əmsalının qiyməti isə uyğun olaraq artır.

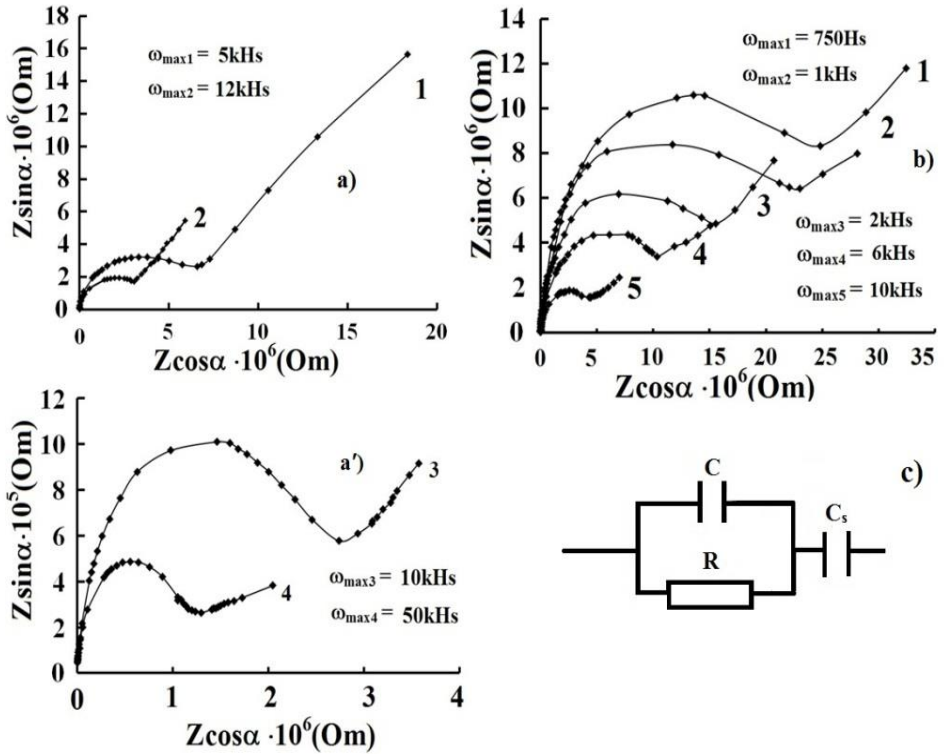
Cədvəl 1

$(TlInS_2)_{0.95}C_{0.05}$ və $(TlInS_2)_{0.9}C_{0.1}$ üçün relaksasiya müddətinin (τ) və diffuziya əmsalının (D) udulma dozəsindən asılılığı.

$(TlInS_2)_{0.95}C_{0.05}$			$(TlInS_2)_{0.9}C_{0.1}$	
D_{uddoza} MQr	τ san	$D_{diffuz} \frac{m^2}{san}$	τ san	$D_{diffuz} \frac{m^2}{san}$
0	1728,9	$2,3 \cdot 10^{-10}$	1008,79	$5,7 \cdot 10^{-10}$
0,2	1083,05	$3,6 \cdot 10^{-10}$	842,61	$6,8 \cdot 10^{-10}$
0,4	807,83	$4,9 \cdot 10^{-10}$	761,158	$7,6 \cdot 10^{-10}$
0,6	742,34	$5,38 \cdot 10^{-10}$	704,402	$8,2 \cdot 10^{-10}$
0,8	700,71	$5 \cdot 10^{-10}$	669,797	$8,6 \cdot 10^{-10}$

$(TlInS_2)_{0.95}C_{0.05}$ birləşməsi üçün $0 \div 0,8MQr$ uyğun olaraq relaksasiya müddəti (τ) 1728 san-dən 700san-ə qədər azalır, diffuziya

əmsalı (D) $2,3 \cdot 10^{-10} \text{m}^2/\text{san}$ -dən $5 \cdot 10^{-10} \text{m}^2/\text{san}$ -ə qədər artır, ion keçiricilikləri isə 44%-dən 75%-ə artır. $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{C}_{0.1}$ birləşməsi üçün həmin udulma dozalarında uyğun olaraq relaksasiya müddəti (τ) 1008 san-dən 669san-ə qədər azalır, diffuziya əmsalı (D) $5,7 \cdot 10^{-10} \text{m}^2/\text{san}$ -dən $8,6 \cdot 10^{-10} \text{m}^2/\text{san}$ -ə qədər artır, ion keçiricilikləri isə 63%-dən 78,5% -ə qədər artır.



