

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

QAMMA ŞÜALANMAYA MƏRUZ QALMIŞ TIS VƏ TISe KRİSTALLARININ ELEKTRİK DAYANIQSIZLIĞININ TƏDQIQI

İxtisas: 2225.01. Radiasiya materialşünaslığı

Elm sahəsi: Fizika

İddiaçı: Samirə Məhərrəm qızı Qəhrəmanova

Fizika üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim olunmuş dissertasiyanın

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

BAKI -2024

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

Elmi rəhbərlər: Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor
Rauf Mədət oğlu Sərdarlı

Fizika-riyaziyyat elmləri namizədi, dosent
Rəvan Nadir qızı Mehdiyeva

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

Fizika elmləri doktoru, professor
Əli Həsən oğlu Hüseynov

Fizika elmləri doktoru, dosent
Fərid İbrahim oğlu Əhmədov

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

Dissertasiya şurasının sədri: AMEA-nın müxbir üzvü,
Fizika elmləri doktoru, professor
Qotay Əbil oğlu Səmədov

Dissertasiya Şurasının
elmi katibi: Fizika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Günəl Tələt qızı İmanova

Elmi seminarın sədri: Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor
Rəhim Səlim oğlu Mədətov

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı. Yarımkəçirici elektron cihazların nüfuzedici şüalanma sahələrinə (peyklərdə, işləyən reaktorlarda və s.) radiasiya ilə qarşılıqlı əlaqə zamanı yarımkəçirici materialların xüsusiyyətlərinin ətraflı öyrənilməsinə ehtiyac yaranır. Belə tədqiqatlar zamanı bir -biri ilə əlaqəli iki problem həll edilməlidir: fiziki problem - yarımkəçiricilərdə defekt əmələ gəlməsi və praktiki problem – bu şərtlər altında cihazların istifadə müddətinin artırılmasına nail olmaq. Bu zaman ilk olaraq defektlərin yaranma mexanizmlərini, struktur quruluşuna radiasiyanın təsirini araşdırmaq və yaranan defektlərin yarımkəçiricilərdəki fiziki proseslərə təsirini öyrənmək lazımdır. Defektlərin yaranmasını və şüalanma növünün onlara təsirini öyrənməklə yarımkəçirici kristalların elektrik xüsusiyyətlərinin dəyişməsinə tənzimləyən əsas qanunları müəyyən etmək mümkündür. Beləliklə, fiziki problemin həlli tədqiq olunan problemin həllinə gətirib çıxarmalıdır, yəni materialların və onların əsasında qurulan cihazların radiasiyaya davamlılığını artırmalıdır.

Son illərdə elektronikada, energetikada və sənayedə istifadə olunan litium-ion əsaslı cərəyan mənbələrindən istifadə edən cihazların uğurlu tətbiqi sayəsində ion keçirici materiallara maraq artmışdır. Bu cihazların işləməsi elektrod-ion keçirici interfeysində və kristal elektrolitin özündə baş verən elektrokimyəvi proseslərə əsaslandığından, bu sistemlərdə ion nəqlinin (daşınmasının) xüsusiyyətlərini öyrənmək lazımdır. İon keçirici materiallarda elektrokimyəvi və elektrofiziki prosesləri öyrənmək üçün ən informativ metodlardan biri, elektrokimyə, fizika və materialşünaslığın müxtəlif sahələrində istifadə olunan impedans spektroskopiyasıdır. İmpedans spektroskopiyası metodu həm tətbiqli, həm də fundamental tədqiqatlarda geniş istifadə olunur. Mikro və nanoelektronikada superion təbiətli keçiricilərin istifadəsi, ion komponentinin ümumi keçiricilikdə əhəmiyyətli rolu olan yeni birləşmələrin öyrənilməsinə marağı artırır. Hal-hazırda ion keçirici materialların öyrənilməsində impedans spektroskopiyaya metodundan geniş istifadə olunur.

Bərk cisimlərdə ion keçiriciliyinin formalaşmasında başlıca amillərdən biri kimi kristallik quruluşda yüksək polyarizasiyalı kationlar, yəni Pb^{2+} , Bi^{3+} , Tl^{+} və s. struktur elementlərinin olmasıdır.

Dissertasiya işinin məqsədi: γ -kvantlarla şüalandırılmış TlS və TlSe kristallarında geniş temperatur-tezlik intervalında sıçrayışlı keçiriciliyinin, Pul-Frenkel effektinin və impedans spektroskopiya metodu ilə superion keçiriciliyinin xüsusiyyətlərini müəyyənəlməkdən ibarətdir.

Qarşıya qoyulan məqsədə çatmaq üçün aşağıdakı məsələlər həll edilmişdir:

- TlS və TlSe sintezi və monokristallarının yetişdirilməsi;
- qamma kvantlarla şüalandırılmış TlS və TlSe kristallarında 100-450 K temperatur və $25 \cdot 10^6$ Hz tezlik intervallarında elektrik keçiriciliyinin tədqiqi;
- qamma kvantlarla şüalandırılmış TlS və TlSe kristallarında Pul-Frenkel effektinin tədqiqi;
- qamma kvantlarla şüalandırılmış TlS və TlSe kristallarında superion keçiriciliyinin tədqiqi;
- qamma kvantlarla şüalandırılmış TlS və TlSe kristallarının dielektrik relaksasiyası hadisələrinin tədqiqi;
- qamma kvantlarla şüalandırılmış TlS və TlSe kristallarının kompleks impedans spektrlərinin ölçülməsi və analizi.

Tədqiqat obyektı və metodları:

Tədqiq olunan TlS və TlSe monokristalları Bricman-Stokbarqer üsulu ilə yetişdirilmişdir. Sintez prosesindən sonra maddə kvars ampulun içərisinə doldurularaq havasızlaşdırılır. Yetişdirilmə və dəmlənmə temperaturu müəyyən edildikdən sonra elektrik sobasında ərimə zonasının temperaturu seçilmiş temperatur intervalına uyğun olaraq ПИФ-101 termik tənzimləyicisi vasitəsi ilə idarə olunmaqla avtomatik olaraq qızdırılır. Temperatur 2 koordinatlı potensiometrə birləşdirilmiş Pt-Pt/Rh termocütünün köməyi ilə qeyd olunur və sistemin (ampula) 2-3 saat stabilləşmə prosesi keçdikdən sonra soba dəmləmə zonasının sonuna qədər 0,2 sm/dəq sürəti ilə hərəkətə başlayır. Dəmləmə zonasının temperaturu tədqiq olunan maddələrin ərimə temperaturunun $\approx 60\%$ tərtibində seçilmişdir. Zonadakı

temperatur və lazımi temperatur qradienti seçilmiş temperatura uyğun tapıldıqdan sonra yetişdiriləcək maddə ilə doldurulmuş kvars ampul hərəkətedici mexanizmə birləşdirilir və sobaya daxil edilir. 1,5-2 saat stabilləşdirilir və konteyner hərəkətə gətirilir. Bu halda kristallaşma prosesi başlayır.

Elektrik keçiriciliyinin tədqiqatları dörd zondlu üsulla aparılmışdır. Bu tədqiqatları həyata keçirmək üçün E7-25 rəqəmsal immittans ölçən cihazından istifadə olunub. Elektrik keçiriciliyinin ölçmələri geniş temperatur (100-450K) və tezlik ($25 \cdot 10^6$ Hz) intervalında aparılmışdır. Ölçmələr kristalloqrafik “c” oxuna perpendikulyar istiqamətdə azot kriostatında kristalın kvazistasionar kəsilməz qızdırılması rejimindən istifadə edilərək yerinə yetirilmişdir.

Yarımkəçirici materiallarda cərəyanın keçmə mexanizmini öyrənmək üçün tədqiq olunan materialların Volt-Amper xarakteristikaları araşdırılmışdır. Tədqiqat üçün B7-30 elektrometrindən və sabit cərəyan mənbəyindən istifadə edilmişdir. Təcrübələr 100-300 K temperatur intervalında və kristalloqrafik 110 və 001 istiqamətlərində aparılmışdır. Cərəyan kontaktları kimi gümüş pastasından istifadə olunmuşdur.

Müdəfiyə çıxarılan əsas elmi müddəalar aşağıdakılardan ibarətdir:

1. 100-300 K temperatur intervalında ilkin və γ -kvantlarla şüalandırılmış TlS və TlSe kristallarının elektrik keçiriciliyinin sıçrayışlı xarakter daşdığı müəyyən edilmişdir.

2. İlkin və γ -kvantlarla şüalandırılmış TlS və TlSe kristallarının Volt-Amper xarakteristikalarında xətilikdən kənara çıxma Pul-Frenkelin istilik-sahə nəzəriyyəsinə tabe olur.

3. İlkin və γ -kvantlarla şüalandırılmış TlS və TlSe kristallarının elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığında ($\sigma(T)$) otaq temperaturundan yuxarı temperaturlarda kristalın superion hala keçməsi müşahidə olunur.

4. İlkin və γ -kvantlarla şüalandırılmış TlS və TlSe kristallarının dielektrik nüfuzluğunun tezlik dispersiyası və dielektrik itki bucağının relaksasiya xassələri müşahidə olunur. Yükdaşınma mexanizmi 10^4 -

10^5 Hs tezlikdə Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış hallar üzrə sıçrayışlı xarakter daşıyır.

5. TIS və TlSe kristallarının kompleks impedans spektrlərinin öyrənilməsi nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, yuxarı temperaturalarda və radiasiyanın təsiri nəticəsində Varburqun diffuziya impedansı yaranır.

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

1. İlkin və γ -kvantlarla şüalandırılmış TIS və TlSe kristallarının 100-300 K temperatur intervalında elektrik keçiriciliyi sıçrayışlı mexanizmə tabe olduğu müəyyən edilmiş və Mott yaxınlaşması çərçivəsində izah edilmişdir.

2. İlkin və γ -kvantlarla şüalandırılmış TIS və TlSe kristallarının Volt-Amper xarakteristikalarında xətilikdən kənara çıxma Pul-Frenkelin istilik-sahə nəzəriyyəsi çərçivəsində izah olunmuşdur.

3. Müəyyən edilmişdir ki, γ -kvantlarla şüalandırılmış TIS və TlSe kristallarının elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığında ($\sigma(T)$) 300 – 450 K temperatur intervalında elektrik keçiriciliyin qiymətində sıçrayışlı artım müşahidə olunmuşdur. Müşahidə olunan sıçrayışlı artım Tl^{+1} ionlarının tallium altqəfəsində vakansiyalar üzrə diffuziyası ilə əlaqələndirilmişdir.

