

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

TlInS₂, TlGaSe₂ KRİSTALLARININ DİELEKTRİK, ELEKTRİK XASSƏLƏRİNƏ VƏ İMPEDANSA İONLAŞDIRICI ŞÜALARININ TƏSİRİ

İxtisas: 2225.01- Radiasiya materialşünaslığı

Elm sahəsi: Fizika

İddiaçı: **Samir Faiq oğlu Səmədov**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı – 2021

Dissertasiya işi Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Radiasiya Problemləri İnstitutunun "Nizamsız bərk cismlərin radiasiya fizikası" laboratoriyasında yerinə yetirilmişdir.

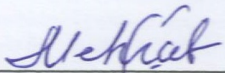
Elmi rəhbərlər: AMEA-nın müxbir üzvü,
fizika-riyaziyyat elmlər doktoru, professor
Oqtay Əbil oğlu Səmədov
kimya elmləri doktoru, dosent
Arzu İslam oğlu Nəcəfov

Rəsmi opponentlər: AMEA-nın həqiqi üzvü,
fizika elmləri doktoru, dosent
Ənvər Piriverdi oğlu Nəhmədov
fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor
Yusif Quşu oğlu Nurullayev
fizika elmləri doktoru, dosent
Nüşabə Nübarək qızı Hacıyeva

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının AMEA Radiasiya Problemləri İnstitutu nəzdində fəaliyyət göstərən FD 1.21 Dissertasiya Şurası

Dissertasiya surasının sədri:
fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor
Rəhim Səlim oğlu Mədətov

Dissertasiya surasının 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. Son illərdə yarımkeçirici materialların tədqiqi geniş elmi və texnoloji marağa səbəb olmuşdur. Bu baxımdan bərk cisim elektronikasının inkişafı nanoelektronikada - superkondensatorlar, ionistorlar (ifrat yüksək tutumlu kondensatorlar), elektron çeviricilər kimi cihazların yaradılması üçün tələbləri artırır.

Məlum olduğu kimi sənayedə istifadə olunan bərk kristal materiallar qüsurların (defektlərin) olması ilə fərqlənən real bir quruluşa malikdir. Bunlardan bəziləri kristalların sintezində yaranan qüsurlardır. Digərləri isə bərk cisimlərin temperaturunun və ya ionlaşdırıcı şüaların təsirindən yaranan defektlərdir.

Hal hazırda $A^3B^3C_2^6$ tip yarımkeçiricilər sinifinə daxil olan $TlInS_2$ və $TlGaSe_2$ birləşmələr geniş tədqiq olunur. $TlInS_2$ və $TlGaSe_2$ monokristalları laylı quruluşa malikdirlər. Bu kristalların özünəməxsus xüsusiyyətlərindən biri, strukturlarının spesifikliyindən qaynaqlanan fiziki xassələrinin güclü anizotropiyasıdır. $TlInS_2$ və $TlGaSe_2$ monokristalları optik aktiv olduğundan, geniş spektral diapozonda yüksək foto həssaslığa malik olduqlarından, bu kristallar optoelektronika tətbiq oluna bilər. Digər tərəfdən bu kristalların laylı quruluşa malik olması, onlarda politiplərin əmələ gəlməsi və nəticədə fiziki xassələrinin dəyişməsi üçün əlverişlidir. Bu tip yarımkeçiricilər unikal xassələrə malikdirlər. Hal-hazırda bu materialların dielektrik, elektrik, optik və fotoelektrik xassələrinin sistemli şəkildə öyrənilməsinə ehtiyac vardır. Bu da onlarda baş verən fiziki proseslərin bütün kompleksini müəyyənləşdirməyə imkan verir. Bu materialların optik xüsusiyyətlərinin öyrənilməsi həm praktiki tətbiqi, həm də elektron-enerji quruluşunun əsaslı öyrənilməsi üçün lazımdır.

Yarımkeçirici materialların təbiətinin və istifadə sahələrinin inkişaf etdirilməsində bir çox metodlardan istifadə olunur. Qamma kvantlarla şüalandırma və ionlarla implantasiya metodu son illərdə geniş istifadə olunur. Qamma şüaların nümunə ilə qarşılıqlı təsiri nəticəsində radiasiya ilə bağlı effektlər meydana gəlir. Bu effektlər hədəf maddənin effektivini azaldır və qalıq defektlər meydana

gətirir. İon implantasiya metodunun əsas prinsipi yüksək sürətə malik ionların hədəf daxilinə yeridilməsidir. İon implantasiya metodu vasitəsi ilə materialların həm fiziki, həm də kimyəvi təbiətini dəyişdirmək mümkündür. İonlarla implantasiya nəticəsində materialların həm istifadə sahəsi, həm də istifadə müddəti mühüm ölçülərdə dəyişdirilə bilər. Bu cəhətdən istifadə olunan bu metod texnologiyada, əsasən də yarımkeçiricilər texnologiyasında nümunələrin xassələrinin yaxşılaşdırılması və inkişaf etdirilməsinin xüsusi yollardan biridir.

Son illərdə $A^3B^3C_2^6$ tip üçqat birləşmələrin geniş tədqiq olunmasına baxmayaraq, bəzi fiziki xassələri haqqında məlumatların olmamasından praktiki tətbiqində çətinliklər qalmaqda davam edir. Radiasiya Problemləri İnstitutunun "Seqnetoelektriklərin radiasiya fizikası" və "Nizamsız bərk cisimlərin radiasiya fizikası" laboratoriyalarında bu sahədə mühüm nəticələr əldə etmişlər. Belə ki, $TlInS_2$ və $TlGaSe_2$ monokristallarını otaq temperaturundan aşağı temperaturlarda geniş tədqiq etmişlər. $TlGaSe_2$ kristallarında 107K aşağı temperaturda seqnetoelektrik fazanın (spontan polyarizasiyanın ədədi qiyməti təyin olunmuşdur), 107-119K temperatur aralığında isə uyuşmayan fazanın olmasını aşkar etmişlər. Əldə olunmuş nəticələr yüksək reytingli jurnallarda dərc olunmuşdur. Həmçinin qeyd etməz lazımdır ki, Radiasiya Problemləri İnstitutunun Nizamsız bərk cisimlərin radiasiyası fizikası laboratoriyasında $TlInS_2$ və $TlGaSe_2$ laylı kristalları, geniş temperatur intervalında tədqiq olunur. Lakin otaq temperaturundan yuxarı temperaturlarda, $TlInS_2$ və $TlGaSe_2$ kristallarında faza keçidləri və onların təbiəti öyrənilməmişdir. Həmçinin $TlInS_2$ və $TlGaSe_2$ laylı kristalların geniş temperatur intervalında dielektrik, elektrik, impedans xassələri və bu xassələrinə ionlaşdırıcı şüaların təsiri öyrənilməmişdir.

Dissertasiya işinin məqsədi: $TlInS_2$, $TlGaSe_2$ kristallarının geniş temperatur - tezlik intervalında impedans, dielektrik və elektrik xassələrinə ionlaşdırıcı şüaların təsirinin öyrənilməsindən ibarətdir.

Qoyulan məqsədə çatmaq üçün aşağıdakı məsələlər həll edilmişdir:

- $TlInS_2$ və $TlGaSe_2$ birləşmələrini sintez etmək və monokristallarını yetişdirmək;

- TlInS_2 və TlGaSe_2 kristallarını γ -şüalarla şüalandırılması və yüngül ionlarla (H^+ , He^{2+}) implantasiya edilməsi;
- γ -şüalarla şüalanmadan və yüngül ionlarla implantasiyadan (H^+ , He^{2+}) əvvəl və sonra geniş temperatur (290-550K) intervalında və geniş tezlik ($20\text{-}10^6$ Hz) oblastlarında TlInS_2 və TlGaSe_2 kristallarında elektrik keçiriciliyinin tədqiq etmək;
- γ -şüalarla şüalanmadan və yüngül ionlarla implantasiyadan (H^+ , He^{2+}) əvvəl və sonra TlInS_2 və TlGaSe_2 kristallarının ion keçiriciliyinin xüsusiyyətlərinin tədqiq etmək;
- γ -şüalarla şüalanmadan və yüngül ionlarla implantasiyadan (H^+ , He^{2+}) əvvəl və sonra TlInS_2 və TlGaSe_2 kristallarının kompleks impedans spektrinin xüsusiyyətlərini aşkar etmək;
- γ -şüalarla şüalanmadan və yüngül ionlarla implantasiyadan (H^+ , He^{2+}) əvvəl və sonra TlInS_2 və TlGaSe_2 kristalların dielektrik relaksasiya hadisələrini tədqiq etmək;
- Yüngül ionlarla implantasiyadan (H^+ , He^{2+}) əvvəl və sonra TlInS_2 kristalının Işıqın Kombinasiyalı Səpilmə spektrlərini tədqiq etmək;
- TlInS_2 kristalları üçün ionlaşdırıcı şüalanmanın modelləşdirilməsi;

Tədqiqat metodları:

TlGaSe_2 və TlInS_2 monokristalları Bricmen-Stokbarqer metodu ilə sintez edilmişdir. TlGaSe_2 və TlInS_2 monokristallarını almaq üçün, diametri $(2,3\text{-}2,5)\cdot 10^{-3}$ m olan silindrik formada kvars ampulalardan (uzunluğu 0,23-0,25 sm və diametri 0,01-0,2 sm) istifadə edilmişdir. Kvarts ampulalar vakuüm şəraitində və komponentlərlə birlikdə $10\text{-}15^\circ$ bucaq altında $1/3$ hissəsi havada qalması şərti ilə sobaya yerləşdirilir. Ampulanı belə yerləşdirməklə sintez prosesini sürətləndirmək və ərintinin səthini çoxaltmaq mümkündür. Soba $0,16\text{-}0,20$ K/san sürəti ilə qızdırılaraq proses davam etdirilir. Proses bitdikdən sonra sobanın temperaturu otaq temperaturana qədər aşağı salınaraq kristal sobadan çıxarılır. Və beləliklə nümunələrin sintezi (yetiştirilməsi) prosesi yekunlaşmış olur.

