

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

TIIn_{1-x}Ga_xC₂ (C- Se, Te) KRİSTALLARININ QURULUŞLARI, ELEKTRON VƏ OPTİK XASSƏLƏRİ

İxtisas: 2220.01- “Yarımkəçiricilər fizikası”

Elm Sahəsi: Fizika

İddiaçı: **Gülşən Nurəddin qızı Məmmədova**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı – 2023

Dissertasiya işi Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyinin Naxçıvan Dövlət Universiteti və Fizika İnstitutunda yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər:

Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru,
professor

Eldar Mehralı oğlu Qocayev

Rəsmi opponentlər:

AMEA-nın müxbir üzvü, fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor
Aydın Həsən oğlu Kazımzadə

Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru,
professor
Adil Polad oğlu Abdullayev

Fizika elmləri doktoru, dosent
Nadir Allahverdi oğlu Abdullayev

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Elm və Təhsil Nazirliyi Fizika İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən ED 1.14 Dissertasiya Şurası

Dissertasiya şurasının
sədri:

Akademik
Arif Məmməd oğlu Həşimov

Dissertasiya şurasının
elmi katibi:

Fizika elmləri doktoru, dosent
Rəfiqə Zabil qızı Mehdiyeva

Elmi seminarın sədri:

Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru,
dosent
Tələt Rzaqulu oğlu Mehdiyev



İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Yarımkəçirici maddələr elektron sənayesində geniş tətbiq olunur. Əvvəllər bu məqsədlə germanium, silisium, selen kimi bəsit maddələr və binar yarımkəçirici birləşmələr istifadə olunurdu. Lakin keçən əsrin ikinci yarısından başlayaraq yarımkəçiricilərin tədqiqi və tətbiqi ilə məşğul olan mütəxəssislərin diqqətini daha çox üçqat və çox komponentli yarımkəçirici maddələr cəlb etməyə başlamışdır. Bu fakt bilavasitə onunla əlaqədardır ki, elektron sənayesinin müxtəlif sahələrinin inkişafı elektron və digər fiziki xassələri idarə oluna bilən yarımkəçiricilərin alınmasını tələb edir. Fundamental parametrləri ilə fərqlənən müxtəlif elementlərdən ibarət olan çoxkomponentli yarımkəçiricilərin alınması və onların həm quruluşunun, həm də baş verən fiziki proseslərin kompleks tədqiqi qeyd olunan problemin həllində mühüm rol oynayır. Mövcud elmi ədəbiyyatın təhlili göstərir ki, $A^{III}B^{III}C_2^{VI}$ (C-Se,Te) kimi çoxkomponentli yarımkəçirici kristalların kimyəvi tərkibinin dəyişdirilməsi ilə həmçinin yüksək hidrostatik təzyiqin təsiri ilə qəfəs parametrləri ciddi dəyişmələrə uğrayır. Quruluşda baş verən dəyişikliklər elektrofiziki, optik parametrlərə, çevirmə effektivə, tenzorezistiv və digər xassələrə əhəmiyyətli dərəcədə təsir edə bilər. Bu kristalların digər cəlbəddici xüsusiyyəti zəncirvari və layvari quruluşa malik olması və bunun nəticəsi olaraq fiziki xassələrinin yüksək anizotropluğu ilə başqa mürəkkəb kimyəvi tərkibli kristallardan fərqlənməsidir. Qeyd olunan xüsusiyyətlər son onilliklər ərzində həmin kristalların intensiv tədqiqi üçün stimül yaratmışdır.

Hələ keçən əsrin əvvəllərindən etibarən TlSe birləşməsinin kristal quruluşunun açılması ilə müəyyən edilmişdir ki, bu birləşmə xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Belə ki, bu binar birləşmənin tərkibində tallium atomları fərqli kristal mövqedə olurlar. Onların bir qismi özlərini üç valentli, digər qismi isə bir valentli aparır. Bu birləşmənin əsas yarımkəçirici xassələrini tetraedrlərdə yerləşən üçvalentli (Tl^{+3}) tallium atomları müəyyən edir. Yəni, reallıqda TlSe birləşməsinin kimyəvi formulu $TlSe \rightarrow Tl^{+}Tl^{3+}Se_2$ şəklindədir.

Məhz həmin real eksperimental nəticələrə əsaslanaraq TlSe birləşməsində üçvalentli Tl atomlarının üç valentli In^{+3} və ya Ga^{3+} atomları ilə qismən əvəzlənməsi ilə yeni sinif $A^{III}B^{III}C_2^{VI}$ tip üçqat birləşmələr sinfi aşkar edilmişdir. Bu tip kristalların istər quruluşlarının, istərsə də fiziki xassələrinin tədqiqi göstərmişdir ki, həmin birləşmələrin bir qismi laylı, digər qismi isə zəncirvari kristal quruluşa malikdirlər. Həmin birləşmələrin kimyəvi formullarının ümumi şəkildə $Tl^{+}In^{+3}(Ga^{3+})X_2^{VI}$ olması təklif olunmuş, sonralar dəqiq quruluş analizləri ilə bu mülahizə təsdiq edilmişdir. Göstərilən tip üçqat birləşmələrin reallıqda mövcud olması bu birləşmələri əmələ gətirən elementlərin elektron quruluşları ilə də bir daha təsdiq edilmişdir. Məsələn: TlSe - $Tl^{+}Tl^{3+}Se_2$ birləşməsi əmələ gələrkən halkogen cütünün xarici elektron təbəqələrinin müvafiq olaraq neytral arqona $3s^23p^6$, kriptonu $4s^24p^6$ və ksenona $5s^25p^6$ - ya qədər tamamlanması, indium atomlarının $5s^25p^1$ və qallium atomlarının $4s^24p^1$ elektronları hesabına baş verir. Göstərilən tip birləşmələrin kristal quruluşlarının, zona quruluşlarının və fundamental fiziki xassələrinin tədqiqi dünya alimləri tərəfindən intensiv olaraq aparılmış və tədqiq edilməkdədir. Həmin tədqiqatların nəticələri göstərmişdir ki, bu birləşmələr yüksək tenzohəssaslığa, geniş tezlik diapazonunda yüksək ftohəssaslığa və çevirici xassələrə malikdirlər. Sonrakı illərdə bu tip $A^{III}B^{III}C_2^{VI}$ üçqat birləşmələrdə üçvalentli Tl, In və Ga elementlərinin bir-birini qarşılıqlı əvəz etmələri ilə yeni, çoxkomponentli $TlInX_2$ - $TlGaX_2$, $InGaX_2$ - $TlInX_2$ sistemlərinin tədqiqatları aparılmış və bu materialların kifayət qədər dəyərli materiallar olmaları aşkar edilmişdir. Lakin obyektiv və subyektiv səbəblər üzündən həmin maddələr daha ətraflı tədqiq edilməmişdir. Yəni, bu tip kristalların tədqiqi epizodik xarakterli olub, sistemləşdirilməmişdir. Belə ki, bu sistemlərin müəyyən fiziki-kimyəvi analizləri aparılmış, bəzi xassələri öyrənilmişdir. Bu səbəbdən də göstərilən tip kristalların daha ətraflı tədqiqinə və praktiki imkanlarının aşkar edilməsinə böyük ehtiyac var.

Tədqiqatın obyektı və predmeti: $TlIn_{1-x}Ga_xC_2(C - Se, Te)$ kristallarının, optik və elektron xassələrinin tədqiqidir.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri: dissertasiya işinin məqsədi III qrup elementlərinin bir-birini qarşılıqlı olaraq əvəz etməsilə alınan $TlIn_{1-x}Ga_xC_2^{VI}$ kristallarının elektrofiziki, fotoelektrik, optik, tenzorezistiv xassələrinin və çevirmə effektinin mexanizmlərinin müəyyənləşdirilməsindən ibarətdir. İşin praktiki məqsədi çevrivi elementlər, kiçik deformasiyaları aşkar edərək ölçməyə imkan verən tenzoötürücülər, spektrin görünən və yaxın infraqırmızı oblastında istifadə olunan optoelektron qurğular üçün perspektiv material alınmasından ibarətdir.

Aşağıda göstərilən məsələləri: həll etməklə qarşıya qoyulan məqsədə çatmaq mümkün olmuşdur.

- $TlIn_{1-x}Ga_xC_2(C - Se, Te)$, sistemlərinin bərk məhlullarının tədqiqat üçün əlverişli olan monokristallarının uyğun texnoloji rejimdə yetişdirilməsi;

- Bu sistemlərə aid olan kristalların stexiometrik və rentgenfaza analizlərinin aparılması, qəfəs parametrlərinin tərkibdən asılılıq qanunauyğunluqlarının müəyyənləşdirilməsi, səthlərinin mikrorellefinin tədqiq edilməsi;

- Göstərilən tip kristalların elektrofiziki xassələrinin tədqiq edilməsi və fundamental yarımkeçirici parametrlərinin təyin edilməsi;

- Tədqiq olunan kristalların optik və fotoelektrik xassələrinin tərkibdən, kənar amillərin təsirindən asılılıqlarının araşdırılması;

- Tenzorezistiv xassələrinin mexaniki təsirdən və işığın təsirindən asılı olaraq dəyişmə qanunauyğunluqlarının müəyyən edilməsi;

- Səs və elektromaqnit dalğalarının eyni zamanda təsiri ilə meydana çıxan akustofotovoltaik (AFV) effektin tədqiq edilməsi;

- Volt-ampere xarakteristikalarının kristalların tərkibindən və kənar amillərin təsirindən asılı olaraq tədqiq edilməsi.