Şəkil 6. (a),(a') $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ və (b) $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{C}_{0.1}$ birləşmələrinin qodoqraflarının kompleks müstəvidəki impedans spektrlərinin udulma dozalarından asılılığı:

1-0MQr; 2-0,2MQr; 3-0,4MQr; 4-0,6MQr; 5-0,8MQr

c) Qodoqraflara uyğun ekvivalent sxem.

Şəkil 6.-da $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ (a),(a') və $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{C}_{0.1}$ (b). birləşmələrinin $Z'' = f(Z')$ kompleks müstəvidəki impedans

spektrlərinin udulma dozalarından asılılıqları verilmişdir. Şəkillərdən görüldüyü kimi, qodoqraf asılılıqlarını iki hissəyə ayırmaq olar. Birinci hissə nümunənin xarakterizə edir və yarımçevrə şəklində olur (yüksək tezlikli hissə). Digəri isə nümunə-elektrod sərhəddini xarakterizə edir və absis oxla bucaq altında düzxətt şəklindədir (aşağı tezlikli oblast).

Udulma dozası artıqca $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}(\text{a})$ və $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{C}_{01}(\text{b})$ qodoqrafların maksimumlarına uyğun tezliklər, yüksək tezliklər oblastına tərəf sürüşür. Tezlik maksimumları uyğun olaraq $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ üçün $5\text{kHz} \div 50\text{kHz}$, $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{C}_{01}$ üçün isə $750\text{Hz} \div 10\text{kHz}$ intervalında dəyişir. $Z'' = f(Z')$ kompleks müstəvidəki impedans spektrlərinə uyğun ekvivalent sxem Şəkil 6(c) verilmişdir.

Bu fəsildə H^+ ionları ilə şüalanmış $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ birləşməsinin dielektrik xassələrinin tədqiqi nəticələri verilmişdir. Göstərilmişdir ki, 150keV enerjili, $10^{16}\text{ion}/\text{sm}^2$ şüalanma dozalı protonlarla şüalandırılmış $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ birləşməsinin dielektrik nüfuzluğunun temperatur asılılığı şüalanmadan əvvəlki asılılığın formasını təkrar edir, lakin maksimumlar yüksək temperaturlar oblastı istiqamətinə doğru sürüşür. Eyni zamanda, protonlarla şüalanmadan sonra dielektrik nüfuzluğunun ədədi qiyməti artır və nisbətən yuxarı temperaturlarda artma daha kəskin olur. Protonlarla şüalanma nəticəsində $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ birləşməsində mobil ionların konsentrasiyasının artması hesabına dielektrik nüfuzluğunun ədədi qiymətinin artması müşahidə olunur.

150keV enerjili $D=10^{16}\text{ion}/\text{sm}^2$ san doza gücündə H^+ ionları ilə implantasiya $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ tam keçiricilikdə elektron və ion payı hesablanmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ birləşməsində 150keV enerji ilə şüalanmadan sonra ümumi keçiricilikdə elektron payı azalır və nəticədə ion payı artır. $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ 550K temperaturda elektrik keçiriciliyinin ion payı şüalanmadan əvvəl $43,3\%$, 150keV enerjili protonlarla şüalanmadan sonra isə $75,5\%$ təşkil edir. Şüalanmamış və 150keV enerjili H^+ ionları ilə şüalanmış $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ birləşməsinin relaksasiya müddətinin və diffuziya əmsalının hesablanmış qiymətləri aşağıdakı kimidir. Şüalanmamış halda relaksasiya müddəti $\tau_{\text{SC}}=1728,939\text{san}$, diffuziya əmsalı $D=3,3 \cdot 10^{-10}$ dir, H^+ ionları ilə şüalanmış halda isə

$\tau_{SC}=853,367$, diffuziya əmsalı $D=6,7 \cdot 10^{-10}$ dir. 150 keV enerjili H^+ ionlar ilə implantasiya edilmiş $(TiInS_2)_{0.95}C_{0.05}$ birləşməsində protonların həm irəliləməsi zamanı, həm də geri təpmə zamanı yaratdığı vakansiyaların dərinliyə görə paylanması simulyasiya edilmişdir.

