

**AZƏRBAYCAN MİLLİ ELMLƏR AKADEMİYASI**  
**AKADEMİK M.F.NAĞIYEV adına**  
**KATALİZ VƏ QEYRİ-ÜZVİ KİMYA İNSTİTUTU**

---

*Əlyazması hüququnda*

**NAĞI İBRAHİM OĞLU YAQUBOV**

**CA-GA (IN)-SE(TE) ÜÇLÜ SİSTEMLƏRİNDƏ FAZA**  
**ƏMƏLƏGƏLMƏNİN**  
**FİZİKİ-KİMYƏVİ ƏSASLARI VƏ ALINAN FAZALARIN**  
**XASSƏLƏRİ**

İxtisas – 2303.01 – Qeyri-üzvi kimya

Kimya üzrə elmlər doktoru elmi dərəcəsi almaq  
üçün təqdim olunmuş dissertasiyanın

**AVTOREFERATI**

Bakı – 2017

Dissertasiya işi Bakı Dövlət Universitetinin Ümumi və Qeyri-üzvi kimya kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

**Elmi məsləhətçi :** **İ.İ.Əliyev**  
kimya elmləri doktoru, professor

**Rəsmi opponentlər:** **İ.B.Bəxtiyarlı**  
kimya elmləri doktoru, professor

**Y.N.Babayev**  
kimya elmləri doktoru, professor

**Ç.İ.Əbilov**  
texnika elmləri doktoru, professor

**Aparıcı təşkilat:** Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti.  
Kimya və Qeyri-üzvi maddələrin Texnologiyası kafedrası

Dissertasiya işinin müdafiəsi «\_\_30\_\_»\_06\_\_ 2017-ci il saat \_\_  
Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının akad. M.F.Nağıyev adına Kataliz  
və Qeyri-üzvi kimya İnstitutunun nəzdindəki D01.021 Dissertasiya  
Şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: Az1143, Bakı şəhəri H.Cavid pr., 113  
E-mail: itpecht@ itpecht.ab.az

Dissertasiya ilə Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının M.F.Nağıyev adına Kataliz və Qeyri-üzvi kimya İnstitutunun kitabxanasında tanış olmaq olar.

Avtoreferat göndərilmişdir «\_\_» \_\_\_\_\_ 2017-cu il

**D01.021 Dissertasiya Şurasının  
elmi katibi, k.ü.f.d., b.e.i.**

**S.Ə.Əliyeva**

## GİRİŞ

**Mövzunun aktuallığı.** Daim inkişaf edən müasir elm və texnikanın müxtəlif sahələri olan elektron sənayesinin, kompüter texnikasının və kosmik fəzanın tədqiqinin inkişafı, kompleks fiziki-kimyəvi xassəli yeni-yeni sintetik materialların alınmasını tələb edir. Aydındır ki, bu problemin uğurlu həlli ancaq fizika, kimya, kristallokimya, materialşünaslıq və kibernetikanın ən yeni nailiyyətləri və onların məqsədyönlü tətbiqi əsasında mümkün ola bilər.

Müasir elektron texnikanın tələblərini ödəyə bilən, IQ şüalanmaya qarşı şəffaf, aşağı udma əmsalına, yüksək işıqlanma göstəricisinə və s. funksional xassələrə malik iri həcmli kristalların alınması xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Qarşıda duran əsas məsələlərdən biri də sintez olunmuş maddələrin monokristallarının göyərilməsi üçün optimal şəraitinin seçilməsi, alınan nümunələrin ətraflı fiziki-kimyəvi tədqiqatlarının aparılması, alınmış nəticələr əsasında onların tətbiq sahələrinin müəyyən edilməsidir. Məlumdur ki, kalsium yarım qrup elementləri enerji daşıyıcıları kimi istifadə edilir. Kalsium və onun xalkogenidli birləşmələrinə müxtəlif aktivatorların əlavə edilməsi nəticəsində lüminoforlarda işlədilə bilən lüminessensiya xassəli materiallar alınır. Yeni optiki, fətohəssas, termoelektrik, lüminessent və s. kompleks xassələrə malik mürəkkəb tərkibli materiallar qeyd edilən üçlü sistemlərdə də gözlənilir. Ona görə də bu sahədə aparılan tədqiqatlar elmi və praktiki əhəmiyyət kəsb edir.

İndium, qallium və kalsium xalkogenidlərindən ibarət sistemlərdə kimyəvi qarşılıqlı təsirin xarakterini tədqiq etmək, üçlü və dana mürəkkəb fazaların və bərk məhlulların alınmasına imkan verə bilər. II qrup elementlərinin üçkomponentli xalkogenidləri elektron texnikasının perspektivli materialları sırasına daxildirlər. Bu sinfə aid olan birləşmələrin bir çoxu yüksək elektrofiziki effektdə və dispersiya xassələrinə malikdirlər ki, bu da onların İQ- oblastda lazer şüalarının intensivliyini idarə etmək üçün istifadə olunur. Ədəbiyyatda üçlü sistemlərdə əmələ gələn  $MeIn_4X_7$ ,  $MeIn_2X_4$  (Me-Mg, Ca, Ba, Sr; X=S, Se, Te) tərkibli birləşmələrə müxtəlif nadir-torpaq elementləri əlavə edilməklə yüksək lüminessent xassəli materiallar alınmışdır. Mühüm əhəmiyyətinə baxmayaraq, tərkibində kalsium, indium və qallium xalkogenidlərindən ibarət çoxkomponentli fazalar ətraflı öyrənilməmişdir.

Buları nəzərə alaraq Ca-Ga-Se(Te) və Ca-In-Se(Te) üçlü sistemlərdə məqsədyönlü tədqiqatlar aparmağı lazım bilmişik. Yeni optiki, fətohəssas, termoelektrik, lüminessent və s. kompleks xassələrə malik mürəkkəb tərkibli materiallar qeyd edilən üçlü sistemlərdə də gözlənilir. Bu tip sistem-

lərdə əmələ gələn birləşmələrin və bərk məhlulların xassələrinin tərkibdən asılılığının, eyni zamanda  $Ga \rightarrow In$  və  $S \rightarrow Se \rightarrow Te$  sırasının ətraflı tədqiqi, yeni-yeni yarımkeçirici materialların aşkar edilməsinə imkan yaratmış olardı.

Məhz buna görə də bu sistemlərdə çoxkomponentli xalkogenid fazaların quruluş və fiziki-kimyəvi xassələrinin öyrənilməsi praktiki cəhətdən maraqlı doğurduğu üçün tədqiqatçıların diqqətini özünə cəlb etmişdir. Kalsium xalkogenidlərindən ibarət, üçlü və daha mürəkkəb sistemlərdə homogenlik sahəsindən olan maddələrin xassələrinin öyrənilməsi müəyyən qanunauyğunluğu aşkar etməyə imkan verir. Bərk məhlul ərintilərinin xassələrinin ətraflı öyrənilməsi optimal xassəli tərkiblərin seçilməsinə və onların tətbiq sahələrini müəyyən etməyə imkan verir. Kalsium xalkogenidləri ilə III əsas yarımqrup elementlərinin xalkogenidləri arasında alınan yeni birləşmələr lüminessent xassələrə malik yarımkeçiricilər kimi son zamanlar geniş tədqiq olunurlar.

Qarşıya qoyulan məsələlərin müvəffəqiyyətlə həll edilməsi, onların hal diaqramlarının qurulması yolu ilə, habelə fiziki-kimyəvi tədqiqatlar vasitəsilə həyata keçirilə bilər. Sistemlərin hal diaqramlarının qurulması komponentlər arasında baş verən kimyəvi çevrilmələrin xarakterini aydınlaşdırmağa, alınma biləcək fazaların alınma şəraitinin öyrənilməsinə imkan verir.

Kalsium, indium və qallium tərkibli ibarət sistemlərin kompleks şəkildə tədqiq edilməsi, tərkib quruluş və xassə arasında korrelyasiyanın müəyyən edilməsi, xassələri əvvəlcədən məlum olan fazaların məqsədli sintezi üçün imkan yaratmış olardı.

İkinci və üçüncü əsas yarımqrup elementlərinin xalkogenidləri arasında kimyəvi qarşılıqlı təsir zamanı alınacaq yeni fazalar və bərk məhlul ərintiləri də ilkin maddələrin xassələrini özündə saxlayan, kompleks xassələrə malik, yarımkeçirici materiallar ola bilərlər.

**İşin məqsədi**  $Ca-Ga(In)-Se(Te)$  üçlü sistemlərində faza tarazlıqlarını öyrənməklə, yeni funksional xassəli yarımkeçirici fazaların və bərk məhlul ərintilərinin alınma şəraitinin fiziki-kimyəvi əsaslarının işlənilib hazırlanmaqdən və ərintilərin tərkibdən asılı olaraq fiziki-kimyəvi xassələrini tədqiq etməkdən ibarətdir.

Bunun üçün qarşıya aşağıdakı məsələlər qoyulmuş və həll edilmişdir:

–  $Ca-Ga(In)-Se(Te)$  üçlü sistemlərində faza tarazlıqlarının geniş qatlılıq sahəsində tədqiqi, T-x diaqramlarının qurulması, müxtəlif poli- və izotermik kəsiklərinin likvidus səthinin proyeksiyalarının qurulması, non- və monovariant tarazlıq reaksiyaların tiplərinin və koordinatlarının təyin edilməsi;

– Ca-Ga(In)-Se(Te) üçlü sistemlərində əmələ gələn yeni fazaların və bərk məhlul sərhədlərinin müəyyən edilməsi;

– alınan yeni fazaların və bərk məhlul ərintilərinin optimal sintez şəraitinin işlənilib hazırlanması;

– kristallik fazaların  $S \rightarrow Se \rightarrow Te$  sırasında, eləcə də xalkogenid fazaların tərkibdən asılı olaraq fiziki-kimyəvi xassələrinin öyrənilməsi;

– optiki, fotoelektrik, termoelektirik və s. xassələri özündə saxlayan yarımkeçirici materialların tədqiq edilməsi yolu ilə praktiki əhəmiyyətli monokristalların yetişdirilməsi;

– mikroelektronika üçün yararlı, çoxkomponentli yarımkeçirici fazaların əsas fiziki-kimyəvi, elektrofiziki və optiki xassələrinin tədqiqi və praktiki vacib yarımkeçirici materialların məqsədli sintezi, tərkib-quruluş-xassə arasında korrelyasiyanın aşkar edilməsi və onların tətbiq sahələrinin müəyyənləşdirilməsi.

**İşin elmi yeniliyi.** Dissertasiya işində aşağıdakı yeni nəticələr alınmış və müdafiəyə çıxarılmışdır.

– Ca-Ga-Se(Te) üçlü sistemlərində komponentlər arasında geniş qatılıq intervalında kimyəvi qarşılıqlı təsirin xarakteri tədqiq edilmiş və onların faza diaqramları və hər iki üçlü sistemin likvidus səthinin proyeksiyası qurulmuşdur.

– Ca-In-Se(Te) üçlü sistemlərinin göstərilən kəsiklərində faza əmələgəlmə və bərk məhlul sahələri tədqiq olunmuş, yeni fazaların ərimə xarakteri öyrənilmiş və hər iki üçlü sistemin likvidus səthinin proyeksiyası qurulmuşdur.

– Ca-Ga-Se(Te) üçlü sistemlərində  $CaGaSe_2$ ,  $CaGaTe_2$ ,  $CaGa_2Se_4$ ,  $CaGa_2Te_4$ ,  $CaGa_4Se_7$  və  $CaGa_4Te_7$  tərkibli birləşmələrin mövcudluğu fiziki-kimyəvi analiz metodları vasitəsilə təsdiq edilmiş və qəfəs parametrləri hesablanmışdır. Bu birləşmələrin sistem daxilində mövcud fazalar ilə tarazlıqda olduğu sahələr müəyyən edilmişdir.

– Ca-In-Se(Te) üçlü üçlü sistemlərində baş verən kimyəvi proseslərin tədqiqi nəticəsində hər iki üçlü sistemin likvidus səthinin proyeksiyası qurulmuşdur. Sistemlərdə baş verən mono- və nonvariant tarazlıqların koordinatları və temperaturları müəyyən edilməklə, fazaların kristallaşma sahələri dəqiqləşdirilmişdir. Bu üçlü sistemlərdə də analogi olaraq,  $CaInSe_2$ ,  $CaInTe_2$ ,  $CaIn_2Se_4$ ,  $CaIn_2Te_4$  və  $CaIn_4Se_7$  tərkibli birləşmələrin əmələ gəldiyi müəyyən edilmiş və onların bir sıra fiziki-kimyəvi xassələri tədqiq edilmiş və qəfəs parametrləri hesablanmışdır.

– Ca-Ga-Se(Te) və Ca-In-Se(Te) sistemlərində əmələ gələn yeni fazaların və bərk məhlul ərintilərinin elektrofiziki xassələrinin tərkibdən və

temperaturdan asılılığı öyrənilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, alınmış birləşmələrin hamısı yüksək müqavimətli yarımkeçirici xassəli materiallardır.

$-(\text{CaGa}_2(\text{In}_2)\text{Se}_4)_{1-x}(\text{CaSe})_x$  tərkibli ərintilərin fotoelektrik keçiriciliyinin dalğa uzunluğundan asılılığı öyrənilmiş nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, bu nümunələr spektrin görünmə oblastında fətohəssasdırlar.

$-(\text{CaGa}_2(\text{In}_2)\text{Te}_4)_{1-x}(\text{CaTe})_x$  bərk məhlullarının fotokeçiriciliyinin spektral asılılığının öyrənilməsi nəticəsində müəyyən edilmişdir ki,  $\text{CaIn}_2\text{Te}_4$  birləşməsinə nisbətən daha yüksək fətohəssas materiallardır.

**İşin praktiki əhəmiyyəti.** Dissertasiya işinin praktiki əhəmiyyəti ondan ibarətdir ki, aparılmış tədqiqatlar nəticəsində  $\text{Ca-Ga-Se(Te)}$  və  $\text{Ca-In-Se(Te)}$  üçlü sistemlərində baş verən kimyəvi qarşılıqlı təsir zamanı alınmış üçlü fazalar müasir elektronikada işlədilə bilən fətohəssas, termoelektrik və lüminessensiya xassəli materiallardır.

Alınmış informasiyalar mürəkkəb tərkibli yeni fazaların quruluş, tərkib-xassə arasındakı korrelyasiyaları aşkar etməyə, onların həm  $\text{S} \rightarrow \text{Se} \rightarrow \text{Te}$ , həm də  $\text{Ga} \rightarrow \text{In}$  sırasında tərkibdən asılı olaraq xassələri haqqında qabaqcadan fikir söyləməyə imkan verir.

Qeyd edilən üçlü sistemlərdə alınmış yarımkeçirici kristallik materiallar adigeziya qabiliyyətli və yüksək müqavimətli fətohəssas olduqları üçün infraqırmızı optikada (İQ) və optiki cihazlarda işlədilə bilər.  $\text{CaGa}_2\text{Se}_4$ ,  $\text{CaGa}_2\text{Te}_4$ ,  $\text{CaIn}_2\text{Se}_4$  və  $\text{CaIn}_2\text{Te}_4$  birləşmələri nadir-torpaq elementləri ilə aşkar edildikdə yüksək lüminessensiya xassələri göstərirlər. Qeyd edilən birləşmələr və onlar əsasında alınmış ərintilər yüksək müqavimətli fətohəssas materialların, fotorezistorların və lüminoforların hazırlanmasında istifadə oluna bilərlər.

Faza diaqramlarının və yeni mürəkkəb tərkibli kristallik maddələrin fiziki-kimyəvi tədqiqi zamanı alınmış nəticələr, yarımkeçiricilər sahəsində çalışan materialşünaslar və texnoloqlar üçün dəyərli məlumatlar ola bilər.

Qeyd edilən nəticələr həm də yeni və qiymətli elmi göstəricilər kimi müvafiq məlumat kitablarına, məlumat banklarına və Beynəlxalq elmi informasiya sistemlərinə daxil edilə bilər.

**Aprobasiya.** Dissertasiya işinin nəticələri 79 dərc olunmuş elmi əsərdə, o cümlədən 41 məqalə, 1 monoqrafiya, 1 patətdə öz əksini tapmışdır. İşin nəticələri aşağıdakı konfrans və seminarlarda müzakirə edilmişdir:

3-ая Всесоюзн. конф. Материаловедение халькогенидных полупроводников (ЧГУ, Черновцы, 1991), Comptes rendus de l'academic des sciences (1992 Paris, France), Респуб. конф. Физико-химический анализ и неорган. материаловедение (Баку. 2007, 2009), BDU-nun „Gənc kimyaçı” I Respublika elmi konfransı (Bakı. 2001), 38-th IUPAC congress

world chemistry, 1-6 July, 2001, Brisbane, Australia, p.30., XIV Ulusal Kimya Konqresi, Koniya (2002, Türkiyə), Kimyəvi birləşmələrin sintezi və çevrilmələri III Respublika elmi konfransı (Bakı, BDU, 2007), Azərbaycan Elmlər Akademiyasının müxbir üzvü N.X.Əfəndiyevin 100 illik yubileyinə həsr olunmuş elmi konfrans (Bakı.2007), Всеросс. конф. «Химия твердого тела и функциональные материалы» (Екатеринбург. 2008), Bakı Dövlət Universitetinin 90-illik yubileyinə həsr olunmuş Beynəlxalq elmi konfransı (Bakı.2009), Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 87-ci ildönümünə həsr olunmuş doktorant, magistr və gənc tədqiqatçıların respublika elmi konfransı (Bakı.2010), Akademik T.N.Şahtaxtinskiyin 85 illik yubileyinə həsr olunmuş elmi konfrans (Bakı. 2011), VI Ümumrusiya konfransı „Qatılaşdırılmış mühitdə və fazalararası sərhəddə fiziki-kimyəvi proseslər (FAQRAN-2012). VI Всеросс.конф. «Физико-химические процессы в конденсированных средах и на межфазных границах» (Воронеж, 2012), X Международное Курнаковское совещание по физико-химическому анализу. Сборник трудов (Самара. 2013), Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 90-cı ildönümünə həsr olunmuş doktorant, magistr və gənc tədqiqatçıların “Kimyanın aktual problemləri” VII Respublika Elmi Konfransı (BDU, Bakı. 2013), Научная конференция «Фундаментальные и прикладные аспекты новых высокоэффективных материалов (Воронеж. 2013), Кинетика и механизм кристаллизации. г. Иваново, Россия, 2014г, Müasir biologiya və kimyanın aktual problemləri Elmi-praktik konfransı (Gəncə 2014, 2015), Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 92-ci ildönümünə həsr olunmuş doktorant və magistr və gənc tədqiqatçıların respublika elmi konfransı (BDU, Bakı, 2015), Мультидисциплинарный научный конгресс (Киев-2016), Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 93-cü ildönümünə həsr olunmuş doktorant və magistr və gənc tədqiqatçıların respublika elmi konfransı (BDU, Bakı. 2016), XII Международная научно-практическая конференция “Достижения и проблемы современной науки (Санкт-Петербург 2016), V Международная научно-практическая конференция Роль науки в развития (Екатеринбург. 2016), International Conference on Science (Ankara.Turkey 2017).

**Dissertasiya işinin həcmi və quruluşu.** Dissertasiya işi giriş, 7 fəsil və nəticələrdən ibarət olub, 366 səhifədir. Dissertasiyada 355 adda elmi ədəbiyyata istinad edilmiş, 147 səkil və 69 cədvəl daxil edilmişdir.

Dissertasiyanın giriş hissəsində mövzunun aktuallığı, tədqiqat işinin məqsədi, alınmış elmi nəticələrin yeniliyi və praktiki əhəmiyyəti əsaslandırılmışdır.

**İşin birinci fəslində** Ca–Ga–Se(Te) və Ca–In–Se(Te) üçlü sistemlərində kimyəvi qarşılıqlı təsir zamanı baş verən kimyəvi proseslərin xarakteri və tədqiqat obyektlərinə dair mövcud ədəbiyyat məlumatları toplanaraq araşdırılmış və tədqiqat işində yaradıcılıqla istifadə edilmişdir. Qeyd edilən xalkogallat və xalkoindatların və onlar əsasında yeni fazaların və bərk məhlulların alınması haqqında məlumatların analizi nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, bu sahədə tədqiqatlar kifayət qədər aparılmamışdır. Bunun əsas səbəblərindən biri II əsas yarımqrup elementlərinin xakogenidlərinin çətin alınması və onların tədqiqinin çətin olunmasıdır.

**İşin ikinci fəslində** Ca–Ga–Se(Te) və Ca–In–Se(Te) üçlü sistemlərin ərintilərinin sintezi, başlanğıc komponentlərin xarakteristikaları və işin təcrübi hissəsinin yerinə yetirməsində istifadə olunan əsas tədqiqat metodları haqqında qısa məlumatlar verilmişdir.

Ərintilər yüksək təmizlikli elementlərdən sintez olunmuşdur. Sintez olunmuş ərintilər tədqiq edilmək üçün uzun müddət ərzində müvafiq temperaturda homogenləşdirilmişdir.

Sistemlərin ərintiləri diferensial-termiki (DTA, NTR-73), mikroquruluş (MIM-8 mikroskop), rentgenfaza analizi (RFA, DRON-3 və D2 PHASER, Cu  $K_{\alpha}$ ), mikrobərkliyin ölçülməsi (PMT-3), sıxlığın təyini və fiziki tədqiqat metodları vasitəsilə tədqiq edilmişdir. Tədqiqatlar nəticəsində bir-birini tamamlayan və təsdiqləyən məlumatlar toplusu alınmışdır. Tədqiq edilmiş sistemlərin ərintilərinin tətbiq sahələrini araşdırmaq məqsədilə onların bir sıra fiziki xassələri: fotoelektrik, elektrik keçiriciliyi, termo-e.h.q. və xüsusi müqavimətlərinin temperatur asılılığı öyrənilmişdir.

**İşin üçüncü fəslində** Ca–Ga–Se üçlü sistemində baş verən kimyəvi prosesləri öyrənmək məqsədilə aşağıdakı kvazibinar və qeyri-kvazibinar kəsilklər: GaSe–CaSe, GaSe–CaGa<sub>2</sub>Se<sub>4</sub>, Ga<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>–CaSe, Se–CaGa<sub>2</sub>Se<sub>4</sub>, GaSe–CaIn<sub>4</sub>Se<sub>7</sub>, Se–CaGa<sub>4</sub>Se<sub>7</sub>, CaGaSe<sub>2</sub>–CaGa<sub>2</sub>Se<sub>4</sub>, Ga–CaGaSe<sub>2</sub> və Ga–CaSe tədqiq edilmiş və onların faza diaqramları qurulmuşdur.

