

# AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

*Əlyazması hüququnda*

## **A<sup>3</sup>B<sup>3</sup>C<sub>2</sub> Qrupunun Birləşmələri Əsasında Bərk Məhlulların Nazik Təbəqələrində Faza Keçidləri və Kristallaşma Kinetikası**

İxtisas: 2211.01 – Bərk cisimlər fizikası

Elm sahəsi: Fizika

İddiaçı: **Eldar Şahsuvar oğlu Ələkbərov**

Elmlər doktoru elmi dərəcəsi almaq  
üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

### **AVTOREFERATI**

**BAKI – 2023**

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

Elmi məsləhətçi:

– fizika-riyaziyyat elmlər doktoru, professor  
**Hüseyn Behbud oğlu İbrahimov**

Rəsmi opponentlər:

- AMEA-nın müxbir üzvü,  
fizika-riyaziyyat elmlər doktoru, professor  
**Oktay Əbil oğlu Səmədov,**
- AMEA-nın müxbir üzvü,  
fizika-riyaziyyat elmlər doktoru, professor  
**Səlimə İbrahim qızı Mehdiyeva,**
- fizika-riyaziyyat elmlər doktoru, professor  
**Sofya Rüstəm qızı Fiqarova,**
- fizika elmləri doktoru, professor  
**Məntiq Bahadur oğlu Cəfərov**



Azərbaycan Respublikasının Prezidenti Yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Bakı Dövlət Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.19 Dissertasiya şurası

Dissertasiya şurasının sədri:

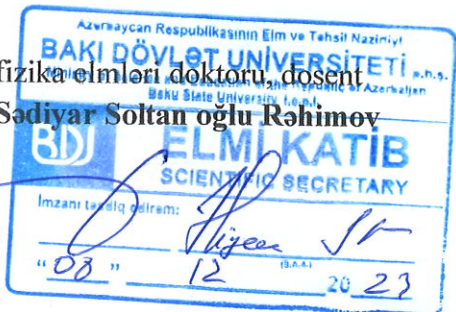
fizika elmləri doktoru, dosent  
**Hüseyn Mikayıl oğlu Məmmədov**

Dissertasiya şurasının elmi katibi:

fizika üzrə fəlsəfə doktoru  
**Şəhla Nəbi qızı Hacıyeva**

Elmi seminarın sədri:

fizika elmləri doktoru, dosent  
**Sədiyar Soltan oğlu Rəhimov**



## **İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI**

**Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi.** Faza keçidləri də daxil olmaqla, struktur çevrilmələri uzun illərdir dünyanın elmi mərkəzlərində tədqiq edilir. Yarımkəçiricilərin davamlılıq və digər xüsusiyyətlərinin, bir çox texnoloji parametrlərinin artırılması məqsədilə, ilk növbədə, struktur dəyişiklikləri tədqiq etmək vacibdir. Struktur çevrilmələr haqqında məlumatlar daha çox keyfiyyət xarakterli olur. Bu, sistemlərin mürəkkəbliyi, eləcə də praktiki əhəmiyyətə malik proseslərin öyrənilməsi zamanı yaranan eksperimental çətinliklər ilə bağlıdır. Struktur çevrilmələrin kəmiyyət etibarlılığı ilə tədqiqi üçün zəmin yaradılıb və gələcəkdə həmin istiqamətdə daha böyük nailiyyətlər əldə ediləcək. Əslində, struktur dəyişikliklər bərk cisimlərdə baş verən kimyəvi və fiziki proseslərin nəticəsidir.

Yeni funksional yarımkəçirici materialların yaradılması zamanı nanostruktur çoxkomponentli yarımkəçirici birləşmələrin alınma metodlarına maraq xeyli artmışdır. Həmin birləşmələrin ifratnazik təbəqələri məhdud ölçülü (hər halda, bir ölçüdə) strukturlara aiddir. Yuxarıda göstərilən və digər səbəblərə əsasən nazik təbəqəli nümunələrdə müxtəlif proseslərin tədqiqi ümumelmi əhəmiyyətə malikdir, çünki bu istiqamətdə əldə edilən nəticələr ayrı-ayrı nanoqalınlıqlı layların və onlar arasında sərhədlərin mükəmməl strukturuna malik coxtəbəqəli qeterostrukturlar və ifrat qəfəslərin yaradılmasında istifadə oluna bilər. Müvafiq tərkibli iri monokristallik nümunələrin xüsusiyyətlərindən əsaslı surətdə kvant xassələri ilə fərqlənən bu cür təbəqələr fiziki və optik parametrlərinə görə naziktəbəqəli strukturların nanotexnologiyasında xüsusi əhəmiyyət kəsb edir, elmi-texniki tədqiqatlara təkan verir və müasir bərk cisimli elektronika cihazlarının hazırlanmasında təməl rolunu oynayır.

Atomların düzülüşündə yaxın nizamın və onunla bağlı xüsusiyyətlərin saxlanılması, ya da pozulması yarımkəçiricilər xassələrinin saxlanılması, yaxud itirilməsini şərtləndirir. Həmin xassələr tərkib – struktur – xüsusiyyətlər qarşılıqlı əlaqəsində zəruri və fundamental halqalardır. Enerjilər üzrə elektronların süzgəcdən keçirilməsi imkanı ilə intensivliklərin elektrometrik ölçmə sistemindən istifadə etməklə nazik amorf təbəqələrin elektronqrafik tədqiqi həmin üsulla həll edilən məsələlər içərisində xüsusi yer tutur. Yarımkəçirici nazik

təbəqələrin elektrofiziki və optik xüsusiyyətlərinin saxlanılması üçün temperatur rejiminə əməl etmək lazımdır, bu isə müəyyən çətinlik törədir və bəzən mümkün deyil. Həmin səbəbdən optoelektronika elementlərinin layihələndirilməsi mərhələsində müvafiq hesablamalar aparmaq məqsədilə maddənin bir haldan digərinə, məsələn, amorfdan kristal quruluşa keçmə qanunlarını və amorf təbəqələrin kristallaşması üzrə kəmiyyət göstəricilərini bilmək vacibdir. Beləliklə, faza tərkibi, fazaların homogenliyinin, faza dəyişmələrinin sərhədləri, kristallik quruluşun böyümə mexanizmləri və mükəmməllik dərəcəsinin təyini kimi tədqiqatlar bərk cismin fiziki-kimyəvi xassələrinin öyrənilməsi zamanı önəm kəsb edir. Bu isə, öz növbəsində, həcmli kristallarda əldə edilməsi mümkün olmayan nadir, təkrarlanan xüsusiyyətlərə malik yeni naziktəbəqəli materialların məqsədyönlü axtarışına imkan yaradır.

Yuxarıda qeyd olunanlara əsasən, dissertasiya işində həll edilən məsələlərin aktuallığı Sn və Ge kimyəvi elementləri ilə aşqarlanmış Tl-In(Ga)-Te<sub>2</sub>(Se<sub>2</sub>,S<sub>2</sub>) sistemlərində yeni fazanın əmələgəlməsinin ümumiləşdirici qanunauyğunluqlarının müəyyənləşdirilməsidir. Yüksək effektivli foto- və termoelementlər, lazer şüalarının modulyatoru və qəbulediciləri, qeyri-xətti optik çeviricilər qismində istifadə edilən aşqarlanmış və aşqarlanmamış üç komponentli birləşmələrin perspektivliyi yerli və xarici alimlərin məqalələrində işıqlandırılıb. İşin aktuallığı həmçinin proqnozlaşdırma zamanı ifratquruluşlu dövriliyə malik yeni materialların axtarışından və ifratstrukturulu fazaların əsasında əmələ gəlmiş bərk məhlulların ifrat qəfəslərinin ölçülərinin idarə olunmasından ibarətdir. Bu yeni xassəli nazik epitaksial təbəqələr praktiki tətbiqlə əlaqədar əsasən optoelektronika sahəsində cihazqayırma sənayesinin inkişafına yol açır.

IV qrup kimyəvi elementləri ilə aşqarlanmış A<sup>3</sup>B<sup>3</sup>C<sub>2</sub><sup>6</sup> birləşmələrinin amorf təbəqələrində atomların yaxın nizam quruluşlarının və kondensasiya olunmuş halların fizikasının ayrılmaz hissəsi kimi faza keçidlərinin kinetik parametrlərinin müəyyənləşdirilməsi müxtəlif texnoloji rejimlərin yaranması zamanı elmi cəhətdən əsaslandırılmış yanaşma üçün fundamental əsas ola bilər, bu isə işin aktuallığını bir qədər də artırır.

**Tədqiqatın obyektı və predmeti.** Tədqiqatın obyektı dövrü sistemin IV qrup kimyəvi elementləri ilə aşqarlanmış A<sup>3</sup>B<sup>3</sup>C<sub>2</sub><sup>6</sup> qrupuna

daxil olan yarımkeçirici nanoqalınlıqlı təbəqələrdir. Ənənəvi yarımkeçiricilərdən fərqlənən zəncirvari və laylı quruluşlarda kristallaşan  $TlIn_{1-x}Sn_xX_2$  ( $X - Te, Se, S$ ) və  $TlGa_{1-x}Ge_xX_2$  ( $X - Te, Se, S$ ) ( $0.01 \leq x \leq 0.09$ ) birləşmələrinin tədqiqat obyektini seçilməsi onların bir sıra spesifik xüsusiyyətlərə malik olması ilə şərtlənir. IV qrup kimyəvi elementləri ilə aşqarlanmış hər bir üçqat birləşmə struktur yenedənqurmaya meyllidir və bir neçə modifikasiyaya malikdir, hətta qüsurlu strukturlar əmələ gətirir və burada atomların bir qismi yerlərini statistik cəhətdən tutur, atom çatışmazlığını isə aşqarların atomları doldurur. Bu, müəyyən şəraitdə xassələrin dəyişkənliyinə gətirib çıxarır və onların tətbiqini, xüsusilə nəzərdə tutulmamış bəzi dəyişikliklər olduqda, məhdudlaşdırır. Tədqiqatın predmetini bərk məhlulların nazik təbəqələrinin izotermik emalı zamanı kristallaşma prosesində faza keçidinin kinetikasi və həmin təbəqələrin ifrat quruluşlarda formalaşması qanunauyğunluqlarının öyrənilməsi təşkil edir.

**Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri.** Üçkomponentli birləşmələrin struktur xüsusiyyətlərinə aşqarların təsirinin müəyyənləşdirilməsi, müxtəlif substruktura malik nazik təbəqələrdə faza keçidlərinin, eləcə də amorf təbəqələrin kristallaşma kinetikasının öyrənilməsi və  $A^3B^3C_2^6$  qrupuna daxil olan birləşmələrin əsasında, kimyəvi elementlərin dövrü sisteminin IV qrup elementlərinin aşqar kimi tətbiqi ilə ifratstrukturlu bərk məhlulların əmələ gəlməsinin tədqiqi işin məqsədini təşkil edir.

Dissertasyada təklif olunan və müasir texnikada tətbiqi əhəmiyyətə malik elmi istiqamətin inkişafı məqsədilə aşağıdakı hallarda mövcud tədqiqat metodikasi təkmilləşdirilmişdir: 1) tərkibində tez uçan və tez oksidləşən komponentlər olan nazik təbəqələrin alınması; 2) təbəqələrin qalınlığından, altlıqların temperaturu və təbiətindən asılı olaraq, müxtəlif mükəmməllik dərəcəsinə malik nazik təbəqələrin, o cümlədən ifratstrukturlu epitaksial təbəqələrin, struktur xüsusiyyətləri və onlarda faza çevrilmələri; 3) amorf təbəqələrdə yaxın nizamın elektronqrafik tədqiqatı nəticəsində alınan məlumatların ilkin işlənməsi üçün program təminatından istifadə olunmuşdur.

Yuxarıda qeyd edilən məqsədə nail olmaq üçün elmi tədqiqatların ən münasib istiqamətini seçmək və aşağıdakı əsas məsələləri həll etmək vacibdir:

1. Kimyəvi elementlərin bir sıra fiziki xassələrini nəzərə alaraq,

tez buxarlanan və tez oksidləşən komponentlər tərkibli nazik təbəqələrin işlənməsi zamanı ən optimal variantları tapmaq, aşqar vurma üsulu ilə  $A^3B^3C_2^6$  qrupuna daxil olan birləşmələrin hər birinin IV qrup elementləri ilə qarşılıqlı təsirini müəyyənləşdirmək. Bərk məhlulların nazik təbəqələrinin əmələgəlmə şəraitini,  $Tl - In(Ga) - Te_2$  ( $Se_2, S_2$ ) sistemlərinin konkret struktur modifikasiyalarına aid olan üçqat birləşmələrin mövcud faza sahələrini təhlil etmək. Sözü gedən üçqat nazik təbəqələrin onlara yeridilən aşqarlar ilə qarşılıqlı təsiri prosesində struktur cəhətdən formalaşmış və sırf stexiometrik tərkiblərin fazalarının bütün əmələgəlmə aspektlərinin ümumiləşdirilməsini aparmaq.

2.  $TlIn_{1-x}Sn_xX_2$  ( $X - Te, Se, S$ ),  $TlGa_{1-x}Ge_xX_2$  ( $X - Te, Se, S$ ) epitaksial – monokristal nazik təbəqələrinin əmələgəlmə imkanını araşdırmaq, bu və ya digər faza ilə mütənasib ifrat strukturların mövcudluğunu müəyyən etmək. Kimyəvi elementlərin dövri sisteminin IV qrup elementləri ilə aşqarlanmış  $A^3B^3C_2^6$  qrupuna daxil olan birləşmələrin ifratstrukturlu böyük periodlu atomar kristallik quruluşların, eləcə də epitaksial təbəqələrin yetkinlik dərəcəsinin yüksəlməsi ilə müşayiət olunan ifratqəfəslərin yaranma mexanizmlərini müəyyənləşdirmək və altlıqların kristalloqrafik müstəviləri ilə bunların üzərində alınmış nazik təbəqələrin müstəviləri arasında istiqamətləndirmə münasibətlərini üzə çıxarmaq.

3.  $TlIn_{1-x}Sn_xX_2$  ( $X - Te, Se, S$ ) və  $TlGa_{1-x}Ge_xX_2$  ( $X - Te, Se, S$ ) tərkibli amorf nazik təbəqələrdə atomların radial paylanmasının funksiyalarını müəyyənləşdirmək. Koordinasiya sferalarında atomların sayını, eləcə də müəyyən atomdan  $r$  məsafəsində yerləşən bu və ya digər atom növünün qarşılaşması ehtimalını təyin etmək. Bunun üçün kimyəvi elementlərin dövri sisteminin IV qrup elementləri ilə aşqarlanmış  $A^3B^3C_2^6$  üçqat birləşmələrinin ikitərtibli telluridlərinin (selenidlərinin, sulfidlərinin) amorf nazik təbəqələrində atomlararası qarşılıqlı təsirləri nəzərə almaq.

4. Adi şəraitdə, yəni xarici təsirlər olmadan, termik buxarlanma üsulu ilə alınan  $TlIn_{1-x}Sn_xX_2$  ( $X - Te, Se, S$ ) və  $TlGa_{1-x}Ge_xX_2$  ( $X - Te, Se, S$ ) ( $0.01 \leq x \leq 0.09$ ) tərkibli amorf nazik təbəqələrdə faza dəyişmələri kinetikasi prosesini müəyyən etmək.

5. Molekulyar dəstənin çökmə istiqamətinə paralel xarici elektrik sahənin təsiri şəraitində alınan  $TlIn_{1-x}Sn_xX_2$  ( $X - Te, Se, S$ ) və  $TlGa_{1-x}Ge_xX_2$  ( $X - Te, Se, S$ )

$x\text{Ge}_x\text{X}_2$  (X – Te, Se, S) ( $0.01 \leq x \leq 0.09$ ) amorf nazik təbəqələrinin kristallaşma kinetikasının parametrlərini müəyyənləşdirmək.

6. NaCl, KJ, KCl monokristal altlıqlarında Tl – In(Ga) – Te<sub>2</sub>(Se<sub>2</sub>, S<sub>2</sub>) nazik təbəqələrinin müxtəlif fazalarının formalaşmasına və kristal qəfəslərin böyümüş periodlarına malik mükəmməl epitaksial təbəqələrin alınmasına Sn və Ge atomlarının kəmiyyət etibarilə təsirini aydınlaşdırmaq.

7. Üçqat birləşmələrin komponentlərinin aşqar atomları ilə  $0.01 \leq x \leq 0.09$  intervalında əvəzlənməsinin mümkünlüyünü müəyyənləşdirmək və TlIn<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>X<sub>2</sub> (X – Te, Se, S) və TlGa<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>X<sub>2</sub> (X – Te, Se, S) sistemlərində ifratstrukturlu fazalar əsasında bərk məhlulların formalaşma sahəsinin intervalını göstərmək.

Qarşıya qoyulmuş məqsədə nail olmaq üçün aşağıdakı məsələlərin həlli vacibdir: aşqarlanmış üçqat birləşmələrin amorf, polikristal, teksturlanmış, monokristal epitaksial təbəqələrinin struktur xassələrinin təyini, sözü gedən nazik təbəqələrdə faza keçidlərinin öyrənilməsi, ifratqəfəslərin mövcudluğunun sübuta yetirilməsi, ifratstrukturlu fazalar əsasında bərk məhlulların əmələgəlmə və müxtəlif substruktura malik təbəqələrin formalaşma xüsusiyyətlərinin təhlili. Göstərilən proseslərin tədqiqi, dissertasiyada inkişaf etdirilən elmi istiqamətin əsasını təşkil edərək, müasir texnika və optoelektronika sahəsində böyük tətbiqi əhəmiyyətə malikdir.

**Tədqiqat üsulları.** Sn və Ge ilə aşqarlanmış Tl – In(Ga) – Te (Se, S) sisteminin üçqat birləşmələrində müxtəlif substruktura malik fazaların əmələgəlmə prosesləri və dəyişmələri, xarici təsirlər və kimyəvi reaksiyalar nəticəsində baş verən struktur dəyişiklikləri, eləcə də TlIn<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>X<sub>2</sub> (X – Te, Se, S) və TlGa<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>X<sub>2</sub> (X – Te, Se, S) qeyristexiometrik tərkibli epitaksial nazik təbəqələrdə ifratstrukturlu fazalar əsasında bərk məhlulların formalaşması EQ və EMR-102 elektronograf qurğularının vəsaitilə elektronografiya üsulu ilə tədqiq edilmişdir. Müasir elm aləmində bu elektronografaların imkanlarından istifadə etməklə mürəkkəbtərkibli nanoölçülü nazik təbəqələrin daha dəqiq tədqiqini aparmaq mümkündür.

TlIn<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>Te<sub>2</sub>(Se<sub>2</sub>, S<sub>2</sub>) və TlGa<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>Te<sub>2</sub>(Se<sub>2</sub>, S<sub>2</sub>) amorf nanoqalınlı təbəqələrinin struktur tədqiqində EMR-102 elektronografından və elektronogramma əsasında elektronların təbəqədən səpilmə intensivliklərinin eksperimental ayrılmasını əldə etmək üçün MF-4 mikro-

fotometrindən istifadə olunmuşdur. Həmin elektronoqraf hərəkətsiz fotoelektron toplayıcı – yüksəkhəssaslı ötürücü qarşısında difraksiya şəkillərinin skan edilməsi üsulu ilə elastiki səpilmiş elektronların filtdən keçərək ayrılmasına imkan yaradan elektron difraksiya şəkilləri intensivliklərinin ölçmə sistemi ilə təchiz olunmuşdur.

Xarici elektrik sahənin təsiri altında və onsuz alınan  $TlIn_{1-x}Sn_xTe_2(Se_2, S_2)$ ,  $TlGa_{1-x}Ge_xTe_2(Se_2, S_2)$  (ilə  $0.01 \leq x \leq 0.09$ ) tərkibli amorf nazik təbəqələrin kristallaşma prosesi kinematik elektronografiya üsulu ilə tədqiq edilmişdir. Tədqiqat üçün nümunələr VUP-4 və VUP-5 universal vakuüm buxarlandırıcı qurğularından, altlıqlar üzərində nazik təbəqələrin elektrik sahəsində alınmasında sabit elektrik qidalandırma mənbəyi olan UİP-1 cihazından istifadə edilmişdir. Həmin təbəqələrin qalınlığı SPEKORD-210 PLUS spektrometri ilə, tərkibi isə SHİMADZU AA-6300 atom-absorbsiya spektrometri ilə yoxlanılırdı.