4. TIS və TlSe kristallarının kompleks impedans spektrlərinin analizi nəticəsində γ -şüalanmadan sonra Varburqun diffuziya impedansının yarandığı müəyyən olunmuşdur.

5. İlkin və γ -kvantlarla şüalandırılmış TIS və TlSe kristallarının dielektrik nüfuzluğunun tezlik dispersiyası və dielektrik itkisi bucağının relaksasiya xassələri müəyyən edilmişdir. $T = 350$ K və 10^5 - 10^6 Hs tezliklərdə elektrik keçiriciliyin sıçrayışla artması sistemin superior halına keçməsi ilə əlaqədar olduğu göstərilmişdir.

İşin praktiki əhəmiyyəti:

Dissertasiyada alınmış nəticələr elektron çeviricilərin, qidalanma mikrobatareyalarının, ionistorların (ifrat böyük tutuma malik kondensatorların), yaddaş özləklərinin hazırlanması üçün münasib material kimi istifadə edilə bilər.

İşin aprobasiyası:

Dissertasiyanın nəticələri aşağıdakı konfranslarda məruzə edilmişdir: “Fizikanın aktual problemləri” IX respublika elmi konfransının materialları” (Bakı 2016); “International Conference Modern Trends in Physics” (Baku, 2017); Международная Конференция, посвященная 60-летию Института физики ДНЦ РАН и 110-летию Х.И. Амирханова, «Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах» (Махачкала 2017); “International Conference on Theoretical and nanoscience and Nanotechnology: Fundamentals and Applications Toronto, Ontario” (Canada, Toronto 2017); 11-я Международная Конференция «Ядерная и радиационная физика» Международная Конференция «Ядро-2017» (Алматы 2017); “7th International Conference MTP-2021(Baku 2021); Magistrantların və gənc tədqiqatçıların “Şuşa ili”nə həsr olunmuş “Fizika və Astronomiyanın Problemləri” mövzusunda Ümumrespublika konfransı. BDU (Bakı 2021).

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı: Təqdim olunan dissertasiya işi Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Radiasiya Problemləri İnstitutunun “Seqnetoelektriklərin radiasiya fizikası” laboratoriyasında yerinə yetirilmişdir.

Nəşrlər: Dissertasiya işinin mövzusunə aid respublika və xarici elmi jurnallarda 18 elmi əsər, o cümlədən 11 məqalə, 7 konfrans materialı nəşr olunmuşdur.

Dissertasiyanın quruluşu və həcmi. Dissertasiya işi girişdən, dörd fəsildən, nəticələrdən və istinad olunmuş ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. Təqdim olunan dissertasiya işi ümumilikdə 61 şəkildən, 5 cədvəldən və 182000 simvoldan ibarətdir.

İŞİN ƏSAS MƏZMUNU

Girişdə təqdim olunan dissertasiya işinin mövzusunun aktuallığı əsaslandırılmış, dissertasiya işinin məqsədi, elmi yeniliyi, praktiki əhəmiyyəti göstərilmiş və həmçinin müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar, aprobasiya dərəcəsi, nəşrlər barədə məlumat verilmişdir. İşin fəsilər üzrə əsas məzmunu girişdə qısa şərh olunmuşdur.

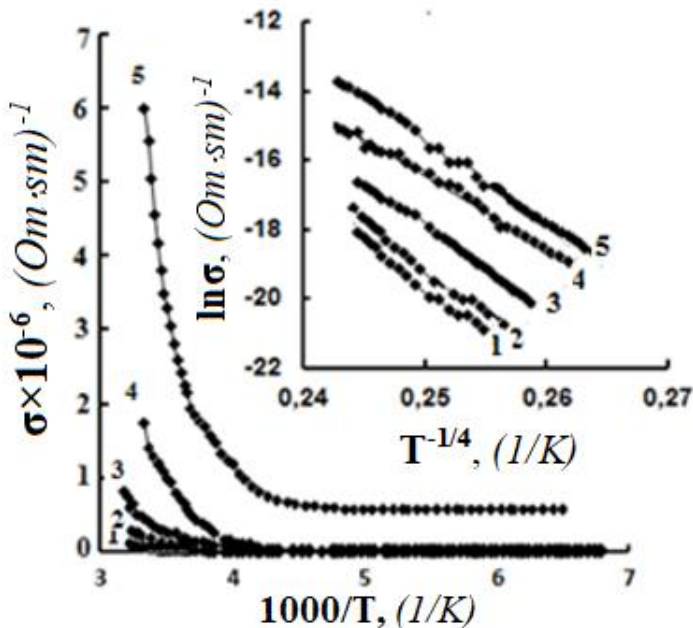
Dissertasiya işinin **birinci fəslində** A^3B^6 tip birləşmələr sinfinə daxil olan tallium əsaslı zəncirvari quruluşlu xalkogenidlərin elektrofiziki xassələrinə aid ədəbiyyat materialları təhlil edilmişdir.

Dissertasiya işinin **II fəslində** tədqiq olunan TIS və TISe monokristallarının yetişdirilməsi üsulları verilmişdir. Həmçinin bu fəsilə elektrik və dielektrik xüsusiyyətlərini öyrənmək üçün tədqiqat qurğularının sxemi və işləmə prinsipi, nümunələrin γ -şüalandırılması metodu və impedans spektrinin ölçülməsi metodu şərh edilmişdir.

Dissertasiyanın **III fəslində** γ -kvantlarla şüalanmış TIS kristalının 100-450 K temperatur və 25-10⁶ Hz tezlik intervalında elektrik keçiriciliyinin və dielektrik nüfuzluğunun temperaturdan asılılığı, Volt-Amper xarakteristikası və impedans spektroskopiyası metodu ilə ion keçiriciliyinin tədqiqi nəticələri verilmişdir.

İlkin və 0,15 MQR; 0,25 MQR; 0,35 MQR; 0,75 MQR dozalarında şüalandırılmış TIS kristalının elektrik keçiriciliyinin xüsusiyyətləri 100-300 K temperatur intervalında öyrənilmiş və elektrik keçiriciliyinin Arrenius koordinatlarında temperaturdan asılılıqları uyğun olaraq şəkil 1-də verilmişdir. Elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığının nəticələri əsasında şüalanmadan əvvəl və sonra sıçrayışlı keçiriciliyin mövcudluğu müşahidə olunmuş və temperatur intervalları müəyyən edilmişdir.

Tədqiq olunmuş TIS kristalının qamma şüalanmadan əvvəl və sonra elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığında temperaturun 190-280 K oblastında eksponensial asılılıq müşahidə edilmişdir. Qeyd olunan temperatur intervalında istiliklə aktivləşdirilmiş yükdaşıyıcıların keçiricilik zonasında keçiriciliyi üstünlük təşkil edir. Şəkil üstü əlavələrdən görüldüyü kimi, 190<T<280 K temperatur oblastında Mott koordinatlarında $\ln\sigma$ -nın $T^{-1/4}$ -dən asılılığında eksperimental nöqtələr düz xətt boyunca yığılır.



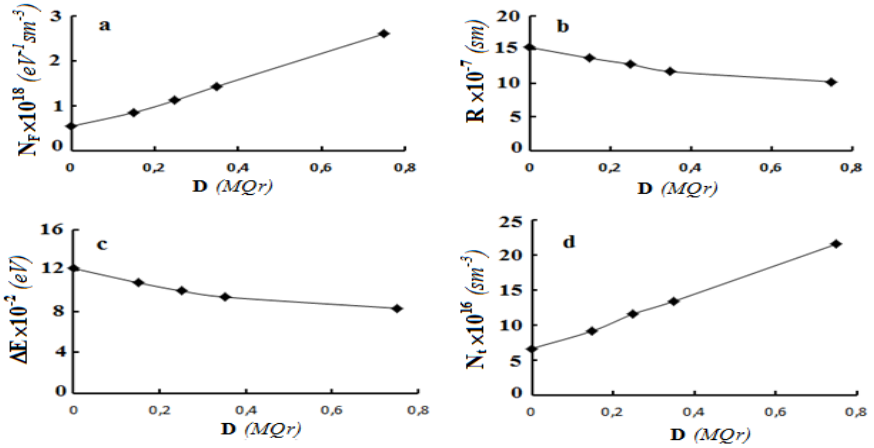
Şəkil 1. İlk və müxtəlif dozada şüalanmış TİS kristalının elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığı. Şəkil üstü əlavədə Mott koordinantlarında $\ln \sigma$ -nın $T^{-1/4}$ -dən asılılığı verilmişdir. 1 əyrisi ilkin və 2,3,4,5 əyriləri isə uyğun olaraq 0,15 MQr; 0,25 MQr; 0,35 MQr; 0,75 MQr dozada şüalanmış nümunəyə uyğundur.

Xətti asılılığın müşahidə olunması bizə onu deməyə imkan verir ki, ilkin və 0,15 MQr; 0,25 MQr; 0,35 MQr; 0,75 MQr dozalarda şüalandırılmış TİS kristalında 190 – 280 K temperatur oblastında yükdaşınma prosesi qadağan olunmuş zonada mövcud olan lokal səviyyələr üzrə sıçrayışlı keçiricilik vasitəsilə həyata keçirilir.

Məlum olduğu kimi, radiasiya şüalarının təsiri ilə yarımkəçiricilərin kristal quruluşunda bir sıra nizamsızlıqlar yaranır. Yarımkəçiricilərdə sürətli elektronlar və γ -şüaların təsiri ilə yaranan radiasiya defektləri xüsusi maraq kəsb edir. Məlumdur ki, tədqiq olunan materialları enerjisi 1 MeV tərtibində olan qamma şüalarla

şüalandırıldıqda vakansiyalar və ya düyünlərarası atomlar kimi nöqtəvi defektlər yaranır. Bu defektlər də öz növbəsində qadağan olunmuş zonada lokallaşmış energetik səviyyələr yaradır. Mott nəzəriyyəsinə görə keçiricilik lokallaşmış səviyyələr üzrə sıçrayışla baş verir.

Mott nəzəriyyəsi əsasında sıçrayışlı keçiriciliyin parametrləri hesablanmış, alınmış qiymətlərin dozadan asılılığı verilmişdir (şəkil 2).



Şəkil 2. Qamma şüalanmaya məruz qalmış TlS kristalında sıçrayışlı keçiriciliyin parametrlərinin dozadan asılılığı. **a** – lokallaşmış halların sıxlığının (N_F), **b** – sıçrayışın uzunluğunun (R), **c** – lokallaşmış halların enerji fərqi (ΔE), **d** – dərin tələlərin konsentrasiyasının (N_t) şüalanma dozəsindən asılılığı.