**GaSe–CaSe sisteminin** hal diaqramı kvazibinar olub, evtektik tiplidir. Sistemdə komponentlərin 1:1 nisbətində bir CaGaSe<sub>2</sub> tərkibli kimyəvi birləşmə əmələ gəlir. CaGaSe<sub>2</sub> birləşməsi peritektik reaksiya vasitəsilə 930°C-də əmələ gəlir. Rentgenoqrafik analiz metodu vasitəsilə müəyyən edilmişdir ki, CaGaSe<sub>2</sub> birləşməsi tetraqonal qəfəs tipində kristallaşır və qəfəs parametrləri:  $a = 7,98$ ;  $c = 6,85 \text{ \AA}$ ;  $Z=4$ ,  $\rho_{\text{pik.}} = 4,05 \text{ q/sm}^3$ ,  $\rho_{\text{rent.}} = 4,08 \text{ q/sm}^3$ .

Sistemdə GaSe və CaSe birləşmələrinin birgə kristallaşması ikili evtektika nöqtəsində başa çatır, tərkibi 15 mol % CaSe, əriməsi isə 865°C-dir. Müəyyən edilmişdir ki, GaSe–CaSe sistemində otaq temperaturunda GaSe əsasında 5 mol % CaSe həll olur, CaSe əsasında isə ~2 mol % GaSe



həll olur.

**2.  $\text{CaGa}_2\text{Se}_4$ - $\text{GaSe}$  sistemində** kimyəvi qarşılıqlı təsirinin xarakteri öyrənilmiş və onun hal diaqramı qurulmuşdur. Sistemin hal diaqramı kvazibinar olub, sadə evtektik tiplidir.  $\text{CaGa}_2\text{Se}_4$  və  $\text{GaSe}$  birləşmələri öz aralarında ikili evtektika əmələ gətirir, tərkibi 70 mol %  $\text{GaSe}$ , əriməsi isə  $870^\circ\text{C}$ -dir. Bu nöqtədə aşağıdakı kimi nonvariant tarazlıq baş verir:  $M \leftrightarrow \alpha + \beta$ . Sistemdə otaq temperaturunda  $\text{CaGa}_2\text{Se}_4$  birləşməsi əsasında 8 mol %  $\text{GaSe}$  həll olur,  $\text{GaSe}$  birləşməsi əsasında isə 2 mol %  $\text{CaGa}_2\text{Se}_4$  həll olur.

**3.  $\text{Ga}_2\text{Se}_3$ - $\text{CaSe}$  sistemində** kimyəvi qarşılıqlı təsirin xarakteri öyrənilmiş və onun hal diaqramı qurulmuşdur. Müəyyən olunmuşdur ki, sistemin hal diaqramı kvazibinar olub,  $\text{CaGa}_4\text{Se}_7$  və  $\text{CaGa}_2\text{Se}_4$  birləşmələrin əmələgəlməsilə xarakterizə olunur. Sistemdə  $\text{Ga}_2\text{Se}_3$  və  $\text{CaGa}_4\text{Se}_7$  birləşmələrinin birgə kristallaşması ikili evtektikada başa çatır və tərkibi 11 mol %  $\text{CaSe}$ , temperaturu  $975^\circ\text{C}$ -dir. Digər evtektika  $\text{CaGa}_2\text{Se}_4$  və  $\text{CaSe}$  birləşmələri arasında əmələ gəlir, tərkibi 57 mol %  $\text{CaSe}$  təşkil edir, temperaturu  $1005^\circ\text{C}$ -dir. Sistemdə  $\text{Ga}_2\text{Se}_3$  birləşməsi əsasında 5 mol %  $\text{CaSe}$  həll olur. Rentgenoqrafik analizin nəticələrinə əsasən  $\text{CaGa}_4\text{Se}_7$  və  $\text{CaGa}_2\text{Se}_4$  birləşmələrinin kristal tipləri müəyyən edilmiş və qəfəs parametrləri hesablanmışdır.  $\text{CaGa}_2\text{Se}_4$  birləşməsinin rombik qəfəs parametrləri:  $a=10,506$ ;  $b=10,521$ ;  $c=6,343$  Å,  $Z=4$ , fəza qrupu  $Fddd$ , sıxlığı  $\rho=4,68$  q/sm<sup>3</sup>-dir.  $\text{CaGa}_4\text{Se}_7$  birləşməsidə rombik sinqoniyada kristallaşır və qəfəs parametrləri:  $a = 15,12$ ;  $b = 9,66$ ;  $c = 5,26$  Å,  $Z=3$ , fəza qrupu  $Pmn2_1$ , sıxlığı  $\rho_{\text{pik.}} = 5,25$  q/sm<sup>3</sup>,  $\rho_{\text{rent.}} = 5,30$  q/sm<sup>3</sup>-dir. Sistemdə  $\text{Ga}_2\text{Se}_3$  birləşməsi əsasında 5 mol %  $\text{CaSe}$  həll olur.

**4.  $\text{Se-CaGa}_2\text{Se}_4$  sisteminin** hal diaqramı kvazibinar olub, evtektik tiplidir. Sistemdə əmələ gələn evtektikanın tərkibi 5 mol %  $\text{CaGa}_2\text{Se}_4$ , temperaturu isə  $190^\circ\text{C}$ -dir. Aşkar edilmişdir ki, sistemdə otaq temperaturunda  $\text{CaGa}_2\text{Se}_4$  birləşməsi əsasında 7 mol %  $\text{Se}$  həll olur. Sistemdə mikrobərkilliyin tərkibdən asılılığı öyrənilmişdir.

**5. Fiziki-kimyəvi tədqiqatlar nəticəsində  $\text{GaSe-CaGa}_4\text{Se}_7$  sisteminin** hal diaqramı qurulmuş və müəyyən edilmişdir ki, sistemin hal diaqramı qismən qeyri-kvazibinar olub, evtektik tarazlıq və peritektik çevrilmə ilə müşayiət olunur.

$\text{GaSe-CaGa}_4\text{Se}_7$  sistemdə  $\text{GaSe}$  və  $\text{CaGa}_4\text{Se}_7$  birləşmələrinin likvidus əyrisinin kəsişməsi ikili evtektikada baş verir. Sistemdə peritektik çevrilmə nəticəsində  $M + \text{CaGa}_2\text{Se}_4 \leftrightarrow \text{CaGa}_4\text{Se}_7$  birləşməsi əmələ gəlir. Sistemdə otaq temperaturunda  $\text{GaSe}$  birləşməsi əsasında 1,5 mol % bərk məhlul sahəsi əmələ gəldiyi halda,  $\text{CaGa}_4\text{Se}_7$  birləşməsi əsasında isə bərk məhlul sahəsi praktiki olaraq müəyyən edilməmişdir.

**6. Se-CaGa<sub>4</sub>Se<sub>7</sub> sisteminin** hal diaqramı qismən kvazibinar olub, evtektik və peritektik çevrilmə ilə müşahidə edilir. Sistemin likvidusu Se və CaGa<sub>4</sub>Se<sub>7</sub> birləşməsinin monovariant tarazlıq əyriləri ilə hüdudlanmışdır. Se və CaGa<sub>4</sub>Se<sub>7</sub> birləşmələri arasında 5 mol % CaGa<sub>4</sub>Se<sub>7</sub> tərkibdə evtektika əmələ gəlir. 5- 95 mol % CaGa<sub>4</sub>Se<sub>7</sub> qatılıq intervalında likvidus əyrisindən aşağıda mayedən CaSe birləşməsinin ilkin kristalları çökür və (Se+ CaGa<sub>4</sub>Se<sub>7</sub>)-dən ibarət ikifazlı sahə əmələ gəlir. Təkrar çökmə nəticəsində M+ CaGa<sub>4</sub>Se<sub>7</sub>+CaSe–dən ibarət üçfazlı sahə yaranır. 5-95 mol % CaGa<sub>4</sub>Se<sub>7</sub> intervalında isə solidus xəttindən aşağıda təkrar kristallaşma və pritektik proses baş verir M+CaSe ↔ CaGa<sub>4</sub>Se<sub>7</sub> birləşməsi əmələ gəlir və nəticədə (Se+ CaGa<sub>4</sub>Se<sub>7</sub>)-dən ibarət ikifazlı ərintilər kristallaşır.

**7. CaGaSe<sub>2</sub>-CaGa<sub>2</sub>Se<sub>4</sub> sisteminin** hal diaqramı qurulmuş və müəyyən edilmişdir ki, onun hal diaqramı qismən kvazibinardır.

CaGa<sub>2</sub>Se<sub>4</sub> birləşməsi əsasında 6 mol % CaGa<sub>2</sub>Se<sub>4</sub> həll olduğu halda CaGaSe<sub>2</sub> birləşməsi əsasında bərk məhlul sahəsi praktiki olaraq aşkar edilməmişdir. CaSe–GaSe--Ga<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> qatılıq üçbucağının daxilindən keçən CaGaSe<sub>2</sub>–CaGa<sub>2</sub>Se<sub>4</sub> kəsiyinin ikili evtektika xəttini kəsən hissəsində CaSe və CaGa<sub>2</sub>Se<sub>4</sub> birləşməsi əsasında əmələ gələn α-bərk məhlulun birgə kristalları ayrılır, tərkibi 25 mol % CaGaSe<sub>2</sub>, temperaturu 970°C-dir.

**8. Ga-CaGaSe<sub>2</sub> sisteminin** hal diaqramı qurulmuş və müəyyən edilmişdir ki, onun hal diaqramı qismən kvazibinardır. Sistemdə ilkin komponentlər əsasında bərk məhlul sahəsi praktiki olaraq müəyyən edilməmişdir. Sistemdə peritektik çevrilmə baş verir və sistemdə Ga tərəfdə əmələ gələn evtektika cırlaşmış haldadır.

**9. Ga-CaSe sisteminin** hal diaqramı kvazibinar olub, cırlaşmış evtektikanın əmələ gəlməsi ilə müşahidə olunur.

**CaSe-Ga-Se kvaziüçlü sisteminin likvidusu** 5 kvazibinar kəsiklər GaSe-CaSe, CaGa<sub>2</sub>Se<sub>4</sub>-GaSe, Ga<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>-CaSe, Se–CaGa<sub>2</sub>Se<sub>4</sub> və Ga-CaSe və dörd qismən qeyri-kvazibinar GaSe-CaIn<sub>4</sub>Se<sub>7</sub>, Se-CaGa<sub>4</sub>Se<sub>7</sub>, CaGaSe<sub>2</sub>-CaGa<sub>2</sub>Se<sub>4</sub>, Ga-CaGaSe<sub>2</sub> kəsiklərlə xarakterizə olunur.

CaSe-Ga-Se kvaziüçlü sistemdə fiziki-kimyəvi analiz metodları vasitəsilə uyğun kəsiklərin mono- və nonvariant tarazlıqları aşkar edilmiş və likvidus səthinin proyeksiyası qurulmuşdur (şək.1).

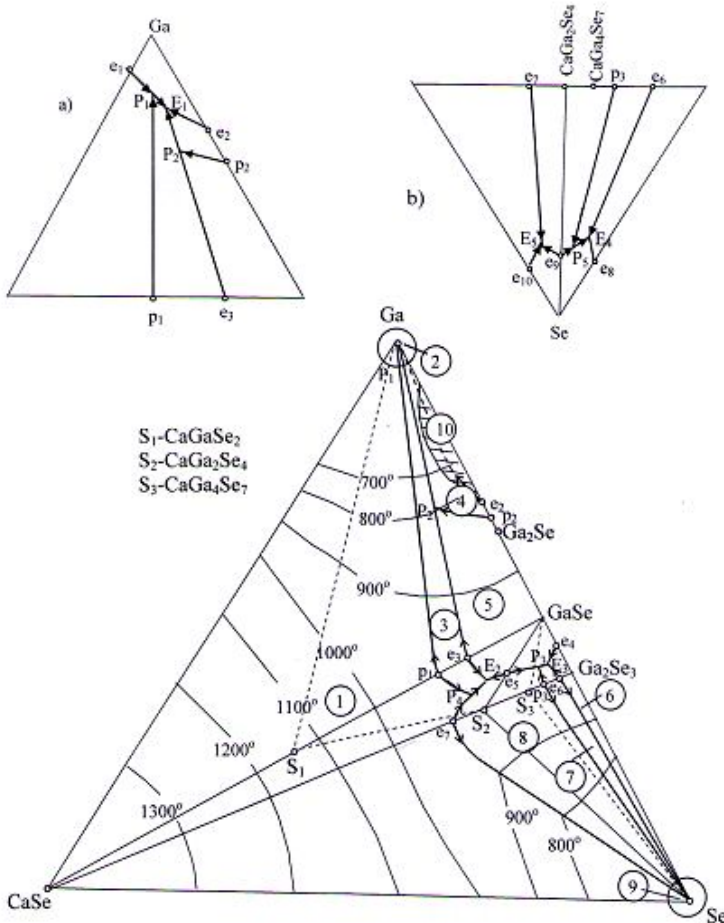
CaSe-Ga-Se kvaziüçlü sisteminin likvidusu 9 fazanın ilkin kristallaşma sahəsindən ibarətdir: 1-CaSe, 2-Ga, 3-CaGaSe<sub>2</sub>, 4-Ca<sub>2</sub>Se, 5-GaSe, 6-Ga<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>, 7-CaGa<sub>4</sub>Se<sub>7</sub>, 8-CaGa<sub>2</sub>Se<sub>4</sub>, 9-Se,və10-təbəqələşmə sahəsinə malikdir.

CaSe-Ga-Se kvaziüçlü sistemi kvazibinar kəsiklər hesabına aşağıdakı CaSe-Ga-CaSe, CaSe-GaSe-CaGa<sub>2</sub>Se<sub>4</sub>, GaSe-CaGa<sub>2</sub>Se<sub>4</sub>-Ga<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>, CaGa<sub>2</sub>Se<sub>4</sub>-

$\text{Ga}_2\text{Se}_3$ -Se və  $\text{CaGa}_2\text{Se}_4$ -Se-CaSe tabeli üçbucaqlara bölünürlər.

Likvidus səthinin proyeksiyasında ən böyük kristallaşma sahəsi CaSe,  $\text{CaGa}_2\text{Se}_4$  və GaSe fazalarının payına düşür. Ən kiçik kristallaşma sahəsi isə Ga və Se fazalarının payına düşür.

CaSe-Ga-Se kvaziüçlü sistemində 10 nonvariant tarazlıq prosesi baş verir ki, bunlardan beşi ( $E_1$ -  $E_5$ ) üçlü evtektika, beşi isə üçlü peritektikdir ( $P_1$ -  $P_5$ ).



Şək. 1. CaSe-Ga-Se kvaziüçlü sisteminin likvidus səthinin proyeksiyası. 1-CaSe, 2-Ga, 3-CaGaSe<sub>2</sub>, 4-Ga<sub>2</sub>Se, 5-GaSe, 6-Ga<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>, 7- CaGa<sub>4</sub>Se<sub>7</sub>, 8- CaGa<sub>2</sub>Se<sub>4</sub>, 9-Se və 10- təbəqələşmə sahəsi.

Cədvəl 1-də CaSe-Ga-Se kvaziüçlü sistemində mono- və nonvariant tarazlıq reaksiyaları verilmişdir.

**Cədvəl 1. CaSe-Ga-Se kvaziüçlü sistemində mono-  
və nonvariant tarazlıqlar**

№	Mono- və nonvariant tarazlıqlar	Reaksiyalar	Temperatur, °C
1	$e_1P_1$	$M \leftrightarrow Ga+CaSe$	cırılma
2	$P_1E_1$	$M \leftrightarrow Ga+CaGaSe_2$	cırılma
3	$e_2E_1$	$M \leftrightarrow Ga+Ga_2Se$	29,8-25
4	$P_2E_1$	$M \leftrightarrow CaGaSe_2+Ga_2Se$	830-25
5	$e_3E_1$	$M \leftrightarrow GaSe+ CaGaSe_2$	865- 25
6	$p_2P_2$	$M \leftrightarrow Ga_2Se+GaSe$	930-830
7	$P_2e_3E_2$	$M \leftrightarrow CaGaSe_2+GaSe$	830-865-800
8	$P_1p_1P_4$	$M \leftrightarrow CaGaSe_2+CaSe$	28-930-850
9	$P_4e_7P_6$	$M \leftrightarrow CaSe+ CaGa_2Se_4$	850-1010-790
10	$P_6P_7$	$M \leftrightarrow CaSe_2+ CaGa_2Se_4$	790-760
11	$P_7E_5$	$M \leftrightarrow Ca_2Se_3+ CaGa_2Se_4$	760-170
12	$P_4E_2$	$M \leftrightarrow CaGaSe_2+ CaGa_2Se_4$	850-830
13	$P_3e_5E_2$	$M \leftrightarrow GaSe+ CaGa_2Se_4$	830-870-825
14	$P_3E_3$	$M \leftrightarrow GaSe+ CaGa_4Se_7$	825-815
15	$P_3p_3P_5$	$M \leftrightarrow CaGa_4Se_7+ CaGa_2Se_4$	825-1000-185
16	$e_4E_3$	$M \leftrightarrow GaSe+Ga_2Se_3$	912-815
17	$E_3e_6E_4$	$M \leftrightarrow Ga_2Se_3+CaGa_4Se_7$	815-970-160
18	$e_8 E_4$	$M \leftrightarrow Ga_2Se_3+Se$	220-160
19	$P_5E_4$	$M \leftrightarrow Se+CaGa_4Se_7$	185-160
20	$P_5e_9E_5$	$M \leftrightarrow CaSe+CaGa_2Se_4$	185-210-170
21	$e_{10}E_5$	$M \leftrightarrow Se+CaSe$	220-170
22	$e_1$	$M \leftrightarrow Ga+CaSe$	29
23	$e_2$	$M \leftrightarrow Ga+Ga_2Se$	29,8
24	$e_3$	$M \leftrightarrow CaGaSe_2+ GaSe$	865
25	$e_4$	$M \leftrightarrow GaSe+Ga_2Se_3$	912
26	$e_5$	$M \leftrightarrow \alpha+\beta$	870
27	$e_6$	$M \leftrightarrow Ga_2Se_3+ CaGa_4Se_7$	970
28	$e_7$	$M \leftrightarrow CaSe+ CaGa_2Se_4$	1010
29	$e_8$	$M \leftrightarrow Se+ Ga_2Se_3$	220

30	e <sub>9</sub>	M ↔ Se + CaGa <sub>2</sub> Se <sub>4</sub>	190
31	e <sub>10</sub>	M ↔ Se + CaSe	220
32	E <sub>1</sub>	M ↔ Ga + CaGaSe <sub>2</sub> + Ga <sub>2</sub> Se	25
33	E <sub>2</sub>	M ↔ GaSe + CaGaSe <sub>2</sub> + CaGa <sub>2</sub> Se <sub>4</sub>	800
34	E <sub>3</sub>	M ↔ GaSe + CaGa <sub>4</sub> Se <sub>7</sub> + Ga <sub>2</sub> Se <sub>3</sub>	815
35	E <sub>4</sub>	M ↔ Ga <sub>2</sub> Se <sub>3</sub> + Se + CaGa <sub>4</sub> Se <sub>7</sub>	160
36	E <sub>5</sub>	M ↔ Se + CaSe + CaGa <sub>2</sub> Se <sub>4</sub>	170
37	P <sub>1</sub>	M + CaSe ↔ Ga + CaGaSe <sub>2</sub>	28
38	P <sub>2</sub>	M + GaSe ↔ Ga <sub>2</sub> Se + CaGaSe <sub>2</sub>	830
39	P <sub>3</sub>	M + GaSe ↔ GaSe + CaGa <sub>4</sub> Se <sub>7</sub>	825
40	P <sub>4</sub>	M + CaSe ↔ CaGaSe <sub>2</sub> + CaGa <sub>2</sub> Se <sub>4</sub>	850
41	P <sub>5</sub>	M + GaSe ↔ Se + CaGa <sub>4</sub> Se <sub>7</sub>	185
42	P <sub>6</sub>	M + CaSe ↔ CaSe <sub>2</sub> + CaGa <sub>2</sub> Se <sub>4</sub>	790
43	P <sub>7</sub>	M + CaSe <sub>2</sub> ↔ Ca <sub>2</sub> Se <sub>3</sub> + CaGa <sub>2</sub> Se <sub>4</sub>	760
40	p <sub>1</sub>	M + CaSe ↔ CaGaSe <sub>2</sub>	930
41	p <sub>2</sub>	M + GaSe ↔ Ga <sub>2</sub> Se	930
42	p <sub>3</sub>	M + CaGa <sub>2</sub> Se <sub>4</sub> ↔ CaGa <sub>4</sub> Se <sub>7</sub>	1000
43	p <sub>4</sub>	M + CaSe ↔ GaSe <sub>2</sub>	800
44	p <sub>5</sub>	M + CaSe <sub>2</sub> ↔ Ca <sub>2</sub> Se <sub>3</sub>	890

**Dördüncü fəsil** CaTe-Ga-Te kvaziüçlü sisteminə kimyəvi qarşılıqlı təsirin tədqiqinə həsr olunmuşdur. Bu məqsədlə CaTe-Ga-Te sisteminin

### 1. GaTe-CaTe kəsiyi

GaTe-CaTe sisteminin hal diaqramı kvazibinardır və bir CaGaTe<sub>2</sub> tərkibli birləşmənin əmələgəlməsilə xarakterizə olunur. CaGaTe<sub>2</sub> birləşməsi 945°C-də inkonqruent olaraq əriyir. Sistemdə ilkin komponentlər əsasında məhdud sahədə bərk məhlul sahəsi aşkar edilmişdir. Mikroquruluş analizinin nəticələrinə əsasən müəyyən edilmişdir ki, otaq temperaturunda GaTe əsasında 4 mol % CaTe həll olduğu halda, CaTe birləşməsi əsasında bərk məhlul sahəsi 2,5 mol % GaTe təşkil edir. Sistemə GaTe və CaTe birləşmələri öz aralarında ikili evtektika əmələ gətirir, koordinatı 20 mol % GaTe, temperaturu 710°C-dir.

### 2. Ga<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>-CaTe kəsiyi

Ga<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>-CaTe kəsiyində CaGa<sub>4</sub>Se<sub>7</sub> və CaGa<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> tərkibli yeni üçlü birləşmələrin alındığı müəyyən edilmişdir. Ga<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>-CaTe kəsiyinin likvidusu GaTe əsasında alınmış α-bərk məhlulun, CaGa<sub>4</sub>Se<sub>7</sub>, CaGa<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> və CaTe

birləşmələrin ilkin kristallaşma əyrilərindən ibarətdir.