### **Müdafiyyə çıxarılan əsas müddəalar:**

1. Qalayla aşqarlanmış Tl – In – S sisteminin kondensasiyası zamanı nazik təbəqələrin alınması üsulu onların spesifik formalaşma xüsusiyyətlərini şərtləndirir. Komponentlərin çökdürmə sırasından asılı olmayaraq, ardıcıl buxarlanma aparıldıqda, amorf fazalar əmələ gəlir. Həmin nazik təbəqələrin termik emalından sonra  $TlIn_{1-x}Sn_xS_2$  ( $0.01 \leq x \leq 0.09$ ) birləşməsinin yalnız tetraqonal və monoklin kristallik quruluşları formalaşır.  $TlIn_{1-x}Sn_xS_2$  monoklin fazalı nazik təbəqələr dimorfdurlar. Tl – In – S sisteminin komponentləri Sn aşqarı ilə eyni zamanda buxarlandıqda quruluşuna görə 12 və tərkibinə görə 10 müxtəlif birləşmə və tetraqonal, monoklin, rombik modifikasiyalı  $TlIn_{1-x}Sn_xS_2$  əvəzetmə bərk məhlulu ayrılır. NaCl, KCl, KJ altlıqlarında otaq temperaturunda əmələ gələn bütün nazik təbəqələr seçilmiş buxarlanma variantı zamanı amorfudur.  $S=4\pi\sin \theta/\lambda$  ilə fərqlənən  $TlIn_{1-x}Sn_xS_2$  amorf təbəqələri üç modifikasiyada – monoklin, tetraqonal və rombik strukturlarda kristallaşır.

2. Ayrı-ayrı komponentlərin termik çökdürmə üsulu ilə alınan nazik təbəqələrdə Ge aşqarı ilə Tl – Ga – S sisteminin faza tarazlığı nazik təbəqənin formalaşma prosesinin ilkin şərtlərindən asılıdır və nəməlum qanunauyğunluqlarla müşayiət olunur. Ayırd və identifikasiya olunmuş tərkibi və quruluşuna görə 10 müxtəlif birləşmə və bərk məhlulun sabitliyi və təkrar alınması kondensasiya prosesinin para-



metrləri ilə təyin edilir və komponentlərin ardıcıl çökdürülməsi təqdirdə yuxarıda göstərilən kimyəvi elementlərin çökdürmə sırasından və maddələrin buxarlanma sürətindən asılıdır. NaCl, KCl, KJ altlıqlarında əmələ gələn bütün nazik təbəqələr, o cümlədən  $TlGa_{1-x}Ge_xS_2$ , amorf olur.

**3.** Çökdürmə sırasından asılı olmayaraq, otaq temperaturunda yerləşən yuxarıda göstərilmiş altlıqlarda komponentlər eyni zamanda buxarlandıqda, Tl, Ga, Se və Ge aşqarının ardıcıl çökdürülməsi yolu ilə alınan  $TlGa_{1-x}Ge_xSe_2(S_2)$  ( $0,01 \leq x \leq 0,09$ ) nazik təbəqələrdə faza tarazlıqları ilə müşayiət olunan amorf halda müxtəlif tərkibli ikiqat və üçqat kimyəvi birləşmələr formalaşır.  $TlGa_{1-x}Ge_xSe_2$  amorf təbəqələrinin formalaşma temperaturunun intervalı 363K-dən 392K-ə qədər artır və onlar analoji aşqarsız birləşmələrə nisbətən daha aşağı temperaturlarda kristallaşır. Qeyd etmək lazımdır ki,  $TlGa_{1-x}Ge_xTe_2(Se_2, S_2)$  sistemlərində amorf fazaların formalaşma temperaturlarının intervalı 6 – 8 % yüksəlir. Komponentlər eyni zamanda və ya ardıcıl çökdürüldükdə fazaların əmələgəlmə sahələrinin ölçüsü eynidir.

**4.** Sn və Ge ilə aşqarlanmış Tl – In (Ga) – Te sistemi kondensasiya edildikdə, kimyəvi elementlər əsasında nazik təbəqələrin alınma üsulu və çökdürülmə sırasından asılı olmayaraq, ardıcıl çökdürmə zamanı kondensasiya müstəvisində tədqiqat üçün nəzərdə tutulmuş bərk məhlulla yanaşı eyni zamanda alınan  $Tl_2SnTe_5$ ,  $TlInTe_2$ ,  $Tl_2GaTe_5$ ,  $TlGaTe_2$  tərkibli üçqat birləşmələr hal diaqramları ilə təyin olunur. Sn və Ge elementləri ilə aşqarlanmış Tl – In (Ga) – Te(Se, S) sistemlərinin nazik təbəqələrində dimorf fazaların, “ $\alpha$ ” aşağı temperaturu və “ $\beta$ ” yüksək temperaturu modifikasiyalarının əmələgəlmə ardıcılığı elementlərin buxarlanma sürəti və altlıqların temperaturu ilə qabaqcadan müəyyən edilir.

**5.** Dövri sistemin IV qrup kimyəvi elementləri ilə aşqarlanmış Tl – In (Ga) – Te(Se, S) sistemlərinin birləşmələrində ortostatistik nizamlanmaya malik əvəzetmə bərk məhlullarının ifratstrukturlu fazalarının əmələ gəlməsi mümkündür. İlkin aşqarsız nümunələrlə nisbətə uzadılmış periodlara malik ifratstruktur nizamlanmış fazalardır və yeni tip atomlararası əlaqələrin formalaşması, müvafiq olaraq  $TlIn_{1-x}Sn_xX_2$  (X – Te, Se, S) və  $TlGa_{1-x}Ge_xX_2$  (X – Te, Se, S) nanotəbəqələrinin yeni xüsusiyyətlərinin yaranmasına gətirib çıxara bilər.

**6.**  $TlIn_{1-x}Sn_xX_2$  (X – Te, Se, S) və  $TlGa_{1-x}Ge_xX_2$  (X – Te, Se, S)

nanoölçülü amorf təbəqələrinin atomlarının yaxın nizamı analoji aşqarsız nazik təbəqələrin atomlarının yaxın çevrəsi ilə müqayisə edildikdə əlaqələrin uzunluğuna nəzərən müəyyən fərqlər vardır.

7. Adi şəraitdə və elektrik sahəsinin təsiri şəraitində vakuum buxarlanması ilə alınan, dövri sistemin IV qrup kimyəvi elementləri ilə aşqarlanan yuxarıda göstərilmiş  $A^3B^3C_2^6$  qrup birləşmələrinin amorf təbəqələrinin termik emalı zamanı kristallaşma kinetikası Avraami-Kolmoqorov qanunauyğunluğuna tabe olur. Həmin nazik təbəqələr həm əvvəlcədən sintez edilmiş monokristallik bərk məhlulların, həm də ayrı-ayrı sobalardan Tl, In(Ga), Te(Se, S) və aşqar kimi Sn yaxud Ge kimyəvi elementlərinin vakuumda termik buxarlanma üsulu ilə alınmışdır. Molekulyar dəstənin altlığa çökdürülməsi zamanı elektrik sahənin effekti amorf təbəqələrdə atomların yaxın çevrəsi məsafələrinə və bucaqlarına, eləcə də kristallaşmanın aktivasiya enerjilərinin qiymətinə təsir edir, yəni nazik təbəqələrin əmələgəlmə və böyümə enerjisi azalır. Sonradan isə atomlararası struktur əlaqələri uzanır.

8. Xarici sabit elektrik sahəsinin təsiri şəraitində  $\sim 10^{-5}$  Pa vakuumda alınan  $TlIn_{1-x}Sn_xTe_2(Se_2, S_2)$  və  $TlGa_{1-x}Ge_xTe_2(Se_2, S_2)$  bərk məhlullarının amorf təbəqələrində həmin sahə olmadan alınan nazik təbəqələrlə müqayisədə kristallaşmanın aktivasiya enerjisinin qiymətləri aşağıdır. Müşahidə olunan effekt kondensasiya edilmiş atomlarda aşqar ionlarının iştirakı və yükün qeyribərabər paylanması, eləcə də altlığın səthində elektrik yüklü nöqtəvi qüsurların mövcudluğu və elektrik sahəsinin istiqaməti ilə bağlıdır.

9. Termik üsulla alınan ifrat quruluşlu elementar qəfəsə malik  $TlIn_{1-x}Sn_xX_2$  ( $X - Te, Se, S$ ) və  $TlGa_{1-x}Ge_xX_2$  ( $X - Te, Se, S$ ) qeyri-stexiometrik birləşmələrinin nanoölçülü təbəqələrinin müəyyən özünəməxsus xüsusiyyətləri vardır. Belə ki, onların formalaşmasını, həmçinin Sn, Ge kimyəvi elementlərinin atomları ilə dozalara bölünmüş aşqarlanmasını nəzarətdə saxlamaq mümkündür. Qalay və germanium aşqarları  $0.01 \leq x \leq 0.09$  tərkiblərində  $TlIn_{1-x}Sn_xX_2$  ( $X - Te, Se, S$ ) və  $TlGa_{1-x}Ge_xX_2$  ( $X - Te, Se, S$ ) ifratqəfəslərin strukturuna görə məhdud əvəzəmə bərk məhlullarının əmələ gəlməsinə səbəb olur və ifratstrukturlu nazik epitaksial təbəqələri qəfəs parametrləri ilə çox dəqiq idarə etmək imkanını yaradır. İfratstrukturlu epitaksial təbəqələrdə elementar qəfəslərin lokal dəyişməsi atomların tutduğu mövqelərdən statistik sürüşmələri ilə müşayiət olunur.

**Tədqiqatın elmi yeniliyi.** Aparılan elmi-tədqiqat işlərinin müqabilində aşağıdakı mühüm nəticələr əldə olundu:

1. Sn və Ge kimyəvi elementləri ilə aşqarlanmış Tl – In – Te(Se, S), Tl – Ga – Te(Se, S) sistemləri birləşmələrinin nazik təbəqələri üçün, tərkibləri lazımı qaydada müxtəlif modifikasiyalarda formalaşması mümkünlüyü sübuta yetirilmişdir. Müəyyənlanmışdır ki, tallium, indium, tellur (selen, kükürd) və tallium, qallium, tellur (selen, kükürd), müvafiq olaraq, aşqar şəklində qalay və germaniumun eyni zamanda və ya ardıcıl buxarlandırılması zamanı amorf təbəqələrin formalaşma temperatur intervalı aşqarsız təbəqələrlə müqayisədə xeyli genişdir. Qeyd etmək lazımdır ki, nanoqalınlı təbəqələrin termik emalı zamanı tez uçan və tez oksidləşən komponentlərin uçması və oksidləşməsinin qarşısının alınması xüsusi çətinlik törədir.

2. İlk dəfə çox dəqiq tədqiqatlar nəticəsində vakuüm qurğusunda polimorf  $TlIn_{1-x}Sn_xS_2$  nazik təbəqələrinin amorf fazalarının alınması mümkünlüyü sübuta yetirilmişdir. Həmin təbəqələr kristallaşmadan sonra tetraqonal, monoklin və rombik modifikasiyalara aid edilir. Müəyyən edilmişdir ki, sözü gedən nazik təbəqənin amorf fazasını 315K və bundan yüksək temperaturda əldə etmək mümkün deyil.

3. İntensivliklərin ən dəqiq elektrometrik ölçmə sistemi vasitəsilə  $TlIn_{1-x}Sn_xTe_2$  ( $Se_2$ ,  $S_2$ ) və  $TlGa_{1-x}Ge_xTe_2$  ( $Se_2$ ,  $S_2$ ) amorf təbəqələrinin yaxın nizam quruluşları müəyyən edilmişdir. İlk dəfə olaraq atomların radial paylanması, yəni yuxarıda göstərilən tərkiblərin bərk məhlullarında koordinasiya sferaları radiusları və ədədləri göstərilmişdir. Sübuta yetirilmişdir ki, tetraqonal, monoklin və rombik sinqoniyalı bərk məhlulların amorf təbəqələri və aşqarsız birləşmələr analogi yaxın nizam quruluşuna malikdir. Cüzi fərqlər yalnız atomlararası məsafələrin uzunluqlarında müşahidə edilir.  $TlIn_{1-x}Sn_xTe_2$  ( $Se_2$ ,  $S_2$ ) və  $TlGa_{1-x}Ge_xTe_2$  ( $Se_2$ ,  $S_2$ ) bərk məhlullarının amorf təbəqələrində atomların koordinasiyasını müəyyən etdikdə qarışıq – oktaedrik ilə tetraedrik atom koordinasiyası aşkar edilmişdir.

4. KJ və NaCl ion monokristal altlıqlarında  $TlIn_{1-x}Sn_xTe_2$  ( $Se_2$ ,  $S_2$ ) nazik təbəqələrində faza çevrilmələri zamanı tetraqonal və rombik sinqoniyalı dörd ifratqəfəsli bərk məhlulların əmələgəlmə şəraiti müəyyən edilmişdir. Yaranan ifratquruluşlu nazik təbəqələrin qəfəs periodlarının, aşqarsız üçqat birləşmə ilə müqayisədə, təxminən 3 dəfə böyük olduğu sübuta yetirilmişdir.  $TlIn_{1-x}Sn_xS_2$  nazik təbəqəsi-

nin iki ifratstrukturlu fazasının mövcudluğu aşkar edilmişdir: a) NaCl altlığının səthinə perpendikulyar “c” tekstura oxu ilə teksturlanmış rombik faza; b) monokristallik halda olan ifratperiodlu tetraqonal faza. İfratquruluşlu təbəqənin və altlığın elementar qəfəslərinin müqayisəsi zamanı kristalloqrafik fərqin üç dəfə böyük olduğu müəyyən edilmişdir. Altlığın və nazik təbəqənin elementar qəfəsləri arasında kristalloqrafik uyğunsuzluq  $3.1 \div 3.6$  % təşkil edir. Epitaksial böyümə zamanı tədqiq edilən nazik təbəqələrin (100) müstəviləri KJ və NaCl altlıqlarının (001) müstəvilərinə paralel formalaşırlar.

**5.**  $TlGa_{1-x}Ge_xTe_2$  ( $Se_2$ ,  $S_2$ ) tetraqonal simmetriyalı birləşmələrdə ifratstrukturlu fazaların mövcudluğu şəraiti müəyyən edilmişdir. Belə ki, mükəmməl monokristallik ifratquruluşlu nanoqalınlı nazik təbəqələrdəki (100) müstəviləri NaCl və KJ altlıqlarının [100] tillərinin istiqamətinə paralel formalaşmışlar. Bununla yanaşı altlıq və üzərindəki nazik təbəqənin bir-birinə nəzərən kristallik torlarının nisbi uyğunsuzluğu 5%-i keçmir. Yaranan ifratquruluşlu tetraqonal sinqoniyalı nazik təbəqələrin qəfəs periodları, aşqarsız üçqat birləşmə ilə müqayisədə, təxminən 2 dəfə böyükdür.

**6.**  $TlIn_{1-x}Sn_xTe_2$  ( $Se_2$ ,  $S_2$ ) və  $TlGa_{1-x}Ge_xTe_2$  ( $Se_2$ ,  $S_2$ ) nazik təbəqələrində dəyişdirilmiş tərkiblərlə ifratstrukturlu fazalar əsasında bərk məhlulların yaranmasına temperaturların geniş intervalında müxtəlif konsentrasiyalı qalay və germanium aşqarlarının təsiri müəyyənləşdirilmişdir.

**7.** Adı şəraitdə və  $3000 \text{ V} \cdot \text{sm}^{-1}$  gərginlikli sabit elektrik sahəsinin təsiri şəraitində,  $4 \times 10^{-5} \text{ Pa}$  vakuumda kondensasiya edilmiş  $TlIn_{1-x}Sn_xTe_2$  ( $Se_2$ ,  $S_2$ ),  $TlGa_{1-x}Ge_xTe_2$  ( $Se_2$ ,  $S_2$ ) nazik amorf təbəqələrində faza keçidlərinin kinetik parametrləri təyin edilmişdir, onların kristallaşma kinetikasının izotermik əyriləri qurulmuşdur.

**8.** Müəyyənləşdirilmişdir ki, sabit elektrik sahənin təsiri altında alınan  $TlIn_{1-x}Sn_xTe_2$  ( $Se_2$ ,  $S_2$ ),  $TlGa_{1-x}Ge_xTe_2$  ( $Se_2$ ,  $S_2$ ) nazik təbəqələr üçün kristallaşmanın aktivasiya enerjilərinin ədədi qiymətləri adi şəraitdə çökdürülən nazik təbəqələr üçün alınan müvafiq rəqəmlərə nisbətən aşağıdır. Yuxarıda göstərilən sistemlərin amorf təbəqələrində atomlararası məsafələrinə və nanoqalınlı amorf layların kristallaşması zamanı faza keçidlərinin kinetik parametrlərinə aşqarların miqdarına nəzərən təsir dərəcəsi müəyyən edilmişdir.

**9.** Təyin edilmişdir ki,  $Tl - In(Ga) - Te_2(Se_2, S_2)$  sistemlərinin bir-

ləşmələrinə Sn(Ge) aşqarı müəyyən dozada ( $0.01 \leq x \leq 0.09$ ) əlavə edildikdə qəfəslərin parametrlərinin monoton dəyişməsi baş verir; əvəz etmə bərk məhlulları əmələ gəlir. Lakin aşqarın  $x=0.05 \div 0.06$  intervallında qəfəslərin parametrlərinin dəyişməsində monotonluq pozulur.

**Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti.** Amorf təbəqələrdə lokal atom çevrələrinin, kəskin temperatur dəyişikliklərinə və ərimə, bərkimə kimi təkrar dövrlərə substruktur cəhətdən fərqli nazik təbəqələrin termik davamlılığının müəyyənləşdirilməsi məsələləri yarımkeçiriciləri xarakterizə edən amillərdə müəyyən dəyişikliklər ilə bağlı olduğu üçün müstəqil nəzəri maraq doğurur. Çox nazik laylar şəklində əmələ gələn fazaların homogenliyi sərhədlərinin və onların alınma şəraitinin, həmçinin stabil və alınması təkrarlanan nazik təbəqələrin səciyyəvi formalaşma xüsusiyyətlərinin müəyyənləşdirilməsi, yarımkeçirici birləşmələrin temperatur asılılığı məsələsinə birbaşa aidiyyəti olan böyümə mexanizmi və faza dəyişmələri kinetikasi haqqında məlumatların əldə edilməsi dissertasiyanın praktiki əhəmiyyətini şərtləndirir.  $A^3B^3C_2^6$  birləşmələrinin ifratstrukturlu fazalarının əvəz etmə bərk məhlullarının nazik təbəqələrindən bəzisinin istifadə imkanlarına görə daha geniş olan iki müxtəlifstrukturlu modifikasiyası alınmışdır.

Bir qayda olaraq, eynitərkibli, lakin müxtəlif olan amorf, kristallik və ifratstrukturlu nazik təbəqələrdə müşahidə edilən qadağa zolağının eni və digər xassələrdəki böyük fərqdən istifadə etməklə cihazların işlək göstəricilərini köklü dəyişmək və yaxşılaşdırmaq mümkündür. Nanoölçülü nazik təbəqələrin formalaşmasının variant və rejimləri müəyyənləşdirilmişdir, nəticədə onlar tədqiq edilən həmin nazik təbəqələr əsasında işləyib hazırlanacaq cihazların əsas parametrlərini təyin edəcək amillərdən biri olacaq.

