

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

**TlGa_{1-x}In_xSe_{2(1-x)}S_{2x} və TlGa_{1-x}In_xSe₂ BƏRK MƏHLULLARIN
ELEKTRİK, DİELEKTRİK VƏ OPTİK XASSƏLƏRİNƏ
QAMMA ŞÜALARIN TƏSİRİ**

İxtisas: 2225.01. Radiasiya materialşünashğı

Elm sahəsi: Fizika

İddiaçı: Famin Tahir oğlu Salmanov

Elmlər doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim olunmuş dissertasiyanın

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

BAKI -2021

İş Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Radiasiya Problemləri
İnstitutunda yerinə yetirilmişdir

Elmi məsləhətçilər: fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor
Rauf Mədət oğlu Sərdarlı

AMEA-nın müxbir üzvü, professor
Oqtay Əbil oğlu Səmədov

Rəsmi opponentlər: AMEA-nın müxbir üzvü, professor
Səlimə İbrahim qızı Mehdiyeva

fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor
Nizami Mikayil oğlu Mehdiyev

fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor
Cahangir İslam oğlu Hüseynov

fizika elmləri doktoru, dosent
Sədiyar Soltan oğlu Rəhimov

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya
Komissiyasının AMEA-nın Radiasiya Problemləri İnstitutu nəzdində
fəaliyyət göstərən D.01.011 sayılı Dissertasiya Şurası

Dissertasiya şurasının sədri:

fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor
Rəhim Səlim oğlu Mədətov

Dissertasiya Şurasının elmi katibi: fizika üzrə fəlsəfə doktoru
Müslüm Əhməd oğlu Məmmədov

Elmi seminarın sədri: fizika elmləri doktoru, dosent
Mətanət Əhməd qızı Mehrabova

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı. Yarımkeçirici materialların müasir texnikanın müxtəlif sahələrində, o cümlədən nanotexnikada geniş praktik tətbiq olunması, tərkibində radiasiya defektləri, müxtəlif xarakterli aşqarlar və digər qeyri-bircinsliliyi olan kristalların tədqiq olunmasını tələb edir. Kristallarda mövcud olan müxtəlif növ defektlər kristalın elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığına, dielektrik və optik xassələrinə və o cümlədən kristalların ion keçiriciliyinə güclü təsir edir.

Yeni funksional və çoxkomponentli materialların tərkib və quruluşunun xüsusiyyətlərinin qanunauyğunluqlarının öyrənilməsi müasir fizikanın ən mühüm vəzifələrindən biridir. Belə qanunauyğunluqların öyrənilməsi, əvvəlcədən müəyyən edilmiş fiziki xüsusiyyətlərə malik yeni, daha səmərəli yarımkeçiricilərin axtarış və alınması üçün elmi əsasları inkişaf etdirməyə və mikroelektronikanın artan tələblərini təmin etməyə imkan verir. Yarımkeçirici birləşmələr əsasında yaradılan bərk məhlullar isə fiziki parametrləri dəyişmək imkanı yaratdığından onların öyrənilməsi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Bərk məhlulların quruluşunun xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, bu sistemlərdə ideal kristalloqrafiya simmetriyası saxlanılmaqla, nizamsızlıq kristal matrisinin düyünlərinin nizamsızdolması (translyasiya nizamsızlığı) hesabına yaranır. Anion və kation əvəzlənməsi nəticəsində bərk məhlullarda əvəz edən atomun ölçülərindən asılı olaraq, qəfəs tipi saxlanmaqla elementar özəyin parametrlərinin qismən dəyişməsi baş verir. Bu zaman qəfəsin düyünlərində atomların statik paylanması hesabına kristalların translyasiya ardıcılığı pozulur və belə qarışıq kristallar nizamsız sistemlərinin analoquna çevrilir.

Bundan əlavə bərk məhlulların tərkibini dəyişməklə öyrənilən yarımkeçirici materialın fotoelektrik, dielektrik və optik xassələri, həmin yarımkeçiricinin qadağan olunmuş zolağın daxilində yerləşən səviyyələr, haqqında məlumat almağa imkan verir.

Aparığımız tədqiqatlar göstərir ki, bu birləşmələrdə zona-zona keçiriciliyindən başqa sıçrayışlı keçiricilik müşahidə olunur. Bu da onu göstərir ki, ölçdüyümüz kristallar nizamsız quruluşa malikdirlər.

Bu keçircilik bizim biləşmələrdə lokallaşmış səviyyələr üzrə geniş temperatur intervalında müşahidə olunur. Bu da onu göstərir ki, tədqiq olunan bərk məhlullar nizamsız quruluşa malikdirlər.

Nizamsız materialların enerji spektrlərində spesifik xüsusiyyətlər özünü göstərir: Həmin materiallarda dielektrik xassələrin relaksasiya proseslərinin mexanizmi dəyişir, yük daşınması prosesində səciyyəvi xüsusiyyətlər meydana çıxır.

Xüsusi sinif təşkil edən superiorlar, son illər geniş tədqiqatçılar qruplarını özünə cəlb etmişdir. Superiorların əsas fərqli cəhətlərindən biri, onlarda anomal yüksək ion keçiriciliyinin olmasıdır. Superiorlarda ion keçiriciliyinin qiyməti elektrolitlər üçün xarakterik olan tərtibdə olur. Beləliklə söhbət özünəməxsus hibrid xassələrə malik maddələrdən – maye ərintilər və ya qarışıqlar, mexaniki möhkəm və elastiki bərk cisimlərdən gedir. Superior kristallar iki müxtəlif fazada ola bilər hansı ki bu fazalar keyfiyyətə bir-birindən fərqlənir. Bu kristallar özlərində kritik temperaturdan aşağıda adi ion kristallara xas xüsusiyyətlərdə (dielektrik faza), kritik temperaturdan yuxarıda isə xüsusi hala-superion halına (elektrolit halına) aid xüsusiyyətləri özlərində daşıyırlar. Göstərilən xüsusiyyətləri özündə daşıyan kristallar superior keçiricilər adlanır.

Fundamental və tədbiqi xarakterli tədqiqatlarda impedans spektroskopiyası metodu geniş istifadə olunur.

Kristalın tam keçiriciliyini öyrənməkdən ötrü işlənən metodika impedans spektroskopiyaya metodudur. Bu metodika geniş tezlik intervalında müqavimətin və tutumun tam qiymətini təyin etməyə imkan verir. Yəni ion keçiriciliyi kristalda relaksasiya proseslərini tədqiq edən yeganə eksperimental metodikadır. Bu metodikanın kristallarda müşahidə olunan qodoqraflar hesabına ekvivalent sxemi qurmaq prosesini modelləşdirməyə imkanı verir. Bu metodika superior keçiriciliyin əsas tədqiqat metodikalarından biridir.

İmpedans spektroskopiyaya metodu elektrokimyəvi və materialşünaslıq tədqiqatlarında, daha dəqiq desək, yükün daşınması hadisələri, fazalararası sərhədlərdə hadisələr və s. baş verən tədqiqatlarda böyük rol oynayır.

Bu məqsədlə, laylı və zəncirvari $TlGaSe_2$, $TlInS_2$, $TlInSe_2$ birləşmələrinin və onların əsasında yaranan bərk məhlullarının alınması, perspektivli birləşmələrin fiziki parametirinə müxtəlif qarışıqların (aşqarların) təsiri və bu parametrlərin geniş bir cins sahədə idarə olunması baxımından praktik olaraq mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Dissertasiya işinin məqsədi: Dissertasiya işinin əsas məqsədi $TlGa_{1-x}In_xSe_2(1-x)S_{2x}$ və $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ bərk məhlullarının geniş tezlik və temperatur intervalında dielektrik, optik və impedans spektrlərinə qamma şüaların təsirinin xüsusiyyətlərinin mexanizmlərini müəyyən-ləşdirməkdən ibarətdir.

Qarşıya qoyulan məqsədə çatmaq üçün aşağıdakı məsələlər həll edilmişdir:

- müvafiq texnoloji rejim seçməklə $TlGa_{1-x}In_xSe_2(1-x)S_{2x}$ və $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ sistemli bərk məhlullarının sintezi və monokristallarının yetişdirilməsi;

- $TlGa_{1-x}In_xSe_2(1-x)S_{2x}$ və $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ sistemli bərk məhlullarının geniş temperatur (100-450 K) və tezlik ($20 \cdot 10^6$ Hz) intervalında sıçrayışlı keçiriciliyinin xüsusiyyətlərinə γ - şüalarının təsirinin tədqiqi;

- γ - kvantlarla şüalandırılmış $TlGa_{1-x}In_xSe_2(1-x)S_{2x}$ və $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ sistemli bərk məhlullarının sahə təsiri altında cərəyan sıxlığının və Pul-Frenkel effektinin tədqiqi;

- $TlGa_{1-x}In_xSe_2(1-x)S_{2x}$ və $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ sistemli bərk məhlullarının superior keçiriciliyinin xüsusiyyətlərinə γ - şüaların təsirinin tədqiqi;

- geniş temperatur (100-450 K) və tezlik ($20 \cdot 10^6$ Hz) intervalında $TlGa_{1-x}In_xSe_2(1-x)S_{2x}$ və $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ sistemli bərk məhlullarının impedans spektrlərinə γ - şüaların təsirinin tədqiqi;

- fundamental udma zolağı oblastında $TlGa_{1-x}In_xSe_2(1-x)S_{2x}$ və $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ sistemli bərk məhlullarının optik spektrlərinə γ - şüaların təsirinin tədqiqi;

- γ - kvantlarla şüalandırılmış $TlGa_{1-x}In_xSe_2(1-x)S_{2x}$, $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ sistemli bərk məhlullarının və $TlInS_2 < 0.1\%V >$, Atom Qüvvə mikroskopu ilə səth proseslərinin tədqiqi.

Tədqiqat obyektı və metodları:

Tədqiqat obyektləri olan $TlGaSe_2$, $TlInS_2$ və $TlInSe_2$ birləşmələri və onların bərk məhlullarının monokristalları Bricmen-Stokbarqer üsulu ilə yetişdirilmişdir. Sintez olunmuş maddə (5,0-10 q) kvars ampulun içərisinə doldurularaq havasızlaşdırılır. Hal diaqramı və seçilmiş tərkibə əsasən kristalın yetişdirilmə və onun dəmlənmə temperaturu müəyyən edildikdən sonra elektrik sobasında ərimə zonasının temperaturu seçilmiş temperatura uyğun olaraq yığılır və termik tənzimləyici vasitəsi ilə (ПИФ-101) avtomatik stabilizasiya olunur, həmçinin dəmlənmə zonasının da temperaturu seçilmiş temperatura uyğun yığıldıqdan sonra termotənzimləyici vasitəsilə stabilləşdirilir. 2-3 saat stabilləşmədən sonra sobaya “0” nöqtəsindən başlayaraq dəmlənmə zonasının sonuna qədər 2 koordinantlı yazıcı qurğuya birləşdirilmiş Pt-Pt/Rh termocütü 0,2 sm/ dəq sürəti ilə buraxılır. Dəmlənmə zonasının temperaturu maddənin ərimə temperaturunun $\approx 55-60\%$ tərtibində seçilmişdir. Lazımi temperatur qradienti və zonadakı temperatur seçilmiş temperatura uyğun tapıldıqdan sonra yetişdiriləcək maddə kvars ampul ilə birgə hərəkətedici mexanizmə birləşdirilərək sobaya daxil edilir. 1,5-2 saat stabilləşmədən sonra konteyner hərəkətə gətirilir və beləliklə, kristallaşma prosesi başlayır. İşdə istifadə olunmuş bərk məhlulların yetişdirilmə sürəti 1-1,5 mm / saat olmuşdur.

Elektrik keçiriciliyinin ölçmələri dörd zondlu üsulla, “c” oxuna perpendikulyar istiqamətdə, azot kriostatında, kristalın $\approx 0,1$ K/dəq sürətlə kvazistasionar kəsilməz qızdırılması (soyudulması) rejimində aparılmışdır. Elektrik keçiriciliyinin tədqiqatları rəqəmsal immittans E7-25 ölçü cihazında aparılmışdır. Elektrik keçiriciliyinin ölçmələri geniş temperatur (100-450K) və tezlik ($25-10^6$ Hz) intervalında aparılmışdır.

Yarımkeçirici materiallarda cərəyanın keçmə mexanizmi haqqında məlumat almaq üçün nümunələrin Volt-Amper xarakteristikaları 90-300 K temperatur intervalında tədqiq edilmişdir. Ölçmə zamanı sabit cərəyan mənbəyindən və B7-30 elektrometrindən istifadə edilmişdir. Cərəyan kontaktları kimi nümunələrin kristalloqrafik “c” oxuna perpendikulyar və paralel istiqamətdə gümüş pastası çəkilmişdir.

Optik ölçmələrdə kristalın (001) müstəviləri üzrə doğranmış şəffaf nümunələrin səthindən buraxma və əks olunma spektrlərinin ölçülməsi həyata keçirilmişdir. Həmin nümunələrdə buraxma spektrinin ölçülməsi yerinə yetirilmişdir. 12° –yə yaxın normal bucaq altında düşən işığın ölçülməsi “specord 210” spektrofotometrinin köməyi ilə yerinə yetirilmişdir. Ölçmələr E \perp C polyarizasiyası ilə otaq temperaturunda yerinə yetirilmişdir. Spektrometrin həll etmə qabiliyyəti 10 nm təşkil edir. Spektrometrin dalğanın dəqiqliyi ± 3 nm tərkibində idi. Buna görə də $E_g \pm 0,0004$ eV qədər daha yaxşı dəqiqliklə hesablanır.

İşdə həmçinin ionkeçirici materialların metal kontaktlarında meydana gələn elektrofiziki prosesləri araşdırmaq üçün impedans spektroskopiyaya metodundan istifadə edilmişdir.

Həmçinin işdə tədqiq olunan materialların səth prosesləri öyrənilmişdir. Səth proseslərinin öyrənilməsinin əsasında, bir-birinə yaxınlaşdıqları zaman tədqiq olunan nümunənin səthi ilə zond arasında yaranan lokal qarşılıqlı təsirin araşdırılması dayanır. Zond mikroskopunun əsas öyrənilmə üsulları skanedici tunel mikroskopu və atom qüvvə mikroskopu hesab olunur.

Kəskin keçirici iynə, skanedici tunel mikroskopunda zond olaraq istifadə olunur. İynənin ucu ilə nümunə arasına işçi gərginlik tətbiq olunur və ucu təxminən 0.5-1.0 nm-ə qədər nümunəyə yaxınlaşdırıldıqda, nümunədəki elektronlar işçi gərginliyin polyarizasiyasından asılı olaraq boşluqdan uca doğru yaxud əksinə, tunel əmələ gətirməyə başlayır. Skanedici tunel mikroskopunda tunelləşdirilmiş cərəyanın ölçülməsi nəticəsində alınan verilənlərə əsasən, topoqrafiyanın görüntülənməsi yerinə yetirilir. Tunel cərəyanını qeyd etmək üçün nümunə və uc yarımkeçirici yaxud keçirici olmalıdır. Ucu əmələ gətirən atomların dalğa funksiyaları ilə üst–üstə düşdükdə, skanedici iynə və səthində yükdaşıyıcıların tunel cərəyanı meydana gəlir. Qeyd etmək lazımdır ki, skanedici tunel mikroskopunda istifadə edilən texnik üsul keçirici olmayan materialların təsvirini vermir.

Müdafiyə çıxarılan əsas elmi müddəalar aşağıdakılardan ibarətdir:

1. γ -kvantlarla şüalanmış $TlGa_{1-x}In_xSe_{2(1-x)}S_{2x}$ və $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ sistemli bərk məhlullarının 100-300 K temperatur intervalında elektrik keçiriciliyinin sıçrayışlı xarakter daşır.
2. γ -şüalanmaya məruz qalmış $TlGa_{1-x}In_xSe_{2(1-x)}S_{2x}$ bərk məhlullarının Volt-Amper xarakteristikalarının qeyri-xətti hissəsində cərəyan zəif sahə effekti ilə şərtlənir və Pul-Frenkelin istilik-sahə nəzəriyyəsi çərçivəsində izah olunur.
3. γ -kvantlarla şüalanmış $TlGa_{1-x}In_xSe_{2(1-x)}S_{2x}$ və $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ sistemli bərk məhlul nümunələrinin elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığında ($\sigma(T)$) otaq temperaturlarından yuxarı temperaturlarda müşahidə olunan sıçrayışşəkilli artım kristalın superior fazaya keçməsi ilə əlaqədardır.
4. γ -kvantlarla şüalanmış $TlGa_{1-x}In_xSe_{2(1-x)}S_{2x}$ və $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ sistemli bərk məhlulların dielektrik nüfuzluğunun tezlik dispersiyası və dielektrik itgi bucağının relaksor xassələri müəyyən edilmişdir. Yükdaşınma mexanizmi 10^5 Hz tezlikdə Fermi səviyyəsi yaxınlığında sıçrayışlı xarakter daşır. γ - şüalanmadan əvvəl və sonra keçiriciliyin verilmiş mexanizminin parametrləri qiymətləndirilmişdir.
5. $TlGa_{1-x}In_xSe_{2(1-x)}S_{2x}$ və $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ sistemli bərk məhlullarında kompleks impedans spektrlərinin öyrənilməsi nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, γ -şüalanmadan sonra Varburqun diffuziya impedansı yaranır.
6. $TlGa_{1-x}In_xSe_{2(1-x)}S_{2x}$ və $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ sistemli bərk məhlullarında otaq temperaturunda əks olunma və buraxma spektrlərindən qadağan olunmuş zolağın γ -şüalanmanın dozasından və konsentrasiyadan asılılıqları təyin olunmuşdur.
7. Dəyişən elektrik sahəsinin təsiri altında $TlInS_2 <V>$ kristalının elektrik keçiriciliyinin tədqiqi nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, sıçrayışlı keçiricilik Berns (T_d) temperaturundan aşağıda həyata keçirilir. Foqel-Fulçer temperaturuna qədər (T_f) termoaktivasiyalı, T_f -dən aşağıda aktivasiyasız sıçrayışlı keçiricilik əhəmiyyət kəsb edir.
8. $TlInS_2$ və $TlInS_2 <0.1\%V>$ kristallarının və $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ bərk məhlullarının Atom Qüvvə Mikroskopu metodu ilə tədqiq nəticəsin-

də müəyyən edilmişdir ki, radiasiyanın təsiri nanoölçülü klasterlərin doyma dərəcəsi artır, molekulların dissosiasiya imkanı güclənir və kritik özləklərin əmələ gəlməsinə səbəb olur.

Tədqiqat nəticəsində əldə edilən elmi yeniliklər aşağıdakılardan ibarətdir: Təqdim edilən dissertasiya işində ilk dəfə olaraq:

1. Müəyyən edilmişdir ki, γ -kvantlarla şüalanmış $TlGa_{1-x}In_xSe_2(1-x)S_{2x}$ və $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ sistemli bərk məhlullarının 300-100 K temperatur intervalında elektrik keçiriciliyinin sıçrayışlı xarakter daşıyır və Mott yaxımlaşması çərçivəsində izah edilmişdir.

2. Müəyyən edilmişdir ki, γ -şüalanmaya məruz qalmış $TlGa_{1-x}In_xSe_2(1-x)S_{2x}$ sistemi bərk məhlullarının Volt-Amper xarakteristikalarının qeyri-xətti hissəsində cərəyan zəif sahə effekti ilə şərtlənir və Pul-Frenkelin istilik-sahə nəzəriyyəsi çərçivəsində izah olunur.

3. Müəyyən edilmişdir ki, γ -kvantlarla şüalanmış $TlGa_{1-x}In_xSe_2(1-x)S_{2x}$ və $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ sistemli bərk məhlul nümunələrinin elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığında ($\sigma(T)$) otaq temperaturlarından yuxarı temperaturlarda müşahidə olunan xüsusiyyətlər kristalın superior halma keçidi ilə bağlıdır.

4. Göstərilmişdir ki, $TlGa_{1-x}In_xSe_2(1-x)S_{2x}$ və $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ sistemli bərk məhlullarında kompleks impedans spektrlərinin öyrənilməsi nəticəsində, γ -şüalanmadan sonra Varburqun diffuziya impedansı yaranır.

5. γ -kvantlarla şüalanmış $TlGa_{1-x}In_xSe_2(1-x)S_{2x}$ və $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ sistemi bərk məhlullarının dielektrik nüfuzluğunun tezlik dispersiyası və dielektrik itki bucağının relaksor xassələri müəyyən edilmişdir. Göstərilmişdir ki, yükdaşınma mexanizmi 10^5 Hs tezlikdə Fermi səviyyəsi yaxınlığında sıçrayışlı xarakter daşıyır. Müəyyən edilmişdir ki, keçiriciliyin $T=350K$ və 10^6 Hs tezlikdə sıçrayışla artması sistemin superior halına keçməsi ilə əlaqədardır.

6. γ -şüalanmaya məruz qalmış $TlGa_{1-x}In_xSe_2(1-x)S_{2x}$ və $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ sistemli bərk məhlullarında otaq temperaturunda 400 -1100 nm spektral diapazonunda əks olunma və buraxma spektrlərindən düzünə və çəpinə qadağan olunmuş zolağın eninin konsentrasiyadan asılılığı təyin olunmuşdur. Müəyyən edilmişdir ki, $TlGa_{1-x}In_xSe_2(1-x)S_{2x}$ bərk məhlullarda konsentrasiyanın və şüalanma dozasının artması ilə qa-

dağan olunmuş zonanın eni artır, $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ bərk məhlulda işə şüalanmadan sonra qadağan olunmuş zonanın eni azalır.