Sistemdə iki evtektik proses baş verir.  $\text{Ga}_2\text{Te}_3$  və  $\text{CaGa}_4\text{Se}_7$  birləşmələri öz aralarında 20 mol %  $\text{CaTe}$  tərkibində evtektika əmələ gətirir və  $580^\circ\text{C}$ -də əriyir.  $\text{CaGa}_4\text{Se}_7$  və  $\text{CaGa}_2\text{Te}_4$  birləşmələrinin birgə kristallaşması ikili evtektika nöqtəsində başa çatır. Evtektikanın tərkibi 60 mol %  $\text{CaTe}$  və əriməsi isə  $730^\circ\text{C}$ -dir.

$\text{Ga}_2\text{Te}_3$ - $\text{CaTe}$  sistemində  $\text{Ga}_2\text{Te}_3$  əsasında 8 mol %  $\text{CaTe}$  həllolma aşkar edilmiş,  $\text{CaTe}$  əsasında isə həllolma praktik olaraq müəyyən edilməmişdir.

### **3. $\text{GaTe-CaGa}_2\text{Te}_4$ kəsiyi**

Beləliklə,  $\text{GaTe-CaGa}_2\text{Te}_4$  kəsiyində kimyəvi qarşılıqlı təsir öyrənilmiş və onun faza diaqramı qurulmuşdur. Sistemimin hal diaqramı kvazibinar olub, sadə evtektik tiplidir. Kəsikdə əmələ gələn ikli evtektikanın tərkibi 40 mol %  $\text{CaGa}_2\text{Te}_4$ , temperaturu  $710^\circ\text{C}$ -dir. Sistemin likvidusu  $\alpha$  və  $\beta$ -fazanın ilkin kristallaşma, monovariant tarazlıq əyriləri ilə həddüdlənmişdir.  $\text{GaTe-CaGa}_2\text{Te}_4$  sistemində ikin komponentlər  $\text{GaTe}$  və  $\text{CaGa}_2\text{Te}_4$  əsasında otaq temperaturunda uyğun olaraq 2 və 6 mol % bərk məhlul sahəsi əmələ gəlir.

### **4. $\text{Te - CaGa}_2\text{Te}_4$ kəsiyi**

$\text{Te - CaGa}_2\text{Te}_4$  kəsiyi də kvazibinar olub, evtektik tiplidir. Sistemin likvidusu  $\text{Te}$  və  $\text{CaGa}_2\text{Te}_4$  əmələ gətirdiyi  $\alpha$ -bərk məhlulun ilkin kristallaşma əyrisindən ibarətdir. Likvidus və solidus xətti arasında ( $M+\alpha$ ) faza yerləşir. 0-88 mol %  $\text{CaGa}_2\text{Te}_4$  qatılıq intervalında solidus xəttindən aşağıda ikifazlı ərintilər ( $\text{Te}+\alpha$ ) kristallaşırlar. Sistemdə  $\text{CaGa}_2\text{Te}_4$  əsasında 12 mol %  $\text{Te}$  birfazlı bərk məhlul sahəsinin olduğu müəyyən edilmişdir.

### **5. $\text{CaGaTe}_2$ - $\text{CaGa}_2\text{Te}_4$ sistemi**

$\text{CaGaTe}_2$  və  $\text{CaGa}_2\text{Te}_4$  birləşmələri arasında qarşılıqlı təsir öyrənilmiş və kəsiyin faza diaqramı qurulmuşdur.  $\text{GaTe-CaGa}_2\text{Te}_4$  kəsiyin  $\text{CaTe-GaTe-Ga}_2\text{Te}_3$  üçlü sisteminin daxilindən keçən peritektika və evtektika əyrisini kəsir. Odur ki, sistemin ərintiləri  $700^\circ\text{C}$ -dən yuxarıda üçfazlı sahələrdən keçir, yəni sistem qismən qeyri-kvazibinardır. Sistemdə ilkin komponentlər əsasında bərk məhlul sahəsi yalnız  $\text{CaGa}_2\text{Te}_4$  əsasında aşkar edilmişdir.  $\text{CaGa}_2\text{Te}_4$  birləşməsi əsasında 7 mol %  $\text{CaGaTe}_2$  bərk məhlul sahəsi əmələ gəlmişdir.

Sistemin likvidusu  $\text{CaGaTe}_2$  və  $\text{CaGa}_2\text{Te}_4$  birləşməsi əsasında əmələ gələn  $\alpha$ -fazanın ilkin kristallaşma əyriləri ilə həddüdlənmişdir.

### **6. $\text{GaTe-CaGa}_4\text{Te}_7$ kəsiyi**

$\text{GaTe-CaGa}_4\text{Te}_7$  sisteminin faza diaqramı qurulmuş və müəyyən edilmişdir ki, sistemin faza diaqramı qismən kvazibinardır. Sistemin likvidusu

GaTe və  $\text{CaGa}_2\text{Te}_4$  birləşmələrinin maye ilə tarazlıqda olan monovariant tarazlıq əyriləri ilə əhatə edilmişdir. GaTe-CaGa<sub>4</sub>Te<sub>7</sub> sistemi GaTe-CaGa<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>-Ga<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> tabeli qatılıq üçbucağının sahəsindən keçdiyi üçün üçfazlı sahələr mövcuddur. Peritektik çevrilmə 600°C-də baş verir.

### **7. Te-CaGa<sub>4</sub>Te<sub>7</sub> kəsiyi**

Te-CaGa<sub>4</sub>Te<sub>7</sub> kəsiyinin hal diaqramı qismən qeyri-kvazibinardır. Sistemdə evtektik tarazlıq və peritektik çevrilmə baş verir. Mikroquruluş analizi nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, sistemin ərintiləri ikifazalıdır. Peritektik çevrilmə 380°C-də baş verir. Sistemdə CaGa<sub>4</sub>Te<sub>7</sub> birləşməsi peritektik olduğu üçün, yuxarı temperaturda  $\text{CaGa}_4\text{Te}_7 \leftrightarrow \text{M} + \text{CaGa}_2\text{Te}_4$  kimi parçalanır.

### **8. Ga-CaTe kəsiyi**

Ga-CaTe kəsiyinin hal diaqramı kvazibinar olub, cırlaşmış evtektik tiplidir. Sistemdə ilkin komponentər arasında praktiki olaraq bərk məhlul sahəsi müəyyən edilməmişdir. Likvidus əyrisindən aşağıda  $\text{M} + \text{CaTe}$  fazaları mövcuddur. Bütün qatılıq intervalında mayedən CaTe birləşməsinin kristalları ayrılır. Solidus xəttindən aşağıda ikifazlı ( $\alpha + \text{CaTe}$ ) ərintilər kristallaşırlar.

### **9. Ga-CaGaTe<sub>2</sub> kəsiyi**

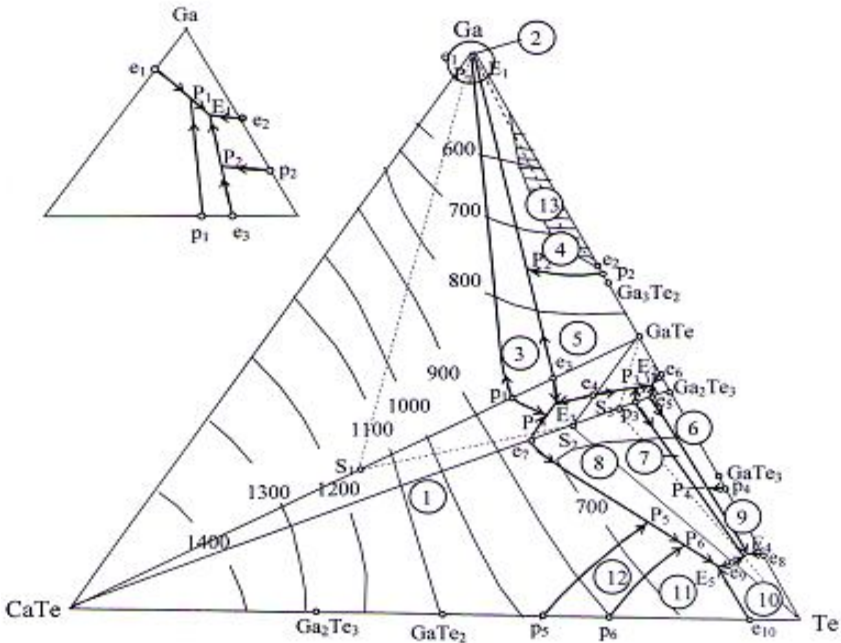
Ga-CaGaTe<sub>2</sub> sistemində kimyəvi qarşılıqlı təsirin xarakteri öyrənilmiş və onun faza diaqramı qurulmuşdur. Müəyyən edilmişdir ki, Ga-CaGaTe<sub>2</sub> kəsiyi CaTe-Ga-GaTe üçlü qatılıq üçbucağının daxilindən keçərək peritektika və evtektika əyrisini kəsir. Odur ki, sistem qismən kvazibinardır. Sistemdə ilkin komponentlər əsasında bərk məhlul sahələri müəyyən edilməmişdir. Sistemin likvidus əyrilərinin hər ikisi də cırlaşmış evtektikada çökürlər.

### **10. CaGa<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>-Ca<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> kəsiyi**

$\text{CaGa}_2\text{Te}_4$ -Ca<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> hal diaqram qismən qeyri-kvazibinardır.  $\text{CaGa}_2\text{Te}_4$ -Ca<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> sisteminin evtektik tarazlıq əyrisinin kəsdiyi yerdə  $\alpha$  və CaTe fazalarının ayrılması baş verir, temperaturu 720°C, tərkibi 25 mol % Ca<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>-dur. 15-75 mol % Ca<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> qatılıq intervalında solidus xəttindən yuxarıda ( $\text{M} + \alpha + \text{GaTe}$ ) tərkibli sahələr əmələ gəlir. Digər üçfazlı sahə ( $\text{M} + \text{CaTe} + \text{Ca}_2\text{Te}_3$ ) 25-100 mol % Ca<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> intervalda əmələ gəlir. Sistemdə peritektik çevrilmə 570°C-də baş verir.

**Tədqiq olunmuş kvazibinar** və qeyri-kvazibinar sistemlərə əsasən CaTe-Ga-Te kvaziüçlü sisteminin likvidus səthinin proyeksiyası qurulmuşdur (şək. 2). CaTe-Ga-Te kvaziüçlü sisteminin likvidus səthinin proyeksiyasının qurulmasında 10 kəsiyin faza diaqramından istifadə edilmişdir. GaTe-CaTe, Ga<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>-CaTe, GaTe-CaGa<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>, Te-CaGa<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>, Ga-CaTe kvazibinar kəsiklərinin sayəsində CaTe-Ga-Te kvaziüçlü sistemi 5 tabeli

üçbucağa:



Şək. 2. CaTe-Ga-Te kvaziüçlü sisteminin likvidus səthinin proyeksiyası. 1-CaTe, 2-Ga, 3-CaGa<sub>2</sub>Te<sub>2</sub>, 4-Ga<sub>3</sub>Te<sub>2</sub>, 5-GaTe, 6-Ga<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>, 7-CaGa<sub>4</sub>Te<sub>7</sub>, 8- CaGa<sub>2</sub>Te, 9- GaTe<sub>3</sub>, 10-Te, 11-CaTe<sub>2</sub>, 12-Ca<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> və 13- təbəqələşmə sahəsi.

CaTe-Ga-GaTe, CaTe-GaTe-CaGa<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>, GaTe-CaGa<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>-Ga<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>, CaGa<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>-Ga<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>-Te və CaTe-CaGa<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>-Te bölünmüşdür.

Cədvəl 2-də CaTe-Ga-Te kvaziüçlü sistemində baş verən mono- və nonvariant tarazlıq reaksiyaları verilmişdir. Üçlü sistemdə ən geniş kristallaşma sahəsi CaTe, GaTe və CaGa<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> birləşmələrinin payına düşür. Ən kiçik kristallaşma sahəsi Ga elementinin payına düşür. Bütövlükdə CaTe-Ga-Te kvaziüçlü sisteminin daxilində 12 fazanın kristallaşma sahəsi müəyyən edilmişdir. Sistemdə ilkin komponentlər əsasında məhdud miqdarda həllolma sahəsi müəyyən edilmişdir. CaTe-Ga-Te kvaziüçlü sistemində 12 üçlü nonvariant tarazlıq nöqtələri müəyyən edilmişdir ki, onun beşi üçlü evtektik (E<sub>1</sub>-E<sub>5</sub>), yeddisi isə üçlü peritektik (P<sub>1</sub>-P<sub>7</sub>) tarazlıqdır. Onların koordinatları və temperaturları dəqiqləşdirilmişdir.



## Cədvəl 2.

## CaTe-Ga-Te kvaziüçlü sistemində mono- və nonvariant tarazlıqlar

№	Monovariant və nonvariant tarazlıqlar	Reaksiyalar	Temperatur, °C
1	$e_1E_1$	$M \leftrightarrow Ga+CaTe$	29-27
2	$p_1P_1$	$M \leftrightarrow Ca+CaGaTe_2$	860-29
3	$e_2E_1$	$M \leftrightarrow Ga+Ga_3Te_2$	746-27
4	$e_3E_1$	$M \leftrightarrow GaSe+ CaGaTe_2$	750-27
5	$p_2P_2$	$M \leftrightarrow Ga_3Te_2+ CaGaTe_2$	753-700
6	$e_3E_3$	$M \leftrightarrow CaGaTe_2+GaTe$	750-560
7	$p_1P_1$	$M \leftrightarrow CaGaTe_2+CaTe$	860-29
8	$e_7P_7$	$M \leftrightarrow CaTe+ CaGa_2Te_4$	730-650
9	$P_3e_4 E_3$	$M \leftrightarrow GaTe+ CaGa_2Te_4$	600-710-520
10	$P_3p_3P_8$	$M \leftrightarrow CaGa_2Te_4+ CaGa_4Te_7$	600-680-390
11	$e_6E_2$	$M \leftrightarrow GaTe+ Ga_2Te_3$	778-520
12	$p_4E_4$	$M \leftrightarrow GaTe+ CaGa_2Te_4$	429-380
13	$P_4e_5E_3$	$M \leftrightarrow Ga_2Te_3+ CaGa_4Te_7$	429-580-405
14	$p_4P_4$	$M \leftrightarrow Ga_2Te_3+ GaTe_3$	488-429
15	$e_8 E_4$	$M \leftrightarrow GaTe_3+Te$	435-380
16	$E_5e_9E_4$	$M \leftrightarrow Te+CaGa_2Te_4$	400-410-380
17	$P_7E_5$	$M \leftrightarrow CaGa_2Te_4+Te$	650-400
18	$e_{10}E_5$	$M \leftrightarrow Te+CaTe_2$	420-400
19	$P_6E_5$	$M \leftrightarrow CaGa_2Te_4+CaTe_2$	900-400
20	$p_6P_6$	$M \leftrightarrow Ca_2Te_3+CaTe_2$	900-530
21	$P_5P_6$	$M \leftrightarrow CaGa_2Te_4+ Ca_2Te_3$	570-530
22	$p_5P_5$	$M \leftrightarrow CaTe+ Ca_2Te_3$	980-570
23	$e_1$	$M \leftrightarrow Ga+CaTe$	29
24	$e_2$	$M \leftrightarrow Ga+Ga_3Te_2$	746
25	$e_3$	$M \leftrightarrow CaGaTe_2+ GaTe$	750
26	$e_4$	$M \leftrightarrow GaTe+CaGa_2Te_4$	710
27	$e_5$	$M \leftrightarrow Ga_2Te_3+ CaGa_4Te_7$	580
28	$e_6$	$M \leftrightarrow Ga_2Te_3+ GaTe$	778
29	$e_7$	$M \leftrightarrow CaTe+ CaGa_2Te_4$	730
30	$e_8$	$M \leftrightarrow Te+ GaTe_3$	435
31	$e_9$	$M \leftrightarrow Te+ CaGa_2Te_4$	410
32	$e_{10}$	$M \leftrightarrow Te+CaTe_2$	420
33	$E_1$	$M \leftrightarrow Ga+ CaGaTe_2+Ga_3Te_2$	27

Cədvəl 2-nin davamı

1	2	3	4
34	E <sub>2</sub>	M ↔ GaTe+CaGaTe <sub>2</sub> + CaGa <sub>2</sub> Te <sub>4</sub>	520
35	E <sub>3</sub>	M ↔GaTe+ CaGa <sub>4</sub> Te <sub>7</sub> +Ga <sub>2</sub> Te <sub>3</sub>	405
36	E <sub>4</sub>	M ↔GaTe <sub>3</sub> + Te+CaGa <sub>4</sub> Te <sub>7</sub>	380
37	E <sub>5</sub>	M ↔Te+CaTe <sub>2</sub> +CaGa <sub>2</sub> Te <sub>4</sub>	400
38	P <sub>1</sub>	M+CaTe ↔Ga+CaGaTe <sub>2</sub>	29
39	P <sub>2</sub>	M+GaTe ↔Ga <sub>3</sub> Te <sub>2</sub> +CaGaTe <sub>2</sub>	700
40	P <sub>3</sub>	M+CaGa <sub>2</sub> Te <sub>4</sub> ↔GaTe+CaGa <sub>4</sub> Te <sub>7</sub>	600
41	P <sub>4</sub>	M+Ga <sub>2</sub> Te <sub>3</sub> ↔GaTe <sub>3</sub> +CaGa <sub>4</sub> Te <sub>7</sub>	429
42	P <sub>5</sub>	M+CaTe ↔Ca <sub>2</sub> Te <sub>3</sub> +CaGa <sub>2</sub> Te <sub>4</sub>	570
43	P <sub>6</sub>	M+Ca <sub>2</sub> Te <sub>3</sub> ↔ CaTe <sub>2</sub> +CaGa <sub>2</sub> Te <sub>4</sub>	530
44	P <sub>7</sub>	M+CaTe ↔ CaTe+CaGaTe <sub>2</sub>	650
45	p <sub>1</sub>	M+CaTe↔ CaGaTe <sub>2</sub>	860
46	p <sub>2</sub>	M+ GaTe↔ Ga <sub>3</sub> Te <sub>2</sub>	753
47	p <sub>3</sub>	M+CaGa <sub>2</sub> Te <sub>4</sub> ↔ CaGa <sub>4</sub> Te <sub>7</sub>	680
48	p <sub>4</sub>	M+Ga <sub>2</sub> Te <sub>3</sub> ↔ GaTe <sub>2</sub>	488
49	p <sub>5</sub>	M+CaTe ↔ Ca <sub>2</sub> Te <sub>3</sub>	980
50	p <sub>6</sub>	M+Ga <sub>2</sub> Te <sub>3</sub> ↔ CaTe <sub>2</sub>	900

**Bəşinci fəsilə Ca-In-Se üçlü sisteminə** aşağıdakı kvazibinar və qeyri-kvazibinar kəsiklər: CaIn<sub>2</sub>-CaSe, CaIn-CaSe, Ca<sub>3</sub>In-CaSe, CaSe-InSe, In<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>-CaSe, In-CaSe, In-CaInSe<sub>2</sub>, Se-CaIn<sub>2</sub>Se<sub>4</sub>, CaInSe<sub>2</sub>-CaIn<sub>2</sub>Se<sub>4</sub>, InSe-CaIn<sub>4</sub>Se<sub>7</sub>, InSe-CaIn<sub>2</sub>Se<sub>4</sub>, Se-CaIn<sub>4</sub>Se<sub>7</sub> tədqiq edilmiş və onların faza diaqramları qurulmuşdur. Aparılan tədqiqatların nəticəsində Ca-In-Se üçlü sisteminin likvidus səthinin proyeksiyası qurulmuşdur.

**1. CaIn<sub>2</sub>-CaSe sisteminin** faza diaqramı qurulmuş və müəyyən edilmişdir ki, sistemin hal diaqramı kvazibinar olub, evtektik tiplidir. CaIn<sub>2</sub> və CaSe birləşmələrinin birgə kristallaşması ikili evtektikada başa çatır, tərkibi 20 mol % CaSe, temperaturu 750°C-dir. Sistemdə otaq temperaturunda CaIn<sub>2</sub> birləşməsi əsasında 3 mol % CaSe həll olur, CaSe əsasında isə 2,5 mol % CaIn<sub>2</sub> həll olur.

**2. Ca<sub>3</sub>In-CaSe sisteminin** faza diaqramı kvazibinar olub, sadə evtektik tiplidir. Sistemin likvidusu Ca<sub>3</sub>In əsasında əmələ gələn α -bərk məhlulun və CaSe əsasında əmələ gələn β - bərk məhlulun ilkin kristallaşma əyriləri ilə əhatə olunmuşdur.

Sistemdə α və β fazaların birgə kristallaşması ikili evtektikada başa çatır. Evtektikanın yeri Tamman üçbucağının qurulması yolu ilə müəyyən

edilmiş, tərkibi 15 mol % CaSe, əriməsi isə 700°C-dir.

**3. CaIn-CaSe sistemi** kvazibinar olub, evtektik tiplidir. Sistemin likvidusu CaIn və CaSe birləşmələrinin əmələ gətirdiyi  $\alpha$  və  $\beta$ -bərk məhlul ərintilərinin ilkin kristallaşma əyrilərindən ibarətdir.

Bu birləşmələr arasında əmələ gələn ikili evtektikanın tərkibi 2,5 mol % CaSe, əriməsi isə 770°C-dir. Sistemdə CaIn əsasında bərk məhlul sahəsi 3 mol % CaSe təşkil edir, CaSe əsasında isə təxminən 2 mol % CaIn təşkil edir. Solidus xəttindən aşağıda ( $\alpha + \beta$ )-dan ibarət ikifazlı ərintilər kristallaşır.

**4. InSe-CaSe kəsiyi** – kvazibinardır. InSe – CaSe sistemində kimyəvi qarşılıqlı təsirin xarakteri öyrənilmiş. Müəyyən edilmişdir ki, sistemdə  $\text{CaInSe}_2$  tərkibli 560°C-də inkonqruent əriyən bir üçlü birləşmə əmələ gəlir.  $\text{CaInSe}_2$  birləşməsinin  $\beta$  və  $\alpha$  modifikasiyaları aşkar edilmişdir. Sistemdə 15 mol % CaSe tərkibli ikili evtektika əmələ gəlir, temperaturu 460°C-dir. Rentgenfaza analizi nəticəsində müəyyən edilmişdir ki,  $\alpha$ - $\text{CaInSe}_2$  modifikasiyası rombik sinqoniyada kristallaşır. Sistemdə InSe birləşməsi əsasında 6 mol % CaSe həll olduğu halda, CaSe əsasında 3 mol % InSe bərk məhlulu əmələ gəlir.