Əyriyərdən görüldüyü kimi, TlS kristalında sıçrayışlı keçiriciliyin parametrlərinin qiymətləri şüalanma dozəsindən asılı olaraq əhəmiyyətli dərəcədə dəyişir, lakin keçiriciliyin mexanizmi sıçrayışlı olaraq qalır. Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış halların sıxlığının (N_F), tələlərinin konsentrasiyasının (N_t) qiymətlərinin şüalanmadan sonra bir qədər artması, lokallaşmış halların enerji fərqi (ΔE) və sıçrayışın uzunluğunun (R) azalması

müşahidə olunur. Bu da keçiriciliyin qiymətinin artmasına gətirib çıxarır.

Göstərilmişdir ki, qamma kvantlarla şüalanmadan sonra TIS birləşməsində radiasiya defektlərinin yaranması yeni lokallaşmış halların meydana çıxmasına gətirir.

Bu fəsildə həmçinin şüalanmamış və qamma kvantlarla şüalandırılmış TIS kristalının Volt-Amper xarakteristikası 200–300 K temperatur intervalında və xarici elektrik sahəsinin 0 – 3000 V/sm qiyməti aralığında tədqiq olunmuşdur.

İlkin və 0,25 MQR dozada şüalandırılmış TIS kristalının müxtəlif temperaturlarda və elektrik sahəsinin müxtəlif qiymətlərində Volt-Amper xarakteristikasında xətti və qeyri-xətti ($J \sim U^n$) hissələr müşahidə olunur.

Şüalandırılmamış və 0,25 MQR dozada şüalandırılmış TIS kristalı üçün güclü elektrik sahəsində elektrik keçiriciliyinin sahənin intensivliyindən asılılığı Frenkel düsturu ilə yaxşı uzlaşır.

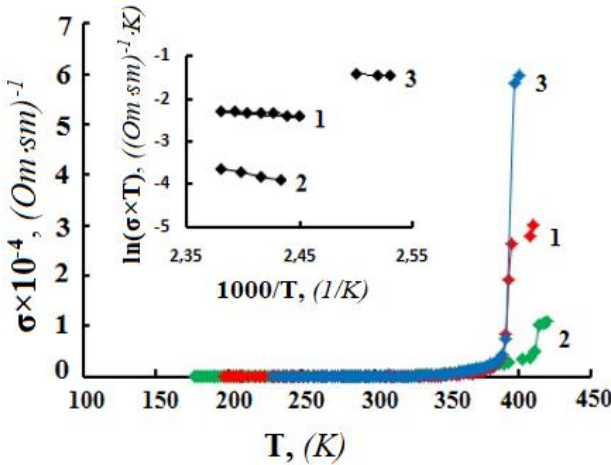
İlkin və 0,25 MQR dozada şüalandırılmış TIS kristalı üçün $\log \sigma - E$, $\log \sigma - \sqrt{E}$ asılılıqları qurulmuşdur. Qurulmuş asılılıqlar əsasında müəyyən edilmişdir ki, $\log \sigma - \sqrt{E}$ asılılığı xətti qanunauyğunluğa tabedir. Buda öz növbəsində β -Frenkel əmsalının nəzəri ifadəsi ilə yaxşı uyğunlaşır. Həmçinin müəyyən edilmişdir ki, $\ln \sigma$ -nın $E^{1/2}$ -dən asılılığından təyin olunmuş β - Frenkel əmsalının temperaturdan asılılığı $\beta = \frac{\sqrt{e^3}}{kT\sqrt{\pi\epsilon\epsilon_0}}$ qanunauyğunluğuna tabe olur və $\beta \sim 10^3/T$ asılılığından alınan xəttin ekstrapolyasiyası koordinat başlanğıcından keçir.

İlkin və 0,25 MQR dozada şüalandırılmış TIS kristalında tədqiq olunan temperaturlarda Pul-Frenkel effekti çərcivəsində sərbəst qaçış yolunun uzunluğunun (λ), Frenkel əmsalının (β), tələlərdən potensial çəpərin maksimumuna qədər olan məsafənin (x_m), eyni zamanda ionlaşmış mərkəzlərin konsentrasiyasının (N_i) qiymətləri hesablanmış və göstərilmişdir ki, qamma şüalanmadan sonra yaranan radiasiya defektlərinin hesabına yaranan ionlaşma mərkəzlərinin konsentrasiyası artır. Bu isə öz növbəsində Pul-Frenkel effektinə görə Volt-Amper xarakteristikasında xəttlikdən kənara çıxmaya səbəb

olur. Müəyyən edilmişdir ki, Volt-Amper xarakteristikasında xəttildən kənara çıxma Pul-Frenkel effekti ilə izah olunur.

Bu fəsilə həmişinin şüalandırılmamış və γ -kvantlarla şüalandırılmış TIS kristalının 300 – 450 K temperatur aralığında ion keçiriciliyinin xüsusiyyətləri öyrənilmişdir.

İlkin və 0,25 MQr; 0,75 MQr dozlarda şüalandırılmış TIS nümunələrinin elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığı şəkil 3-də verilmişdir. Əyriyərdən də görüldüyü kimi, otaq temperaturundan yuxarı temperaturalarda temperaturun müəyyən kritik qiymətində keçiriciliyin qiymətində sıçrayışşəkilli artım müşahidə edilir. Bu da otaq temperaturundan yuxarı temperaturalarda keçiricilikdə ionların üstünlük təşkil etməsi ilə əlaqələndirilmişdir. Bu faktı təsdiq edən şərtlərdən biri $\ln(\sigma \cdot T)$ -nin $10^3/T$ asılılığının xətti qanunauyğunluğa tabe olmasıdır. İlkin və 0,25 MQr; 0,75 MQr dozalarda şüalandırılmış TIS kristalının elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığında təcrübədən alınan nəticələr əsasında $\ln(\sigma \cdot T)$ -nin $10^3/T$ -dən asılılığı qurulmuşdur (şəkil 3).



Şəkil 3. İlkin və γ - kvantlarla şüalandırılmış TIS kristalının elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığı; 1–şüalandırılmamış, 2–0,25 MQr, 3–0,75 MQr. Şəkil üstü əlavələrdə $\ln \sigma$ –nin $1000/T$ asılılığı verilmişdir.

Müəyyən edilmişdir ki, tədqiq olunan kristallarda bu asılılıq xətti qanunauyğunluğa tabe olur.

Otaq temperaturundan yuxarı temperaturalarda TIS kristalında elektrik keçiriciliyinin qiymətində müşahidə olunan artımı quruluşda sərbəst TI^{+1} ionlarının sayının kəskin artması ilə izah etmək olar.

Həmçinin məlumdur ki, ion keçirici materiallarda dielektrik nüfuzluğunun temperaturdan asılılığında da eksponensial artım izlənilir. Tədqiq olunan nümunədə temperaturun müəyyən qiymətində dielektrik nüfuzluğunun sıçrayışla artımı baş verir. TIS kristalında dielektrik nüfuzluğunun temperaturdan asılılığında müşahidə edilən sıçrayışlı artım şüalanmadan əvvəl $T_{Kr}=388$ K; 0,25 MQr dozada şüalandırıldıqdan sonra $T_{Kr}= 405$ K; 0,75 MQr dozada şüalandırıldıqdan sonra $T_{Kr}= 388$ K temperaturalarda baş verir.

Tədqiq olunan TIS kristalında $\epsilon(T)$ asılılığında yuxarı temperaturalarda dielektrik nüfuzluğunun qiyməti aşağı temperaturalardakı qiymətlərlə müqayisədə artır. Şüalanmadan əvvəl və sonra TIS kristalında dielektrik nüfuzluğunun temperaturdan asılılığında müşahidə olunan belə davranış ionların defektlər üzrə hərəkəti ilə əlaqədardır.

Dissertasiya işinin **üçüncü fəslində** həmçinin ilkin və müxtəlif dozalarda şüalandırılmış TIS kristalının dielektrik relaksasiyası və dielektrik itki bucağının temperaturdan asılılığının tədqiqi nəticələri verilmişdir.

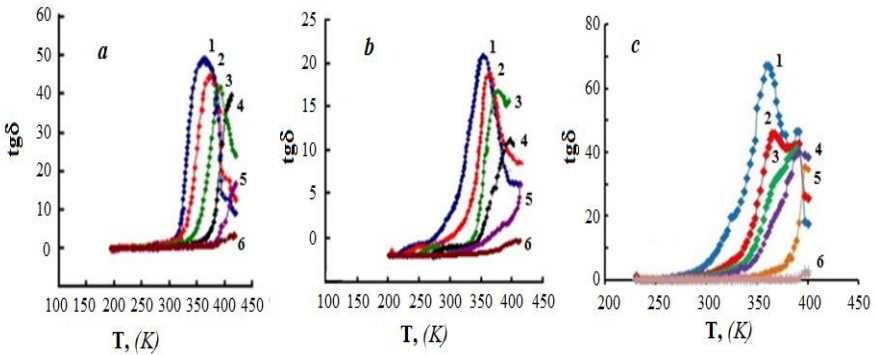
TIS kristalının dielektrik nüfuzluğunun kompleks tədqiqatları $25 \cdot 10^6$ Hz tezlik və 100-450 K temperatur intervallarında rəqəmli E7-25 immitans ölçü cihazında aparılmışdır. Sahə ölçüsünün amplitudası 5 V/sm –dən çox olmamışdır.

Müəyyən edilmişdir ki, şüalanmamış və gamma kvantlarla şüalandırılmış TIS birləşməsində aşağı temperaturalarda dielektrik nüfuzluğunun qiyməti kiçik (TIS kristalında 0 MQr üçün $\epsilon=10$; 0,25 MQr üçün $\epsilon=100$; 0,75 MQr üçün $\epsilon=200$) olmaqla tədqiq olunan tezlik oblastında dəyişməz qalır. Temperaturun sonrakı artımı ilə ölçmə sahəsinin bütün tezliklərində dielektrik nüfuzluğunun qiymətində artma müşahidə olunur. Həmçinin dielektrik nüfuzluğunun temperaturdan asılılığında maksimumlar müşahidə olunur və sahənin

tezliyinin artması ilə bu maksimumlar daha yuxarı temperatur oblastına tərəf sürüşür.

Tədqiq olunan kristallarda müşahidə olunan ion keçiriciliyinin baş verdiyi temperatura yaxınlaşdıqda birvalentli Tl^{+1} ionlarından ibarət əlavə relaksatorlar yaranır, bu da öz növbəsində dielektrik əmsalının artmasına səbəb olur. Eləcə də nəzərə almaq lazımdır ki, yuxarı temperaturalarda ion keçiriciliyinin qiyməti artdıqca bloklayıcı kontakt və ion kristalı arasında ionların konsentrasiyası artacaq və bu da ionların əks istiqamətdə diffuz cərəyanının yaranmasına gətirib çıxaracaq. Bu zaman ion keçiriciliyinin müşahidə olunduğu temperaturatura yaxınlaşdıqca kontaktda yığılan ionlar sistemin dielektrik əmsalının artmasına səbəb olur.