Tədqiqat metodları: Dissertasiya işinin eksperimentlərinin aparılmasında RIGAKU şirkətinin MiniFlex 600 markalı rentgen difraktometrindən (rentgenoqramlar), JEOL şirkətinin JSM 6610-LV skanedici elektron mikroskopundan (stexiometriya), J.A. Woollam M-2000 DI spektroskopik ellipsometrindən (spektral ellipsometriya), Keithley 6487 pikoampermetrdən (volt-ampere

xarakteristikası), Nanofinder 30 - 3d lazer Raman mikroskopiyası sistemindən (Raman spekri), Solver Next skanedici prob (zond) mikroskopu olan AQM-dan (səthin mikrorelyefi) istifadə edilmişdir.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar:

▪ $TlIn_{1-x}Ga_xC_2(C - Se, Te)$ kristallarının stexiometrik, rentgenfaza analizinin nəticələri, səthlərinin mikrorelyefinin, elektrik xassələrinin xüsusiyyətləri;

▪ Tədqiq olunan kristallarda Tl atomlarının In və Ga atomları ilə əvəz edilməsi ilə yüksək enerjili kimyəvi rabitələrin yaranması səbəbindən qadağan zonanın eninin artması;

▪ $TlInSe_2$ və $TlInTe_2$ kristallarının elektrikkeçiriciliyinin yüksək intensivlikli elektrik sahəsindən və temperaturdan asılı olaraq dəyişməsinin termik-elektron modelinə əsaslanan izahı;

▪ $A^{III}B^{III}C_2^{VI}$ tip kristallarda və onların struktur analoglarında çevirmə effektinin kristalların kimyəvi tərkibindən və temperaturdan asılı olaraq dəyişmə qanunauyğunluqları;

▪ $TlIn_{1-x}Ga_xC_2(C - Se, Te)$ kristallarının tenzorezistiv xassələrinin və pyezomodulyasiya effektinin qanunauyğunluqları;

▪ $TlIn_{1-x}Ga_xC_2(C - Se, Te)$ kristallarında eyni zamanda bir birinə perpendikulyar istiqamətdə təsir edən səs və elektromaqnit dalğalarının təsiri ilə yaranan akustofotovoltaiq effektin xüsusiyyətləri (AFV);

▪ $TlIn_2GaSe_4$, $TlInSe_2<Au>$ və $InSe<Ge>$, tip kristallarda spektral ellipsiometriyanın tədqiqi və həmin kristalların optik parametrlərinin hesablanması;

▪ $Tl_2InGaSe_4$, $TlGaSe_2$, $InGaTe_2$, $TlSe<Ge>$, $InSe<Ge>$ kristallarında işığın Raman səpilmə spektrinin təhlili.

Tədqiqatın elmi yeniliyi:

▪ Təmiz və aşqarlı $A^{III}B^{VI}$ tip üçlü və dördlü kristalların, bərk məhlullarının stexiometrik və rentgenfaza analizləri və səthlərinin mikrorelyefinin xüsusiyyətləri tədqiq olunmuşdur.

▪ $TlIn_{1-x}Ga_xC_2(C - Se, Te)$ kristallarının VAX-nın tədqiqi ilə müəyən edilmişdir ki, həmin kristallar çevirici xassələrə

malikdirlər və onlarda çevirmənin baş verdiyi astana gərginiyi kristalların tərkibi və temperaturundan asılı olaraq idarə olunur.

- $TlIn_{1-x}Ga_xSe_2$ monokristallarında tenzorezistiv xassələr tədqiq edilmiş və onların yüksək tenzohəssaslıq əmsalına malik olmaları, işığın və mexaniki deformasiyanın qiymətindən asılı olaraq idarə oluna bilmələri aşkar edilmişdir.

- Tədqiq olunan kristallarda yeni pyezomodulyasiya və AFV effektləri aşkar edilərək tədqiq edilmişdir. Göstərilmişdir ki, elektromaqnit və səs dalğalarının tezliyini dəyişməklə müşahidə olunan effektləri idarə etmək mümkündür.

- $TlInSe(Te)_2$ - $TlGaSe(Te)_2$ kristallarında yüksək intensivlikli elektrik sahəsinin elektrikkeçiriciliyinə təsir mexanizmi müəyyən edilmişdir.

- $InSe<Ge>$, $TlSe<Ge>$, $InGaTe_2$, $TlGaSe_2$, $Tl_2InGaSe_4$ kristallarında işığın Raman səpilmə spektri tədqiq edilərək aktiv rəqs modları müəyyən edilmişdir.

- $TlInX_2^{VI} - TlGaX_2^{VI}$ tip kristallarda spektral ellipsometriyanın tədqiqi həyata keçirilərək dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissəsinin, optik sabitlərin fotonun enerjisindən asılılıq qanunauyğunluqları müəyyən edilmişdir.

- Tədqiq olunan kristallarda yeni AFV effekt aşkar edilmiş və tədqiq olunmuşdur.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti: Dissertasiyada alınan nəticələr çoxkomponentli yarımkeçirici kristallarda kinetik effektlərin, çevirmə hadisələrinin, tenzorezistiv və pyezomodulyasiya kimi effektlərinin kimyəvi tərkibdən asılılıq xüsusiyyətlərinin interpretasiyasında faydalı ola bilər. $TlIn_{1-x}Ga_xSe_2(Te_2)$ və $InTl_{1-x}Ga_xSe_2(Te_2)$ kristalları əsasında çevirici elementlərin, kiçik deformasiyaları aşkar edərək ölçməyə imkan verən tenzoötürücülərin, spektrin görünən və yaxın infraqırmızı oblastında istifadə olunan optoelektron qurğuların işığın intensivliyinin zəif dəyişmələrini qeyd etməyə imkan verən qurğunun yaradılmasında perspektiv material kimi tövsiyə oluna bilər.

Aprobasiyası və tətbiqi: Dissertasiya işinin mövzusunun əhatə edən 6 elmi məqalə xarici jurnallarda, 6 elmi məqalə və 4 konfrans

materialı Respublikamızın jurnallarında, 1 konfrans materialı xaricdə və 1 dərslik çap olunmuşdur. Dissertasiyanın əsas nəticələri “Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XXII Respublika elmi konfransı, ADPU, 22-23 noyabr, 2018, “Maqniyümşaq ərintilərin informasiya texnologiyalarında və hərbi sənayedə tətbiqi perspektivləri” mövzusunda, Beynəlxalq Elmi-Praktik konfransı, Bakı, 09-10 oktyabr, 2019; Ümummillə Lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 98-ci ildönümünə həsr olunmuş “Gənc Tədqiqatçıların V Beynəlxalq Elmi Konfransı”, Bakı Mühəndislik Universiteti, 29-30 aprel 2021, Energetika ixtisasları üzrə kadr hazırlığının aktual məsələləri Respublika elmi konfransı, Sumqayıt Dövlət Universiteti, 25-26 noyabr 2021, Naxçıvan Dövlət Universitetinin Fizika-riyaziyyat fakültəsinin elmi seminarlarında müzakirə edilmişdir.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı: Elm və Təhsil Nazirliyinin Naxçıvan Dövlət Universiteti və Fizika İnstitutu.

Müəllifin şəxsi iştirakı: Müəllif tərəfindən tədqiqatın əsas məqsədi və onlara nail olmaq üçün qarşıya qoyulan məsələlər göstərilmiş, tədqiqatın istiqamətləri müəyyən olunmuş, nəticələrin emalı, sistemləşdirilməsi və müzakirəsi keçirilmişdir. Müəllif eyni zamanda Azərbaycan Texniki Universitetinin “Mühəndis fizikası və elektronika” kafedrasının laboratoriyasında kristalların sintez edilməsi, alınması, Fizika İnstitutunda isə təcrübə və tədqiqatlarının aparılmasında birbaşa iştirak etmişdir.

Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda həcmi qeyd olunmaqla dissertasiyanın işarə ilə ümumi həcmi: Dissertasiya işi 177 səhifədən - girişdən, 4 cədvəl və 69 şəklə daxil olduğu 4 fəsildən, 195 adda ədəbiyyat siyahısından, əlavələrdən, cədvəlsiz, şəkilətsiz və ədəbiyyat siyahısız 33715 işarədən ibarətdir.

İŞİN MƏZMUNU

Girişdə dissertasiya işinin mövzusunun aktuallığı əsaslandırılmış, işin məqsədi, elmi yeniliyi, praktiki əhəmiyyəti və işin müdafiəyə çıxarılan əsas müddəaları müəyyən edilmiş, həmçinin dissertasiya işində baxılan məsələlər barədə məlum nəzəri və təcrübə işlərin qısa xülasəsi verilmişdir.

Dissertasiya işinin I fəsli tədqiqat işində ilkin elementlər olan dövrü sistemin B^{III} və B^{VI} yarımqrup elementlərinin xüsusiyyətləri təhlil edilmiş tədqiqat işində onların baza elementləri olması əsaslandırılmışdır. Fəslin sonrakı bölümündə dövrü sistemin III yarımqrup elementlərinin bir-birini rasional əvəz etməklə yeni üçqat və dördqat birləşmələrin alınma imkanları təhlil edilmiş və əsaslandırılmışdır. Elə bu fəsildə $A^{III}B^{III}C_2^{IV}$ tip kristalların quruluşlarının və fundamental fiziki xassələrinin tədqiqinə dair ədəbiyyat məlumatlarının təhlili aparılmış və bu tədqiqat işinə qədər $A^{III}B^{VI}$ tip üçkomponentli kristallar və onların tədqiq olunma səviyyələri təhlil edilmişdir. Elə bu fəsildə $TlInSe_2$ - $TlGaSe_2$ və $InTlSe_2$ - $InGaSe_2$ kristalların tədqiqinə aid mövcud ədəbiyyat məlumatları toplanaraq təhlil edilmiş, dissertasiya işinin mövzusunun aktuallığı əsaslandırılmışdır.