$\text{CaInSe}_2$  tərkibli birləşmə peritektik reaksiya vasitəsilə aşağıdakı kimi əmələ gəlir:  $\text{M} + \text{CaSe} \leftrightarrow \text{CaInSe}_2 (560^\circ\text{C})$ .

**5.  $\text{In}_2\text{Se}_3$ -CaSe sistemi** tədqiq edilmiş və faza diaqramı qurulmuşdur. Sistemdə  $\text{CaIn}_4\text{Se}_7$  və  $\text{CaIn}_2\text{Se}_4$  tərkibli yeni üçlü birləşmələrin alındığı təsdiq edilmişdir.  $\text{In}_2\text{Se}_3$ -CaSe sisteminin likvidusu  $\delta$ - $\text{In}_2\text{Se}_3$ ,  $\text{CaIn}_4\text{Se}_7$ ,  $\text{CaIn}_2\text{Se}_4$  və CaSe birləşmələrin ilkin kristallaşma əyrilərindən ibarətdir.

Sistemdə iki evtektik proses baş verir ki, bunlardan biri  $\text{CaIn}_4\text{Se}_7$  və  $\text{CaIn}_2\text{Se}_4$  birləşmələri aralarında əmələ gələn ikili evtektikadır, tərkibi 35 mol % CaSe, əriməsi isə 745°C-dir.  $\text{CaIn}_2\text{Se}_4$  və  $\text{CaIn}_4\text{Se}_7$  birləşmələrinin birgə kristallaşması ikili evtektika nöqtəsində başa çatır, temperaturu 775°C-dir.

**6. In-CaSe sisteminin** hal diaqramı kvazibinar olub, cırılmış evtektik tiplidir. Sistemdə CaSe əsasında 2 at. % In homogenlik sahəsi müəyyən edilmişdir, In əsasında isə homogenlik sahəsi praktiki olaraq aşkar edilməmişdir. Sistemin likvidusu In və CaSe birləşməsinin ilkin kristallaşma əyrilərindən ibarətdir. Cırılmış evtektikanın temperaturu 140°C-dir.

**7.  $\text{Ca}_{0,6}\text{In}_{0,4}$ -CaSe kəsiyində** baş verən kimyəvi qarşılıqlı təsirin xarakteri öyrənilmiş, və onun faza diaqramı qurulmuşdur. Sistemin faza diaqramı qeyri-kvazibinardır. Bu kəsik evtektik tarazlıq əyrisini 10 mol % CaSe tərkibdə kəsir, temperaturu 730°C-dir. Üçlü evtektika nöqtəsi 5 mol % CaSe-nə uyğundur, bu nöqtədə dördfazlı tarazlıq baş verir:  $\text{M} \leftrightarrow \text{CaIn} + \text{Ca}_3\text{In} + \text{CaSe}$ .

**8. Se–CaIn<sub>2</sub>Se<sub>4</sub> kəsiyi** kvazibinar olub, cırlaşmış evtektik tiplidir. Sistemdə 20-60 mol % CaIn<sub>2</sub>Se<sub>4</sub> qatılıq intervalında 675°C–də ikifazlı monotektik proses baş verir.  $M_2 \leftrightarrow M_1 + \alpha$

Sistemdə əmələ gələn cırlaşmış evtektikanın tərkibi 5 mol % CaIn<sub>2</sub>Se<sub>4</sub>, əriməsi isə 210°C-dir. CaIn<sub>2</sub>Se<sub>4</sub> birləşməsi əsasında 10 mol % Se həll olur. CaIn<sub>2</sub>Se<sub>4</sub> əsasında bərk məhlul ərintilərinin rentgenoqrafik analizi aparılmış və müəyyən edilmişdir ki, onlar rombik qəfəs tipində kristallaşırlar. (CaIn<sub>2</sub>Se<sub>4</sub>)<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub> bərk məhlul ərintilərinin qəfəs parametrlərinin tərkibdən asılılığı Veqard qaydasına tabedir.

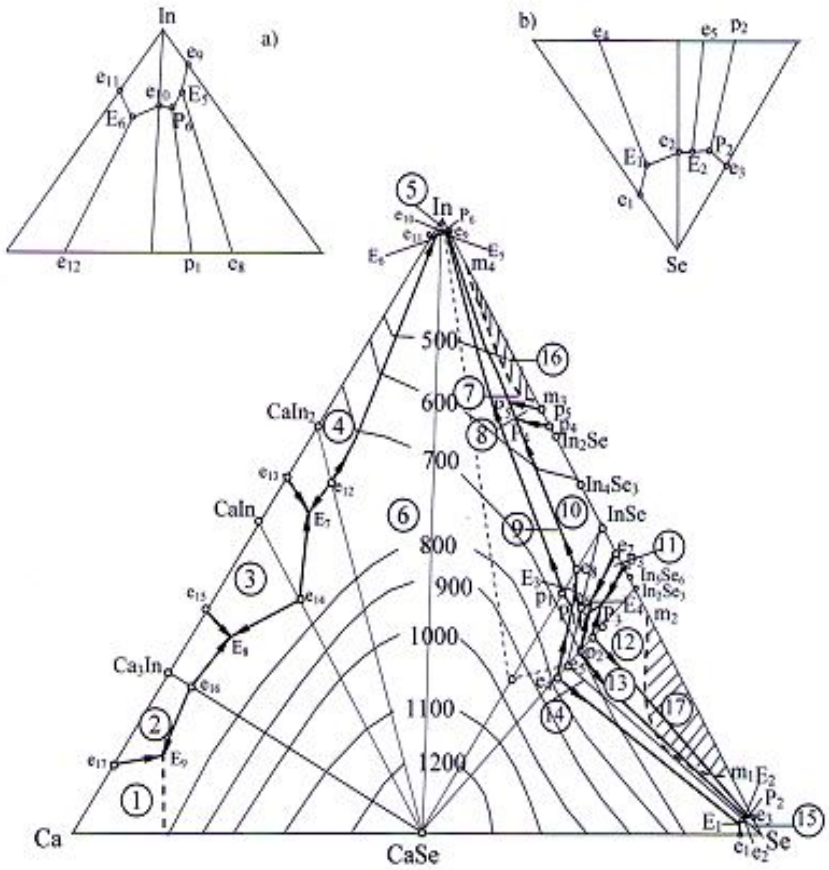
**9. CaInSe<sub>2</sub> - CaIn<sub>2</sub>Se<sub>4</sub> sisteminin** faza diaqramı qismən kvazibinar olub, evtektik tiplidir. CaInSe<sub>2</sub> birləşməsi əsasında isə bərk məhlul sahəsi praktiki olaraq müəyyən edilməmişdir, ancaq CaIn<sub>2</sub>Se<sub>4</sub> birləşməsi əsasında bərk məhlul sahəsinin 7 mol % olduğu müəyyən edilmişdir. Sistem evtektik tarazlıq əyrisini və peritektik çevrilmə sahəsini kəsir. CaIn<sub>2</sub>Se<sub>4</sub> birləşməsi əsasında əmələ gələn 3, 5 və 7 mol % CaInSe<sub>2</sub> bərk məhlul ərintilərinin elementar qəfəs parametrləri hesablanmışdır.

**10. InSe–CaIn<sub>4</sub>Se<sub>7</sub> sisteminin** hal diaqramı qismən kvazibinar olub, evtektik tarazlıqla və peritektik çevrilmə ilə xarakterizə olunur.

Sistemdə otaq temperaturunda InSe əsasında 5 mol % CaIn<sub>4</sub>Se<sub>7</sub> bərk məhlul sahəsi əmələ gəlir. InSe–CaIn<sub>4</sub>Se<sub>7</sub> kəsiyinin iki evtektikanın və peritektikanın sahəsinin kəsdiyi üçün sistemdə evtektik tarazlıq və peritektik çevrilmə baş verir. Bu kəsik evtektikanı 20 mol % CaIn<sub>4</sub>Se<sub>7</sub> tərkibdə, peritektikanı isə 65 mol % CaIn<sub>4</sub>Se<sub>7</sub> tərkiblərdə kəsir, temperaturları uyğun olaraq 630°C və 690 °C-dir.

**11. Se–CaIn<sub>4</sub>Se<sub>7</sub> sisteminin** hal diaqramı qismən kvazibinardır. Sistemdə ilkin komponentlər əsasında bərk məhlul sahələri aşkar edilməmişdir. CaIn<sub>4</sub>Se<sub>7</sub> birləşməsi peritektik xarakterli olduğu üçün solidus xəttində yuxarıda (M+CaIn<sub>2</sub>Se<sub>4</sub>+ CaIn<sub>4</sub>Se<sub>7</sub>) –dən ibarət üçfazlı sahə mövcuddur. Sistemdə 200°C-də üçfazlı nonvariant tarazlıq prosesi baş verir.  $M + CaIn_2Se_4 \leftrightarrow CaIn_4Se_7 (200^\circ C)$

**12. InSe–CaIn<sub>2</sub>Se<sub>4</sub> kəsiyi** fiziki-kimyəvi analiz metodları vasitəsilə I tədqiq edilmiş və onun faza diaqramı qurulmuşdur. Müəyyən edilmişdir ki, sistemin faza diaqramı kvazibinar olub, evtektik tiplidir. Mikroskopik tədqiqat nəticəsində aşkar edilmişdir ki, InSe əsasında bərk məhlul sahəsi 2 mol %, CaIn<sub>2</sub>Se<sub>4</sub> əsasında isə 10 mol % InSe bərk məhlul sahəsi əmələ gəlir. Sistemdə əmələ gələn ikili evtektikanın tərkibi 35 mol % CaIn<sub>2</sub>Se<sub>4</sub>, temperaturu isə 600°C-dir. Bu nöqtədə  $M \rightarrow \alpha + \beta$  –dən ibarət nonvariant tarazlıq baş verir.



Şək. 3. Ca-In-Se üçlü sisteminin likvidus səthinin proyeksiyası.

1-Ca, 2-  $\text{Ca}_3\text{In}$ , 3-  $\text{CaIn}$ , 4-  $\text{CaIn}_2$ , 5-  $\text{In}$ , 6-  $\text{CaSe}$ , 7-  $\text{In}_2\text{Se}$ , 8-  $\text{In}_4\text{Se}_3$ , 9-  $\text{CaInSe}_2$ , 10-  $\text{InSe}$ , 11-  $\text{In}_5\text{Se}_6$ , 12-  $\text{In}_2\text{Se}_3$ , 13-  $\text{CaIn}_4\text{Se}_7$ , 14-  $\text{CaIn}_2\text{Se}_4$ , 15-  $\text{Se}$ , 16 və 17 təbəqələşmə.

**Ca-In-Se qatılıq üçbucağının** trianqulyasiyası yan binar sistemlərin hal diaqramları ilə birlikdə şəkil 3-də verilmişdir. Ca-In-Se üçlü sistemin 8 kvazibinar kəsiklər hesabına  $\text{Ca}_3\text{In-CaSe}$ ,  $\text{CaIn-CaSe}$ ,  $\text{CaIn}_2\text{-CaSe}$ ,  $\text{In-CaSe}$ ,  $\text{CaSe-InSe}$ ,  $\text{CaSe-In}_2\text{Se}_3$ ,  $\text{Se-CaIn}_2\text{Se}_4$ ,  $\text{InSe-CaIn}_2\text{Se}_4$  doqquz tabeli üçbucaqlara  $\text{Ca-CaSe-Ca}_3\text{In}$ ,  $\text{CaSe-Ca}_3\text{In-CaIn}$ ,  $\text{CaSe-CaIn-CaIn}_2$ ,  $\text{CaSe-}$

$\text{CaIn}_2\text{-In}$ ,  $\text{In-CaSe-InSe}$ ,  $\text{CaSe-InSe-CaIn}_2\text{Se}_4$ ,  $\text{InSe-CaIn}_2\text{Se}_4\text{-In}_2\text{Se}_3$ ,  $\text{CaSe-CaIn}_2\text{Se}_4\text{-Se}$  və  $\text{In}_2\text{Se}_3\text{-CaIn}_2\text{Se}_4\text{-Se}$  bölünmüşdür.

$\text{Ca-In-Se}$  üçlü sistemində kimyəvi qarşılıqlı təsirin xarakteri tədqiq edilmişdir, nonvariant nöqtələrin koordinatlarının dəqiqləşdirmək üçün əlavə olaraq uyğun kəsiklərin ərintiləri sintez edilmişdir. Tədqiq edilmiş kəsiklərdən alınmış təcrübi nəticələrə və ikili sistemlər haqqında ədəbiyyat məlumatlarına əsasən  $\text{Ca-In-Se}$  üçlü sisteminin likvidus səthinin proyeksiyası qurulmuşdur (şək.3). Sistemdə müxtəlif fazaların monovariant kristallaşma əyrilərinin izotermiləri çəkilmişdir.

$\text{Ca-In-Se}$  üçlü sisteminin likvidusu 15 fazanın ilkin kristallaşma sahəsindən ibarətdir:  $\text{Ca}$ ,  $\text{Ca}_3\text{In}$ ,  $\text{CaIn}$ ,  $\text{CaIn}_2$ ,  $\text{In}$ ,  $\text{CaSe}$ ,  $\text{In}_2\text{Se}$ ,  $\text{In}_4\text{Se}_3$ ,  $\text{InSe}$ ,  $\text{In}_5\text{Se}_6$ ,  $\text{In}_2\text{Se}_3$ ,  $\text{Se}$ ,  $\text{CaIn}_2\text{Se}_4$ ,  $\text{CaInSe}_2$ ,  $\text{CaIn}_4\text{Se}_7$  və iki sahədə təbəqələşmə. Diaqramda ən böyük kristallaşma sahəsini  $\text{CaSe}$  fazası təşkil edir (60 %), ən kiçik kristallaşma sahəsi isə  $\text{In}$  və  $\text{Te}$ -un payına düşür.

Beləliklə,  $\text{Ca-In-Se}$  üçlü sisteminin daxilində kimyəvi qarşılıqlı təsir zamanı baş verən proseslər ətraflı tədqiq edilmişdir.

**Altıncı fəsildə**  $\text{Ca-In-Te}$  üçlü sistemin tərkibində baş verən kimyəvi reaksiyalarının təbiətini aydınlaşdırmaq məqsədilə aşağıdakı daxili kəsiklər edilmişdir :  $\text{CaIn}_2\text{-CaTe}$ ,  $\text{Ca}_3\text{In-CaTe}$ ,  $\text{CaIn-CaTe}$ ,  $\text{InTe-CaTe}$ ,  $\text{In-CaTe}$ ,  $\text{Te-CaIn}_2\text{Te}_4$ ,  $\text{InTe- CaIn}_2\text{Te}_4$ ,  $\text{CaInTe}_2 - \text{CaIn}_7\text{Te}_4$ ,  $\text{In} - \text{CaInTe}_2$  tədqiq edilmiş və onların hal diaqramları qurulmuşdur. Tədqiq olunmuş sistemlər və məlum kənar binar sistemlər əsasında  $\text{Ca-In-Te}$  üçlü sistemin likvidus səthinin proyeksiyası qurulmuşdur.

**1.  $\text{CaIn}_2\text{-CaTe}$  sisteminin** hal diaqramı kvazibinar olub, evtektik tiplidir.

Sistemdə  $\text{CaIn}_2$  və  $\text{CaTe}$  birləşmələrinin birgə kristallaşması ikili evtektikada başa çatır, tərkibi 15 mol %  $\text{CaTe}$ , temperaturu  $760^\circ\text{C}$ -dir. Sistemdə otaq temperaturunda  $\text{CaIn}_2$  birləşməsi əsasında 2 mol %  $\text{CaTe}$  həll olur,  $\text{CaTe}$  əsasında isə bərk məhlul sahəsini tam dəqiqləşdirmək çətin olmadığı üçün bu sahə təqribi olaraq ~3 mol %  $\text{CaIn}_2$  təşkil edir. Solidis xəttindən aşağıda  $\alpha$ , ( $\alpha + \beta$ ) və  $\beta$  fazalarından ibarət birfazlı və ikifazlı ərintilər kristallaşırlar.

**2.  $\text{Ca}_3\text{In-CaTe}$  sisteminin** faza diaqramı kvazibinar olub, evtektik tiplidir.  $\text{Ca}_3\text{In-CaTe}$  sistemində 0-2,5 mol %  $\text{CaTe}$  tərkibli ərintilər birfazlıdırlar.  $\text{CaTe}$  birləşməsi əsasında bərk məhlul sahəsi ~3 mol %  $\text{Ca}_3\text{In}$  təşkil edir. Sistemdə  $\alpha$  və  $\beta$  fazaların birgə kristallaşması ikili evtektikada başa çatır. Evtektikanın yeri Tamman üçbucağının qurulması yolu ilə müəyyən edilmiş, tərkibi 13 mol %  $\text{CaTe}$ , əriməsi isə  $710^\circ\text{C}$ -dir..

**3.  $\text{CaIn-CaTe}$  sisteminin** hal diaqramı kvazibinar olub, evtektik

tiplidir. Sistemin likvidusu  $\text{CaIn}$  və  $\text{CaTe}$  birləşmələri əsasında əmələ gələn  $\alpha$  və  $\beta$ -bərk məhlulun, ilkin kristallaşma ayrıları ilə hədudlanır. Sistemdə 0-20 mol %  $\text{CaTe}$  qatılıq intervalında temperaturun azalması nəticəsində mayedən  $\alpha$ -bərk məhlulun ilkin kristallaşması baş verir. 20-100 mol %  $\text{CaTe}$  intervalında isə  $\beta$ -bərk məhlulun ilkin kristalları ayrılır. Sistemdə  $\text{CaIn}$  birləşməsi tərəfdə 2,5 mol %  $\text{CaTe}$  bərk məhlul sahəsi əmələ gəlir,  $\text{CaTe}$  əsasında isə bərk məhlul sahəsi təxminən 2 mol %  $\text{CaIn}$  təşkil edir.

Sistemdə  $\text{CaIn}$  və  $\text{CaTe}$  birləşmələri arasında əmələ gələn evtektikanın tərkibi 20 mol %  $\text{CaTe}$ , temperaturu isə  $780^\circ\text{C}$ -dir.

**4.  $\text{InTe-CaTe}$  sistemində** fiziki-kimyəvi analiz metodları vasitəsilə faza tarazlılığı öyrənilmiş və onun hal diaqramı qurulmuşdur. Sistemin hal diaqramı üçlü  $\text{CaInTe}_2$  tərkibli bir birləşmənin əmələ gəlməsi ilə xarakterizə olunur.  $\text{CaInTe}_2$  birləşməsi  $690^\circ\text{C}$  temperaturda peritektik reaksiyası vasitəsilə əmələ gəlir. Sistemdə  $\text{InTe}$  və  $\text{CaTe}$  birləşmələrinin birgə kristallaşması ikili evtektika nöqtəsində başa çatır, tərkibi 15 mol %  $\text{CaTe}$ , əriməsi isə  $640^\circ\text{C}$ -dir. Müəyyən edilmişdir ki,  $\text{InTe-CaTe}$  sistemində otaq temperaturunda  $\text{InTe}$  əsasında 3 mol %  $\text{CaTe}$  həll olur,  $\text{CaTe}$  əsasında isə  $\sim 2$  mol %  $\text{InTe}$  həll olur.

**5.  $\text{In}_2\text{Te}_3\text{-CaTe}$  sistemi** fiziki-kimyəvi tədqiqat metodları vasitəsilə tədqiq edilmiş və onun faza diaqramı qurulmuşdur. Müəyyən edilmişdir ki, sistemin hal diaqramı kvazibinar olub, evtektik tiplidir. Sistemdə  $\text{CaIn}_2\text{Te}_4$  tərkibli  $850^\circ\text{C}$  konqruent əriyən bir birləşmənin əmələ gəldiyi müəyyən edilmişdir.

$\text{In}_2\text{Te}_3\text{-CaTe}$  sistemdə iki ikili evtektikanın əmələ gəldiyi aşkar edilmişdir və tərkibləri  $\alpha\text{-In}_2\text{Te}_3$  uyğun olaraq 12 və 70 mol %  $\text{CaTe}$  təşkil edir. Sistemdə otaq temperaturunda  $\alpha\text{-In}_2\text{Te}_3$  birləşməsi əsasında 2,5 mol % bərk məhlul sahəsi əmələ gəlmişdir.

**6.  $\text{CaTe-Ca}_3\text{In-CaIn}$  kvaziüçlü** sisteminin likvidus səthinin proyeksiyasını qurmaq və daxilində üçlü evtektikanın koordinatını və temperaturunu dəqiqləşdirmək üçün üç  $\text{Ca}_3\text{In}_{0,95}(\text{CaTe})_{0,05}\text{-}(\text{CaIn})_{0,95}(\text{CaTe})_{0,05}$ ,  $(\text{CaTe})_{0,3}(\text{Ca}_3\text{In})_{0,7}\text{-}(\text{CaTe})_{0,3}(\text{CaIn})_{0,7}$ ,  $\text{Ca}_{0,6}\text{In}_{0,4}\text{-CaTe}$  daxili kəsiklər tədqiq edilmişdir. Hər üç kəsik qeyri - kvazibinarıdır.  $\text{CaTe-Ca}_3\text{In-CaIn}$  kvaziüçlü sisteminin daxilində  $\text{CaTe}$ ,  $\text{Ca}_3\text{In}$  və  $\text{CaIn}$  birləşmələrinin kristallaşma sərhədləri müəyyən edilmişdir.

**7.  $\text{InTe-CaIn}_2\text{Te}_4$  sistemi** fiziki-kimyəvi analiz metodları vasitəsilə tədqiq edilmiş və onun faza diaqramı qurulmuşdur. Müəyyən edilmişdir ki, sistemin faza diaqramı kvazibinar olub, sadə evtektik tiplidir. Sistemdə əmələ gələn ikili evtektikanın yeri Tamman üçbucağının qurulması yolu ilə müəyyən edilmiş, tərkibi 45 mol %  $\text{CaIn}_2\text{Te}_4$  və əriməsi isə  $440^\circ\text{C}$ -dir.

Mikroquruluş analizinin nəticələrinə əsasən müəyyən edilmişdir ki, sistemdə ilkin komponentlər əsasında məhdud miqdarda həllolma müşahidə edilir. InTe əsasında otaq temperaturunda 5 mol %  $\text{CaIn}_2\text{Te}_4$  həll olur,  $\text{CaIn}_2\text{Te}_4$  əsasında isə həllolma 10 mol % InTe təşkil edir.