7. Müəyyən edilmişdir ki, dəyişən elektrik sahəsinin təsiri altında $TlInS_2<V>$ kristalının elektrik keçiriciliyinin tədqiqi nəticəsində sıçrayışlı keçiricilik Berns (T_d) temperaturundan aşağıda həyata keçirilir. Foqel-Fulçer temperaturuna qədər (T_f) termoaktivasiyalı, T_f -dən aşağıda aktivasiyasız sıçrayışlı keçiricilik əhəmiyyət kəsb edir.

8. Müəyyən edilmişdir ki, $TlInS_2$ və $TlInS_2 <0.1\%V>$ kristallarının və $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ bərk məhlullarının Atom Qüvvə Mikroskopu metodu ilə tədqiqi nəticəsində radiasiyanın təsiri nanoölçülü klasterlərin doyma dərəcəsini artırır, molekulların dissosiasiya imkanı güclənir və kritik özləklərin əmələ gəlməsinə səbəb olur.

İşin praktiki əhəmiyyəti:

Dissertasiyada alınmış praktikada istifadə oluna biləcək əsas nəticələr: yaddaş elementləri və çeviricilər, mikrobataryalar, superkondensatorlar, ionistorlar, qamma detektor üçün münasib material kimi istifadə edilə bilər.

Tədqiqatlar göstərdi ki, γ -şüalanmaya məruz qalmış $TlGa_{1-x}In_xSe_{2(1-x)}S_{2x}$ və $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ sistemli bərk məhlullarında otaq temperaturunda 400 -1100 nm spektral diapazonunda əks olunma və buraxma spektrlərindən düzünə və cəpinə qadağan olunmuş zolağın eninin şüalanma dozasının artması ilə dəyişir. Bu xüsusiyyətinə görə bu kristallar fotoxrom kristallar kimi istifadə oluna bilər.

İşin nəticələrinin təsdiq edilməsi və tətbiqi: Dissertasiyanın nəticələri aşağıdakı konfranslarda məruzə edilmişdir: “VII Eurasian conference Nuclear Science and its Application, (Baku, 2014); “Fizikanın müasir problemləri VIII Respublika konfransı” (Bakı, 2014); “BDU-nun Fizika Problemləri İnstitutunun yaradılmasının 10 illiyinə həsr olunmuş “Fizikanın aktual problemləri” IX respublika elmi konfransının materialları” (Bakı 2016); “International youth forum, Integration processes of the world science in the 21th century” (Ganja, Azerbaijan 2016); Международная конференция, посвященная 60-летию Института физики ДНЦРАНИ 110-летию Х.И. Амирханова, «Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах» (Махачкала 2017); “XXI Всерос-

сийскую конференцию по физике сегнетоэлектриков (ВКС – XXI)” (Казан 2017); “International Conference on Nanotechnology: Fundamentals and Applications Toronto, Ontario” (Canada 2017); 11-я Международная конференция «Ядерная и радиационная физика» Международная конференция «Ядро-2017» (Алматы 2017); “XIV Международной научной конференции «Молодежь в науке-2.0’17» (Минск 2017); «Третий междисциплинарный молодежный научный форум с международным участием «Новые материалы» (Москва 2017). Международный форум молодых ученых «BURABAY FORUM: (Qazaxıstan, Astana - 2018.); Международный научный форум «Ядерная наука и технологии» (Казахстан, Алматы 2019); Материалы XXIV международной конференции, (г. Воронеж, 2019) «Пятый междисциплинарный молодежный научный форум с международным участием «Новые материалы» (Москва 2019)

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı: Təqdim olunan dissertasiya işi Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Radiasiya Problemləri İnstitutunun “Səqnetoelektriklərin radiasiya fizikası” laboratoriyasında yerinə yetirilmişdir.

Çap edilmiş işlər. Dissertasiya işinin mövzusunə aid respublika və xarici elmi jurnallarda 24 elmi əsər, o cümlədən 19 məqalə, 5 konfrans materialı nəşr olunmuşdur.

Dissertasiyanın quruluşu və həcmi. Dissertasiya işi girişdən, altı fəsildən, nəticələrdən və ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. Təqdim olunan dissertasiya işində 89 şəkildən, 10 cədvəldən və ümumi-likdə 345800 işarələrdən istifadə olunmuşdur.

İŞİN QISA MƏZMUNU

Girişdə dissertasiyanın mövzusunun aktuallığı əsaslandırılmış, görülən işin məqsədi, elmi yeniliyi, praktiki əhəmiyyəti göstərilmişdir, müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar, aprobasiya dərəcəsi, nəşrlər barədə məlumat verilmiş, həmçinin işin fəsilər üzrə əsas məzmunu qısaca şərh olunmuşdur.

Dissertasiya işinin **I fəslində** $TiB^3C_2^6$ tipli ferroelektriklərdə yayımlı faza keçidləri, bu faza keçidlərinə aşqarların təsirinə, həmçinin bu sinifə daxil olan $TlGaSe_2$, $TlGaS_2$ və $TlInS_2$ kristalların və onlar arasında yaranan bərk məhlulların elektrofiziki xassələri aid ədəbiyyat materialları geniş təhlil olunmuşdur. Bununla yanaşı I fəsildə bərk cisimli elektrolitlər, superior keçiricilər, kvant ölçülmə effektlərinin müşahidə şərtlərinə dair, həmçinin $TiB^3C_2^6$ tipli kristalların optik spektrlərinə aid ədəbiyyat məlumatları araşdırılmışdır.

Dissertasiya işinin **II fəslində** tədqiq olunan materialların sintezi və monokristallarının yetişdirilməsi metodu şərh olunmuşdur. Bundan başqa bu fəsildə elektrik və dielektrik xassələrini tədqiq etmək üçün qurğuların sxemi və onların işləmə prinsipi, γ -şüalarının təsirinin tədqiqat metodu verilmişdir. Bununla yanaşı kristalların səthinin mikrorelyefinin atom qüvvə mikroskopu vasitəsilə öyrənilməsi metodu, impedans spektrinin ölçülməsi metodu şərh edilmişdir.

Dissertasiyanın **III fəslində** γ -kvantlarla şüalanmış $TlGa_{1-x}In_xSe_{2(1-x)}S_{2x}$ ($x=0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0$) sistemli bərk məhlulların 100-450K temperatur və $25-10^6$ Hz tezlik intervalında elektrikkeçiriciliyinin və dielektrik nüfuzluluğunun temperaturdan asılılığı, Volt-Amper xarakteristikası, impedans spektroskopiyası tədqiq olunmasından alınmış nəticələr təqdim edilmişdir.

$TlGa_{1-x}In_xSe_{2(1-x)}S_{2x}$ və $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ sistemli bərk məhlulları $A^{III}B^{III}C^{VI}_2$ ümumi formulda birləşən laylı yarımkəçiricilər sinifinə daxildir. Müasir bərk cisimlər fizikası və bərk cisim elektronikasının inkişaf xüsusiyyətləri strukturun nizamsızlığı ilə əlaqədar materialın xüsusiyyətlərinə əsaslanan yeni fiziki xassələrin istifadəsinə əsaslanır. Əgər struktur matrisin düyünlərinin nüfuz edilməsində ideal kriptografik simmetriya saxlanarsa, bu düyünlərin doldurulması, elektron spin-

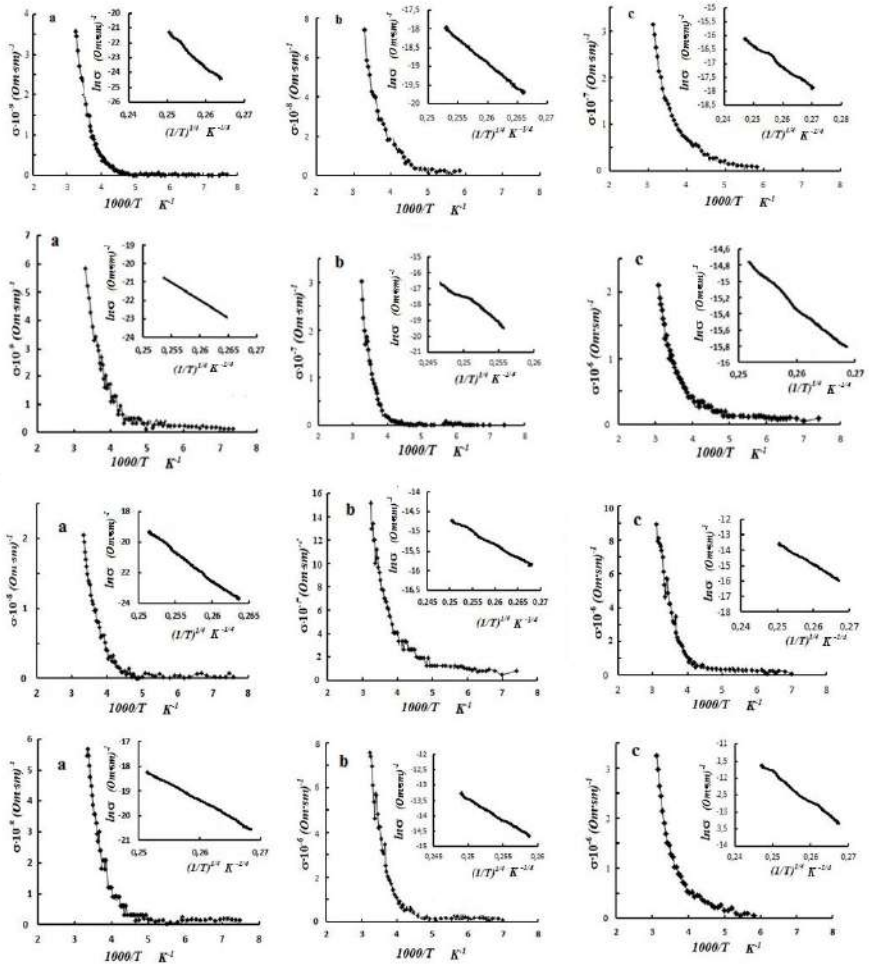
lərinin və s. oriyentasiyasında periodikliyin pozulması səbəbiylə nizamsızlıq ola bilər. Nizamsız materiallar enerji spektrində xüsusiyyətlərin müşahidə olunduğu geniş obyektlər sinifidir. Belə materiallarda dielektrik xüsusiyyətlərinin relaksasiya proseslərinin mexanizmi dəyişir, yükdaşınma prosesində xarakterik xüsusiyyətlər müşahidə olunur.

TlB¹¹¹C^{VI}₂ ümumi formulda birləşə bilən anizotrop kristallar arasında zəncirvari və laylı struktura sahib olan kristallar xüsusi yer tutur. Bu birləşmələr infraqırmızı, görünən və X-ray spektr oblastlarında yüksək həssaslıq nümayiş etdirirlər. Birləşmələrin bu xüsusiyyətinə görə, optoelektron sistemlərdə, fotorezistorlar, fotodetektorlar, rentgen detektorları, nüvə detektorları və s. funksional elementlər kimi istifadə olunur.

Bununla yanaşı, TlGa_{1-x}In_xSe_{2(1-x)}S_{2x} ikili sistemlərinin faza diaqramlarındakı kəsiklər üçün elektrikkeçiriciliyinə tərkibin, quruluşun və γ -şüalanmanın təsiri öyrənilmişdir. Tədqiqat obyektini kimi, xüsusi ikili sistemlərin seçilməsi aşağıdakı amillərlə izah edilə bilər: TlGa_{1-x}In_xSe_{2(1-x)}S_{2x} sistemləri üçün oxşar monoklin quruluş və elementlərin ion radiuslarının yaxınlığını qeyd etmək vacibdir ($R_{In^{3+}}=0,081$ nm, $R_{Ga^{3+}}=0,062$ nm, $R_{Se^{2-}}=0,198$ nm, $R_{S^{2-}}=0,184$ nm). Bu çoxkomponentli birləşmələrdə tərkibin və temperaturun geniş intervalında bərk məhlullarının əvəzləmələrinin mövcudluğunun yüksək olduğu Holdmit qanununa uyğundur.

γ kvantlarla şüalanmış TlGa_{1-x}In_xSe_{2(1-x)}S_{2x} (x=0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0) sistemli bərk məhlulların 100-300K temperatur intervalında keçiriciliyinin xüsusiyyəti öyrənilmiş və bu xüsusiyyətlərə γ -şüalanmanın təsiri tədqiq edilmişdir. TlGa_{1-x}In_xSe_{2(1-x)}S_{2x} (x=0; 0,1; 0,9; 1,0) sistemli bərk məhlullarının elektrik keçiriciliyinin Arrenius koordinatlarında temperaturdan asılılıqları uyğun olaraq şəkil 1-də verilmişdir.

TlGa_{1-x}In_xSe_{2(1-x)}S_{2x} (x=0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0) sistemli bərk məhlullarının elektrik keçiriciliyinin 100-300 K temperatur intervalında elektrikkeçiriciliyinin temperaturdan asılılığının tədqiqinin nəticələrinə əsasən sıçrayışlı keçiriciliyin mövcudluğunun temperatur və tezlik intervalları müxtəlif dozada şüalanmadan əvvəl və sonra müəyyən edilmişdir.



Şəkil 1. γ -kvantlarla şüalandırılmış $\text{TlGa}_{1-x}\text{In}_x\text{Se}_{2(1-x)}\text{S}_{2x}$ ($x=0; 0.1; 0.2; 0.3$) bərk məhlulların elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığı. Şəkil üstü əlavədə Mott kordinatlarında $\ln \sigma$ -nın $T^{-1/4}$ -dən asılılığı verilmişdir. (a-0 MQR; b-0,25 MQR; c- 0,75 MQR)

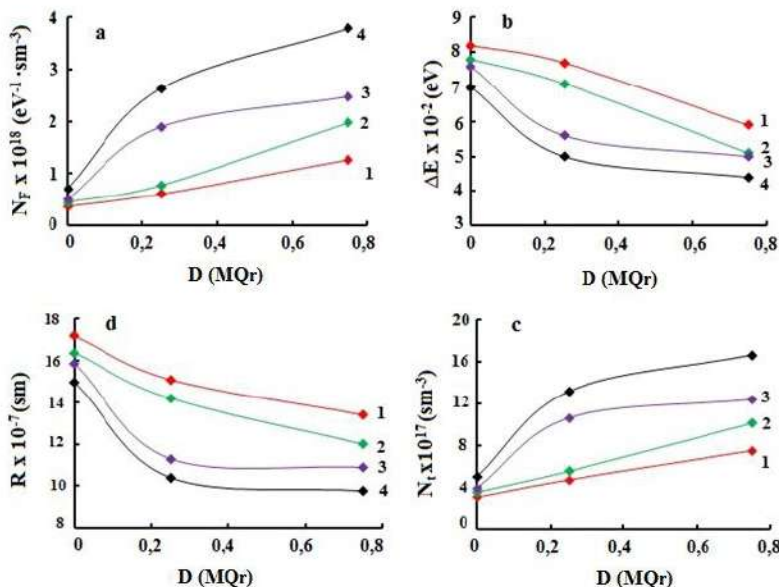
Tədqiq olunmuş bərk məhlulların elektrikkeçiriciliyinin temperaturdan asılılığından xüsusi keçiriciliyin dəyişməsinə iki hissə mövcudluğu göstərilmişdir.

Belə ki, asılılığın $175 \div 240$ K temperatur aralığı eksponensial səciyyə daşıyır. Göstərilən temperatur aralığında istilikləaktivləşdirilmiş yükdaşıyıcıların icazəli zonada keçiriciliyi üstünlük təşkil edir. Temperaturun sonrakı azalması ilə aşqar yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının azalması müşahidə olunur. Belə ki, tədqiq olunan bərk məhlul nümunələri üçün temperaturun 175 K-dən aşağı qiymətlərində yükdaşıyıcıların donma oblastlarıdır. $175 < T < 240$ K temperatur oblastlarında Mott koordinatlarında $\ln \sigma$ -nın $T^{-1/4}$ -dən asılılığından müəyyən edilən koordinatlarda eksperimental nöqtələr düz xətt boyunca yığılır. Bu da bizə onu deməyə imkan verir ki, göstərilən temperatur oblastında şüalanmamış və şüalandırılmış $TlGa_{1-x}In_xSe_{2(1-x)}S_{2x}$ ($x=0; 0,1; 0,9; 1,0$) bərk məhlullarında yükün daşınması Fermi səviyyəsinin yaxınlığında dar enerji zolağında yerləşən lokallaşmış hallar üzrə yükdaşıyıcıların sıçrayışlı keçiriciliyi vasitəsilə həyata keçirilir.

Keçiriciliyin sıçrayışlı xarakteri üçün səciyyəvi olan əlavə səbəblər nəzərdən keçirilmişdir.

Mott yaxınlaşmasına əsasən keçiriciliyin parametrləri: Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış halların sıxlığı (N_F), dərin tələlərin konsentrasiyası (N_I), Fermi səviyyəsinin yaxınlığında lokallaşmış halların enerji fərqi (ΔE) və eləcə də yükdaşıyıcıların sıçrayışlarının orta uzunluğunun (R) qiymətləri hesablanmış, dozadan və tərkibdən asılılıq qrafikləri qurulmuşdur (şəkil 2). Tədqiq olunan bərk məhlullar üçün sıçrayışlı keçiriciliyin parametrlərinin dozadan asılılığı kənar tərkiblərlə müqayisədə həllolma oblastında və γ - şüalanma dozasından aslı olaraq əhəmiyyətli dərəcədə dəyişir.

Bərk məhlullarda enerji hallarının lokallaşmasına gətirən əlavə səbəblər nəzərdən keçirilmişdir. $TlGa_{1-x}In_xSe_{2(1-x)}S_{2x}$ bərk məhlulu halında isə defektlərin yaranmasının əlavə nizamsızlığa və bunun nəticəsində ideal kristalda qadağan olunmuş qiymətlər intervalına düşən enerjili yeni lokallaşmış halların meydana çıxmasına gətirən əlavə səbəblər nəzərdən keçirilmişdir.



Şəkil 2. $\text{TlGa}_{1-x}\text{In}_x\text{Se}_{2(1-x)}\text{S}_{2x}$ ($1-x=0$; $2-x=0,1$; $3-x=0,2$; $4-x=0,3$;) bərk məhlullarının Fermi səviyyəsi yaxınlığında: a - lokallaşmış halların sıxlığının (N_F), b - lokallaşmış halların enerji səpilməsi (ΔE), c- dərin tələlərin konsentrasiyası (N_t), d - sıçrayışın uzunluğunun (R) konsentrasiyadan və şüalanma dozasından asılılığı.

Laylı və zəncirvari kristallarında defektlərin konsentrasiyası 10^{18} sm^{-3} -ü ötür. Belə sayda defektlərin mövcudluğu Fermi səviyyəsinin yaxınlığında halların yüksək sıxlığı ilə izah olunur. Strukturun defektliliyinin səbəbi $A^3B^3C^6_2$ qrup kristallarının 6-8 mol.%-ə qədər çatan geniş homogenlik oblastının mövcudluğu ola bilər. Homogenlik oblastında seqreqasiya əmsalı vahiddən kiçikdir, buna görə də monokristalların yetişdirilməsi zamanı bərk məhlulda tərkibin stexiometriyadan kənara çıxmasının böyük ehtimalı mövcuddur. Bu da öz növbəsində, layların birləşməsinin böyük miqdarda defektlərinin, vakansiya və dislokasiyaların yaranmasına səbəb ola bilər. Kristallarda müxtəlif defektlərin yaratdığı tələlər yükün daşınması hadisələrində əsas rolu oynayır. Fermi səviyyəsinin yaxınlığında yükdaşıyıcıların

sıçrayışları baş verən enerji zolağının enini müəyyən edən aktivləşmə enerjisi praktiki olaraq kristalın bütün elektrik keçiriciliyini təqdim edir.

$TlGa_{1-x}In_xSe_{2(1-x)}S_{2x}$ bərk məhlulu halında isə defektlərin yaranmasının əlavə nizamsızlığa və bunun nəticəsində ideal kristalda qadağan olunmuş qiymətlər intervalına düşən enerjili yeni lokallaşmış halların meydana çıxmasına gətirən aşağıdakı əlavə səbəblərini göstərmək olar:

- kristal qəfəsinin translyasiya invariantlığı pozulur, yəni kristal qəfəsinin ekvivalent düyünləri qeyri-ekvivalent atomlar tərəfindən tutulmuş olur;

- bərk məhlulda başqa fazaların mikroəlavələrinin, məsələn $TlSe$, $InSe$, $TlInTe_2$ və başqa fazaların mikroözəklərin mövcud olması;

- bərk məhlulun strukturunda, In^{3+} , Ga^{3+} , Tl^{1+} , Tl^{3+} kationlarının qarşılıqlı qismən əvəzlənmələri ilə şərtlənən antistruktur defektlərin olması;

- mövqe nizamsızlığının mövcudluğunun ehtimalı böyükdür. Bu ondan ibarətdir ki, çoxkomponentli bərk məhlullarda bir altqəfəs nizamlı (Tl^{1+} altqəfəsi) olur, ikinci altqəfəsdə isə atomlar zəncirin düyünlərində bir-birini xaotik şəkildə əvəz edir.

Şübhəsiz ki, nizamsızlığın yuxarıda sadalanan növləri quruluşun Fermi səviyyəsinin yaxınlığında elektron hallarının lokallaşmasına səbəb olan nizamsızlaşmasına əlavə töhfə verir [17].