**Aprobasiyası və tətbiqi.** Tədqiqat işinin nəticələri aşağıda adları qeyd olunan Respublika və Beynəlxalq konfransların seminarlarında məruzə və müzakirə edilmişdir: III Международная конференция «Аморфные и микрокристаллические полупроводники» (Санкт-Петербург, 6-8 июля 2002г.); IX Интернациональная конференция по физике и технологии тонких пленок (Украина, Ивано-Франковск, 14-18 мая 2003г.); IV Международная конференция «Аморфные и микрокристаллические полупроводники» (Санкт-Петербург, 5-7 июля 2004г.); I Международный научный семинар «Light in Nano – Size Solids» (Баку, 22-27 сентября 2004г.); Меж-

дународная научно-техническая конференция «Информационные и электронные технологии в дистанционном зондировании», посвященная 70-летию академика А.Ш. Мехтиева (Баку, 20-23 декабря 2004г.); Международная конференция «Физика – 2005», посвященная 60-летию Института Физики НАНА (Баку, 7-9 июня 2005г.); V Международная научно-техническая конференция – Микроэлектронные преобразователи и приборы на их основе – «МЭПП 2005» (Баку, 5-8 декабря 2005г.); V Международная конференция «Аморфные и микрокристаллические полупроводники» (Санкт-Петербург, 19-21 июня 2006г.); IV Республиканская конференция «Актуальные проблемы физики» (Баку, 29-30 июня 2006г.); VI Национальная конференция по применению рентгеновского, синхротронного излучений, нейтронов и электронов для исследования материалов – «РСНЭ 2007» (Москва, 12-17 ноября 2007г.); XIII Национальная конференция по росту кристаллов – «НКРК 2008» (Москва, 17-21 октября 2008г.); VII Национальная конференция по применению рентгеновского, синхротронного излучений, нейтронов и электронов для исследования наносистем и материалов. Нано-Био-Инфо-Когнитивные технологии – «РСНЭ – НБИК 2009» (Москва, 16-21 ноября 2009г.); Международная конференция «CRYSTAL MATERIALS 2010» (Украина, Харьков, 31 мая – 03 июня, 2010г.); IV Международная конференция «Кристаллофизика XXI века» и XIV Национальная конференция по росту кристаллов «НКРК 2010» (Москва, 6-10 декабря 2010г.); VIII Национальная конференция по применению рентгеновского, синхротронного излучений, нейтронов и электронов для исследования наносистем и материалов. Нано-Био-Инфо-Когнитивные технологии – «РСНЭ – НБИК 2011» (Москва, 14-18 ноября 2011г.); Международная конференция «Актуальные проблемы физики» посвященная 80-летию акад. Б.М. Аскерова (Баку, 6 декабря 2013г.); XXV Российская конференция по электронной микроскопии «РКЭМ-2014» (Московская обл., г. Черноголовка, 2-6 июня 2014 г.); «Fizikanın aktual problemləri» VIII Respublika Elmi Konfransının Materialları (Bakı, 17-18 dekabr, 2015); XXIV Международная научно-техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения. «НПО «Орион» (Москва, 24-27 мая 2016г.); XXVI Рос-

сийская конференция по электронной микроскопии «РКЭМ-2016» (Московская обл., Зеленоград, 30 мая – 03 июня 2016г.); 2-й Международный форум по электронно-лучевым технологиям для микроэлектроники – «Техноюнити – ЭЛТМ 2017» (Московская обл., Зеленоград, 9-12 октября 2017г.); XXV Международная научно-техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения. «НПО «Орион» (Москва, 24-26 мая 2018г.); XXVII Российская конференция по электронной микроскопии «РКЭМ-2018» (Московская обл., Черноголовка, 26-30 августа 2018г.); 6<sup>th</sup> International Conference “Modern Trends in Physics” (Baku, 1-3 may 2019); Международная конференция «Электронно-лучевые технологии 2019», «КЭЛТ-2019» (Московская обл., Черноголовка, 30 сентября – 03 октября 2019г.); XXVIII Российская конференция по электронной микроскопии «РКЭМ-2020». (Московская обл., Черноголовка, 7-10 сентября 2020г.); IX Международная конференция «Кристаллофизика и деформационное поведение перспективных материалов» посвященная 100-летию со дня рождения академика Б.К.Вайнштейна (Москва, 22-26 ноября 2021г.); XXVI Международная научно-техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения. «НПО «Орион» (Москва, Россия, 25-27 мая 2022г.); XXIX Российская конференция по электронной микроскопии «РКЭМ-2022» (Москва, онлайн, 29-31 августа 2022г.); XI Евразийская научно-практическая конференция «Прочность неоднородных структур» ПРОСТ-2023 (Москва, 18-20 апреля 2023г.).

**Dərc olunmuş elmi işlər.** Dissertasiyanın əsas nəticələri 50 elmi əsərdə əksini tapmışdır. Bunlardan 17 məqalə Azərbaycan Respublikası Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının dissertasiyalarının elmi nəticələrinin dərci üçün müəyyənləşdirdiyi (o cümlədən 6-sı Clarivate Analytics “Web of Science” məlumatlar bazasına daxil edilmiş) jurnallarda, 3 məqalə konfrans əsərləri toplularında və 30 tezis yerli və xarici konfrans materiallarında çap olunmuşdur.

**Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı.** Dissertasiya işi Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Fizika İnstitutunda yerinə yetirilmişdir. Yerinə yetirilmiş plan işlərinin əsas nəticələri AMEA-nın Fizika İnstitutunun hesabat toplularında çap edilmişdir.

**Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda həcmi qeyd**

**olunmaqla dissertasiyanın işarə ilə ümumi həcmi.** Dissertasiya işi giriş, beş fəsil, nəticə və 347 adda bibliografiya – ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. Dissertasiyanın həcmi 361 səhifədir, bunların 238 səhifəsi kompüter mətnidir, qalanları – 24 cədvəl və 109 şəkil. Dissertasiyanın həcmi 410266 işarədən ibarətdir.

## İŞİN QISA MƏZMUNU

**Girişdə** mövzunun aktuallığı əsaslandırılıb, dissertasiya işinin başlıca məqsədi, elmi yeniliyi və praktiki əhəmiyyəti, müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar göstərilib. İşin aprobasiyası və fəsillərin qısa məzmunu təqdim edilib.

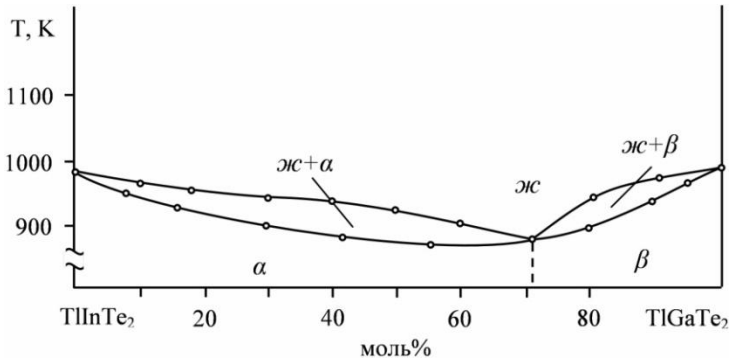
**Birinci fəsildə**  $A^3 - B^3 - C^6$  sistemində Tl – In(Ga) – Te(Se, S) polimorf birləşmələrinin və onların əsasında bərk məhlulların müxtəlif fazalarının termodinamika nöqtəyi-nəzərindən tarazlıq hallarının tədqiqinə həsr edilmiş ədəbiyyatın analitik icmal verilir. Qeyd olunan birləşmələrin struktur göstəriciləri haqqında müxtəlif müəlliflərin ziddiyyətli fikirləri fazaların təyininə yol verilən səhvlər, yaxud qeyri-dəqiqliklər, həmçinin atomar səviyyədə kimyəvi elementlərin xüsusiyyətləri ilə əlaqələndirilir.

Bərk məhlulların istifadəsi cihazqayırma sənayesində artarsa, yeni materialların alınma imkanları əhəmiyyətli dərəcədə genişlənər. Yuxarıda göstərilən birləşmələrin və onların əsasında bərk məhlulların tədqiqi aktuallıq kəsb edir. Çünki onlar, özünəməxsus xassələrə malikdir və optoelektronika sahəsində geniş istifadə olunur. Bununla bağlı  $A^3B^3C_2^6$  qrupuna daxil olan  $TlIn(Ga)X_2$  ( $X - Te, Se, S$ ) birləşmələri və onların bərk məhlulları ən perspektivli materiallardır. Ədəbiyyat məlumatlarının, habelə bir sıra ziddiyyətli məsələlərin təhlili əsasında dissertasiya işinin məqsəd və vəzifələrini aşağıdakı şəkildə xülasə etmək olar:  $TlIn_{1-x}Sn_xTe_2(Se_2, S_2)$  və  $TlGa_{1-x}Ge_xTe_2(Se_2, S_2)$  ( $x=0.01\div 0.09$ ), epitaksial nazik təbəqələrinin alınmasının elmi cəhətdən əsaslandırılmış üsullarının, texnoloji reqlamentlərinin işlənilib hazırlanması, bərk məhlulların nazik təbəqələrinin kristallaşma kinetikasi və ifratquruluşlu fazalarının formalaşmasının öyrənilməsi.

Tədqiq edilmiş  $TlInTe_2$  və  $TlGaTe_2$  üçqat birləşmələrin  $600^\circ\text{C}$ -dən yuxarı temperaturalarda qarşılıqlı təsiri nəticəsində arasıkəsilməz bərk məhlullar sırası əmələ gəlir. Həmin proses şəkil 1-də qrafik olaraq

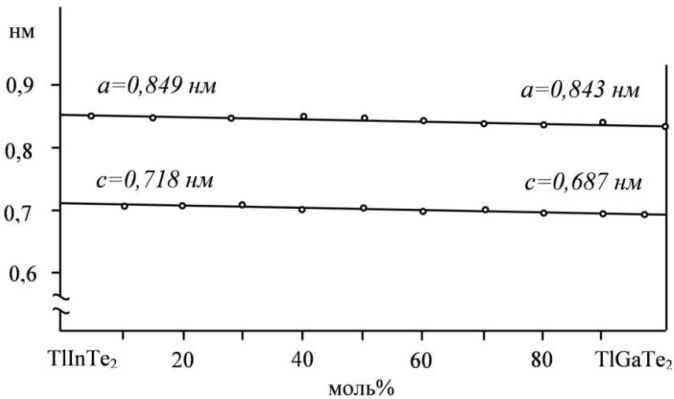


göstərilmişdir. Xəlitələr və ilkin üçqat birləşmələrin difraktoqramlarının analoji əsaslarına istinadən bütün xəlitələrin qəfəs periodları təyin edilmişdir.



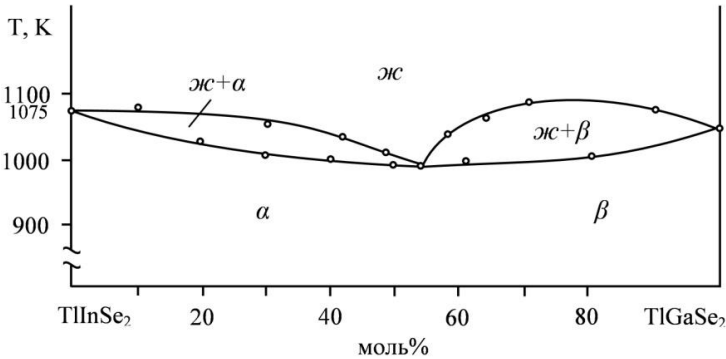
**Şəkil 1.** Tl – In – Ga – Te sisteminin tarazlıq diaqramması

Şəkil 2-də təqdim edilən tərkib-qəfəsin ölçüləri asılılığına görə Veqard qanunundan kənarçıxma müşahidə edilmir. Rentgenoqrafik məlumatların təhlili göstərir ki, Ga elementinin qismən In elementi ilə əvəzlənməsi strukturu pozmur və TlInTe<sub>2</sub>-TlGaTe<sub>2</sub> sistemində Rozembomun III tipi üzrə konsentrasiyaların bütün intervalında əvəzetmə bərk məhlulları əmələ gəlir. Bu səbəbdən belə bərk məhlullara TlIn<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>Te<sub>2</sub> düsturunu aid etmək olar. Poroskoqramların indeksləşdirilməsi göstərdi ki, onların hamısı tetraqonal qəfəs əsasında kristallaşır.



**Şəkil 2.** TlInTe<sub>2</sub> – TlGaTe<sub>2</sub> sisteminin tərkibində asılı olaraq qəfəs parametrlərinin dəyişməsi

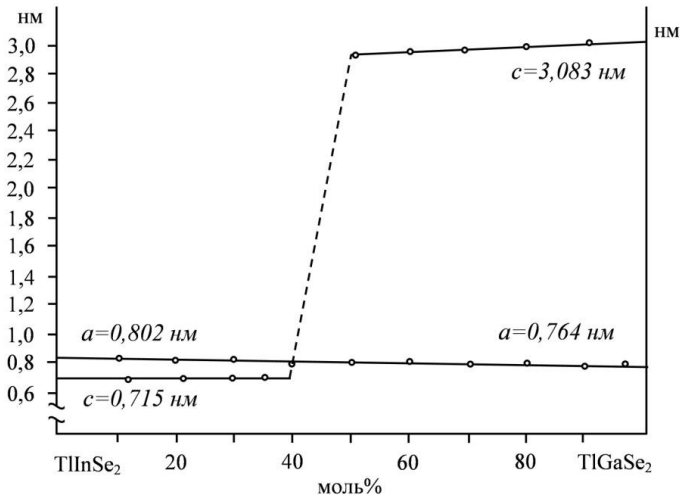
Şəkil 3-dən göründüyü kimi,  $TlInSe_2$  və  $TlGaSe_2$  üçqat birləşmələrinin 980 K-dən yuxarı temperaturlarda qarşılıqlı təsiri nəticəsində  $TlIn_{0,49}Ga_{0,51}Se_2$  tərkibinə yaxın evtetika ilə geniş ərimə sahələri əmələ gəlir. Mikrostrukturun tədqiqi zamanı aşkar edilmişdir ki,  $TlInSe_2$  və  $TlGaSe_2$  ilkin komponentlərinə məxsus struktur yalnız bu birləşmələr əsasında olan xəlitələrə xasdır, yəni hər iki tərəfdən 40 mol%-ə qədər. İkifazlı xəlitələr 50 mol%-ə yaxın  $TlIn_{0,55}Ga_{0,45}Se_2$  tərkibinə uyğun gəlir.



Şəkil 3. Tl – In – Ga – Se sistemin tarazlıq diaqramması ( $TlIn_{0,49}Ga_{0,51}Se_2$ )

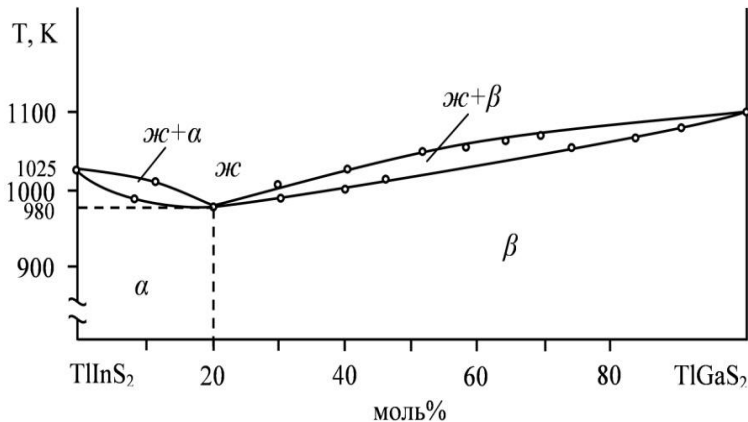
$TlGaSe_2$  birləşməsinin bərk məhlullarının ( $\alpha+\beta$ ) heterogen fazasının 40-55 mol% tərkibli olduğu ehtimal edilir və bu, tərkib-qəfəs ölçüləri asılılıq qrafikində təsdiqini tapır (şəkil 4). İlkin birləşmələr müxtəlif tip qəfəslərdə kristallaşdığı üçün  $TlInSe_2 - TlGaSe_2$  sisteminə “c” parametri üzrə Veqard qanunundan bir qədər kənaraçıxma müşahidə edilir. Termik tədqiqatların nəticəsində sübuta yetirilmişdir ki,  $TlIn_{0,2}Ga_{0,8}Se_2$  tərkibi üçün kristallik qəfəsin ölçüləri ilkin tərkiblərin ədədi qiymətinə qədər rəvan azalır.  $TlInSe_2 - TlGaSe_2$  sisteminə bərk məhlullar 40-55 mol% konsentrasiyada arası kəsilməyən xəttin qırılması ilə  $TlGaSe_2$  ilkin üçqat birləşmələrinin struktur tiplərində kristallaşır.  $TlIn_xGa_{1-x}Se_2$  nazik təbəqələrində heterogen sahə müşahidə edilir, likvidusun minimumu isə evtektik nöqtəyə müvafiqdir.

Göstərilən materialların struktur və faza keçidlərinin tədqiqi həm onların praktiki tətbiqi, həm də elektron-energetik strukturunun fundamental öyrənilməsi üçün zəruridir.  $TlInSe_2 - TlGaSe_2$  əsasında bərk məhlulların tədqiqinin aktuallığı yeni yarımkeçirici materialların alınmasında onların imkanları ilə şərtlənir.



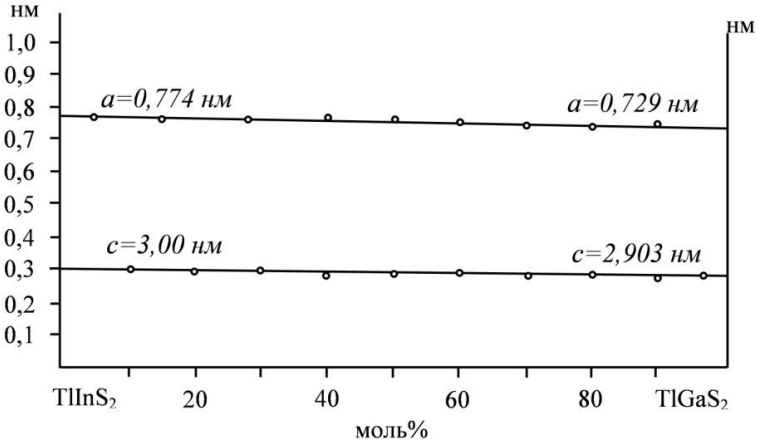
Şəkil 4. TlInSe<sub>2</sub> – TlGaSe<sub>2</sub> sistemində qəfəs ölçülərinin tərkibdən asılılığı

Məlumdur ki, TlInS<sub>2</sub> və TlGaS<sub>2</sub> üçqat birləşmələri TlSe törəməsi olan identik strukturda kristallaşırlar. Onların kristallik quruluşu tetraqonal sinqoniyaya aiddir və qəfəs ölçüləri yaxındır. TlInS<sub>2</sub> – TlGaS<sub>2</sub> sistemi xəlitələrinin termik təhlilinin nəticələri 700°C-dən yuxarı temperaturalarda TlIn<sub>0,8</sub>S<sub>2</sub> – TlGa<sub>0,2</sub>S<sub>2</sub> tərkibdə minimum ilə bərk məhlulların arasıkəsilməz sırasının mövcudluğunu göstərdi (şəkil 5). TlInS<sub>2</sub> – TlGaS<sub>2</sub> sisteminin xəlitələri asanqırılan nazik təbəqələr şəklində olur və tərkibindən asılı olaraq sarıdan yaşıl qəbər dəyişən rəngə malikdir.



Şəkil 5. Tl – In – Ga – S sisteminin tarazlıq diaqramması (TlIn<sub>0,2</sub>Ga<sub>0,8</sub>S<sub>2</sub>)

Mikrostrukturun tədqiqi zamanı aşkar edilmişdir ki,  $\text{TlInS}_2$  əsasında xəlitələr zolaqlı quruluşda olur. Nazik təbəqələrin mikrostrukturunun təhlili göstərir ki, zolaqlı quruluş  $\text{TlIn}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{S}_2$  tərkibli təbəqələrdən başlayır. Beləliklə,  $\text{TlSnS}_2$  birləşməsinə xas modifikasiya keçidi  $\text{TlInS}_2 - \text{TlGaS}_2$  sisteminin özündə də vardır və  $\text{TlIn}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{S}_2$  tərkibinə qədər müşahidə edilir.  $\text{TlInS}_2 - \text{TlGaS}_2$  sistemində bərk məhlulların homogenik sahəsi və strukturlarının nizam dərəcəsinin təyini üçün həmin sistemin xəlitələrinin rentgenoqrafik təhlili aparılmışdır (şəkil 6).



Şəkil 6.  $\text{TlInS}_2 - \text{TlGaS}_2$  sistemində qəfəs ölçülərinin tərkibdən asılılığı

Bərk məhlulların bütün konsentrasiya intervalında struktur sabitliyi, yəqin ki,  $\text{TlInS}_2$  və  $\text{TlGaS}_2$  birləşmələrinin izostrukturuluğu ilə bağlıdır. Tədqiq olunmuş bərk məhlullarda tərkib-qəfəs ölçüsü asılılığı üçün Vegard qanunundan kənara çıxma müşahidə edilməmişdir (şəkil 6).  $\text{TlInS}_2 - \text{TlGaS}_2$  sisteminin bərk məhlulları ilə bağlı eksperimental məlumatların təhlili göstərir ki, həmin bərk məhlullar tetraqonal quruluş əsasında kristallaşırlar.