**8.  $\text{CaInTe}_2$ - $\text{CaIn}_2\text{Te}_4$  sistemində** kimyəvi qarşılıqlı təsir öyrənilmiş və onun faza diaqramı qurulmuşdur. Sistemin hal diaqramı qismən kvazibinar olub, evtektik tarazlıq və peritektik çevrilmələrlə müşayiət olunur.  $\text{CaIn}_2\text{Te}_4$  birləşməsi əsasında əmələ gələn  $\beta$ - bərk məhlulun sahəsi 10 mol %  $\text{CaInTe}_2$  təşkil edir. Rentgenoqrafik analizin nəticələrinə əsasən  $(\text{CaIn}_2\text{Te}_4)_{1-x}(\text{CaInTe}_2)_x$  bərk məhlul ərintilərinin elementar qəfəs parametrləri hesablanmışdır. Müəyyən edilmişdir ki,  $(\text{CaIn}_2\text{Te}_4)_{1-x}(\text{CaInTe}_2)_x$  bərk məhlul ərintiləri  $\text{CaIn}_2\text{Te}_4$  tipində tetraqonal qəfəs tipində kristallaşır.

**9. Te-CaTe sisteminin** faza diaqramı qurulmuş və müəyyən edilmişdir ki, sistemdə komponentlərin 1:1 və 1:2 nisbətində iki  $\text{CaTe}_2$  və  $\text{Ca}_2\text{Te}_3$  tərkibli birləşmələrin əmələ gəlir. Hər iki birləşmə peritektik reaksiya vasitəsilə aşağıdakı kimi əmələ gəlir.  $M^+ \text{Ca}_2\text{Te}_3 \leftrightarrow \text{CaTe}_2$  və  $M^+ \text{CaTe} \leftrightarrow \text{Ca}_2\text{Te}_3$  Sistemdə ilkin komponentlər əsasında bərk məhlul sahələri praktiki olaraq müəyyən edilməmişdir. Sistemdə Te və  $\text{CaTe}_2$  birləşmələri öz aralarında ikili evtektika əmələ gətirir, tərkibi 7 mol %  $\text{CaTe}$ , temperaturu  $420^\circ\text{C}$ -dir.

**Ca-In-Te üçlü sisteminin** trianqulyasiyası yan binar sistemlərin hal diaqramları ilə birlikdə şəkil 4-də verilmişdir. Ca-In-Te üçlü sistemi 8 kvazibinar kəsiklər  $\text{CaTe}$ - $\text{Ca}_3\text{In}$ ,  $\text{CaTe}$ - $\text{CaIn}$ ,  $\text{CaTe}$ - $\text{CaIn}_2$ ,  $\text{CaTe}$ - $\text{InTe}$ ,  $\text{In-CaTe}$ ,  $\text{CaTe-In}_2\text{Te}_3$ ,  $\text{CaIn}_2\text{Te}_4$ - $\text{InTe}$ ,  $\text{Se-CaIn}_2\text{Te}_4$  və iki qismən qeyri-kvazibinar kəsiklərlə xarakterizə olunur.

Sistemdə nonvariant nöqtələrin koordinatlarının dəqiqləşdirmək üçün əlavə olaraq, bir sıra ərintilər sintez edilmiş və fiziki-kimyəvi analiz metodları vasitəsilə uyğun kəsiklərin mono- və nonvariant tarazlıqları aşkar edilmiş və likvidus səthinin proyeksiyası qurulmuşdur (şəkl.4).

Ca-In-Te üçlü sisteminin likvidusu 18 fazanın ilkin kristallaşma sahəsindən ibarətdir.

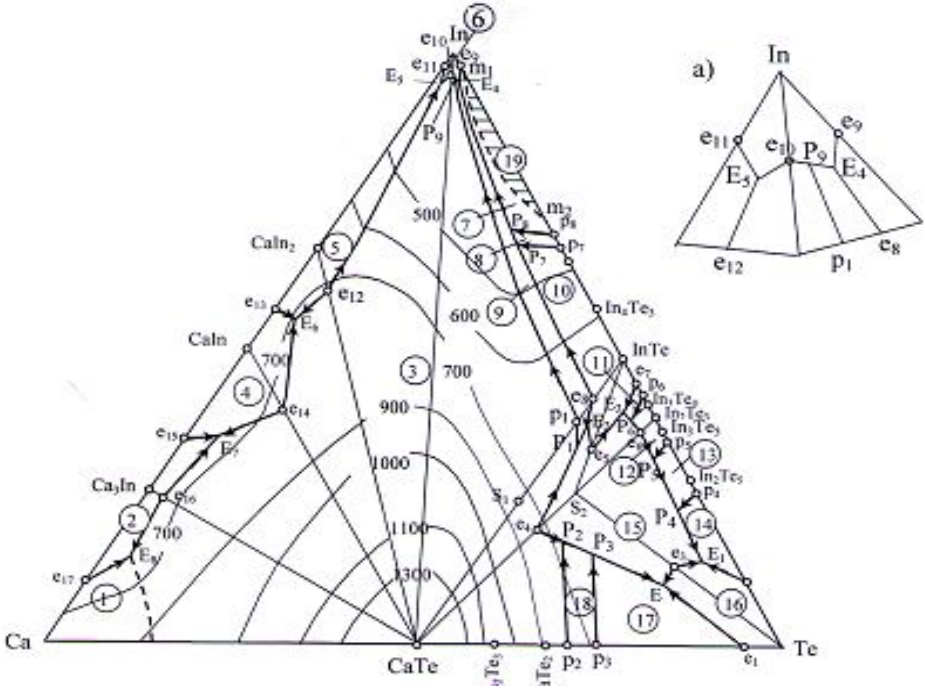
Ca-In-Te üçlü sistemi kvazibinar kəsiklər hesabına aşağıdakı  $\text{Ca-CaTe-Ca}_3\text{In}$ ,  $\text{CaTe-Ca}_3\text{In-CaIn}$ ,  $\text{CaTe-CaIn-CaIn}_2$ ,  $\text{CaTe-CaIn}_2\text{-In}$ ,  $\text{CaTe-In-InTe}$ ,  $\text{CaTe-InTe-CaIn}_2\text{Te}_4$ ,  $\text{InTe-CaIn}_2\text{Te}_4\text{-In}_2\text{Te}_3$ ,  $\text{Te-CaIn}_2\text{Te}_4\text{-In}_2\text{Te}_3$  və  $\text{CaTe-CaIn}_2\text{Te}_4\text{-Te}$  tabeli üçbucaqlara bölünürlər.

Likvidus səthinin proyeksiyasında ən böyük kristallaşma sahəsi  $\text{CaTe}$  və  $\text{CaIn}_2\text{Te}_4$  fazalarının payına düşür. Ən kiçik kristallaşma sahəsi isə In (1) və  $\text{In}_3\text{Te}_4$  (11)-ün payına düşür. Sistemdə In və  $\text{In}_2\text{Te}$  birləşmələri



arasında təbəqələşmə sahəsi ( 19) mövcuddur.

Ca-In-Te üçlü sistemində 18 nonvariant tarazlıq prosesi baş verir ki, bunlardan doqquzu ( E- E<sub>8</sub>) üçlü evtektika və doqquzu isə üçlü peritektikdir (P<sub>1</sub>- P<sub>9</sub>) . Həmçinin dissertasiyada Ca-In-Te üçlü sistemində monovariant və nonvariant tarazlıq reaksiyalarının koordinatları və temperaturları müəyyən edilməklə, fazaların kristallaşma sahələri dəqiqləşdirilmişdir .



**Şək. 4.** Ca-In-Te üçlü sisteminin likvidus səthinin proyeksiyası.

1-Ca, 2- Ca<sub>3</sub>In, 3-CaTe, 4-CaIn, 5-CaIn<sub>2</sub>, 6- In, 7-In<sub>2</sub>Te, 8- In<sub>4</sub>Te<sub>3</sub>, 9- CaInTe<sub>2</sub>,10- InTe, 11 – In<sub>3</sub>Te<sub>4</sub>, 12- In<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>, 13- In<sub>3</sub>Te<sub>5</sub>, 14-In<sub>2</sub>Te<sub>5</sub>, 15- CaIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>, 16-Te, 17-CaTe<sub>2</sub>, 18- Ca<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> və 19 - təbəqələşmə.

**Yeddinci fəsilə** Ca-Ga-Se(Te) və Ca-In-Se(Te) üçlü sistemlərində gallium və indium xalkogenidləri əsasında alınmış bərk məlulların bir sıra elektrofiziki və optiki xassələri tədqiq edilmişdir. Kalsium xalkogenidləri əsasında bərk məhlul kiçik sahə təşkil edir. Qallium xalkogenidləri yüksək müqavimətli, indium xalkogenidləri isə aşağı müqavimətli yarımkeçiricilərdir. Fiziki ölçmələr aparmaq üçün sintez olunmuş birləşmələrin mono-

kristalları alınmışdır.  $\text{CaGa}_2\text{Te}_4$  birləşməsinin monokristalı,  $\text{CaGa}_2\text{Se}_4$  birləşməsində olduğu kimi, həm kimyəvi qazdıyıcı reaksiya vasitəsilə, həm də ərintidən alınmışdır. Ərintidən  $\text{CaGa}_2\text{Te}_4$  birləşməsinin monokristalının alınması zamanı temperatur şəraiti  $T_1=900$  K,  $T_2=850$  K olmuşdur.  $\text{CaIn}_2\text{Se}_4$  ( $\text{CaIn}_2\text{Te}_4$ ) birləşmələrinin də monokristalları əsasən Bricman-Stokbarger qaydası ilə alınmışdır.  $\text{CaIn}_2\text{Se}_4$  birləşməsi üçün temperatur şəraiti  $T_1=1070$  K,  $T_2=970$  K olmuşdur. Daşıyıcı  $\text{I}_2$  miqdarı  $1 \text{ sm}^3$  həcm üçün  $4 \text{ mq}$  olmuş, monokristalların alınma müddəti  $70$  saat olmuşdur.

## 1. $\text{CaMeX}_2$ (Me=Ga,In,T; X=S,Se,Te) birləşmələrinin elektrofiziki xassələri

$\text{CaGaSe}_2$ ,  $\text{CaInSe}_2$ ,  $\text{CaGaTe}_2$  birləşmələrinin  $77 \div 300$  K temperatur intervalında, qaranlıqda və monoxromatik işıqla şüalandırılmaqla  $\text{CaGaSe}_2$  və  $\text{CaInSe}_2(\text{Te}_2)$  birləşmələrinin volt-ampere xarakteristikası (VAX) tədqiq edilmişdir. Zəif elektrik sahəsində kristallardan cərəyan keçdikdə Ohm qanuna tabe olur  $I = \sigma U$ .  $\text{CaGaSe}_2$  və  $\text{CaGaTe}_2$  üçün elektrik sahəsinin gərginlikdən asılılığında əyri üç düzxətli oblastdan ibarətdir. Birinci oblastda bucaq əmsali ( $\sigma$ ) 1-ə bərabərdir ki, bu hal Ohm qanuna tabe olur. İkinci və üçüncü haldabucaq əmsali sıfıra bərabərdir ki, hər iki halda Ohm qanunu ödənilmir.

$7 \div 250$  K temperatur intervalında  $\text{CaGaSe}_2(\text{Te}_2)$  və  $\text{CaInSe}_2(\text{Te}_2)$  cərəyan daşıyıcılarının yüklüyü Holl cərəyanı metodu ilə öyrənilmişdir. Aşağı temperaturalarda  $\text{CaGaSe}_2(\text{Te}_2)$  və  $\text{CaInSe}_2(\text{Te}_2)$  yarımkeçiricilərində elektronların Holl yüklüyü  $10-12 \text{ sm}^2/\text{Vs}$  tərtibində qiymət alır.

$\text{CaGaSe}_2$ ,  $\text{CaInSe}_2$  və  $\text{CaTlSe}_2$  birləşmələrinin elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığı öyrənilmişdir.  $\text{CaGaSe}_2$ ,  $\text{CaInSe}_2$  və  $\text{CaTlSe}_2$  birləşmələrinin elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığı  $\text{Ga} \rightarrow \text{In} \rightarrow \text{Tl}$  istiqamətində elektrik keçiriciliyinin qiyməti artır ki, buna səbəb qadağan olunmuş zonanın eninin getdikcə kiçilməsidir ki, bu da elektronların konsentrasiyasının artmasına səbəb olur və nəticədə ionlaşma enerjisinin qiyməti həmin istiqamətdə azalır

$295$  K temperaturda  $\text{CaGaSe}_2$ ,  $\text{CaInSe}_2$  və  $\text{CaTaSe}_2$  birləşmələrinin elektrik keçiriciliyi uyğun olaraq  $\sigma = 6 \cdot 10^{-9}$ ;  $\sigma = 8,5 \cdot 10^{-9}$ ;  $\sigma = 5 \cdot 10^{-8} \text{ Om}^{-1} \text{ sm}^{-1}$ ,  $360$  K -də isə  $\sigma = 6,2 \cdot 10^{-6}$ ;  $\sigma = 5,6 \cdot 10^{-5}$ ;  $\sigma = 4,0 \cdot 10^{-4} \text{ Om}^{-1} \text{ sm}^{-1}$  olur.

$\text{CaGaSe}_2$ ,  $\text{CaInSe}_2$ ,  $\text{CaTlSe}_2$  birləşmələrinin  $295-360$  K temperatur intervalında termo-e.h.q-nin ( $\alpha$ ) temperaturdan asılılığı öyrənilmişdir.

$\text{CaGaSe}_2$ ,  $\text{CaInSe}_2$ ,  $\text{CaTlSe}_2$  birləşməsinin termoelektrik hərəkət qüvvəsinin temperatur asılılığından müəyyən edilmişdir ki, temperatur artdıqca termoelektrik hərəkət qüvvəsi azalır və otaq temperaturundakı qiymətləri

uyğun olaraq 690 mkV/dər, 654 mkV/dər və 620 mkV/dər-dir, 360 K temperaturdakı qiyməti isə 405 mkV/dər, 372 mkV/dər. və 350 mkV/dər. dir.

$\text{CaInS}_2$ ,  $\text{CaInSe}_2$  və  $\text{CaInTe}_2$  birləşmələrinin xüsusi müqavimətinin temperaturdan asılılığı öyrənilmişdir. Temperatur artdıqca xüsusi müqavimət  $\text{CaInS}_2$ ,  $\text{CaInSe}_2$   $\text{CaInTe}_2$  birləşmələrində azalır ki, bu da  $\text{S} \rightarrow \text{Se} \rightarrow \text{Te}$  sırasında getdikcə metallıq xassəsinin artırması ilə əlaqədardır. Otaq temperaturunda  $\text{CaInS}_2$ ,  $\text{CaInSe}_2$ ,  $\text{CaInTe}_2$  birləşmələrinin xüsusi müqaviməti uyğun olaraq  $2 \cdot 10^9$ ;  $3 \cdot 10^7$ ;  $8 \cdot 10^5 \text{ Om} \cdot \text{sm}$  qiymət almışdır. 360 K-də isə xüsusi müqavimətin qiyməti  $1,28 \cdot 10^6$ ;  $1,32 \cdot 10^5$ ;  $1,39 \cdot 10^5 \text{ Om}^{-1} \cdot \text{sm}^{-1}$  olur.

$\text{CaGaS}_2$ ,  $\text{CaGaSe}_2$  və  $\text{CaGaTe}_2$  nümunələrinin cərəyan şiddətinin temperatur asılılığı öyrənilmişdir. Kükürddən tellura tərəf getdikcə metallıq xassəsi artır və nəticədə həmin istiqamətdə elektronların konsentrasiyası çoxalır ki, cərəyan şiddətinin qiyməti artır.

Cərəyan şiddətinin 295K temperaturdakı qiyməti  $\dot{I}=2,45 \cdot 10^{-6} \text{ A}$ ,  $\dot{I}=3 \cdot 10^{-6} \text{ A}$ ,  $4 \cdot 10^{-6}$ , 360 K temperaturdakı qiyməti isə  $\dot{I}=2,2 \cdot 10^{-5} \text{ A}$ ,  $\dot{I}=2,5 \cdot 10^{-5} \text{ A}$ ,  $\dot{I}=2,85 \cdot 10^{-5} \text{ A}$  olmuşdur.

## **2. $\text{CaGa}_2\text{S}_4$ (Se,Te)<sub>4</sub> və $\text{CaIn}_2\text{S}_4$ (Se,Te)<sub>4</sub> birləşmələrinin elektrofiziki xassələri**

$\text{CaGa}_2\text{Se}_4$  və  $\text{CaIn}_2\text{Se}_4$  birləşmələrinin elektrik keçiriciliyi 223-670 K temperatur intervalında öyrənilmişdir.  $\text{CaGa}_2\text{Se}_4$  və  $\text{CaIn}_2\text{Se}_4$  birləşmələrinin elektrik keçiriciliyi temperaturdan asılı olaraq, yarımkeçirici maddələrdə olduğu kimi artır. Burada da  $\text{CaIn}_2\text{Se}_4$ -ün elektrik keçiriciliyi  $\text{CaGa}_2\text{Se}_4$ -ün elektrik keçiriciliyindən daha böyükdür. Buna səbəb indiumun ion radiusunun qalliumun ion radiusundan çox olmasıdır ki, bu da elektronların keçiricilikdə iştirak etməsini asanlaşdırır. 295 K temperaturda  $\text{CaGa}_2\text{Se}_4$  və  $\text{CaIn}_2\text{Se}_4$  birləşmələri üçün elektrik keçiriciliyin qiyməti uyğun olaraq  $2 \cdot 10^{-8}$  və  $5 \cdot 10^{-7} \text{ Om}^{-1} \cdot \text{sm}^{-1}$ , 360K temperaturda isə  $1,98 \cdot 10^{-7}$  və  $8 \cdot 10^{-6} \text{ Om}^{-1} \cdot \text{sm}^{-1}$  qiymət alır.

$\text{CaIn}_2\text{S}_4$ ,  $\text{CaIn}_2\text{Se}_4$  və  $\text{CaIn}_2\text{Te}_4$  birləşmələrinin termo-e.h.q-nin temperaturdan asılılığı öyrənilmiş və müəyyən edilmişdir ki, temperaturun artması nəticəsində termo-e.h.q-si cüzi artır, temperaturun sonrakı artımında isə sürətlə azalmağa başlayır. Termo-e.h.q-nin 295 K temperaturda  $\text{CaIn}_2\text{S}_4$ ,  $\text{CaIn}_2\text{Se}_4$  və  $\text{CaIn}_2\text{Te}_4$  birləşmələri üçün uyğun olaraq 575; 545; 510 mkV/dər, 360 K-də isə 490; 442; 430 mkV/dər qiymət alır.

$\text{CaGa}_2\text{S}_4$ ,  $\text{CaGa}_2\text{Se}_4$ ,  $\text{CaGa}_2\text{Te}_4$ - birləşmələrinin cərəyan şiddətinin temperaturdan asılılığı 295 K-360 K temperatur intervalında öyrənilmişdir. Bu birləşmələrin 295 K temperaturdakı cərəyan şiddətinin qiyməti uyğun olaraq  $4,710^{-9} \text{ A}$ ,  $6 \cdot 10^{-8} \text{ A}$ ,  $2,85 \cdot 10^{-7} \text{ A}$  artır.

295 K temperaturda  $\text{CaIn}_2\text{S}_4$ ,  $\text{CaIn}_2\text{Se}_4$  və  $\text{CaIn}_2\text{Te}_4$  birləşmələrinin xüsusi müqavimətləri uyğun olaraq  $1,2 \cdot 10^9$ ;  $4 \cdot 10^7$ ;  $4 \cdot 10^6$  Om·sm, 360 K temperaturda isə  $5,8 \cdot 10^7$ ;  $1,8 \cdot 10^6$ ;  $2,5 \cdot 10^5$  Om·sm təşkil edir.

$\text{CaGa}_4\text{Se}_7$ ,  $\text{CaIn}_4\text{Se}_7$  polikristal nümunələrinin elektrik keçiriciliyi uyğun olaraq  $9 \cdot 10^{-8}$   $\text{Om}^{-1} \cdot \text{sm}^{-1}$ ,  $8,3 \cdot 10^{-8}$   $\text{Om}^{-1} \cdot \text{sm}^{-1}$ , müəyyən edilmiş və temperaturun artması ilə isə keçiricilik monoton azalır. 400 K temperatordan yuxarıda isə hər iki kristalda elektrik keçiriciliyi dəyişmir. Bu birləşmələr üçün qadağan olunmuş zolağın enerjisi hesablanmış, uyğun olaraq 1.84 eV və 1.38 eV müəyyən edilmişdir.  $\text{CaGa}_4\text{Se}_7$  və  $\text{CaIn}_4\text{Se}_7$  birləşmələrinin eyni zamanda Volt-Amper xarakteristikaları da ölçülmüşdür.

Ölçmə zamanı müəyyən edilmişdir ki, bu birləşmələrdə gərginliklə cərəyan şiddəti arasındakı asılılıq xətti xarakter daşıyır. Hər iki nümunə p - tip yarımkəçiricidirlər.

$\text{CaGa}_2\text{Te}_4$  və  $\text{CaIn}_2\text{Te}_4$  birləşmələrinin Volt-Amper xarakteristikası öyrənilmiş və müəyyən edilmişdir ki, hər iki birləşmədə gərginliyin cərəyan şiddəti ilə asılılığı xətti xarakter daşıyır. 673 K temperatordan yüksəkdə isə kənara çıxma baş verir, yəni xətdə əyilmə başlayır. Aşqarların tam ionlaşdığı temperaturalarda elektrik keçiriciliyinin temperatordan asılılığı yürüklüyün temperatordan asılılığını müəyyən edir. Yüksək temperaturda donor aşqar tamamilə ionlaşmışdır və keçirici zonadakı elektronların konsentrasiyası temperatordan asılı olmur.

$\text{CaGa}_2\text{Te}_4$  və  $\text{CaIn}_2\text{Te}_4$  birləşmələrinin bəzi elektrofiziki xassələri - elektrik keçiriciliyinin, termoelektrik hərəkət qüvvəsinin, xüsusi müqavimətinin və cərəyan şiddətinin temperatordan asılılığı öyrənilmişdir.

$\text{CaGa}_2\text{Te}_4$  və  $\text{CaIn}_2\text{Te}_4$  birləşmələrinin elektrik keçiriciliyinin temperatordan asılılığı yarımkəçirici xarakterlidir. Hər iki birləşmədə qadağan olunmuş zonanın enini  $\Delta E_0$  məxsusi keçiricilik xəttinə çəkilmiş meyl bucağının tangensinə görə hesablanmış qiymət uyğun olaraq 1,24 eV və 1,10 eV-dur. 150-230 K temperaturda elektrik keçiriciliyinin qiyməti eksponensial artır, yüksək temperaturda isə elektrik keçiriciliyinin qiyməti zəif artır.