İlkin və 0,25 MQr; 0,75 MQr dozalarında şüalandırılmış TIS kristalının dielektrik itki bucağının tangensi $25-10^6$ Hz tezliklər və 100-450 K temperatur intervalında tədqiq olunmuşdur və alınmış nəticələr şəkil 4-də təsvir edilmişdir.



Şəkil 4. İlkin və 0,25 MQr; 0,75 MQr dozalarında şüalandırılmış TIS kristalı üçün dielektrik itki bucağının tangensinin temperaturdan asılılığı. Ölçmələr 1–25 Hz; 2–100 Hz; 3–1 kHz; 4–10 kHz; 5–100 kHz; 6–1 MHz tezliklərdə aparılmışdır. a-ilkin, b-0,25 MQr; c- 0,75 MQr dozada şüalandırılmış nümunəyə uyğundur.

Göründüyü kimi, $\text{tg}\delta(T)$ asılılığında temperatur artdıqca dielektrik itki bucağının qiyməti artır və müəyyən bir temperaturda maksimum qiymət alır. Temperaturun sonrakı artması ilə relaksasiya xarakterli azalma müşahidə olunur. Tezliyinin artması ilə dielektrik itki bucağının maksimumuna uyğun pikin qiyməti azalır və yuxarı temperatur oblastına tərəf sürüşür. Tədqiq olunan TIS kristalının $\text{tg}\delta(\nu, T)$ və $\varepsilon(\nu, T)$ asılılıqlarında müşahidə olunan bu hal Debay tipli relaksasiya proseslərinə xasdır. $\text{tg}\delta(\nu, T)$ və $\varepsilon(\nu, T)$ asılılıqlarından aldığımız nəticələr, kristal qəfəsində zəif əlaqəli elektrik yüklərinin olması ilə bağlıdır.

Təhlillər göstərir ki, $\varepsilon(T)$ asılılığında müşahidə olunan piklərin müşahidə olunduğu temperaturlar $\text{tg}\delta(T)$ asılılığının maksimumlarına uyğun temperaturlardan geri qalır. TIS kristalında bu anomaliyalar 25 – 1 MHzs tezlik diapazonunda və 330 – 450 K temperaturalarda müşahidə olunduğundan eksperimental olaraq onları öyrənmək çətinlik yaratmır.

Digər tərəfdən, məlum olduğu kimi, alınan nəticələr bizə, potensial çuxurda mümkün olan sıçrayışın tezliklərini tapmağa imkan verir. Bu zaman $\text{tg}\delta$ -nın temperatur asılılığında müşahidə olunan maksimumların tezliyindən Igf_{max} -un $(1/T)$ -dən asılılığını qurmaqla da mümkün olan sıçrayışların tezliklərini müəyyən etmək mümkündür. $1/T \rightarrow 0$ yaxınlaşmasında düz xəttin ekstrapolyasiyası yükdaşıyıcının baryerdən sıçrama tezliyini müəyyən etməyə imkan verir.

Igf_{max} -un $1/T$ -dən asılılığını qurmaqla da zərrəciyin baryerdən sıçrama tezliyini müəyyən etmək mümkündür. $1/T \rightarrow 0$ yaxınlaşmasında düz xəttin ekstrapolyasiyasını qurmaqla zərrəciyin baryerdən sıçrama tezliyi müəyyən edilmişdir.

Tədqiq olunan TIS kristalı üçün zərrəciyin baryerdən sıçrama tezliyi şüalanmamış nümunə üçün $\nu = 4 \cdot 10^{12}$ Hs; 0,25 MQR üçün $\nu = 2 \cdot 10^{12}$ Hs və 0,75 MQR üçün $\nu = 10^{12}$ Hs qiymətini alır. Alınmış bu qiymətlər spektrin terahers oblastına uyğun gəlir və kristalların rəqs spektrinin fonon modası oblastına düşür.

Məlumdur ki, $(\text{Ti}^{3+}\text{S}^{2-}_2)^-$ zəncirləri tetraqonal “c” oxu istiqamətində dartılmış Tl – S zəncirindən ibarətdir. Quruluşda əlverişli amil Ti^+ ionlarının keçiricilikdə iştirak etməsi üçün böyük

boşluqların mövcudluğudur. Kristallik quruluşdakı bu boşluqlar ion keçiriciliyini əhəmiyyətli dərəcədə artırır. Kristallokimyəvi mülahizələrə əsaslanaraq güman etmək olar ki, TIS birləşməsinin strukturunda ən mobil ion Tl^+ kationlarıdır.

Dissertasiya işinin **üçüncü fəslində** həmçinin qamma kvantlarla şüalandırılmış TIS kristalının $25 \div 10^6$ Hz tezlik aralığında kompleks impedansı və relaksasiya prosesləri araşdırılmışdır.

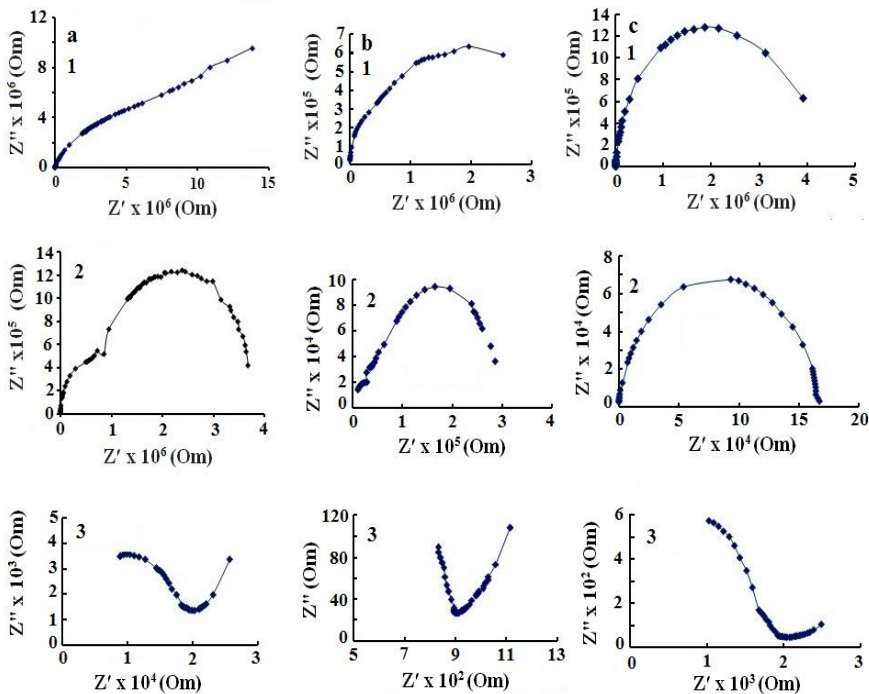
İlkin və 0,25 MQR; 0,75 MQR dozalarda şüalandırılmış TIS kristalının impedansının həqiqi (Z') və xəyali (Z'') hissələri hesablanmışdır. Alınmış nəticələrə əsasən kompleks impedans qodoqrafının təsvirləri qurulmuş və şəkil 5-də verilmişdir.

Əyrilərdən görüldüyü kimi, şüalandırılmamış və 0,25 MQR; 0,75 MQR dozalarda şüalandırılmış TIS kristalında kompleks müstəvi qodoqrafın Z' və Z'' -in kəsişmə nöqtəsində qövsü maksimum yarım dairəyə yaxın həqiqi oxla meyillənən əyrini təsvir edir (şəkil 5).

Bu cür təsvir olunan qodoqraf əyriləri paralel ekvivalent əvəzetmə sxeminə uyğun gəlir və enerji daşınması tək relaksasiya müddəti ilə xarakterizə olunur. Kompleks impedansın xəyali hissəsi, müəyyən $f_{(\max)}$ tezliklərdə maksimum göstərir və $C_{\text{eff}}R_{\text{eff}}\omega_{\max} = 1$ şərtinə uyğun gəlir. Burada C_{eff} və R_{eff} ekvivalent sxemin effektiv parametri, $\omega_{\max} = 2\pi f_{\max}$ isə dairəvi tezlikdir. İmpedans qodoqrafının maksimumu (uc hissəsi) rezonans tezliyinə (ω_{\max}) uyğun gəlir.

Tezliklərin $f_{(\max)}$ relaksasiya müddətləri – Z'' maksimumuna uyğun gəlir. Şüalandırılmamış və qamma kvantlarla 0,25 MQR və 0,75 MQR dozalarda şüalandırılmış TIS kristalı üçün tezlik dispersiyasının başlanğıcına uyğun gələn tezliklər müəyyən edilmişdir. Tədqiq olunan kristallar üçün yuxarı temperaturalarda və qamma kvantlarla şüalanmadan sonra Z'' maksimumuna uyğun gələn $f_{(\max)}$ tezliyində artım müşahidə olunur.

Tədqiq olunan TIS birləşməsində şüalanmadan əvvəl alınan əyrilər həqiqi oxun mərkəzində yerləşən, yarım dairəyə yaxın formaya malik olur. Bu halda, yük ötürülməsi bir relaksasiya müddəti ilə xarakterizə olunur. Alınmış qodoqraf əyrisi aşağı müqavimətli və bloklayıcı olmayan kontaktlara malik eynicinsli nümunəyə uyğun gəlir.



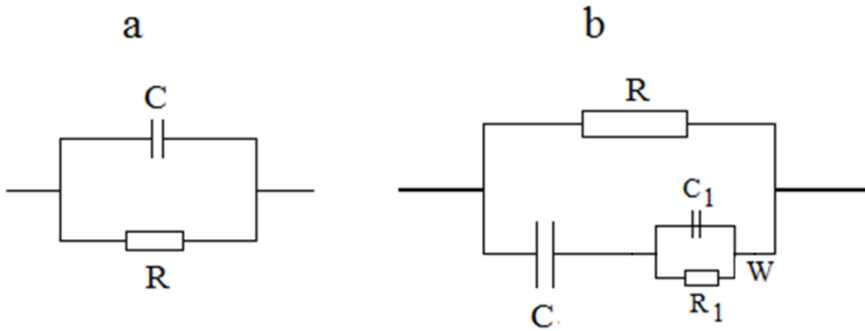
Şəkil 5. TİS kristalı üçün kompleks impedans müstəvisində $Z''(Z')$ impedans qodoqrafı. Ölçmələr 1-300 K, 2-350 K və 3-400 K, a-ilkin, b-0,25 MQR və c-0,75 MQR.