TlGaSe_2 və TlInS_2 monokristallarını şüalanma mənbəyi Co^{60} izotopundan ibarət olan γ -25 qurğusunda şüalandırılmışdır. Bu tədqiqat metodu ilə fiziki-kimyəvi və bioloji tədqiqatları aparmaq mümkündür. Qamma mənbələrinin sistemi, içərisində aşağı və

yuxarı tutacaqlarla əlaqələndirilmiş çubuqlar yerləşdirilməklə, borulardan və kasetlərdən ibarətdir. Aşağı və yuxarı tutacaqlarla əlaqələndirilmiş çubuqlar Co^{60} izotopundan hazırlanmış və çevrə boyunca (simmetrik) düzülmüşlər. Şüalanmanın düzgün aparılması üçün şüalananan nümunənin ölçüləri kameranın ölçüsündən kiçik olmalıdır. Şüalanacaq nümunələrin yerləşdirilmə vəziyyətindən asılı olaraq, nümunələrin aldığı dozalar da fərqli olur.

Nümunələrin ion implantasiyası UNIMAS 79 sürətləndiricisində implantasiya edilmişdir. Implantasiya zamanı nümunə mənbə qarşısında 10° dərəcə bucaq altında yerləşdirilmiş və implantasiya otaq temperaturunda aparılmışdır. Implantasiya yüngül ionlardan (H^+ və He^{2+}) istifadə edilərək aparılmışdır. Çıxarma (ekstraksiya) prosesi zamanı, maqnit sahəsinin köməyi ilə ionlar mənbədən ekstraksiya edilərək mişenə (tutacağa) yerləşdirilmiş nümunə üzərinə implant edilir. Sürətləndiricidə yerləşdirilmiş elektrostatik linzalar ion şüasını paylayır. Bu zaman ion selinin miqdarını ekrandan istifadə edərək təyin edilir. Nümunənin səthini bərabər şəkildə şüalandırmaq üçün, dəyişən elektrik sahəsindən istifadə edilir. Nümunələr sürətləndiricidə implant kamerasında tutacağa yerləşdirilir. Beləliklə, nümunələrin yerləşdirildiyi tutacaqdan axan elektrik yükünü ölçərək, nümunələrin implantasiya dozasını hesablamaq olar. Daha sonra, SRIM simulyasiya proqramından istifadə edilərək, ionlaşdırıcı şüalanmanın modelləşdirilməsi verilmişdir. Hesablama zamanı 10^6 sayda ion götürülərək hesablanmışdır. Nümunələrdə ionların hansı dərinlikdə paylanmasını, geri təpmə atomlarının paylanmasını və implant ionlarının nümunədə yaratdığı vakansiyalar hesablanaraq spektrləri qurulmuşdur.

E7-25 impedans ölçən cihazın köməkliyi ilə nümunələrin dielektrik nüfuzluğu (ϵ) və dielektrik itki bucağının tangensi ($\text{tg}\sigma$) ölçülmüşdür. Ölçmələr 1K temperatur dəyişilməsi ilə, $300\div 600\text{K}$ temperatur və $25\text{Hz}\div 1\text{MHz}$ tezlik intervallarında aparılmışdır.

İonlaşdırıcı şüaların təsirindən əvvəl və sonra İşığın Kombinasiyalı Səpilmə (İKS) metodu ilə, nümunələrin optik xassələri tədqiq edilmişdir. Tədqiqatlar NTEGRA Spectra LS PNL spektrometrində aparılmışdır. Spektrometrdə lazer olaraq,

Helium/Neon lazeri istifadə olunub. Helium/Neon lazerinin dalğa uzunluğu 632,8 nm-ə bərabərdir. Təcrübənin daha effektiv olması üçün bu 632,8 nm dalğa uzunluğuna malik lazer seçilmişdir. İstifadə olunan lazer mikroskopu konfokal olduğundan, nümunə üzərində bir nöqtəyə düşür. Kristal səthinin bircins olması əsas şərt olduğundan, Işığın Kombinasiyalı Səpilmə spektrləri çəkilərkən bir neçə nöqtədə götürülmüşdür. Spektral həllər $\pm 0,5 \text{ sm}^{-1}$ -dən daha pis olmamışdır. Işığın kombinasiyalı Səpilmə spektrləri 300K otaq temperaturunda tədqiq edilmişdir. Araşdırılan nümunələrdə istilik təsirini minimuma endirmək üçün nümunə üzrə radiasiya gücü $600 \mu\text{W} - 2 \text{ mW}$ səviyyəsinə qədər zəiflədilmişdir. Nümunə üzərinə düşən şüanın nümunədə ölçüsü təxminən 1 mikrondur. Siqnalın yığılma müddəti bir qayda olaraq 0,5 ilə 1 dəqiqə olmuşdur. Işığın səpilmə spektrinin ölçülərindəki hər bir hal ən kiçik kvadratlar prosedurundan (həllindən) istifadə edərək, Lorentzian təpələrinə ayrılmışdır.

Müdafiyyə çıxarılan əsas müddəalar:

- 1) TlGaSe_2 kristalında $T_1=415\text{K}$, $T_2=500\text{K}$ və $T_3=532\text{K}$ temperaturlarında dielektrik nüfuzluğunun temperatur $\epsilon(T)$ asılılıqlarında anomaliyalar müşahidə edilməsi;
- 2) TlInS_2 kristalında dielektrik nüfuzluğunun $\epsilon(T)$ asılılığında 330K, 410K, 490K, 570K və 600K temperaturlarında anomaliyalar müşahidə olunması;
- 3) TlGaSe_2 və TlInS_2 kristallarının elektrik keçiriciliyinin 400K-dən yuxarı temperaturlarda ion keçiriciliyinə malik olması və qamma şüalarının təsiri ilə bu keçiriciliyin artdığı müəyyən edilməsi;
- 4) Sabit elektrik sahəsində TlInS_2 kristalının $\sigma(T)$ asılılığında 400K-dən aşağı temperaturlarda keçiricilikdə elektron komponentləri üstünlük təşkil etdiyi halda, temperaturun artması ilə (400K-dən yuxarı) ion keçiriciliyin qiymətində sürətli artımın müşahidə edilməsi;
- 5) Göstərilmişdir ki, 150 keV enerjiyə malik He^{2+} ionları ilə implantasiya edilmiş TlGaSe_2 kristalının dielektrik nüfuzluğunun ədədi qiyməti və relaksasiya müddəti on dəfə azalmışdır. Bu azalma implantasiya nəticəsində kristalın quruluşunda mobil ionların konsentrasiyasının artması ilə əlaqədardır;