$\text{CaGa}_2\text{Te}_4$  və  $\text{CaIn}_2\text{Te}_4$  birləşmələrinin 293 K temperaturda elektrik keçiriciliyin qiyməti uyğun olaraq  $3,71 \cdot 10^{-8}$   $\text{Om}^{-1} \cdot \text{sm}^{-1}$ ,  $5,02 \cdot 10^{-7}$   $\text{Om}^{-1} \cdot \text{sm}^{-1}$ , 360 K temperaturda isə uyğun olaraq  $6,25 \cdot 10^{-7}$   $\text{Om}^{-1} \cdot \text{sm}^{-1}$ ,  $2,38 \cdot 10^{-8}$   $\text{Om}^{-1} \cdot \text{sm}^{-1}$ -dir.

293 K temperaturda bu birləşmələr üçün xüsusi müqavimətin qiyməti uyğun olaraq  $\rho=3,14 \cdot 10^5$  Om·sm,  $\rho=8 \cdot 10^6$  Om·sm və 360 K temperaturda isə  $\rho=4,2 \cdot 10^5$  Om·sm,  $\rho=7,4 \cdot 10^5$  Om·sm-dir.

$\text{CaGa}_2\text{Te}_4$  və  $\text{CaIn}_2\text{Te}_4$  birləşmələrinin termo-e.h.q ( $\alpha$ ) tempe-

raturdan asılılığı öyrənilmişdir. Temperatur artdıqca termo-e.h.q-də artır və 293 K temperaturda  $\text{CaGa}_2\text{Te}_4$  və  $\text{CaIn}_2\text{Te}_4$ -ün termo-e.h.q uyğun olaraq  $\alpha=650$  mkV/dər,  $\alpha=760$  mkV/dər, 360 K temperaturda isə bu birləşmələrin termo-e.h.q. uyğun olaraq 825 mkV/dər, 725 mkV/dər. olmuşdur.

### 3. $(\text{InSe})_{1-x}(\text{CaSe})_x$ ( $x=0,015; 0,025; 0,035$ ;) bərk məhlulunun elektrofiziki xassələri

$(\text{InSe})_{1-x}(\text{CaSe})_x$   $x=0.015, 0.025, 0.035$  tərkibli nümunələr ikiqat kvarts ampulada 5 qr miqdarında 1250 K temperaturda iki saat müddətində sintez edilmiş və yavaş soyudularaq, homogenləşmək üçün 850 K temperaturda 200 saat müddətində termiki emal edilmişdir.

Alınmış birləşmələrin ölçüləri  $1,5 \times 0,5 \times 0,8 \text{ sm}^3$  düzbucaqlı paralelepiped şəklində almaz disk vasitəsilə nümunələrə bölünmüşdür. Tədqiqatda işıq şüasının c oxu boyunca kristalın həyəcanlandırılması şəraiti qəbul olunmuşdur. InSe əsasında alınmış bərk məhlulların termoelektrik hərəkət qüvvəsi 293-370 K temperatur intervalında öyrənilmişdir. Gərginlik elektronlarının 293-330 K intervalında səpilməsi haqqında fərziyyəimizi elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığına əsasən təsdiq etmək olar.

$(\text{InSe})_{1-x}(\text{CaSe})_x$  bərk məhlul ərintilərinin elektrik keçiriciliyinin ( $\sigma$ ), termo-e.h.q.-nin ( $\alpha$ ), xüsusi müqavimətinin ( $\rho$ ) və cərəyan şiddətinin temperatur asılılığı öyrənilmişdir.

InSe birləşməsinə 1,5; 2,5; 3,5 mol % CaSe əlavə edilmiş və miqdarın artmasından asılı olaraq onun keçiriciliyinin azalması müşahidə edilmişdir.

InSe birləşməsinin tərkibində CaSe əlavə etdikdə, kalsium selenid kristallarının indium selenidin layları arasına dolur, yəni deffektlərin dolması baş verir ki, nəticədə elektrik keçiriciliyi azalır.

Öyrənilmiş ərintilərin bərk məhlul sahələrində temperatur artdıqca elektrik keçiriciliyi artır, yəni bu ərintilər yarımkeçirici xassə daşıyırlar.

Elektrik keçiriciliyinin və Höll cərəyanının ölçülməsindən müəyyən olunmuşdur ki,  $(\text{CaSe})_x(\text{InSe})_{1-x}$  bərk məhlul ərintiləri p-tip yarımkeçiricilərdir. 353 K temperaturda və standart şəraitdə ərintilərin elektrik keçiriciliyinin qiyməti uyğun olaraq  $\sigma=6,24 \cdot 10^{-5} \text{ Om}^{-1} \text{ sm}^{-1}$ ,  $2,85 \cdot 10^{-5}$  və  $\sigma=5,33 \cdot 10^{-6} \text{ Om}^{-1} \text{ sm}^{-1}$ , elektronların yürüklüyü isə  $1,4 \text{ sm}^2/\text{V.san}$ . təşkil edir.

350-450 K temperatur intervalında elektronların yürüklüyünün temperatur asılılığı  $\mu=CT^{-P}$  düsturları ilə ifadə olunur. Burada C (sabit vuruq)  $P=0,65-0,7$  intervalında qiymət alan sabit kəmiyyətdir. 350 K qiymətində isə məxsusi keçiricilik özünü göstərir və yüksək temperaturalarda elektrik keçiriciliyinin tipinin dəyişməsi müşahidə olunur.

$(\text{CaSe})_x(\text{InSe})_{1-x}$  bərk məhlul ərintiləri (1,5; 2,5; 3,5 mol % CaSe)

termoelektrik hərəkət qüvvəsinin temperaturdan asılılığı öyrənilmişdir. İndium selenid əsasında bu nümunələrin (1,5; 2,5; 3,5 mol % CaSe) standart şəraitdəki (298K) termoelektrik hərəkət qüvvəsinin qiyməti uyğun olaraq  $\alpha=450$  mkV/dər,  $\alpha=470$  mkV/dər və  $\alpha=490$  mkV/dər təşkil edir.

Həmin ərintilərin 350K temperaturda isə termo-e.h.q-nin qiymətləri uyğun olaraq aşağıdakı kimidir:  $\alpha=400$  mkV/dər,  $\alpha=430$  mkV/dər və  $\alpha=450$  mkV/dər. 320-350 K intervalında termo-e.h.q. ( $\alpha$ ) asılılığı mürəkkəbdir, lakin temperaturun artması ilə azalma meyli həmişə saxlanılır. Standart şəraitdə indium selenid əsasında əmələ gələn bərk məhlul nümunələri üçün uyğun gələn cərəyan şiddətinin qiyməti (1,5; 2,5; 3,5 mol % CaSe) nümunələr üçün uyğun olaraq  $I=1,28 \cdot 10^{-5}$  A,  $I=8,0 \cdot 10^{-6}$  və  $I=6,5 \cdot 10^{-6}$ , 350 K-də isə cərəyan şiddəti  $I=1,6 \cdot 10^{-4}$  A,  $I=1,2 \cdot 10^{-4}$  və  $I=0,4 \cdot 10^{-4}$  olmuşdur.

Xüsusi müqavimətin temperatur asılılığı (1,5; 2,5; 3,5 mol % CaSe) tərkibli nümunələrin yarımqeçirici xassəyə malik olmasını göstərir və həmin ərintilərə uyğun gələn xüsusi müqavimətin qiyməti uyğun olaraq  $17,9 \cdot 10^4$  Om·sm,  $24,3 \cdot 10^4$  Om·sm,  $27,2 \cdot 10^4$  Om·sm-dur.

**4. Analoji olaraq  $(\text{InTe})_{1-x}(\text{CaTe})_x$  ( $x=0,015; 0,025; 0,035$ )** sistemində alınan bərk məhlul ərintilərinin elektrik keçiriciliyinin ( $\sigma$ ) və termo-e.h.q.-nin ( $\alpha$ ), xüsusi müqavimətinin ( $\rho$ ) və cərəyan şiddətinin temperatur asılılığı öyrənilmişdir.

$(\text{CaTe})_x(\text{InTe})_{1-x}$  ( $x=0,015; 0,025; 0,035$ ) ərintilərinin 295 K və 360 K temperatur intervalında nümunələrinin elektrik keçiriciliyi ölçülmüşdür. 295 K temperaturda indium tellur əsasında (1,5; 2,5; 3,5 mol % CaTe) nümunələrin elektrik keçiriciliyi uyğun olaraq  $\sigma=1,32 \cdot 10^{-2}$  Om<sup>-1</sup>·sm<sup>-1</sup>,  $\sigma=1,18 \cdot 10^{-2}$  Om<sup>-1</sup>·sm<sup>-1</sup> və  $\sigma=7,36 \cdot 10^{-3}$  Om<sup>-1</sup>·sm<sup>-1</sup>-dir, 350 K-də isə  $\sigma=4,23 \cdot 10^{-2}$ ,  $\sigma=6,78 \cdot 10^{-2}$ ,  $\sigma=7,88 \cdot 10^{-2}$  Om<sup>-1</sup>·sm<sup>-1</sup> olmuşdur.  $(\text{InTe})_{1-x}(\text{CaTe})_x$  ( $x=0,015; 2-0,025; 3-0,035$  mol % CaTe) ərintilərinin termoelektrik hərəkət qüvvəsinin temperaturdan asılılığı öyrənilmişdir.

$(\text{CaTe})_x(\text{InTe})_{1-x}$  ( $x=0,015; 0,025; 0,035$ ) ərintilərin termo-e.h.q-nin temperaturdan asılılığı da bərk məhlul ərintilərinin yarımqeçirici olduğunu göstərir.

295 K temperaturda 1,5 mol % CaTe tərkibli ərintinin t.e.h.q  $\alpha=82,5$  mkV/dər, 2,5 mol % CaTe tərkibli ərintinin t.e.h.q –i  $\alpha=86,4$  mkV/dər və 3,5 mol % CaTe tərkibli ərintinin t.e.h.q –  $\alpha=93,7$  mkV/dər qiymətləri almışdır. Qeyd edilən tərkibli ərintilərin temperatur asılılığı zamanı müəyyən edilmişdir ki, xüsusi müqavimət temperaturun artması ilə azalır.

## 5. $\text{CaInSe}_2$ , $\text{CaGaSe}_2$ , $\text{CaInTe}_2$ və $\text{CaGaTe}_2$ birləşmələrinin fotoelektrik xassələri

Birləşmələrin fotokeçiriciliyinin tədqiqi həyəcanlandırıcı monoxromatik şüanın intensivliyinin modulyasiya olunması şəraitində aparılmışdır. Bu zaman istifadə olunan 85 Hs modulyasiya tezliyinə uyğun işıq şüasının impulsunun davam etmə müddəti stasionar cərəyanın generasiya və rekombinasiya müddətindən çox böyük olmuşdur.

$\text{CaGaSe}_2(\text{Te}_2)$  və  $\text{CaInSe}_2(\text{Te}_2)$  birləşmələrinin Lüks-Amper asılılığı öyrənilmişdir.  $\text{CaGaSe}_2(\text{Te}_2)$  və  $\text{CaInSe}_2(\text{Te}_2)$  birləşmələrində tarazlıqda olmayan cərəyan daşıyıcılarının yaşama müddəti "ışıq zərbəsi" zamanı fotocərəyanın kinetikasının öyrənilməsi və işığın, impulslar vasitəsilə həyəcanlanması yolu ilə təyin olunmuşdur. Rekombinasiya mexanizmləri isə  $\text{CaGaSe}_2$ ,  $\text{CaGaTe}_2$  və  $\text{CaInSe}_2$ ,  $\text{CaInTe}_2$  birləşmələrinin Lüks-Amper xarakteristikalarının (LAX) tədqiqi zamanı müəyyən edilmişdir. Fotokeçiriciliyin relaksasiyaları yavaş və sürətli rekombinasiya mərkəzləri vasitəsilə baş verir.

$\text{CaGaSe}_2$  və  $\text{CaGaTe}_2$  kristallarının 140 K- 400 K temperatur intervalında fotocərəyanın temperatur asılılığından məlum olmuşdur ki, kristal 0,8—1, 55 eV enerji intervalında ftohəssaslığa malikdir. Kristalın temperaturu 300-dən 140K-dək azaldıqda spektrin maksimumunun intensivliyi  $\approx 3$  dəfə artmışdır.

Spektrlərin uzundalğalı oblastının eksponensial qanuna tabe olmasını nəzərə alaraq Moss kriteriyasına uyğun olaraq kristalın qadağan olunmuş zonasının eni üçün 140 K və 300 K temperaturalara uyğun 1, 96 və 1,61 eV qiymətləri alınır.

Buradan qadağan olunmuş zonanın eninin termiki əmsalı üçün  $\delta E_d/\delta T = -3,9 \cdot 10^{-4}$  eV/K qiyməti tapılmış olur.

Otaq temperaturundan aşağıda  $\text{CaGaSe}_2$  və  $\text{CaInSe}_2$  kristallarının elektrik keçiriciliyi istilik hesabına 196 K-dən yuxarıda tamamilə ionlaşan dayaz donor səviyyəsinin elektronları ilə şərtlənir.

Nəzərə alsaq ki, qeyri - tarazlıqda olan yükdaşıyıcıların yaşama müddəti  $\text{CaGaSe}_2$  və  $\text{CaInSe}_2$  kristallarında uyğun olaraq  $3.5 \cdot 10^{-7}$  -  $8 \cdot 10^{-7}$  saniyə təşkil edir, deməli bu kristallar əsasında işləyə bilən yüksək tezlikli, fotoelektrik çeviriciləri hazırlamaq mümkündür.

## 6. $\text{CaGa}_2\text{Se}_4(\text{Te}_4)$ və $\text{CaIn}_2\text{Se}_4(\text{Te}_4)$ birləşmələrinin optiki xassələri

$\text{CaGa}_2\text{Se}_4$  birləşməsinin Lüks-Amper xarakteristikasını və fotokeçiriciliyinin tədqiq etmək üçün MBII-12y monoxromatorundan istifadə edilmiş, işıq diapazonu 2000-dən 25000 nm olmuşdur. Işıqlandırıcı kimi civəli lampadan və közərmə lampasından istifadə edilmişdir.

CaGa<sub>2</sub>Se<sub>4</sub> birləşməsinin monokristalının 100K və 300K temperaturda fotokeçiriciliyi öyrənilmişdir. CaGa<sub>2</sub>Se<sub>4</sub> birləşməsinin Lüks-Amper xarakteristikası da öyrənilmişdir. Kiçik intensivlikli işıqda Fermi səviyyəsinin rekombinasiyası yalnız bir tiplidir, elektronların və deşiklərin eyni vaxtda tutulması kəşimədə baş verir. İkinci tip səviyyə daha dərinədə olur ki, onu da səviyyənin rekombinasiyası hesab etmək olar.

Spektrin 300-1000 nm dalğa uzunluğu intervalında otaq temperaturunda CaGa<sub>2</sub>Se<sub>4</sub> və CaGa<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> birləşmələrinin fotokeçiriciliyi öyrənilmişdir. Aparılan tədqiqatlar nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, fotokeçiricilik maddənin təbiətindən və eyni zamanda onun alınma texnologiyasından asılıdır.

CaGa<sub>2</sub>Se<sub>4</sub> birləşməsinin dalğa uzunluğu  $\lambda=400-527\text{nm}$ -dək artdıqda, fotokeçiriciliyin qiyməti  $20 \cdot 10^{-10}$  A-dən  $80 \cdot 10^{-10}$  A -ə dək artır. CaGa<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> birləşməsinin də fotokeçiriciliyinin qiyməti də CaGa<sub>2</sub>Se<sub>4</sub> birləşməsinin fotokeçiriciliyinin qiymətinə yaxındır. Ancaq CaGa<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>-ün fotokeçiriciliyinin maksimal qiyməti  $\lambda=850$  nm dalğa uzunluğunda baş verir.

CaIn<sub>2</sub>Se<sub>4</sub> birləşməsi üçün fotocərəyanın maksimal qiyməti  $\lambda=600$  nm, CaIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> birləşməsi üçün isə  $\lambda=1070$  nm dalğa uzunluğunda baş verir. CaInSe<sub>2</sub> və CaIn<sub>2</sub>Se<sub>4</sub> birləşmələrinin qadağan olunmuş zolağın eni hesablanmış və uyğun olaraq 1,57 və 1,71 eV olmuşdur.

Qeyd etmək lazımdır ki, CaGa<sub>2</sub>Se<sub>4</sub> və CaGa<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> birləşmələri yüksək ftohəssas xassəli olduqları üçün onlar fotorezistorların hazırlanmasında istifadə oluna bilərlər.

## **7. (In<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>)<sub>1-x</sub>(CaSe)<sub>x</sub> və (CaIn<sub>2</sub>Se<sub>4</sub>)<sub>1-x</sub>(CaSe)<sub>x</sub> (x=0.015;0.025;0.035) bərk məhlul ərintilərinin fotoelektrik xassələri**

(In<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>)<sub>1-x</sub>(CaSe)<sub>x</sub> və (CaIn<sub>2</sub>Se<sub>4</sub>)<sub>1-x</sub>(CaSe)<sub>x</sub> (x=0.015;0.025;0.035) bərk məhlul nümunələrinin ftohəssaslığının spektral paylanması öyrənilmişdir.

(In<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>)<sub>1-x</sub>(CaSe)<sub>x</sub> sistemində 2,5 mol % CaSe tərkibli ərintidə maksimal fotocərəyan 950 nm dalğa uzunluğunda baş verir. (In<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>)<sub>1-x</sub>(CaSe)<sub>x</sub> (x=0.015;0.025;0.035) yarımkeçirici bərk məhlulun qadağan olunmuş zolağının eni uyğun olaraq 1.68 eV, 1,74 eV və 1,77 eV qiymət alır.

(CaIn<sub>2</sub>Se<sub>4</sub>)<sub>1-x</sub>(CaSe)<sub>x</sub> sisteminin 1,5 % CaSe olan nümunəsinin maksimal həssaslığı 580 nm; spektral həssaslıq sahəsi isə 600-650 nm-dir. Qaranlıqdakı müqavimətin işıqdakı müqavimətə nisbəti 100 lk-də  $R_{qram}/R_{i\dot{s}}=2,2 \cdot 10^2$ ; 1500 lk-də isə  $R_{qram}/R_{i\dot{s}}=4 \cdot 10^4$ , ftohəssaslığı isə uyğun olaraq 18,2 mkA/lmV (293 K, 1500 lk-də) və 14,8 mkA/lmV (293K, 12,5 lk-də).

(CaIn<sub>2</sub>Se<sub>4</sub>)<sub>1-x</sub> (CaSe)<sub>x</sub> ərintilərində CaSe-nin mol % artdıqca ftohəs-



sashğı azalır.  $(\text{CaIn}_2\text{Se}_4)_{1-x}\text{CaSe}_x$  ərintilərində 1.5-3.5 mol % CaSe ərintilərinə uyğun gələn dalğa uzunluqları 650-750 nm sahədə dəyişmiş, nümunədən keçən maksimal fotocərəyanın qiyməti isə uyğun olaraq  $2.98 \cdot 10^{-8}$  A,  $2.82 \cdot 10^{-8}$  A və  $2.75 \cdot 10^{-8}$  A olmuşdur.

### **8. $(\text{CaIn}_2\text{Te}_4)_{1-x}(\text{CaTe})_x$ ( $x=0.015;0.025;0.035$ ) bərk məhlul ərintilərinin 293 K temperaturda fotoelektrik xassələri**

$\text{CaIn}_2\text{Te}_4$  birləşməsi əsasında alınmış 1,5 ; 2.5 və 3.5 mol % CaTe bərk məhlul ərintilərinin 293 K temperaturda fotocərəyanın dalğa uzunluğundan asılılığı öyrənilmişdir. Ölçmələr 100 V işçi gərginlikdə və  $5.9 \cdot 10^{-3}$  lm işıq selində aparılmışdır.

Tərkibində 1.5 mol %, 2.5 mol %, 3.5 mol % CaTe olan nümunələrin uyğun olaraq maksimal fəthəssashğı 950 , 992, 1040 nm, spektral həssashlıq sahəsi isə 800-1100 nm olmuşdur. Qaranlıqdakı müqavimətin işıqdakı müqavimətə nisbəti uyğun olaraq (100 lk-də)  $R_q/R_i=991$  ;  $R_q/R_i=977$  və  $R_q/R_i=972$  olmuşdur.

### **9. $\text{CaGaSe}_2$ , $\text{CaGa}_2\text{Se}_4$ , $\text{CaGaTe}_2$ və $\text{CaGa}_2\text{Te}_4$ kristallarında fotolüminessensiya hadisəsi**

Kalsium və qallium yarımqrupu elementlərinin xalkogenidləri əsasında alınmış üçlü  $\text{CaGa}(\text{In}) X_2$  və  $\text{CaGa}_2(\text{In}_2)X_4$  müxtəlif aktivatorların təsirinədən yüksək lüminessensiya xassələri göstərilir. Bizim tərəfimizdən  $\text{CaGa}(\text{In})X_2$  və  $\text{CaGa}_2(\text{In}_2)X_4$  tərkibli birləşmələrin lüminessensiya xassələri tədqiq edilmişdir.

$\text{CaGaSe}_2$  və  $\text{CaGa}_2\text{Se}_4$  birləşmələrinin 300 K temperaturda fotolüminessensiyasının spektral asılılığı öyrənilmişdir. Kristalın 0,8 və 0,26 Vt orta gücə malik lazer şüası ilə həyəcanlandırıldığı halda şüalanma spektrləri yaranır. Yüksək həyəcanlandırma halında  $\text{CaGaSe}_2$  birləşməsinin şüalanma spektrinin uzun dalğa kənarında maksimumu 1,065 eV-də yerləşən eksiton piki müşahidə olunur. Digər şüalanma zonası 1,268 eV ətrafında yerləşir.

$\text{CaGa}_2\text{Se}_4$  birləşməsinin 100 və 300K temperaturlarda fotolüminessensiyasının spektral asılılığı öyrənilmişdir.  $\text{CaGa}_2\text{Se}_4$  kristalı üçün sahəsi  $1,2 \text{ sm}^2$  və qalınlığı 80 mkm olan təbəqənin müqaviməti  $10^{12}$  Om tərtibində olmuşdur. İntensivliyi 180 Lk olan ağ işıqla işıqlandırıldıqda müqavimət  $10^7$  Om-a qədər azalmışdır.

Orta gücü 1,05 Vt və 293 K temperaturdakı CdSe (3),  $\text{CaGa}_2\text{Te}_4$  (2),  $\text{CaGaTe}_2$  birləşmələrinin nazik təbəqəsinin fotolüminessensiya spektrinin maksimumları əsasən  $I=1; 5; 8\text{eV}$  enerjilərində yerləşən şüalanma zolaqları

ilə formalaşmışdır. CdSe birləşməsinin fotolüminessensiyasının şüalanırma diapazonu  $\text{CaGaTe}_2$  və  $\text{CaGa}_2\text{Te}_4$  birləşmələrinə nisbətən daha genişdir, müqayisə üçün verilmiş) birləşməsinin fotolüminessensiyasının şüalandırma diapazonu  $\text{CaGaTe}_2$  və  $\text{CaGa}_2\text{Te}_4$  birləşmələrindən daha genişdir, ancaq aldığımız birləşmələrin şüalanmanın uzun dalğa kənarında eksitonların maksimum piki CdSe-dən yüksəkdir.