Bu isə ekvivalent əvəzləmə sxemində bir paralel RC- zəncirinə uyğundur (şəkil 6 a). TİS kristalında 0,25 MQR və 0,75 MQR dozada şüalanmadan sonra kompleks impedans spektrinin tədqiqindən alınan qodoqraf əyriləri yuxarı tezliklərdə yarımdairə formasına malikdir. Aşağı tezliklər oblastında isə “şüalarla” əks olunmuşdur. Naqvist əyrilərində müşahidə olunan “şüalar” böyük ehtimal ki, ikiqat elektrik layı oblastında yük yığılması nəticəsində həm elektrod yaxınlığında tutum polyarizasiyasının, həm də polyarizasiya müqavimətinin olması ilə əlaqədardır (şəkil 6 b). Alınan nəticə, qamma şüalanması nəticəsində yaranan və Varburq diffuz impedansı kimi tanınan xətti diffuziya impedansının yaranmasına gətirib çıxardır. Yüksək

temperaturalarda və γ -şüalanmadan sonra kristalın superior hala keçməsi Tl^{+1} ionlarının vakansiyalar üzrə diffuziyası ilə bağlıdır.

Həmçinin şüalandırılmamış və qamma kvantlarla 0,25 MQR; 0,75 MQR dozalarda şüalandırılmış TIS kristalının dielektrik nüfuzluğunun həqiqi (ϵ') və xəyali (ϵ'') hissəsinin tezlik dispersiyası, dielektrik itki bucağının tangensi ($tg\delta$), ac-keçiriciliyi (σ_{as}) 25 - 10⁶ Hs tezlik intervalında tədqiq edilmiş və alınan nəticələr dissertasiyanın **üçüncü fəslində** verilmişdir. Dielektrik ölçmələri 300 K, 350 K, 400 K temperaturalarda aparılmışdır.

Dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissəsinin tezlikdən asılılığının tədqiqi nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, tezliyin qiymətinin artması ilə (25 - 10⁶ Hs) ϵ' zəif azalır, yüksək tezliklərdə ($f > 10^3$ Hs) ϵ' -in f-dən zəif asılı olduğu və 10⁶ Hs tezliklərində $\sim 10,0$ qiymətini aldığı göstərilmişdir. ϵ' -in və ϵ'' -in tezlikdən asılı olaraq dəyişməsi TIS kristalında dielektrik sabitinin relaksasiya dispersiyası mövcudluğunu göstərir.



Şəkil 6. İlk və qamma kvantlarla şüalandırılmış TIS kristalının kompleks impedans qodoqrafının ekvivalent sxemi. (a – ilkin, b – γ -şüalanmadan sonra). W – Varburqun diffuz impedansı, R – nümunənin müqaviməti, R₁ isə sətyanı oblastakı müqavimətdir.

Eyni tezliklərdə dielektrik sabitinin xəyali hissəsinin tezlikdən asılılığında daha güclü bir dispersiya müşahidə olunur. Qeyd etmək lazımdır ki, temperaturun 300 K qiymətində dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissəsinin tezlikdən asılılığı zəif dəyişir, otaq temperaturundan yuxarı temperaturalarda isə ϵ' və ϵ'' -in mütləq

qiymətlərində kəskin artım müşahidə olunur. Məlumdur ki, relaksasiya polarizasiyasına sahib dielektrlərdə aktivləşmə prosesləri kompleks keçiriciliyin xəyali hissəsinin tezlikdən asılılığında maksimuma gətirib çıxarır. TIS kristalında $T = 400 \text{ K}$ və $0,75 \text{ MQr}$ dozada kompleks keçiriciliyin kəskin artıma məruz qaldığı müşahidə olunmuşdur, bu da ion yükdaşıyıcılarının konsentrasiyasının artması ilə əlaqələndirilir.

Həmçinin şüalanmamış və qamma kvantlarla şüalanmış TIS kristalının dielektrik itki bucağının tangensinin tezlikdən asılılıqları tədqiq edilmiş və alınan nəticələr dissertasiyanın üçüncü fəslində şərh edilmişdir. Tezliyin $f \sim 10^3 \text{ Hz}$ qiymətində $\text{tg}\delta(f)$ asılılığında maksimum müşahidə olunur və $10^5 \div 10^6 \text{ Hz}$ tezlik intervalında isə minimuma düşür. Tədqiq olunan kristallarda tezlik dispersiyasının ($f_p = 10^3 \text{ Hz}$) və relaksasiya müddətinin qiyməti ($\tau = 10^{-3} \text{ san}$) hesablanmışdır. Dielektrik itki bucağının tangensinin tezlikdən asılılıqlarının tədqiqi nəticəsində TIS kristallarında relaksasiya itkilərinin mövcudluğu və cərəyan keçiriciliyinin olduğu göstərilmişdir.

Bu fəsildə həmçinin şüalanmamış və qamma kvantlarla şüalanmış TIS kristalının ac-keciriciliyinin tezlikdən asılılığının tədqiqi nəticələri verilmişdir.

Şüalanmadan sonra tədqiq olunan kristalların keçiriciliyinin tezlikdən asılılığında kəskin artım müşahidə olunur. Keçiriciliyin qiymətinin artması yüksək temperaturlarda və qamma şüalanmadan sonra kristalların artıq superion fazada olması ilə bağlıdır. Bu da öz növbəsində yüksək temperaturda keçiricilikdə ionların iştirak etməsi sistemin nizamsız olması ilə əlaqədardır.

Dissertasiyanın üçüncü fəslində həmçinin müxtəlif dozalarda şüalandırılmış TIS kristalının kompleks impedans spektrlərinin qurulması və onların tədqiqi nəticələri verilmişdir. Məlumdur ki, superion keçiriciliyi olan materialın və metalın sərhədində baş verən proseslər haqqında ən dolğun məlumat impedans spektroskopiyası üsullarından istifadə etməklə əldə edilə bilər.

Kompleks impedans spektrlərinin tədqiqi nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, ölçmə sahəsinin tezliyinin artması ilə impedansın həqiqi $Z'(v)$ və xəyali $Z''(v)$ hissələrinin qiymətlərinin azalması nəticəsində

dispersiyanın mövcudluğu müşahidə olunur. $25 \cdot 10^3$ Hs-dən aşağı tezliklər oblastında $Z'(v)$ -də və $Z''(v)$ -də kəskin azalma müşahidə edilir, lakin tezliyin sonrakı artması ilə tezlik asılılığında zəifləmə müşahidə olunur.

Şüalandırılmamış və qamma kvantlarla 0,25 MQr; 0,75 MQr dozalarda şüalandırılmış TlSe kristalının 300 K; 350 K; 400 K-də tezlik asılılıqlarının kompleks tədqiqatları aparılmışdır: kompleks dielektrik sabitinin həqiqi və xəyali hissələri; ac-keçiricilik; kompleks impedansının $Z^*(f)$ həqiqi və xəyali hissələri. Dielektrik sabitinin tezlik dispersiyası və dielektrik itkilərinin relaksasiya xarakterli olduğu müəyyən edilmişdir. Göstərilmişdir ki, yükdaşınma mexanizmi Fermi səviyyəsinin yaxınlığında lokallaşmış hallar üzrə sıçrayışlı xarakter daşıyır. Həmçinin müəyyən edilmişdir ki, kristalda ion keçiriciliyi halında diffuziya edən Tl^{1+} ionları tədqiq olunan TlSe kristallarının qodoqraflarında şüalar şəklində ifadə olunan Varburqun diffuz impedansının mövcudluğuna cavabdehdir.

Dissertasiyanın **IV fəslində** müxtəlif dozalarda şüalandırılmış TlSe kristalının 100-450 K temperatur və $25 \cdot 10^6$ Hs tezlik intervalında elektrik keçiriciliyinin, dielektrik nüfuzluğunun temperaturdan asılılığının, həmçinin impedans spektroskopiyaya metodu ilə ion keçiriciliyinin tədqiq olunmasından alınmış nəticələr təqdim edilmişdir.

İlkin və 0,25 MQr; 0,75 MQr dozada şüalandırılmış TlSe kristalının elektrik keçiriciliyinin temperaturdan ($\sigma(T)$) asılılığı 100-300 K temperatur oblastında tədqiq edilmişdir. İlkin və 0,25 MQr; 0,75 MQr dozada şüalandırılmış TlSe kristalının elektrik keçiriciliyinin Arrenius koordinatlarında temperaturdan asılılıqları araşdırılmışdır. Göstərilmişdir ki, elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığı ilkin TlSe kristal üçün ~190-240 K; 0,25 MQr dozada şüalandırılmış TlSe kristal üçün ~185-250 K; 0,75 MQr dozada şüalandırılmış TlSe kristal üçün isə ~180-260 K temperatur oblastında eksponensial xarakter daşıyır. Eksponensial asılılıq oblastlarında $\ln \sigma$ -nın $T^{-1/4}$ -dən asılılığı qurulmuş və göstərilmişdir ki, asılılıq xətti qanuna tabe olur. Bu şərtə əsasən demək olar ki, şüalandırılmamış və qamma kvantlarla 0,25 MQr; 0,75 MQr dozalarda şüalandırılmış TlSe

kristalında qeyd olunan temperatur intervalında keçiriciliyin sıçrayışlı xarakter daşdığı müəyyən edilmişdir. Mott yaxınlaşması çərçivəsində keçiriciliyin parametrləri: Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış halların sıxlığının (N_F), dərin tələlərin konsentrasiyasının (N_t), lokallaşmış halların enerji fərqi (ΔE) və eləcə də yükdaşıyıcıların sıçrayışlarının orta uzunluğunun (R) hesablanmış qiymətlərinin dozadan asılı olaraq dəyişməsi cədvəl 1-də verilmişdir.

Cədvəl 1. TlSe kristalının Mott yaxınlaşmasında keçiriciliyinin hesablanmış parametrləri. ($T=240$ K)

Doza (MQr)	N_F ($eV^{-1} \cdot sm^{-3}$)	R (sm)	ΔE (eV)	N_t (sm^{-3})
0	$1,52 \cdot 10^{18}$	$1,15 \cdot 10^{-6}$	0,101	$1,53 \cdot 10^{17}$
0.25	$1,75 \cdot 10^{18}$	$1,11 \cdot 10^{-6}$	0,099	$1,73 \cdot 10^{17}$
0.75	$2,27 \cdot 10^{18}$	$1,05 \cdot 10^{-6}$	0,095	$2,15 \cdot 10^{17}$

Göstərilmişdir ki, şüalanma dozasının artması ilə lokallaşmış halların sıxlığının (N_F), dərin tələlərin konsentrasiyasının (N_t) qiymətləri artır, lokallaşmış halların enerji fərqi (ΔE) və yüklərin sıçrayışlarının orta uzunluğunun (R) qiymətləri isə azalır. Bu dəyişmə fikrimizcə radiasiya defektlərinin yaranması ilə bağlıdır.