- 6) H^+ ionları ilə implantasiya olunmuş $TlInS_2$ kristallarının İşığın Kombinasiyalı Səpilmə spektrlərinin tədqiqatları In və Tl ionlarının spektral xüsusiyyətlərinin əhəmiyyətli dərəcədə genişlənməsi və kristalın səth qatında Tl tərkibində azalma müşahidə edilməsi. Həmçinin implantasiyadan sonra kristalın strukturunda amorflaşma müşahidə edilməsi;
- 7) H^+ ionları ilə implantasiya olunmuş $TlInS_2$ kristallarında, implantasiya nəticəsində dielektrik nüfuzluğunun ədədi qiymətinin və relaksasiya müddətinin azalmasının əsas səbəbi mobil ionların konsentrasiyasının artması;
- Tədqiqatın elmi yeniliyi.** $TlInS_2$ və $TlGaSe_2$ laylı monokristallarında ilk dəfə olaraq:
- 1) $TlGaSe_2$ və $TlInS_2$ kristallarında uyğun olaraq ($TlGaSe_2$ - $T_1=415K$, $T_2=500K$ və $T_3=532K$), ($TlInS_2$ - $330K$, $410K$, $490K$, $570K$ və $600K$) temperaturlarında faza keçidləri müşahidə edilmişdir.
 - 2) $400K$ -dən yuxarı temperaturlarda $TlGaSe_2$ və $TlInS_2$ kristallarının ion keçiriciliyinə malik olması müəyyən edilmiş və $\ln(\epsilon)$, $\ln(\sigma T)$ asılılıqlarından aktivləşmə enerjiləri hesablanmışdır.
 - 3) $TlGaSe_2$ və $TlInS_2$ monokristallarında $25 \div 10^6$ Hs tezlik intervalında, elektrik sahəsinin tezliyinin artması ilə impedansın həqiqi və xəyalı hissələrinin (Z' və Z'') azalması ilə xarakterizə olunan və temperaturun artması ilə yuxarı tezlik oblastına tərəf sürüşən dispersiya müşahidə edilmişdir. $TlGaSe_2$ kristalının elektrik modulunun xəyalı hissəsinin (M'') tezlikdən asılılığında orta relaksasiya müddəti təyin edilmişdir ($\tau = 1.54 \cdot 10^{-6}$ san).
 - 4) Müəyyən edilmişdir ki, $20Mrad$ qamma şüalarının təsiri ilə $TlGaSe_2$ kristallarında dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyalı hissələrinin tezlik və temperatur asılılıqlarında müşahidə olunan güclü dəyişmə, Tl ionlarının mütəhərriqliyi və onların temperatur intervalında aktivləşməsinin nəticəsidir.
 - 5) $TlInS_2$ kristalının sabit elektrik sahəsində $T=470K$ temperaturda elektrik keçiriciliyinin zamandan asılılıq kinetikasından ion payı qiymətləndirilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, şüalanmadan əvvəl elektrik keçiriciliyində ion payı 78% , $20 Mrad$ qamma şüalarla şüalanmadan sonra isə 82% təşkil edir.

- 6) H^+ ionları ilə implantasiya olunmuş $TlInS_2$ kristallarının 300÷550K temperatur intervalında dielektrik nüfuzluğu və impedansın həqiqi və xəyali hissələrinin tədqiqi nəticəsində göstərilmişdir ki, dielektrik nüfuzluğunun ədədi qiymətinin və relaksasiya müddətinin azalmasının əsas səbəbi mobil Tl ionların konsentrasiyasının artması ilə əlaqədardır.
- 7) H^+ ionları ilə implantasiyadan sonra İşığın Kombinasiyalı Səpilmə spektrlərin tədqiqi nəticəsində $TlInS_2$ kristallarının strukturunda amorflaşma müşahidə edilmişdir.
- 8) He^+ ionları ilə implantasiya olunmuş $TlGaSe_2$ kristalında SRIM (The Stopping and Range of Ions in Matter) simulyasiya proqramından istifadə edərək atomların dərinlikdə paylanması verilmişdir. Tl boşluqlarda He^+ ionlarının paylanması 1000 nm dərinlikdə müəyyən edilmişdir.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti:

Dissertasiyada əldə olunmuş nəticələr elektron çeviricilərin, ifrat yüksək tutumlu kondensatorlar və ionistorların, nanoelektronikadan əlverişli istifadəsi üçün superkondensatorların, qida mikrobatareyalarının, yaddaş özləklərinin, elektrik və optik informasiyanın toplanması üçün sistemlərin hazırlanmasında geniş istifadə edilə bilər.

Tədqiqatlar, $TlGaSe_2$ və $TlInS_2$ laylı kristallarında xarici sahə kəsildikdən sonra uzun müddət ərzində aşağı müqavimətli halını saxlaması ilə müşahidə olunan “yaddaş effekti” mövcuddur. $TlGaSe_2$ və $TlInS_2$ laylı kristalları üçün bu müddət ≈ 50 saatdan çoxdur.

Aprobasiyası və tətbiqi. Dissertasiyanın nəticələri aşağıdakı konfranslarda məruzə edilmişdir: “10-я международная конференция Ядерная и радиационная физика” (8-11 сентября 2015 г., г. Курчатов, Республика Казахстан), “52-ая Школа ПИЯФ по Физике Конденсированного Состояния” (Санкт – Петербург, Россия 12-17 марта 2018), “XII-th International Conference Ion Implantation and Other Applications of Ions and Electrons” (Lublin, Poland 18-21 July 2018), II Международный научный форум «Ядерная наука и технологии» 12-я Международная конференция «Ядерная и радиационная физика» 1-я Международная конференция «Ядерные и

радиационные технологии в медицине, промышленности и сельском хозяйстве» (24-27 июня 2019 г. Алматы, Казахстан), The ninth international conference “Modern problems of nuclear physics and nuclear technologies” (24-27 September 2019, Tashkent, Uzbekistan),

Nəşr olunmuş elmi işlər: Dissertasiyanın işinin məzmunu 12 elmi əsərdə, o cümlədən Respublika və xarici jurnallarda 7 məqalə, 5 konfrans materialı nəşr edilmişdir. Məqalələrdən ikisi xaricdə, Beynəlxalq bazalara daxil olan jurnallarda, ikisi isə təkmüəllifli çap edilmişdir.

Dissertasiya işinin quruluşu, həcmi və əsas məzmunu. Dissertasiya işi girişdən, 4 fəsildən, nəticələrdən və 198 adda istifadə olunmuş ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. İşin həcmi 62 şəkilədən, 6 cədvəldən və 249970 (174 səhifə) işarədən ibarətdir.

İŞİN MƏZMUNU

Girişdə dissertasiyanın mövzusunun aktuallığı əsaslandırılmış, aparılan tədqiqatların məqsədi, elmi yeniliyi, praktiki əhəmiyyəti göstərilmiş, müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar, aprobeasiya dərəcəsi, nəşr edilmiş əsərlər barədə məlumat verilmiş və işin fəsilələri üzrə əsas məzmunu qıscaca olaraq şərh edilmişdir.

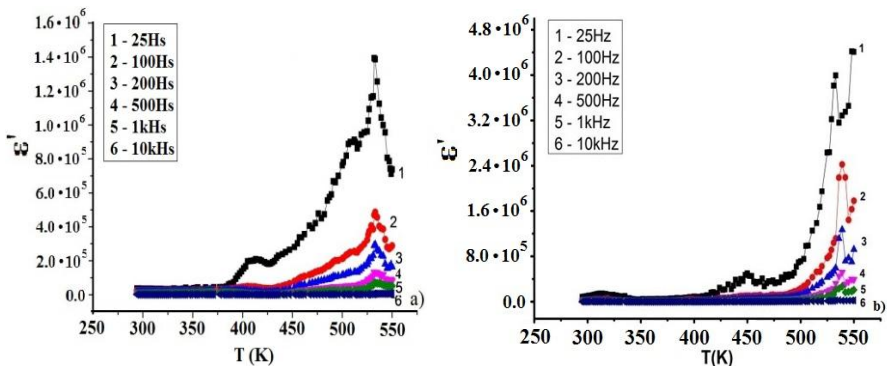
Dissertasiya işinin **I fəslində** $A^3B^3C_2^6$ tip yarımkəçirici seqnetoelektriklərin struktur və faza keçidlərinin xüsusiyyətləri, ion faza keçidləri, yarımkəçiricilərin implantasiya olunması və ionlaşdırıcı şüaların təsiri ilə yaranan radiasiya defektlərinə aid ədəbiyyat məlumatları toplanaraq təhlil edilmişdir. Təhlil edilmiş ədəbiyyatlardan, istər qamma kvantlarla, istərsə də implantasiya zamanı ionlaşdırıcı şüaların yarımkəçirici materiallara təsiri az öyrənilmiş bir sahə olduğunu söyləmək olar.

II fəsildə $TlGaSe_2$ və $TlInS_2$ monokristallarının sintez və Bridgman-Stokbarqer üsulu ilə alınma metodu geniş şəkildə göstərilmiş və qurğunun təsviri verilmişdir. Eyni zamanda bu nümunələrin Co^{60} izotopundan ibarət olan γ -25 qurğusunun və UNIMAS 79 ion sürətləndiricisinin qurğularının sxemləri, elektrik və dielektrik xassələrini tədqiq etmək üçün E7-25 impedans ölçmə metodikası və İşığın Kombinasialı Səpilmə spektrometr

qurğusunun sxem və işləmə xassələri təsvir edilmişdir. Bu fəsilə İşığın Kombinasiyalı Səpilməsi (İKS) spektrometrində istifadə olunan lazerlər haqqında ətraflı məlumat verilmişdir.