Dissertasiya işinin II fəsli texnologiya məsələlərinin həllinə həsr olunmuşdur. Fəslin əvvəlində dissertasiya işinin əsas tədqiqat obyektləri olan $TlInSe_2$, $TlInTe_2$, $InGaTe_2$ kristalların sintezi, monokristallarının yetişdirilmə texnologiyası haqqında qısa məlumat verilmiş, eksperimental nəticələr barədə nümunələr göstərilmişdir. Fəslin sonrakı bölümündə tədqiqat obyektləri olan kristalların rentgenfaza analizlərinin nəticələri şərh olunmuşdur. Müəyyən edilmişdir ki, qəfəs sabitlərinin maddənin kimyəvi tərkibdən asılı olaraq dəyişməsi qismən kənara çıxma ilə Veqard qanununa uyğun olaraq baş verir. Bu onunla əlaqədardır ki, həll olan və həlledici maddələrin atomları müxtəlif ölçüyə malikdirlər. Ona görə də, Ga atomlarının $TlInTe_2$ qəfəsinə daxil edilməsi iki effekt yaradır: $TlInTe_2$ kristal quruluşu qismən deformasiyaya uğrayır və hər bir Ga atomu tərəfindən yaradılan lokal sürüşmələr baş verir.

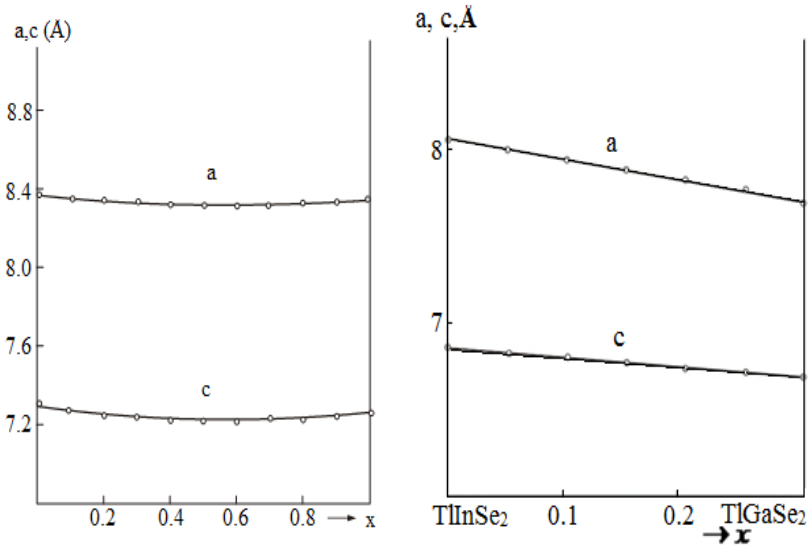
Beləliklə, bərk məhlulların qəfəs sabitlərinin təyin edilmiş rentgenoqrafik qiymətləri və atomlararası məsafə kristalın bütün qəfəsləri boyunca ortalanmış qiymətlərini alır. Bircinsli deformasiya $TlIn_{1-x}Ga_xSe_2$ bərk kristalların rentgenoqrafik üsulla hesablanmış qəfəs sabitlərinin konsentrasiyadan asılılığına qismən də olsa səbəb olur. Həll olan Ga atomları tərəfindən törədilən lokal sürüşmələr bir-birini əvəz edən atomların mövqeyindən asılı olaraq

qəfəsin qismən təhrif olunmasına, formasının və ölçüsünün dəyişməsinə səbəb olur. Lokal deformasiyalar rentgen reflekslərinin intensivliklərinin zəifləməsinə və oblastlar ətrafında diffuzion səpilməyə səbəb olur.

Orta hesabla qəfəsin təhrif olunması o deməkdir ki, uzaq nizamın saxlanması şərti ilə ideal üçölçülü, ortalanmış qəfəsdə orta vəziyyətdən statistik kənar çıxımlar baş verir.

Beləliklə, periodiklik statistik olsa da dəqiq saxlanılır. Aşkardır ki, atomların ideal vəziyyətlərindən kənar çıxımları bir-birini əvəz edən In (1.66Å) və Ga (1.39Å) atomlarının ion radiuslarının bir-birindən fərqli olmasından və konsentrasiyasından asılı olur.

Atomların ölçülərinin, atomlararası rabitənin eyni olması halında da, yalnız qeyd olunan xüsusiyyət izomorfluğu təmin edə bilməz. Qeyd etmək lazımdır ki, eyni tip strukturda bir-birini izomorf əvəz edən atom cütləri digər tip strukturlarda bu xüsusiyyətə malik olmaya bilərlər. Bu da təcübü deyil, çünki izomorfizm bütövlükdə quruluşa aid olub, ayrı-ayrı atomlara xas olan xüsusiyyət deyildir. Əgər struktur mürəkkəb kimyəvi formulaya malikdirsə və qəfəsin ölçüsü böyükdürsə onda bir-birini əvəz edən atomların ölçülərinə qoyulan tələblər bir qədər yumşaldılmalıdır. Çünki qeyd olunan halda atomlararası tarazlıq şərti qəfəsin digər atomlarının azacıq yerdəyişməsi ilə əlaqədar bir qədər yumşaldılmalıdır. Əlavə edək ki, TlInTe_2 və ya TlInSe_2 kristallarında bir-birini izomorf olaraq əvəz edən Ga və In atomlarının əmələ gətirdikləri rabitəni ion rabitəsinin payı kimi qəbul etmək olar. Sonda onu qeyd edə bilərik ki, TlInTe_2 birləşməsində In atomlarının Ga atomları ilə əvəz olunması zamanı rentgenoqramlarda müşahidə edilən reflekslərin ümumi strukturu saxlanılır, əlavə reflekslər meydana çıxmır. Amma qeyd olunan əvəzetmə halında rentgenoqramlarda müşahidə olunan reflekslərin intensivlikləri dəyişir. Bu xüsusiyyət $\text{TlIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$ sisteminin rentgenoqramlarında da müşahidə edilir.

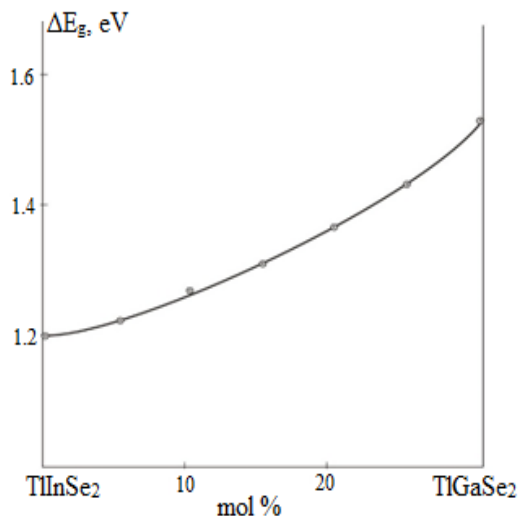


Şəkil 1. $TlIn_{1-x}Ga_xTe_2$ (a), $TlIn_{1-x}Ga_xSe_2$ (b) kristallarının qəfəs sabitlərinin tərkibdən asılılığı

Fəslin sonrakı bölümündə tədqiqat obyektlərinin stexometrik və rentgenfaza analizlərinin eksperimental nəticələri, habelə atom qüvvə mikroskopu ilə tədqiqat obyektləri olan kimyəvi birləşmələrin və bərk məhlulların 2D və 3D rejimlərində səthlərinin mikroyeşəklərinin tədqiqinin nəticələri verilməmişdir. Fəslin sonrakı bölmələrində kristalların kinetik effektlərinin ölçülmə üsulları yığcam şəkildə şəkildə şərh olunmuşdur. Bu fəsildə həmçinin, elə həmin kristalların VAX-nın tədqiqində istifadə olunan üsul haqqında məlumatlar da öz əksini tapmışdır.

Dissertasiya işinin III fəslində $TlIn_{1-x}Ga_xSe_2$ və $InTl_{1-x}Ga_xCe_2$ bərk kristallarının məxsusi elektrik keçiriciliyinin - Holl və termo-e.h.q. əmsallarının temperatur asılılıqlarının tədqiqinin nəticələri barədə məlumat verilməmişdir. Müəyən edilmişdir ki, həmin kristallar tipik yarımkəçirici materiallardır. Tədqiq olunmuş kristallarda Holl yürüklüyünün temperaturdan asılı olaraq dəyişməsi $R^{-2/3}$ qanunu üzrə baş verir ki, bu da tədqiq etdiyimiz kristallarda yükdaşıyıcıların akustik fononlardan səpilməsini göstərir.

$TlIn_{1-x}Ga_xSe_2$ kristallarının qadağan zonalarının eninin tərkibdən asılılığının təhlili göstərmişdir ki, $TlInSe_2$ birləşməsində üçvalentli In atomlarının üçvalentli Ga atomları ilə əvəz olunması zamanı qadağan zonanın eni artır (şəkil 2). Belə ki, həm $TlInTe_2$ və $TlGaTe_2$, həm də $TlInSe_2$ krisalların zona quruluşlarının hesablanması ilə müəyyən edilmişdir ki, həmin birləşmələrin valent zonalarının tavanı tallium, indium, selen və tellur atomlarının p hallarından formalaşır.



Şəkil 2. $TlIn_{1-x}Ga_xSe_2$ kristallarının qadağan zonalarının eninin tərkibdən asılılığı

Təbiidir ki, bu birləşmələrdə indium atomlarının qallium atomları ilə əvəz olunması halında valent zonasının tavanının formalaşmasında 5p elektronları ilə iştirak edən indium atomları əvəzinə 4p elektronları ilə qallium atomları iştirak etdiyindən həmin zonanın kiçik enerjilərə doğru sürüşməsi və həmin istiqamətdə qadağan olunmuş zonanın eninin artması baş verir.