Bu fəsildə həmçinin $TlGa_{1-x}In_xSe_{2(1-x)}S_{2x}$ (0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0) sistemi bərk məhlulların Volt-Amper xarakteristikası 200÷300K temperatur intervalında və xarici elektrik sahəsinin 0÷3000 V/sm qiyməti aralığında, həm şüalanmadan əvvəl, həm də 0,75 MQR şüalanmadan sonra tədqiq olunmuşdur.

Yarımkeçiricilərdə, dielektriklərdə və onların əsasında alınan birləşmələrdə temperaturun və güclü elektrik sahəsinin təsiri ilə bağlı yaranan ionlaşma səviyyələri Frenkel tərəfindən nəzəri olaraq araşdırılmışdır. Məhz buna görə də göstərilən materialların elektrik sahəsinin təsiri ilə elektrik keçiriciliyinin artmasını Frenkelin termoelektron ionlaşması ilə izah edirlər. Güclü elektrik sahəsində elektrik keçiriciliyinin $\sigma = \sigma_0 e^{\alpha E}$ şəklində eksponensial qanunu ilə artması Pul tərə-

findən göstərilmişdir. İlk öncə onu qeyd etmək lazımdır ki, Frenkelin termoelektron ionlaşması elektrodada realizə olunmur, yarımkəçirici və dielektrikin bütün həcmində realizə olunur. Pul-Frenkel effekti nəzəri olaraq çox işlərdə baxılmışdır və təcrübi olaraq yarımkəçiricilərdə, dielektriklər və onlar əsasında alman birləşmələrdə aşkar olunmuşdur.

Yarımkəçirici maddələrdə rabitələrin qırılması ilə və ya onların yenidən qurulması ilə əlaqədar çoxlu sayda tutucu tələlər, yəni, valent-alternativ defektlər, həm də konsentrasiyaları eyni olan donor və akseptor tipli defektlərin əmələ gəlməsi mövcud olur ki, bu zaman donor mərkəzləri elektrik keçiriciliyini Pul-Frenkel keçiriciliyinə gətirib çıxarır. Pull-Frenkel effektinin mahiyyəti onunla nəticələnir ki, elektrik sahəsində aktivasiya enerjisinin səviyyəsinin aşağı düşməsi dielektrik və yarımkəçiricilərin cərəyandan asılı olaraq konsentrasiyasının artmasına gətirib çıxarır.

Şüalanmamış və 0,75 MGy radiasiya təsirinə məruz qalmış $TlGa_{1-x}In_xSe_{2(1-x)}S_{2x}$ (0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0) bərk məhlulların müxtəlif temperaturlarda Volt-Amper xarakteristikaları tədqiq olunmuşdur. Alınmış təcrübi nəticələrə əsasən, müxtəlif temperaturlarda və elektrik sahəsinin müxtəlif qiymətlərində Volt-Amper xarakteristikasında xətti və qeyri-xətti ($J \sim U^n$) hissələr mövcuddur. Temperaturun artması ilə omik oblastın kiçilməsi müşahidə olunur və bu zaman kvadratik oblastda keçid gərginliyi kiçik qiymətlərə doğru sürüşür. Belə artım yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının artması ilə əlaqədardır.

Təcrübi məlumatların analizi göstərmişdir ki, güclü elektrik sahəsində ($3 \cdot 10^3$ V/sm) şüalanmadan əvvəl və sonra $TlGa_{1-x}In_xSe_{2(1-x)}S_{2x}$ (0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0) bərk məhlullarında σ -nın E-dən asılılığı Frenkel düsturu ilə yaxşı təsvir olunur.

Təcrübi məlumatlar əsasında $TlGa_{1-x}In_xSe_{2(1-x)}S_{2x}$ (0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0) bərk məhlullarında üçün $\lg \sigma - E$ və $\lg \sigma - E^{1/2}$ asılılıqları qurulmuşdur. Göstərilmişdir ki, $\lg \sigma - \sqrt{E}$ koordinatlarının xətti asılılığı uyğun gəlir. Bu da β -Frenkel əmsalının nəzəri ifadəsi ilə yaxşı uyğunlaşır.

**Pul-Frenkel effekti çərçivəsində hesablanmış parametrlərin
şüalanmadan əvvəl və sonrakı qiymətləri. T=250K**

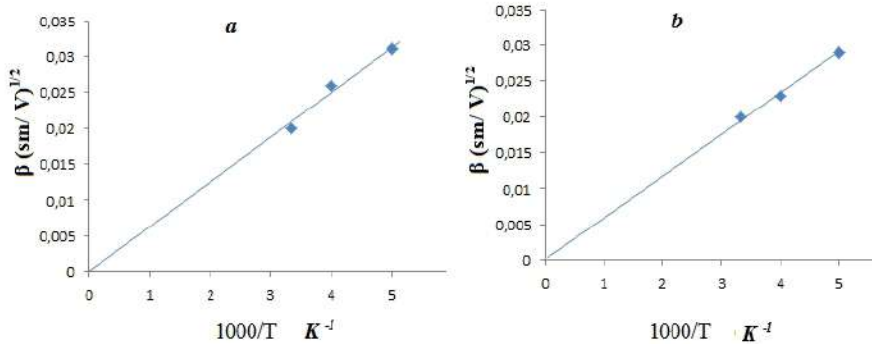
Tərkib TlGa _{1-x} In _x Se _{2(1-x)} S _{2x}	Şüalanma dozası	$\beta(\text{sm}/\text{V})^{1/2}$	λ (sm)	x_m (sm)	N_t (sm ⁻³)
x=1	0 MQR				
	0,75 MQR	0.032	$5,13 \times 10^{-6}$	$1,28 \times 10^{-6}$	5.96×10^{16}
x=0,9	0 MQR	0.027	$4,27 \times 10^{-6}$	1.25×10^{-6}	6.46×10^{16}
	0,75 MQR	0.023	$3,19 \times 10^{-6}$	1.15×10^{-6}	$8,29 \times 10^{16}$
x=0,8	0 MQR	0.012	2.6×10^{-6}	1.13×10^{-6}	$8,66 \times 10^{16}$
	0,75 MQR	0,008	1.1×10^{-6}	9.58×10^{-7}	$1,42 \times 10^{17}$

β -nın temperaturun tərs qiymətindən asılılığını analiz edərkən görünür ki, bu kəmiyyətlər arasında asılılıq düz xəttidir (şəkil 3.). Eyni zamanda müəyyən edilmişdir ki, $\ln \sigma (E^{1/2})$ asılılığından təyin

olunmuş β - Frenkel əmsalının temperaturdan asılılığı $\beta = \frac{\sqrt{e^3}}{kT \sqrt{\pi \epsilon \epsilon_0}}$

ifadəsinə tabe olur və $\beta \sim 10^3/T$ xəttinin ekspolyasiyası koordinat başlanğıcından keçir.

TlGa_{1-x}In_xSe_{2(1-x)}S_{2x} (0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0) bərk məhlullarında 200÷300K temperatur aralığında güclü elektrik sahəsində elektrik keçiriciliyindən alınmış nəticələri nəzərə almaqla sərbəst qaçış yolunun uzunluğunu (λ), Frenkel əmsalını (β) və tələrdən potensial çəpərin maksimumuna qədər olan məsafəni (x_m), eyni zamanda ionlaşmış mərkəzlərin konsentrasiyasının (N_t) hesabmaq mümkündür. Şüalanmadan əvvəl və sonra hesablamaq alınmış qiymətlər müqayisəli şəkildə cədvəl 1-də verilmişdir.



Şəkil 3. $TlGa_{1-x}In_xSe_{2(1-x)}S_{2x}$ ($x=0.9$) bərk məhlulu üçün β -Frenkel əmsalının temperaturun tərs qiymətindən asılılığı (a-0 MQr, b-0,75 MQr)

Aşkar edilmişdir ki, $TlGa_{1-x}In_xSe_{2(1-x)}S_{2x}$ (0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0) bərk məhlullarında 0,75 MQr dozada şüalanıqdan sonra cərəyanın qiyməti şüalanmadan əvvəlki qiymətinə nəzərən azalmaqla yanaşı omik oblastdan kvadratik oblasta keçid gərginliyinin qiyməti artır. Bu isə VAX-da müşahidə olunan omik oblastın yüksək gərginlik oblastına tərəf sürüşməsinə səbəb olur. Radiasiya təsirinə məruz qalmış $TlGa_{1-x}In_xSe_{2(1-x)}S_{2x}$ (0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0) bərk məhlulların güclü elektrik sahəsində Volt-Amper xarakteristikalarının qeyri-xətti hissəsində cərəyan zəif sahə effekti ilə şərtlənir və Pul-Frenkelin istilik-sahə nəzəriyyəsi çərçivəsində izah olunur. Elektrik sahəsində elektrik keçiriciliyinin (σ) qiymətinin artması Frenkelin termoelektron ionlaşması ilə izah olunur ki, bu da tələlərin konsentrasiyasını (N_t), sərbəst qaçış yolunun uzunluğunu (λ), Frenkel əmsalını (β) və tələlərdən potensial çəpərin maksimumuna qədər olan məsafəni (x_m) təyin etməyə imkan verir.

Göstərilmişdir ki, qamma şüalanmadan sonra yaranan radiasiya defektlərinin hesabına yaranan ionlaşma mərkəzlərinin konsentrasiyası artır. Müəyyən edilmişdir ki, $TlGa_{1-x}In_xSe_{2(1-x)}S_{2x}$ (0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0) bərk məhlullarının $\sigma \sim (E^{1/2})$ asılılıq-

larında istilik-sahə Pul-Frenkel effekti nəzərə alınmaqla, Volt-Amper xarakteristikasının qeyri-xətti hissəsi zəif sahə effekti ilə şərtlənir.

Eyni zamanda **bu fəsildə** şüalanmamış və γ -kvantlarla şüalanmış $TlGa_{1-x}In_xSe_{2(1-x)}S_{2x}$ (0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0) sistemli bərk məhlulların 100-450K temperatur intervalında ion keçiriciliyinin xüsusiyyətləri öyrənilmişdir.

Ədəbiyyat məlumatlarının təhlilinə əsasən ion keçiricilik halına elektrik sahəsi ilə induksiyanlanmış faza keçidinin nəzəriyyəsi kristalda Frenkel defektlərinin qarşılıqlı təsirinin mühüm rolu və elektrik sahəsinin bu defektlərin yaranma enerjisinə təsiri təsəvvürlərinə əsaslanır. İon keçiriciliyə malik kristallarda mövcud olan nizamsızlığın nəticələrindən biri də elektrik ölçmələri zamanı kristalın elektrik keçiriciliyində ion toplanmasının payının artmasından ibarət olmasıdır ki, bu zaman da ion toplanmasının payı elektron toplanmasını bir neçə tərtib üstələyir.

Bərk cisimlərdə ion keçiriciliyin formalaşmasında başlıca amillərdən biri də maddənin quruluş xüsusiyyətlərindən asılıdır:

- kristalın elementar qəfəsində yerini dəyişən ionların sayı ümumi mobilionların sayından çox olmalıdır;

- ionların hərəkət edə bilməsi üçün kristal qəfəsdə bilavasitə «kiçik ölçülü kanallar» olmalıdır. Əgər belə kiçik kanallar olmasaydı yüklü zərrəciklərin bir və ya bir neçə elementar qəfəs daxilində hərəkəti mümkün olardı.

İon keçiricilik üçün kristallokimyəvi şərtlərdən biri-anion ilə kation arasındakı məsafə onların ion radiusları cəmindən böyük olmalıdır ki, onların qarşılıqlı yerdəyişməsi üçün geometrik imkanlar yaranmasıdır. Digər şərt isə kristallik quruluşda Pb^{2+} , Bi^{3+} , Tl^+ və s. yəni, yüksək polyarizasiyalı kationlar və ya yüksək polyarizasiyalı struktur elementləri olmasıdır.

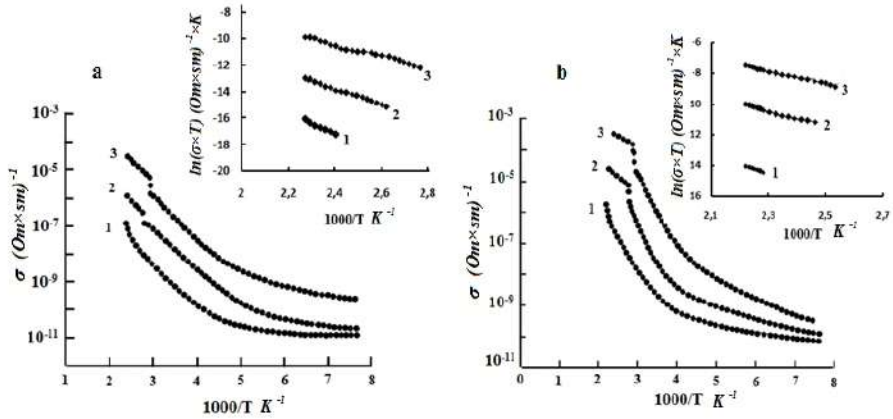
0, 0,25 və 0,75 MQR doza şüalanmaya məruz qalmış nümunələrin otaq temperaturundan yuxarı temperaturalarda elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığında temperaturun müəyyən kritik qiymətində keçiriciliyin qiymətinin bir neçə tərtib artdığı aşkar olunmuşdur

(şəkil 4). Keçiriciliyin belə xarakterli artımı həmin kritik temperaturdan yuxarı temperaturlarda ion keçiriciliyinin üstünlük təşkil etdiyini göstərir. İon keçiriciliyinin olmasını göstərən faktlardan biri ondan ibarətdir ki, elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılıq əyrisində ion keçiriciliyinin mövcud olduğu temperatur oblastında $\ln(\sigma \cdot T)$ -nin $1/T$ asılılığının xətti qanunauyğunluğa tabe olmasıdır (şəkil 4 a, b, c –yə əlavələrdə). Təcrübədən alınan qiymətlər əsasında tədqiq olunan bərk məhlullar üçün ion keçiriciliyi üçün xarakterik olan $\ln(\sigma \cdot T)$ -nin $(1/T)$ asılılığı qurularaq xətti qanunauyğunluğa tabe olduğu aşkar edilmişdir.

Otaq temperaturundan yuxarı temperaturlarda $TlGa_{1-x}In_xSe_{2(1-x)}S_{2x}$ ($x=0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0$) sistemli bərk məhlullarda müşahidə olunan elektrik keçiriciliyinin sıçrayışlı dəyişməsini yüksək mobilliyə malik Tl ionlarının sayının kəskin artması ilə izah etmək olar ki, bu da superion halına faza keçidi yaradır.

Bu dəyişmə $TlGa_{1-x}In_xSe_{2(1-x)}S_{2x}$ ($0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0$) sistemli bərk məhlullarının Tl alt qəfəsinin nizamsızlaşması ilə (alt qəfəsin əriməsi) müşayət olunan faza keçidi nəticəsində baş verir. Superion keçiricilər üçün belə keçiricilik halı xarakterikdir.

Ədəbiyyat məlumatlarından məlum olduğu kimi, superion keçiriciliyə malik maddələrdə temperaturun artması ilə elektrik keçiriciliyinin eksponensial artımı ilə yanaşı dielektrik nüfuzluğunun da eksponensial artımı müşahidə olunur və yuxarı temperaturlarda onun qiyməti aşağı temperatur oblastındakı qiymətinə nəzərən dəfələrlə böyük olur. Bərk məhlul nümunələrində $\varepsilon(T)$ asılılığının belə davranışı çox ehtimal ki, ionların defektlər üzrə hərəkəti ilə əlaqədardır.



Şəkil 4. $\text{TiGa}_{1-x}\text{In}_x\text{Se}_{2(1-x)}\text{S}_{2x}$ (a-x=0; b-x=0,1) kristalının elektrikkeçiriciliyin temperaturdan asılılığı; 1-0 MQr, 2-0,25 MQr, 3-0,75 MQr. Şəkil üstü əlavələrdə $\ln\sigma$ -nın $1000/T$ asılılığı verilmişdir

Beləliklə, $\text{TiGa}_{1-x}\text{In}_x\text{Se}_{2(1-x)}\text{S}_{2x}$ (0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0) bərk məhlulların dielektrik nüfuzluğunun aşağı tezliklərdə böyük qiymət alması, zəif əlaqəli tallium ionları hesabına yaranan ion polyarizasiyası mexanizminə əsaslanır [7,14, 19].

Dissertasiya işinin **üçüncü fəslində** həmçinin $\text{TiGa}_{1-x}\text{In}_x\text{Se}_{2(1-x)}\text{S}_{2x}$ bərk məhlullarının impedans spektroskopiyası metodu ilə $25 \div 10^6$ Hs tezlik oblastında kompleks impedans, relaksasiya prosesləri araşdırılmışdır və bu proseslərə γ -şüaların təsiri öyrənilmişdir [12].

Impedans spektroskopiya metodu ionkeçirici materialların metal kontaktlarında meydana gələn elektrofiziki prosesləri araşdırmaq üçün ən əlverişli üsuldür. Xüsusilə, impedans spektroskopiya metal, metal oksid və ya yarımkəçirici elektrod/elektrolit interfeysi, materialların dielektrik və elektrik xüsusiyyətlərini araşdırmaq, elektrokimyəvi reaksiyaların mexanizminin müəyyən olunması, məsələli elektrodların, passiv səthlərin xüsusiyyətlərini öyrənmək, elektrokimyəvi batareyaların və polimer örtüklərinin vəziyyətini qiymətləndirmək üçün istifadə olunur. Bütün elm sahələrində, impedans spektroskopi-

ya üsulu ilə əldə edilmiş eksperimental məlumatlar, modelin reallıq kimi qəbul olunmasına baxmayaraq, terminologiyada "model" baxımından şərh edilir. İmpedans spektroskopiyası məlumatlarını şərh etmək üçün istifadə edilən modellər analog və fiziki olur.

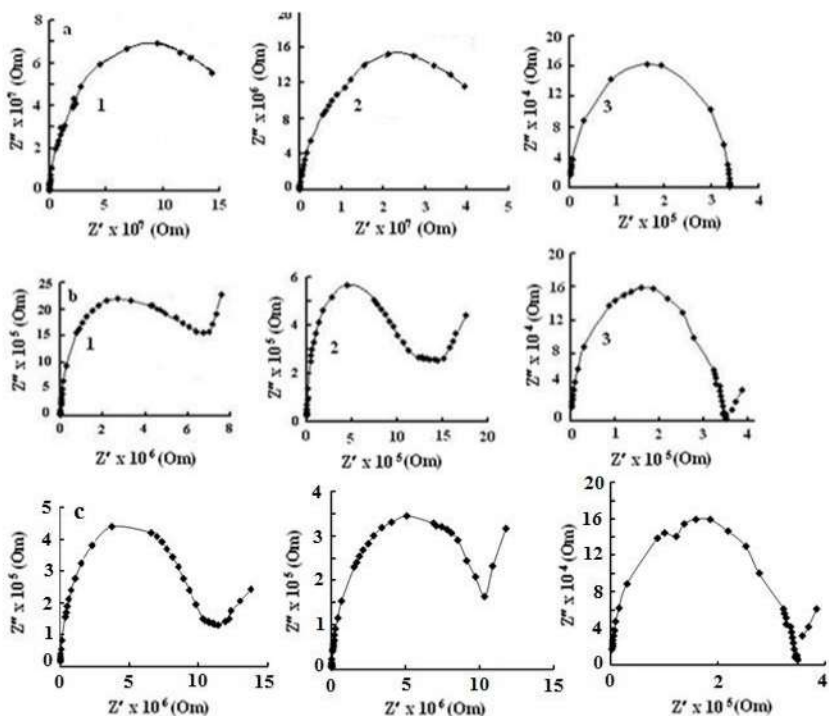
Analoq modellər demək olar ki, həmişə elektrik ekvivalent sxem formasına sahibdirlər və sistemin fiziki-kimyəvi xüsusiyyətlərini təsvir edə bilmirlər, lakin onları sxematik olaraq təkrar edirlər. İon ötürücü materiallarda elektrokimyəvi və elektrofiziki proseslərin öyrənilməsi üçün ən əlverişli üsullardan biri, üsulun kifayət qədər yüksək həssaslığı ilə əlaqəli olan impedans spektroskopiyasıdır. Eyni zamanda əldə edilmiş nəticələrin təsvir olunması problemi də var. Bu, ion və ya qarışıq elektron-ion ötürücülü materiallarda proseslərin mürəkkəbliyi ilə bağlıdır.

İmpedans spektroskopiyası nəzəriyyəsinin inkişafı elektrik ekvivalent sxem nümunələrinin qurulmasına yönləndirilməsi, olduqca çətin oldu. Yığılmış təcrübə göstərir ki, nümunələrin elektrik xüsusiyyətləri bəzən rezistor-kondensator modellərinə uyğun gəlmir. Həssaslığı artırmaq üçün ekvivalent sxemə induktivlik və ya mənfi tutumun nüfuz edilməsi zəruridir. Beləliklə, təbiəti açıq olmayan bir fazada gecikməyə gətirib çıxaran proseslər var. Digər bir problem elektrokimyəvi özləklərin bölüşdürülməsinin olması ilə bağlıdır.

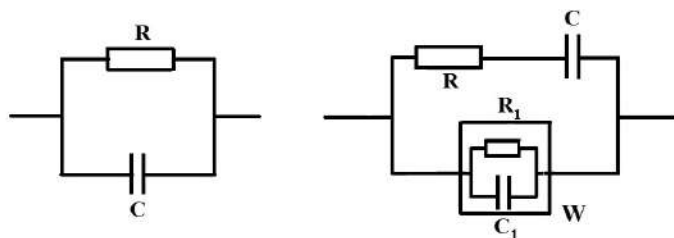
Bu cür obyektlərin nəzəri təsvirində koordinatlar və vaxt funksiyaları yaranır, bunun üçün qismən diferensial tənliyi inteqrasiya etmək tələb olunur. Beləliklə, nümunənin elektrik xüsusiyyətlərini layiqincə təsvir edən ekvivalent sxeminin yığılması ciddi təcrübə və nəzəri tədqiqatlar tələb edir.