Dissertasiyanın **üçüncü fəslində** TlGaSe_2 və TlInS_2 kristallarının elektrik və dielektrik xassələrində 20 Mrad γ -şüalanmanın təsirindən əvvəl və sonra baş verən dəyişikliklər E7-25 impedans ölçmə cihazından istifadə edərək tədqiq edilmişdir. Bununla yanaşı İşığın Kombinasiyalı Səpilməsi spektrometrinin köməyi ilə TlInS_2 kristalının optik xassələri tədqiq edilmişdir. İstifadə olunan metodlar qamma şüalarının təsiri nəticəsində bu kristallarda struktur dəyişiklikləri, kristalların elektrofiziki və optik xassələri haqqında geniş informasiya əldə etmək imkanı yaradır. Belə ki, 20 Mrad qamma şüalarının təsiri ilə, TlGaSe_2 və TlInS_2 kristallarında temperaturdan asılı olaraq dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələrinin artması müşahidə olunmuşdur. Bu isə kristallarda Tl ionlarının mütəhərrikliliyi və onların temperatur intervalında aktivləşməsinin nəticəsidir. Kristalların dielektrik və elektrik xassələri tədqiq edilmiş və sıçrayışlı keçiriciliyin mövcudluğu ($\sigma(T)$) tədqiqatlarının nəticələrinə əsasən müəyyən edilmişdir.

Şəkil 1 –də TlGaSe_2 kristalının qamma kvantlarla şüalanmadan əvvəl və sonra dielektrik nüfuzluğunun temperatur asılılığı müqayisəli şəkildə verilmişdir. Tədqiqat 275-550K intervalında və 25Hz-1MHz tezlik oblastında aparılmışdır. Şəkil 1(a)-dan görüldüyü kimi TlGaSe_2 kristalında ilk dəfə olaraq temperaturun müəyyən bir qiymətlərində ($T_1 = 415 \text{ K}$, $T_2 = 500 \text{ K}$ və $T_3 = 532 \text{ K}$) dielektrik nüfuzluğunun sıçrayışla artımı müşahidə edilir. Şəkil 1(a)-dan görüldüyü kimi aşağı tezlikli dielektrik dispersiya $T > T_c$ -də müşahidə olunur və xarakteristik asılılıq $\epsilon'(T)$ ion keçiriciliyin ϵ' ölçülmüş dəyərində üstünlük təşkil edir. Qamma şüaların təsirindən sonra TlGaSe_2 kristalının dielektrik nüfuzluğunun temperaturdan asılılığında dielektrik nüfuzluğunun ədədi qiymətinin təxminən 3 dəfə artması müşahidə edilmişdir. Şəkil.1(b)-də $\ln(\epsilon)(1000/T)$ asılılığı qurularaq aktivləşmə enerjiləri hesablanmışdır. Şüalanmamış halda aktivləşmə enerjiləri $\Delta E_a^1 = 0.54 \text{ eV}$, $\Delta E_a^2 = 0.4 \text{ eV}$, 20Mrad qamma kvantların təsirindən sonra isə $\Delta E_a^1 = 0.5 \text{ eV}$, $\Delta E_a^2 = 0.38 \text{ eV}$ bərabərdir.

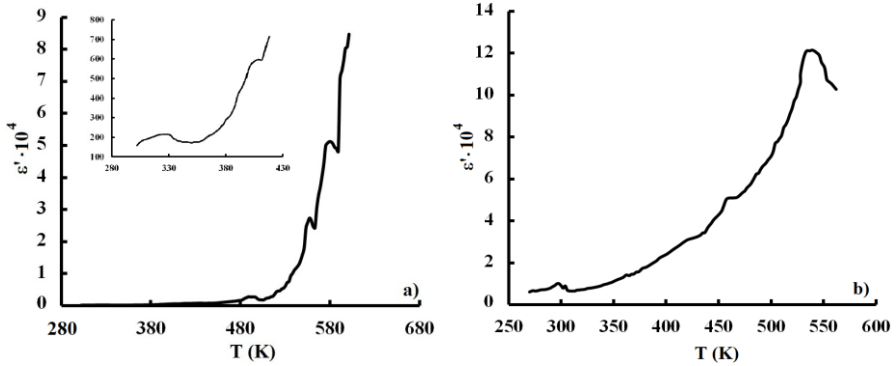


Şəkil 1. TlGaSe₂ kristalının γ -kvantlarla şüalanmadan əvvəl (a) və sonra (b) dielektrik nüfuzluğunun temperatur asılılığı

Məlumdur ki, dielektrik nüfuzluğunun belə asılılığı kritik temperaturdan yuxarı temperaturalarda ion keçiriciliyinin üstünlük təşkil etdiyini göstərir. Bizim əvvəlki tədqiqatlarımızda da bu tip monokristallarda ion keçiriciliyi Tl ionlarının hərəkətliliyi ilə əlaqədar olmasını göstərmişik. Çünki TlGaSe₂ kristalında Ga-Se rabitəsi Tl-Se rabitəsindən daha dayanıqlıdır. TlGaSe₂ aşağı tezliklərdə yuxarı qiymətlər alması ion polyarizasiyası mexanizminə əsaslanır. Bu isə Tl⁺ alt qəfəsinin nizamsızlaşması (zəif əlaqəli Tl ionları) hesabına yaranır.

Şəkil 2(a,b)-də TlInS₂ monokristalının dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsinin γ -kvantlarla şüalanmadan əvvəl (a) və sonrakı (b) temperatur asılılığı göstərilmişdir. Tədqiqatlar 10-10⁶ Hz tezlik aralığında və otaq temperaturundan 600K temperatur intervalında aparılmışdır. Bu şəkildə TlInS₂ kristalının həm şüalanmadan əvvəl, həm də 20Mrad γ -kvantlarla şüalandırdıqdan sonra dielektrik nüfuzluğunun temperatur asılılığına $\epsilon'(T)$ baxılmışdır.

Şəkil 2(a)-dan görüldüyü kimi 330K, 410K, 490K, 570K və 600K temperaturalarda TlInS₂ monokristalında faza keçidləri müşahidə olunur və temperaturun artması ilə dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsinin ədədi qiyməti kəskin olaraq artır. Dielektrik nüfuzluğunun qiymətinin 490K temperaturdan başlayaraq sıçrayışlı artımı daha aydın şəkildə müşahidə olunur. Dielektrik nüfuzluğunun artması, temperaturun yüksəlməsi nəticəsində ion yükdaşıyıcılarının konsentrasiyasının artımı ilə əlaqələndirmək olar.



Şəkil 2. TIInS₂ kristalının γ -kvantlarla şüalanmadan əvvəl (a) və sonra (b) dielektrik nüfuzluğunun temperatur asılılığı

Şəkil 2(b)-dan də göründüyü kimi γ -kvantlarının təsiri ilə dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsi artmışdır. Bu γ -kvantlarının təsiri nəticəsində yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının artımı və temperaturun artması nəticəsində yükdaşıyıcıların hərəkətliliyindəki artımla əlaqədardır. Şüalanmamış TIInS₂ kristalı üçün $\ln(\epsilon)$ -nun $1/T$ asılılığından aktivləşmə enerjiləri hesablanmışdır. Şüalanmadan əvvəl aktivləşmə enerjiləri $\Delta E_a^1=0.3\text{eV}$, $\Delta E_a^2=0.22\text{eV}$ bərabərdir. Şəkil 2(a)-da 290-430K temperatur aralığı böyüdülməklə şəkil üstü əlavə olaraq verilmişdir. Məqsəd bu temperatur aralığındakı maksimumları müşahidə etməkdir (330K və 410K). $\ln(\epsilon)$ -nun $1/T$ asılılığında təcrübi nöqtələr bir düz xətt üzərində yığılmışdır və bu isə TIInS₂ monokristalının ion xarakterli olmasını göstərir. Qamma şüalarının təsirindən sonra (Şəkil 2 (b)) dielektrik nüfuzluğunun temperatur asılılığının 290K, 410K, 470K və 550K temperaturlarında faza keçidləri müşahidə edilmişdir və $\ln(\epsilon)$ -nun $1/T$ asılılığı qurularaq aktivləşmə enerjiləri hesablanmışdır. Şüalanmadan sonra $\Delta E_a^1=0.29\text{eV}$, $\Delta E_a^2=0.2\text{eV}$ bərabərdir. Qamma şüaların təsirindən sonra aktivləşmə enerjiləri azalıb və dielektrik nüfuzluğu yuxarı temperatur oblastına doğru sürüşür. TIGaSe₂ kristalında olduğu kimi, TIInS₂ kristalında həm şüalanmamış, həm də qamma kvantlarla şüalandırıldıqdan sonra $\ln(\epsilon)(1000/T)$ asılılığı xətti dəyişir. Bu da dielektrik nüfuzluğunun ion xarakterli olmasını

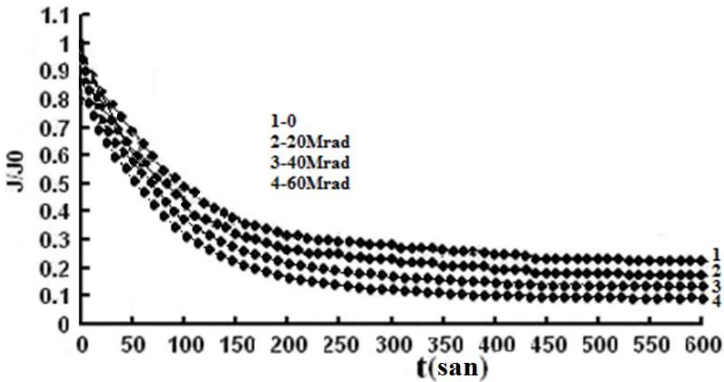
və nümunənin alt qəfəslərində Tl^+ ionlarının vakansiyalar üzrə diffuziyasına əsaslanır. $TlInS_2$ kristalında faza keçidi nəticəsində Tl ionlarının alt qəfəsinin əriməsi müşahidə olunur. Bu ion keçirici birləşmələr üçün xarakterik bir haldır. Şüalanmadan əvvəl və sonra paraelektrik fazada dielektrik nüfuzluğunun ədədi qiyməti böyük olması, bu materiallardan ionlaşdırıcı mühitdə istifadə olunmasına imkan yaradır.