**İkinci fəsil**də  $\text{A}^3\text{B}^3\text{C}_2^6$  birləşmələri qrupuna daxil olan nazik təbəqələrin formalaşması və faza əmələ gəlməsinə bəzi IV qrup elementləri atomlarının təsiri müəyyənləşdirilir. Burada kimyəvi elementlərin atomlarının qarşılıqlı təsir reaksiyaları nəticəsində alınan  $\text{TlIn}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}_2(\text{Se}_2, \text{S}_2)$  və  $\text{TlGa}_{1-x}\text{Ge}_x\text{Te}_2(\text{Se}_2, \text{S}_2)$  nanoölçülü nazik təbəqələrinin formalaşması və yuxarıda adı çəkilən sistemlərdə kristalloqrafik fazaların əmələgəlməsi haqqında nəzəri məlumatlara istinadən

müxtəlif eksperimental tədqiqat işləri icra edilmişdir. Tez oksidləşən və tez uçan komponentlərdən ibarət stexiometrik tərkibli strukturca formalaşmış nazik təbəqələrin alınması prosesinin ardıcıl həyata keçirilən müxtəlif mərhələləri bir təcrübə çərçivəsində çoxfunksiyalı vakuüm qurğusunda yerinə yetirilirdi. Sn və Ge ilə aşqarlanmış Tl – In(Ga) – Te(Se, S) sistemində qarşılıqlı təsir və fazaların əmələgəlmə proseslərini tədqiq etmək üçün çökdürmə ilə alınan nazik təbəqənin həndəsi qalınlığına daima nəzarət etməyə imkan verən qəbul olunmuş üsuldan istifadə olunurdu. Kondensat tərkibinin nazik təbəqələrin kondensasiya müstəvisinin səthi üzərində paylanması aşağıdakı düsturla təyin edilirdi

$$q = \frac{Q}{4\pi h^2} \frac{1}{(1 + \alpha)^{3/2}}. \quad (1)$$

Burada  $q$  – altlıq müstəvisinin vahid səthinə kondensasiya olmuş maddənin miqdarı,  $Q$  – buxarlandırılan maddənin miqdarı,  $h$  – buxarlanma mənbəyindən kondensasiya müstəvisi üzərində hər hansı nöqtəyə qədər məsafə,  $\alpha = x/h$  – əmsalında  $x$  – bilavasitə buxarlandırıcı altında yerləşən nöqtədən altlıq müstəvisindəki hər hansı bir nöqtəyə qədər məsafə. Vakuüm buxarlanması ilə alınan nazik təbəqələrin qalınlığı aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$q = \frac{q}{\rho}, \quad (2)$$

burada  $\rho$  –  $q/sm^3$  ilə ölçülən buxarlandırılan maddənin sıxlığıdır. Bununla yanaşı, nazik təbəqələrin qalınlığı "Spekord-210 Plus" spektrometri, tərkibi isə "Shimadzu AA-6300" atom-absorbsiya spektrofotometri vasitəsilə yoxlanılaraq nəzarətdə saxlanılırdı.

TlIn<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>Te<sub>2</sub> (Se<sub>2</sub>, S<sub>2</sub>) и TlGa<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>Te<sub>2</sub> (Se<sub>2</sub>, S<sub>2</sub>) nazik təbəqələrinin bərk məhlullarının strukturları təyin olunduqda kinematik baxımdan elektronların səpilmə nəzəriyyəsinə əsaslanan elektronografiya üsulundan müvəffəqiyyətlə istifadə olunur.

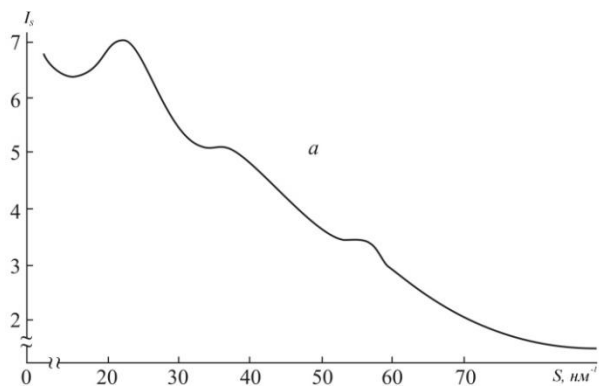
Natamamvalentli yarımkeçirici birləşmələrin tipik nümayəndələri olan TlInTe<sub>2</sub> (Se<sub>2</sub>, S<sub>2</sub>) və TlGaTe<sub>2</sub> (Se<sub>2</sub>, S<sub>2</sub>) birləşmələri spesifik quruluşlu kristallik qəfəsə malik olmaqla A<sup>3</sup>B<sup>3</sup>C<sub>6</sub> qrupuna daxildirlər. Bu nöqtəyi-nəzərdən yuxarıda göstərilən birləşmələrdə aşqarlar qismində dördüncü qrup elementlərinin istifadəsi maraqlıdır. Qeyd edək ki, aşqarlı və aşqarsız Tl – In(Ga) – Te(Se, S) sistemində yuxarıda

rıda göstərilən nəzəriyyə əsasında alınan nəticələrin müqayisəsini yalnız həmcins, həm də yüksəkdərəcəli təmizliyə, struktur defektlərin aşağı konsentrasiyasına və yastı paralel səthlərə malik nazik təbəqələrdə aparmaq mümkündür.

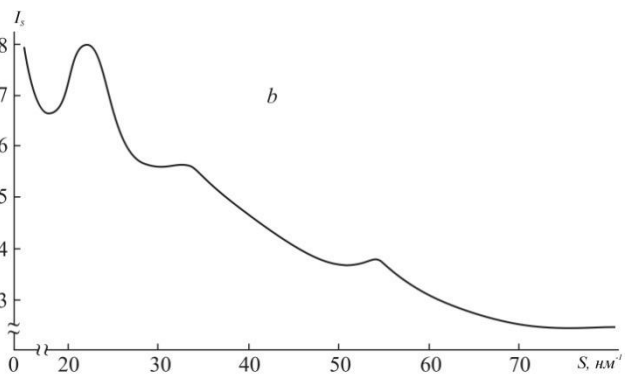
Tədqiq edilən nazik təbəqələri molekulyar-şüa epitaksiyası, üzvi metallardan qaz fazalı kimyəvi çökdürmə, hibrid qaz fazalı epitaksiya və buna oxşar vasitələrlə almaq olar. Nazik təbəqələrin alınması üçün biz volframlı putalardan termik buxarlanma metodundan istifadə etmişdik. Bu işdə elektronqrafik təhlil vasitəsilə  $\text{TlInTe}_2(\text{Se}_2, \text{S}_2)$  və  $\text{TlGaTe}_2(\text{Se}_2, \text{S}_2)$  nazik təbəqələrinin kristallik strukturuna az miqdarda əlavə olunan Sn və Ge aşqarlarının təsir dərəcəsi tədqiq edilmiş, eləcə də formalaşdırılan epitaksial təbəqə və altlıq arasında mövcud istiqamətlənmə münasibətləri müəyyənləşdirilmişdir.

Tədqiqat üçün 30 nm qalınlıqlı  $\text{TlIn}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}_2(\text{Se}_2, \text{S}_2)$  və  $\text{TlGa}_{1-x}\text{Ge}_x\text{Te}_2(\text{Se}_2, \text{S}_2)$  ( $x=0.01\div 0.09$ ) təbəqələri, qalıq təzyiq  $\sim 10^{-4}$  Pa-dan yüksək olmaqla vakuumda sintez olunmuş üçqat birləşmənin və aşqarın, dörd təmiz kimyəvi elementin müvafiq olaraq bir, iki və dörd volframlı soba vasitəsilə təzə kəsilmiş NaCl, KJ, KCl və tor üzərində olan selluloid təbəqəsindən ibarət altlıqlara çökdürülməsi (çökmə sürəti  $\sim 5$  nm/s) nəticəsində alınmışdır. Çökdürmə zamanı altlıqlar  $T_a=220\div 570$  K temperatur intervalında olurdular. Alınmış nazik təbəqələr sürətli elektronların difraksiyası metodu ilə ƏMP-102 modeli elektronqraf qurğusunda öyrənilirdi, sürətləndirici gərginlik isə 75 kV idi.

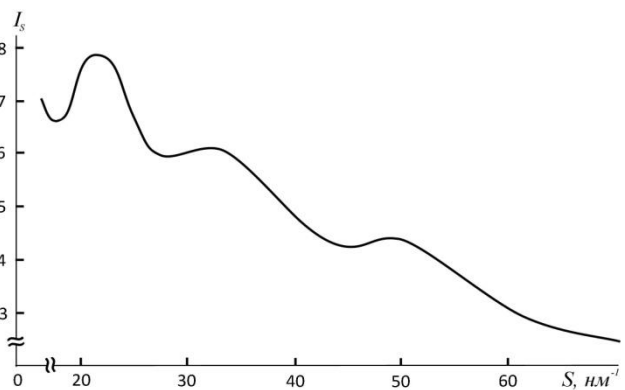
Yuxarıda göstərilən altlıqların üzərinə çökdürülən amorf quruluşa malik  $\text{TlIn}_{0,96}\text{Sn}_{0,04}\text{Te}_2(\text{Se}_2\text{S}_2)$  və  $\text{TlGa}_{0,96}\text{Ge}_{0,04}\text{Te}_2(\text{Se}_2\text{S}_2)$  nazik təbəqələrin yaxın nizam quruluşu müvafiq ədədi qiymətlərlə  $S=4\pi\sin\theta/\lambda=14.66, 32.91, 40.68$  nm<sup>-1</sup>; 21.02, 34.86, 51.85 nm<sup>-1</sup>; 27.34, 38.26, 47.81 nm<sup>-1</sup> və  $S=4\pi\sin\theta/\lambda=21.06, 32.88, 49.73$  nm<sup>-1</sup>; 21.51, 34.24, 45.16 nm<sup>-1</sup>; 23.63, 36.52, 56.06 nm<sup>-1</sup> xarakterizə olunur, yəni elektronların səpilmə intensivliyi əyrisində səpilmənin bucağından asılı olaraq üç maksimum müşahidə edilir (Şəkillər 7 - 9). Bu yaxın nizam ölçüsü üç koordinasiya sferası haqqında müəyyən məlumatlar verir. Burada  $q$  – difraksiya olunmuş şüanın səpilmə bucağı,  $l$  – elektronların dalğa uzunluğudur. Qeyd etmək lazımdır ki, elektronların səpilmə intensivliklərini göstərən şəkillər yalnız  $\text{TlGa}_{0,96}\text{Ge}_{0,04}\text{Te}_2(\text{Se}_2, \text{S}_2)$  təbəqələri üçün verilmişdir, çünki qrafik cəhətdən həmin əyriyə  $\text{TlIn}_{0,96}\text{Sn}_{0,04}\text{Te}_2(\text{Se}_2, \text{S}_2)$  təbəqələri üçün cüzi fərqlərə malikdir.



Şəkil 7.  $TlGa_{1-x}Ge_xTe_2$  amorf təbəqəsindən elektronların səpilmə intensivliyi əyrisi



Şəkil 8.  $TlGa_{1-x}Ge_xSe_2$  amorf təbəqəsindən elektronların səpilmə intensivliyi əyrisi



Şəkil 9.  $TlGa_{1-x}Ge_xS_2$  amorf təbəqəsindən elektronların səpilmə intensivliyi əyrisi

$\text{TlIn}_{0.96}\text{Sn}_{0.04}\text{Te}_2(\text{Se}_2, \text{S}_2)$  nanoölçülü təbəqələrin amorf fazası vaku-  
 umda müvafiq olaraq 220 K, 390 K və 313 K temperaturlarında olan  
 NaCl, KJ, KCl altlıqlarında formalaşır. Amorf fazaların həmin alınma  
 şəraitində  $\text{TlGa}_{0.96}\text{Ge}_{0.04}\text{Se}_2(\text{S}_2)$  təbəqələri üçün altlığın temperaturu  
 423 (390) K qədər,  $\text{TlGa}_{0.96}\text{Ge}_{0.04}\text{Te}_2$  üçün isə 240 K qəddir. Nazik  
 təbəqələrin oksidləşməsinin qarşısını almaq üçün  $\text{TlIn}_{0.96}\text{Sn}_{0.04}\text{Te}_2$  və  
 $\text{TlGa}_{1-x}\text{Ge}_x\text{Te}_2$  3÷5 nm qalınlıqlı karbon kapsuluna yerləşdirilirdi.

$\text{TlIn}_{0.96}\text{Sn}_{0.04}\text{Te}_2 (\text{Se}_2, \text{S}_2)$  amorf nazik təbəqələrin kristallaşması  
 nəticəsində tetraqonal sinqoniyalı  $\text{TlIn}_{0.96}\text{Sn}_{0.04}\text{Te}_2$  təbəqəsinin qəfəsi-  
 nin ölçüləri  $a=0.8995$ ;  $c=0.7483$  nm,  $z=6$ , FQS I4/mcm olmaqla,  
 $\text{TlIn}_{0.96}\text{Sn}_{0.04}\text{Se}_2$  təbəqəsinin tetraqonal sinqoniyaya malik qəfəsin  
 ölçüləri  $a=0.8355$ ;  $c=0.7021$  nm,  $z=4$ , FQS I4/mcm olmaqla,  
 $\text{TlIn}_{0.96}\text{Sn}_{0.04}\text{S}_2$  nazik təbəqəsi isə üç müxtəlif sinqoniyalı – (I.)  
 monoklik sinqoniyalı –  $a=0.813$ ;  $b=0.796$ ;  $c=2,485$  nm,  $z =16$ , FQS  
 $P2_1/m$ ; (II.) rombik sinqoniyalı –  $a=0,687$ ;  $b=0,399$ ;  $c=1,567$  nm,  $z=4$ ,  
 FQS  $D_{6h}^2$  və (III.) tetraqonal sinqoniyalı –  $a=0,808$ ;  $c=3,098$ nm,  $z=16$ ,  
 FQS I4/mcm qəfəsə malik olmaqla polikristallik təbəqələr formalaşır.

$\text{TlGa}_{0.96}\text{Ge}_{0.04}\text{Te}_2 (\text{Se}_2, \text{S}_2)$  sisteminin amorf təbəqələrinin kristal-  
 laşması nəticəsində, tetraqonal sinqoniyalı  $\text{TlGa}_{0.96}\text{Ge}_{0.04}\text{Te}_2$  təbəqə-  
 sinin qəfəsinin ölçüləri  $a=0.897$ ;  $c=0.713$  nm,  $z=4$ , FQS I4/mcm ol-  
 maqla, monoklin sinqoniyalı  $\text{TlGa}_{0.96}\text{Ge}_{0.04}\text{Se}_2$  təbəqəsinin qəfəsinin  
 ölçüləri  $a=1.120$ ;  $c=1.606$  nm,  $z=4$ , FQS  $C_s^4 - C_c$  olmaqla, monoklin  
 sinqoniyalı  $\text{TlGa}_{0.96}\text{Ge}_{0.04}\text{S}_2$  təbəqəsinin qəfəsinin ölçüləri  $a=1.093$ ;  
 $c=1.564$  nm,  $z=16$ ,  $\text{PFC } C_{2h}^6$  olan polokristallik təbəqələrin əmələ gəl-  
 məsinə gətirib çıxarır. Cədvəl 1-də göstərilədiyi kimi, aşqarlı üçqat bir-  
 ləşmələrin elementar qəfəslərin ölçüləri aşqarsız həmin birləşmələrin  
 analoji qəfəs ölçülərindən böyükdür. Burada  $a_{aşq}$ ,  $c_{aşq}$  aşqarsız üçqat  
 birləşmələrin elementar qəfəslərinin ölçüləridir. Bu nisbət göstərir ki,  
 aşqarın atomları kristallik strukturun formalaşmasına təsir edir.

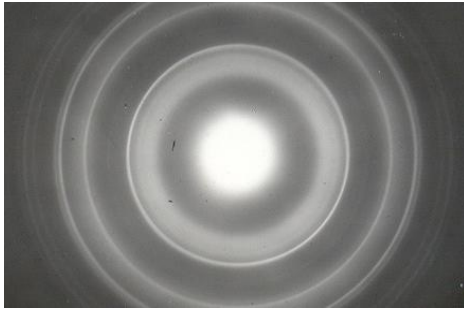
**Cədvəl 1.** Elementar qəfəsin ölçülərinə aşqarın təsiri

| Nazik təbəqələr                                     | $a/a_{aşq}$ . (%) | $c/c_{aşq}$ . (%) |
|---|-------------------|-------------------|
| <b>1</b>  | <b>2</b>          | <b>3</b>          |
| $\text{TlIn}_{0.96}\text{Sn}_{0.04}\text{Te}_2$     | 5.9               | 4.2               |
| $\text{TlIn}_{0.96}\text{Sn}_{0.04}\text{Se}_2$     | 3.5               | 2.3               |
| $\text{TlIn}_{0.96}\text{Sn}_{0.04}\text{S}_2$ (I)  | 4.6               | 3.4               |
| $\text{TlIn}_{0.96}\text{Sn}_{0.04}\text{S}_2$ (II) | 4.7               | 4.9               |

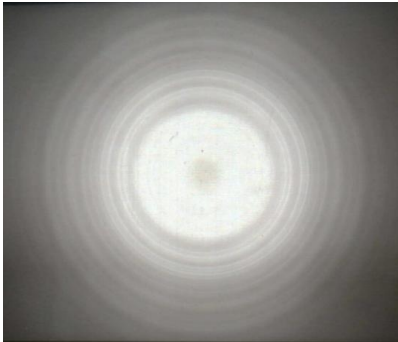


| 1  | 2   | 3   |
|--|-----|-----|
| TlIn <sub>0,96</sub> Sn <sub>0,04</sub> S <sub>2</sub> (III) | 4.4 | 3.2 |
| TlGa <sub>0,96</sub> Ge <sub>0,04</sub> Te <sub>2</sub>      | 6.4 | 3.8 |
| TlGa <sub>0,96</sub> Ge <sub>0,04</sub> Se <sub>2</sub>      | 4.0 | 2.7 |
| TlGa <sub>0,96</sub> Ge <sub>0,04</sub> S <sub>2</sub>       | 5.1 | 3.1 |

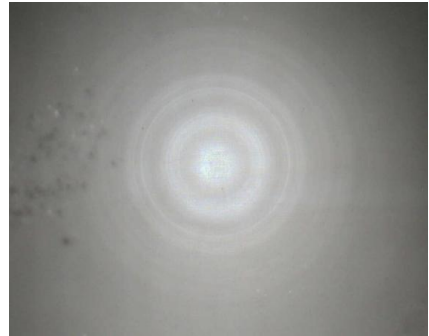
TlIn<sub>0,96</sub>Sn<sub>0,04</sub>Te<sub>2</sub>, TlIn<sub>0,96</sub>Sn<sub>0,04</sub>Se<sub>2</sub>, TlIn<sub>0,96</sub>Sn<sub>0,04</sub>S<sub>2</sub> polikristal nazik təbəqələri müvafiq olaraq  $T_a=268\div468\text{K}$ ,  $T_a=413\div483\text{K}$  və (I)  $T_a=403\div478\text{K}$ , (II)  $T_a=393\div468\text{K}$ , (III)  $T_a=388\div453\text{K}$  temperaturu altlıqların (NaCl, KJ, KCl) səthində formalaşır. Digər sistemin polikristal quruluşu TlGa<sub>0,96</sub>Ge<sub>0,04</sub>Te<sub>2</sub>, TlGa<sub>0,96</sub>Ge<sub>0,04</sub>Se<sub>2</sub>, TlGa<sub>0,96</sub>Ge<sub>0,04</sub>S<sub>2</sub> nazik təbəqələri müvafiq olaraq  $T_a=365\div390\text{K}$ ,  $T_a=430\div453\text{K}$  və  $T_a=400\div433\text{K}$  temperaturu yuxarıda qeyd olunan altlıqlarda alınır (şəkil 10-12).