Göstərilmişdir ki, proton ionlarının yaratdığı vakansiya tipli defektlərin paylanması geri təpmə zamanı 980 nm, irəliləmə vaxtı isə 860nm dərinlikdə maksimuma çatır, sonra isə dərinliyin artması ilə azalır və 1200-1500 nm dərinlikdə homogen olaraq paylanır. Bu dərinlikdə defektlərin konsentrasiyası maximuma çatır. Digər tərəfdən geri təpmə proton ionlarının yaratdığı vakansiyaların dərinlikdə paylanma profilinin genişlənməsi müşahidə olunur.

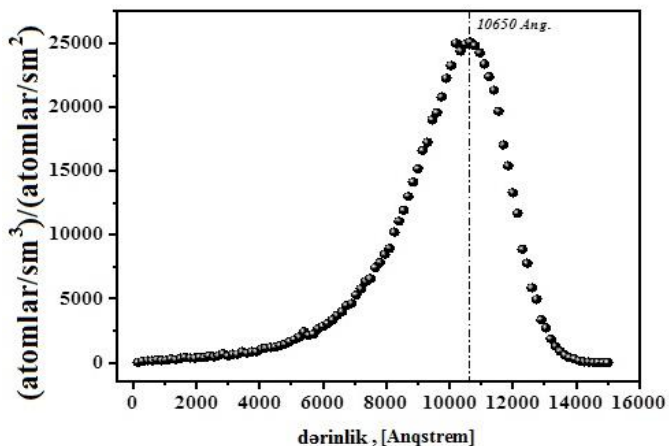
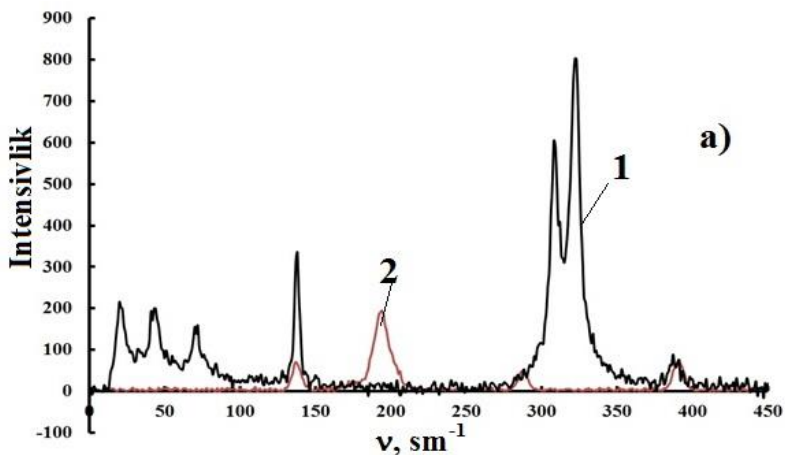
Güman etmək olar ki, implant ionlarının material daxilində yavaşdıqca, onların qəfəsdəki atomlarla qarşılıqlı təsir səbəbindən trayektoriyaları nisbətən qeyri-sabitdir. Protonlar nümunəyə implantasiya edildikdə, materialın içərisinə daha dərindən nüfuz etdikcə daha çox enerji itirirlər. Təqribən 160 nm dərinlikdə hər iki spektrdə pik müşahidə olunur. Qeyd etmək lazımdır ki, $(TiInS_2)_{0.95}C_{0.05}$ birləşməsi laylı quruluşa malik olduğundan aşağı enerjili protonların təsiri nəticəsində bu birləşmədə interstisial tipli defektlərin yaranması ehtimalı var.