$TlGaSe_2$ və $TlInS_2$ kristallarının dielektrik itki bucağının tangensinin müxtəlif tezliklərdə temperatur asılılıqları qamma kvantlarla şüalanmadan əvvəl və sonra tədqiq olunmuşdur. Nəticələr göstərir ki, tezliyin artması ilə $tg\delta(T)$ maksimumları yuxarı temperatur oblastına tərəf sürüşür və $tg\delta$ -nın ədədi qiyməti isə kiçilir. Hər iki nümunədə dielektrik itki bucağının tangensi ($tg\delta$) temperaturun artması ilə artır və müəyyən bir temperaturda maksimumu alır. Sonra isə temperaturun artması ilə azalır. Bu azalmaya relaksasiya xarakterli azalma deyilir və bu Debay tipli relaksasiya proseslərinə uyğundur. Qamma şüalanmanın təsiri ilə dielektrik itki bucağının qiymətində iki dəfədən artıq azalma və temperatur asılılıqlarında müəyyən xaotiklik müşahidə edilmişdir.

Geniş zolaqlı impedans spektroskopiyası bərk cisimlərin quruluşunu, dinamikasını və relaksasiyanı öyrənmək üçün çox faydalı bir metoddur. Bu məlumatlar yeni materialların alınması və həmin materialların inkişaf etdirilməsi üçün vacibdir. Bu fəsildə $TlGaSe_2$ və $TlInS_2$ kristallarının impedans spektrləri dörd sabit temperaturalarda (293K, 323K, 372K, 431K) və 25-1MHz tezlik oblastında tədqiq edilmişdir. $TlGaSe_2$ kristalı üçün İmpedansın həqiqi hissəsinin temperatur asılılığı şüalanmadan əvvəl və sonra müqayisəli şəkildə göstərilmişdir. Temperaturun artması ilə kompleks impedansının həqiqi hissəsi azalır. İmpedansın həqiqi hissəsi yüksək tezliklərdə azalması ümumi bir haldır. Tətbiq olunan dəyişən elektrik sahəsinin tezliyi artdıqca, dipolların yüksək tezliklərdə sahə dəyişikliklərinə riayət etməməsi və həmçinin elektrod polyarizasiya effektləri səbəbi ilə impedans azalmaya başlayır. İonlaşdırıcı şüaların təsiri ilə kompleks impedansın həqiqi hissəsinin qiyməti artır və müəyyən xaotiklik müşahidə edilir.

Qamma şüalarının təsiri ilə də tezliyin artması ilə kompleks impedansın həqiqi hissəsində azalma müşahidə olunur.

TlInS₂ kristalında keçiriciliyin elektron toplananını Vaqnerin polyarizasiya metodundan istifadə edərək müəyyən edilmişdir. Vaqner metodu ion və ya elektron-ion xarakterli yük daşıyıcılı bərk elektrolitlərdə, sabit elektrik sahəsində elektrik keçiriciliyin zamandan asılı olaraq dəyişməsi müşahidə olunur. Bu kristallarda polyarizasiya prosesinin əmələ gəlməsinə əsaslanır. Bu isə öz növbəsində nümunə/elektrod sərhəddində ikiqat elektrik layı əmələ gətirir və təcridedici elektrod nümunə/elektrod sərhəddində yük daşıyan ionlar tutulduğu üçün, elektrik sahəsinin təsiri nəticəsində mobil ionlar mənfi yüklənmiş elektroda yığılır. Şəkil 3-də TlInS₂ kristalının keçiriciliyinin zamandan asılılığı 0-60Mrad doza intervalında kinetikasi tədqiq edilmişdir.

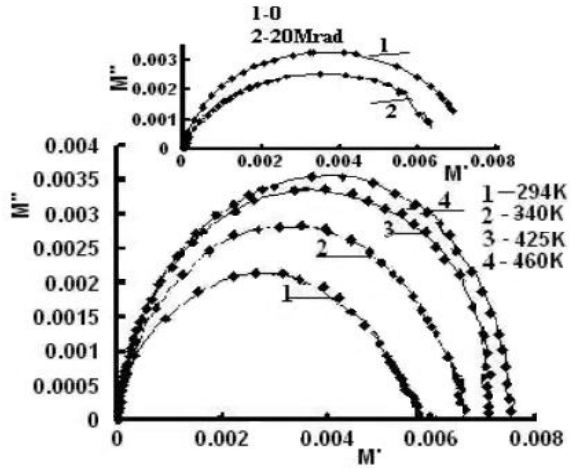


Şəkil 3. T = 470K-də, γ -şüalarla şüalanmış TlInS₂ kristalının elektrik keçiriciliyinin zamandan asılılıq kinetikasi: 1-0; 2-20 Mrad;3-40Mrad;4-60Mrad

Şəkil 3-dən görüldüyü kimi elektrik keçiriciliyi əvvəlcə eksponensial olaraq azalır və müəyyən zamandan sonra dəyişməz qalır. Elektrik keçiriciliyinin qeyri-xətti azalması nisbətən yüksək temperaturlarda daha sürətlə baş verir. Zamandan asılı olaraq cərəyanın azalması (sabit elektrik sahəsində) təcridedici elektrodların yaxınlığında həcmi yüklərin qarşılıqlı kompensasiyası hesabına olur. Və alınan nəticələrdən görsənir ki, şüalanma dozası artdıqca ümumi

keçiricilikdə elektron payı azalır və nəticədə ion payı artır. 470K temperaturda 20Mrad γ -kvantların təsirindən əvvəl və sonra ion payı hesablanmışdır. Şüalanmamış TlInS₂ kristalında ion payı 78%, 20Mrad γ -şüaların təsirindən sonra isə 82% təşkil edir.

İon keçirici materiallarda baş verən relaksasiya proseslərini öyrənmək üçün tez-tez elektrik modul formulalarından istifadə olunur. Kompleks elektrik modulu $M^* = 1/\varepsilon^* = M' + jM''$ şəklində göstərilə bilər. Çünki elektrik keçiriciliyində baş verən proseslərin köməyi ilə relaksasiya müddətini təyin etmək mümkündür. Eyni zamanda elektrodların bloklanması effekti minimuma enir. M^* kompleks elektrik modulu üçün mürəkkəb müstəvidə M' -dən M'' diaqramı tərtib edilmişdir (Cole-Cole diaqram).



Şəkil 4. TlInS₂ birləşməsi üçün müxtəlif temperaturlarda mürəkkəb elektrik modulu üçün $M'' - M'$ diaqramı: 1- 294K; 2- 340K; 3-425K; 4-460K. Şəkilə əlavədə 386K temperaturda $M'' - M'$ diaqramını göstərir: 1-0; 2-20 Mrad.

Şəkil 4 - də, $M''(M')$ elektrik modullarının 386K temperaturda TlInS₂ kristallarının 20Mrad γ -kvantlarla şüalanmadan əvvəl və sonrakı asılılığı göstərilmişdir. Şəkil 4- dən görüldüyü kimi $M''(f)$ və $M'(f)$ tezlik asılılığı $M'' - M'$ diaqramında aydın şəkildə müəyyən edilmişdir. Şəkil 4 -ün əlavəsindən görüldüyü kimi 20Mrad γ -

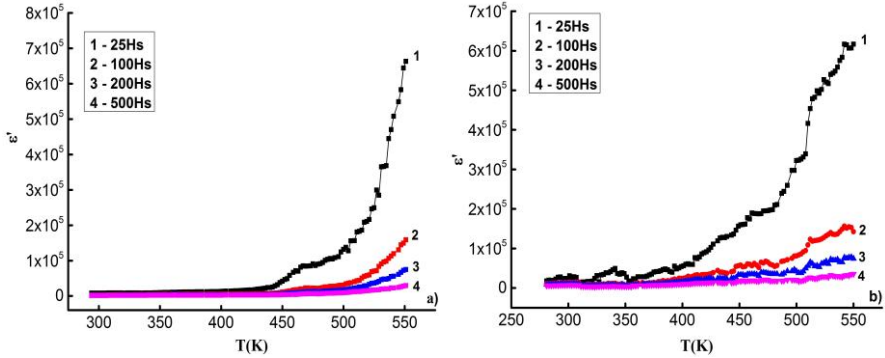
kvantlarla şüalanmış TlInS₂ kristalının M" elektrik modulunun xəyali hissəsində azalma müşahidə edilir.