**Şəkil 10.** TlGa<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>Te<sub>2</sub> polikristalının elektronogramması



**Şəkil 11.** TlGa<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>Se<sub>2</sub> polikristalının elektronogramması



**Şəkil 12.** TlGa<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>S<sub>2</sub> polikristalının elektronogramması

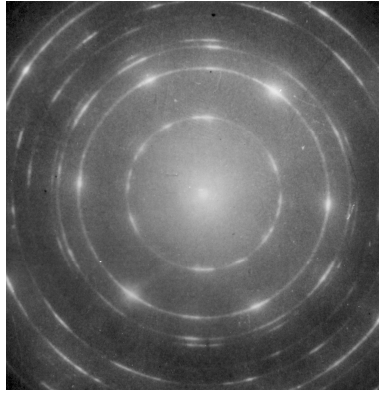
Altlıqların temperaturunu TlGa<sub>0,96</sub>Ge<sub>0,04</sub>S<sub>2</sub> üçün  $T_a=443\text{K}$  qədər, TlGa<sub>0,96</sub>Ge<sub>0,04</sub>Se<sub>2</sub> üçün isə  $T_a=463\text{K}$  qədər qaldırırdıqda monoklin sinqoniya termodinamik nöqtəyi-nəzərdən bərpa olunmaz faza çevril-

məsinə məruz qalır və kristallik qəfəsin ölçüləri  $a=b=0.764$ ,  $c=3.083$  nm,  $z=16$ , FQS 14/mcm və  $a=b=0.837$ ,  $c=0.659$  nm,  $z=4$ , FQS 14/mcm olan tetraqonal sinqoniyaya keçir. Nazik təbəqədə faza keçidi prosesində iki müxtəlif quruluşun qeydə alınması tədqiq olunan nümunədə atomların koordinasiyasında və rabitənin səciyyəvi xarakteristikasında böyük dəyişikliklər ilə müşayiət olunur. Düşən elektron şüasına nəzərən  $\varphi=30\div 60^\circ$  bucaq altında çəkilən elektronogrammlar kristallik qəfəsin "c" periodunu təyin etməyə imkan verir.

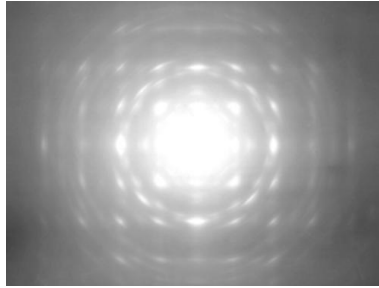
$\text{TlIn}_{0,96}\text{Sn}_{0,04}\text{Te}_2$  kondensatı üçün altlıqların temperaturunu  $T_a=433$  K qədər,  $\text{TlIn}_{0,96}\text{Sn}_{0,04}\text{Se}_2$  nazik təbəqəsi üçün  $T_a=403$ K qədər,  $\text{TlIn}_{0,96}\text{Sn}_{0,04}\text{S}_2$  (I-III) üçün  $T_a=463$ , 453, 445 K qədər artırıqda istiqamətlənmiş kristallik bloklar əmələ gəlir. Altlıqlar  $T_a=413$ K ( $T_a=513$  K,  $T_a=453$  K) temperaturuna qədər qızdırıldıqda  $\text{TlGa}_{1-x}\text{Ge}_x\text{Te}_2$  ( $\text{Se}_2$ ,  $\text{S}_2$ ) nazik təbəqələrində həmin bloklar formalaşır. Lakin difraksiya mənzərəsinə görə, əmələ gəlmiş tekstura mükəmməl deyil. Bundan əlavə müəyyən edilmişdir ki,  $\text{TlIn}_{0,96}\text{Sn}_{0,04}\text{Te}_2(\text{Se}_2, \text{S}_2)$  və  $\text{TlGa}_{0,96}\text{Ge}_{0,04}\text{Te}_2(\text{Se}_2, \text{S}_2)$  nazik təbəqələrində altlığa perpendikulyar "c" oxu olan teksturlaşmış kristallik faza əmələ gəlir (şəkil 13-15).

$\text{TlIn}_{0,96}\text{Sn}_{0,04}\text{Te}_2(\text{Se}_2, \text{S}_2)$  monokristal nazik təbəqələri  $T_a=473$ K ( $T_a=451$ K,  $T_a=505$ K) temperaturuna qədər qızdırılan NaCl, KJ, KCl altlıqlarının səthində formalaşır. Göstərilən altlıqların temperaturunu  $\text{TlGa}_{1-x}\text{Ge}_x\text{Te}_2$  üçün  $T_a=435$ K qədər,  $\text{TlGa}_{1-x}\text{Ge}_x\text{Se}_2$  üçün  $T_a=530$ K qədər,  $\text{TlGa}_{1-x}\text{Ge}_x\text{S}_2$  üçün  $T_a=480$ K qədər artırıqda mozaik monokristal əmələ gəlir. Temperaturun sonrakı artırılması zamanı elektronogrammlarda nöqtəvi reflekslərin intensivliklərinin artması müşahidə olunur və bu, müxtəlif mükəmməllik dərəcəsi olan monokristallik blokların əmələ gəlməsinə səbəb olur. Polikristal üçün səciyyəvi reflekslərin intensivlikləri azalır və tədricən yoxa çıxır. NaCl, KJ, KCl altlıqlarının temperaturu  $\sim 453$ K,  $\sim 563$ K,  $\sim 503$ K qədər qaldırıldıqda daha mükəmməl  $\text{TlGa}_{1-x}\text{Ge}_x\text{Te}_2$ ,  $\text{TlGa}_{1-x}\text{Ge}_x\text{Se}_2$ ,  $\text{TlGa}_{1-x}\text{Ge}_x\text{S}_2$  monokristallik təbəqələri formalaşır. Kristallik fazanın düz bucaq altında çəkilən difraksiya şəkli əsasında aparılan ölçmələr, hesablama və təhlillər yuxarıda qeyd olunan tetraqonal qəfəsin parametrlərinə uyğun gəlir.

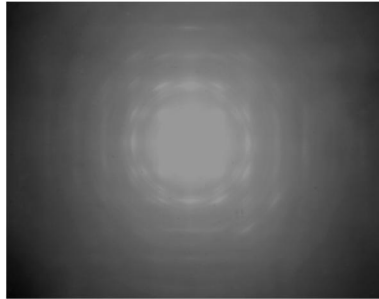
Alınmış  $\text{TlGa}_{1-x}\text{Ge}_x\text{Te}_2(\text{Se}_2, \text{S}_2)$  və  $\text{TlIn}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}_2(\text{Se}_2, \text{S}_2)$  epitaksial təbəqələrinin (111) və (100) müstəviləri altlığın (100) müstəvisinə paralel istiqamətlənmişlər. Qeyd edək ki, əksər hallarda aşqarların



**Şəkil 13.**  $TlGa_{1-x}Ge_xTe_2$  təbəqəsinin teksturlaşmış kristallik fazası



**Şəkil 14.**  $TlGa_{1-x}Ge_xSe_2$  təbəqəsinin teksturlaşmış kristallik fazası



**Şəkil 15.**  $TlGa_{1-x}Ge_xS_2$  təbəqəsinin teksturlaşmış kristallik fazası

əsas seqreqasiya müstəviləri qismində (111) müstəviləri çıxış edir. Beləliklə,  $TlGa_{1-x}Ge_xTe_2(Se_2, S_2)$  ( $x=0.01\div 0.09$ ) nazik təbəqələrinin termik buxarlanma üsulu ilə müxtəlif temperaturu monokristallik NaCl, KJ, KCl və amorf selluloid altlıqlarına çökdürülməsi zamanı sinqoniyanın dəyişməsinə səbəb olan kristallik strukturun elementar

qəfəslərinin böyümüş ölçülərinə malik müxtəlif substrukturlu fazalar əmələ gəlir. Aşqarların cüzi miqdarda əlavəsi amorf fazanın formalaşma temperaturlarının artmasına, bütün qalan alınmış substrukturlar üçün isə nazik təbəqələrin formalaşma temperaturunun dəyişməsinə gətirib çıxarır. Müəyyən edilmişdir ki, az qüsurlu bircinsli yüksək dərəcədə istiqamətlənmiş monokristallik təbəqələrin alınması üsullarından biri qəfəs ölçülərinin dəyişməsidir.

**III fəsil**  $\text{TlIn}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}_2$  ( $\text{Se}_2$ ,  $\text{S}_2$ ),  $\text{TlGa}_{1-x}\text{Ge}_x\text{Te}_2$  ( $\text{Se}_2$ ,  $\text{S}_2$ ) nanoölçülü amorf təbəqələrinin yaxın nizam quruluşunun yüksək enerjili elektronların difraksiyası metodu ilə tədqiqinə həsr edilmişdir.  $A^3B^3C_2^6$  qrupuna daxil olan birləşmələrdə Sn və Ge kimyəvi elementlərinin atomlarını legirə etməklə kristallik qəfəsin ölçülərini rəvan dəyişmək olur. Bu səbəbdən amorf nazik təbəqələrin formalaşması proseslərinin tədqiqi və onların xüsusiyyətlərinin proqnozlaşdırılması, şübhəsiz, elmi və praktiki maraq doğurur. Məlumdur ki, həmin birləşmələrdə fiziki xassələr və struktur arasında korrelyasiya mövcuddur. Nazik təbəqələrin alınma texnologiyasında rejim dəyişməsi, eləcə də aşqarlanma yolu ilə onların strukturunu modifikasiya etmək mümkündür. Amorf cisimlər, daha az nizamlanmış olmaqla, eyni temperatur və təzyiqlərdə kristallik haldakı maddələrə nisbətən daha böyük daxili enerji və entropiya ilə səciyyələnir. Temperatur və təzyiqin ədədi qiymətləri verilməklə, daxili enerji minimuma cavab verən halların alınması üçün həm hissəciklər arasında müəyyən məsafələr, həm onların müəyyən qarşılıqlı düzülüş konfigurasiyaları müəyyən edilməlidir.

Qalınlığı ~30 nm olan  $\text{TlIn}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}_2(\text{Se}_2, \text{S}_2)$  və  $\text{TlGa}_{1-x}\text{Ge}_x\text{Te}_2(\text{Se}_2, \text{S}_2)$  amorf təbəqələri qalıq qazların təzyiqi  $4 \times 10^{-5}$  Pa keçməklə vakuumda alınmışdır. Birinci halda  $\text{TlIn}(\text{Ga})\text{Te}_2(\text{Se}_2, \text{S}_2)$  monokristallarının dəqiq çəkilmə miqdarı və Sn(Ge) ilkin material kimi götürülmüş, ikinci halda isə  $\text{TlIn}_{1-x}(\text{Ga}_{1-x})\text{Sn}_x(\text{Ge}_x)\text{Te}_2(\text{Se}_2, \text{S}_2)$  ( $x=0.01 \div 0.09$ ) monokristalları tantal, volfram və molibden sobalarından buxarlandırılmışdır. Altlıqlar qismində qabaqcadan 3÷5 nm qalınlıqlı ifratnazik karbon təbəqəsi ilə örtülmüş təzə kəsilmiş NaCl, KCl, KJ qələvi halloid kristallarından istifadə edilmişdir. Maddənin altlıq üzərinə çökdürmə sürəti ~ 5÷6 nm/s olmuşdur.  $\text{TlIn}_{1-x}(\text{Ga}_{1-x})\text{Sn}_x(\text{Ge}_x)\text{Te}_2$  sistemində amorf fazaların əmələ gəlməsi üçün yuxarıda göstərilən altlıqları öncə 220K qədər soyudulması mütləq şərtidir.

Amorf təbəqələrdə atomlararası məsafələrin və hissəciklərin koor-

dinasiya ədədinin (KƏ) təyini üçün integral tənliklər metodu ilə atomların radial paylanması funksiyaları (ARPF) hesablanmış və atomların radial paylanmasının əyriləri (ARPƏ) qurulmuşdur. Həmin integral tənliklərin əsasında aşağıdakı düstur durur:

$$4\pi r^2 \sum_m K_m U_m(r) = 4\pi r^2 U_0(r) \sum_m K_m + \frac{2r}{\pi} \int_0^\infty s \cdot i(s) \sin sr ds, \quad (3)$$

$i(s)$  funksiyası aşağıdakı şəkildə təyin edilir:

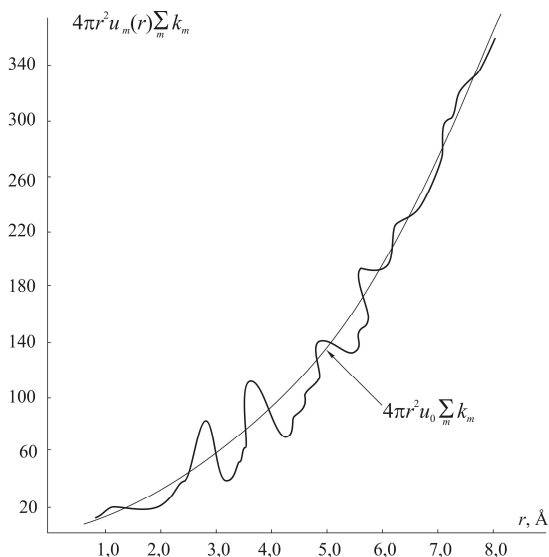
$$i(s) = \alpha \left[ \frac{I_e(s)}{\sum_m f_m^2(s)} - \frac{I_c(s)}{\sum_m f_m^2(s)} \right] = \alpha i_i(s), \quad (4)$$

burada  $\alpha$  – tənzimləyici kəmiyyət,  $I_e(s)$  – eksperimental səpilmə intensivliyi,  $I_c(s)$  – orta intensivlik. Tənzimləyici kəmiyyətin ədədi qiyməti " $\alpha$ " aşağıdakı düstur ilə təyin edilir:

$$\frac{1}{\alpha_{cp}} = \frac{1}{2} \left\{ \left[ \frac{I_c(s)}{\sum_m f_m^2(s)} - \frac{I_e(s)}{\sum_m f_m^2(s)} \right]_{max} + \left[ \frac{I_c(s)}{\sum_m f_m^2(s)} \right]_{min} \right\}. \quad (5)$$

İntegrallamanın yuxarı həddinin ədədi qiyməti  $S=100 \text{ nm}^{-1}$ , "RADIADIS" proqramı üzrə ARPƏ-nin hesablanması əsasında  $\text{TlIn}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}_2$  nanoqalınlıqlı nazik təbəqəsində atomların yaxın nizam quruluşlarının parametrləri haqqında məlumat əldə edilmiş və şəkil 16-da göstərilən ARPƏ qurulmuşdur.  $\text{TlIn}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}_2$  amorf təbəqəsində birinci koordinasiya sferasının radiusu  $r_1 = 0,292 \text{ nm}$ -dir. In-Te atomlarının kovalent radiuslarının cəmi ( $0,144+0,137=0,281 \text{ nm}$ )  $\text{TlSn}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}_2$  amorf təbəqəsi üçün alınmış müvafiq  $r_1$  ədədi qiymətlərinə yaxındır. Müəyyən edilmiş  $r_2 = 0,381 \text{ nm}$  ədədi qiyməti Tl-Te ionları arasındakı məsafələrə müvafiqdir,  $r_3 = 0,475 \text{ nm}$  üçüncü maksimumu isə fikrimizcə, eyniadlı atomlar arasındakı məsafələrə uyğun gəlir.

Birinci koordinasiya maksimumu altındakı sahələrin hesablanmasına nəzərən koordinasiya ədədinin (KƏ)  $D_1(n_1) = 4$  olduğu müəyyən edilmişdir. İkinci və üçüncü koordinasiya maksimumlarının altındakı sahələrə görə hesablanmış KƏ üçün  $n_2 = 6$  və  $n_3 = 8$  olmalı idi. Bu tallium atomlarının birinci halda tellur ionlu oktaedrik əhatəsinə, ikinci halda isə eyniadlı atomlu tetraedrik əhatəsinə işarədir. Lakin  $\text{TlIn}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}_2$  ARPƏ-nin ikinci və üçüncü pikləri sahələrinin hesablanmasına nəzərən KƏ-nin ədədi qiymətləri qismən böyük,  $n_2 = 6.8$  və  $n_3 = 8.2$  alınır. Ehtimal etmək olar ki,  $\text{TlIn}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}_2$  nazik təbəqələrinin

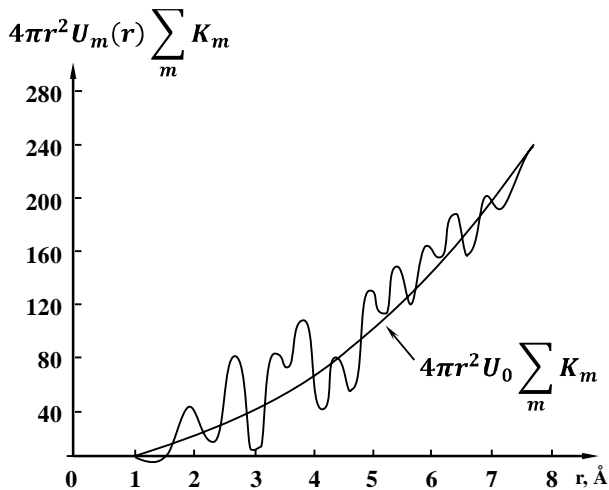


**Şəkil 16.** TIIn<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>Te<sub>2</sub> atomlarının radial paylanma əyriliyi

strukturunda əsas matris atomların oktaedrik və tetraedrik əhatələrindən ibarətdir. Lakin TIIn<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>Te<sub>2</sub> amorf təbəqələrində Te atomları ilə zənginləşdirilmiş həmcins olmayan sahələr vardır və burada tallium atomlarının müəyyən qismi səkkiz tellur atomu ilə əhatə edilir. Bu isə, öz növbəsində, struktur vahidlərin formasının və onların qablaşdırılması səviyyəsinin (struktur dimerlərin daha sıx qablaşdırılması nəzərdə tutulur) dəyişməsinə gətirib çıxarır.

TIIn<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>Se<sub>2</sub> amorf təbəqələrinin tədqiqi zamanı onların atomlarının yaxın nizam quruluşunun parametrləri təyin edilmişdir. Şəkil 17-də verilmiş amorf TIIn<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>Se<sub>2</sub> ARPƏ-də  $r_1=0.260$  nm,  $r_2=0.368$  nm və  $r_3=0.425$  nm olmaqla üç maksimum vardır. Biz belə qənaətə gəlirik ki,  $r_1=0.260$  nm məsafəsi In – Se atomları arasında olan orta məsafə kimi qəbul olunur.

İkinci və üçüncü koordinasiya sferalarını  $r_2=0.368$  nm və  $r_3=0.425$  nm müvafiq olaraq TI – Se arasında olan və digəri eyniadlı atomlar (Se – Se, TI – TI, In – In) arasındakı orta məsafə kimi götürmək məqbuldur. TIIn<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>Se<sub>2</sub> kristallik qəfəsində həmin məsafələr mövcuddur. Bu məsafələr TI(In) və Se atomlarının oktaedrik kovalent radiuslarının cəmindən böyükdür. Belə ki, TI – Se olduqda həmin cəm 0.313 nm-ə bərabərdir, In – Se olduqda isə 0.293 nm təşkil edir. TIIn<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>Se<sub>2</sub> ARPƏ-nin



Şəkil 17. Amorf  $TlIn_{1-x}Sn_xSe_2$  təbəqəsinin ARPƏ-si

ikinci və üçüncü pikləri altındakı sahələrin nəzəri hesablamalarının ədədi qiymətləri  $\Delta_1=25.9$   $\Delta_2=39.1$  və  $\Delta_3=67.3$  olmaqla, eksperimental yolla alınan nəticələr  $n_1 =28.4$ ;  $n_2 =37.2$  və  $n_3 =67.6$  alınır ki, bu da nisbətən bir qədər böyükdür. Bunu onunla izah etmək olar ki, Sn atomlarının təsirinin müqabilində ikinci koordinasiya sferasında Tl – Se məsafəsi In – Se məsafəsinə nisbətən daha böyük ehtimalla rast gəlinir.

Məlumdur ki,  $TlIn_{1-x}Sn_xS_2$  ( $x=0.01\div 0.09$ ) nazik təbəqəsi monoklinik, tetraqonal və rombik modifikasiyalarda kristallaşır. Həmin modifikasiyalar bundan sonra birinci, ikinci və üçüncü amorf formalar ( $TlIn_{1-x}Sn_xS_2 - I$ ,  $TlIn_{1-x}Sn_xS_2 - II$ ,  $TlIn_{1-x}Sn_xS_2 - III$ ) adlandırılacaq. Göstərilən nazik təbəqənin tədqiqi zamanı  $TlIn_{1-x}Sn_xS_2 - I$ ,  $TlIn_{1-x}Sn_xS_2 - III$ -də indium və kükürd atomları arasında kovalent əlaqələrin mövcudluğu, eləcə də indium və tallium atomlarının kükürd atomları ilə oktaedrik və tetraedrik əhatə olunması aşkar edilmişdir.  $TlIn_{1-x}Sn_xS_2 - II$  nazik təbəqələrində əsas matris kovalent əlaqəli atomların oktaedrik və tetraedrik əhatələrindən ibarətdir. Deməli, tallium atomlarının bir qismi altı, o birisi isə səkkiz kükürd atomu ilə əhatə olunur. Bu, öz növbəsində,  $TlIn_{1-x}Sn_xS_2 - II$  birinci amorf forması ilə müqayisədə struktur vahidlərin daha sıx qablaşdırılmasına dəlalət edir. Həmin amillər struktur vahidlərin formasının və onların qablaşdırılması xarakterinin dəyişməsinə səbəb olur.