İnterstisial defektlər, kristal quruluşda atomların normal yerləşmə yerləri arasında, yəni qəfəs düyünləri arasında yerləşən atomlardır. Bu atomlar, ya kristalın öz atomları ya da fərqli atom növü ola bilər. İnterstisial defektlərin yaranma səbəbləri müxtəlifdir. Bu səbəblər yüksək temperaturun, radiasiyanın, xarici atomların daxil olmasının və s. hesabına ola bilər. Yüksək temperatur şəraitində atomlar daha çox enerji qazanır və bu da onların normal qəfəs yerlərindən çıxıb interstisial bölgələrə keçməsinə səbəb olur. Bu proses, kristal quruluşun dinamikasını dəyişdirərək yeni defektlərin yaranmasına yol açır. Yüksək enerjili hissəciklər (neytronlar və ya yüklü ionlar) bərk cismə daxil olduqda atomları yerindən çıxara bilər. Bu atomlar daha sonra interstisial bölgələrə yerləşərək defektlər yaradır. Həmçinin daha kiçik atom radiusuna malik olan xarici atomlar, materialın içindəki boşluqlara asanlıqla daxil ola bilər və nəticədə interstisial defektlərin yaranmasına səbəb ola bilər.

İnterstisial atomlar elektronların səpilməsinə səbəb ola bilər ki, bu da materialın elektrik keçiriciliyini dəyişir. Həmçinin interstitial atomlar materialın içində daha asan hərəkət edə bildikləri üçün diffuziya proseslərini sürətləndirir. Yuxarıdakıları nəzərə alaraq, bir daha deyə bilərik ki, kiçik ion radiuslu karbon (C) atomu TlInS_2 kristalındakı oktaedrik boşluqlara daxil olur və interstitial defektlər yaradır. Şəkil 7.(b)-də proton ionlarının dərinlikdə paylanması verilmişdir. Göstərilmişdir ki, $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ birləşməsində H^+ ionlarının dərinlikdə paylanması 1060 nm dərinlikdə maksimuma çataraq dərinliyin artması ilə azalır və 1500 nm dərinlikdən sonra artıq 150 keV enerjili protonların təsiri yox olur.

$(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ birləşməsində H^+ ionlarının implantasiyadan əvvəl və sonra İşığın Kombinasiyalı Səpilmə metodu ilə spektrləri müqayisəli tədqiq edilmişdir. Raman spektrlərini çəkmək üçün dalğa uzunluğu $\lambda = 532$ nm YAG: Nd lazerindən istifadə edilərək otaq temperaturunda $20\div 500$ sm^{-1} tezlik intervalında çəkilmişdir. $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ birləşməsində implantasiyadan əvvəl İşığın Kombinasiyalı Səpilmə spektrlərində laylardaxili rəqslərlə uyğun 7 pik (20, 41, 70, 137, 308, 322, 391 sm^{-1}) müşahidə olunmuşdur. Həmçinin implantasiyadan sonra bu birləşmədə zəif və nisbətən güclü intensivlikli 4 pik (137, 193, 287, 391 sm^{-1}) müşahidə edilir.

Şəkil 7.(a)-dən göründüyü kimi, $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ birləşməsinin implantasiyadan əvvəl və sonra İKS spektrlərinin fəthəssaslıqlarının maksimumlarında güclü fərq var. Bu deyilənləri nəzərə alaraq belə nəticəyə gəlmək olar ki, $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ birləşməsinin səthə yaxın oblastlarında amorflaşma gedir.



Şəkil 7. $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ -də birləşməsində: a. İKS spektrləri (1-şüalanmamış, 2- H^+ ionları ilə implantasiya edilmiş. b. 150 keV enerjili H^+ ionlarının dərinlikdə paylanması.

ƏSAS NƏTİCƏLƏR

1. Rentgen struktur analizinə və Işıqın Kombinasional Səpilməsi ilə aparılan eksperimentlərdən alınan nəticələr göstərir ki, TlInS_2 , $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ və $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{C}_{0.1}$ birləşmələrinin strukturları eynidir. Yəni kiçik ion radiuslu qrafit (C) atomlarının In_4S_{10}

kompleksində olan oktaedrik boşluqlarda yerləşərək interstisial tipli defektlər yaradır və (C) atomunun daxil olunması ilə bərk məhlullarını əmələ gətirir.