Təcrübi olaraq müəyyən edilmişdir ki,  $\text{CaGaSe}_2$ ,  $\text{CaGa}_2\text{Se}_4$  birləşmələrinin lüminessensiyası  $\text{CaGaTe}_2$  və  $\text{CaGa}_2\text{Te}_4$  birləşmələrinə nisbətən yüksəkdir. Bu birləşmələrə cüzi miqdarda (hər 5q. nümunəyə)  $0.02-0.04 \text{ q Nd}^{3+}$ ,  $\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Ce}^{3+}$  əlavə etdikdə ərintilərin lüminessensiyası  $77-360 \text{ K}$  temperaturda  $5-8$  dəfə artır. Qeyd edilən lüminessensiya xassəli materiallar işıq lüminoforların hazırlanmasında istifadə oluna bilərlər.

## ƏSAS NƏTİCƏLƏR

1. Fiziki-kimyəvi analizin kompleks metodları (DTA, MQA, RFA və mikrobərəkliyin və sıxlığın təyini) vasitəsilə  $\text{CaSe-Ga-Se}$ ,  $\text{CaTe-Ga-Te}$ ,  $\text{Ca-In-Se}$  və  $\text{Ca-In-Te}$  üçlü sistemlərinin daxili kəsiklərində baş verən kimyəvi qarşılıqlı təsirin xarakteri, faza əmələgəlmə tədqiq edilmiş və onların faza diaqramları qurulmuşdur. Hər dörd üçlü sistemin likvidus səthinin proyeksiyası qurulmaqla, yeni nəticələr alınmışdır.

2.  $\text{CaSe-Ga-Se}$  kvaziüçlü sisteminin doqquz daxili  $\text{GaSe-CaSe}$ ,  $\text{Ga}_2\text{Se}_3\text{-CaSe}$ ,  $\text{GaSe-CaGa}_2\text{Se}_4$ ,  $\text{Se-CaGa}_2\text{Se}_4$ ,  $\text{GaSe-CaIn}_4\text{Se}_7$ ,  $\text{Se-CaGa}_4\text{Se}_7$ ,  $\text{CaGaSe}_2\text{-CaGa}_2\text{Se}_4$ ,  $\text{Ga-CaGaSe}_2$ ,  $\text{Ga-CaSe}$  kəsikləri tədqiq edilmiş və kvaziüçlü sisteminin likvidus səthinin proyeksiyası qurulmuşdur. Sistemdə 10 fazanın kristallaşma sahələri öyrənilməklə, mono- və nonvariant tarazlıq nöqtələrinin koordinatları və temperaturları müəyyən edilmişdir. Üçlü sistem daxilində üç  $\text{CaGaSe}_2$ ,  $\text{CaGa}_2\text{Se}_4$  və  $\text{CaGa}_4\text{Se}_7$  tərkibli üçlü birləşmələrin əmələ gəldiyi təsdiq edilmişdir.

3.  $\text{CaTe-Ga-Te}$  kvaziüçlü sisteminin aşağıdakı kəsiklərində(10):  $\text{GaTe-CaTe}$ ,  $\text{Ga}_2\text{Te}_3\text{-CaTe}$ ,  $\text{GaTe-CaGa}_2\text{Te}_4$ ,  $\text{Te-CaGa}_2\text{Te}_4$ ,  $\text{CaGaTe}_2\text{-CaGa}_2\text{Te}_4$ ,  $\text{GaTe-CaGa}_4\text{Te}_7$ ,  $\text{Se-CaGa}_4\text{Te}_7$ ,  $\text{Ga-CaTe}$ ,  $\text{Ga-CaGaTe}_2$ ,  $\text{CaGa}_2\text{Te}_4\text{-Ca}_2\text{Te}_3$  kimyəvi qarşılıqlı təsirin xarakteri tədqiq edilmiş və onların faza diaqramları qurulmuşdur. Tədqiq olunmuş bu kəsiklər əsasında  $\text{CaTe-Ga-Te}$  kvaziüçlü sisteminin likvidus səthinin proyeksiyası qurulmuşdur. Kvaziüçlü sistemdə baş verən peritektik çevrilmələr, mono- və nonvariant tarazlıq reaksiyaları öyrənilməklə, fazalar sərhədləri müəyyən edilmişdir.

4.  $\text{Ca-In-Se}$  üçlü sistemi 8 kvazibinar kəsiklər hesabına 9 tabeli

üçbucaqlara Ca-CaSe-Ca<sub>3</sub>In, CaSe-Ca<sub>3</sub>In-CaIn, CaSe-CaIn-CaIn<sub>2</sub>, CaSe-CaIn<sub>2</sub>-In, In-CaSe-InSe, CaSe-InSe-CaIn<sub>2</sub>Se<sub>4</sub>, InSe-CaIn<sub>2</sub>Se<sub>4</sub>-In<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>, CaSe-CaIn<sub>2</sub>Se<sub>4</sub>-Se və In<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>-CaIn<sub>2</sub>Se<sub>4</sub>-Se bölünmüşdür. Sistemdə peritektik çevrilmələrlə bağlı olaraq, Ca-In-Se üçbucağında qarşılıqlı təsirin xarakteri tədqiq edilmişdir. Tədqiq edilmiş kəşidlərdən alınmış təcrübə nəticələrinə və ikili sistemlər haqqında ədəbiyyat məlumatlarına əsasən Ca-In-Se üçlü sisteminin likvidus səthinin proyeksiyası qurulmuşdur.

5. Ca-In-Te üçlü sistemində də selenidli sistemdə olduğu kimi 8 kvazibinar kəşiklər CaTe-Ca<sub>3</sub>In, CaTe-CaIn, CaTe-CaIn<sub>2</sub>, CaTe-InTe, In-CaTe, CaTe-In<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>, CaIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>-InTe, Se-CaIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> tədqiq edilmiş və onların faza diaqramları qurulmuşdur. Selenidli sistemdən fərqli olaraq, CaTe-In<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> sistemində yalnız bir CaIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> tərkibli bir birləşmənin əmələ gəldiyi müəyyən edilmişdir. CaSe-In<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> sistemində isə CaIn<sub>2</sub>Se<sub>4</sub> və CaIn<sub>4</sub>Se<sub>7</sub> tərkibli birləşmələrin olduğu aşkar edilmişdir. Səkkiz daxili kəşiklərin tədqiqi nəticəsində Ca-In-Te üçlü sisteminin likvidus səthinin proyeksiyası qurulmuşdur.

6. İlk dəfə olaraq, tədqiq edilən CaSe-Ga-Se, CaTe-Ga-Te, Ca-In-Se və Ca-In-Te sistemlərdə alınmış üçlü birləşmələrin sintez texnologiyası və monokristallarının alınmasının təcrübə yolla alınma şəraiti öyrənilmişdir. Qazdaşıyıcı kimyəvi reaksiya vasitəsilə optiki ölçmələr və kristalloqrafik tədqiqatlar üçün yararlı üçlü birləşmələrin CaGa<sub>2</sub>Se<sub>4</sub>(Te<sub>4</sub>), CaIn<sub>2</sub>Se<sub>4</sub>(Te<sub>4</sub>) monokristalları yetişdirilmişdir; (GaSe)<sub>1-x</sub>(CaSe)<sub>x</sub>, (GaTe)<sub>1-x</sub>(CaTe)<sub>x</sub>, (InSe)<sub>1-x</sub>(CaSe)<sub>x</sub> və (InTe)<sub>1-x</sub>(CaTe)<sub>x</sub> bərk məhlul ərintilərinin monokristalları Bricman-Stokbarger metodu ilə yetişdirilmiş, qəfəs parametrləri hesablanmış və fiziki-kimyəvi xassələri öyrənilmişdir. CaInSe<sub>2</sub> birləşməsinin 520-560°C temperatur intervalında α - CaInSe<sub>2</sub> ↔ β- CaInSe<sub>2</sub> faza keçidinin olduğu müəyyən edilmişdir.

7. Rentgenoqrafik analiz metodunun nəticələrinə əsasən CaSe-Ga-Se (Te) və Ca-In-Se (Te) sistemlərində alınmış birləşmələrin kristal quruluşlarının tipləri müəyyən edilmiş və onların qəfəs parametrləri hesablanmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, CaGa<sub>2</sub>Se<sub>4</sub>, CaGa<sub>4</sub>Se<sub>7</sub>, CaGa<sub>4</sub>Te<sub>7</sub>, CaInSe<sub>2</sub>, CaIn<sub>4</sub>Se<sub>7</sub>, CaIn<sub>2</sub>Se<sub>4</sub>, CaInTe<sub>2</sub> birləşmələri rombik sinqoniyada, CaGaSe<sub>2</sub>, CaGaTe<sub>2</sub>, CaGa<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> birləşmələrini tetraqonal və CaIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> birləşməsi isə heksaqonal sinqoniyada kristallaşır.

8. Ca-Ga-Se(Te) və Ca-In-Se(Te) sistemlərində alınmış üçlü birləşmələrin elektrofiziki xassələri tədqiq edilmişdir.

- CaGaSe<sub>2</sub>, CaGaTe<sub>2</sub>, CaInSe<sub>2</sub> və CaInTe<sub>2</sub> birləşmələrin elektrik keçiriciliyinin, termo-e.h.q-nin və xüsusi müqavimətinin temperaturdan asılılığı öyrənilmiş və müəyyən edilmişdir ki, alınmış birləşmələrin hamısı

yüksək müqavimətli yarımkeçirici xassəli materiallardır. Yuxarıda göstərilən birləşmələrin elektrik keçiriciliyi  $S \rightarrow Se \rightarrow Te$  sırası istiqamətdə artır, xüsusi müqaviməti və qadağan olunmuş zolağın eni ( $\Delta E$ ) uyğun olaraq azaldığı müəyyən edilmişdir.

- $CaGa_2Se_4$ ,  $CaGa_2Te_4$ ,  $CaIn_2Se_4$  və  $CaIn_2Te_4$  birləşmələrinin elektrik keçiriciliyinin, termo-e.h.q-nin və xüsusi müqavimətinin temperaturdan asılılığı öyrənilmişdir. Qallium tərkibli birləşmələrin elektrik keçiriciliyi, indium tərkibli birləşmələrin elektrik keçiriciliyindən xeyli kiçik olduğu müəyyən edilmişdir.

Tədqiqatlar nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, istər  $Ga \rightarrow In$ , istərsə də  $S \rightarrow Se \rightarrow Te$  sırasında elektrik keçiriciliyi yarımkeçiricilərə xas olaraq artır.

9.  $(InSe)_{1-x}-(CaSe, CaTe)_x$  və  $(InTe)_{1-x}-(CaTe)_x$  ( $x = 0,01; 0,02; 0,04$ ) bərk məhlul ərintilərinin 20-120°C temperatur intervalında elektrik keçiriciliyinin, termo-e.h.q-nin və xüsusi müqavimətinin temperaturdan asılılığı öyrənilmişdir. Alçaq müqavimətli  $InSe$  və  $InTe$  birləşmələrinə yüksək müqavimətli  $CaSe$ ,  $CaTe$  birləşmələrini əlavə etdikdə elektrik keçiriciliyinin azalması və xüsusi müqavimətlərinin artması müəyyən edilmişdir. Bərk məhlul ərintiləri termorezistorların hazırlanmasında istifadə oluna bilərlər.

10.  $Ca-Ga-Se(Te)$  və  $Ca-In-Se(Te)$  sistemlərində alınmış  $CaGa_2Se_4$ ,  $CaGa_2Te_4$ ,  $CaIn_2Se_4$  və  $CaIn_2Te_4$  üçlü birləşmələrin fotoelektrik keçiriciliyinin spektral asılılığı və Volt-Amper xarakteristikası tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, qeyd edilən birləşmələr spektrin 400-1300 nm dalğa uzunluğunda yüksək fəthəssas materiallardır.

11. İlkin olaraq,  $CaIn_2Se_4$  birləşməsinin fotoelektrik keçiriciliyinin spektral asılılığı tədqiq edilmişdir. Sonra isə  $(CaIn_2Se_4)_{1-x}(CaSe)_x$  ( $x=0,015; 0,025; 0,035$ ) tərkibli ərintilərin fotoelektrik keçiriciliyinin dalğa uzunluğundan asılılığı öyrənilmiş və nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, bu nümunələr spektrin görünmə oblastında fəthəssasdırlar. Müəyyən edilmişdir ki,  $CaIn_2Se_4$  birləşməsi əsasında alınmış bərk məhlul ərintilərinin fotoelektrik keçiriciliyi,  $CaIn_2Se_4$  birləşməsinin fotokeçiriciliyindən xeyli yüksəkdir. Qeyd edilən fəthəssas nümunələr yüksək müqavimətli materiallar olduğu üçün, onlardan fotorezistor kimi fotoelektronikada yer və kosmik müşahidə stansiyalarının elektrolüminesent qurğularının intensivliyini idarə etmək, həmçinin yüksək həssaslığa malik olan fotoqəbulədicilərin hazırlanmasında istifadə edilə bilər.

12. a)  $CaIn_2Te_4$  birləşməsinin fotokeçiriciliyini artırmaq məqsədilə  $(CaIn_2Te_4)_{1-x}(CaTe)_x$  ( $x=0,015; 0,025, 0,035$ ) bərk məhlul ərintiləri sintez edilmiş və onların fotokeçiriciliyinin spektral asılılığı öyrənilmişdir. Nəti-

cədə müəyyən edilmişdir ki,  $\text{CaIn}_2\text{Te}_4$  birləşməsinə 2,5 mol %  $\text{CaTe}$  əlavə edildikdə fotocərəyan maksimum qiymət almışdır.

b)  $\text{CaGaSe}_2$ ,  $\text{CaGa}_2\text{Se}_4$ ,  $\text{CaGaTe}_2$  və  $\text{CaGa}_2\text{Te}_4$  kristallarında fotolüminessensiya hadisəsi öyrənilmiş və müəyyən edilmişdir ki,  $\text{CaGaSe}_2$ ,  $\text{CaGa}_2\text{Se}_4$  birləşmələrinin lüminessensiyası  $\text{CaGaTe}_2$  və  $\text{CaGa}_2\text{Te}_4$  birləşmələrinə nisbətən yüksəkdir. Bu birləşmələrə (5q) az miqdarda 0.02-0.04 q  $\text{Nd}^{3+}$ ,  $\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Ce}^{3+}$  əlavə etdikdə ərintilərin lüminessensiyası 77-360 K temperaturda 5-8 dəfə artır. Alınmış nəticəyə əsasən  $\ln\Upsilon \sim 10^3 / T$  arasındakı asılılıq müxtəlif temperaturalarda öyrənilmiş ( $\Upsilon = 0.1-10$  ms) və lüminessensiya mərkəzlərinin aktivləşmə enerjisi hesablanmışdır ki, bu 0.18–0.24 eV arasında dəyişir. Bu dəyişmə maddələrin xassələrindən asılıdır, yəni selenidlərdə çox, telluridlərdə isə azdır. Qeyd edilən lüminessent xassəli materiallar işıq lüminoforların hazırlanmasında istifadə oluna bilərlər.

### **Dissertasiya işinin əsas nəticələri aşağıdakı məqalə və tezislərdə öz əksini tapmışdır.**

1. Yagubov N.I, Guliyev T.N, Rustamov P.G, Aziziov E.T Interaction studies in CaS-  $\text{Ga}_2\text{S}_3$  system //Mat.res.Bull. printed in the USA (pergamon press PLC) 1990.V. 25. p. 271-276.
2. Ягубов Н.И., Ахмедов Н.Ф. Фотоэлектрические свойства халькогаллатов и халькоиндатов щелочноземельных элементов типа  $\text{A}^{\text{II}}\text{B}^{\text{III}}\text{C}_4^{\text{VI}}$  // 3-я Всесоюз. Конференция «Материальное развитие халькогенидных полупроводников» (тех-долк.) ЧГЦ, Черновцы. 1991. с.65.
3. Гейдаров Б.А., Ягубов Н.И. Исследование и получение монокристаллов соединений  $\text{GaS}$ ,  $\text{GaSe}$ ,  $\text{GaTe}$  в системах типа  $\text{A}_2^{\text{III}}\text{B}_3^{\text{VI}}\text{-A}_1^{\text{II}}$ , где ( $\text{A}^{\text{III}}\text{-Ga}$ ;  $\text{B}^{\text{VI}}\text{-S, Se, Te}$ ) // Qeyri-üzvi və fiziki kimyanın müasir problemləri . Elm. Nəşri. 1998. с. 150-154.
4. Гейдаров Б.А. Ягубов Н.И. Получение монокристаллов  $\text{GaS}$ ,  $\text{GaSe}$ ,  $\text{GaTe}$  с участием хлора. // Qeyri-üzvi və fiziki kimyanın müasir problemləri. Elm. Nəş. 1998. с. 154-159.
5. Ягубов Н.И. Получение и исследование физико-химических свойств соединений типа  $\text{BaGa}_2\text{Se}_4$ ,  $\text{SrGa}_2\text{Se}_4$ ,  $\text{CaGa}_2\text{Se}_4$  // Bakı Dövlət Universitetinin 80 illiyinə həsr olunmuş təlim-metodiki konfransı. Bakı. 2000. с.112.
6. Ягубов Н.И., Гамидова Л.Ф., Гаджиева С.Р., Алиева С.А., Мамедова Л.А. Исследование и физико-химическое взаимодействие системы  $\text{Ga}_2\text{S}_3\text{-BaS}$  // Bakı Universitetinin xəbərləri 2001. №3. s. 12-15.
7. Ягубов Н.И., Гаджиева С.Р., Джабиева Н.Э., Абасова Д.Р. Неко-

- торые физические свойства  $AB_2X_4$  (где A-Ca, Sr, Ba; B-Ga, In; X-S, Se, Te) // BDU-nun Gənc kimyaçı I Respublika elmi konfransı. Bakı. 2001. c. 15-16.
8. Yagubov N.I, Ilyasov T.M, Akhmedov E.I. , Aliyev T.A. Syntesis and some phsico – Chemical properties of f-element contributing classes // 38-th IUPAC congress world chemistry, Brisbane, Australia. 1-6 July. 2001. p.30.
  9. Ягубов Н.И., Гаджиева С.Р., Абасова Д.Р. Physico – chemical investigation of the base –  $In_2Se_3$  system // XIV Ulusal Kimya Kongresi. Türkiyə .Koniya. 2002. s.538.
  10. Ягубов Н.И., Гаджиева С.Р., Абасова Д.Р., Джабиева Н.Э. Photorconductor of elements  $AB_2X_4$  (где A-Ca, Sr, Ba; B-Ga, In; X-S, Se, Te) // XIV Ulusal Kimya Kongresi. Koniya. Türkiyə .2002. s.522.
  11. Сафаров В.Г., Магеррамов Э.М., Ягубов Н.И., Фотоэлектрические свойства кристаллов  $CaGa_2Se_4$  // Bakı universtetinin xəbərləri, Bakı. 2003. №4. s. 125-128.
  12. Əliyev İ.İ., Yaqubov N.İ., Musayeva R.L., Sadıqov F.M.  $Ga_2Te_3$ -CaTe sistemində kimyəvi qarşılıqlı təsirin xarakteri // Kimya Problemləri jurnalı. 2007. № 1. s. 182-183.
  13. Yaqubov N.İ., Musayeva R.L., Agamedova.Y.B,  $A_4Ga_2S_7$  ( $A_4$ -Ca, Sr, Ba) birləşmələrinin xassələri. // Fiziki-kimyəvi analiz və qeyri-üzvi materialşünaslıq. Respublika elmi konfransı. Bakı. 2007.s.109-112.
  14. Yaqubov N.İ., Musayeva R.L., Babayeva B.U. Синтез и фотолюминесценция соединений  $MeGa_2S_4$  // Kimyəvi birləşmə sintez və çevrilmələri III Respublika elmi konfransı. Bakı . BDU Nəşr. 2007. s. 49-50.
  15. Yaqubov N.İ., Musayeva R.L., Əliyev İ.İ. InSe-CaSe sisteminin sintezi və faza diaqramı // MAEA-nın müxbir üzvü H.X.Əfəndiyevin 100 illik yubileyinə həsr olunmuş elmi konfransın materialları. Bakı. 2007. s.77.
  16. Musayeva R.L., Yaqubov N.İ., Əliyev İ.İ., Sadıqov F.M. Ca-In-Se üçlü sisteminin In-CaSe və In-CaInSe<sub>2</sub> kəşiklərinin tədqiqi. // Kimya Problemləri jurnalı 2008. № 1. s.137-140.
  17. Yaqubov N.İ., Hacıyeva S.P BaSe –  $In_2Se_3$  sisteminin fiziki – kimyəvi tədqiqi // Ümummillı lider Heyər Əliyevin 85 illik yubileyinə həsr olunmuş Respublika elmi konferansının materialları, Bakı. 7-8 may, 2008. s 19.
  18. Yaqubov N.İ., Hacıyeva S.P.  $Ba_2B_2C_5$  ( B-Ga, In; C-S Se) – tip birləşmələrin alınması və bəzi fiziki – kimyəvi xassələrin tədqiqi // Ümummillı lider Heyər Əliyevin 85 illik yubileyinə həsr olunmuş Respublika elmi konferansının materialları, Bakı 7-8 may, 2008. s. 23-24.