0, 25 və 0,75 MQR dozalarında şüalanmış $TlGa_{1-x}In_xSe_{2(1-x)}S_{2x}$ bərk məhlul nümunələrinin impedansının həqiqi və xəyali hissələri ölçülmüşdür. Təcrübə nəticələri əsasında kompleks impedans qodoqrafının təsviri şəkil 5-də verilmişdir.

Bərk məhlul nümunələri üçün kompleks müstəvi qodoqrafın qövsü Z' və Z'' -in kəsişmə nöqtəsində maksimum yarım dairəyə yaxın həqiqi oxa meyillənən əyrini təsvir edir.



Şəkil. 5. $TlGa_{1-x}In_xSe_{2(1-x)}S_{2x}$ bərk məhlulunun $Z''(\omega)$ və $Z'(\omega)$ ölçmələrinin nəticələrinə əsasən kompleks müstəvidə qurulmuş ($Z'' - Z'$) - diaqramları. a–(1) $x=0$; (2) $x=0.2$; (3) $x=0.4$; 0,25 MQR şüalanmadan sonra - b–(1) $x=0$; (2) $x=0.2$; (3) $x=0.4$, 0,75 MQR şüalanmadan sonra - c- əyrisi–(1) $x=0$; (2) $x=0.2$; (3) $x=0.4$,



Şəkil. 6 Ekvivalent sxem. (a–şüalanmadan əvvəl, b– γ şüalanmadan sonra). W–Barburqerin impedans diffuziyası, R–nümunənin müqaviməti.

Asılılığın belə forması, paralel ekvivalent əvəzetmə sxemində uyğun gəlir (şəkil 6 a). Bu halda enerji daşınması tək relaksasiya müddəti ilə xarakterizə olunur. İmpedansın xəyali hissəsi, $C_{\text{eff}}R_{\text{eff}}\omega_{\text{max}} = 1$ şərtinə uyğun gələn $f_{(\text{max})}$ tezliklərində maksimum göstərir, burada C_{eff} və R_{eff} ekvivalent sxemin effektiv parametrləridir, $\omega_{\text{max}} = 2\pi f_{\text{max}}$ dairəvi tezlikdir. Şəkil 3- də, $x=0, 0.2, 0.4$ olduqda $\text{TlGa}_{1-x}\text{In}_x\text{Se}_{2(1-x)}\text{S}_{2x}$ bərk məhlulları üçün impedans qodoqrafları göstərilmişdir, ölçmələr şüalanmadan əvvəl (şəkil 3 a əyrisi), 0,25 MQR şüalanmadan sonra (şəkil 5 b əyriləri) və 0,75 MQR şüalanmadan sonra (şəkil 5 c əyriləri) yerinə yetirilmişdir. Qodoqraf qövsünün yuxarı (uc) hissəsi ω_{max} rezonans tezliyinə uyğun gəlir. Z'' maksimumuna uyğun uyğun gələn tezliklərin relaksasiya $f_{(\text{max})}$ müddətləridir. Şüalanmadan əvvəl və 0,25 MQR və 0,75 MQR şüalanmadan sonra $\text{TlGa}_{1-x}\text{In}_x\text{Se}_{2(1-x)}\text{S}_{2x}$ bərk məhlul nümunələri üçün tezlik dispersiyasının başlanğıcına uyğun gələn tezliklər müəyyən edilmişdir. Belə ki, bərk məhlulda Z'' maksimumuna uyğun gələn $f_{(\text{max})}$ tezliyində artım müşahidə olunur.

Göründüyü kimi, şüalanmadan əvvəl yerinə yetirilən ölçmələrdə həqiqi oxun mərkəzində yerləşən yarım dairəyə yaxın formaya malik olması yük daşınması prosesinin tək relaksasiya müddəti ilə xarakterizə olunması ilə əlaqələnməmişdir. Qodoqrafın bu növü aşağı müqavimətli və tədrisedici olmayan kontaktlı eynicinsli nümunəyə uyğun gəlir. 0,25 və 0,75 MQR dozada şüalanmadan sonra aparılan ölçmələrdən əldə edilən ($Z'' - Z'$) kompleks müstəvidəki diaqramlar bir paralel RC- zənciri üçün yarım dairəvi olub, diaqramların aşağı tezlikli oblastında şüalarla əks olunub (şəkil 6 b).

0,25 və 0,75 MQR şüalanmadan sonra alınan impedans qodoqraf əyriləri, görünüşünə görə bərk elektrolit və elektrod sərhədi yaxınlığındakı talium ionlarının diffuziyalı daşınması ilə bağlı olan keçiriciliyə əlavə təsirlərin olduğunu göstərir. İmpedans diaqramındakı bu şüalar böyük ehtimal ki, Varburqun diffuz impedansı ilə bağlıdır və bunun əsasında verilmiş diffuziya daşıyıcılarının sinusoidal siqnalının tezlik diapazonunda diffuziya layı sərhəddinə çata bilməməsi dayanır. Varburqun diffuz impedansının meydana gəlməsi, kristalın

superion hala keçməsi ilə γ -şüalanmadan sonra müşahidə olunan Tl^{+1} ionlarının diffuziyası hesab olunur.

Müəyyən edilmişdir ki, kristallar radiasiyaya məruz qaldıqdan sonra relaksasiya müddəti azalır. Ekvivalent sxem əvəzləmələri üsullundan istifadə edərək ($Z''-Z'$) kompleks müstəvi diaqramları analiz olunmuşdur. Göstərilmişdir ki, $TlGa_{1-x}In_xSe_{2(1-x)}S_{2x}$ bərk məhlulların γ -şüalanmadan sonra superion halına faza keçidi baş verir [20,24].

Üçüncü fəsildə həmçinin γ -kvantlarla şüalandırılmış $TlGa_{1-x}In_xSe_{2(1-x)}S_{2x}$ bərk məhlul nümunələrinin dielektrik nüfuzluluğunun həqiqi və xəyali hissəsinin tezlikdən asılılığının tədqiqi nəticələri verilmişdir.

Nizamsız struktura malik birləşmələrə zəif dəyişən elektrik sahəsi tətbiq etdikdə, müxtəlif temperatur və tezlik intervalında baş verən üç fərqli yükdaşınma mexanizminin mövcudluğunu nəzərə alınmalıdır. Delokalizə olunmuş hallarda yükdaşınması yüksək tezliklərdə baş verir. Lokallaşmış hallar üzərində keçiricilik halında keçiriciliyin tezlikdən asılılığı aşağıdakı qanunla dəyişir: $Re \sigma(\omega) \sim \omega^s$, burada $0.7 < s < 1$. Bu asılılığı geniş bir tezlik intervalında həyata keçirilir.

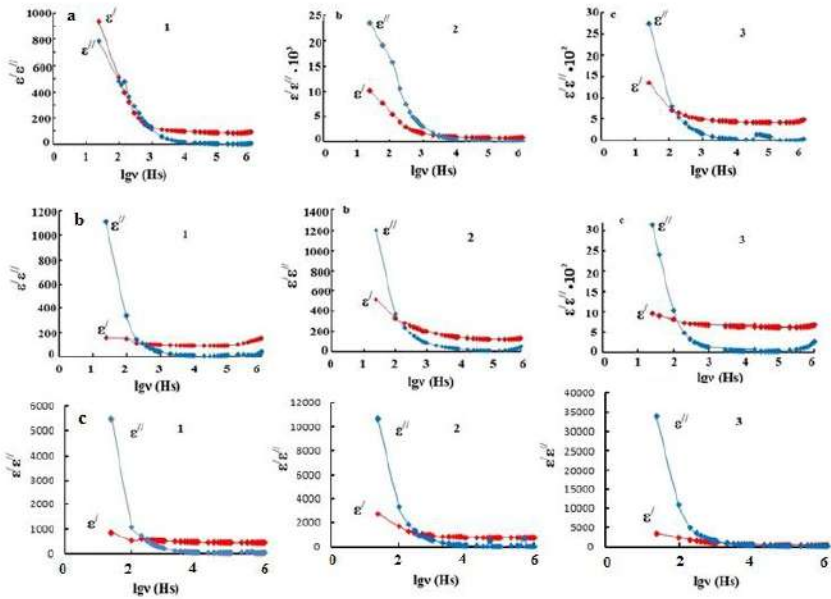
Bu asılılıq adətən 10^6 Hz tezliklərə qədər həyata keçir. Nizamsız sistemlərdə yükdaşınma mexanizmi sıçrayışlı xarakter daşıyır

Bu mexanizim elektron-fonon qarşılıqlı təsirinə əsaslanan, lokallaşmış hallar arasındakı potensial barier vasitəsi ilə yükdaşıyıcıların tunelləşməsi kimi təmsil oluna bilər. Bu metodda, həm qısamüddətli düzəldilmiş sistemlər, həm də fəzada düyünlərin ardıcıl tənzimlənməsinə dair məsələlər nəzərdən keçirilir. Bu üsulla, $\Psi(\omega)$ funksiyasının tezlikdən asılılığı nəzərə alınır, sabit cərəyan və yüksək tezlikli proseslərin payı nəzərə alınmır. Ədəbiyyat məlumatlarına görə üçölçülü sistemlər üçün $\Psi(\omega)$ funksiyasının fərqli sahələri; sonsuz klasterlər üzərində sıçrayışlar, $\Psi(\omega) \sim 1/\omega$; böyük, lakin sonlu bir klaster halında $\Psi(\omega) \sim \ln\omega$; ikidən çox düyünü olan klaster halında, $\Psi(\omega) \sim \omega^{-1}$ -dan aslı olmur; ikidüynlü sıçrayışlar üçün $\Psi(\omega)$ artan ω ilə azalır. Beləliklə, nizamsız mühitdə dəyişən cərəyanın yükdaşınma prosesinin tədqiqi zamanı eksperimental məlumatların diqqətlə təhlil edilməsi və ən uyğun modelin seçilməsi tələb olunur. Bərk cisimlərin dielektrik parametrlərini ölçərkən impedans spektroskopiyaya meto-

dundan istifadə olunur və bir qayda olaraq, kompleks dielektrik sabitinin $\varepsilon' = \frac{Cd}{\varepsilon_0 S}$ ifadəsindən istifadə olunur. Bu üsul bizə tədqiq olunan

obyektlərin qalınlığına və sərhəddəki keçiricilik xüsusiyyətləri haqqında tam məlumat əldə etməyə imkan verir. Dielektrik sabitinin həqiqi və xəyali hissələri isə $\varepsilon'' = tg\delta\varepsilon'$ ifadəsinə əsasən hesablanır.

Göstərilmişdir ki, 25 Hs-10⁶ Hs qədər artan tezliklərdə ε' zəif azalır və nisbətən aşağı tezliklərdə kəskin aşağı düşür, yüksək tezliklərdə ($f > 10^3$ Hs) ε' f-dən zəif aslı olduğu və 10⁶Hs tezliklərində ~18,0 qiymətini aldığı göstərilmişdir.



Səkil 7. TlGa_{1-x}In_xSe_{2(1-x)}S_{2x} bərk məhlullarının kompleks dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələrin tezlik dispersiyasından asılılığı

Yüksək tezliklərdə TlGa_{1-x}In_xSe_{2(1-x)}S_{2x} bərk məhlullarında x=0 olduqda ε' 10 dəfə azalır, x=0.1 tərkibi üçün ε' 2 dəfə, x=0.2 üçün isə ε' 1.5 dəfə azalır. ε' və ε'' tezlik dəyişməsinin təbiəti TlGa₁₋

$x\text{In}_x\text{Se}_{2(1-x)}\text{S}_{2x}$ bərk məhlullarında dielektrik sabitinin relaksasiya dispersiyası mövcudluğunu göstərir (şəkil 7).

Yüksək tezliklərdə $\text{TlGa}_{1-x}\text{In}_x\text{Se}_{2(1-x)}\text{S}_{2x}$ bərk məhlullarında $x=0$ olduqda ϵ' 10 dəfə azalır, $x=0.1$ tərkibi üçün ϵ' 2 dəfə, $x=0.2$ üçün isə ϵ' 1.5 dəfə azalır. ϵ' və ϵ'' tezlik dəyişməsinin təbiəti $\text{TlGa}_{1-x}\text{In}_x\text{Se}_{2(1-x)}\text{S}_{2x}$ bərk məhlullarında dielektrik sabitinin relaksasiya dispersiyası mövcudluğunu göstərir.

$\text{TlGa}_{1-x}\text{In}_x\text{Se}_{2(1-x)}\text{S}_{2x}$ kristalların dielektrik sabitinin (ϵ'') xəyali hissəsinin tezlik asılılığında tezlik dispersiyası mövcuddur, lakin şüalanmadan əvvəl və qamma şüalanmaya məruz qalmış nümunələrdə tezlik asılılığı zəifdir. Məlumdur ki, dielektriklərdə aktivləşdirmə və relaksasiya prosesləri, kompleks dielektrik sabitinin xəyali hissəsinin ϵ'' tezlikdən asılılığında maksimumla müşahidə olunur. Həm ilkin həm də şüalanmış nümunələr üçün ϵ tezliyin artması ilə azalır. Bu cür dəyişiklik keçiriciliyin artmasına xarakterikdir, çünki $\epsilon \sim \sigma(\omega) / \omega$, ifadəsini nəzərə alaraq $\epsilon'' \sim \omega^{-(1-s)}$ ifadəsini yazı bilərik.

$\text{TlGa}_{1-x}\text{In}_x\text{Se}_{2(1-x)}\text{S}_{2x}$ bərk məhlullarının dielektrik itgilərinin tangens bucağının tezlikdən asılılığının nəticələri verilmişdir. Bərk məhlulların bütün nümunələri üçün $f \sim 10^3$ Hz tezlik intervalında $\text{tg}\delta(f)$ asılılığında maksimum müşahidə olunur və 10^6 Hz tezlikdə minimuma düşür. $f_p = 10^3$ Hz tezlik dispersiyasının və relaksasiya müddətinin $\tau = 10^{-3}$ qiyməti hesablanmışdır. $\text{tg}\delta(f)$ bərk məhlul kristallarında relaksasiya itgilərinin mövcudluğunu və aktiv keçiriciliyinin olduğunu göstərir.

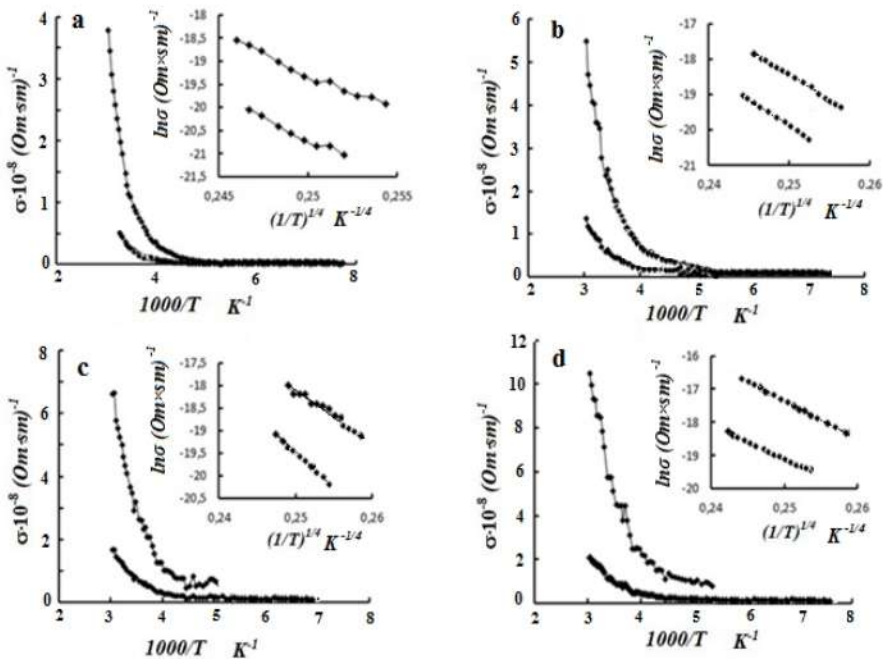
$\text{TlGa}_{1-x}\text{In}_x\text{Se}_{2(1-x)}\text{S}_{2x}$ bərk məhlulların həmçinin ac-keçiriciliyinin tezlikdən asılılığı şüalanmadan əvvəl, 0,25 və 0,75 Mqr dozada şüalandıqdan sonra verilmişdir. 10^6 Hz tezlikdə bərk məhlulların ac-keçiriciliyində təxminən 10 dəfə kəskin artım müşahidə olunur. Qamma şüalanma keçiriciliyin tezlikdən asılılığa zəif olaraq təsir edir. 350 K-də $\text{TlGa}_{1-x}\text{In}_x\text{Se}_{2(1-x)}\text{S}_{2x}$ bərk məhlulların artıq superior fazada olması, bu temperaturda keçiricilikdə ionların iştirak etməsi ilə və sistemin nizamsız olması ilə əlaqədardır. Beləliklə, bu şərtlərdə radiasiyanın təsiri ilə yaranan əlavə defektlər keçiriciliyin tezlikdən asılılığına təsir göstərməz [15].

Məlumdur ki, $TiB^3C^6_2$ qrup kristallarda keçiricilik Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış halların, fononların iştirakı ilə və dəyişən uzunluqlu sıçrayışın köməyi ilə otürülür. $\sigma_{ac}(f)$ asılılığının xarakterik xüsusiyyətindən görünür ki, $\sigma_{ac} \sim f^{0.6}$ kiçik tezliklərdə $f \sim 5 \cdot 10^5$ Hs olduqda bu asılılıq $\sigma_{ac} \sim f^{0.8}$ qanununa tabedir. Bu cür asılılıq Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış halların keçirilməsi ilə əlaqədardır.

Dielektrik nüfuzluğunun tezlik dispersiyası və dielektrik itki bucağının relaksor xassələri müəyyən edilmişdir. Göstərilmişdir ki, yükdaşınma mexanizmi 10^5 Hs tezlikdə Fermi səviyyəsi yaxınlığında sıçrayışlı xarakter daşıyır. γ şüalanmadan əvvəl və sonra keçiriciliyin verilmiş mexanizminin parametrləri qiymətləndirilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, keçiriciliyin $T=350K$ və 10^6 Hs tezlikdə sıçrayışla artması sistemin superion halına keçməsi ilə əlaqədardır [9].

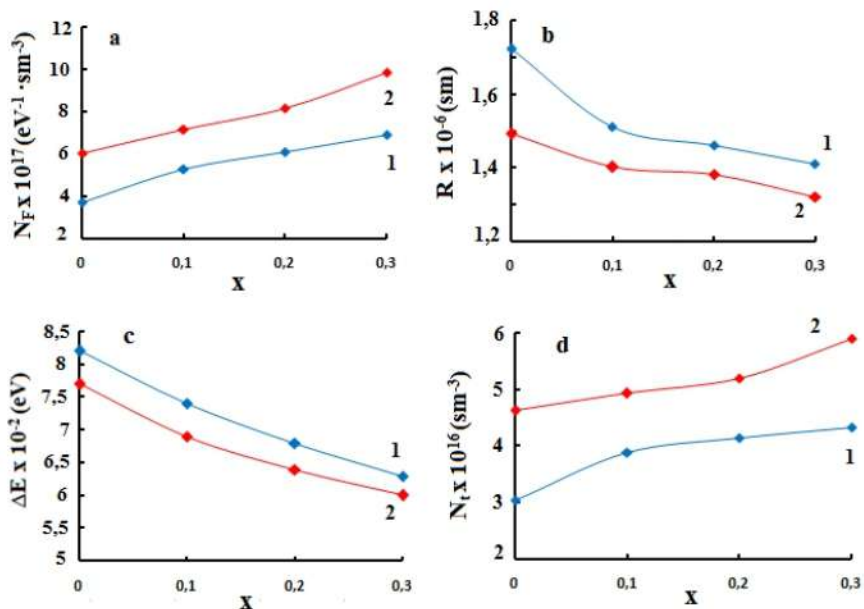
Dissertasiyanın **IV fəslində** γ -kvantlarla şüalanmış $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ ($x=0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0$) sistemli bərk məhlulların $100-450K$ temperatur və $25-10^6$ Hs tezlik intervalında elektrikkeçiriciliyinin və dielektrik nüfuzluluğunun temperaturdan asılılığının, superion keçiriciliyinin və impedans spektroskopiyasının tədqiq olunmasından alınmış nəticələr təqdim edilmişdir.

$TlGa_{1-x}In_xSe_2$ ($x=0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0$) sistemli bərk məhlullarının elektrik keçiriciliyinin $100-300 K$ temperatur intervalında elektrikkeçiriciliyinin temperaturdan asılılığının tədqiqinin nəticələrinə əsasən sıçrayışlı keçiriciliyin mövcudluğunun temperatur və tezlik intervalları şüalanmadan əvvəl və sonra müəyyən edilmişdir və Arrenius koordinatlarında temperaturdan asılılıqları uyğun olaraq şəkil 8-də verilmişdir. Göstərilən asılılıqda $180 \div 260 K$ temperatur aralığı eksponensial səciyyə daşıyır. $180 < T < 260 K$ temperatur oblastlarında Mott koordinatlarında $\ln \sigma$ -nın $T^{-1/4}$ -dən asılılığı şəkil 8-ə əlavələrdə verilmişdir və göstərilmişdir ki, müəyyən edilən koordinatlarda eksperimental nöqtələr düz xətt boyunca yığılır. Bu da bizə onu deməyə imkan verir ki, göstərilən temperatur oblastında şüalanmamış və şüalandırılmış $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ ($x=0; 0,1; 0,2; 0,3$) sistemi bərk məhlullarında yükün daşınması Fermi səviyyəsinin yaxınlığında dar enerji zolağında yerləşən lokallaşmış hallar üzrə yükdaşıyıcıların sıçrayışlı keçiriciliyi vasitəsilə həyata keçirilir



Şəkil 8. $\text{TlGa}_{1-x}\text{In}_x\text{Se}_2$ ($1-x=0$; $2-x=0,1$; $3-x=0,2$; $3-x=0,3$) sistemli bərk məhlulların elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığı. Şəkil üstü əlavədə Mott koordinantlarında $\ln \sigma$ -nın $T^{-1/4}$ -dən asılılığı verilmişdir.