2. İlk dəfə olaraq $\varepsilon(T)$ asılılıqlarında ion keçiriciliyinə uyğun anomaliyalar $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ -də $T_1 = 370\text{K}$, $T_2 = 415\text{K}$ və $T_2 = 532\text{K}$ və $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{C}_{0.1}$ -də isə $T = 396\text{K}$, $T = 503\text{K}$ və $T = 555\text{K}$ –də müşahidə olunmuşdur. Həmin anomaliyalar, bu birləşmələrdə çoxlu sayda relaksatorların olması ilə əlaqələndirilir. Təcrübi olaraq əldə edilmiş $\ln(\varepsilon)$ ($1000/T$) asılılıqlarından, relaksatorların aktivasiya enerjilərinin qiymətləri hesablanmışdır: $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ üçün $\Delta E_{a1} = 0.6\text{eV}$, $\Delta E_{a2} = 0.38\text{eV}$, $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{C}_{0.1}$ üçün isə $\Delta E_{a1} = 0.54\text{eV}$, $\Delta E_{a2} = 0.32\text{eV}$, $\Delta E_{a3} = 0.22\text{eV}$. Şüalanma dozalarından asılı olaraq ($0 \div 0,8\text{ MQR}$) dielektrik nüfuzluğunun və ion keçiriciliyinin artması ionların konsentrasiyasının artması hesabınadır.

3. Göstərilmişdir ki, elektrik sahəsinin dəyişmə tezliyi artdıqca $\text{tg}\delta(T)$ maksimumları daha yüksək temperatur oblastına doğru sürüşür və $\text{tg}\delta$ -nın qiyməti azalır. $\text{tg}\delta(T)$ dispersiyasından tədqiq olunan birləşmələr üçün yüklərin potensial çuxurdan çıxma tezlikləri $\lg f_{\text{max}}$ -un $1/T$ asılılığından təyin edilmişdir. $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ birləşməsi üçün rəqs tezliyi $\nu = 8 \cdot 10^{12}\text{ Hz}$, $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{C}_{0.1}$ üçün isə rəqs tezliyi $\nu = 4 \cdot 10^{12}\text{ Hz}$ təyin edilmişdir. Bu rəqslər tallium atomlarının rəqslərinə uyğundur.

4. $\text{TlInS}_2(5\%\text{C})$ və $\text{TlInS}_2(10\%\text{C})$ birləşmələrinin sabit elektrik sahəsində ($\sigma(t)$) kinetikasından keçiriciliyin ion payı, elektron payı, relaksasiya müddəti (τ) və diffuziya əmsalı (D) təyin olunmuşdur. γ -şüalarının udulma dozasının artması ($0 \div 0,8\text{ MQR}$) uyğun olaraq elektrod yanı oblastda ionların konsentrasiyasının artması nəticəsində, onların polyarizasiyasının artımı hesabına elektron payı, relaksasiya müddəti azalır və ion payı, diffuziya əmsalı qiymətləri artır. $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ birləşməsi üçün relaksasiya müddəti (τ) 1728 san-dən 700san-ə qədər azalır, diffuziya əmsalı (D) $3,3 \cdot 10^{-10}\text{m}^2/\text{san}$ -dən $8,2 \cdot 10^{-10}\text{m}^2/\text{san}$ -ə qədər artır, ion keçiriciliyləri isə 44%-dən 75%-ə artır. $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{C}_{0.1}$ birləşməsi üçün isə həmin udulma dozalarında uyğun olaraq relaksasiya müddəti (τ) 1008 san-dən 669 san-ə qədər azalır, diffuziya əmsalı (D) $5,7 \cdot 10^{-10}\text{m}^2/\text{san}$ -dən $8,6 \cdot 10^{-10}\text{m}^2/\text{san}$ -ə qədər artır.

$10^{-10} \text{ m}^2/\text{san}$ -ə qədər artır, ion keçiricilikləri isə 63%-dən 78,5% -ə qədər artır

5. $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ və $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{C}_{0.1}$ birləşmələrinin kompleks impedans spektrləri $Z''=f(Z')$ kompleks müstəvisində ($0 \div 0,8 \text{ M}\Omega$) udulma dozalarında tədqiq olunmuş və göstərilmişdir ki, yüklərin daşınması prosesinə uyğun, diaqramda yarım çevrə alınır (qodoqrafın yüksək tezlikli hissəsi) və elektrod yanı oblastın həcmi yüklərin polyarizasiyası hesabına qodoqrafın aşağı tezlikli hissəsinə meyilli düz xətt uyğun gəlir. Tezlik maksimumları uyğun olaraq $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ üçün $5 \text{ kHz} \div 50 \text{ kHz}$, $(\text{TlInS}_2)_{0.9}\text{C}_{0.1}$ üçün isə $750 \text{ Hz} \div 10 \text{ kHz}$ intervalında dəyişir.