Həmçinin radiasiya təsirinə məruz qalmış TlSe birləşməsinin güclü elektrik sahəsində (10^3 V/sm) və 100-300 K temperatur intervalında elektrik keçiriciliyinin Pul-Frenkel effekti çərçivəsində tədqiqi aparılmışdır və alınan nəticələr dissertasiya işinin dördüncü fəslində verilmişdir.

İlkin və 0,25 MQr dozada şüalandırılmış TlSe kristalının müxtəlif temperaturalarda VAX-ı tədqiq olunmuşdur. Temperaturun və elektrik sahəsinin müxtəlif qiymətlərində VAX-da xətti hissə və xəttildən kənaraçıxmalar müşahidə ($J \sim U^n$) olunmuşdur. Müəyyən edilmişdir ki, temperaturun artması ilə və 0,25 MQr dozada

şüalandırıldıqdan sonra omik oblastın kiçilməsi müşahidə olunur və bu zaman kvadratik oblastda keçid gərginliyinin qiymətlərində azalma müşahidə olunur. Bu radiasiya defektlərinin yaranması nəticəsində yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının artması ilə əlaqədardır.

Məlum olduğu kimi, Frenkel qanunun ödənilməsi ilə bir sıra parametrləri müəyyən etmək mümkündür. Bu vacib parametrlər β -Frenkel əmsalı, λ -sərbəst qaçış yolunun uzunluğu, x_m - tələlərdən potensial çəpərin maksimumuna qədər olan məsafə, N_t -tələlərin konsentrasiyasıdır. İlkin və 0.25 MQR dozada şüalandırılmış TlSe nümunələrində bu parametrlər hesablanmışdır və cədvəl 2-də verilmişdir.

Beləliklə, ilkin və γ -kvantlarla şüalandırılmış TlSe kristallarının Volt-Amper xarakteristikalarında xəttilikdən kənara çıxma Pul-Frenkelin istilik-sahə nəzəriyyəsi çərçivəsində izah edilmişdir.

TlSe kristalının 300-450 K temperatur aralığında ion keçiriciliyi və bu ion keçiriciliyinə γ -şüaların təsirinin nəticələri araşdırılmışdır.

İlkin və 0,25 MQR; 0,75 MQR dozalarda şüalandırılmış TlSe kristalında elektrik keçiriciliyi 300-450 K temperatur intervalında tədqiq edilmişdir. Alınan nəticələr əsasında müəyyən edilmişdir ki, temperaturun müəyyən bir qiymətində elektrik keçiriciliyinin qiyməti bir neçə tərtib artır.

Sıçrayışlı artımın müşahidə olunduğu, yəni ion keçiriciliyinin baş verdiyi oblastda $\ln(\sigma \cdot T)$ -nin $1/T$ asılılığının xətti qanunauyğunluğa tabe olması superion keçiriciliyin mühüm şərtlərindən biridir. Tədqiq olunan TlSe kristalında $\ln(\sigma \cdot T)$ -nin $(1/T)$ -dən asılılığı xətti qanunauyğunluğa tabedir. Bunun səbəbi isə kritik temperaturdan yuxarı temperaturalarda keçiricilikdə ionların üstünlük təşkil etməsidir. Bu cür dəyişmə qeyd etdiyimiz kimi, yüksək mobilliyə malik Tl^{+1} ionlarının sayının kəskin artması ilə izah etmək olar ki, bu zaman superion halına faza keçidi baş verir.

İon keçiriciliyi $\sigma \cdot T = \sigma_0 \cdot \exp(-\Delta E_a / k T)$ ifadəsi ilə təyin olunur, burada ΔE_a – keçiriciliyin aktivləşmə enerjisidir. Tədqiq olunan TlSe kristalının aktivləşmə enerjisinin qiymətləri şüalanmadan əvvəl və qamma şüalanmadan sonra hesablanmışdır və 0 MQR – $E_a = 0,032$ eV;

0,25 MQr – $E_a = 0,04$ eV; 0,75 MQr – $E_a = 0,012$ eV qiymətləri alınmışdır.

Cədvəl 2. TlSe kristalı üçün Pul-Frenkel effekti çərçivəsində hesablanmış parametrlərin şüalanmadan əvvəl və sonrakı qiymətləri.

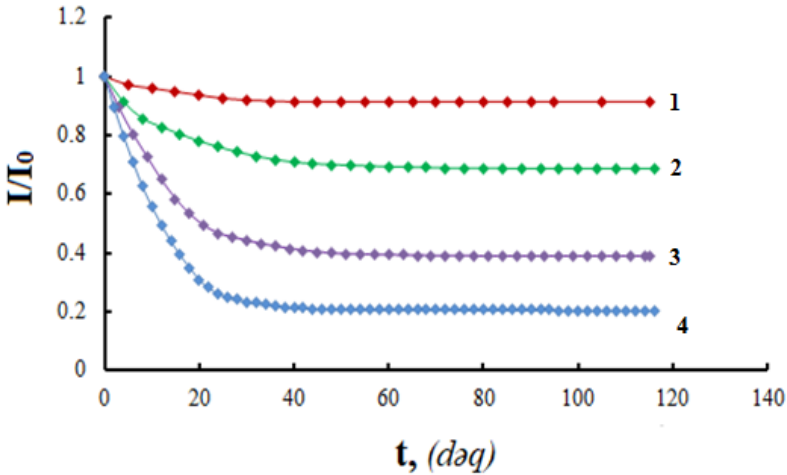
T (K)	Doza (MQr)	β (sm/V)^{1/2}	λ (sm)	x_m (sm)	N_t (sm^{-3})
200	0	0,017	$6,58 \times 10^{-6}$	$1,21 \times 10^{-8}$	$1,14 \times 10^{17}$
	0,25	0,015	$1,35 \times 10^{-6}$	$5,32 \times 10^{-7}$	$5,42 \times 10^{17}$
230	0	0,012	$7,72 \times 10^{-6}$	$1,63 \times 10^{-8}$	$3,52 \times 10^{16}$
	0,25	0,014	$3,22 \times 10^{-6}$	$8,22 \times 10^{-7}$	$3,52 \times 10^{17}$
300	0	0,011	$3,19 \times 10^{-7}$	$2,32 \times 10^{-8}$	$7,42 \times 10^{16}$
	0,25	0,009	$1,42 \times 10^{-7}$	$1,08 \times 10^{-8}$	$1,31 \times 10^{16}$

Dissertasiya işinin dördüncü fəslində həmçinin 300 K, 350 K temperaturda ilkin və 0,25 MQr dozada şüalandırılmış TlSe birləşməsində ümumi keçiriciliyin elektron və ion komponentlərinin nisbəti Vaqnerin qütbləşmə üsulu ilə müəyyən edilmişdir. Sabit cərəyanda elektrik keçiriciliyinin zamandan asılılığını tədqiq etməklə qarışıq elektron-ion xarakterli birləşmələrdə ion payını qiymətləndirmək mümkündür.

Şəkil 7-də ilkin və 0,25 MQr dozada şüalandırılmış TlSe birləşməsinin 300 K, 350 K temperaturda elektrik keçiriciliyinin zamandan asılılığı göstərilmişdir. Elektrodlar kimi keçiriciliyə ion payını bloklayan gümüş kontaktlardan istifadə olunmuşdur və sabit bir potensial fərq tətbiq olunmuşdur.

Şəkildən görüldüyü kimi, sabit bir sahədə elektrik keçiriciliyinin zamandan asılılığı qeyri-xəttidir. Nəticədə, zamanın ilkin anında ölçmələr zamanı ionların və elektronların ümumi cərəyanı axır; stasionar vəziyyətdə yük ötürülməsi yalnız elektronlar tərəfindən

həyata keçirilir. Beləliklə, bloklayıcı xarakter daşıyan gümüş -kontakt sərhədi yaxınlığında həcm-yük bölgəsinin qarşılıqlı kompensasiyasının nəticəsində sabit sahədə zamanla elektrik cərəyanı azalır. Şəkil 7-dən görüldüyü kimi, 0.25 MQR dozada şüalandırılmış TlSe kristalında 350 K temperaturda stasionar vəziyyətdə nümunədən ~ 80% -ə yaxın ion cərəyanı keçir.



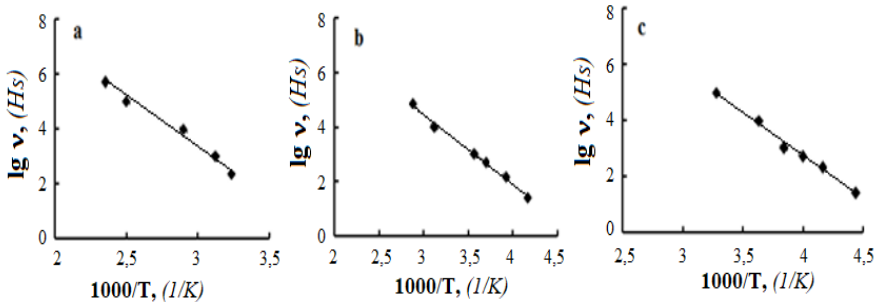
Şəkil 7. TlSe birləşməsinin elektrik keçiriciliyinin I/I_0 zamandan asılılığı. Ölçmələr gümüş elektrodlardan istifadə edərək 300 K, 350 K temperaturalarda ilkin və 0,25 MQR dozalarda aparılmışdır. Əyri 1 və 2-300 K, ilkin nümunə; 3 və 4-350 K, $D=0,25$ MQR.

Bu fəsildə həmçinin, şüalanmamış və qamma kvantlarla şüalanmaya məruz qalan TlSe kristalında ε və $tg\delta$ -nın temperatur və tezlikdən asılılıq tədqiqatlarının nəticələri verilmişdir. Qeyd olunmuşdur ki, elektrik sahəsinin tezliyinin artması ilə $tg\delta(T)$ və $\varepsilon(T)$ asılılıqlarında müşahidə olunan maksimumlar yuxarı temperatura doğru sürüşür və qiymətlərində azalma müşahidə olunur. Bu da tədqiq olunan kristalın relaksasiya xarakterli olması ilə əlaqədardır və kristal qəfəsdə zəif əlaqəli elektrik yüklərinin olmasını deməyə əsas verir.

Hesablamadan alınan nəticələr bizə, potensial çuxurda mümkün olan sıçrayışlar üçün, sıçrayışın aktivləşmə enerjilərini və onların tezliklərini tapmağa imkan verir.