Daha sonra  $TlGa_{1-x}Ge_xTe_2(Se_2, S_2)$  ( $x = 0.01 \div 0.09$ ) nazik təbəqələrinde atomların radial paylanması tədqiqi nəticələri verilmişdir. Bu amorf təbəqələrin ARPƏ-nin təhlili göstərdi ki, amorf fazaların yaxın nizamında kristallik qəfəslərə xas tetraedrik, oktaedrik və b.o. strukturlar saxlanılır. Amorf və kristallik nanoölçülü təbəqələrdə koordinasiya ədədləri dəyişmir.

Beləliklə, müəyyən edilmişdir ki, monoklin, tetraqonal və rombik modifikasiyalarda kristallaşan  $TlIn_{1-x}Sn_xTe_2(Se_2, S_2)$  və  $TlGa_{1-x}Ge_xTe_2(Se_2, S_2)$  ( $x=0.01\div 0.09$ ) kristallik və amorf strukturları arasında olan fərq əsasən, atomların tetraedrik və oktaedrik əhatələrində yaxın nizam quruluşlarında əlaqə uzunluqlarının və valent bucaqlarının müəyyən dağılıqlığı ilə bağlıdır. Atomlararası kovalent əlaqələr həm kristallik, həm də amorf təbəqələrdə saxlanılır. Qeyd edək ki, "x" ədədi qiymətləri daha böyük olduqda, Sn-un In ilə, Ge-un Ga ilə qarşılıqlı təsir reaksiyası yuxarıda göstərilən sistemlərdə məhdud intervalda əvəzetmə bərk məhlullarının əmələgəlməsinə gətirib çıxarır.

$TlIn_{1-x}Sn_xTe_2(Se_2, S_2)$  və  $TlGa_{1-x}Ge_xTe_2(Se_2, S_2)$  bərk məhlullarının ARPƏ-ləri  $TlInTe_2(Se_2, S_2)$  və  $TlGaTe_2(Se_2, S_2)$  ARPƏ-lərinə nisbətən ikinci koordinasiya maksimum atomlararası məsafələrin böyümə istiqamətində sürüşməsi və dərinliyinin artması ilə səciyyələnir. Koordinasiya ədədi  $r$  qiymətlərinin 2-4 % dəyişməsi, çox güman, qalay kimyəvi elementinin atomlarının təsiri ilə bağlıdır.

**IV fəsilə**  $TlIn_{1-x}Sn_xTe_2(Se_2, S_2)$ ,  $TlGa_{1-x}Ge_xTe_2(Se_2, S_2)$  ( $x=0.01 \div 0.09$ ) nanoölçülü amorf təbəqələrinin kristallaşma prosesinin kinetikasi və bu prosesə elektrik sahəsinin təsirinin effektivliyinin tədqiqi nəticələri təqdim edilmişdir. Bu təbəqələr  $\sim 10^{-5}$  Pa vakuumda xarici təsir olmadan və  $3000V \cdot sm^{-1}$  gərginlikli sabit elektrik sahəsində buxarlandırılan maddənin NaCl, KCl və KJ altlıqlarına kondensasiyası nəticəsində alınmışdır. Oksidləşmə və tərkib dəyişməsinin qarşısının alınması məqsədilə nazik təbəqələr karbon kapsulaya yerləşdirilmişdir.

Yeni fazaların əmələgəlməsi və böyüməsinin kinetik və termodinamik meyarlarına görə zamandan asılı olan faza dəyişmələri, bütün hallarda termodinamika nöqtəyi-nəzərdən ilkin həcmdə yeni faza mərkəzlərinin yaranması və onların sonrakı böyüməsi ilə şərtlənir. Kristallaşma prosesinin kinetikasi iki qarşılıqlı əlaqədə olan parametr ilə müəyyən edilir: 1) "Ana" fazada yeni faza mərkəzlərinin – rüsheymlərin əmələ gəlmə sürəti; 2) kristallaşma mərkəzlərinin böyü-

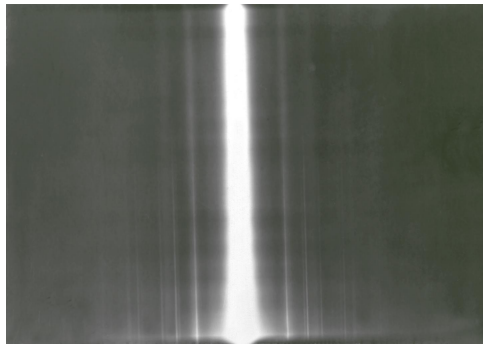


məsinin xətti sürəti. Lakin belə yanaşmada yeni faza mərkəzlərinin böyüməsi zamanı onların bir-birlərini örtməsində statistik səciyyə nəzərə alınmır və əslində yeganə həll olunan məsələ zamandan asılı olaraq faza çevrilmələridir, bununla yanaşı yeni fazanın rüşeymlərinin yaranması və böyüməsi ilə vəhdət təşkil edən ilkin həcmnin doldurulması baş verir.

Kinematik elektronogrammada kristallik fazanın difraksiya xətləri termik emal aparıldıqca güclənir, amorf fazanın diffuz xətləri isə zəifləyir və sonra tədricən yoxa çıxır (şəkil 18). Termik emal müddətində kristallik fazanı səciyyələndirən difraksiya xətlərinin intensivliyinin öyrənilməsi kristallaşmış fazanın miqdarı haqqında fikir yürütməyə imkan verir. Difraksiya xətlərinin intensivliyi  $I_{hkl}$  şüalandırılan nazik təbəqənin həcmi ilə aşağıdakı nisbətlə bağlıdır:

$$I_{hkl} = I_0 \lambda \left| \frac{\Phi_{hkl}}{\Omega} \right|^2 V \frac{d_{hkl}^2 \Delta P}{4\pi L \lambda}. \quad (6)$$

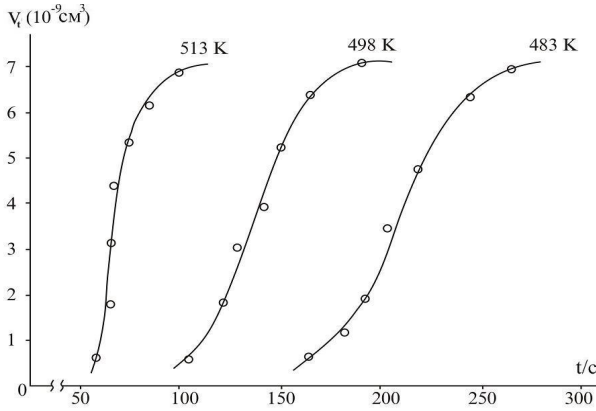
Burada  $I_0$  – düşən şüa dəstəsinin intensivliyi,  $\lambda$  – elektron dalğasının uzunluğu,  $\varphi$  – kinematik yanaşmada səpilmənin atom amilləri vasitəsilə hesablanan difraksiya əks etməsinin struktur amplitudası,  $\mu$  – elementar qəfəsin həcmi,  $V$  – polikristallik təbəqənin şüalandırılan həcmi,  $d_{hkl}$  və  $\Delta$  – müstəviarası məsafə və debay həlqəsinin kiçik hissəsi,  $P$  – difraksiya refleksinin güclənməsinin təkrarlıq amili,  $L\lambda$  – elektron sürətləndiricisinin tətbiq edilən gərginliyindən asılı olaraq təyin olunan cihaz sabiti. Bununla yanaşı  $I_{hkl} \sim V$  mütənasibliyi mövcuddur.



**Şəkil 18.** Amorf  $TlGa_{1-x}Ge_xSe_2$  təbəqəsinin kinematik elektronogramması

Yuxarıda göstərilən tərkibli nazik təbəqələrin böyüyən kristallik fazasının difraksiya xətləri intensivliyi kinematik elektronogramma-

nın müxtəlif hissələrindən mikrofotometr vasitəsilə təyin edilirdi. İntensivlik ədədi qiymətlərindən kristallaşmış maddənin miqdarına keçid normalaşdırma yolu ilə reallaşır: intensivliyin maksimal ədədi qiyməti maddənin tamam kristallaşmış həcmi ilə tutuşdurulur, bu isə termik emal vaxtından asılı olaraq, maddənin kristallaşmış hissəsinin həcmnin ədədi qiymətlərini tapmağa imkan verir. Göstərilənlərə müvafiq kristallaşmanın izotermaları qurulmuşdur (şəkil 19).



**Şəkil 19.**  $TlGa_{1-x}Ge_xSe_2$  amorf təbəqələrinin kristallaşmasının kinetik əyriləri.

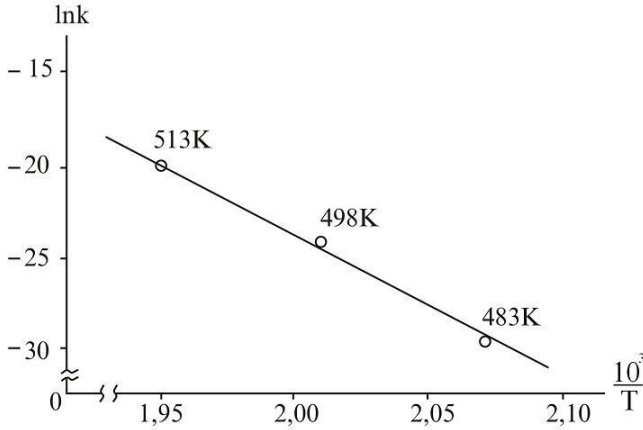
Müvafiq temperaturlarda və müəyyən vaxt ərzində kristallaşan amorf təbəqələrin kinematik elektronqrammalarının təhlili nəticəsində izotermik əyrilər alınmışdır. Həmin əyrilər faza çevrilmələrinin kinetik əyriləri üçün Avraami-Kolmoqorov tərəfindən müəyyən edilmiş analitik tənlik ilə təsvir olunur:

$$V_t = V_0 [1 - \exp(-kt^m)]. \quad (7)$$

Burada  $V_t$  –  $t$  vaxtına kristallaşmış maddənin həcmi,  $V_0$  – prosesin başlanğıcında amorf fazanın həcmi,  $k$  – reaksiya sürətinin sabiti,  $m$  – kristallitlərin böyüməsini səciyyələndirən kəmiyyətdir. Həmin kinetik tənlik vasitəsilə kristalit rüşeymlərinin sabit sürətli əmələgəlmə ( $v_a$ ) və böyümə ( $v_b$ ) qanunauyğunluqları müəyyən edilmişdir. Məlumdur ki, faza çevrilməsinə məruz qalmamış mövcud vahid həcmdə yeni faza rüşeymlərinin yaranma sürəti ( $v_y$ ) və kristallitlərin böyüməsinin xətti sürəti ( $v_b$ ) Arrenius tənliyinə tabe olur, onda

$$\ln k = A - \frac{1}{RT} (U_y + 3U_b) \quad (8)$$

burada  $U_y$  – rüşeym əmələgəlmə aktivasiyasının enerjisi,  $U_b$  – kristallitlərin böyümə aktivasiyasının enerjisi,  $A$  – forma əmsalının böyümənin xətti sürətinə hasil ( $k_s \cdot v_b$ ) (şəkil 20).



**Şəkil 20.**  $TlGa_{1-x}Ge_xSe_2$  amorf təbəqələrinin kristallaşması üçün  $\ln k$ -nın temperaturun tərs qiymətindən asılılığı.

Sabit elektrik sahəsində kondensatın çökdürülməsi şəraitində formalaşan nazik təbəqələrdə atomların yaxın nizam quruluşundakı məsafələr dəyişir. Bu dəyişiklik atomar əlaqələrin daha da uzanmasından ibarətdir və nəticədə rüşeymin əmələgəlmə və böyüməsi üçün aktivləşmə enerjiləri kimi kristallaşma parametrləri elektrik sahəsi xaricində alınmış kristallaşan nazik təbəqələrin analoji parametrləri ilə müqayisədə aşağı olur (cədvəl 2).

**Cədvəl 2.**  $TlIn_{1-x}Sn_xTe_2(Se_2, S_2)$ ,  $TlGa_{1-x}Ge_xTe_2(Se_2, S_2)$  bərk məhlullarının amorf təbəqələrinin kristallaşmasının kinetik parametrləri.

| Bərk məhlullar təbəqələri | Elektrik sahəsinin gərginliyi (E), $V \cdot \text{sm}^{-1}$ | m | Aktivləşmə enerjisi           |                   |                   |
|---------------------------|---|---|-------------------------------|-------------------|-------------------|
|                           |   |   | $U_{\text{ümm.}}$<br>kcal/mol | $U_y$<br>kcal/mol | $U_b$<br>kcal/mol |
| 1                         | 2   | 3 | 4                             | 5                 | 6                 |
| $TlIn_{1-x}Sn_xTe_2$      | 0   | 4 | 74.16                         | 26.39             | 15.92             |
|                           | 3000  |   | 62.56                         | 19.92             | 14.21             |
| $TlIn_{1-x}Sn_xSe_2$      | 0   | 3 | 49.85                         | 17.79             | 16.03             |
|                           | 3000  |   | 44.92                         | 16.06             | 14.43             |
| $TlIn_{1-x}Sn_xS_2-I$     | 0   | 4 | 50.2                          | 18.1              | 10.7,             |
|                           | 3000  |   | 42.7                          | 15.4              | 9.1               |
| $TlIn_{1-x}Sn_xS_2-II$    | 0   | 4 | 52.3                          | 19.3              | 11.0              |

| 1   | 2    | 3 | 4     | 5     | 6     |
|---|------|---|-------|-------|-------|
|   | 3000 |   | 45.5  | 16.8  | 9.6   |
| TlIn <sub>1-x</sub> Sn <sub>x</sub> S <sub>2</sub> -III | 0    | 4 | 53.4  | 20.1  | 11.1  |
|   | 3000 |   | 47.8  | 18.1  | 9.9   |
| TlGa <sub>1-x</sub> Ge <sub>x</sub> Te <sub>2</sub>     | 0    | 4 | 67.04 | 21.65 | 15.12 |
|   | 3000 |   | 62.05 | 20.31 | 13.91 |
| TlGa <sub>1-x</sub> Ge <sub>x</sub> Se <sub>2</sub>     | 0    | 4 | 44.1  | 15.3  | 9.6   |
|   | 3000 |   | 40.9  | 14.4  | 8.8   |
| TlGa <sub>1-x</sub> Ge <sub>x</sub> S <sub>2</sub>      | 0    | 4 | 62.77 | 20.85 | 13.97 |
|   | 3000 |   | 58.16 | 19.58 | 12.86 |

Müəyyənləşdirilmişdir ki, əvəzetmə bərk məhlulunun tərkibindən asılı olaraq bu birləşmələrdə kristallaşma aktivasiyasının effektiv enerjisi 4%-dən 11 %-ə qədər artır. Amorf təbəqələrin kristallaşma temperaturları diapazonunun 60÷80°C artması aşkar edilmişdir. Cədvəldən görüldüyü kimi, kristallaşma prosesində elektrik sahəsi effekti müşahidə olunur və bu, kristallitlərin böyüməsinin aktivasiya enerjisində əksini tapır. Sabit elektrik sahəsində alınmış bərk məhlulların amorf təbəqələrinin kristallaşması zamanı aktivasiya enerjilərinin ədədi qiymətlərinin aşağı olması onunla izah edilir ki, nazik təbəqələrin formalaşma prosesində amorf molekullar – rüşeymlər əlavə olaraq yüklənir. Elektrik sahəsinin təsiri nəticəsində kristallaşma prosesi sürətlənir, faza çevrilmələrinin temperaturu aşağı düşür və aktivasiya enerjilərinin ədədi qiymətləri 5÷9% azalır. Bu halda yaranan yüklərin qradienti qeyri-tarazlıq halda olan nazik təbəqələrin kristallaşma prosesini sürətləndirir. Elektrik sahəsi elektrostatik təbiətli olduğu üçün onun amorf halda əmələ gələn kondensatlara təsiri nazik təbəqələrdəki elektrik yüklü nöqtəvi defektlər, yaxud onların toplusu ilə qarşılıqlı əlaqədə olması ilə izah edilə bilər. Lakin bu halda yeni faza rüşeymlərinin bir-birini örtməsi və bunun nəticəsində yaranan həcm məsələsinə baxılmır.

**V fəsildə** ifratstrukturulu qəfəslərə malik TlIn<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>Te<sub>2</sub> (Se<sub>2</sub>, S<sub>2</sub>), TlGa<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>Te<sub>2</sub>(Se<sub>2</sub>, S<sub>2</sub>) tərkibli bərk məhlulların nazik təbəqələrinin formalaşması və nanoölçülü epitaksial təbəqələrin əmələ gəlməsi proseslərinin tədqiqi nəticələri göstərilmişdir. Hal-hazırda materialların yeni xassələrinin yaranmasına səbəb olan ifratqəfəslərin axtarışında əsas istiqamətlər bir üçbucaq ətrafında cəmləşir: 1) yarımkəçiricilərdə aşqarların modullaşdırılmış fəza paylanması; 2) həm fiziki, həm

də kimyəvi cəhətdən uyuşan yarımkəçirici layların vaxtaşırı birləşməsi; 3) minimal sayda defektləri olan eynicinsli mükəmməl monokristallik təbəqələrin yetişdirilməsinə imkan verən istiqamətlənmiş kristallaşma. Qarşıya qoyulan məqsəd əvvəlki fəsillərdə təsvir edilən metod vasitəsilə alınmış yuxarıda göstərilən bərk məhlulların epitaksial təbəqələrinin əmələgəlməsinə Sn və Ge aşqarlarının təsirini araşdırmaq idi. Burada həmçinin bir modifikasiyadan o birisinə faza keçidləri və bu və ya digər faza ilə mütənəsb ifratstrukturların əmələgəlmə imkanları tədqiq edilmişdir.

$\text{TlIn}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}_2(\text{Se}_2, \text{S}_2)$  və  $\text{TlGa}_{1-x}\text{Ge}_x\text{Te}_2(\text{Se}_2, \text{S}_2)$  bərk məhlullarının mükəmməl monokristallik təbəqələri, termik emal 10-40 dəqiqə davam etməklə,  $T_a=508\div 563 \text{ K}$  və  $T_a=505\div 573 \text{ K}$  temperaturlarında olan NaCl, KCl və KJ altlıqlarının üzərində əmələ gəlir. Elektronografik tədqiqat üçün həmin nümunələr termik emaldan sonra  $7 \div 21 \text{ K/dəq}$  sürətilə vakuumba otaq temperaturuna qədər soyudulmuşdur. Nazik təbəqə ilə altlıqların yerləşdiyi saxsı oturacağın temperaturu mis-konstantan termocüt vasitəsilə ölçülürdü.

$\text{TlIn}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}_2(\text{Se}_2, \text{S}_2)$  nazik təbəqələrindən alınan elektronogramlar tetraqonal quruluşlu kristallik qəfəslərin ilkin fazaya nisbətən, qəfəsin üçqat və beşqat artmış parametrlərinə istinadən təhlil edilir:  $2.505 \leq a \approx 3a_0 \leq 2.761 \text{ nm}$ ;  $2.103 \leq c \approx 3c_0 \leq 2.259 \text{ nm}$  və  $3.831 \leq a \approx 5a_0 \leq 4.065 \text{ nm}$ ;  $2.584 \leq c \approx 4c_0 \leq 2.703 \text{ nm}$ . Bunun nəticəsində əvəz etmə bərk məhlullarının ifratstrukturlu təbəqələrinin formalaşması sübuta yetirilir. İfratstrukturlu fazanın elementar qəfəsi NaCl altlığının iki qəfəsi ilə bağlı olduğu görünür. Altlıq və nazik təbəqənin bir-birinə bağlı qəfəslərinin uyğunsuzluqları  $\sim 2.3$  və  $2.5\%$  təşkil edirdi. Tədqiq edilən bərk məhlullar təbəqələrinin epitaksial böyüməsi zamanı istiqamətlənmə münasibətlərini aşağıdakı şəkildə göstərmək olar:  $(100) \text{TlIn}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}_2 // (001) \text{NaCl}$  və  $(110) \text{TlIn}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Se}_2 // (001) \text{NaCl}$ .