6. 150 keV enerjili $D=10^{16} \text{ ion/sm}^2 \text{ san}$ doza gücündə protonlarla şüalanmış $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ birləşməsinin sabit elektrik sahəsində keçiriciliyin elektron-ion payı, relaksasiya müddəti, diffuziya əmsalı, kompleks impedans spektrləri tədqiq edilmişdir. İmplantasiyadan əvvəl relaksasiya müddəti $\tau_{\text{SC}}=1728,939 \text{ san}$, diffuziya əmsalı $D=3,3 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{san}$, elektrik keçiriciliyinin ion payı şüalanmadan əvvəl 43,3%, təşkil edir, H^+ ionları ilə şüalanmış halda isə $\tau_{\text{SC}}=853,367 \text{ san}$, diffuziya əmsalı $D=6,7 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{san}$, keçiriciliyin ion payı 75,5% -ə qədər dəyişir. İmpedans spektrlərində tezlik maksimumları uyğun olaraq $(\text{TlInS}_2)_{0.95}\text{C}_{0.05}$ üçün $100 \text{ Hz} \div 90 \text{ kHz}$ intervalındadır.

7. Göstərilmişdir ki, protonlarla şüalanmanın təsiri hesabına səthə yaxın oblastda amorflaşma əmələ gəlir. H^+ ionlarının dərinlikdə paylanması 1060 nm dərinlikdə maksimuma çataraq dərinliyin artması ilə azalır və 1500 nm dərinlikdən sonra protonların təsiri yox olur. Göstərilmişdir ki, proton ionlarının yaratdığı vakansiya tipli defektlərin paylanması geri təpmə zamanı 980 nm , irəliləmə zamanı isə 860 nm dərinlikdə maksimuma çatırlar, sonra isə dərinliyin artması ilə azalır və $1200\text{-}1500 \text{ nm}$ dərinlikdə homogen olaraq paylanır. Bu dərinliklərdə, defektlərin konsentrasiyası maksimuma çatır.

DISSERTASIYA MÖVZUSU ÜZRƏ ÇAP OLUNMUŞ ELMI İŞLƏR

1. Samedov O.A., Alekperov O.Z., Orudjova Kh .B., Mehtiyev N.M., Nadjafov A.I., Gabulov I.A., Huseynov E.M.. Electrical impedance investigation of gamma-irradiated $\text{TlInS}_2(5\% \text{C})$ crystals // International Journal of Modern Physics B, -2021, 35(1), -p. 2150009.

2. Samedov O.A., Alekperov O.Z., Orujova Kh.B., Nadjafov A.İ., Huseynov E.M., Samedov S.F., Gabulov İ.A., Mekhtiyev N.M. Dielectric permittivity and relaxation process investigation of C-doped TlInS_2 crystals// Modern Physics Letters B,- 2021, 35(20), - p.2150325.

3. Samedov O.A., Alekperov O.Z., Orujova Kh.B., Nadjafov A.I., Huseynov E.M., Mekhtiyev N.M. Study of dielectric loss and permittivity in the C doped TlInS_2 crystals//IX International conference Semipalatinsk test site: Legacy and Prospects for Scientific and Technical Potential development. Kurchatov, Republic of Kazakhstan: 07-09 september,- 2021,-p.63

4. Samedov O.A., Alekperov O.Z., Orujova Kh.B., Mekhtiyev N.M., Nadjafov A.I. Compare of dielectric relaxation of gamma irradiated and non-irradiated TlInS_2 (5%C)crystals// IX İnternational scientific conference “Actual Problems of Solid State Physics”, - Minsk, Belarus: -22-26 november , - 2021,-p.114

5. Samadov O.A., Orujova Kh.B., Mehdiyev N.M., Najafov A.İ., Samadov S.F., Mehdiyeva R.N., Kerimova T.I. Dielectric properties of TlInS_2 (10%C) compound irradiated with gamma quanta // Journal of Radiation Researches, -2022, 9(2), -p. 22-27, Baku

6. Səmədov O.Ə., Orucova X.B., Mehdiyev N.M., Nəcəfov A.İ., Səmədov S.F., Kərimova T.İ., İsmayilova G.M. $\text{TlInS}_2(10\% \text{C})$ birləşməsinin dielektrik nüfuzluğuna qamma kvantlarının təsiri// Radiasiya Texnologiyaları və onun tətbiqi “Ulu öndər Heydər Əliyevin anandan olmasının 100 illiyinə həsr olunmuş Elmi-Texniki konfrans”, - Bakı:-5 may,- 2023,-p -51.