Kristal qəfəsin dinamikası ilə bağlı bütün məlumatlar qeyri elastiki neytron səpilməsi, İKS və infraqırmızı spektroskopiyaya üzrə eksperimentlər aparılaraq əldə edilir. Bu fəsildə TlInS₂ kristalının otaq temperaturunda He-Ne qırmızı lazerindən istifadə edərək, Işıqın Kombinasional Səpilməsi spektrləri tədqiq edilmişdir. 300K temperaturda əldə edilən spektrdə 8 İKS xətti müəyyən edilmişdir. Və məlum olmuşdur ki, otaq temperaturunda TlInS₂ kristalında maksimum intensivlik 291sm⁻¹ qiymətinə uyğun gəlir. Beləliklə, C_{2h}⁶ simmetriya geometrik qrupu üçün qrup-nəzəriyə analizi ilə təxmin edilən 10A_g fononlarını müşahidə edilmişdir. Qeyd etmək lazımdır ki, müşahidə edilən ümumi fonon sayı və polyarizasiya davranışı C_s⁴ simmetriya qrupunu istisna edir.

Dissertasiyanın **dördüncü fəslində** 150KeV enerjili yüngül ionlarla (H⁺, He²⁺ ionları ilə) implantasiya olunmuş TlGaSe₂ və TlInS₂ birləşmələrinin tədqiqat nəticələri verilmişdir. TlGaSe₂ və TlInS₂ kristallarını implantasiya edərək elektrik, dielektrik və İKS spektrləri tədqiq olunmuşdur.

3-ci fəsildə göstərilmişdir ki, ion keçiriciliyə malik TlGaSe₂ və TlInS₂ kristallarında temperaturun artması ilə keçiricilik eksponensial olaraq artır. Bu artımla yanaşı dielektrik nüfuzluğunun ədədi qiyməti də eksponensial olaraq artması müşahidə olunur. Dielektrik nüfuzluğunun qiyməti yüksək temperaturlarda kifayət qədər böyük qiymətlər alır. Buna səbəb ab səthdə Tl atomlarının yerdəyişməsi ilə əlaqədardır. Bu fəsildə H⁺ və He²⁺ ionlarının təsiri nəticəsində TlGaSe₂ kristalının dielektrik nüfuzluğunda yaranan dəyişikliklər öyrənilmişdir.

Şəkil 5-də TlGaSe₂ kristallarının dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsinin temperatur asılılığı H⁺ və He²⁺ ionları ilə implantasiyadan sonra verilmişdir. Dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsi otaq temperaturundan 550K temperatura qədər tədqiq edilmiş və 500K qiymətindən başlayaraq dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsinin qiyməti kəskin olaraq artması müşahidə olunur. H⁺ ionları ilə implantasiyadan sonra TlGaSe₂ kristalında 470K və 540K temperaturlarda faza keçidləri müşahidə olunur.



Şəkil 5. TI GaSe₂ kristalının dielektrik nüfuzluğunun temperatur asılılığı (a-H⁺; b-He²⁺ ionları ilə implantasiya olunmuş)

Analoji olaraq He²⁺ ionları ilə implantasiya nəticəsində də faza keçidləri müşahidə olunur. He²⁺ ionlarının təsirindən sonra dielektrik nüfuzluğunun maksimumları yuxarı temperatur oblastına sürüşür. Şüalanmamış halda olduğu kimi implantasiyanın təsirindən sonra da $\ln(\epsilon)-1000/T$ asılılığı qurularaq aktivləşmə enerjiləri hesablanmışdır. H⁺ ionları ilə implantasiyadan sonra $\Delta E_a^1=0.45\text{eV}$, $\Delta E_a^2=0.36\text{eV}$, He²⁺ ionları ilə implantasiyada sonra isə aktivasiya enerjiləri $\Delta E_a^1=0.4\text{eV}$, $\Delta E_a^2=0.32\text{eV}$ qiymətində hesablanmışdır. Dielektrik nüfuzluğunun azalmasında əsas rolu, implantasiya nəticəsində yaranan ion tipli defektlər oynayır. Azalma ilə yanaşı H⁺ ionlarının təsiri ilə 470K temperaturunda müəyyən anomaliya müşahidə olunmuşdur.

H⁺ ionları ilə implantasiyadan əvvəl və sonra TIInS₂ kristalının elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığının tədqiqat nəticələri verilmişdir. TIInS₂ kristalının elektrik keçiriciliyinin temperatur $\sigma(T)$ asılılığında 450K temperaturdan başlayaraq elektrik keçiriciliyinin qiyməti sıçrayışla artır. Bu da ədəbiyyatdan məlum olduğu kimi, ion keçiriciliklə əlaqəlidir. Elektrik keçiriciliyinin ədədi qiymətində ionlaşdırıcı şüaların təsirindən sonra iki tərtib artım müşahidə olunmuşdur.

TI GaSe₂ və TIInS₂ kristallarına ionlaşdırıcı şüaların təsirindən sonra aktivləşmə enerjiləri hesablanmış və cədvəl şəklində verilmişdir (Cədvəl 1). Cədvəl 1-dən görüldüyü kimi ionlaşdırıcı

şüaların təsirindən sonra aktivləşmə enerjiləri azalır. Ən çox azalma 150KeV enerjiyə malik He²⁺ ionları ilə implantasiyadan sonra müşahidə olunur. Bu kristallarda ionlaşdırıcı şüaların təsirindən sonra aktivləşmə enerjilərinin azalmasına başlıca səbəb mobil ionların konsentrasiyasının artması və Tl ionlarının hərəkətliliyi ilə bağlıdır.

Bu fəsilədə 150keV enerjili H⁺ və He²⁺ ionları ilə implantasiya olunmuş TlGaSe₂ və TlInS₂ kristallarının Z*(f) kompleks impedans spektrinin həqiqi (Z') və xəyalı (Z'') hissələrinin 25Hz-1MHz tezlik intervalında temperatur asılılıqları verilmişdir. Həmçinin müxtəlif temperaturlarda tezlik asılılıqları da tədqiq edilmişdir.

Cədvəl 1. TlGaSe₂ və TlInS₂ kristalları üçün aktivləşmə enerjiləri

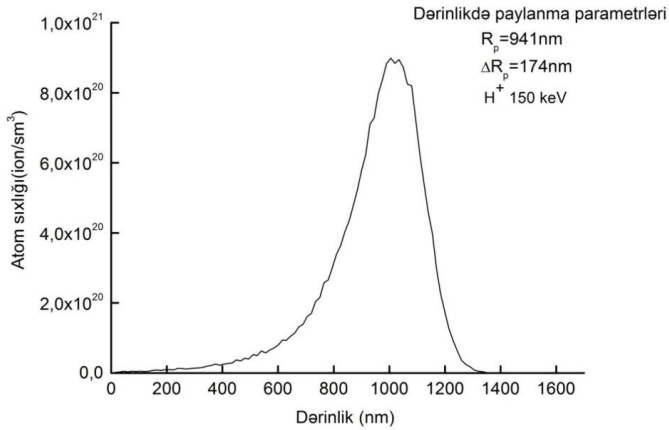
	TlGaSe ₂	TlInS ₂
Şüalanmamış	$\Delta E_a^1 = 0.54\text{eV}, \Delta E_a^2 = 0.4\text{eV}$	$\Delta E_a^1 = 0.3\text{eV}, \Delta E_a^2 = 0.22\text{eV}$
20Mrad	$\Delta E_a^1 = 0.5\text{eV}, \Delta E_a^2 = 0.38\text{eV}$	$\Delta E_a^1 = 0.29\text{eV}, \Delta E_a^2 = 0.2\text{eV}$
H ⁺	$\Delta E_a^1 = 0.45\text{eV}, \Delta E_a^2 = 0.36\text{eV}$	$\Delta E_a^1 = 0.26\text{eV}, \Delta E_a^2 = 0.19\text{eV}$
He ²⁺	$\Delta E_a^1 = 0.4\text{eV}, \Delta E_a^2 = 0.32\text{eV}$	$\Delta E_a^1 = 0.23\text{eV}, \Delta E_a^2 = 0.17\text{eV}$

İmplantasiyanın təsiri nəticəsində kompleks impedansının həqiqi hissəsinin tezlikdən asılılıqları pilləli şəkildə, impedansın xəyalı hissəsinin tezlik asılılıqları isə temperaturun artması ilə yuxarı tezlik oblastına sürüşür. İmpedansın tezlik asılılığında elektrik sahəsinin tezliyinin artması ilə impedansın ədədi qiymətinin azalması müşahidə olunur. TlInS₂ kristalı üçün sabit temperaturlarda (300K, 405K, 470K, 530K, 590K) impedansın həqiqi (Z') və xəyalı (Z'') hissəsinin tezlikdən asılılığı qurularaq relaksasiya müddəti hesablanmışdır. TlInS₂ kristallarında relaksasiya müddəti nisbətən yüksək temperaturlarda şüalanmadan əvvəl 10^{-3} san tərtibindədirsə, şüalanma nəticəsində 5×10^{-5} san qədər azalır.