Əvvəlki fəsillərdə izotermik rejimdə  $\text{TlIn}_{1-x}\text{Sn}_x\text{S}_2$  amorf təbəqələrinin kristallaşması zamanı monoklin, tetraqonal və rombik fazaların əmələgəlmə prosesi tədqiq edilmişdir. Həmin epitaksial təbəqələrin 10 dəqiqə müddətində  $T_a = 508 \text{ K}$  temperaturunda olan KJ altlıqlarında termik emalı və sonradan  $12 \div 21 \text{ K/dəq}$  sürətilə otaq temperaturuna qədər soyudulması nəticəsində yalnız tetraqonal modifikasiyalı  $\text{TlIn}_{1-x}\text{Sn}_x\text{S}_2$  ifratstrukturlu fazalı təbəqələri formalaşdırırdı. Eyni dərəcəli aşqarlanmış birləşmələrin təbəqələri ilə

müqayisədə həmin təbəqələrin qəfəs parametrləri üç dəfə artmış olur:  $2.190 \leq a \approx 3a_0 \leq 2.361$  nm;  $8.476 \leq c \approx 3 c_0 \leq 8,954$  nm. İfratstrukturlu fazanın elementar qəfəsi KJ altlığının üç qəfəsi ilə bağlı idi. Altlıq və nazik təbəqənin bir-birinə bağlı olan qəfələrinin uyğunsuzluqları ~3.5% təşkil etdi. Tədqiq olunan nazik təbəqələrin epitaksial böyüməsi zamanı istiqamətlənmə münasibətlərini aşağıdakı şəkildə göstərmək olar: (100)TlIn<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>S<sub>2</sub> // (001) KJ.

TlGa<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>Te<sub>2</sub> və TlGa<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>Se<sub>2</sub> ( $x = 0.01 \div 0.09$ ) epitaksial təbəqələrinin 20÷30 dəqiqə müddətində  $T_a = 495$  K və  $T_a = 573$  K temperaturlarında olan KJ və NaCl altlıqlarında termik emalı və sonradan ~12÷21 K/dəq sürətilə otaq temperaturuna qədər soyudulması nəticəsində bərk məhlulların ifratstrukturlu fazalı təbəqələri formalaşdı. NaCl və KJ altlıqlarında TlGa<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>Te<sub>2</sub> təbəqələrinin formalaşması zamanı ifratstrukturlu fazanın bir elementar qəfəsi NaCl-un üç qəfəsi və KJ-un iki qəfəsi ilə bağlıdır, bununla yanaşı bir-birinə bağlı qəfələrin nisbi uyğunsuzluğu ~2÷3% təşkil edir. Nazik təbəqələrin (100) müstəvisi NaCl və KJ (100) altlıqlarına paraleldir. Hesablama nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, TlGa<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>Se<sub>2</sub> ifratstrukturlu fazasının bir elementar qəfəsi NaCl -un iki qəfəsi ilə bağlıdır, bununla yanaşı bir-birinə bağlı qəfələrin nisbi uyğunsuzluğu ~ 2.6% təşkil edir.

TlGa<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>S<sub>2</sub> ifratstrukturlu bərk məhlulun mükəmməl monokristallik təbəqələri ~553 K temperaturuna qədər qızdırılmış KCl, KJ altlıqlarında 30 dəqiqə müddətində saxlanılması və sonradan tədricən soyudulması nəticəsində alınmışlar. Həmin monokristal bərk məhlullar KJ (100) müstəvilərinə paralel (100) müstəviləri ilə istiqamətlənir. İfratqəfəsin hər bir elementar qəfəsi altlığın üç qəfəsi ilə bağlıdır və bir-birinə bağlı qəfələrin nisbi uyğunsuzluğu ~3.2% təşkil edir. Ge aşqar atomlarının təsiri nəticəsində yaranan ifratstrukturlu faza atomların tutduğu yerlərdən statistik sürüşmələrinə gətirib çıxarır. Bununla yanaşı tetraqonal sinqoniyalı ifratquruluşlu TlGa<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>Te<sub>2</sub>(Se<sub>2</sub>, S<sub>2</sub>) ( $x=0.01 \div 0.09$ ) nazik təbəqələrinin qəfəs periodları tərkibi və aşqarlanma dərəcəsi eyni olan birləşmələrin elementar qəfəs sabitləri ilə müqayisədə iki və ya üç dəfə artmış olurlar:  $1.624 \text{ \AA} \approx 2a_0 \text{ \AA} \approx 1.813 \text{ nm}$ ;  $1.317 \text{ \AA} \approx 2c_0 \text{ \AA} \approx 1.408 \text{ nm}$ ,  $1.545 \text{ \AA} \approx 2a_0 \text{ \AA} \approx 1.657 \text{ nm}$ ;  $1.227 \text{ \AA} \approx 2c_0 \text{ \AA} \approx 1.288 \text{ nm}$  və  $2.169 \text{ \AA} \approx 3a_0 \text{ \AA} \approx 2.366 \text{ nm}$ ;

5.903  $\text{\AA}$   $c \approx 2c_0$   $\text{\AA}$  6.236 nm.

$\text{TlGa}_{1-x}\text{Ge}_x\text{Te}_2$ ,  $\text{TlGa}_{1-x}\text{Ge}_x\text{Se}_2$  və  $\text{TlGa}_{1-x}\text{Ge}_x\text{S}_2$  bərk məhlullarında aşqar atomları ifratstrukturlu fazalarda təbəqələrin kristallik qəfələrinin deformasiyasına səbəb olur. Bir-birini əvəz edən atomlar müxtəlif valentliyə malikdir. Bütövlükdə qəfəs neytral olmalıdır və bu səbəbdən bərk məhlulların matrisanın  $\text{Ga}$  ( $3^+$ ) ilkin üçvalentli ionları yükün müvafiq sayda deşik-elektron vakansiyalarla kompensasiyası şərtilə  $\text{Ge}$  ( $4^+$ ) dördvalentli ionları ilə əvəz edilir.  $\text{TlGa}_{1-x}\text{Ge}_x\text{Te}_2$ ,  $\text{TlGa}_{1-x}\text{Ge}_x\text{Se}_2$  və  $\text{TlGa}_{1-x}\text{Ge}_x\text{S}_2$  monokristallik təbəqələrindən alınan elektronogrammalarda müşahidə edilən sabit qəfəs parametrlərinin kəskin böyüməsi ifratqəfələrin əsasında əvəzetmə bərk məhlullarının əmələgəlməsi ilə izah olunur.

Beləliklə, biz epitaksial təbəqələrin formalaşması zamanı ölçü uyğunluğu prinsipinin təsir qüvvəsinin müəyyən edilməsinə, bərk məhlulların nanoqalınlıqlı təbəqələrinin epitaksial böyüməsinə və onlarda ifratstrukturların əmələgəlməsinə istiqamətləndirici monokristallik altlığın və onun temperaturunun təsirinin aydınlaşdırılmasına müvəffəq olmuşuq. Bunun müqabilində hesab edirik ki,  $\text{Sn}$  və  $\text{Ge}$  atomları kristallik qəfəsin düyünlərində yerləşir.  $\text{TlIn}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}_2(\text{Se}_2, \text{S}_2)$  və  $\text{TlGa}_{1-x}\text{Ge}_x\text{Te}_2(\text{Se}_2, \text{S}_2)$  bərk məhlullarının ifratstrukturlarının elementar qəfəs parametrləri və aşqarların konsentrasiyası arasında xətti asılılıq vardır, eləcə də həmin parametrlər Veqard tərəfindən müəyyən edilmiş qanunauyğunluğa tabe olur. Tərkibin yalnız cüzi intervalında xətti asılılıq pozulur. Monokristallik təbəqələrin əmələgəlmə mexanizmlərinin aparılmış elektronografik tədqiqatı ifratstrukturlu nazik təbəqələrin tətbiqi ilə birbaşa bağlıdır. Həmin təbəqələrin yaranma şəraitinin müəyyənləşdirilməsi isə epitaksial təbəqələrin bütün aspektləri üçün fundamental əhəmiyyətə malikdir. İfatstrukturlarla bağlı məlumatlar az olduğu halda, bu istiqamətdə alınan nəticələr əsasən struktur aspektdə şərh edilir və cihazların, digər məmulatların istehsalında istifadə oluna bilər.

## NƏTİCƏLƏR

1. Dövri sistemin IV qrup kimyəvi elementləri ilə aşqarlanmış  $\text{A}^3\text{B}^3\text{C}_2^6$  sistemlərinin üçqat birləşmələrinin heterogen vakuum kondensatlarının kimyəvi tarazlığının təyini prosesində baş verən kimyəvi

reaksiyalar nəticəsində ilk dəfə olaraq nanometr qalınlıqlı nazik təbəqələrdə faza əmələgəlməsinin ümumiləşdirici qanunauyğunluqları müəyyən edilmişdir.  $A^3B^3C_2^6$  qrupuna daxil olan bir sıra birləşmələrin bərk məhlullarının amorf və kristallik fazalarının əmələ gəlməsi və qeyd olunan fazalarda nazik təbəqələrin formalaşması şəraiti müəyyən edilmişdir. Göstərilən sistemdə tarazlıq vəziyyətinin yaranması yolunun müxtəlif mərhələlərində metastabil və termodinamik dayanaqlı fazalar göstərilmişdir.

**2.** Sn və Ge ilə aşqarlanmış Tl-In(Ga)-Te(Se, S) sistemlərində faza əmələgəlməsi zamanı NaCl, KCl və KJ monokristallik altlıqlarının üzərinə termik çökmə üsulu ilə alınan nanoölçülü əvəzetmə bərk məhlullarının nazik təbəqələrinin amorf və kristallik fazalarının formalaşması şəraiti müəyyən edilmişdir. Aşqarlanmış  $TlIn(Ga)Se_2(S_2)$  nazik təbəqələrindən fərqli olaraq  $TlIn_{1-x}Sn_xTe_2$  və  $TlGa_{1-x}Ge_xTe_2$  bərk məhlullarının amorf nazik təbəqələri 220 K temperaturundan yüksək olmayan altlıqlar üzərində alınır.

**3.**  $TlIn_{1-x}Sn_xTe_2(Se_2,S_2)$  və  $TlGa_{1-x}Ge_xTe_2(Se_2,S_2)$  əvəzetmə bərk məhlullarının qəfəs periodları aşqarın miqdarından ( $0.01 \leq x \leq 0.09$ ) asılı olaraq 0.7% -dən 11 %-dək böyüürlər:

|                           |                           |                         |
|---------------------------|---------------------------|-------------------------|
| $TlIn_{1-x}Sn_xTe_2$      | $a'=0.8619 \div 0.9522$ ; | $c'=0.7256 \div 0.7795$ |
| $TlIn_{1-x}Sn_xSe_2$      | $a'=0.8146 \div 0.8651$ ; | $c'=0.6890 \div 0.7196$ |
| $TlIn_{1-x}Sn_xS_2$ (I)   | $a'=0.7862 \div 0.8581$ ; | $c'=2.4235 \div 2.5875$ |
| $TlIn_{1-x}Sn_xS_2$ (II)  | $a'=0.6637 \div 0.7253$ ; | $c'=1.5122 \div 1.6578$ |
| $TlIn_{1-x}Sn_xS_2$ (III) | $a'=0.7825 \div 0.8504$ ; | $c'=3.0267 \div 3.2163$ |
| $TlGa_{1-x}Ge_xTe_2$      | $a'=0.8555 \div 0.9542$ ; | $c'=0.6930 \div 0.7408$ |
| $TlGa_{1-x}Ge_xSe_2$      | $a'=0.8131 \div 0.8721$ ; | $c'=0.6463 \div 0.6781$ |
| $TlGa_{1-x}Ge_xS_2$       | $a'=0.7748 \div 0.8451$ ; | $c'=3.1069 \div 3.2819$ |

**4.** KCl və NaCl ion monokristal altlıqlarının üzərinə çökdürülmüş  $TlIn_{1-x}Sn_xTe_2(Se_2, S_2)$  nazik təbəqələrinin termik emalı müqabilində faza çevrilmələri zamanı epitaksial bərk məhlulların əmələgəlmə şəraiti müəyyən edilmişdir. Bu bərk məhlulların elementar qəfəslərinin periodları ilə altlıqların kristalloqrafik parametrləri arasında olan uyğunsuzluq  $\sim 2.5 \div 3.2$  % təşkil edir.

**5.**  $TlGa_{1-x}Ge_xTe_2(Se_2, S_2)$  əvəzetmə bərk məhlullarının epitaksial nazik təbəqələrinin NaCl və KJ altlıqlarının üzərində alınması şəraiti müəyyən edilmişdir. Qeyd olunan nazik təbəqələrin tetraqonal quruluşlu elementar qəfəs periodlarının və müvafiq altlıqların kristallo-



qrafik parametrləri arasındakı uyğunsuzluq  $\sim 2.2 \div 3.8$  % təşkil edir.

**6.**  $\text{TlIn}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}_2(\text{Se}_2, \text{S}_2)$  və  $\text{TlGa}_{1-x}\text{Ge}_x\text{Te}_2(\text{Se}_2, \text{S}_2)$  amorf nazik təbəqələrində atomların radial paylanması əyriləri inteqral tənliklər metodundan istifadə etməklə qurulmuşdur. Eyniadlı və müxtəlifadlı atomlar arasındakı məsafələr, eləcə də atomların yaxın nizam quruluşunun parametrləri, yəni koordinasiya sferalarının radiusları və koordinasiya ədədləri müəyyən edilmişdir.

**7.** İlk dəfə olaraq Sn və Ge ilə aşqarlanmış  $\text{TlIn}(\text{Ga})\text{Te}_2(\text{Se}_2, \text{S}_2)$  tərkibli amorf nazik təbəqələr alınmış və monokristallik altlıqlarda onların formalaşma qanunauyğunluqları müəyyənləşdirilmişdir. Aşkar edilmişdir ki, nanoölçülü təbəqələrin aşqarlanma səviyyəsindən asılı olaraq, amorf təbəqələrin formalaşma temperaturlarının intervalı 7-11% artır.

**8.** İlk dəfə aşkar edilmişdir ki,  $\text{TlIn}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}_2(\text{Se}_2, \text{S}_2)$  və  $\text{TlGa}_{1-x}\text{Ge}_x\text{Te}_2(\text{Se}_2, \text{S}_2)$  amorf nazik təbəqələri irihəcimli kristall nümunələri ilə analogi yaxın nizam strukturlarına malikdir. Amorf təbəqələrdə müəyyənləşdirilmiş atomlararası kovalent rabitə tipi göstərir ki, həmin nazik təbəqələr yarımkeçirici xüsusiyyətlərini amorf halda da saxlayır. Qalay və germanium ilə aşqarlanmış amorf təbəqələr atomların daha sıx yerləşməsi ilə seçilir. Aşqarlanma prosesi nazik təbəqələrdə atomlararası əlaqələrin əhəmiyyətli dərəcədə uzanmasına gətirib çıxarır.

**9.** İlk dəfə olaraq monokristal nazik təbəqələr və onların altlıqları arasında mövcud olan epitaksial nisbət müəyyən edilmişdir.  $\text{TlIn}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}_2(\text{Se}_2, \text{S}_2)$  və  $\text{TlGa}_{1-x}\text{Ge}_x\text{Te}_2(\text{Se}_2, \text{S}_2)$  ifratstrukturulu monokristal nazik təbəqələrinin (100) müstəviləri NaCl, KCl, KJ altlıqlarının (001) müstəvilərinə paralel istiqamətlənmişdir.

**10.** Müəyyən edilmişdir ki,  $\text{Tl} - \text{In}(\text{Ga}) - \text{Te}_2(\text{Se}_2, \text{S}_2)$  sistemləri birləşmələrinə müəyyən miqdarda ( $0.01 \leq x \leq 0.09$ ) Sn(Ge) aşqarı əlavə edildikdə qəfəslərin parametrləri monoton dəyişməklə əvəz etmə bərk məhlulları əmələ gəlir. Lakin aşqarın  $x=0.05 \div 0.06$  miqdar intervalında qəfəs parametrlərinin dəyişməsinin monotonluq gedışatında pozulma halı aşkar edilmişdir. Nanoqalınlıqlı amorf layların kristallaşması zamanı faza dəyişmələrinin kinetik parametrlərinə aşqarların təsiri müəyyən edilmişdir.

**11.** İlk dəfə olaraq adi şəraitdə və  $3000 \text{ V} \cdot \text{sm}^{-1}$  gərginliyində xarici elektrik sahəsinin təsiri altında molekulyar dəstənin çökdürülməsi

zamanı alınan  $TlIn_{1-x}Sn_xTe_2(Se_2,S_2)$ ,  $TlGa_{1-x}Ge_xTe_2(Se_2,S_2)$  bərk məhlullarının amorf təbəqələrində faza keçidləri müəyyənləşdirilmişdir.

**12.** İlk dəfə müəyyən edilmişdir ki,  $TlIn_{1-x}Sn_xTe_2(Se_2,S_2)$ ,  $TlGa_{1-x}Ge_xTe_2(Se_2,S_2)$  bərk məhlullarının amorf təbəqələrinin kristallaşma kinetikası Avrami-Kolmoqorov qanunauyğunluğuna tabe olur və  $V_t=V_0[1-\exp(-kt^m)]$  analitik tənlik ilə təsvir edilir. Göstərilmişdir ki, elektrik sahəsinin təsiri ilə və onsuz alınan  $TlIn_{1-x}Sn_xTe_2(Se_2,S_2)$ ,  $TlGa_{1-x}Ge_xTe_2(Se_2,S_2)$  bərk məhlullarının amorf təbəqələrinin kristallaşması prosesində yaranan kristallik rüşeymlərin iki və üçölçülü böyüməsi baş verir.

**13.** Müəyyən edilmişdir ki, termik çökdürmə zamanı elektrik sahəsinin təbiiqi altlıqların üzərində nazik təbəqələrin əmələgəlməsi mərhələsində yüklərin yenidən paylanması, yaxud köçürülməsinə səbəb olur və onların səthdə bərabər paylanmasının tezliyini artırır. Sabit elektrik sahəsi rüşeymlərin yaranması və sonrakı böyüməsinin sürətini artırır, bununla yanaşı aktivasiya enerjisi qiymətləri 10-15% azalır.

**14.**  $TlIn(Ga)Te_2(Se_2, S_2)$  üçqat birləşmələri əsasən nizamlı kristallik quruluşludur, lakin bu birləşmələrin əsasında olan  $TlIn_{1-x}(Ga)Sn_x(Ge)Te_2(Se_2, S_2)$  bərk məhlullarının ifratstrukturlu fazaları daha mükəmməl nizamlı qəfəslərə malikdir.

**15.** İlk dəfə olaraq, Sn və Ge ilə aşqarlanmış  $A^3B^3C_6^6$  kimyəvi birləşmələr qrupuna aid monokristallik nazik təbəqələrdə əvəzetmə bərk məhlullarının ifratstrukturlu nanohissəciklərinin yaranma şəraiti müəyyən edilmişdir. Müxtəlif altlıqlar üzərində olan eptaksial nazik təbəqələr termik emal nəticəsində formalaşdıqda yalnız tetraqonal quruluşlu ifratstrukturlu fazalar alınır. Həmin nazik təbəqələrin elementar kristallik qəfəslərinin ölçüləri aşqarın miqdarından ( $x=0.01 \div 0.09$ ) asılı olaraq aşağıda verilmişdir:

$TlIn_{1-x}Sn_xTe_2 - 2.505 \leq a \approx 3a_0 \leq 2.761 \text{ HM}; 2.103 \leq c \approx 3c_0 \leq 2.259 \text{ HM};$   
 $TlIn_{1-x}Sn_xSe_2 - 3.831 \leq a \approx 5a_0 \leq 4.065 \text{ HM}; 2.584 \leq c \approx 4c_0 \leq 2.703 \text{ HM};$   
 $TlIn_{1-x}Sn_xS_2 - 2.190 \leq a \approx 3a_0 \leq 2.361 \text{ HM}; 8.476 \leq c \approx 3c_0 \leq 8.954 \text{ HM};$   
 $TlGa_{1-x}Ge_xTe_2 - 1.624 \text{ \AA} \approx 2a_0 \text{ \AA} 1.813 \text{ HM}; 1.317 \text{ \AA} \approx 2c_0 \text{ \AA} 1.408 \text{ HM};$   
 $TlGa_{1-x}Ge_xSe_2 - 1.545 \text{ \AA} \approx 2a_0 \text{ \AA} 1.657 \text{ HM}; 1.227 \text{ \AA} \approx 2c_0 \text{ \AA} 1.288 \text{ HM};$   
 $TlGa_{1-x}Ge_xS_2 - 2.169 \text{ \AA} \approx 3a_0 \text{ \AA} 2.366 \text{ HM}; 5.903 \text{ \AA} \approx 2c_0 \text{ \AA} 6.236 \text{ HM}.$   
 Qeyd etmək lazımdır ki,  $TlIn_{1-x}Sn_xS_2$  tərkibli eptaksial nazik təbə-

qələri üç modifikasiyada – monoklin, rombik və tetraqonal quruluşda formalaşır. Bu bərk məhlulun monoklin və rombik sinqoniyalarda olan nazik təbəqələri metastabil qeyri-yetkin ifratquruluşu malik olurlar.