7. Səmədov O.Ə., Orujova Kh.B., Mehtiyev N.M., Mehtiyeva R.N., Kerimova T.İ. Study of the effect of gamma quanta on the

dielectric properties of $\text{TlInS}_2(10\% \text{C})$ // X International Scientific Conference “Actual Problems of Solid State Physics”, - Minsk, Belarus: -22-26 may, -2023, - p-462

8. Samadov O.Ə., Orucova Kh.B., Najafov A.İ., Mehdiyev N.M., Mehdiyeva R.N., Samadov S.F., Mirzayev M.N. Complex Impedance Spectra of $\text{TlInS}_2(10\% \text{C})$ compound irradiated by γ -quantum // Journal of Radiation Researches, -2023, 10(1), -s. 5-9, Baku

9. Samadov O.Ə., Orucova Kh.B., Najafov A.İ., Mehdiyev N.M., Mehdiyeva R.N., Karimova T.İ., İsmayılova G.M. The Effect of gamma quanta on the ionic and electron conductivity of $\text{TlInS}_2(10\% \text{C})$ compound. // Journal of Radiation Research, -2023, 10(1), -p.56-62. Baku

10. Səmədov O.Ə., Orucova X.B., Mehdiyev N.M., Mehdiyeva R.N., Kərimova T.İ. $\text{TlInS}_2(10\% \text{C})$ birləşməsinin ion keçiriciliyinə gamma kvantlarının təsiri // Radiasiya Təhlükəsizliyi Problemləri: Regional aspektlər elmi texniki konfrans,- Naxçıvan:- 18-19 oktyabr,-2023,-s. 68-69

11. Səmədov O.A., Orucova X.B., Nəcəfov A.İ., Mehdiyev N.M., Qasımov V.Ə., Mehdiyeva R.N., Səmədov S.F., Mirzəyev M.N., Kərimova T.İ. Qamma şüaların təsirinə məruz qalmış TlInS_2 (5at % C) kristalın dielektrik, elektrik xassələri və ion keçiriciliyi// Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının xəbərləri fizika – texnika və riyaziyyat elmləri seriyası fizika və astronomiya, -2024, XLIV(2), -s 10-16. Bakı.

12. Səmədov O.Ə., Orucova X.B., Mehdiyev N.M., Nəcəfov A.İ., Mehdiyeva R.N., Səmədov S.F., Mirzəyev M. N., Kərimova T.İ. H^+ ionları (protonlar) ilə şüalanmanın TlInS_2 (5% C) birləşməsinin dielektrik nüfuzluğuna, ion və elektron keçiriciliyinə, impedans spektrlərinə təsiri. AJP FİZİKA 2024 volume XXX №2, section: A. s.14-18.

Həmmüəlliflərlə yerinə yetirilən işlərdə iddiaçının şəxsi əməyi:

[1-12] – sayılı işlərdə məsələnin həlli, təcrübə tədqiqatların aparılması müəllif tərəfindən, məsələnin qoyuluşu və tədqiqatlardan əldə olunan nəticələrin işlənməsi isə həmmüəlliflərlə birgə yerinə yetirilmişdir.

Dissertasiyanın müdafiəsi 17 aprel 2025-ci il tarixdə, saat 15:00-da Azərbaycan Respublikasının Elm və Təhsil Nazirliyinin Radiasiya Problemləri İnstitutu nəzdində fəaliyyət göstərən FD 1.21 Dissertasiya Şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ 1143, Bakı, B.Vahabzadə küçəsi, 9.

Dissertasiya ilə Azərbaycan Respublikasının Elm və Təhsil Nazirliyinin Radiasiya Problemləri İnstitutunun elmi kitabxanasında tanış olmaq mümkündür

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

Avtoreferat «14» mart. 2025-cı il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 12.03.2025

Kağızın formatı: A5

Həcm: 37 105

Tiraj: 100