SRIM – 2013 simulyasiya proqramından istifadə edərək, 150 keV enerjili H⁺ və He²⁺ ionlarla implantasiya olunmuş TlInS₂ kristalında, ionların dərinlikdə paylanması, implantasiya ionlarının

yaratdığı vakansiyalar və geri təpmə atomlarının paylanması hesablanmış və riyazi modelləşməsi spektrlər şəklində verilmişdir.

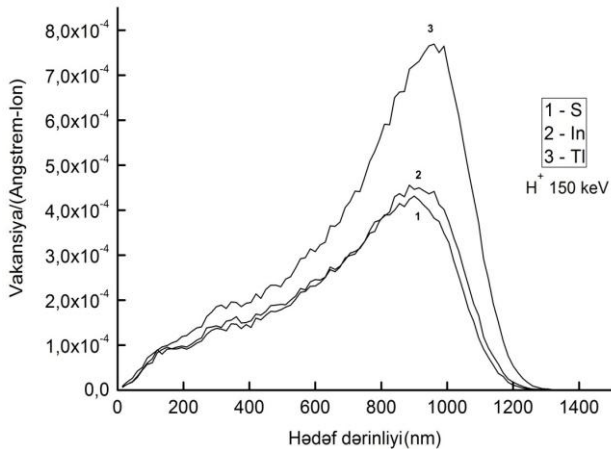
SRIM – 2013 simulyasiya proqramında hesablanma zamanı 10^6 sayda ion götürülmüşdür. Şəkil 6 – də implantasiya ionlarının (H^+) $TlInS_2$ kristalında dərinlikdə atom sıxlığı göstərilmişdir. Şəkildən də görüldüyü kimi maksimum dərinlikdə paylanma $R_p=941nm$ -dir. Ümumilikdə isə H^+ implant ionlarının paylanması 174-1350nm dərinlik aralığındadır. $TlInS_2$ kristalında müxtəlif dərinliklərdə vakansiyaların paylanması Şəkil 7 - də göstərilmişdir.



Şəkil 6. İmplant (H^+) ionların $TlInS_2$ kristalında müxtəlif dərinliklərdə paylanması

$TlInS_2$ kristalında müxtəlif dərinliklərdə vakansiyaların paylanması Şəkil 7 - də göstərilmişdir. Hədəf atomlarında Şəkil 7-də göstəriləyi kimi ionlar təqribən 1000 nm dərinliyinə qədər vakansiyalar yarada bilər. Bu 150keV enerjili H^+ ionları ilə implantasiya olunmuş $TlInS_2$ kristalında müşahidə olunan maksimum aralıqdır. SRIM simulasiyalarına görə maksimum Tl boşluqlarının paylanması 1000 nm dərinlikdədir.

Həmçinin bu fəsildə $TlInS_2$ kristalının H^+ və He^{2+} ionları ilə implantasiyadan əvvəl və sonra İşığın Kombinasiyalı Səpilmə spektrləri tədqiq olunaraq müqayisəli şəkildə verilmişdir.

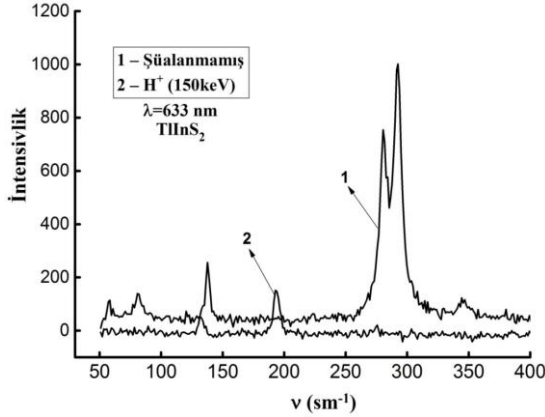


Şəkil 7. Hədəf atomlarında vakant yerlərin müxtəlif dərinliklərdə paylanması

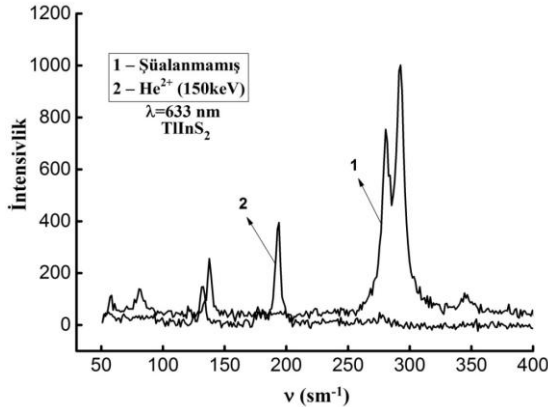
İşığın Kombinasiyalı Səpilmə (İKS) spektrləri NTEGRA Spectra LS PNL spektrometrində, otaq temperaturunda, $50\text{-}4000\text{ sm}^{-1}$ Raman intervalında və dalga uzunluğu $\lambda=633\text{nm}$ olan He/Ne qırmızı lazerindən istifadə edilərək çəkilmişdir. Şəkil 8-da TlInS_2 kristalının İKS spektrləri H^+ ionları ilə implantasiyadan əvvəl və sonra müqayisəli şəkildə verilmişdir. İmplantasiya olunmamış TlInS_2 kristalının İKS spektrlərində 6 pik ($58.1, 81.2, 137.5, 180.1, 291.4, 346.2\text{ sm}^{-1}$) müəyyən edilmişdir. H^+ ionları ilə implantasiya edildikdən sonra 4 pik nöqtəsi müəyyən edilmişdir. İKS spektrinə H^+ implantasiya etdikdən sonra maksimumuna uyğun fəthəssaslıq $\lambda=194\text{ sm}^{-1}$ tezliyində müşahidə olunmuşdu. İkinci halla müqayisədə implantasiya olunmuş TlInS_2 kristalın spektrində fəthəssaslığın maksimumu təqribən 6 dəfə azalmışdır. İmplantasiyadan əvvəl və sonra İKS spektrlərini müqayisə edərkən, müəyyən fərqlər müşahidə edilmişdir. Bu xətlərin intensivliyində və onların bəzilərinin yox olması ilə əks olunmuşdur. Bu təsirlər hədəfdəki nümunənin şüalandığı ion kütlələrindən asılıdır.

Şəkil 9-də isə TlInS_2 kristalının implantasiya olunmamış və He^{2+} ionları ilə implantasiya etdikdən sonrakı İşığın kombinasiyalı Səpilmə spektrləri müqayisəli şəkildə verilmişdir. Şəkil 8-də olduğu

kimi burada da implantasiyanın təsiri ilə bəzi piklərin yox olması və mövcud olan piklərin intensivliklərində fərqlər müşahidə edilmişdir. Hər iki şəkildə implantasiyanın təsiri ilə 194 sm^{-1} tezliyində yeni bir pik meydana gəlmişdir. Hər iki şəkildən də görüldüyü kimi kristalın sturukturunda implantasiyanın təsiri ilə amorflaşma baş verir. Yüngül ionların təsiri nəticəsində donor tipli radiasiya defektləri yaranır.



Şəkil 8. TIInS₂ kristalının Işığın Kombinasiyalı Səpilmə spektrləri (1-şüalanmamış, 2- H⁺ ionları ilə implantasiya edilmiş)



Şəkil 9. TIInS₂ kristalının Işığın Kombinasiyalı Səpilmə spektrləri (1-şüalanmamış, 2- He²⁺ ionları ilə implantasiya edilmiş)