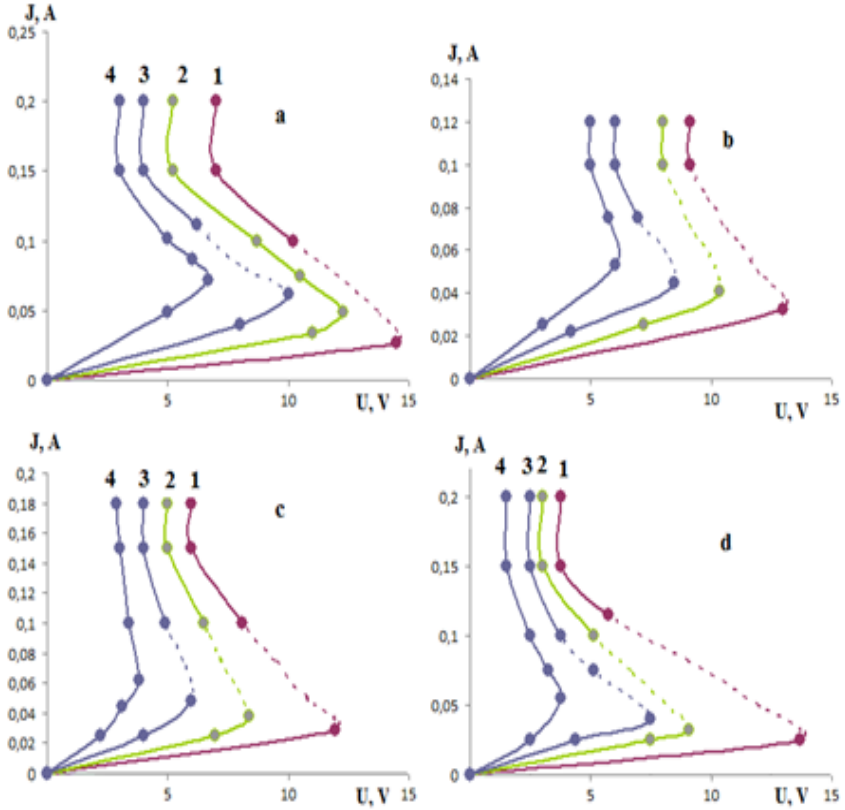
Fəslin sonrakı bölümündə $TlIn_{1-x}Ga_xSe_2$, $InTl_{1-x}Ga_xSe_2$ kristallarının statik rejimdə VAX-nın tədqiqinin nəticələri

verilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, tədqiq olunan numunələrdə gərginliyin kiçik qiymətlərində $I(U)$ asılılığı Om qanununa tabe olur. Lakin müxtəlif tərkibli nümunələrdə müxtəlif olmaqla gərginliyin müəyyən qiymətindən etibarən nümunə sıçrayışla yüksək müqavimətli haldan kiçik müqavimətli hala keçir və cərəyanın gərginlikdən asılılığı qeyri-xətti olur. Xarakteristika S-ə bənzər forma alır. Aşkar edilmişdir ki, Om qanununun ödənilməsi oblastda nümunənin temperaturu sabit qalır. Lakin mənfi diferensial müqavimət oblastında T temperaturu artır və adətən bu temperatur ətraf mühitin temperaturundan daha yüksək olur.

Yüksək cərəyanlar oblastında S-şəkilli xarakteristika daha aydın formalaşmış olur. Şəkildən görüldüyü kimi, temperaturun yüksək qiymətlərində mənfi diferensial müqavimət oblastı dar olur, amma temperaturun kiçik qiymətlərində tədqiq olunan bütün qiymətlər üçün mənfi diferensial müqavimətli oblast kifayət qədər geniş olur (şəkil 3).

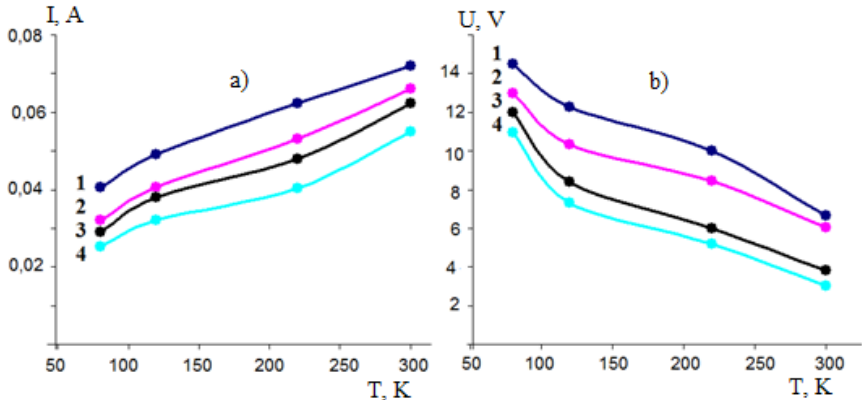
Nəticələrin təhlili göstərir ki, ətraf mühitin temperaturu azaldıqca astana gərginliyinin miqyası baş verir, yəni o, yüksək qiymətlərə doğru yer dəyişir, ətraf mühitin temperaturu artması isə VAX-da MM -li oblastın daralması ilə müşayiət olunur.

Bu oblastın əsas xarakteristikaları onun eni, mailliyi, astana gərginliyi, astana cərəyanı və həmçinin, saxlayıcı gərginlik və saxlayıcı cərəyan hesab olunur. Dissertasiyada çeviricilik effektinin interpretasiyası üçün təklif olunan elektron, termik və elektron-termik modellərinin xarakterik xüsusiyyətləri təhlil edilmiş və tədqiqatlar zamanı çevrilmə effektinin müşahidə olunan xüsusiyyətlərinin elektron – termik modelinə uyğun gəldiyi qənaətinə gəlinmişdir. Bu modelə görə temperaturun və təbiiq olunan elektrik sahəsinin dəyişməsi həm VAX-ın formasına həm də gərginliyin və cərəyan şiddətinin astana qiymətlərinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir.



Şəkil 3. TIIn_{1-x}Ga_xSe₂ kristallarının müxtəlif temperaturlarda (1–80 K; 2 – 120 K; 3 – 220 K; 4– 300 K) VAX-ları: a) x=0.02; b) x=0.04; c) x=0.06; d) x=0.08.

Astana gərginliyinin artması ilə astana cərəyanı azalır. Tədqiq olunan nümunələrin VAX-ları ətraf mühitin temperaturundan kəskin asılılığı müşahidə olunur. Mühitin temperaturunun artması TIIn_{1-x}Ga_xSe₂ və InTI_{1-x}Ga_xC₂ kristallarında astana cərəyanının artmasına, astana gərginliyinin isə azalmasına səbəb olur. Qeyd olunan fakt çeviricilik effektində elektron-termik mexanizm üstünlük təşkil etməsi ilə əlaqələndirilmişdir (şəkil 4).



Şəkil 4. $TlIn_{1-x}Ga_xSe_2$ kristallarının astana cərəyanının (a) və astana gərginliyinin (b) temperatur asılılıqları: 1) $x=0.02$; 2) $x=0.04$; 3) $x=0.06$; 4) $x=0.08$.

Astana gücü həmçinin ətraf mühitin temperaturundan asılıdır. Temperaturun artması ilə monoton olaraq P_a azalır.

Deyilənlərdən aydın olur ki, temperatur artdıqca təsadüfi toqquşmaların sayı, həmçinin sərbəst yükdaşıyıcıların sayı artır. Bütün bu faktlar astana gücünün azalmasına səbəb temperaturun artması olduğunu göstərir.

Effektin elektron – termik mexanizmi zamanı yarımkəçiriciyə elektrik sahəsi və temperaturun birlikdə təsiri nəzərə alınmalıdır.

$$\sigma(T, F) = \sigma_0 \exp\left(-\frac{\Delta E}{kT} + \frac{V}{rL^2T}\right) \quad (1)$$

Belə ki, bu zaman yarımkəçirici yüksək müqavimətli haldan kiçik müqavimətli hala keçir. Mexanizmin istilik effekti əsasən istilik tutumu, istilik keçiriciliyi və aktiv oblastın müqavimətinin temperaturdan asılılığı ilə müəyyən edilir.

Tədqiq olunan kristallar üçün S-ə bənzər əyri yüksək cərəyanlarda yaxşı ifadə olunmuş MM oblastında astana cərəyanı kimi göstərilmişdir. $I(U)$ əyrisində MM –nin müəyyən hissəsi ətraf mühitin aşağı temperaturlarında daha yaxşı ifadə olunmuşdur. Alınan nəticələrdən görünür ki, düz keçidin gərginliyinin azalması

hər sonrakı çevrilmələrdə və VAX-dakı qeyri –xəttilik qeyri astana sahələrinə qədər tədqiq etdiyimiz bütün kristallar üçün xarakterik olmuşdur. VAX – ın super xətti hissəsi

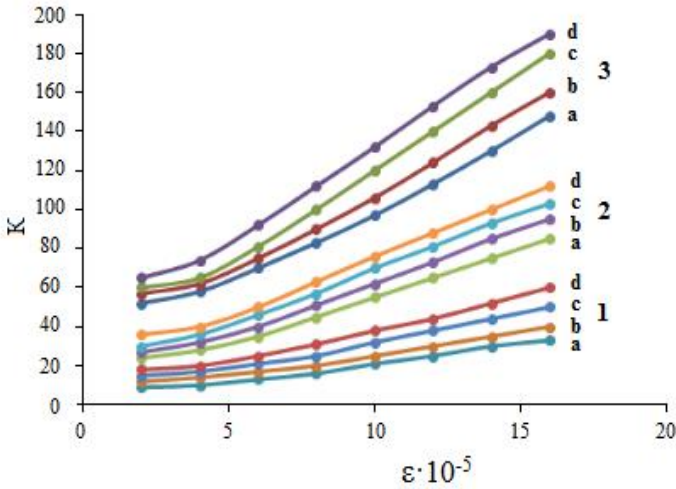
$$J=aU+bU^2+cU^3 \quad (2)$$

üçhədlisi ilə aydın ifadə oluna bilər. Burada, a, b, və c əmsallarının ədədi qiymətləri asanlıqla təyin edilir və müxtəlif tərkiblər üçün müxtəlif qiymətlər alırlar. Fərz edilir ki, çevirmə effekti prosesində axan cərəyanın əsas hissəsi elektrodlar arasında keçiriciliyi yaradan kiçik müqavimətli saplardan axır və sapların daxilində Coul istiliyinin daha çox ayrılması həm termik generasiyanı sürətləndirir, həm də sapların genişlənməsinə səbəb olur. Beləliklə sapın en kəsiyinin sahəsi artır, bu da müqavimətin azalması ilə nəticələnir. Tətbiq olunan elektrik sahə intensivliyinin qiymətinin kiçilməsi sapların daxilində cərəyan şiddətinin azalmasına və ayrılan Coul-Lens istiliyinin də azalmasına səbəb olur. Beləliklə, sapın daxilində əks istiqamətli prosesin getməsi baş verir. Yəni sapın daralması və generasiyanın zəifləməsi baş verir. Nümunə yenidən yüksək müqavimətli hala keçir. Bununla yanaşı olaraq temperaturun artması ilə termik generasiyanın sürətlənməsi yükdaşıyıcıların konsentrasiyasını artırır. Qeyd olunan proseslər nəticəsində astana cərəyanının şiddəti artır, gərginliyin və sərf olunan gücün qiyməti azalır. Alınan bu nəticələr onu göstərir ki, $TlIn_{1-x}Ga_xSe_2$ kristallarında MM oblastların meydana çıxması elektron - termik təbiətli proseslərlə əlaqədardır.