Digər tərəfdən bu parametrləri ilkin və qamma kvantlarla şüalandırılmış TlSe kristalında $\lg f_{\max}$ –nun $1/T$ –dən asılılığını qurmaqla da asanlıqla tapmaq olar. Şəkil 8-də $\lg f_{\max}$ –nun $1/T$ –dən asılılığı qurulub və TlSe kristalında $1/T \rightarrow 0$ yaxınlaşmasından düzxəttin ekstrapolyasiyasını qurmaqla zərrəciyin baryerdən sıçrama tezliyi təyin edilib.

İlkin və 0,25 MQR; 0,75 MQR dozada şüalandırılmış TlSe kristallarında bu tezlik ilkin nümunə üçün $\nu = 4 \cdot 10^{12}$ Hs, 0,25 MQR dozada şüalandırılmış nümunə üçün $\nu = 3 \cdot 10^{12}$ Hs, 0,75 MQR dozada şüalandırılmış nümunə üçün isə $\nu = 2 \cdot 10^{12}$ Hs qiymətində olur. Qeyd etdiyimiz kimi, tezliyin bu qiymətləri infraqırmızı spektrin kənar hissəsinə uyğun gəlir və kristalın rəqsi spektrinin fonon modası oblastına düşür.



Şəkil 8. İlkin və 0,25 MQR; 0,75 MQR dozada şüalandırılmış TlSe kristalının dielektrik itki bucağının tangensinin relaksasiya maksimumlarının tezliyinin temperaturun tərs qiymətindən asılılığı. a-0 MQR; b-0,25 MQR; c-0,75 MQR.

Dəyişən elektrik sahəsində nizamsız sistemlərdə yükdaşınma hadisəsinin öyrənilməsi praktik və fundamental əhəmiyyət daşıyır.

Eyni zamanda əsas məqsəd məlum nəzəriyyələr əsasında yükdaşınma mexanizmini müəyyən etməkdir.

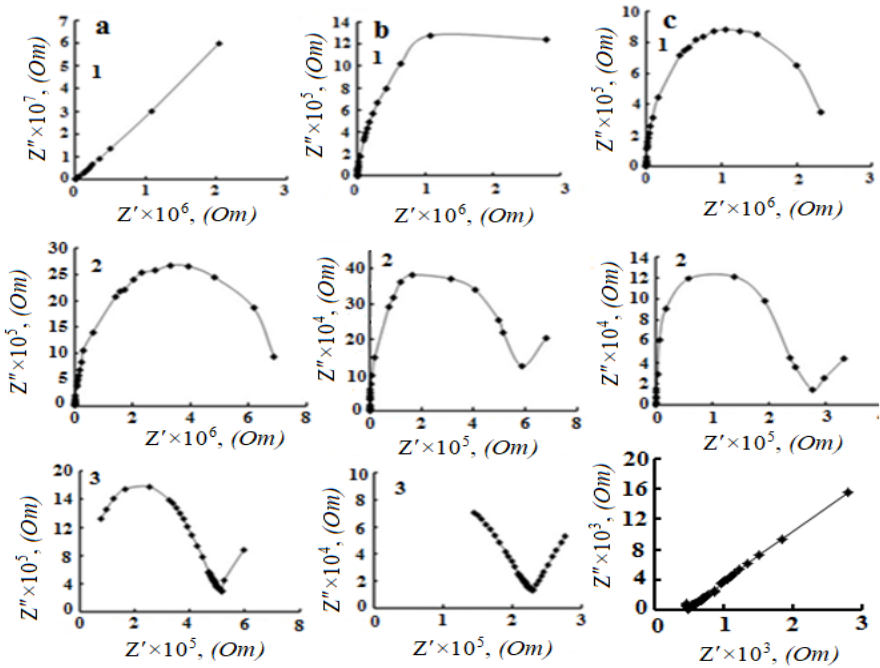
Dördüncü fəsilə həmçinin TlSe kristalının elektrik keçiriciliyinin təbiəti geniş temperatur (300 K; 350 K; 400 K) və tezlik ($25 \cdot 10^6$ Hz) intervalında tədqiq edilmiş və yükdaşınma mexanizmi müəyyən edilmişdir.

İlkin və 0,25 MQR; 0,75 MQR dozalarda şüalandırılmış TlSe kristalında 300 K, 350 K, 400 K temperaturda ac-keçiriciliyin tezlikdən asılılığı öyrənilmişdir. 10^5 - 10^6 Hz tezlik intervalında şüalandırılmış nümunələrdə ilkin nümunələrə nisbətən ac-keçiriciliyinin qiyməti ~ 10 dəfə kəskin artır. 0,25 MQR və 0,75 MQR dozada qamma şüalanmanın elektrik keçiriciliyinin tezlik asılılığına təsiri onunla əlqədardır ki, tədqiq olunan kristal otaq temperaturdan yuxarı temperaturlarda və 10^6 Hz tezliyində superior fazada yerləşir, bu temperaturda və bu tezlikdə keçiricilik əsasən ionlaşmış və sistem nizamsızlaşmışdır.

İlkin və müxtəlif dozalarda şüalandırılmış TlSe kristalının dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissəsinin tezlikdən asılılığı öyrənilmiş və göstərilmişdir ki, elektrik sahəsinin ölçmə sahəsinin tezliyinin artması ilə kompleks dielektrik komponentlərinin qiymətlərinin azalmasının müşahidə olunması dispersiya xassələrini aşkar edir. Tezliyin artması ilə ϵ' zəif azalır yüksək tezliklərdə ($f > 10^3$ Hz) ϵ' f-dən zəif asılı olduğu və 10^6 Hz tezliklərində $\sim 10,0$ qiymətini aldığı göstərilmişdir. Tədqiq olunan TlSe kristalında ϵ' və ϵ'' tezlik dəyişməsinin təbiəti dielektrik sabitinin relaksasiya dispersiyası mövcudluğunu göstərir.

Şəkil 9-da ilkin və 0,25 MQR; 0,75 MQR dozalarda şüalandırılmış TlSe kristalının müxtəlif temperaturlarda impedans qodoqraf əyriləri verilmişdir. Göstərilmişdir ki, qodoqraf əyrilərini relaksasiya mexanizminin olmasını göstərən iki hissəyə ayırmaq olar. $Z''(Z')$ asılılığının yüksək tezlik hissəsi relaksasiya prosesi ilə əlaqəlidir. İmpedans qodoqrafının aşağı tezlikli hissəsində relaksasiya mexanizmi, səthyanı oblastda daşıyıcıların konsentrasiya qradientinin olması ilə əlaqəli olan diffuziya mexanizmi ilə əlaqəlidir. Beləliklə, tədqiq olunan TlSe nümunəsində enerjinin itməsi mexanizmi keçiriciliklə əlaqəli və relaksasiya polyarizasiyası ilə əlaqəli itkilərdən ibarətdir. Alınmış qodoqraf əyriləri əsasında elektrik

dövrəsinin impedans komponentlərindən istifadə edərək ekvivalent sxemi təsvir edilmişdir. Bu cür qodoqraf, aşağı müqavimətli və təcridedici kontakta olmayan bircins nümunələrə uyğundur. Şəkil 6 a-da aşağı tezliklər diapazonuna uyğun gələn ekvivalent sxem təsvir olunmuşdur. ($Z''-Z'$) kompleks diaqramının aşağı tezliklər oblasti şüaya uyğun gəlir. İlkin nümunələrdə 400 K, qamma kvantlarla şüalanmadan sonra 350 K temperaturda impedans qodoqraf əyrlərində aşağı tezliklər oblastında şüalar müşahidə olunur və bu şüalar bərk elektrolit və səth yaxınlığında diffuz ion daşınması ilə əlaqələndirilir.



Şəkil 9. İlkin və 0,25 MQR; 0,75 MQR dozalarda şüalandırılmış TlSe kristalında kompleks impedans spektrləri ($Z'' - Z'$). Ölçmələr 1-300 K, 2-350 K və 3-400 K, a-ilkin, b-0,25 MQR və c-0,75 MQR.

Şüalanmadan əvvəl yükdaşınma prosesi tək relaksasiya müddəti ilə xarakterizə olunur, lakin qamma kvantlarla şüalanmadan sonra kristalların qodoqraf əyrilərində aşağı tezliklər oblastında əlavə olaraq “şüalar” müşahidə edilmişdir. Qodoqraf əyrilərindəki bu şüalar qeyd etdiyimiz kimi, Varburqun diffuz impedansı ilə bağlıdır.

Əvvəlki tədqiqatlarımıza əsasən TlSe kristallarında otaq temperaturdan yuxarı temperaturlarda və qamma şüalanmadan sonra Tl^{+1} ionunun diffuziyası nəticəsində keçiricilikdə ion komponentinin üstünlük təşkil etməyə başladığı göstərilmişdir. İmpedans diaqramındakı şüalar, tətbiq olunan sinusoidal siqnalın tezlik intervalında yükdaşıyıcının diffuz layının sərhədinə çatmadığı fikrinə əsaslanan Varburq diffuz impedansının xüsusiyyətidir. Varburq diffuz impedansının müşahidə olunması, kristalın otaq temperaturundan yuxarı temperaturlarda superion halına keçməsi ilə əlaqədardır.

ƏSAS NƏTİCƏLƏR

1. Müxtəlif dozada şüalanmış TlS və TlSe kristallarının 100–300 K temperatur intervalında elektrik keçiriciliyi tədqiq olunmuş və göstərilmişdir ki, keçiricilik lokallaşmış energetik səviyyələr üzrə sıçrayış ilə baş verir. Fermi səviyyəsi ətrafında lokallaşmış hallar üzrə sıçrayışlı keçiriciliyin parametrlərinin qiymətləri hesablanmış və göstərilmişdir ki, şüalanma dozasından asılı olaraq bu parametrlərin qiymətləri əhəmiyyətli dərəcədə dəyişir, lakin keçiriciliyin mexanizmi sıçrayışlı olaraq qalır. TlS kristalı üçün 0 – 0,75 MQR doza intervalında Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış halların sıxlığının ($N_F - 5,43 \cdot 10^{17} - 2,6 \cdot 10^{18} \text{ eV}^{-1} \cdot \text{sm}^{-3}$), tələlərinin konsentrasiyasının ($N_t - 6,62 \cdot 10^{16} - 2,17 \cdot 10^{17} \text{ sm}^{-3}$) qiymətlərinin şüalanma dozasından asılı olaraq artması, sıçrayışın orta uzunluğunun ($R - 1,53 \cdot 10^{-6} - 1,02 \cdot 10^{-6} \text{ sm}$) və lokallaşmış halların enerji fərqi ($\Delta E - 0,122 - 0,083 \text{ eV}$) qiymətlərinin isə azalması müəyyən edilmişdir. TlSe kristalı üçün isə 0 – 0,75 MQR doza intervalında Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış halların sıxlığının ($N_F - 1,52 \cdot 10^{18} - 2,27 \cdot 10^{18} \text{ eV}^{-1} \cdot \text{sm}^{-3}$), tələlərinin konsentrasiyasının ($N_t - 1,53 \cdot 10^{17} - 2,15 \cdot 10^{17} \text{ sm}^{-3}$) qiymətlərinin şüalanma dozasından asılı olaraq artması, sıçrayışların orta uzunluğunun ($R - 1,15 \cdot 10^{-6} - 1,05 \cdot 10^{-6} \text{ sm}$) və lokallaşmış halların enerji fərqi ($\Delta E - 0,101 - 0,095 \text{ eV}$) qiymətlərinin isə azalması müəyyən edilmişdir.