**16.** İfratstrukturlu bərk məhlulların elementar qəfələri altlıqların bir neçə qəfəsi ilə bağlıdır, bununla yanaşı onların nisbi uyğunsuzluğu 3-4% təşkil edir. İfratstrukturlu və ilkin fazaların qəfəs periodları 2-5 dəfə fərqlənir.

**17.** Göstərilmişdir ki, ilkin fazaların ifratstrukturlu fazalara keçməsi mexanizmi kristallik qəfəslərdə atomların nizam dərəcəsi ilə bağlıdır. İfratstrukturlar kristallik qəfələrin uzaq dövriliyinə malikdir və ilkin faza nizamının pozulması nəticəsində əmələ gəlir, yəni onlar nizamsız fazalardır.

**18.** Əvəzədi bərk məhlulların ifratquruluşlu fazalarının əmələ gəlməsi epitaksial nazik təbəqələrin formalaşması ilə müqayisədə daha yüksək temperaturlarda baş verir. Bunun nəticəsində atomların (Te, Se, S) qüsurlu mövqələri nizamlı düzlüklə əvəz olunur.

**19.** Bərk məhlulların tetraqonal sinqoniyada monokristal ifratquruluşlu nazik təbəqələrinin formalaşması aşqarın böyük blokları keçərək kristallik rüseymlərə quruluş baxımından həssas olmayan difuziyası nəticəsində reallaşır, bununla yanaşı atomların mövqələrinin qismən statistik yerdəyişməsi aşqarların təsiri ilə izah edilir.

### **Dissertasiyanın mövzusu üzrə çap olunmuş elmi əsərlərin siyahısı:**

**1.** Исмаилов, Д.И., Алекперова, Э.Э., Алекперов, Э.Ш. Сверхструктурные фазы в соединениях  $TlGaTe_2$ ,  $TlInTe_2$  и образование твердых растворов на основе сверхрешеток составов  $TlGaTe_2$  (Ge),  $TlInTe_2$  (Sn) // Международная научно-техническая конференция «Информационные и электронные технологии в дистанционном зондировании», ИЭТДЗ–2004, посвященная 70-летию акад. А.Ш. Мехтиева, – Баку: – 20 – 23 декабря, – 2004, – с.311-313.

**2.** Алекперова, Э.Э., Мамедова, А.Ч., Мададзаде, А.И., Исмаилов, Д.И., Алекперов, Э.Ш. Влияние примесей на образование твердых растворов на основе сверхрешеток соединения  $TlInS_2$  // V Международная научно-техническая конференция «Микро-

электронные преобразователи и приборы на их основе» – МЭПП – 2005, – Баку: – 5 – 8 декабря, – 2005, – с.133-135.

3. Керимова, Э.М., Исмаилов, Д.И., Алекперов, Э.Ш. Электронографическое исследование кинетики кристаллизации нанотолщинных аморфных пленок  $TiIn_{1-x}Sn_xS_2$  // V Международная конференция «Аморфные и микрокристаллические полупроводники», – Санкт-Петербург: – 19 – 21 июня, – 2006, – с.175-176.

4. Алекперов, Э.Ш., Гараев, Э.С., Мамедова, А.Ч. Образование нанотолщинных эпитаксиальных пленок  $TiGa_{1-x}Ge_xS_2$  // «Fizikanın aktual problemləri» adlı IV Respublika Elmi Konfransının Materialları, – Bakı: – 29 – 30 iyun, – 2006, – s.67.

5. Алекперов, Э.Ш. Электронографические данные аморфных пленок  $TiIn_{1-x}Sn_xS_2$  // – Bakı: АМЕА, Fizika-riyaziyyat və texnika elmləri bölməsi. Fizika, – 2007. с.ХІІІ, №1-2, – s.315-316.

6. Алекперов, Э.Ш., Шарифова, А.К. Исмаилов, Д.И. Кинетика кристаллизации нанотолщинных пленок  $TiGa_{1-x}Ge_xSe_2$  // VI Национальная конференция РСНЭ-2007, – Москва: ИК РАН, – 12 – 17 ноября, – 2007, – с.193.

7. Алекперов, Э.Ш., Гараев, Э.С., Исмаилов, Д.И. Кинетика кристаллизации нанотолщинных пленок  $TiGa_{1-x}Ge_xSe_2$  // – Bakı: АМЕА, Fizika-riyaziyyat və texnika elmləri bölməsi. Fizika, – 2007. с.ХІІІ, №4, – s.201-202.

8. Алекперов, Э.Ш., Исмаилов, Д.И. Кинетика кристаллизации тонких аморфных слоев  $TiGa_{1-x}Ge_xS_2$  // XIII Национальная конференция по росту кристаллов, НКРК-2008, – Москва: ИК РАН, – 17 – 21 ноября, – 2008, – с.389-390.

9. Alekperov, E.Sh., Sharifova, A.K., Ismayilov, D.I. The Crystallization Kinetics of Nanothin Amorphous  $TiGa_{1-x}Ge_xSe_2$  Films // Crystallography Reports, – 2009. v.54, No.3, – pp.513-515.

10. Алекперов, Э.Ш., Гараев, Э.С., Исмаилов, Д.И. Исследование ближнего порядка нанотолщинных пленок  $TiGa_{1-x}Ge_xTe_2$  // Bakı Dövlət Universitetinin 90 illiyinə həsr olunmuş V Beynəlxalq Elmi Konfransın Materialları, – Bakı: BDU, – 30 – 31 oktyabr, – 2009, – s.241-243.

11. Алекперов, Э.Ш., Гараев, Э.С., Исмаилов, Д.И. Исследование ближнего порядка нанотолщинных пленок  $TiGa_{1-x}Ge_xTe_2$  // VII Национальная конференция РСНЭ – НБИК 2009, – Москва:

ИК РАН, – 16 – 21 ноября, – 2009, – с.194.

12. Алекперов, Э.Ш., Гараев, Э.С., Насруллаев, Н.М., Исмаилов, Д.И. Образование сверхрешеток в пленках  $TiGa_{1-x}Ge_xTe_2$  // «Fizikanın aktual problemləri» VI Respublika Elmi Konfransının Materialları, – Bakı: – 20 – 21 noyabr, – 2010, – s.59-60.

13. Alekperov, E.Sh., Qaraev, E.S., Ismayilov, D.I. The crystallization kinetics of nanothin  $TiGa_{1-x}Ga_xTe_2$  films // International Conference «CRYSTAL MATERIALS – 2010», Ukraine, Kharkov, May 31 – June 03, – 2010, P25, – p.145.

14. Алекперов, Э.Ш., Гараев, Э.С., Исмаилов, Д.И. Кинетика фазовых переходов пленок  $TiGa_{1-x}Ge_xTe_2$  // – Bakı: Bakı Universitetinin xəbərləri (fizika-riyaziyyat elmləri seriyası), – 2010. №3, – s.117-121.

15. Алекперов, Э.Ш. Применение метода дифракции электронов для исследования нанотолщинных пленок  $TiGa_{1-x}Ge_xS_2$  // – Bakı: Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası, Məruzələr, – 2010. с. LXVI, № 3, – s. 41-46.

16. Алекперов, Э.Ш., Шарифова, А.К. Исмаилов, Д.И. Образование сверхрешеток в пленках  $TiGa_{1-x}Ge_xTe_2$  // IV Международная Конференция НКРК-2010, «Кристаллофизика XXI века» и XIV Национальная Конференция по росту кристаллов. ИК РАН, – Москва, – 6 – 10 декабря, – 2010, – с.194.

17. Alekperov, E.Sh. The influence of Ge atoms on thin film  $TiGaS_2$  ( $Se_2$ ,  $Te_2$ ) formation // АМЕА, Fizika, – 2011. v. XVII, №3, – pp.31-34.

18. Алекперов, Э.Ш., Шарифова, А.К., Мамедова, А.Ч., Исмаилов, Д.И. Влияние атомов Ge на формирование пленок  $TiGaTe_2$  // VIII Национальная конференция РСНЭ – НБИК 2011, ИК РАН, – Москва: – 14 – 18 ноября, – 2011, – с.132.

19. Алекперов, Э.Ш. Образование сверхрешеток в эпитаксиальных пленках  $TiGa_{1-x}Ge_xTe_2$  / Э.Ш.Алекперов, Э.С.Гараев, Н.К.Насруллаев [и др.] // – Bakı: Bakı Universitetinin xəbərləri (fizika-riyaziyyat elmləri seriyası), – 2011. №2, – s.141-146.

20. Alekperov, E.Sh. Elektron Diffraction Study of  $TiGa_{1-x}Ge_xX_2$  ( $X=S$ ,  $Se$ ,  $Te$ ) Nanofilms // Inorganic Materials, – 2012. v. 48, № 2, – pp.123-127.

21. Алекперов, Э.Ш. Образование сверхструктуры в тонких

пленках  $TlGa_{1-x}Ge_xSe_2$  // АМЕА, Fizika, – 2013. v. XIX, №2, – pp.76-79.

22. Alekperov, E.Sh., Sharifova A.K. Superstructure Formation in Epitaxial  $TlGa_{1-x}Ge_xTe_2$  films // Journal of Surface Investigatio. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques, – 2013. v. 7, No. 4, – pp.687-690.

23. Алекперов, Э.Ш., Гараев, Э.С. Влияние электрического поля на формирование твердых растворов  $TlGa_{1-x}Ge_xTe_2$  // Akad. B.M. Əsgərovun 80 illik yubileyinə həsr olunmuş «Fizikanın aktual problemləri» Beynəlxalq Elmi Konfransın Materialları, – Bakı: BDU, – 6 dekabr, – 2013, – ss.164-166.

24. Алекперов, Э.Ш., Шарифова, А.К. Формирование твердых растворов  $TlGa_{1-x}Ge_xTe_2$  при содействии электрического поля // XXV Российская конференция по электронной микроскопии (РКЭМ-2014), – Россия, Черноголовка: – 2 – 6 июня, – 2014, – с. 170-171.

25. Алекперов, Э.Ш., Гараев, Э.С., Садраддинов, С.А., Фарзалиев, С.С. Определение ближнего порядка наноразмерных аморфных пленок  $TlIn_{1-x}Sn_xTe_2$  // «Fizikanın aktual problemləri» VIII Respublika Elmi Konfransının Materialları, – Bakı: – 17 – 18 dekabr, – 2015, – s.82-85.

26. Алекперов, Э.Ш., Гараев, Э.С., Садраддинов, С.А., Фарзалиев, С.С. Влияние электрического поля на формирование ближнего порядка тонких пленок  $TlIn_{1-x}Sn_xTe_2$  // XXIV Международная научно-техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения. «НПО «Орион», – Москва: – 24 – 27 мая, – 2016, – с. 516-519.

27. Алекперов, Э.Ш., Гараев, Э.С., Садраддинов, С.А. Ближний порядок тонких пленок  $TlIn_{1-x}Sn_xTe_2$  // XXVI Российская конференция по электронной микроскопии (РКЭМ-2016), –Россия, Зеленоград: – 30 мая – 3 июня, – 2016, – с. 154-155.

28. Алекперов, Э.Ш., Гараев, Э.С., Садраддинов, С.А., Фарзалиев, С.С. Фазовый переход при термообработке аморфных пленок  $TlInS_2$ , легированных оловом // Proceedings of V International Conference “Modern trends in physics”, BDU, – Bakı: – 20 – 22 aprel, – 2017, – p.145-147.

29. Алекперов, Э.Ш., Назаров, А.М., Фарзалиев, С.С. Кине-

тика кристаллизации аморфных пленок  $TlIn_{1-x}Sn_x S_2$  // 2-й Международный форум по электронно-лучевым технологиям для микроэлектроники – «Техноюнити – ЭЛТМ 2017», – Россия, Зеленоград, – 9 – 12 октября, – 2017, – с.70.

**30.** Alekperov, E.Sh. Short – Range Order of epitaxial  $TlIn_{1-x}Sn_x Te_2$  thin films // Journal of Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques, – 2017. v. 11, No.5, – pp.960-962.

**31.** Alekperov, E.Sh., Qaraev, E.S., Sadraddinov, S.A., Farzaliev, S.S. Phase transition by treating  $TlInS_2$  amorphous films doped by Sn. // Proceedings of V International Conference “Modern trends in physics”, – Baku, – 20 – 22 april, – 2017, – pp. 72-77.

**32.** Алекперов Э.Ш., Назаров А.М., Фарзалиев С.С. Кинетика кристаллизации аморфных плёнок  $TlIn_{1-x}Sn_xS_2$ . // XXV Международная научно-техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения, – Москва: «НПО «Орион», – 24 – 26 мая, – 2018, – с. 591-593.

**33.** Alekperov, E.Sh. Effect of Sn doping on the crystallization kinetics of amorphous  $TlInS_2$  films // Inorganic Materials, – 2018. v. 54, No. 8, – pp. 767-771.

**34.** Алекперов, Э.Ш., Назаров, А.М., Фарзалиев, С.С. Кинетика кристаллизации получаемых в электрическом поле аморфных плёнок  $TlIn_{1-x}Sn_xS_2$  // XXVII Российская конференция по электронной микроскопии (РКЭМ-2018), – Москва, Черноголовка: – 26 – 30 августа, – 2018, – с. 277-278.

**35.** Алекперов, Э.Ш., Гахраманов, Н.Ф., Гараев, Э.С., Садрадинов, С.А. Фазовый переход при термообработке аморфных плёнок  $TlIn_{1-x}Sn_xS_2$ , полученных в электрическом поле // XIII Международная конференция «Методологические аспекты сканирующей зондовой микроскопии» (БелСЗМ-2018), – Минск, Белорусия, – 16 – 19 октября, 2018, – с. 38-43.

**36.** Алекперов, Э.Ш. Термообработка аморфных плёнок  $TlIn_{1-x}Sn_xS_2$ , получаемых в электрическом поле // АМЕА, AJP Fizika, – 2018. v. XXIV, №3, – pp.80-83.

**37.** Алекперов, Э.Ш., Назаров, А.М. Формирование сверхструктуры в эпитаксиальных плёнках  $TlIn_{1-x}Sn_xS_2$  // Azerbaijan National Academy of Sciences, Journal of Radiation Researches, – 2018. v.5, №2, – с.67-70.

38. Alekperov, E.Sh. Superstructure formation in  $TlIn_{1-x}Sn_xS_2$  epitaxial films // Proceedings of VI International Conference “Modern trends in physics”, – Baku: – 1 – 3 may, –2019, – pp. 55-57.

39. Alekperov, E.Sh., Alizade, E.R. Using interactive computer models in the study of physics as a means of motivation of students. // Proceedings of VI International Conference “Modern trends in physics”, – Baku: – 1 – 3 may, –2019, – pp. 162-163.

40. Alekperov, E.Sh. Superstructure formation in  $TlIn_{1-x}Sn_xS_2$  epitaxial films // Proceedings of VI International Conference “Modern trends in physics”, – Baku: – 1 – 3 may, –2019, – pp. 60-62.

41. Панахов, М.М., Алекперов, Э.Ш., Гахраманов, Н.Ф., Назаров, А.М., Фарзалиев, С.С. Формирование сверхструктуры в эпитаксиальных пленках  $TlIn_{1-x}Sn_xS_2$  // Конференция с международным участием «Электронно-лучевые технологии 2019» (КЭЛТ-2019), – Москва, Черноголовка: – 30 сентября – 03 октября, – 2019, – с.156.

42. Панахов, М.М., Алекперов, Э.Ш., Гараев, Э.С., Назаров, А.М., Фарзалиев, С.С. Кинетика кристаллизации наноразмерных плёнок  $TlIn_{1-x}Sn_xSe_2$  // XXVIII Российская конференция по электронной микроскопии (РКЭМ-2020), – Москва, Черноголовка, – 07 – 10 сентября, – 2020, – с. 262-263.

43. Панахов, М.М. Phase transition at thermal treatments of  $TlIn_{1-x}Sn_xSe_2$  amorphous films / М.М.Панахов, Э.Ш.Алекперов, Э.С.Гараев [и др.] // АМЕА, АJP Fizika, – 2020. v. XXVI, №4, –pp.28-31.

44. Панахов М.М. Фазовый переход при термообработке аморфных плёнок  $TlIn_{1-x}Sn_xSe_2$  / М.М.Панахов, Э.Ш.Алекперов, Э.С.Гараев [и др.] // – Baku: Bakı Universitetinin xəbərləri (fizika-riyaziyyat elmləri seriy), – 2020. №2, – s.81-88.

45. Панахов, М.М., Алекперов, Э.Ш., Гараев, Э.С., Назаров, А.М., Фарзалиев, С.С. Образование твердых растворов на основе сверхрешеток в плёнках  $TlIn_{1-x}Sn_xSe_2$  // IX Международная конференция «Кристаллофизика и деформационное поведение перспективных материалов» посвященная 100-летию со дня рождения академика Б.К. Вайнштейна, – Москва, – 22 – 26 ноября, – 2021, – с. 131.

46. Alekperov, E.Sh. Kinetics of crystallization of amorphous  $TlIn_{1-x}Sn_xSe_2$  films obtained in an electric field // Proceedings of VII



Conference “Modern trends in physics”, – Вак: – 15 – 17 December, – 2021, – pp. 176-177.

47. Алекперов, Э.Ш., Джабаров, С.Г., Дарзиева, Т.А., Ибрагимов, Г.Б. и др. Формирование кристаллических структур при термообработке аморфных пленок  $TlIn_{1-x}Sn_xSe_2$ , полученных в электрическом поле // XXVI Международная научно-техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения. «НПО» «Орион», – Москва, Россия: – 25 – 27 мая 2022, – с. 427-429.

48. Алекперов, Э.Ш., Джабаров, С.Г., Дарзиева, Т.А., Назаров, А.М., Фарзалиев, С.С. Формирование сверхструктурных фаз твердых растворов  $TlIn_{1-x}Sn_xTe_2$  // XXIX Российская конференция по электронной микроскопии (РКЭМ-2022) (онлайн), – Москва: – 29 – 31 августа 2022, – с. 547-548.

49. Алекперов, Э.Ш., Джабаров, С.Г., Дарзиева, Т.А., Ибрагимов, Г.Б. и др. Влияние электрического поля на формирование аморфных пленок  $TlGa_{1-x}Ge_xTe_2$  // XI Евразийская научно-практическая конференция «Прочность неоднородных структур» ПРОСТ-2023, – Москва: – 18 – 20 апреля, – 2023, – с. 84.

50. Alekperov E.Sh. Effect of an electric field on the crystallization behavior of amorphous  $TlIn_{1-x}Sn_xSe_2$  films / E.Sh.Alekperov, S.G.Jabarov, T.A.Darzieva [et al.] // Inorganic Materials, – 2023. v. 59, No. 1, – pp. 8-011.



Dissertasiyanın müdafiəsi **17 yanvar 2024-ci il** tarixində saat **15<sup>00</sup>**-da Bakı Dövlət Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.19 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ 1148, Bakı şəh., Z. Xəlilov küç. 23, Əsas bina.

Dissertasiya ilə Bakı Dövlət Universitetinin Elmi Kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları Bakı Dövlət Universitetinin rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat **13 dekabr 2023-cü** il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

**Çapa imzalanmışdır: 07.12.2023**  
**Kağız formatı: A5 (60' 90 1/16)**  
**Həcmi: 70 038 işarə.**  
**Tiraj: 30 nüsxə**