Fəslin sonrakı bölümündə $TlIn_{1-x}Ga_xSe_2$ kristallarının tenzorezistiv xassələrinin mexaniki deformasiyanın və elektromaqnit dalğalarının təsirindən asılı olaraq tədqiqinin nəticələri verilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, $TlIn_{1-x}Ga_xSe_2$ kristalında In atomlarının Ga atomları ilə əvəz olunması zamanı tenzohəssaslıq əmsalı azalır. Tədqiq olunan bütün nümunələrdə bu azalma müşahidə olunur. Temperaturun artması ilə tenzohəssaslıq əmsalı xətti qanunla artır. Bu kristallarda aşkar edilən maraqlı xüsusiyyətlərdən biri də onlara elektromaqnit dalğaları ilə təsir etdikdə tenzohəssaslıq əmsallarının dəyişməsidir. Bu dəyişmə işığın intensivliyindən və spektral tərkibindən asılı olaraq idarə oluna bilər. $TlIn_{1-x}Ga_xSe_2$ kristallarının müxtəlif şüalanmalara məruz

qalmış tenzohəssaslıq əmsallarının mexaniki deformasiyadan asılılıqları şəkil 5-də verilmişdir. Alınmış nəticələrin təhlili göstərir ki, kristalların [001] oxu boyunca dartılması zamanı həmin istiqamətdə hərəkət edən ağır deşiklərin nisbi sayı artır və bununla əlaqədar olaraq keçiricilik azalır.

İşıqlanmanın təsiri ilə tenzohəssaslıq əmsalının dəyişməsi yükdaşıyıcıların yenidən paylanması, bir istiqamətli deformasiya zamanı kristalların zona quruluşlarında ekstremumların müxtəlif şəraitdə olması ilə əlaqələndirilmişdir. Yəni kristalın [101] oxu istiqamətində dartılması zamanı [100] və [110] istiqamətlərin sıxılmaları baş verdiyindən nəticədə [001] oxu üzərində mövcud olan eksteremum yuxarıya doğru yerini dəyişir və buna müvafiq olaraq [001] və [110] oxları üzərindəki minimumlar aşağı düşür.

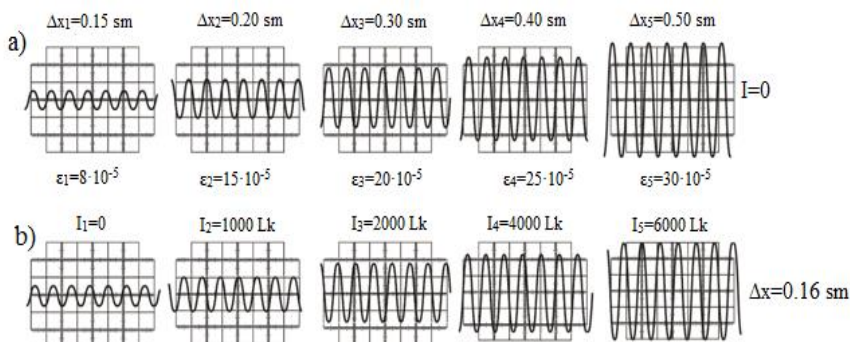


Şəkil 5. Müxtəlif işıqlanmalara məruz qalan TIIn_{1-x}Ga_xSe₂ kristallarında ekstrensiya əmsalının mexaniki deformasiyadan asılılıqları. 1 - x=0.2, 2 - x=0.4, 3 - x=0.6, (a) L=0, (b) L=10³ Lk, (c) L=10⁴ Lk, (d) L=5·10⁴ Lk.

Fəslin sonrakı bölümündə TIIn_{0.9}Ga_{0.1}Se₂ kristalının elektrik keçiriciliyinin pyezomodulyasiyasının tədqiqinin nəticələri verilmişdir. Alınmış nəticələrin təhlili göstərir ki,

pyezofotokeçiriciliyin amplitudu işığın intensivliyindən xətti asılı olur, $\Delta\sigma_{pf} = \frac{1}{VR_y} (\Delta V_0 - \Delta V_{op})$. Şəkil 6-dan görüldüyü kimi pyezosiqnalın 6000 Lk işıqlanmada və $\varepsilon_{01} = 8 \cdot 10^{-5}$, demək olar ki, $I_f = 0$ olduqda deformasiyanın $\varepsilon_{05} = 25 \cdot 10^{-5}$ -dəki qiyməti ilə eyni olur.

Eksperimental nəticələrdən görünür ki, aşkar edilmiş pyezofotorezistiv effekt dinamik proseslərin qeyd olunma imkanlarını genişləndirə bilər.

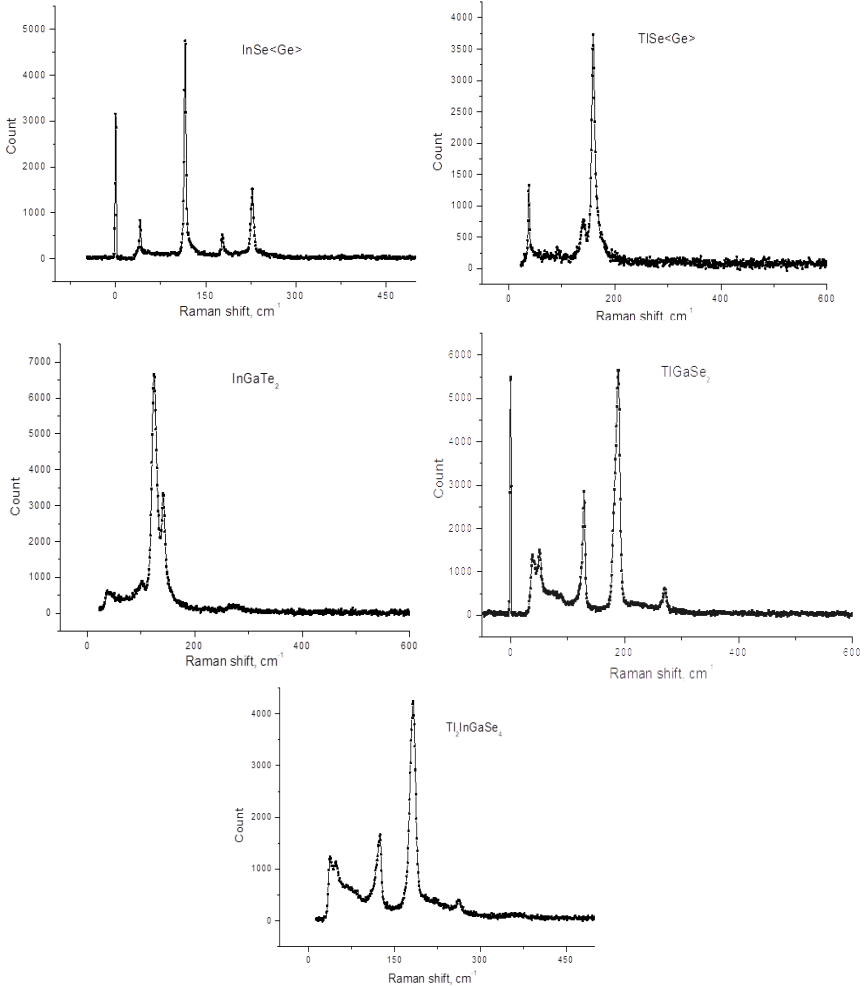


Şəkil 6. Deformasiya (a) və işıqlandırma (b) dərəcəsindən asılı olaraq $\text{TlIn}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{Se}_2$ kristalının pyezoelektrik keçiriciliyinin ($0,5 \cdot 10^{-6} \text{ Om}^{-1} \cdot \text{sm}^{-1}$)-də modulyasiyası

Dissertasiya işinin IV fəsli tədqiqat obyektlərinin optik xassələrini öyrənməyə həsr edilmişdir. İşığın raman səpilməsinin (İRS) mikrospektroskopiyası kristallarda baş verən daxili gərginliklərin aşkar edilməsinin kifayət qədər effektiv üsullarından biridir. IV fəslin 1-ci paragrafında $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{VI}}$ tip birləşmələrində Raman səpilmə spektri tədqiqindən alınan nəticələrin şərhinə həsr olunmuşdur. Tədqiqatda istifadə olunan difraksiya qəfəsinin hər sm-nə 1800 ştrix düşmüşdür. Ekspozisiya müddəti 1 dəq-yə bərabər olmuşdur.

Tədqiq olunan kristalların Raman səpilmə spektrlərində fonon tezlikləri müəyyən edilmişdir: $\text{InSe}\langle\text{Ge}\rangle$ (40 sm^{-1} , 105 sm^{-1} , 180 sm^{-1} və 230 sm^{-1}), $\text{TlSe}\langle\text{Ge}\rangle$ (38 sm^{-1} , 142 sm^{-1} , 159 sm^{-1}),

InGaTe₂(100 sm⁻¹, 123 sm⁻¹ və 142 sm⁻¹), TlGaSe₂(42 sm⁻¹, 52 sm⁻¹, 129 sm⁻¹, 189 sm⁻¹), Tl₂InGaSe₄(46 sm⁻¹, 109 sm⁻¹, 189 sm⁻¹, 271 sm⁻¹). InSe<Ge>, TlSe<Ge>, InGaTe₂, TlGaSe₂, Tl₂InGaSe₄ birləşmələrinin otaq temperaturunda alınan Raman səpilmə spektrləri şəkil 7-də verilmişdir.