Mott yaxınlaşmasına əsasən keçiriciliyin parametrləri: Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış halların sıxlığı (N_F), dərin tələlərin konsentrasiyası (N_i), Fermi səviyyəsinin yaxınlığında lokallaşmış halların enerji fərqi (ΔE) və eləcə də yükdaşıyıcıların sıçrayışlarının orta uzunluğunun (R) qiymətləri hesablanmış, dozadan və tərkibdən asılılıqları qurulmuş və şəkil 9 -da verilmişdir.



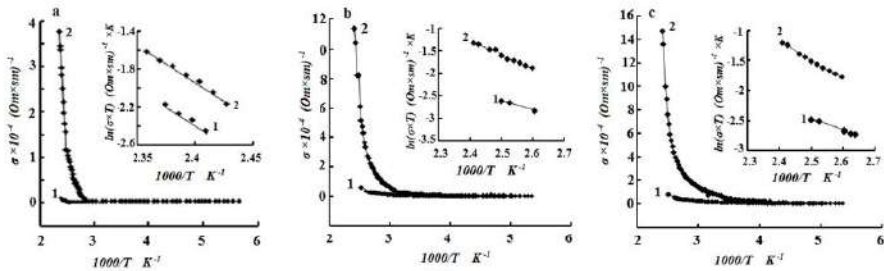
Şəkil 9. $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ ($x=0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,7;0,8; 0,9; 1,0$) bərk məhlullarının Fermi səviyyəsi yaxınlığında: a - lokallaşmış halların sıxlığının (N_F), b - lokallaşmış halların enerji səpilməsi (ΔE), c- dərin tələlərin konsentrasiyası (N_t), d - sıçrayışın uzunluğunun (R) konsentrasiyadan və şüalanma dozasından asılılığı.

Göstərilmişdir ki, Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış halların sıxlığı (N_F), dərin tələlərin konsentrasiyasının (N_t) qiymətləri bərk məhlulun tərkibindən və şüalanma dozasından aslı olaraq artır, Fermi səviyyəsinin yaxınlığında lokallaşmış halların enerji fərqinin (ΔE) və eləcə də yükdaşıyıcıların sıçrayışlarının orta uzunluğunun (R) qiymətləri isə bərk məhlulun tərkibindən və şüalanma dozasının artması ilə azalır. Keçiriciliyin sıçrayışlı xarakteri üçün səciyyəvi olan əlavə səbəblər nəzərdən keçirilmişdir [18].

Dissertasiya işinin hazırkı paraqrafında $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ (0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0) sistemli bərk məhlulların

100-450K temperatur intervalında ion keçiriciliyi və bu keçiriciliyə γ -şüaların təsirinə nəticələri verilmişdir.

$TlGa_{1-x}In_xSe_2$ (0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0) sistemli bərk məhlulların 100-450K temperatur intervalında elektrik keçiriciliyinin temperaturdan ($\sigma(T)$) asılılığı şüalanmadan əvvəl və 0,25 MQr dozada şüalandıqdan sonra tədqiq edilmişdir (şəkil 10) və temperaturun müəyyən kritik qiymətində keçiriciliyin qiymətinin bir neçə tərtib artdığı aşkar olunmuşdur. Keçiriciliyin belə xarakterli artımı qeyd etdiyimiz kimi, həmin kritik temperaturdan yuxarı temperaturlarda ion keçiriciliyinin üstünlük təşkil etdiyini göstərir. Bu çür dəyişmə qeyd etdiyimiz kimi, otaq temperaturundan yuxarı temperaturlarda müşahidə olunan elektrik keçiriciliyinin sıçrayışlı dəyişməsini yüksək mobilliyə malik Tl ionlarının sayının kəskin artması ilə izah etmək olar ki, bu zaman superion halına faza keçidi baş verir.



Şəkil 10. $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ sistemli bərk məhlullarının elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığı a-x=0,9; b-x=0,8; c-x=0,7. 1-0 MQr, 2-0,25MQr

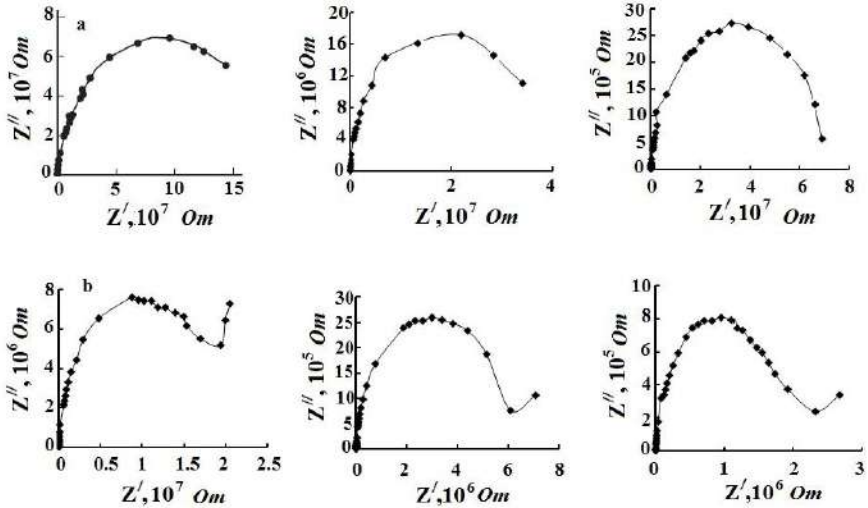
Tədqiq olunan $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ (0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0) sistemli bərk məhlulların aktivləşmə enerjisinin qiymətləri $\sigma \cdot T = \sigma_0 \cdot \exp(-\Delta E^a / kT)$ ifadəsinə əsasən hesablanmış və bu qiymətlərin konsentrasiyadan və dozadan aslı olaraq dəyişməsi cədvəl 2-də verilmişdir.

Cədvəl 2.

$\text{TlGa}_{1-x}\text{In}_x\text{Se}_2$ (0,1; 0,2; 0,3;) sistemli bərk məhlulların aktivləşmə enerjislərinin tərkibdən və dozadan asılılığı.

Tərkib	doza	E_a (eV)
$\text{TlGa}_{1-x}\text{In}_x\text{Se}_2$ (x=0.1)	0 MQR	0,15
	0,25 MQR	0,1
$\text{TlGa}_{1-x}\text{In}_x\text{Se}_2$ (x=0.2)	0 MQR	0,14
	0,25 MQR	0,08
$\text{TlGa}_{1-x}\text{In}_x\text{Se}_2$ (x=0.3)	0 MQR	0,12
	0,25 MQR	0,07

Həmçinin qamma şüalanmaya məruz qalmış $\text{TlGa}_{1-x}\text{In}_x\text{Se}_2$ sistemli bərk məhlullarının kompleks impedansı tədqiq edilmişdir və şüalanma dozəsindən əvvəl və sonra impedans qodoqrafları şəkil 11-də verilmişdir.



Şəkil 11. $\text{TlGa}_{1-x}\text{In}_x\text{Se}_2$ sistemli bərk məhlulları üçün $Z''(Z')$ impedans qodoqrafı. x=0;0,2; 0,3. a-0MQR, b-0,25MQR

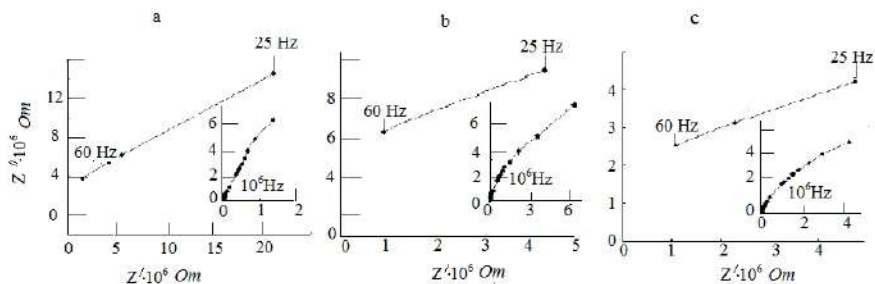
Şüalanmadan əvvəl yükdaşınma prosesi tək relaksasiya müddəti ilə xarakterizə olunur, lakin 0,25 MQR dozadan sonra bərk məhlulların qodoqraf əyriləri bir paralel RC- zənciri üçün yarım dairəvi olub, diaqramların aşağı tezlikli oblastında şüalarla əks olunur. Qodoqraf əyrilərindəki bu şüalar qeyd etdiyimiz kimi, Varburqun diffuz impedansı ilə bağlıdır [21].

Dəyişən elektrik sahəsində nizamsız sistemlərdə yükdaşınma hadisəsinin öyrənilməsi praktik və fundamental əhəmiyyət daşıyır. Eyni zamanda əsas məqsəd məlum nəzəriyyələr əsasında yükdaşınma mexanizmini müəyyən etməkdir [1].

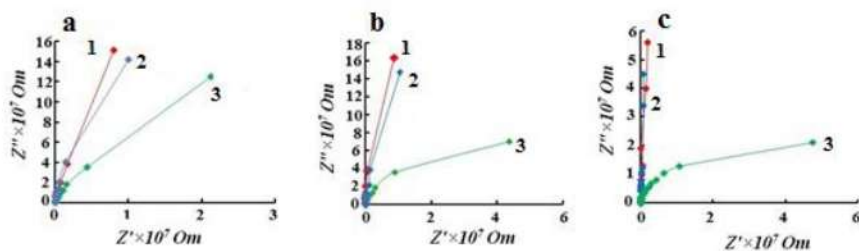
Dördüncü fəsilə $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ bərk məhlullarında elektrikkeçiriciliyinin təbiətini geniş temperatur (180, 230, 300K) və tezlik ($25-10^6$ Hz) intervalında öyrənərək yükdaşınma mexanizmini müəyyən edilmişdir.

Tədqiqi olunan tezliklər intervalında $Z'(f)$ və $Z''(f)$ əyrilərində kəskin azalma müşahidə olunur, lakin tədqiq olunan spektrlərdə tezliyin daha da artması ilə asılılığın zəifləməsi müşahidə olunur. Bu da impedans spektrlərində dispersiyanın varlığı göstərir.

$TlGa_{1-x}In_xSe_2$ bərk məhlullarının müxtəlif temperaturlarda impedans qodoqraf əyriləri şəkil 12 və 13-da verilmişdir. Alınan qodoqraf əyrilərini iki relaksasiya mexanizminin olmasını göstərən iki hissəyə ayırmaq olar. $Z''(Z')$ asılılığının yüksək tezlik hissəsi tədqiq olunan bərk məhlullarının böyük əksəriyyətində relaksasiya prosesi ilə əlaqəlidir. Bərk məhlulların impedans qodoqrafının aşağı tezlikli hissəsində relaksasiya mexanizmi, səthəyən oblastda daşıyıcıların konsentrasiya qradientinin olması ilə əlaqəli olan diffuziya mexanizmi ilə əlaqəlidir. Beləliklə, bərk məhlul nümunələrində enerjinin itməsi mexanizmi keçiriciliklə əlaqəli və relaksasiya polyarizasiyası ilə əlaqəli itgilərdən ibarətdir. Şəkil 12 və 13- dan görüldüyü kimi, bərk məhlulun tərkibləri üçün kompleks qodoqrafın qövsü yüksək tezliklərdə mərkəzləri həqiqi oxda olan yarım dairəyə yaxın əyriləri təsvir edir və yükdaşınma prosesi bir relaksasiya müddəti ilə xarakterizə olunur. Bu halda, $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ bərk məhlullarının impedans qodoqrafı 0, 0.2, və 0.3 tərkibləri üçün elektrik dövrəsinin impedans komponentlərindən istifadə edərək ekvivalent sxemi təsvir edilmişdir.



Şəkil 12. $\text{TlGa}_{1-x}\text{In}_x\text{Se}_2$ bərk məhlul nümunələrinin aşağı tezlik və yüksək tezlik hissələrində qodoqraf ayrılırları. Şəkil a, b, c uyğun olaraq $x = 0; 0.2$ və 0.3 . $T = 300$ K.



Şəkil 13. $\text{TlGa}_{1-x}\text{In}_x\text{Se}_2$ bərk məhlullarının impedans qodoqrafı. Şəkil a, b, c uyğun olaraq $x = 0; 0.2$ və 0.3 . Əyri 1, 2 və 3 uyğun olaraq 180, 230 və 300 K.

Bu cür qodoqraf, aşağı müqavimətli və təcridedicli kontaktlı olmayan bircins nümunələrə uyğundur. Yüksək tezliklər hissəsinə uyğun belə bir ekvivalent sxem şəkil 6-da verilmişdir. Şəkil 6 b-dəki ekvivalent sxem aşağı tezliklər diapazonuna uyğun gəlir. 300 K temperaturda impedans qodoqraf ayrılırlarında aşağı tezliklər oblastında müşahidə olunan şüalar bərk elektrolit və səth yaxınlığında diffuz ion daşınması əlaqələndirilir.

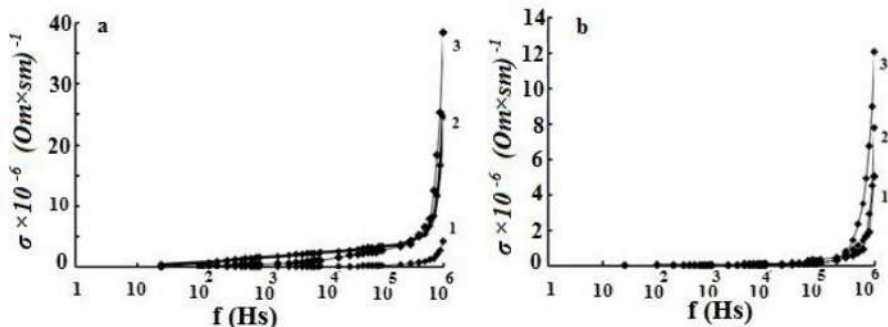
$\text{TlGa}_{1-x}\text{In}_x\text{Se}_2$ bərk məhlulların 180, 230 və 300 K temperaturlarda kompleks dielektrik sabitinin həqiqi və xəyali hissələrinin tezlikdən asılılığı göstərilmişdir. Elektrik sahəsinin ölçülmə tezliyinin

artması ilə kompleks dielektrik komponentlərinin qiymətlərində azalma müşahidə olunur ki, bu da dispersiyanın mövcudluğunu göstərir.

TlGa_{1-x}In_xSe₂ bərk məhlullarının 180, 230 and 300 K temperaturlarda dielektrik itgilərinin tangens bucağının tezlikdən asılılığında bütün tərkibləri üçün 180 K temperaturda və $\nu \sim 10^2$ Hs tezlikdə $\text{tg}\delta(f)$ asılığında maksimumdan keçir. Müşahidə olunan xüsusiyyətlər, relaksasiya mexanizminin və dielektrik itgilərinin dispersiyası ilə əlaqədardır. $\text{tg}\delta(f)$ asılılığında iki maksimumun olması iki relaksasiya müddətinin olması ilə əlaqələndirilir.

Şüalanmamış və 0,25 MQR dozada şüalandırılmış TlGa_{1-x}In_xSe₂ x=0; 0,2; 0,3 bərk məhlullarının dielektrik nüfuzluluğunun həqiqi və xəyali hissəsinin tezlikdən asılılığı öyrənilmişdir. Elektrik sahəsinin ölçmə tezliyinin artması ilə kompleks impedans komponentlərinin qiymətlərinin azalmasının müşahidə olunması dispersiya xassələrini aşkar edir. Müəyyən edilmişdir ki, tezliyin 10^{-dan} 10⁶ Hs artması ilə ϵ' zəif azalır və nisbətən aşağı tezliklərdə kəskin aşağı düşür, yüksək tezliklərdə ($f > 10^3$ Hs) ϵ' f-dən zəif aslı olduğu və 10⁶ Hs tezliklərində ~18,0 qiymətini aldığı göstərilmişdir. TlGa_{1-x}In_xSe₂ bərk məhlul kristalları üçün yüksək tezlikli dielektrik sabitinin bu qiymətləri eyni zamanda optik dielektrik sabitinin ϵ' qiyməti ilə eynidir. 0.25 MQR doza ilə qamma şüalanmaya məruz qalan nümunələrin tezlik dispersiyasının təbiəti zəif dəyişir. Yüksək tezliklərdə TlGa_{1-x}In_xSe₂ bərk məhlullarında x=0 olduqda ϵ' 10 dəfə azalır, x=0.2 tərkibi üçün ϵ' 2 dəfə, x=0.3 üçün isə ϵ' 4 dəfə azalır. ϵ' və ϵ'' tezlik dəyişməsinin təbiəti TlGa_{1-x}In_xSe₂ bərk məhlullarında dielektrik sabitinin relaksasiya dispersiyası mövcudluğunu göstərir [23].

Şüalanmamış və 0,25 MQR dozada şüalandırılmış TlGa_{1-x}In_xSe₂ bərk məhlullarının T=300 K temperaturda ac-keçiriciliyinin tezlikdən asılılığı şəkil 14-də verilmişdir. Şəkillərdən göründüyü kimi, 10⁶ tezliyində bərk məhlulun ac keçiriciliyinin təxminən 10 dəfə kəskin artımı müşahidə olunur.



Şəkil. 14. $T=300K$ temperatur intervalında $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ ($x=0.1$) bərk məhlullarının ac -keçiriciliyi Şək a-0MQr əyri 1- $x=0$; 2- $x=0,2$; 3- $x=0,3$; b-0.25 MQr əyri 1- $x=0$; 2- $x=0,2$; 3- $x=0,3$

Şəkillərdən görüldüyü kimi, elektrik keçiriciliyinin tezlikdən asılılığma radiasiyanın təsiri praktik olaraq qeyd olunmur. Bu onunla əlqədar ki, tədqiq edilən bərk məhlullar 300 K temperatur və 10^6 tezliyində superior fəzada yerləşir, bu temperaturda və bu tezlikdə keçiricilik əsasən ionlaşmış və sistem nizamsızlaşmışdır. Beləliklə, bu şəraitdə əlavə defektlər radiasiyaya məruz qaldıqda elektrik keçiriciliyinin tezlik asılılığına təsir göstərmir.

Tədqiq olunan bütün tərkiblər üçün $f = 10^2$ və $10^5 - 10^6$ Hs tezlik sahələrində iki xüsusiyyət müşahidə olunur. Beləliklə, dəyişən sahədə yükdaşınma mexanizmi aşağıdakı amillərin təsiri ilə müəyyən ediləcək:

a- tədqiq olunan $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ əvəzətmə bərk məhlullarında Ga ilə In translyasiya nizamsızlığının və nöqtəvi defektlərin varlığı;
b - tezlik dispersiyasının mövcudluğu- yükdaşınma mexanizminə təsir göstərir;

c- elektrik keçiriciliyinin mexanizmi, delokallaşmış hallarda sərbəst-fononlardan fononların iştirakı ilə lokallaşmış hallarda sıçrayışlı keçiricilik halına keçə bilən temperatur faktorunun olması;

d - yüksək temperaturlarda elektrik daşınmasının təbiətinə təsir edən bloklayıcı kontaktların olması, yəni elektrikkeçiriciliyindəki ion keçiriciliyinin əhəmiyyətli rol oynamağa başlayanda.

Müəyyən edilmişdir ki, zəif dəyişən elektrik sahələrində Fermi səviyyəsinin yaxınlığında lokallaşmış hallar üzrə yükdaşıyıcıların sıçrayışlı mexanizmi ilə həyata keçirilir. Parametrlərin kəmiyyətə qiymətləndirilməsi effektiv orta nəzəriyyə və Mott yaxınlaşması çərçivəsində aparılmışdır.

Dissertasiyanın V fəslində vanadium atomları ilə aşqarlanmış $TlInS_2$ kristallarının elektrik və dielektrik xassələrinin və atom qüvvə və mikroskopiya üsulları ilə van-der-vaals səthlərinin tədqiqi nəticələri verilmiş və bu xüsusiyyətlərə γ - şüaların təsiri öyrənilmişdir.

$TlInS_2$ kristalının bəzi qarışıqlarla aşqarlanması, nizamsız faza oblastında dielektrik həssaslığının artmasına gətirib çıxarır. Relaksasiyanın səbəbinin nanoölçülü polyar domenlərin meydana çıxmasının olması və bu da, nizamlı fazanın dipol və seqnetoelektrik şüələrin vəziyyətindən öncə gəlməsinə səbəb olduğu müəyyən olunmuşdur. Relaksasiya vəziyyətinin əmələ gəlməsinə gətirib çıxaran aşqar atomları, öz növbəsində, yarımkeçirici-seqnetoelektrik $TlInS_2$ kristalının qadağan olunmuş zonasında tutma səviyyələrini meydana gətirir. Bu səviyyələri dolduran yük daşıyıcılar fazaca məhduddur və nəticə olaraq, bu vəziyyətdə keçiricilik, potensial çəpərdə tunel yoluyla həyata keçirilir. Vanadium atomları ilə aşqarlanmış $TlInS_2$ kristallarında yük daşınma prosesi müşahidə olunan zaman həmçinin ölçüsüz faza oblastında aktivasiyasız temperaturdan asılı olmayan sıçrayışlı keçiricilik müəyyən olunmuşdur.