ƏSAS NƏTİCƏLƏR

- 1) İlk dəfə olaraq TlGaSe₂ kristalında $T_1=415\text{K}$, $T_2=500\text{K}$ və $T_3=532\text{K}$ temperaturlarında dielektrik nüfuzluğunun sıçrayışla artımı müşahidə edilir. Göstərilmişdir ki, bu fazalarda elektrik keçiriciliyi, ion xarakterlidir. $\ln(\epsilon)$ və $\ln(\sigma)$ asılılıqlarından aktivləşmə enerjiləri hesablanmışdır. Şüalanmadan əvvəl $\Delta E_a^1=0.54\text{eV}$, $\Delta E_a^2=0.4\text{eV}$, 20Mrad qamma şüaların təsirindən sonra isə aktivləşmə enerjiləri $\Delta E_a^1=0.5\text{eV}$, $\Delta E_a^2=0.38\text{eV}$ bərabərdir. Bu isə TI^+ alt qəfəsinin nizamsızlaşması (zəif əlaqəli Tl ionları) hesabına yaranır.
- 2) İlk dəfə olaraq TlInS₂ kristalında dielektrik nüfuzluğunun $\epsilon'(T)$ asılılığında 330K, 410K, 490K, 570K və 600K temperaturlarında anomaliyalar müşahidə olunmuşdur. Aktivləşmə enerjiləri $\Delta E_a^1=0.3\text{eV}$, $\Delta E_a^2=0.22\text{eV}$ bərabərdir. $\ln(\epsilon)$ -nin $1/T$ asılılığında təcrübi nöqtələr bir düz xətt üzərində yığılmışdır və bu isə keçiriciliyin ion xarakterli olmasını göstərir. Qamma şüalarının təsirindən sonra dielektrik nüfuzluğunun temperatur asılılığının 290K, 410K, 470K və 550K temperaturlarında faza keçidləri müşahidə edilmişdir. Aktivləşmə enerjiləri $\Delta E_a^1=0.29\text{eV}$, $\Delta E_a^2=0.2\text{eV}$ hesablanmışdır. Qamma şüalarının təsirindən sonra aktivləşmə enerjiləri azalıb və dielektrik nüfuzluğunun maksimumları yuxarı temperatur oblastına sürüşür.
- 3) TlGaSe₂ monokristalının $25 \cdot 10^6$ Hz tezlik intervalında elektrik sahəsinin tezliyinin artması ilə impedansın həqiqi və xəyali komponentlərinin (Z' və Z'') azalması ilə xarakterizə olunan maksimumlarının dispersiyaya məruz qalması müəyyən edilmişdir. Nümunənin elektrik modulunun xəyali hissəsinin (M'') tezlikdən asılılığında orta relaksasiya müddəti hesablanmışdır ($\tau = 1.54 \cdot 10^{-6}$ san).
- 4) Sabit elektrik sahəsində TlInS₂ kristalının $\sigma(T)$ asılılığında aşağı temperaturda keçiricilikdə elektron keçiriciliyi üstünlük təşkil etdiyi halda temperaturun artması ilə ion keçiriciliyin qiymətində artma müşahidə olunur. γ -şüalarla şüalanmış TlInS₂ kristalının elektrik keçiriciliyinin 0-60Mrad doza intervalında kinetikasi verilmişdir. Göstərilmişdir ki, şüalanma dozası artdıqca ümumi

keçiricilikdə elektron payı azalır və nəticədə ion payı artır. Müəyyən edilmişdir ki, şüalanmadan əvvəl elektrik keçiriciliyində ion payı 78%, 20 Mrad qamma şüalarla şüalanmadan sonra isə 82% təşkil edir.

- 5) H^+ ionları ilə implantasiya olunmuş $TlInS_2$ kristalında SRIM simulyasiya proqramından istifadə edərək atomların dərinlikdə paylanması hesablanmış və Tl boşluqlarında H^+ ionlarının paylanması 1000 nm dərinlikdə müəyyən edilmişdir. H^+ ionları ilə implantasiya olunmuş $TlInS_2$ kristallarının 300-550K intervalında dielektrik nüfuzluğu və impedansının həqiqi və xəyali hissələrinin tədqiqi nəticəsində göstərilmişdir ki, dielektrik nüfuzluğunun ədədi qiymətinin və relaksasiya müddətinin azalmasının əsas səbəbi mobil ionların konsentrasiyasının artması ilə bağlıdır.
- 6) 150 keV enerjili He^{2+} ionları ilə implantasiya olunmuş $TlGaSe_2$ kristalının dielektrik nüfuzluğunun ədədi qiyməti və relaksasiya müddəti azalmışdır. Bu azalma implantasiya nəticəsində kristalın quruluşunda mobil ionların konsentrasiyasının artması ilə əlaqədardır.
- 7) H^+ ionları ilə implantasiya olunmuş $TlInS_2$ kristallarının Işıqın Kombinasiyalı Səpilmə spektrlərinin tədqiqatları In və Tl ionlarının spektral xüsusiyyətlərinin əhəmiyyətli dərəcədə genişlənməsi və kristalın səth qatında Tl-nin tərkibdə azalması müşahidə edilmişdir. Bu implantasiyadan sonra kristalın strukturunda amorflaşma ilə əlaqələndirilir.

DISSERTASIYA MÖVZUSU ÜZRƏ ÇAP OLUNMUŞ ELMİ İŞLƏR

1. Самедов О.А., Алекперов О.З., Наджафов А.И., Самедов С.Ф., Салманов Ф.Т., Фатализаде Х.З., Мосумлу Н.Т., Надирова Х.Б. Высокотемпературные диэлектрические свойства кристаллов $TlGaSe_2$ облученного γ -квантами // 10-я Международная конференция ядерная и радиационная физика 8-11 сентября 2015 г., г. Курчатов, Республика Казахстан, с.115.
2. Samedov O.A., Alekperov O.Z., Nadjafov A.I., Samedov S.F., Guliyev M.M., Fatalizadeh X.Z., Mosumli N.T., Huseynov N.I. Dielectric and electrical relaxation in $TlInS_2$ crystals irradiated by γ -quanta // Journal of Radiation Research. Baku, 2015, vol.2, p. 11-17.
3. Samadov O.A., Alakbarov O.Z., Najafov A.I., Samadov S.F., Mehdiyev N., Huseynov E.M. Dielectric properties and low-frequency relaxation processes investigation on the $TlGaSe_2$ crystals // International Journal of Modern Physics B. 2017, Vol. 31, No. 12, p. 1750134 (7 pages).
4. Самадов С.Ф., Самедов О.А., Кулик М. Исследование оптических и электрических свойств кристаллов $TlInS_2$ и $TlGaSe_2$ // 52-ая Школа ПИЯФ по Физике Конденсированного Состояния, Санкт-Петербург, 12-17 марта 2018, с. 212.
5. Samadov S., Samadov O., Kulik M., Pyszniak K., Olejniczak A., Najafov A., Huseynov N., Huseynov E. Optical properties of $TlGaSe_2$ before and after ion implantation with H^+ and He^+ // XII-th international conference on ion implantation and other applications of ions and electrons, Kazimierz Dolny, Poland, June 18-21 , 2018, p. 67.
6. Samedov O.A., Alakbarov O.Z., Najafov A., Mehdiyev N., Samadov S.F., Nadirova Kh.B. The study of the influence of gamma radiation on dielectric properties of $TlGaSe_2$ crystals // Journal of Radiation Researches, Baku, 2018, vol.5, №1, p. 66-72.
7. Кулик М., Самедов С.Ф., Самедов О.А., Алекперов О.З., Колодынска Д., Олейнчак А., Мехтиев Н.М. Исследование оптических и электрических свойств кристалла $TlInS_2$ после

имплантации ионами водорода и гелия // Journal of Radiation Researches, Baku, 2018, vol.5, №2, с. 62-66.

8. Самедов О.А., Самедов С.Ф., Кулик М., Алекперов О.З., Наджафов А.И., Колодйинска Д., Олешниджак А., Мехтиев Н.М. Исследование импедансного спектра и оптических свойств кристалла TlInS_2 после имплантации ионами водорода и гелия // II International scientific forum nuclear science and technologies, Almaty, Republic of Kazakhstan. 24-27 June, 2019, с. 97.

9. Samedov O.A., Alekperov O.Z., Kulik M., Hajafov A.I., Mehdiyev N.M., Huseynov E.M., Gabulov I. H^+ ions effects on dielectric and electrical properties of TlGaSe_2 crystals // the ninth international conference “Modern problems of nuclear physics and nuclear technologies”, Tashkent, Uzbekistan. 24-27 September 2019, p. 272.

10. Samadov S.F., Samedov O.A., Alekperov O.Z., Kulik M., Najafov A.I., Mehdiyev N.M., Huseynov E.M. Dielectric and electrical properties of near-surface layers of TlInS_2 crystals under the proton irradiation // International Journal of Modern Physics B, 2019, Vol. 33, No. 27, 1950320 (7 pages).

11. Samadov S.F. Impedance spectrum of TlGaSe_2 crystal implanted with He^+ ions // Journal of Radiation Researches, Baku, 2019, vol.6, №2, p. 44-49.

12. H^+ və He^{2+} ionları ilə implantasiya olunmuş TlGaSe_2 kristalının dielektrik xassələrinin tədqiqi // AJP Fizika, Baku, 2020, volume XXVI, №2, səh. 57-60.

Dissertasiyanın müdafiəsi «21» May 2021-ci il tarixdə, saat 15⁰⁰-da AMEA-nın Radiasiya Problemləri İnstitutu nəzdində fəaliyyət göstərən FD 1.21 Dissertasiya Şurasının iclasında keçiriləcək.

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

Dissertasiya ilə AMEA-nın Radiasiya Problemləri İnstitutunun elmi kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

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

Avtoreferat «19» Aprel 2021-ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 19.03.2021

Kağızın formatı: A5

Həcm: 37880

Tiraj: 100