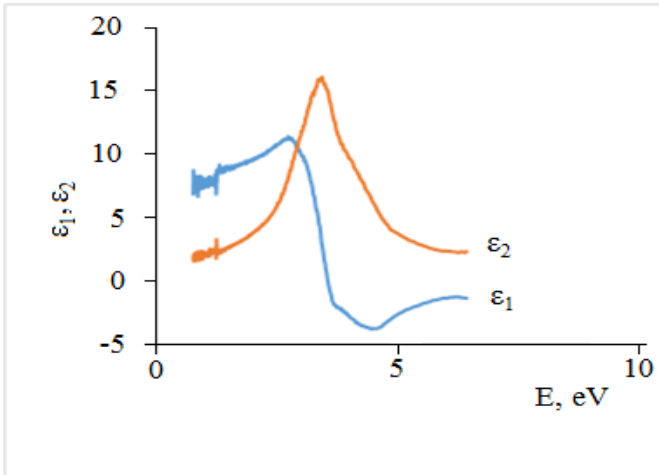
Şəkil 7. InSe<Ge>, TlSe<Ge>, InGaTe₂, TlGaSe₂, Tl₂InGaSe₄ kristallarının Raman səpilmə spektrləri

Məlumdur ki, bərk cisimlərin dielektrik nüfuzluğunun tədqiq olunmasının əsas metodlarından biri ellipsiometrik spektroskopiyadır. Ellipsiometrik spektroskopiya metodunun fiziki əsasında müxtəlif mühitlərin səth ayrılma sərhəddi ilə işığın qarşılıqlı təsirindən sonra işığın polyarizasiya halının dəyişməsi dayanır.

Yuxarıda qeyd olunanları nəzərə alaraq dissertasiyada $\text{TlIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$ tip kristallarının dielektrik nüfuzluğu ellipsiometrik spektroskopiya metodu ilə tədqiq olunmuşdur.

Tədqiqatlar $0.7 \div 6$ eV enerji diapazonunda aparılmışdır. Nümunə üzərinə düşən işıq şüası 5° addımla 60° -dən 75° -yə qədər bucaq altına düşmüşdür. Ellipsiometriya üsulu ilə ölçülən dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələrinin spektral asılılıqları müqayisəli təhlil olunaraq göstərilmişdir ki, fotonun enerjisinin 2.4 eV və 3.42 eV qiymətlərində maksimuma malikdir. Dielektrik nüfuzluğunun təcrübi qiymətlərinə əsasən tədqiq olunan kristalların optik funksiyaları təyin edilmişdir. Au-la aşqarlanmış TlInSe_2 kristalının dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissəsinin enerjiden asılılığı şəkil 8-də təsvir olunmuşdur.

Dielektrik nüfuzluğunun təcrübi qiymətlərinə əsasən



Şəkil 8. $\text{TlInSe}_2\langle\text{Au}\rangle$ kristalının dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələrinin fotonun enerjisindən asılılıqları.

sındırma əmsalının həqiqi hissəsi

$$n = \sqrt{\frac{1}{2}(\varepsilon_r + \sqrt{\varepsilon_r^2 + \varepsilon_i^2})}, \quad (3)$$

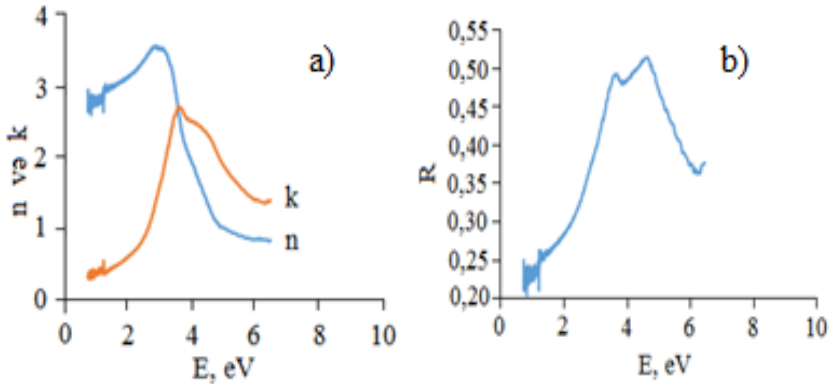
və xəyali hissəsi isə

$$k = \sqrt{\frac{1}{2}(-\varepsilon_r + \sqrt{\varepsilon_r^2 + \varepsilon_i^2})} \quad (4)$$

düsturları ilə hesablanmışdır.

Şəkil.9-da təsvir edilən $n(E)$ asılılığından görüldüyü kimi tədqiq olunan maddənin sındırma əmsalının həqiqi hissəsi özünün maksimal qiymətini enerjinin 2.74 eV, minimum qiymətini isə 6.44 eV –da əldə edir.

Ekstinksiya əmsalının xəyali hissəsinin enerjidən asılılığından görüldüyü kimi enerjinin 0.67 eV qiymətindən etibarən $k(E)$ artır. Enerjinin 3.50 eV qiymətində özünün maksimum qiymətini alır. Enerjinin 4.11 eV qiymətində isə yayılmış maksimum müşahidə edilir. Daha sonra enerjinin 6.44 eV qiymətinə qədər k azalır (şəkil 9,a).



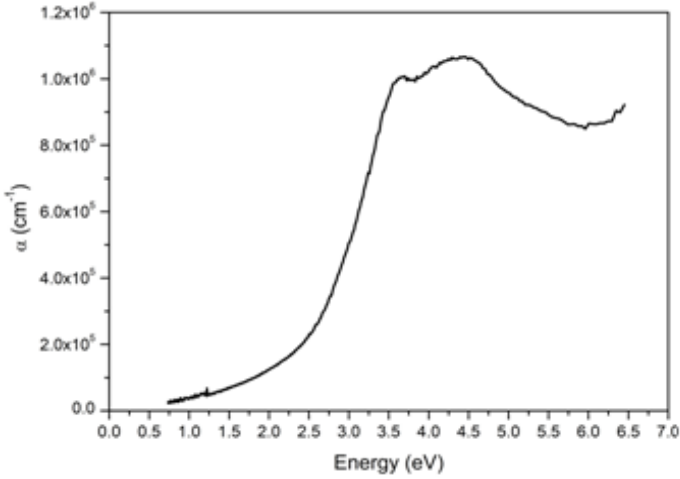
Şəkil 9. TIInSe₂<Au> kristalının sındırma əmsalının həqiqi və xəyali hissələrinin (a), optik qaytarma əmsalının (b) fotonun enerjisindən asılılıqları

Udma əmsalı aşağıdakı düsturla hesablanmışdır,

$$\alpha = \frac{4\pi k}{\lambda} \quad (5)$$

Burada k - ekstinksiya əmsalı, λ - dalğa uzunluğu, π - 3,14 – sabitdir.

Şəkildən görüldüyü kimi enerjinin 0.55 eV qiymətindən etibarən işığın udulması baş verir və özünün maksimal udulma enejişini 4.55 eV qiymətində alır (şəkil 10).

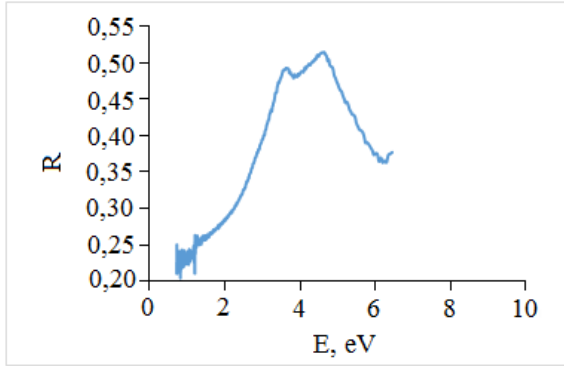


Şəkil 10. TlInSe₂ <Au> kristalının α optik udma əmsalının spektri

Qaytarma əmsalı aşağıdakı düsturla hesablanmışdır:

$$R = \frac{(n-1)^2 + k^2}{(n+1)^2 + k^2} \quad (6)$$

Alınmış nəticənin təhlili göstərilmişdir ki, 1.5÷3.72 eV enerji intervalında qaytarma əmsalı artır, enerjinin 3.832 eV qiymətində dərin minimum müşahidə olunur, daha sonra 4.73 eV-a qədər yenidən artır və sonra monoton olaraq 0.368 eV-a qədər azalır (şəkil 11).



Şəkil 11. TIInSe₂<Au> kristalının optik qaytarma əmsalının spektri

Elektronların enerji itkilərinin xarakterik funksiyaları isə aşağıdakı düsturla hesablanmışdır:

$$I_m(-\epsilon^{-1}) = \frac{\epsilon_i}{\epsilon_r^2 + \epsilon_i^2} \quad (7)$$

Nəticələrin təhlili göstərir ki, TIInSe₂<Au> kristalın effektiv sıxlığı enerjinin 0.805÷3.52 eV intervalında kəskin olaraq artır və özünün maksimum qiymətini alaraq enerjinin 6.44 eV qiymətinə qədər azalır (şəkil 12,b).

Elektrik itkisinin enerjiden asılılığının təhlili göstərmişdir ki, 0.76÷6.397 eV enerji intervalında 0.28-dən 0.337-yə qədər artır (şəkil 12, a).