2. Müəyyən edilmişdir ki, ilkin və γ -kvantlarla şüalanmış TlS və TlSe kristallarında Volt-Amper xarakteristikalarında xətti asılılıqdan kənara çıxma Frenkelin istilik-sahə effekti çərçivəsində izah edilmişdir. Pul-Frenkel effekti çərçivəsində parametrlərin qiymətləri hesablanmışdır və göstərilmişdir ki, şüalanma dozasından asılı olaraq bu parametrlərin qiymətləri əhəmiyyətli dərəcədə dəyişir. Qamma kvantlarla şüalanmadan sonra tələlərin konsentrasiyasının (N_t) qiyməti 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 şüalandırılmış TlS və TlSe kristallarının 388 K temperaturdan yuxarı temperaturlarda elektrik keçiriciliyinin (σ) qiymətində müşahidə olunan xüsusiyyətlər kristalın superion halına keçidi ilə əlaqədardır. Müşahidə olunan superion keçiriciliyi birvalentli tallium ionlarının tallium altqəfəsində düyün vakansiyaları ilə diffuziyası nəticəsində baş verir.

4. İlkin və 0,25 MQR dozada şüalandırılmış TlSe kristalında müxtəlif temperaturlarda sabit elektrik sahəsində ion toplanan qiymətləndirilmişdir. Göstərilmişdir ki, şüalanmadan əvvəl keçiricilikdə ion toplananın payı 10%-ə yaxın, 0,25 MQR dozada şüalanmadan sonra 350 K temperaturda stasionar vəziyyətdə nümunədən ~ 80%-ə yaxın ion cərəyanı keçir. Sabit elektrik sahəsində cərəyanın zaman keçdikcə azalması bloklayıcı elektrod-kristal sərhədi (interfeys) yaxınlığında həcmi yük oblastlarının qarşılıqlı kompensasiyası ilə izah olunur.

5. TlS və TlSe kristallarında radiasiya ilə stimullaşdırılmış superion fazaya keçid və ikili elektrik layında Varburq impedansı müşahidə edilmişdir. Belə ki, γ -şüalanmadan sonra alınan qodoqraf ayrılərində müşahidə olunan "şüa"lar Varburqun diffuz impedansı ilə əlaqələndirilmişdir. Bu da ion yükdaşıyıcılarının (Tl^{+1}) bloklayıcı kontaktdan keçə bilməməsi ilə əlaqələndirilmişdir.

Dissertasiyanın əsas nəticələri aşağıdakı məqalə və tezislərdə dərc edilmişdir:

1. Abdullayev A.P. Radiasiya təsirinə məruz qalmış TlS birləşməsində Pull- Frenkel effekti / A.P. Abdullayev, Ə.N. Əliyeva, S.M. Qəhrəmanova, İ.A. Abdullayeva, R.A. Məmmədov, R.N. İsmayılov // “Fizikanın aktual problemləri” IX respublika elmi konfransının materialları, Bakı, Azərbaycan, 22 dekabr, -2016, -s.127-130 .

2. Sardarly R.M. Study of the Poole –Frenkel effect in TlS crystals exposed to radiation influence / R.M. Sardarly, A.P. Abdullayev, N.A. Aliyeva, S.M. Gahramanova, G.E. Mammadova, S.D. Dadashova // Journal of radiation research. -2016, №2, -p.24-30.

3. Sardarly R.M. Switching effects and ionic Conductivity in TlS and TlSe crystals / R.M. Sardarly, N.A. Aliyeva, A.P. Abdullayev, S.M. Gahramanova, G.E. Mammadova, J.H. Jabbarov // International Conference Modern Trends in Physics April, Baku, Azerbaijan. 20-22 aprel. -2017. –p. 379-382.

4. Sərdarlı R.M. γ -kvantlarla şüalandırılmış TlS monokristalında elektrik keçiriciliyinin xüsusiyyətləri. / R.M. Sərdarlı, N.A. Aliyeva, A.P. Abdullayev, F.T. Salmanov, S.M. Qəhrəmanova G.E. Məmmədova // AMEA-nın Xəbərləri, Fizika-riyaziyyat və texnika elmləri seriyası, fizika və astronomiya .-2017. №2 ,-c .109-113.

5. Sardarly R.M. Radiasiya təsirinə məruz qalmış TlS birləşməsində Pull - Frenkel effekti. / R.M. Sardarly, A.P. Abdullayev, N.A. Aliyeva, S.M. Qəhrəmanova // Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirliyi, Azərbaycan Texniki Universiteti “Elmi əsərlər “ jurnalı. Fundamental elmlər seriyası. -2017, №1,-30-36.

6. Sardarly R.M. Dielectric Relaxation İn Gamma-İrradiated TlS Crystals / R.M. Sardarly, N.M. Mehdiyev, A.P. Abdullayev, N.A. Aliyeva, S.M. Gahramanova. // Международная конференция, посвященная 60-летию Института физики ДНЦ РАН и 110-летию Х.И. Амирханова, 6-9 сентября. -2017, -p.174-177

7. Sardarly R.M. Phase Transition in TlS, TlSe and TlInS₂ Crystals Caused by Nanoscale Defects. / R.M. Sardarly, A.Sardarly, F.T. Salmanov, N.A. Aliyeva, S.M. Gahramanova, M. Yusifov //

International Journal of Theoretical and Applied Nanoscience and Nanotechnology. -2018,v.6 , -p. 5-10.

8. Сардарлы Р.М. Суперионная проводимость в кристаллах TlInS_2 , TlGaSe_2 , TlS и TlSe индуцированная γ -облучением / Р.М. Сардарлы, О.А. Самедов, Р.Н. Мехдиева, А.П. Абдуллаев, Ф.Т. Салманов, Н.А. Алиева , А.А. Оруджева, С.М. Гахраманова, // 11-я Международная конференция «Ядерная и радиационная физика». Международная конференция «Ядро-2017» (67-е Алматы, Казахстан. 12-15 сентября. -2017, -с.255.

9. Сардарлы Р.М. Диэлектрическая релаксация и проводимость в кристаллах TlSe / Р.М. Сардарлы, А.П. Абдуллаев, Н.А. Алиева , Ф.Т. Салманов, С.М. Гахраманова // АМЕА-nın Xəbərləri, Fizika-riyaziyyat və texnika elmləri seriyası, fizika və astronomiya -2017, №5 , -с.95-99.

10. Sardarly R.M. Dielectric Relaxation in gamma-Irradiated TlS Crystals / R.M. Sardarly, A.P. Abdullayev, F.T. Salmanov, N.A. Aliyeva, S.M. Gahramanova // Azerbaijan Journal of Physics, -2017, vol. XXIII №2, section: En, -p.11-14.

11. Sardarly R.M. Phase Transition in TlS , TlSe and TlInS_2 Crystals Caused by Nanoscale Defects / R.M. Sardarly, A.Sardarli, F.T. Salmanov, N.A. Aliyeva, M.Yusifov, S.M.Gahramanova // International conference of Theoretical and Applied Nanoscience and Nanotechnology Canada, -2017, -p.116-1-116-6

12. Aliyeva N.A. The properties of electroconductivityin TlSe single crystal irradiated with gamma quanta / N.A. Aliyeva, S.M. Qahramanova, R.A. Mammadov, S.D. Dadashova // International Conference MTP-2021 Modern Trends in Physics April, Baku, Azerbaijan. 15-17 Dekabr / -2021, -p. 166-167

13. Salmanov F.T. TlSe_{1-x} ($x=0;0,1$) bərk məhlulların lokallaşmış hallar üzrə keçiriciliyi / F.T. Salmanov, N.A. Aliyeva, S.M. Qahramanova, R.A. Mammadov, R.Ə. Rəsulova // Gənc tədqiqatçı, -2021, №2, -11-16

14. Qəhrəmanova S.M. Qamma şüaların TlS monokristalının superion keçiriciliyinə təsiri // Gənc tədqiqatçı, -2021, №2, 35-38

15. Qahramanova S.M. Dielectric relaxation in gamma – irradiated TlS crystals // Journal of radiation researches, vol 8. № 1, - 2021, Baku, pp. -19-23.

16. Sardarly R.M. Ac conductivity of superionic thallium sulfide crystals exposed to γ -irradiation / Sardarly R.M. F.T. Salmanov, R.N. Mehdiyeva, S.M. Gakhramanova // Modern physics letters b 2021 p. 2150504-1-1- 2150504-9.

17. Aliyeva N.A. $(\text{TlS})_{1-x}(\text{TlSe})_x$ ($x=0;0,1$) bərk məhlullarında superion keçiriciliyi / N.A. Aliyeva, S.M. Qahramanova, R.A. Mammadov, G.M. Ruşanova // Magistrantların və gənc tədqiqatçıların “Şuşa ili”nə həsr olunmuş “Fizika və Astronomiyanın Problemləri” mövzusunda Ümumrespublika konfransı. BDU. 20 may/ -2022, - s.19-20.

18. Сардарлы Р.М. Радиационно-стимулированный фазовый переход в состояние кристалла TlSe / Р.М. Сардарлы, Р.Н. Мехдиева, Ф.Т. Салманов, Н.А. Алиева, С.М. Гахраманова // Физика твердого тела. -2022, №1, -с. 1910-1914.

Dissertasiyanın müdafiəsi 15 yanvar 2024-cü il tarixində saat 14⁰⁰-da Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Radiasiya Problemləri İnstitutu nəzdində fəaliyyət göstərən FD 1.21 Dissertasiya Şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ 1143, Bakı şəhəri, B.Vahabzadə küç., 9.

Dissertasiya ilə Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Radiasiya Problemləri İnstitutunun kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Radiasiya Problemləri İnstitutunun rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 12 yanvar 2024-cü il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 08.01.2024

Kağızın formatı: A5

Həcm: 38453

Tiraj: 100