Vanadiylə aşqarlanmış $TlInS_2$ kristalının dielektrik nüfuzluğunun temperatur asılılığı $\epsilon(T)$ öyrənilmişdir. $TlInS_2<V>$ kristalında $\epsilon(T)$ asılılığının yayılmış maksimumlarının dəyişməsi, tezliyin 1 kHs-dən 1 MHs-ə kimi artması zamanı 5K təşkil edir. Güman etdiyimiz kimi, $TlInS_2<V>$ kristalında relaksasiya vəziyyətinin yaraması şərti, faza keçidi temperaturunun, lokal mərkəzlərin termodolmasının temperatur oblastı ilə uyğunlaşmasıdır. Relaksasiyaların xassələrini, birləşmələrin enerji halına təsir edən az miqdarda qatışığı tətbiq etməklə əhəmiyyətli dərəcədə dəyişmək olar. Bu halda dielektrik

nüfuzluğunun maksimal temperaturunun dəyməsi bir neçə dərəcəyə çata bilər. Yayılmış fazlı keçidlərə malik seqnetoelektrlərin əhəmiyyətli bir xüsusiyyəti, onlarda dielektrik nüfuzluğu T_m temperaturundan yuxarıda Küri- Vayss qanunu ilə deyil, $\varepsilon^{-1/2} = A + B(T-T_0)$ qanunu ilə dəyişməsidir. $\varepsilon(T)$ asılılığının yayımlı təbiəti relaksor halın olması üçün zəruri şərtidir.

Vanadiylə aşkarlanmış $TlInS_2$ birləşməsində radiasiya defektlərinin formalaşması üçün ən çox ehtimal olunan mexanizm qarışıq vanadium atomunun çox laylı ionlaşmasıdır. Əmələ gələn defekt kristalın qadağa zonasındaki enerji səviyyələrini artırır, bu səviyyələrin termoldurulması, şüalanmamış birləşmə ilə müqayisədə nisbətən daha aşağı temperturda baş verir. Yəni, seqnetoelektrik şüşənin mövcud olduğu oblast genişlənilir.

$TlInS_2<V>$ kristalının 1kHs-1MHs tezlik intervalında, verilmiş elektrik sahəsində, $\sigma(T)$ elektrik keçiriciliyinin və dielektrik nüfuzluğunun temperatur asılılığının tədqiqinin nəticələri təqdim olunmuşdur. $T_d - T_f$ temperatur intervalında $\sigma(T)$ asılılığı Mott qanunu ilə təsvir olunur və sıçrayışlı keçiricilik mexanizminə cavab verir. Məhz bu temperatur oblastında $TlInS_2<V>$ seqnetoşüşə halındadır. $T_f = 170K$ -dən aşağı olan temperatur intervalında, keçiricilik praktik olaraq temperaturdan asılı olmur. $TlInS_2<V>$ kristalının $T=200K$ temperaturdakı elektrik keçiriciliyinin tezlik asılılığının tədqiqinin nəticələri verilmişdir. 10^3-10^6 Hs tezlik oblastlarında elektrik keçiriciliyi $\omega^{0.8}$ qanunu ilə dəyişir. Bu Fermi səviyyəsinin yaxınlığında lokalizə edilmiş hallara görə yük daşıyıcıların sıçrayışlı mexanizmini göstərir. Dəyişən elektrik sahəsinin təsiri altında $TlInS_2<V>$ kristalının Mott yaxınlığına çərçivəsində parametrlər hesablanmışdır. Sıçrayışlı keçiriciliyin Berns (T_d) temperaturundan aşağıda həyata keçidiyi göstərilir. Foqel-Fulçer temperaturuna qədər (T_f) termoaktivasiyalı, T_f -dən aşağıda aktivasiyasız sıçrayışlı keçiricilik yer tutur [3, 4, 11].

Dissertasiyanın beşinci fəslində plastik deformasiyanın laylı $TlInS_2$ və vanadiumla (V) aşkarlanmış $TlInS_2<0.1\%V>$ kristallarının və $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ ($x=0; 0.1; 0.2$) bərk məhlullarının səthlərində əsas

fiziki qanunauyğunluğu müəyyənəndirilməsi və onların nanosəviyyədə səthlərin strukturlaşmasına təsir edən ümumi kinetika prosesi .

İdarə edilən ölçülərə və xassələrə sahib nanostrukturların yaradılması və öyrənilməsi ən mühüm texnoloji problemlərdən biridir. Bunun əsas səbəbi, bu problemin həcmnin nanoelektronika, materialşünaslıq və sahələrdə inqilabi dəyişikliklərlə bağlıdır. Nanaostrukturlar elementlərinin ölçülərinin azaldılması, mikroelektron cihazların işlənməsində əsas rol oynayan bir çox xassələrin öyrənilməsində əsas rol oynayır.

Bu fəsilə plastik deformasiyanın şüalanmış laylı kristalların səthlərində əsas fiziki qanunauyğunluğun müəyyən edilməsi və onların nanosəviyyələrdə səth strukturlaşmasına təsir edən ümumi kinetika araşdırılıb.

Zond metodu, nanosəviyyələrin struktur quruluşunun formasını aydın təsvir edəcək, onların yaranması və inkişafının mexanizmlərini və şərtlərini müəyyən etməyə imkan verir. Nanoölçülü struktur elementlər, səthin xüsusiyyətlərini dəyişir və səthin bir çox elektrik, fiziki və mexaniki parametrlərində dəyişikliklərə səbəb olan aşağı ölçülü kvant effektləri göstərirlər.

Laylı kristallar güc baxımından müxtəlif tip əlaqəlidirlər. Bölmə müstəvisi boyunca güclü kovalent və ya ion-kovalent əlaqələr və laya perpendikulyar zəif molekulyar “Van-der-Vals” əlaqələri reallaşır. Laylı yarımkeçirici kristallar elektrik, mexaniki, optik və digər xassələri anizotropik xüsusiyyətlərinə malik olur. Sadalanan xüsusiyyətlərlə əlaqəli olaraq, laylı-zəncirvari yarımkeçirici kristallar TlGaSe_2 , TlInSe_2 və onlar əsasında alınmış bərk məhlullar tədqiqat üçün aktualdır.

Atomun nizamlılığı baxımından kristal səthlərinin dağılması asan deyil. Əmələ gələn səth gərginliyi atomların səth təbəqəsində dayanıqsız bir vəziyyət yaradır. Xarici atom təbəqəsinin relaksasiyası səthdən sonra gələn atom layının yerdəyişməsinə gətirib çıxarır. Xüsusən, qələvi metal xalkogenid kristalların tədqiqatları kristal quruluşun, ən az beş laydan daha çox dərinlikdə həcmə yaxınlaşır, bəzi kristallar üçün bu dərinliyi onlarca atom təbəqəsini keçə biləcəyini

göstərir. Təmiz səthlərdə olan prosesləri öyrənmək üçün ən uyğun obyektlər mükəmməl laylara sahib olan kristallardır, məsələn, laylı kristallar.

Bu baxımdan laylı kristallar və onlar arasında yaranan bərk məhlullarının Van-der-Vals səthində nanoölçülü boşluqların meydana gəlməsinin tədqiqi böyük maraq kəsb edir. Yüksək davamlılıq səthin kiçik nahamarlığı və qırılmış əlaqələrin yoxluğu, $\text{TlGaSe}_2\text{-TlInSe}_2$ bərk məhlullarının səthinin qəlpələnmə morfologiyasını havada və otaq temperaturunda atom-qüvvə mikroskopiyası (AQM) metodu ilə tədqiq etməyə imkan verir.

Deformasiyanın laylı TlInS_2 və vanadiylə aşkarlanmış $\text{TlInS}_2 <0.1\%V>$ kristallarının səthlərində əsas fiziki qanunauyğunluğun müəyyənəndirilməsi və onların nanosəviyyədə səthlərin strukturlaşmasına təsir edən ümumi kinetika prosesi məsələsi qoyulub. Aşağıda büzmələnmiş və dislokasiya olunmuş strukturların səthli qatlarda evolusiya və formalaşma xassəsinin qanunauyğunluğu və onların fərqli stadiyalarda səthli strukturların kinetikasının təsirinə baxılır. TlInS_2 və $\text{TlInS}_2 <0.1\%V>$ qatlı kristalların Van der Vals səthi qatında struktur formalaşmaların həndəsə ölçüləri və profilləri atom-qüvvə mikroskopiyası ilə müəyyən edilmişdir. Visser elementlərin formalaşma təbiətinə görə, təbii məişəli oksidləşmə prosesi ilə yanaşı gedən həm başlangıç həm də sonuncu deformasiya stadiyasında səthlərin qatlarının deformasiyasının məsuliyyətli olması müşahidə olunur. Plastik axının xüsusiyyətlərinə cavab verən amillərin təhlili aparılıb. Bu baxımdan laylı TlInS_2 kristalının Van-der Vals səthində nano ölçülü boşluqların meydana gəlməsinin tədqiqatları maraqlı olur. Təyin olunu bki TlInS_2 kristalının Van-der-Vals səthində plastik deformasiya nəticəsində müxtəlif formada xətti qüsurlar və nanölçülü oyuqlar yaranır.

Bu işin məqsədi otaq temperaturunda atom-qüvvə-mikroskopu metodundan istifadə edərək parçalanma üsulu ilə əldə edilmiş TlInS_2 və $\text{TlInS}_2 <0.1\% V>$ səviyyəsində olan morfologiyanı öyrənməkdir. Atom-qüvvə-mikroskopu tədqiqatları üçün nümunənin Van-der-Vals səthini, monokristalın bir neçə yuxarı layların yapışan lentlə havada

uzaqlaşdırılırdı. Atom qüvvə mikroskopunun skan masasında araşdırılacaq Van-der-Vals səthinin sonrakı quruluşunun uzunluğu və ölçülməsi 2-3 dəqiqə aşmırdı. Skan sahəsi mikroskop interfeysinə quraşdırılmış yüz ölçülü böyütmə ilə bir video kamera ilə təyin olunmuş, $\sim 5 \times 5 \text{ mkm}^2$ seçilmişdir. Araşdırmaların Atom-qüvvə-mikroskopunun görünüşlərindən təmiz bir TlInS_2 kristalının altlığının nahamar orta-kvadratik dəyəri $\sim 0,053 \text{ nm}$ idi, yəni bu səthi hamar-atomlu hesab etmək olar. Səthin üstündə adsorbsiya olunmuş molekullar, nizamlı bir şəkildə səthdə yerləşmiş nanoölçülü klasterlər formalaşdırır. Bu sahədə tədqiqat marağı 100 nm-dək qədər olan müxtəlif nanostrukturaların əldə edilməsi ilə bağlıdır.

Hava atmosferində $T=300\text{K}$ alınmış, Atom-qüvvə-mikroskopu şəkilində 3D miqyasında TlInS_2 və $\text{TlInS}_2 <0.1\%V>$, ayrı viskerli nanoəməllər müşahidə olunurdu, hansılarkı konusvari formaları almışlar. TlInS_2 və $\text{TlInS}_2 <0.1\%V>$ kristallarının 2D-şəkilləri alınmışdır.

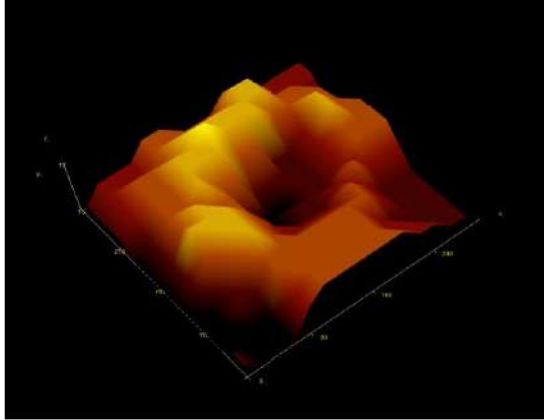
Hündürlüklərin maksimal fərqi seçilmiş səth istiqamətində (0001), 40 nm təşkil edir və büzülmüş üzün alır, hansının ki eninə TlInS_2 kristalının səthinin özünü təşkil etmə prosesi baş verir. Bu, təbəqə arasında bağlanma qüvvələrinin mexaniki davamlılıq və anarmoniyanın anizotropiyasına səbəb olur. Müəyyən edilmişdir ki, özünün təşkil olunmuş, büzmələnmiş strukturlar, bir neçə nanometr hündürlüyü fərqlə fraktal profiloqrammaları var.

TlInS_2 kristalının yuxarı layında, sahədə (001) çoxbucaq formasını almış, əmələ qələn nanoölçülü qovuglar müşahidə olunur. Nanoölçülü qovugların formalaşması, kovalent əlaqələrin qırılması nəticəsində baş verir. Bu defekt Vanadium atomlarının yeridilməsi zamanı baş verir. $\text{TlInS}_2 <0.1\%V>$, səthindəki nanoadalar əsasən V_2S_3 klasterləridir. $\text{TlInS}_2 <0.1\%V>$ yuxarı layındakı çox bucaqlı vəziyyətdə olan nanoölçülü oyuqlar şəkil 15 –da verilmişdir.

Nanoölçülü oyuqlar əsasən skanlama xətti boyunca yerləşdirilib. Bu deyilənlərə əsasən, xüsusən vanadiumla aşkarlanmış TlInS_2 kristalının nanoölçülü oyuqlar iynəvari forması, katod emitterlərin yarımqeçirici sahə cihazları üçün istifadəsi cəlbedicidir. Nanoölçülü qovuglar yaranma vaxtında yuxarı layda kovalent əlaqəsinin qırılma-

sından sonra TlInS_2 atomları damcıya yığılaraq qatlararası sahəyə tökülür. Onlar səthin növbəti aşağı layının molekulyar qüvvələri ilə bağlıdır. TlInS_2 kristalının belə bir kiçik səthinin meydana gəlməsi ədəbiyyat məlumatlarından müşahidə edilmişdir.

Nanoölçülü oyuqlara düşən vanadi atomları, dəfələrlə nanoölçülü oyuqların divarından əks olunaraq, bir biri ilə toqquşur. Bu təsir nəticəsində nanoölçülü qovugların doyma dərəcəsi artır, molekulların dissosiasiyası imkanı güclənir və kritik özəklərinəmələ gəlməsinə səbəb olur. Çoxlu sayda rüşeymlərin tez əmələ gəlməsi, artımı və koalesensiyası metalın kataliz təsiri vaxtı baş verir. Konusvari klasterlərin artımı, TlInS_2 kristalının (001) səthi boyunca daxil olan vanadi atomların sayəsində baş verir.



Səkil 15. TlInS_2 <0.1%V> yuxarı layındakı çox bucaqlı vəziyyətdə olan nanoölçülü oyuc.

Göstərilmişdir ki, Atom Qüvvə Mikroskopu metodu ilə tətqiq olunan laylı bərk məhlullarının profiloqrammaları və qıstogrammaları ölçülmüşdür. Səthin spontan fasetləşmənin səbəbi, səthin sərbəst enerjisinin kristoloqrafik oxa nisbətinin bu səthin istiqamətindən asılılığıdır. Əgər düz səthin böyük xüsusi səth enerjisi varsa, spontan

“tələlər və oyuqlar” strukturuna çevrilir. Bu ümumi sahənin artmasına baxmayaraq, səthin tam sərbəst enerjisini azaldır.

Nəticədə ortaya çıxan nahamar quruluş minimum sərbəst səth enerjisi ilə müəyyən edilir [6].

Dissertasiyanın beşinci fəslində həmçinin γ -kvantlarla şüalanmış $\text{TlGa}_{1-x}\text{In}_x\text{Se}_2$ ($x=0; 0,1; 0,2$) bərk məhlullarının atom qüvvə mikroskopu ilə səth proseslərinin tədqiqi nəticələri verilmişdir.

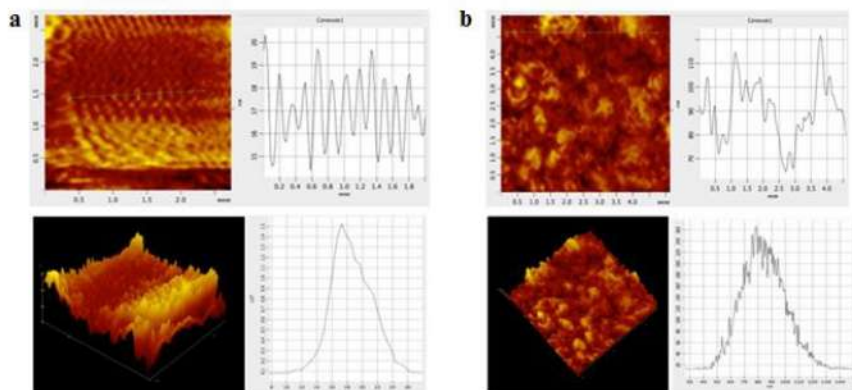
$\text{TlGa}_{1-x}\text{In}_x\text{Se}_2$ bərk məhlullarının laydaxili və layarasında olan kimyəvi birləşmələrin anizotropiyası ilə hamar səthin kiçik sıxlıqlı səth vəziyyətini əldə etmək olur.

Tədqiq olunan nümunələrin səth xüsusiyyətləri haqqında az məlumat olduğundan, skanlanma $\sim 14 \text{ mkm}^2$ ölçülərindən başlamışdır. Skanlama nəticələri əsasında skanlamanın optimal sürəti götürülmüşdür. Sonra skanlama sahəsi ən kiçik tərəfə dəyişdirildi. Skanlama nəticələrinə görə skanlama parametrləri aşkar edildi. Bu parametrlərə ilkin olaraq zondun rezonans tezliyinin tərpəniş seçimi aiddir və ölçülən səthin zondla olan minimal məsafəsini təyin edir. Həmçinin skanlama sürəti (2-3 mkm/s ərzində), skanlama addımı və əks əlaqə artımı götürülürdü. Araşdırmalar otaq temperaturunda keçirilmişdir. Skan metodu ilə səthin 2D təsviri bölünmə istiqamətində və çəkilmiş profiloqramma, göstərilmişdir (şəkil 16 və 17 a və b). Şəkillərdən görünür ki, profil hündürlüyü 4-7 nm arasında fərqlənir, lakin lateral ölçülər 10 nm çata bilər.

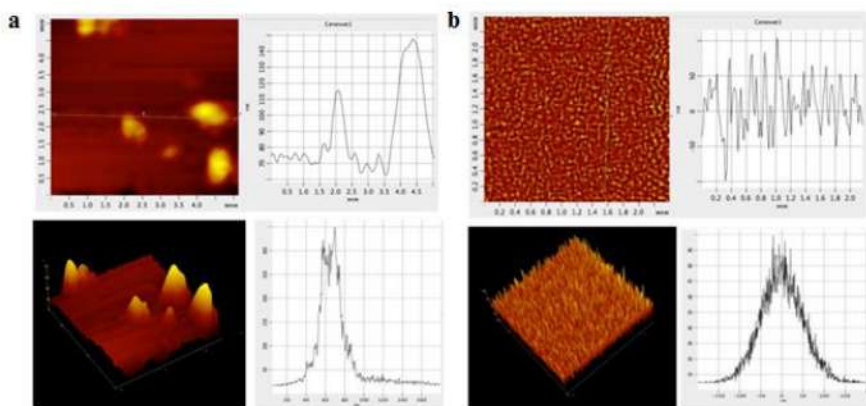
$\text{TlGa}_{1-x}\text{In}_x\text{Se}_2$ ($x=0; 0,1; 0,2$) bərk məhlullarının səthinin bir hissəsinin atom-qüvvə-mikroskopu tərəfindən onlarla mikronun sırası ilə skanlama, səthin strukturunu və onun morfolojiyasını dəyişdirməmişdir. Nahamar strukturların baş verməsinin səth boyunca atomların istiqamətli köçməsi ilə izah etmək olar ki, səthdə yarımkeçirici dalğavari və pilləli strukturların inkişafına səbəb olur.

$\text{TlGa}_{1-x}\text{In}_x\text{Se}_2$ ($x=0; 0,1; 0,2$) bərk məhlullarının yuxarı layında, (001) sahədə çoxbucaq formasını almış nanoölçülü klasterlər

müşahidə olunur. Nanoölçülü klasterlərin formalaşması, laylı kristalların yuxarı qatın kovalent əlaqələrin qırılması nəticəsində baş verir.



Şəkil 16. TlGaSe₂ kristalının profiloqramması, b-3D, histoqramması. a-0 MGy, b-0,25 MGy



Şəkil 17. TlGaSe₂-90%-TlInS₂-10%, profiloqramması, 3D, histoqramması. a- 0 MGy, b-0,25 MGy.

Bu defektlər radiasiya təsiri zamanı yaranır. Nanoklasterlərin formalaşması TlGa_{1-x}In_xSe₂ (x=0; 0,1; 0,2) bərk məhlullarında laylarında kovalent əlaqələrinin qırılması nəticəsində baş verir. Nanoölçülü klasterlər yaranan zaman yuxarı layda kovalent əlaqəsinin qırılmasından sonra In atomları damcıya yığılaraq layarası sahəyə tökülür.