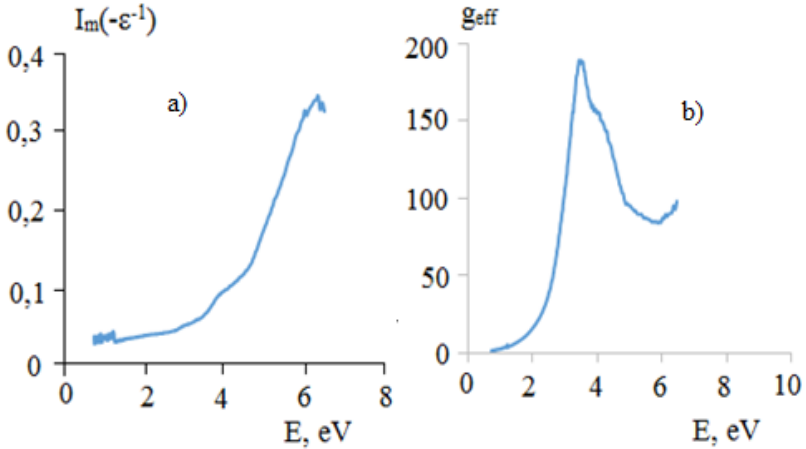
Birləşmənin optik keçiriciliyinin həqiqi və xəyali hissələri aşağıdakı düsturla hesablanmışdır.

$$\sigma_r = \frac{\omega\epsilon_i}{4\pi}, \quad \sigma_i = -\frac{\omega\epsilon_r}{4\pi} \quad (8)$$

Analoji qayda da Ge - la aşqarlanmış InSe və dördqat TIIn₂GaSe₄ kristalın dielektrik nüfuzluqlarının həqiqi və xəyali hissələrinin enerjiden asılılıqlarına əsasən optik funksiyaları da təyin edilmişdir.

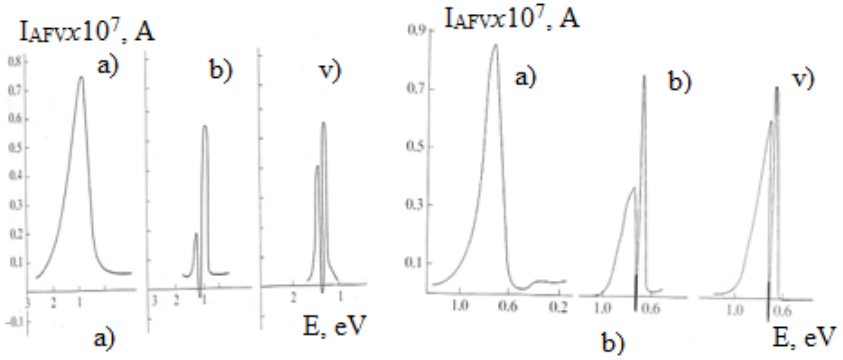
Bu fəsildə həmçinin TIInSe₂(Te₂) kristallarında akustofotovoltaik (AFV) effektin tədqiqinin nəticələri öz əksini tapmışdır. Tədqiqatlar 0.2 ÷ 0.4 mm, eni 1 ÷ 1.5 mm, nümunənin

uclarına qoyulan simmetrik elektrodlar arasındakı məsafə isə $3 \div 7$ mm olmuşdur.



Şəkil 12. TIInSe₂<Au> kristalın enerji itkilərinin xarakterik funksiyalarının (a) və effektiv sıxlığının (b) enerjiden asılılığı.

Nümunə nazik, bərk akustik kontakt və yaxud da sürtkü yağı ilə səs dalğaları şüalandırıcısının üzərində yerləşdirilir. Səs dalğalarının və elektromaqnit dalğalarının nümunə üzərinə bir-birinə perpendikulyar istiqamətlərdə düşməsi halında nümunənin ucları arasında e.h.q.-nin meydana çıxması aşkar edilmişdir. Fotovoltaik effekt məlum fotoakustik effektlərdən fərqli xüsusiyyətlərə malikdir. Ağ işıqla sabit işıqlandırma zamanı akustik dalğanın tezliyini artırarkən, ümumi AFV e.h.q.-nin işarəsi periodik dəyişir. Bu effektin spektral asılılığı da özünə məxsus xüsusiyyətə malikdir. Kristal üzərinə düşən işığın intensivliyini, akustik dalğanın tezliyi və gücünü, elektrodlar arasındakı məsafəni, habelə xarici sahələrin yarımkeçirici materialın kristalloqrafik oxlarına nəzərən yönəlməsini dəyişməklə eyni bir kristalın spektral xarakteristikasını dəyişmək və prosesi idarə etmək mümkündür (şəkil 13).



Şəkil 13. TI GaTe₂ (a) və TI InTe₂ (b) kristalların səs tezliyinin 15 kHs (a), 35 kHs (b) və 50 kHs (v) qiymətlərində AFV effektin qısa qapanma cərəyanının

TI InSe₂, TI InTe₂ və TI GaTe₂ kristallarının tədqiqi göstərmişdir ki, əslində $J_{AFV}(\hbar\omega)$ asılılığında $\hbar\omega_i = \hbar\omega_i^{\max}$ olduqda qısa qapanma cərəyanı həmişə sıfıra uyğun gəlmir, əksinə çox vaxt $J_{AFV} \neq 0$ olur. Bununla belə, qısa qapanma cərəyanının bu qiyməti səs dalğasının ω_s tezliyi və w_s gücündən, həmçinin elektrodlar arasındakı məsafənin qiymətindən asılı olaraq həm müsbət, həm də mənfi ola bilər.

Aparılan bütün spektral ölçmələrin təhlili göstərir ki, $J_{AFV}(\hbar\omega_i)$ asılılığında məxsusi keçiriciliyin maksimumu ($\hbar\omega_i = \hbar\omega_i^{\max}$) qısa qapanma cərəyanının qiymətini səsin tezlik və gücünü, həmçinin elektrodlar arasındakı məsafəni dəyişməklə idarə etmək üçün daha həssas nöqtədir. $\hbar\omega_i = \hbar\omega_i^{\max}$ spektral nöqtəsində AFV effektin qeydə alınan yüksək həssaslığı çox ehtimal ki, bu nöqtədə müsbət və mənfi toplananların öz aralarında bir-birini kompensasiya etməsi ilə əlaqədardır.

Elektron və deşiklərin tezlik məhdudiyətləri

$$\tau_n \gg T_s (\omega_s \tau_n \gg 1) \text{ və } \tau_p \gg T_s (\omega_s \tau_p \gg 1)$$

kimidir. Burada, τ_n - elektronların, τ_p - deşiklərin yaşama müddəti, T_s - səs dalğasının periodudur.

Fiziki olaraq bu o deməkdir ki, yükdaşıyıcıların bir-birilə effektiv qarşılıqlı təsirdə olması üçün onların yaşama müddətləri elastiki dalğaların periodundan böyük olmalıdır ($qv\tau_{n,p} \gg 1$).

Bizim tədqiq etdiyimiz kristallarda elektron və dəşiklərin yaşama müddətləri bir-birindən əhəmiyyətli dərəcədə fərqləndiyindən tezliyi dəyişməklə AFV effektində iştirak edən elektron və ya dəşiklərin sayını məhdudlaşdırmaq olar. Bu effektin bir sıra mexanizmləri anion radikallarının rezonans həyəcanlanması ilə əlaqədar olmalıdır. Təbiidir ki, bu effektin yuxarıda təsvir olunan izahı bitkin qəbul edilə bilməz. Bunun üçün əlavə tədqiqatlara ehtiyac var. Bunlarla yanaşı müəyyən sinif kristallarda aşkar edilmiş bu effektin çox geniş tətbiqolunma imkanları vardır.

Xatırladaq ki, spektral xarakteristikada $\hbar\omega_{01}$ və $\hbar\omega_{02}$ invers nöqtələri (yəni J_{AFV} -nin işarəsinin dəyişmə nöqtələri) elə xarakterik nöqtələrdir ki, bu zaman yarımkeçirici nə səs dalğalarının, nə də elektromaqnit şüalanmasının təsirinə reaksiya vermir, yəni, bu nöqtələrdə kristal nə «görmür», nə də «əşitmir». Spektrin qalan hissəsində, xüsusilə də fotonəzəməliliyin maksimumunda kristal yüksək həssaslığa malik olur və səsi qəbul etmə qabiliyyəti də çox yüksək olur.

E.h.q.-nin yaranması üçün işığın və səsin eyni zamanda təsir etməsi vacib şərt olduğundan, bu prinsip əsasında hazırlanmış «görmə» və «əşitmə» aparatları nadir (və mühüm) xüsusiyyətlərə malik olmalıdırlar. Belə ki, bu aparatlar səs gələndə «görmək» (səs, danışmaq olmayanda «kor» olmaq) və əksinə, işıqlanma olduqda, məsələn gündüzlər, «əşidib», işıqlanma olmadıqda (gecələr) «kar» olmalıdırlar.

Bu prinsiplə işləyən və bərk cisimlər əsasında hazırlanmış çeviricilər canlı orqanizmin görmə və eşitməsi arasında məntiqi əlaqənin model təsviri ola bilərlər.

Ətraf mühitin mühafizəsi problemi, bioloji, tibbi, fiziki tədqiqatlar atmosferdə, istehsalat və yaşayış sahələrində tədqiq olunan maye və qaz qarışıqlarında müxtəlif maddələrin atom və molekullarının konsentrasiyasını təyin etmək üçün çoxlu sayda qeydedici qurğuların mövcud olmasını tələb edir.

ƏSAS NƏTİCƏLƏR

1. Rentgenfaza və atom qüvvə mikroskopu ilə tədqiq olunan kristalların stexiometrik analizləri aparılmış, onların bircinslilikləri təyin edilmiş və göstərilmişdir ki, TlInC_2 sistemində növbə ilə In və Tl atomlarının Ga atomları ilə əvəzlənməsi zamanı əvəz edən atomların ion radiuslarının daha kiçik olması səbəbindən qismən kənarçıxma ilə qəfəs sabitlərinin Veqard qanunu üzrə azalması baş verir.

2. $\text{TlInSe}(\text{Te})_2$ kristallarının elektrofiziki xassələrinin temperatur asılılıqlarının tədqiqi ilə onların fundamental fiziki parametrləri təyin edilmiş və göstərilmişdir ki, In və Tl atomları növbə ilə Ga atomları ilə əvəz olunduqda Ga -un iştirakı ilə yaranan kimyəvi rabitələrin enerjisinin yüksək olması səbəbindən qadağan zonanın eni artır.

3. TlInC_2 kristallarının elektrikkeçiriciliyinin qüvvətli elektrik sahəsində temperaturdan və elektrik sahəsinin intensivliyindən asılı olaraq dəyişməsi termik - elektron emissiya mexanizmi ilə əlaqədardır.