Radiasiyanın təsiri nanoölçülü klasterlərin doyma dərəcəsini artır, molekulların dissosiasiya imkanı güclənir və kritik özəklərin əmələ gəlməsinə səbəb olur. Çox sayda nanoölçülü klasterlər rüşeymlərin tez əmələ gəlməsi, artımı və koalesensiyası metalın kataliz təsiri vaxtı baş verir. Radiasiya təsiri nəticəsində konusvari klasterlərin artımı baş verir. $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ ($x=0; 0,1; 0,2$) bərk məhlullarının laylara perpendikular təsir edən qüvvənin mövcudluğu və plastik deformasiya, dislokasiyaların sürtünmə yolu ilə həyata keçirilir. Təcrübəmizdə $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ ($x=0; 0,1; 0,2$) bərk məhlulların deformasiya təsiri altında parçalanması, cəmlənmiş yüklənmə şəklində əyilməyə səbəb olur. Tədqiq olunan bərk məhlulların aşağı səthində maksimum deformasiya meydana gəlir və elastik səthlərində dəyişikliklər səbəbindən artan xarici yükləmə ilə mövcud olur.

Nanoölçülü oyuqların hündürlük ölçüləri 7-14 nm çatır. Növbəti skanlama hündürlük ölçüsünü artırmadan, nanoölçülü klasterlərin sıxlığını artırmışdı. Struktur səthi defektlər bazis sahəsində (001) formalaşır. Vakansiyaların kiçik enerjili yaranışı radiasiya defektlərin bu sahədə üstünlük təşkil etməsi ilə əlaqədardır. Laylı-zəncirvari kristalların konusvari piramidal sürtünmə sahəsində baş verən plastik axın $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ ($x=0; 0,1; 0,2$) bərk məhlullarının səthinin 6 nm qədər yayılmasına uyğun digər layların tərpənişinə səbəb olur və ~ 7÷8 lay əhatə edir. Horizontal layarası yarıqların bu cür nanoölçülü oyuqların konusvari divarlarında olması nanoölçülü oyuqların yaranması və tez əmələ gəlməsinə imkan vermir. $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ ($x=0; 0,1; 0,2$) bərk məhlullarının səthində yaranan nanoobyektlərin tərkibinin müəyyən olunması səbəbilə onların rentqenodifraktometrik refleksləri öyrənilir. Şəkil 16 və 17 a və b-də təsvir olunan nanofraqmentlərə əsasən çox güman ki həmin nanoobyektlərin In elementləri ilə (radiasiya təsirindən sonra) formalaşdığı müəyyən olunmuşdur. $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ ($x=0; 0,1; 0,2$) bərk məhlullarının səthindəki obyektlər əsasən In klasterləri hesabınadır.

Nanoölçülü klasterlər əsasən skanlama xətti boyunca yerləşdirilib. Xüsusən radiasiya təsiri olmadan təmiz $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ ($x=0; 0,1; 0,2$) bərk məhlullarının nanoölçülü klasterlərin iynəvari forması, katod emitterlərin yarımkeçirici sahə cihazları üçün istifadəsi cəlbedicidir.

$TlGa_{1-x}In_xSe_2$ ($x=0; 0,1; 0,2$) bərk məhlullarının Van-der-Vals səthində morfoloqiyası araşdırılıb. Qəlpələnmə üsulu ilə əldə olunan $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ ($x=0; 0,1; 0,2$) bərk məhlullarının Van-der-Vals səthində kiçik səth sıxlığının yerləşməsi ilə nanofraqmentlər müşahidə olunur. Bu cür AQM təsvirləri çoxlu sayda laylı kristallara xasdır. Atomlararası əlaqələrin içində və lay arasında olan fərqlər, laylı kristalın fiziki xüsusiyyətlərinin anizotropiyasına səbəb olur. Tədqiq olunan bərk məhlullarda layları arasında və içində olan kimyəvi əlaqələrin anizotropiyasına əsasən qəlpələnmə üsulu ilə, hamar atomlu səthi əldə etmək olur [8].

Atom qüvvə mikroskopu obrazında piramidal formaya malik olan ayrı nanoölçülü klasterləri müşahidə etmək olar. Atom qüvvə mikroskopu təsvirində laylı kristal səthi ilə zond arasında olan qarşılıqlı təsir və atmosferin ətrafdakı digər təsirlərin nümunəyə təsirini nəzərə almaq lazımdır. Van-der-Vals səthindəki defektlərin və adsorbsiyalı hissəciklərin qeyri-bərabər sistemi özünü təşkil edərək balansın minimum enerji ilə bir səth yaratması ilə nəticələnir. Bu cür proseslərin Van-der-Vals səthində nahamar şəkildə strukturlar formalaşır.

Laylı-zəncirvari kristalın nahamar səthinin yuxarı hissələrində bazis və piramidal kristaloqrafik sahələrdə kooperativ dislokasiya prosesləri nəticəsində özünü təşkil etməklə formalaşması ehtimal olunmalıdır. Minimum amplitud qiymətlər və böyük dövr qiymətləri ilə xarakterizə edilən maksimumda, periodik dəyişmə ilə sadə bir nahamar səth müşahidə olunmuşdur. Onlar özünə məxsus defektlərin formalaşması və laylı kristalın dərinliyində oksid nanoölçülü klasterlərin mövcud olmasına görə məsuliyyətliyərlər.

Bu cür çoxüzlü formada bazis səthində olan səthi defektlər (nöqtəli defektlərin klasterləri) atom qüvvə mikroskopu ilə aşkar olunur.

Kristalların mexaniki xüsusiyyətlərinə göstərilən faktorlar təsir edir: kristallik qəfəsin tipi, aşqarın olması, radiasiyanın təsiri, kristalın deformasiya gücünə əsasən istiqamətliliyi deformasiyanın temperaturu və sürəti, ölçüsü, forması və kristalın səth vəziyyəti və s.

$TlGa_{1-x}In_xSe_2$ ($x=0; 0,1; 0,2$) bərk məhlullarının səthində Van-der-Vals səthinin yuxarı qatında nanoölçülü oyuqlar forması, lateral ölçüsü və bölüşdürülməsi, materialın texnoloji çökmə şərtlərindən, interkalant klasterlərin tipindən (elektromənilik, atom ölçüsü), ölçülərdən səthi gərginlik paylanmasından asılıdır. Müasir nanoelektronika yeni nəsil qurğuların, işıq və termoelektrik enerjisi çeviricilərin yaradılmasını tələb edir. Bu məqsədə nail olmaq üçün işıq enerjisindən elektrik enerjisinə çeviricilər və elektrik enerjisini güclü anizotropik yarımkeçirici birləşmələri əsasında polarizə işıq halına gətirirlər.

Dissertasiyanın VI fəslində fundamental udma oblastında 0; 0,01; 0,02; 0,05 və 0,25 MQR dozada şüalanmış $TlGa_{1-x}In_xSe_2(1-x)S_{2x}$ və $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ sistemli bərk məhlullarının optik xassələrinin tədqiqi nəticələri verilmişdir.

$TlInS_2$ və $TlGaSe_2$ kristalları (və onların bərk məhlulları) spektrin görünən oblastında böyük fotohəssaslığı, şəffaflığın geniş spektral diapazonu, seqnetoelektrik və piroelektrik xassələrinə malik olduğundan optoelektron cihazların alınmasında cəlbedici edir. Yüksək kütlə sıxlığı səbəbindən, tallium tərkibli xalkogenidlər radiasiyanın aşkarlanması üçün perspektivli materiallar sayılır. Laylı xalkogenid birləşmələri, qadağan olunmuş zonasını geniş bir enerji intervalında idarə olunan (0,6-2,4 eV) fotokeçiricilikdə istifadə olunan mürəkkəb kristallik quruluşlarda hazırlana bilər.

Bir çox optik spektroskopiya işləri normal işıq istiqaməti altında təbəqə müstəvisinə perpendikulyar aparılmışdır. Tərs qadağan olunmuş zonanın kənarından yuxarıda optik keçidlərin üstünlük təşkil etməsi məlum olmuşdur. Fərqli sadələşdirilmiş yanaşmalar düzünə qadağan olunmuş zonanın $E_g=2.08-2.23$ eV və tərs qadağan olunmuş zonanın $E_g^1=1.83-2.13$ eV aralığında qadağan olunmuş zonanın qiymətlərini çıxartmaq üçün istifadə olunmuşdur. Qadağan olunmuş zonanın enerjisinin dəyişməsi $TlGaSe_2$ kristalının müxtəlif politiplərinin mövcudluğundan əlaqələndirilmişdir.

Bu fəsilə, 0, 0,01; 0,02; 0,05; 0,25 MQR doza intervalında şüalandırılmış $TlGa_{1-x}In_xSe_2(1-x)S_{2x}$ və $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ sistemli bərk məhlullarının otaq temperaturunda buraxma spektrlərinin tədqiq nəticələri

ri verilmişdir (şəkil 18). Bu tədqiqatın məqsədi γ -şüalanmadan sonra tədqiq olunan bərk məhlulların optik xassələri haqqında yeni məlumatlar əldə etməkdən ibarət olmuşdur.

Araşdırmaların əsas məqsədi izomorf, eyni zamanda kation-anion yerdəyişməsi zamanı $\text{TlGa}_{1-x}\text{In}_x\text{Se}_{2(1-x)}\text{S}_{2x}$ və $\text{TlGa}_{1-x}\text{In}_x\text{Se}_2$ sistemli bərk məhlullarının fundamental udma oblastında optik xassələrin öyrənilməsindən ibarətdir.

$\text{TlGa}_{1-x}\text{In}_x\text{Se}_{2(1-x)}\text{S}_{2x}$ ($x=0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0$) sistemi bərk məhlulların 0 MQR, 0,01 MQR, 0,02 MQR, 0,05 MQR və 0,25 MQR şüalanmaya məruz qalmış nümunələrinin otaq temperaturlarında udma spektri öyrənilmişdir. Təcrübi nəticələrə əsasən 300K temperaturda udma əmsalı uyğun olaraq $\text{TlGa}_{1-x}\text{In}_x\text{Se}_{2(1-x)}\text{S}_{2x}$ ($x=0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0$) sistemli bərk məhlullarda 5 sm^{-1} və 110 sm^{-1} təşkil edir.

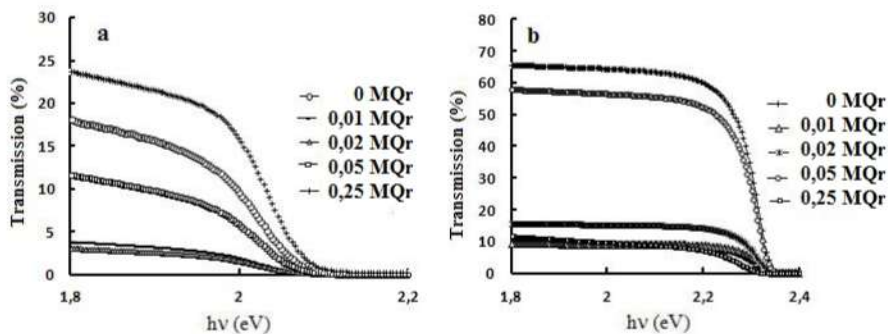
$\text{TlGa}_{1-x}\text{In}_x\text{Se}_{2(1-x)}\text{S}_{2x}$ və $\text{TlGa}_{1-x}\text{In}_x\text{Se}_2$ nümunələri üçün qadağan olunmuş zonanın düzünə və cəpinə optik udma enerji keçidi müvafiq olaraq $(\alpha^{1/2} - \hbar\omega)$ və $(\alpha^2 - \hbar\omega)$ asılılıqlarından istifadə edərək $\alpha^2=0$ və $\alpha^{1/2}=0$ qiymətlərinə kimi düz xəttin aşağı qırıq-qırıq hissəsinin ekstropolyasiyasından əldə edilir.

Ədəbiyyat məlumatlarından istifadə edərək udma əmsalını aşağıdakı kimi təyin olunur

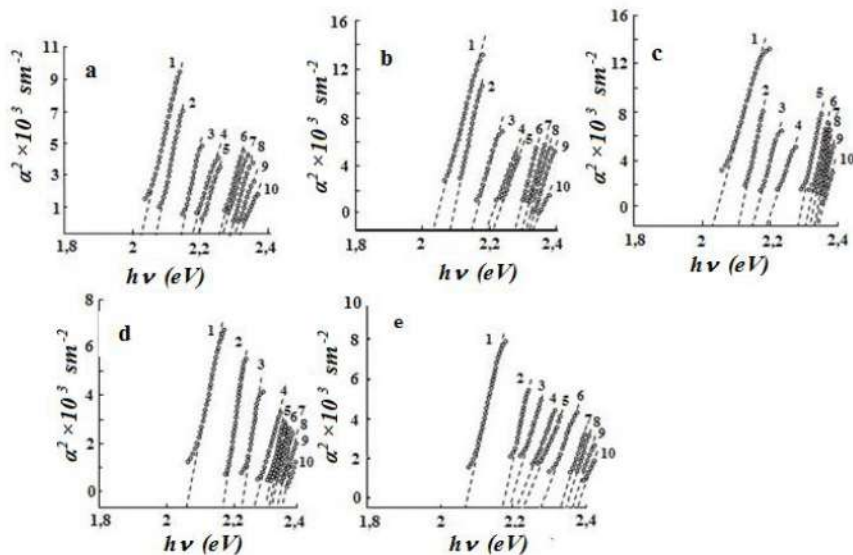
$$\alpha = \frac{1}{d} \ln \left(\frac{(1-R)^2 + [(1-R)^4 + 4R^2 T^2]^{\frac{1}{2}}}{2T} \right)$$

Burada R əksolunma ($0,2605^{(22)}$), α - optik udma əmsalı və d isə nümunənin qalınlığıdır.

Əks olunma ölçüləri təbii laylardan qəlpələnmə yolu ilə alınan nümunələrdə aparılmışdır və nümunələrin qalınlığı $\alpha d \gg 1$. Təcrübədə istifadə olunan nümunələrin qalınlığı $d \approx 300 \text{ }\mu\text{m}$ civarında götürülmüşdür.



Şəkil 18. TlGaSe_2 (a) və TlInS_2 (b) kristallarının $T=300$ K-də buraxma spektrləri.



Şəkil 19. $\text{TlGa}_{1-x}\text{In}_x\text{Se}_{2(1-x)}\text{S}_{2x}$ ($x=0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0$) sistemli bərk məhlulların otaq temperaturunda düzünə udma spektrinin fotonun məhlulunda asılılığı (a- 0 MQr, b- 0,01 MQr, c- 0,02 MQr, d- 0,05 MQr, e- 0,25 MQr)

Yuxarıda qeyd olunan kimi, fundamental udma əmsalı əksər yarımkeçiricilərdə aşağıdakı qanunauyğunluqla təyin olunur:

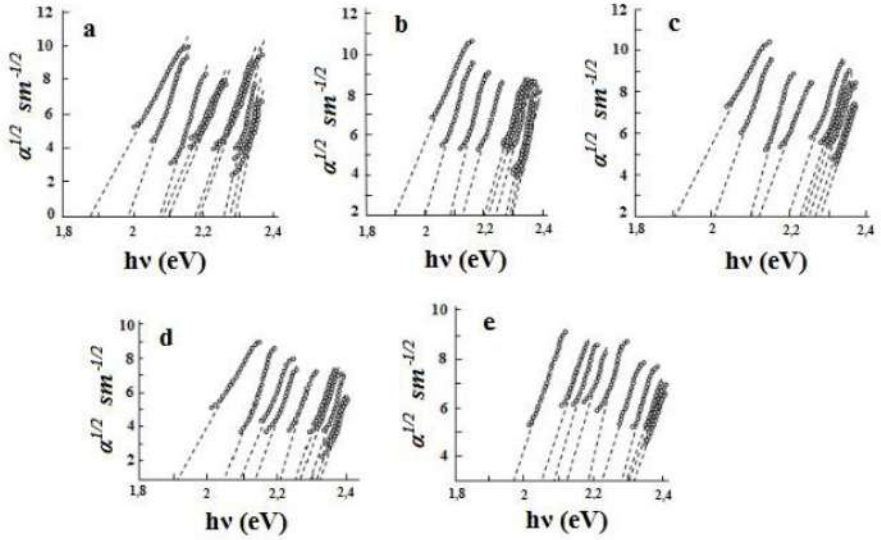
$$\alpha\hbar\omega = B(\hbar\omega - E_g)^n$$

burada $\alpha\hbar\omega$ udma əmsalı, $\omega = 2\pi\nu$ -bucaq tezliyi, n -sabitdir və n indeksi 1/2, 3/2, 2 və 3 qiymətləri ala bilər, asılığın təbiəti elektron keçidinin udma spektrindən asılıdır. Spektrin yüksək enerji oblastında $n=1/2$ düzünə icazə verilmiş keçidi göstərir, $n=3/2$ qadağan olunmuş düzünə keçidi, spektrin aşağı enerji hissəsində $n=2$ çəpinə icazə verilmiş keçidi, $n=3$ qadağan olunmuş çəpinə keçidi göstərir.

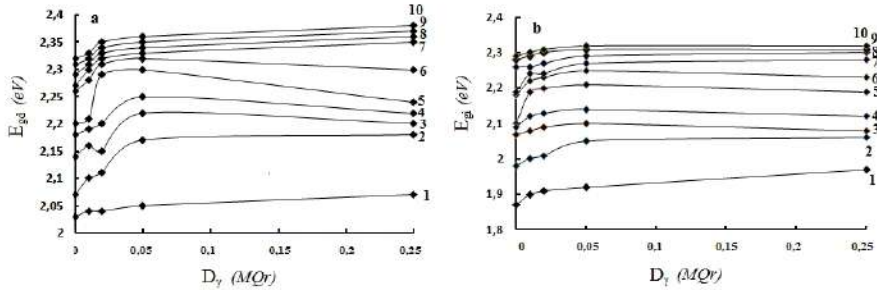
Şəkil 19 və 20-də otaq temperaturunda şüalanmadan əvvəl və 0,01 MQR, 0,02 MQR, 0,05 MQR və 0,25 MQR şüalanmaya məruz qalmış $\text{TlGa}_{1-x}\text{In}_x\text{Se}_{2(1-x)}\text{S}_{2x}$ ($x= 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0$) bərk məhlulların nümunələrinin düzünə və çəpinə icazəli optik keçidlərin fotonun enerjisindən spektral asılılığı verilmişdir. 0-0,25 MQR doza intervalında TlGaSe_2 üçün 1.90–1.98 və 2.06 - 2.11 TlInS_2 kristalı üçün isə 2.32 - 2.35 eV and 2.27- 2.32 eV qiymətləri arasında dəyişmə müşahidə olunmuşdur. Şəkil 21-də 0 MQR, 0.01 MQR, 0.02 MQR, 0.05 MQR və 0.25 Mrad şüalanmaya məruz qalmış $\text{TlGa}_{1-x}\text{In}_x\text{Se}_{2(1-x)}\text{S}_{2x}$ ($x= 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0$) bərk məhlulların nümunələrinin düzünə və çəpinə qadağan olunmuş zolağın eninin konsentrasiyadan asılılıq əyrisi verilmişdir. Şəkildən də görüldüyü kimi, $\text{TlGa}_{1-x}\text{In}_x\text{Se}_{2(1-x)}\text{S}_{2x}$ sistemi bərk məhlullarda konsentrasiyanın və şüalanma dozasının artması ilə qadağan olunmuş zonanın eni artır.

Qeyd etdiyimiz kimi bu fəsilə həmçinin $\text{TlGa}_{1-x}\text{In}_x\text{Se}_2$ ($x= 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0$) sistemli bərk məhlullarının fundamental udma oblastında optik xassələrin öyrənilməsinin nəticələri verilmişdir.

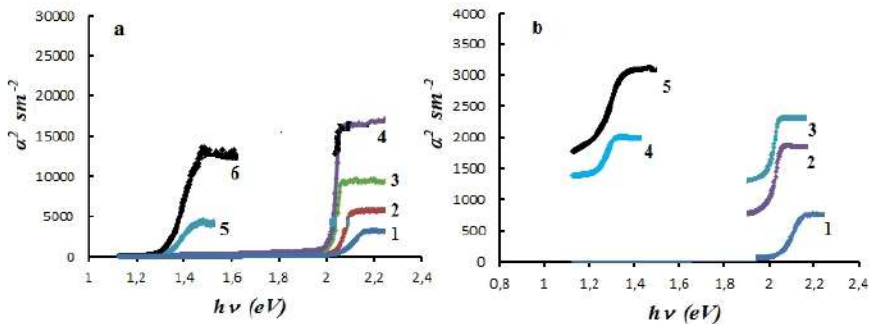
Təcrübi nəticələrə əsasən $\text{TlGa}_{1-x}\text{In}_x\text{Se}_2$ ($x= 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0$) sistemi bərk məhlullarını 0 MQR və 0,05 Mqr şüalanmaya məruz qalmış nümunələrdə 300K temperaturda udma əmsalı uyğun olaraq şüalanmamış nümunələrdə 5 sm^{-1} və 140 sm^{-1} , 5 MQR dozada şüalanmış nümunələrdə isə 10 sm^{-1} və 70 sm^{-1} təşkil edir.



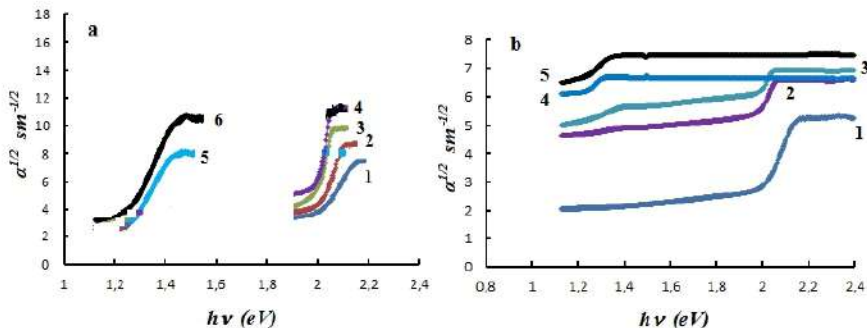
Səkil.20. $\text{TI Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{Se}_{2(1-x)}\text{S}_{2x}$ ($x=0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0$) sistemli bərk məhlulların otaq temperaturunda çəpinə udma spektrinin fotonun enerjisindən asılılığı (a- 0 MQr, b- 0,01 MQr, c- 0,02 MQr, d- 0,05 MQr, e- 0,25 MQr).



Səkil 21. $\text{TI Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{Se}_{2(1-x)}\text{S}_{2x}$ (1- $x=0$; 2- $x=0,1$; 3- $x=0,2$; 4- $x=0,3$; 5- $x=0,4$; 6- $x=0,6$; 7- $x=0,7$; 8- $x=0,8$; 9- $x=0,9$; 10- $x=1,0$) bərk məhlul nümunələrinin şüalanmadan əvvəl və şüalanmadan sonra düzünə və çəpinə qadağan olunmuş zolağın eninin konsentrasiyadan asılılıq əyrisi



Şəkil 22. $\text{TlGa}_{1-x}\text{In}_x\text{Se}_2$ ($x= 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,9; 1,0$) sistemli bərk məhlulların otaq temperaturunda düzünə udma spektrinin fotonun enerjisindən asılılığı (a- 0 MQR, b- 0,05 MQR).



Şəkil 23. $\text{TlGa}_{1-x}\text{In}_x\text{Se}_2$ ($x= 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,9; 1,0$) sistemli bərk məhlulların otaq temperaturunda çəpinə udma spektrinin fotonun enerjisindən asılılığı (a- 0 MQR, b-0,05 MQR)

0 MQR və 0,05 MQR –də şüalanmaya məruz qalmış $\text{TlGa}_{1-x}\text{In}_x\text{Se}_2$ ($x= 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0$) bərk məhlulların nümunələrinin düzünə və çəpinə qadağan olunmuş zolağın eninin qiymətlərinin konsentrasiyadan asılılığı cədvəl 3-də verilmişdir. Şüalanmadan əvvəl və 0,05 MQR şüalanmaya məruz qalmış $\text{TlGa}_{1-x}\text{In}_x\text{Se}_2$ ($x= 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0$) bərk məhlulların nümunələrinin düzünə və çəpinə icazəli optik spektrlərinin fotonun enerjisindən asılılığı şəkil 22 və 23-də verilmişdir.

cədvəl 3.

TlGa_{1-x}In_xSe₂ (x= 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,9; 1,0) bərk məhlulların nümunələrinin düzünə və çəpinə qadağan olunmuş zolağın eninin hesablanmış qiymətləri

Tərkib	E _{gd} (eV)	E _g (eV)	E _{gd} (eV)	E _g (eV)
	0 MQR		0,05 MQR	
TlGaSe ₂	2,05	1,98	2,15	1,9
TlGa _{0,9} In _{0,1} Se ₂	2,14	1,957	-	-
TlGa _{0,8} In _{0,2} Se ₂	2,0	1,95	1,95	1,74
TlGa _{0,7} In _{0,3} Se ₂	2,0	1,9	1,9	1,61
TlGa _{0,1} In _{0,9} Se ₂	1,32	1,21	1,16	0,8
TlInSe ₂	1,3	1,2	1,15	0,75

Udma əmsalının foton enerjisindən asılılığından görüldüyü kimi xətti udma tədqiq olunan bərk məhlullarda kənar tərkiblə müqai-sədə bərk məhlulda əhəmiyyətli dərəcədə dəyişir. 0; 0,01; 0,02; 0,05 və 0,25 MGY dozada şüalanmış TlGa_{1-x}In_xSe_{2(1-x)}S_{2x} və TlGa_{1-x}In_xSe₂ nümunələri üçün düzünə və çəpinə qadağan olunmuş zolağın eni hesablanmışdır. TlGa_{1-x}In_xSe_{2(1-x)}S_{2x} və TlGa_{1-x}In_xSe₂ sistemi bərk məhlullarında otaq temperaturunda 400 -1100 nm spektral diapazo-nunda əks olunma və buraxma spektrlərindən düzünə və çəpinə qada-ğan olunmuş zolağın eninin konsentrasiyadan asılılığı təyin olunmuşdur. Müəyyən edilmişdir ki, TlGa_{1-x}In_xSe_{2(1-x)}S_{2x} sistemi bərk məh-lullarda konsentrasiyanın və şüalanma dozasının artması ilə qadağan olunmuş zonanın eni artır. TlGa_{1-x}In_xSe₂ bərk məhlullarında isə şüa-lanma dozasının artması ilə qadağan olunmuş zonanın eni azalır [2, 5, 10, 13, 16, 22] .

ƏSAS NƏTİCƏLƏR

1. 0; 0,25, 0,75 MQR dozada şüalanmış $TlGa_{1-x}In_xSe_{2(1-x)}S_{2x}$ və $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ bərk məhlulları nümunələrinin elektrik keçiriciliyi tədqiq olunmuş və sıçrayışlı keçiriciliyin mövcudluğunun temperatur intervalları müəyyən edilmişdir. Mott yaxınlaşmasına əsasən sıçrayışlı keçiriciliyin parametrlərinin qiymətləri tərkibdən və γ -şüalanmadan əhəmiyyətli dərəcədə dəyişir: $TlGa_{1-x}In_xSe_{2(1-x)}S_{2x}$ bərk məhlulu üçün Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış halların sıxlığının $0 - 0,75$ MQR $N_F - 3,71 \cdot 10^{17} - 3,79 \cdot 10^{18} \text{ eV}^{-1} \cdot \text{sm}^{-3}$, tələlərinin konsentrasiyasının $N_t - 0 - 0,75$ MQR $3,04 \cdot 10^{16} - 1,66 \cdot 10^{17} \text{ sm}^{-3}$ qiymətlərinin tərkibdən və şüalanma dozasından aslı olaraq artması, sıçrayışların orta uzunluğunun $R - 0$ MQR $-1,72 \cdot 10^{-6} - 1,5 \cdot 10^{-6} \text{ sm}$; $0,25$ MQR $-1,51 \cdot 10^{-6} - 1,04 \cdot 10^{-6} \text{ sm}$; $0,75$ MQR $-1,34 \cdot 10^{-6} - 9,77 \cdot 10^{-7} \text{ sm}$ və lokallaşmış halların enerji fərqi $\Delta E - 0$ MQR $-0,082 - 0,07 \text{ eV}$; $0,25$ MQR $-0,077 - 0,05 \text{ eV}$; $0,75$ MQR $-0,059 - 0,044 \text{ eV}$ qiymətlərinin isə azalması müəyyən edilmişdir.

2. Müəyyən edilmişdir ki, şüalanmamış və γ -kvantlarla şüalanmış $TlGa_{1-x}In_xSe_{2(1-x)}S_{2x}$ sistemli bərk məhlullarının Pul-Frenkelin istilik-sahə nəzəriyyəsi çərçivəsində izah edilmişdir. Tərkibdən və şüalanma dozasından aslı olaraq Pul-Frenkel effekti çərçivəsində parametrlərin qiymətləri hesablanmışdır. Göstərilmişdir ki, şüalanma dozasının artması ilə tələlərin konsentrasiyasının (N_t) qiymət artır, sərbəst qaçış yolunun uzunluğu (λ), Frenkel əmsalı (β) və tələlərdən potensial çəpərin maksimumuna qədər olan məsafənin (x_m) qiymətləri isə azalır.

3. Müəyyən edilmişdir ki, γ -kvantlarla şüalanmış $TlGa_{1-x}In_xSe_{2(1-x)}S_{2x}$ və $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ sistemli bərk məhlullarının elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığında ($\sigma(T)$) otaq temperaturlarından yuxarı temperaturlarda müşahidə olunan xüsusiyyətlər kristalın superior halına keçidi ilə bağlıdır. Keçiriciliyin müşahidə edilən xarakterini izah edən mexanizm təklif edilmiş və göstərilmişdir ki, müşahidə edilən ion keçiriciliyi Tl^+ ionlarının tallium altqəfəsində vakansiyalar üzrə diffuziyası ilə əlaqədardır.

4. Şüalanmamış və γ -kvantla şüalanmış $TlGa_{1-x}In_xSe_2(1-x)S_{2x}$ və $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ sistemli bərk məhlul nümunələrinin dielektrik nüfuzluğunun tezlik dispersiyası və dielektrik itgi bucağının relaksor xassələri müəyyən edilmişdir. γ - şüalanmadan əvvəl və sonra keçiriciliyin verilmiş mexanizminin parametrləri qiymətləndirilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, tezliyin 10^6 Hz qiymətində keçiriciliyin sıçrayıla artması sistemin superior halına keçməsi ilə əlaqədardır.

5. Şüalanmamış və γ -kvantla şüalanmış $TlGa_{1-x}In_xSe_2(1-x)S_{2x}$ və $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ sistemli bərk məhlullarında kompleks impedans spektrlərinin öyrənilmişdir. γ -şüalanmadan sonra alınan impedans qodoqraf ayrılərindən Varburqun diffuziya impedansının yarandığı müəyyən edilmişdir. İmpedans diaqramındakı şüalar, Varburqun diffuz impedansı ilə bağlıdır və bunun da əsasında verilmiş ion daşıyıcılarının sinusoidal siqnalının tezlik diapazonunda diffuziya layı sərhədinə çata bilməməsi dayanır.

6. Şüalanmamış və γ -kvantla şüalanmış $TlGa_{1-x}In_xSe_2(1-x)S_{2x}$ və $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ sistemli bərk məhlullarında otaq temperaturunda 400 - 1100 nm spektral diapazonunda əks olunma və buraxma spektrlərindən düzünə və çəpinə qadağan olunmuş zolağın eninin qiymətləri təyin olunmuşdur. Müəyyən edilmişdir ki, $TlGa_{1-x}In_xSe_2(1-x)S_{2x}$ bərk məhlullarda konsentrasianın və şüalanma dozasının artması ilə qadağan olunmuş zonanın eni artır: uyğun olaraq x-in artması ilə 0 MQR - $E_{gd}=2,04-2,35$ eV; $E_{gi}=1,88-2,285$ eV; 0,01 MQR - $E_{gd}=2,01-2,34$ eV; $E_{gi}=1,89-2,3$ eV; 0,02 MQR - $E_{gd}=2,01-2,31$ eV; $E_{gi}=1,895-2,29$ eV; 0,05MQR - $E_{gd}=2,02-2,3$ eV; $E_{gi}=1,95-2,27$ eV: $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ bərk məhlulunda isə şüalanmadan sonra qadağan olunmuş zonanın eni azalır: 0 MQR $E_{gd}=2,05-1,3$ eV; $E_{gi}=1,98-1,2$ eV; 0,05 MQR $E_{gd}=2,15-1,15$ eV; $E_{gi}=1,9-0,75$ eV müşahidə olunmuşdur.

7. Şüalanmamış və γ -kvantlarla şüalanmış $TlInS_2<V>$ kristalının dəyişən elektrik sahəsinin təsiri altında elektrik keçiriciliyinin tədqiqi nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, sistem relaksor halında (nizamsız fazada) olduqda yəni, Berns (T_d) temperaturu ilə Foqel-Fulçer temperaturu intervalında keçiricilik sıçrayışlı xarakter daşıyır. Sıçrayışlı keçiriciliyin parametrlərinin qiymətləri hesablanmış: lokallaşmış halların sıxlığının (N_F), tələlərinin konsentrasiyasının (N_l) qiymətlərinin

aşqardan və şüalanma dozasından aslı olaraq artması, sıçrayışların orta uzunluğunun (R) və lokallaşmış halların enerji fərqinin (ΔE) qiymətlərinin isə azalması müəyyən edilmişdir.

8. TlInS_2 , $\text{TlInS}_2 <0.1\%V>$ kristallarının və $(\text{TlGaSe}_2)_{1-x}(\text{TlInSe}_2)_x$ bərk məhlullarının Atom Qüvvə Mikroskopu metodu ilə tətqiq nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, radiasiyanın təsiri nanoölçülü klasterlərin doyma dərəcəsini artır, molekulların dissosiasiya imkanı güclənir və kritik rüşeymlərin əmələ gəlməsinə səbəb olur.

DISSERTASIYANIN ƏSAS NƏTİCƏLƏRİ AŞAĞIDAKI MƏQALƏ VƏ TEZİSLƏRDƏ DƏRC EDİLMİŞDİR

1. Сардарлы Р.М. Поляризация, вызванная объемными зарядами и ионная проводимость в кристаллах TlInSe_2 / Р.М. Сардарлы, О.А. Самедов, Н.А. Алиева, А.П. Абдуллаев, Э.К. Гусейнов, И.С. Асланов, Ф.Т. Салманов // Физика и техника полупроводников, - 2014, 48 (4), -с.442-447
2. Salmanov F.T. / Optical properties of solid solutions of $(\text{TlGaSe}_2)_{1-x}(\text{TlInS}_2)_x$ system in fundamental absorption region / F.T. Salmanov, N.A. Aliyeva, A.J. Mikayilova // Материалы второй международной научно-практической конференции «Роль молодых ученых в развитии науки, инноваций и технологий», -Душанбе Таджикистан: -11-12 may, -2017, -с.326-327.
3. Salmanov F.T. Vanadium atomları ilə aşqarlanmış TlInS_2 kristallarının elektrik və dielektrik xassələrinə γ -şüaların təsiri / F.T. Salmanov, N.Ə. Əliyeva // AMEA Gənc Alim və Mütəxəssislər Şurası Gənc Tədqiqatçı elmi praktik jurnal, -2017, III cild, №2, -s.20-26.
4. Сардарлы Р.М. Влияние интеркаляции $\langle V \rangle$ на релаксорные свойства кристаллов TlInS_2 / Р.М. Сардарлы, О.А.Самедов, Ф.Т. Салманов // Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirliyi Azərbaycan Texniki Universitetinin Elmi əsərləri, -2017, №3, -s.53-56
5. Salmanov F.T. Influence of γ -radiation on direct and indirect optical transitions in $(\text{TlGaSe}_2)_{1-x}(\text{TlInS}_2)_x$ mixed crystal // Journal of Radiation Research, - 2018, v 5, №2, -s.457-464
6. Salmanov F.T. TlInS_2 və $\text{TlInS}_2 \langle V \rangle$ kristallarının Van-Der-Vals səthinin atom qüvvə mikroskopu ilə tədqiqi // Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirliyi Azərbaycan Texniki Universitetinin Elmi əsərləri, -2018, №1, -s.26-32.
7. Sardarly Rauf. Phase Transition in TlS , TlSe and TlInS_2 Crystals Caused by Nanoscale Defects / Rauf Sardarly, Arzu Sardarli, Famin Salmanov, Nurana Aliyeva, Samira Gahramanova,

- Mahammed Yusifov // International Journal of Theoretical and Applied Nanoscience and Nanotechnology. - 2018.v.6, - p.5-10.
8. Salmanov F.T. γ -kvantlarla şüalanmış $(\text{TlGaSe}_2)_{1-x}(\text{TlInSe}_2)_x$ ($x=0; 0,1; 0,2$) bərk məhlullarının atom qüvvə mikroskopu ilə səth proseslərinin tədqiqi / F.T. Salmanov, N.Ə.Əliyeva, C.H.Cabbarov, G.E.Məmmədova, R.A.Məmmədov, İ.A.Abdullayeva, S.D.Dadaşova // Gənc Tədqiqatçı, Fizika-riyaziyyat və Texniki elmləri, - 2018, IV cild, №2, -s.6-11.
 9. Salmanov F.T., Aliyeva N.A., Mikayilova A.J., Abdullayeva I.A. Dielectric relaxation in gamma-irradiated of $(\text{TlGaSe}_2)_{1-x}(\text{TlInS}_2)_x$ solid solution // Международный форум молодых ученых «BURABAY FORUM: приграничное сотрудничество Казахстана», -Qazaxistan, Astana: -06-13 avqust, - 2018,
 10. Salmanov F.T. Influence of γ -radiation on direct and indirect optical transitions in $(\text{TlGaSe}_2)_{1-x}(\text{TlInS}_2)_x$ mixed crystal //Journal of Radiation Researches, - 2018, vol 5, №2, -s.457-464
 11. Sardarly R.M. Impact of γ -irradiation on dielectric and electric properties of TlInS_2 <V> crystals / R.M., O.A.Samedov, F.T.Salmanov, N.A.Aliyeva // ISSN (VANT), -2019, 120, 2, - p.30-33.
 12. Sərdarlı R.M. γ -kvantlarla şüalanmış $(\text{TlGaSe}_2)_{1-x}(\text{TlInS}_2)_x$ bərk məhlullarının impedans xarakteristikaları / R.M. Sərdarlı, F.T. Salmanov, N.Ə. Əliyeva // AJP Fizika, -2019, vol. XXV, №2,- s.34-39.
 13. Салманов Ф.Т.. Влияние γ -облучения на прямые и не прямые межзонные оптические переходы в кристаллах TlGaSe_2 и TlInS_2 // Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının xəbərləri Fizika-texnika və riyaziyyat elmləri seriyası, fizika və astronomiya. – 2019, №2, -s143-148.
 14. Salmanov F.T. Influence of γ -irradiation on superionic conductivity of $(\text{TlGaSe}_2)_{1-x}(\text{TlInS}_2)_x$ solid solutions // Journal of Radiation Researches, -2019, vol.6 , №1,- s.5-10.

15. Салманов Ф.Т. АС-проводимость твердых растворов $(\text{TlGaSe}_2)_{1-x}(\text{TlInS}_2)_x$ // Gənc Tədqiqatçı, Fizika-riyaziyyat və Texniki elmləri, -2019, V, №1, -s.26-30.
16. Сардарлы Р.М., Салманов Ф.Т., Алиева Н.А., Маммадов Р.А. Тип оптических переходов на краю фундаментально поглощения кристаллов TlGaSe_2 и TlInS_2 , подвергнутых γ -облучению // Международный научный форум «Ядерная наука и технологии», - Алматы, Казахстан, -24-27 June, -2019, -с.129-131.
17. Сардарлы Р.М. Прыжковая проводимость твердых растворов $(\text{TlGaSe}_2)_{1-x}(\text{TlInS}_2)_x$ / Р.М. Сардарлы, Ф.Т. Салманов, Н.А. Алиева // Azərbaycan Texniki Universiteti, -2019, №1, -s.11-18.
18. Сардарлы Р.М., Салманов Ф.Т., Алиева Н.А. Проводимости по локализованным состояниям твердых растворов $\text{TlGa}_{1-x}\text{In}_x\text{Se}_2$ // Релаксационные явления в твердых телах. Материалы XXIV международной конференции, -Воронеж, -24-27 сентября, -2019, -с. 206-207
19. Sardarli R.M., Salmanov F.T., Aliyeva N.A., Mammadov R.A. Superionic conductivity of $(\text{TlGaSe}_2)_{1-x}(\text{TlInS}_2)_x$ mixed crystals induced by γ -irradiation // Международный научный форум «Ядерная наука и технологии», -Алматы, Казахстан, -24-27 June, -2019, -s.70-71
20. Салманов Ф.Т., Алиева Н.А., Микаилова А.Дж., Маммадов Р.А. Импедансные характеристики γ -облученных твердых растворов $(\text{TlGaSe}_2)_{1-x}(\text{TlInS}_2)_x$ в радиочастотном диапазоне // «Пятый междисциплинарный молодежный научный форум с международным участием «Новые материалы», -Москва: -2019, -с 274-275.
21. Сардарлы Р.М. Импеданс Твердых Растворов $(\text{TlGaSe}_2)_{1-x}(\text{TlInSe}_2)_x$ / Р.М.Сардарлы, Ф.Т.Салманов, Н.А.Алиева // Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının xəbərləri, Fizika-texnika və riyaziyyat elmləri seriyası, fizika və astronomiya, -2019, №5, -s.56-64
22. Сардарлы Р.М. Тип оптических переходов на краю фундаментального поглощения кристаллов TlGaSe_2 и TlInS_2 ,

- подвергнутых γ -облучению / R.M.Сардарлы, Ф.Т. Салманов, Н.А.Алиева // Оптика и спектроскопия, -2019, т. 127, в. 3, - с.420-424
23. Sardarly R.M. Impedance Spectroscopy Of $(\text{TlGaSe}_2)_{1-x}(\text{TlInSe}_2)_x$ Solid Solutions In Radio Frequency Range / R.M. Sardarly, F.T. Salmanov, N.A. Aliyeva, R.M.Abbasova // Modern physics letters b, -2020, V.34, n.11, -p.2050113
24. Sardarly R.M. Импедансные характеристики γ -облученных твердых растворов $(\text{TlGaSe}_2)_{1-x}(\text{TlInS}_2)_x$ / R.M. Sardarly, F.T. Salmanov, N.A. Aliyeva, R.M.Abbasova // Физика и техника полупроводников, -2020, т. 54, в. 6, -с.511-518.

Dissertasiyanın müdafiəsi _____ 2021-ci il tarixində saat _____ AMEA Radiasiya Problemləri İnstitutu nəzdində fəaliyyət göstərən BED 1.21 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

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

Dissertasiya ilə AMEA Radiasiya Problemləri İnstitutunun kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları AMEA Radiasiya Problemləri İnstitutunun rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat _____ 2021-ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 03.09.2021

Kağızın formatı: A5

Həcm: 76950 işarə

Tiraj: 110