4. $\text{TlIn}(\text{Ga})\text{C}_2$ kristallarının volt-ampere xarakteristikalarının tədqiqi ilə müəyyən edilmişdir ki, bu kristallar çevirici xassəyə malikdirlər. Temperaturun artması ilə çevirmənin baş verdiyi astana gərginliyi azalır və mənfi diferensial müqavimət oblasti daralır. Nəticələr termik - elektron modeli əsasında kristalların daxilində elektrodlar arasında yükdaşınmanı təmin edən və en kəsiyinin sahəsi temperaturun artması ilə artan, temperaturun azalması ilə əvvəlki halına qayıtması baş verən kiçik müqavimətli sapların mövcudluğu ilə izah edilir.

5. Müəyyən edilmişdir ki, $\text{TlIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$ kristalları $[001]$ kristalloqrafik oxu istiqamətində həm dartılma, həm də sıxılma deformasiyasında yüksək tenzohəssaslıq əmsalına malikdirlər. Bu fakt yüksək və alçaq yürüklüyə malik yükdaşıyıcıların nisbi sayının dəyişməsi ilə izah olunmuşdur.

6. Müəyyən edilmişdir ki, $\text{TlInSe}_2(\text{Te}_2)$, TlGaTe_2 monokristallarına bir-birinə perpendikulyar istiqamətdə elektromaqnit və səs dalğaları ilə təsir etdikdə kristalın $[001]$ oxu istiqamətində

işığın və səs dalğalarının təsirlə idarə olunan e.h.q. (qapalı dövrdə elektrik cərəyanı) yaranır. Fərz edilir ki, fotonla qarşılıqlı təsir nəticəsində sərbəstləşən və kinetik enerjisi artan yükdaşıyıcılar akustik fononla qarşılıqlı təsirdə olaraq səs dalğasının yayılma istiqmətində əlavə impuls alması hesabına AFE effekti baş verir.

7. Müəyyən edilmişdir ki, tenzoötürücü üzərinə düşən işıq intensivliyinin dəyişməsi nümunənin tenzorezistiv və pyezorezistiv əmsallarının dəyişməsinə səbəb olduğundan, $TlIn_{0,9}Ga_{0,1}Se_2$ kristalında aşkar edilmiş tenzorezistiv və pyezorezistiv effektlərə əsaslanan qurğular vasitəsilə işıq intensivliyinin zəif dəyişmələrini qeyd etmək mümkündür.

8. Kristallarının Raman səpilmə spektrlərində fonon tezlikləri müəyyən edilmişdir: $InSe<Ge>$ (40 sm^{-1} , 105 sm^{-1} , 180 sm^{-1} və 230 sm^{-1}), $TlSe<Ge>$ (38 sm^{-1} , 142 sm^{-1} , 159 sm^{-1}), $InGaTe_2$ (100 sm^{-1} , 123 sm^{-1} və 142 sm^{-1}), $TlGaSe_2$ (42 sm^{-1} , 52 sm^{-1} , 129 sm^{-1} , 189 sm^{-1}), $Tl_2InGaSe_4$ (46 sm^{-1} , 109 sm^{-1} , 189 sm^{-1} , 271 sm^{-1}). Spekrtdə müşahidə olunan rəqs modları ədəbiyyatda mövcud olan digər müəlliflərin aşqarsız kristallarada aldığı nəticələrlə uyğun gəlir.

9. $TlIn_{1-x}Ga_xSe_2$ bərk məhlullarının təkmil səthə malik olan kristallarının dielektrik nüfuzluğunun həqiqi (ϵ_1) və xəyali (ϵ_2) hissələrinin enerjiden asılılıqları spektral ellipsiometriya metodu ilə 300 K temperaturda tədqiq edilmiş və optik parametrlərin (ekstinksiya, optik udulma və sındırma əmsalları) ədədi qiymətləri hesablanmışdır.

Dissertasiya işinin mövzusunə aid dərc olunmuş elmi işlərin siyahısı:

1. Gojəyev, E.M. The Switching effect in single crystals $\text{InGa}_{1-x}\text{Tl}_x\text{Te}_2$ / E.M.Gojəyev, S.O.Guliyeva, G.N.Mamedova. // American Scientific Journal, - 2017. vol.1, № 17, - p. 45-52.

2. Gojaev, E.M. Switching effect with memory in $\text{TlIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$, $\text{TlIn}_{1-x}\text{Ce}_x\text{Se}_2$ crystals / E.M.Gojaev, G.N.Mammadova, B.V.Aliyeva. // (C) Global Journal of Engineering Science and Researches, - 2018. vol.5, № 12, - p. 177-183.

3. Qocayev, E.M., Məmmədova, G.N. $\text{TlIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$ kristallarının rentgenfaza analizi və elektrik xassələri // AMEA-nın Fizika institutu Elmi əsərlər, Fundamental elmlər, Elmi-texniki jurnal, - Bakı: - 2018. №2, - s. 60-63.

4. Məmmədova, G.N., Əliyeva, P.F. $\text{TlIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2(\text{Te}_2)$ bərk məhlullarının monokristallarının yetişdirilməsi və rentgenfaza analizi // AzTU, Elmi əsərlər, Fundamental elmlər, Elmi-texniki jurnal, - Bakı: - 2018. №4, - s. 18-24.

5. Məmmədova, G.N. TlInTe_2 və TlGaTe_2 kristallarında akustofotovoltaiq effektin tədqiqi // Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XXII Respublika elmi konfransı, ADPU, - Bakı: - 22-23 noyabr, - 2018, - s. 22-26.

6. Qocayev, E.M. Рентгенофазовый анализ и электронная структура соединения InGaTe_2 / E.M.Qocayev, G.N.Məmmədova, A.M.Ramazanadə // Milli aviasiya akademiyası Elmi məcmuələr, "Azərbaycan hava yolları", QSC, - Bakı: - 2018. cild 20, №4, - s. 54-60.

7. Qocayev, E.M. Məmmədova, G.N. $\text{TlIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{C}_2$ tip kristalların alınması və rentgenfaza analizi // "Maqniyumşaq ərintilərin İnformasiya Texnologiyalarında və Hərbi Sənayedə Tətbiqi Perspektivləri" mövzusunda Beynəlxalq Elmi-Praktik konfrans, - Bakı: - 09-10 oktyabr, - 2019, - s.114-116.

8. Məmmədova, G.N., Səfərova, S.İ. $\text{TlIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$ kristallarının tenzorezistiv xassələri // "Tətbiqi fizika və energetikanın aktual məsələləri" mövzusunda II Beynəlxalq Elmi konfrans, - Sumqayıt: - 12-13 noyabr, 2020, - s. 44-48.

9. Qocayev, E.M. Yarımkeçirici materialların texnologiyası və onların parametrlərinin təyini. Dərslik / E.M.Qocayev,

V.C.Rüstəmov, G.N.Məmmədova - Bakı: "Ləman Nəşriyyat Poliqrafya MMC", – 2020. - 185 s.

10. Qocayev, E.M. The investigation of the acousto-photovoltaic effect in single crystals $TlIn_{1-x}Ga_xSe_2$ / E.M.Qocayev, G.N.Məmmədova, S.S.Osmanova [et al.] // International Journal of Modern Physics B, - 2021. vol. 35, №1, - p. 2150011-2150021.

11. Məmmədova, G.N. Исследование электропроводности тройных соединений $TlInSe_2$ и $TlInTe_2$ в сильных электрических полях // Journal of Baku Engineering University, Physics, - 2021. vol.5, №1, - s. 56-63.

12. Məmmədova, G.N., Məmmədova, S.İ. $TlIn_{1-x}Ga_xC_2^{VI}$ bərk məhlullarının elektrofiziki xassələri // Ümummilli Lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 98-ci ildönümünə həsr olunmuş "Gənc Tədqiqatçıların V Beynəlxalq Elmi Konfransı", BMU, -Bakı: - 29-30 aprel, 2021, - s. 980-983.

13. Gojaev, E.M., Mammadova, G.N. Tensoresistive properties of single crystals $TlIn_{1-x}Ga_xSe_2$ // International Journal of Modern Physics B, - 2021. vol. 35, №19, - p. 2150201-1 – 2150201-7.

14. Qocayev, E.M. $TlIn_{1-x}Ga_xSe_2$ və $TlIn_{1-x}Ga_xTe_2$ kristallarının elektrofiziki xassələri / E.M.Qocayev, G.N.Məmmədova, S.İ.Məmmədova [və b.] // AzTU, Elmi əsərlər, Fundamental elmlər, Elmi-texniki jurnal, - Bakı: - 2021. №1, - s. 22-31.

15. Gojaev, E.M. Photoelectric properties of $TlGa_xIn_{1-x}Se_2$ ($x=0-1$) single crystals / E.M.Gojaev, G.N.Mammadova, R.S.Rehimov, P.F.Aliyeva // International Journal of Modern Physics B, - 2022. vol. 36, №16, -p. 2250083.

16. Gojaev, E. Piezomodulation of electrical conductivity in $TlIn_{0.9}Ga_{0.1}Se_2$ single crystals. / E.Gojaev, F.Mammadov, G.Mammadova [et al.] // International Journal of Modern Physics B, - 2022. vol.36, №18, - p. 2250102.

17. Məmmədova, G.N. $A^{III}B^{III}C_2^{IV}$ tip zəncirvari quruluşlu birləşmələrin zona quruluşlarının qanunauyğunluqları // NDU, Elmi əsərlər, Fizika-riyaziyyat və texniki elmlər seriyası, Naxçıvan: - 2022. №4, - s. 19-24.

Dissertasiyanın müdafiəsi 22 noyabr 2023-cü il tarixində saat 14⁰⁰-da Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Fizika İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən ED 1.14 Dissertasiya Şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ 1143, Bakı şəhəri, H.Cavid prospekti, 131.

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

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

Avtoreferat 14 oktyabr 2023-cü il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 13.10.2023

Kağızın formatı: A5

Həcm: 39444

Tiraj: 100