19. Ягубов Н.И., Гаджиева С.Р., Агаммедова Е.Б., Физико – химическое исследование в системе  $\text{SrTe-Ga}_2\text{Te}_3$  // Всероссийская Конференция «Химия твердого тела и функциональные материалы. Екатеринбург 2008. с.88.
20. Ягубов Н. И., Бинятова Л.А., Мамедова Й.А. Некоторые физико – химические свойства соединения  $\text{CaIn}_2\text{Se}_3\text{S}$  // XI Respublika konfransı. Fiziki-kimyəvi analiz və qeyri-üzvi materialşünaslıq. Bakı. 2009. s.80-83.
21. Əliyev İ.İ., Musayeva R. İ., Yaqubov N. İ., Sadıqov F. M.  $\text{Se-CaIn}_2\text{Se}_4$  sistemində faza tarazlığı // Kimya Problemləri Jurnalı. 2009. № 1. c. 106-109.
22. Алиев И.И., Мусаева Р.Л., Ягубов Н.И., Садыгов Ф.М., Исмаилов Ф.И. Характер взаимодействия в системе  $\text{InSe-CaSe}$  // Журн. Неорган. химии, 2009, т. 54 №8 с.1398-1400.
23. Ягубов Н.И., Алиев И.И., Мусаева Р.А. Фазовые равновесия в системе  $\text{CaInSe}_2\text{-CaIn}_2\text{Se}_4$ . // Азербайджанский химический журнал. 2009. №1, с.60-64.
24. Hacıyeva S.R., Ягубов Н.И., Мусаева Р.А.  $\text{CaSe-In}_2\text{Se}_3$  sisteminin tədqiqi. // BDU-nun 90 illik yubileyinə həsr olunmuş Respublika elmi konfransının materialları. Bakı. 2009. s.138-139.
25. Əliyev İ.İ., Musayeva R.İ., Yaqubov N.İ., Sadıqov F.M.  $\text{Se-CaIn}_4\text{Se}_7$  sistemində faza tarazlığı // BDU-nun 90 illik yubileyinə həsr olunmuş Respublika elmi konfransının materialları. Bakı. 2009. s.337-338.
26. Рамазанов В.С., Алиев И.И., Алиев О.М., Ягубов Н.И., -Тройные стеклообразные и кристаллические оксихалькогенидные соединения в системах  $\text{A}^{\text{III}}\text{-B}^{\text{V}}\text{-C}^{\text{VI}}$ , Bakı. BDU nəşr. 2010.120 s.
27. Yaqubov N. İ., İbrahimova F.E., Quliyeva S.Ə.  $\text{Se-SrInSe}_2$  sistemində faza tarazlığı // Ümummilli lider H.Ə.Əliyevin anadan olmasının 87-ci ildönümünə həsr olunmuş doktorant, magistr və gənc tədqiqatçıların IV Respublika Elmi Konfransı. Bakı. 2010. s.136.
28. Musayeva R.İ., Əliyev İ.İ., Yaqubov N.İ., Sadıqov F.M. “  $\text{InTe-CaTe}$  sisteminin ərintilərinin sintezi və tədqiqi. // Ümummilli lider H.Ə.Əliyevin anadan olmasının 87-ci ildönümünə həsr olunmuş doktorant, magistr və gənc tədqiqatçıların IV Respublika Elmi Konfransı. Bakı. 2010. s.12.
29. Əliyev İ.İ., Yaqubov N.İ., Şahbazov M.H., Musayeva R.L.  $\text{Ca-In-Se}$  sisteminin  $\text{InSe-CaIn}_4\text{Se}_7$  kəsiyinin tədqiqi // Azərb.Kimya jurnalı. 2011. №1. c.94-97.
30. Hacıyeva S.R., Yaqubov N.İ., İbrahimova F.E., Quliyeva S.Ə.  $\text{ABC}_2$

- (A-Ca,Sr,Ba; B-Ga,In; C-S,Se) birləşmələrinin alınması və bəzi fiziki xassələrinin tədqiqi // *Azərbaycan Kimya jurnalı*. 2011. № 1. s.217-219.
31. Ибрагимова Ф.Е., Ягубов Н.И., Искаков Р.Г. «Взаимодействие в системе SrSe-InSe // *Ümummilli lider H.Ə.Əliyevin anadan olmasının 88-ci ildönümünə həsr olunmuş doktorant, magistr və gənc tədqiqatçıların V Respublika Elmi konfransı*. Bakı. 2011. s.48.
  32. Musayeva R.L, Əliyev İ.İ., İsmayilov F.İ., Yaqubov N.İ., Sadiqov F.M.  $(\text{InSe})_{1-x}(\text{CaSe})_x$  ( $x= 0,01-0,04$ ) bərk məhlullarının elektrofiziki xassələrinin tədqiqi // *Akademik T.N.Şaxtaxtinskiyin 85 illik yubileyinə həsr olunmuş Respublika elmi konfransı*. Bakı. 2011. s.50-51.
  33. Yaqubov N.İ.  $\text{CaInTe}_2\text{-CaIn}_2\text{Te}_4$  sistemində faza tarazlığı // *Kimya Problemləri jurnalı*. 2012. № 1. s.110-115.
  34. Yaqubov N.İ.  $\text{InTe-CaIn}_2\text{Te}_4$  sistemində faza tarazlığı // *Az.Kimya jurnalı*. 2012. №1. s.100-105.
  35. Yaqubov N.İ.  $\text{In-CaInTe}_2$  sistemində kimyəvi qarşılıqlı təsirin xarakteri // *BDU-nun xəbərləri (təbiət elmləri)*. 2012. № 2. s.18-23.
  36. Ханмагомедов Э., Ягубов Н.И. Исследование в системе  $\text{CaSe-Ga}_2\text{Se}$  // *Ümummilli lider H.Əliyev anadan olmasının 89-cü il həsr olunmuş Kimyanın aktual problemləri. VI Resp.konf., Bakı*. 2012. s.27-28.
  37. Ягубов Н.И., Алиев И.И., Мусаева Р.Л. Исследование характера взаимодействия в тройной системе  $\text{Ca-In-Se}$  // *Материалы VI Всероссийск.конф. Физико-химические процессы в конденсированных средах и на межфазных границах*. Воронеж. 2012. с.389-390.
  38. Əliyev İ.İ., Yaqubov N.İ., Məmmədova N.A.  $\text{Ca}_3\text{In-CaSe}$  sisteminin fiziki-kimyəvi tədqiqi // *Kimya Problemləri jurnalı*. 2013. № 4. s.432-436.
  39. Yaqubov N.İ., Aliyev İ.İ., Vəliyev V.Q.  $\text{CaIn}_2\text{-CaSe}$  sistemində faza tarazlığı // *Kimya Problemləri jurnalı*. 2013. № 3. s. 363-367.
  40. Ягубов Н.И., Алиев И.И., Мусаева Р.Л., Велиев С.А., Гасымов В.А. Исследование характера взаимодействия в тройной системе  $\text{Ca-In-Te}$  // *X Международное Курнаковское совещание по физико-химическому анализу. Сборник трудов. Самара. 1-5 июля 2013*. С.105-107.
  41. Ягубов Н.И., Алиев И.И., Алиев О.Б., Касымлы Ф.Э. Получение твердых растворов на основе  $(\text{CaIn}_2\text{Se}_4)_{1-x}\text{CaSe}_x$  как фоточувствительный материал. *Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 90-cü ildönümünə həsr olunmuş doktorant, magistr və gənc tədqiqatçıların „Kimyanın aktual problemləri” VII Respublika Elmi Konfransının materialları 2-3 may BDU*. Bakı. 2013. s.152-153.



42. Ягубов Н.И., Алиев И.И., Мехтиева С.А., Сулейманова М.Г. Физико–химическое исследование тройной системы CaTe-In-Te и построение проекции поверхности ликвидуса // Сборник материалов конференции Фундаментальные и прикладные аспекты новых высокоэффективных материалов. Воронеж. 29 октября. 2013. с.183-184
43. Əliyev O.Ə., İlyashlı T.M., Yaqubov N.İ. Təbii Qeyri-Üzvi Birləşmələr kimyası dərslük. Bakı 2014. 215 s.
44. Yaqubov Y.N., Əliyev İ.İ., İsmayılov F.İ. CaIn<sub>2</sub>-CaTe sisteminin faza diaqramı Az.Kimya jurnalı. 2014. № 1. s. 70-74.
45. Yaqubov N.İ. Əliyev İ.İ. Ca<sub>3</sub>In-CaTe sisteminin faza diaqramı BDU Xəbərləri. 2014. № 3. s.18-23.
46. Yaqubov N.İ., Əliyev İ.İ., Babanlı K.N., Şahbazov M.H. Te-CaTe sistemində kimyəvi qarşılıqlı təsirin xarakteri. Müasir biologiya və kimyanın aktual problemləri Elmi-praktik konfransı. Məqalə toplusu. Gəncə. 12-13 may. 2014. s.32-35.
47. Гафланова Е.А., Ягубов Н.И., Алиев О.А. «Взаимодействие в системе CaTe- InTe. // Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 91-ci ildönümünə həsr olunmuş Respublika Elmi Konfransının materialları Sumqayıt Dövlət Universiteti 2014.s.106.
48. Ягубов Н.И., Гафланова Е.А., Кулиева Н.У. Электрофизические и оптические свойства соединений типа A<sup>II</sup>B<sub>2</sub><sup>III</sup>C<sub>4</sub><sup>IV</sup> // Кинетика и механизм кристаллизации. Иваново, Россия. 24-27 июня. 2014. с. 180-181.
49. Yagubov N.I., Aliyev I.I., Veliyev C.A., Ali Riza KUL Likvidu Surface Projection for the CaTe-In-Te Quasi-ternary sistem // Jurnal of Allous and Compound. 2015. p.1-6.
50. Əliyev İ.İ., Yaqubov N.İ., Əliyev F.H., Şahbazov M.H., Əliağayeva Z.T. CaGa<sub>2</sub>Se<sub>4</sub>-GaSe sistemində faza tarazlığı // Konfrans Ümummilli lider Heydər Əliyevin 92-ci ildönümünə həsr olunub. Müasir biologiya və kimyanın aktual problemləri Elmi-praktik konfransı. Məqalə toplusu. Gəncə. 5-6 may. 2015.s.10-13.
51. Yaqubov N.İ., AGaX<sub>2</sub>(A=Ca,Sr,Ba; X=S,Se) birləşmələrinin sintezi və bəzi fiziki-kimyəvi xassələrinin tədqiqi //Kimya Problemləri jurnalı. . 2015(13). №3, s.323-326
52. Ягубов Н.И., Алиев О.А. «Фазовые равновесия и системе GaSe-CaSe.//Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 92-ci ildönümünə həsr olunmuş doktorant və magistr elmi konfransının materialları BDU, Bakı.2015.s.110.

53. Ягубов Н.И., Алиев И.И., Мамедова Н.А., Бадалли И.Ф. Фазовое равновесие в системе GaSe-CaSe //Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований (Москва «Академия естествознания»). 2015. № 3. с.18-22.
54. Ягубов Н.И., Алиев И.И., Бабанли К.Н., Алиев О.А., Рагимова В.М. Физико-химические и физические свойства сплавов Системы InSe-CaIn<sub>2</sub>Se<sub>4</sub>//Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований (Москва «Академия естествознания»). 2015. № 5. с.262-265.
55. Imir Aliyev Nagi Yaqubov, Ogtay Aliyev, Seyran Veliyev., Investigation of the internal incision in ternary Ca-In-Te system //Science and Education Studies, 2015, № 2. (16) (July-December). Volume III. “Stanford University Press”, 2015. - 807 p.763-771 e-mail: iadces.agency@gmail.com www.iadces.com
56. Ягубов Н.И., Алиев И.И., Тагиев С.И., Новрузова Ф.А. Физико-химическое исследование системы CaGa<sub>2</sub>Se<sub>4</sub>- GaSe// Неоргн. материлы. 2016.т.51. № 4, с.392-395.
57. Ягубов Н.И. Исследование внутренних разрезов в квазитройной системе CaSe-Ga-Se //Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований (Москва «Академия естествознания»). 2015. № 8. часть 3, с.900-912
58. Yaqubov N.İ. CaTe-Ca<sub>3</sub>In-CaIn kvaziüçlü sistemin likvidus səthinin proyeksiyası, //Kimya Problemləri jurnalı. 2016 №1, s. 94-104.
59. Ягубов Н.И., Ильслы Т.М., Алиев О.А., Гусейнова Х.А. Электрофизические свойства соединений типа CaGa<sub>2</sub>Se<sub>4</sub> и CaIn<sub>2</sub>Se<sub>4</sub>// Wschonioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal, Poland) Chemia #6, 2016, p.125-130.
60. Ягубов Н.И., Алиев И.И., Ильслы Т.М., Алиев О.А., Гусейнова Х.А. Химические взаимодействия в системе CaGaSe<sub>2</sub>-CaGa<sub>2</sub>Se<sub>4</sub>// Мультидисциплинарный научный журнал “, Архивариус, г.Киев-2016, с.18-23.
61. Пашаева А.К., Ягубов Н.И., Гусейнова Э.А. Некоторые физико-химические свойства соединений CaGa<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>,SrGa<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>,BaGa<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>// Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 93-cü ildönümünə həsr olunmuş doktorant və magistr elmi konferansının materialları . BDU, Bakı.2016.s.24-25
62. Ягубов Н.И., Алиев И.И.,Ильслы Т.М., Алиев О.А., Гусейнова Х.А., Пашаева А.К., Исследование в системе Te-CaGa<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>//ж. Современный ученый, №2, 2016, с.34-38, Россия, г. Белгород.

63. Гусейнова Г.А., Ягубов Н.И., Ильяслы Т.М., Алиев О.А. Исследование в системе YbTe-InTe //ж.Научный альманах,(Science almanac)2016. №5-3(19), с.384-388. Россия, г.Тамбов.
64. Ягубов Н.И., Алиев И.И., Алиев О.А. "Кинетика и механизм кристаллизации." г. Иваново, Россия, 18-20. сентябрь 2016 , с. -181
65. Yagubov N.I., Aliyev I.I. Aliyev O.A Investigation in GaSe-CaGa<sub>4</sub>Se<sub>7</sub> system//Eastern-European Scientific Journal. Düsseldorf (Germany), 2016 , №6, p. 25-30.
66. Yagubov N.I., Aliyev I.I. Yagubov N.I., Velicanova L.A. Pirverdiyeva N.R. Electro-physical properties of the compounds CaInSe<sub>2</sub> (Te<sub>2</sub>) and CaGaSe<sub>2</sub>(Te<sub>2</sub>) //EUROPEAN RESEARCH European Research: Innovation in Science, Education and Technology.London. United Kingdom. 29.10.2016, p.88-93.
67. Yagubov N.I., Aliyev I.I., Aliyev O. A. Investigation GaTe-CaTe system //J.Chemical Senses, Oxford University Press, 2016, Vol. 41, Num. 9. P. 11-16
68. Ягубов Н.И., Алиев И.И., Мамедова С.Г. Electric-physical properties of chemical compounds such as CaGa<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> and CaGa<sub>4</sub>Te<sub>7</sub>// МНП журнал "Scientia. Химия."(Научное Содружество), Москва,2016, №3, с.24-28.
69. Yagubov N.I., Aliyev I.I., İlyaslı T.M., Hüseyinov Ə.A. Fotohəssas material // AzPatent № a 20150139, Bakı, 2016, 70.
70. Ягубов Н.И., Алиев И.И., Ильяслы Т.М., Алиев О.А. Получение, свойства соединения CaGa<sub>2</sub>(In<sub>2</sub>)Se<sub>4</sub>(Te<sub>4</sub>) и твердых растворов на их основе. //XII Международная научно-практическая конференция Достижения и проблемы современной науки. 7.10.2016, с.125-130 г.Санкт-Петербург.
71. Ягубов Н.И., Алиев К.Г. Велиджанова Л.А., Пирвердиева Н.Р. Получение и электрофизическое свойства твердых растворов (In<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>)<sub>1-x</sub>(CaSe)<sub>x</sub> //XXV Международная научно-практическая конференция "Роль науки в развития социума: теоретические и практические аспекты" с.10-14, Россия, г.Екатеринбург, 04.11.2016.
72. Yagubov N.I., Velicanova L. A. Pirverdiyeva N. R. Electro-physical properties of the compounds CaInSe<sub>2</sub> (Te<sub>2</sub>) and CaGaSe<sub>2</sub>(Te<sub>2</sub>) //EUROPEAN RESEARCH Innovation in Science, Education and Technology",London. United Kingdom. 29.10.2016.p.88-93.
73. Yagubov N.I., Mamedova L.A., Bagiyeva M.R.//A method for producing high chastity calsium selenite. European Science, №12(22),

- 2016.p.7-10 London.United Kingdom [http//scientific-publication.com](http://scientific-publication.com).
74. Yagubov N.I., Aliyev I.I., İlyaslı T.M.,Heyderov B.A. Preparation and properties of the solid solutions  $(\text{CaIn}_2\text{Se}_4(\text{Te}_4))_{1-x}(\text{CaSe}(\text{Te}))_x$ . Quarterly Journal of Mechanics and Applied Mathematics, Oxford University Press, 2016, Vol. 42, Num. 10. P. 111-123.
75. Yagubov N.I., Aliyev I.I., İlyaslı T.M,Huseynova H.A.“Investigation in  $\text{CaGaSe}_2\text{-Ga}$  system”// "Global Science and Innovation" Chicago, USA, 2017. p.88-92 [usconf.com@gmail.com](mailto:usconf.com@gmail.com)
76. Ягубов Н.И., Алиев И.И., Ильяслы Т.М., //Исследование в системе.  $\text{Ga-CaGaSe}_2$ . Konfrans Ümummilli lider Heydər Əliyevin 94-ci ildönümünə həsr olunub. Müasir biologiya və kimyanın aktual problemləri Elmi-praktik konfransı. Gəncə. 5-6 may. 2017.s.28-30.
77. Yagubov N.I., Aliyev I.I., İlyaslı T.M, Huseynova H.A //«EUROPEAN . RESEARCH»"European Research: ,London. United Kingdom. №3(26) 2017.p. 7-11.
78. Yagubov N.I., Aliyev I.I.,AliyevO.A.Cafarova E.K.//Investigation in  $\text{CaGaTe}_2\text{-CaGa}_2\text{Te}_4$ system.j. // Scientific discussion//. Praha, Czech Republic. Vol1, №4(4) 2017. 14-19.
79. ЯгубовН.И., ИльяслыТ.М., Велиджанова Л.А. //Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 94-cü ildönümünə həsr olunmuş doktorant və magistr elmi konfransının materialları. BDU, Bakı. 2017. s.24-25

**Ягубов Наги Ибрагим оглы**  
**Физико-химические основы фазообразования в тройных системах**  
**Ca-Ga(In)-Se(Te) и свойства полученных фаз**

**Резюме**

Диссертационная работа посвящена созданию физико-химических основ получения тройных фаз и твердых растворов на основе халькогенидов кальция, галлия и индия. На основе данных вышеуказанных разрезов и бинарных систем построена проекция поверхности ликвидуса тройной системы CaSe-Ga-Se. В тройной системе протекает 42 химических реакций и система ограничивается 9 полями первичной кристаллизации фаз. Далее определены невариантные равновесия системы, отвечающие 5 тройным эвтектическим и 5 тройным перитектическим точкам.

Для выяснения характера химического взаимодействия в тройной системе CaSe-Ga-Se изучены 8 квазибинарных разрезов и построены их фазовые диаграммы. Установлено протекание 48 химических реакций, а также определены границы 12 полей первичной кристаллизации фаз и уточнены координаты моно- и невариантных точек.

Построена проекция поверхности ликвидуса тройной системы Ca-Ga-Se. В системе наблюдается протекание 67 химических реакций и имеются 15 полей первичной кристаллизации фаз. Следует отметить, что невариантным равновесиям системы соответствуют 5 тройных эвтектических и 6 тройных перитектических точек.

Для построения проекции поверхности ликвидуса тройной системы Ca-Ga-Se изучены 8 квазибинарных и два неквазибинарных разрезов. В данной системе обнаружено протекание 75 химических реакций и границы 18 полей первичной кристаллизации фаз.

В целом в тройной системе Ca-Ga(In)-Se(Te) фазовые равновесия изучены полностью и построены T-x-y диаграммы состояния и это составляет научную основу выбора условий в разработке методов синтеза тройных полупроводниковых фаз данного состава.

В исследуемых системах получены соединения состава: CaGaSe<sub>2</sub>, CaGaTe, CaGa<sub>2</sub>Se<sub>4</sub>, CaGa<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>, CaGa<sub>4</sub>Se<sub>7</sub>, CaGa<sub>4</sub>Te<sub>7</sub>, CaIn<sub>2</sub>Te<sub>2</sub>, CaIn<sub>2</sub>Se<sub>2</sub>, CaIn<sub>2</sub>Se<sub>4</sub>, CaIn<sub>4</sub>Se<sub>7</sub>, CaIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> и установлен характер их плавления.

Таким образом на основе результатов рентгенографического анализа установлены кристаллические типы указанных соединений и произведен расчет параметров решетки. На основе фазовых диаграмм разработаны технологически оптимальные условия халькогаллатов, халькоиндатов и получения их монокристаллов.

Исследовано спектральное распределение фототока твердых растворов (CaIn<sub>2</sub>Se<sub>4</sub>)<sub>1-x</sub>(CaSe)<sub>x</sub> и (CaIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>)<sub>1-x</sub>(CaTe)<sub>x</sub>, X=0,01 ; 0,02 ; 0,03. Установлено, что они проявляют высокую фоточувствительность в спектральной области 0,45-0,70 мкм и 0,70-1,20 мкм соответственно и рекомендуются в качестве фоторезистивных датчиков измерительных приборов.

**Yagubov Nagi Ibrahim oglu**  
**Physicochemical bases of formation of phases in ternary systems**  
**Ca-Ga (In) -Se (Te) and the properties of the phases**  
**Summary**

The thesis is devoted to the creation of physical-chemical foundations of ternary phases and solid solutions based on semiconductor halkogenidov promising class of compounds, calcium, gallium and indium ..

On the basis of data on the above sections based on the data of binary systems constructed projection of the liquidus surface of the ternary system CaSe-Ga-Se. In the ternary system takes 44 chemical reactions. In the ternary system CaSe-Ga-Se has 9 fields of primary crystallization of the individual phases. Defined invariant points 5 ternary eutectic and peritectic 5 triple.

For vvasneniya nature of chemical interaction in the ternary system SaTe-Ga-Te been studied 8 kvazibinaryh section and built their phase diagrams. In the ternary system 50 proceeds chemical reactions. Opredelnie border 12 fields of primary crystallization of the individual phases and refined coordinates of mono and invariant points.

Built projection of the liquidus surface of the ternary system Ca-In-Se. In the ternary system ustanoleno 73 chemical reactions. In the ternary system Ca-In-Se there are 15 fields of primary crystallization of the individual phases. Defined invariant points 5 and 6 of ternary eutectic ternary peritectic.

To construct the projection of the liquidus surface of the ternary system Ca-In-Te been studied 8 kvazibinaryh and two nekvazibinaryh cut. In the ternary system ustanoleno 75 chemical reactions. The boundaries of the 18 fields of primary crystallization of the individual phases.

In general, the ternary system Ca-Ga (In)-Se(Te) phase equilibria studied thoroughly and built the T-x-y diagram of state and it is the scientific basis for the choice of conditions in the development of methods for the synthesis of ternary semiconducting phase of the composition.

The systems studied were obtained compound of composition: CaGaSe<sub>2</sub>, CaGaTe<sub>2</sub>, CaGa<sub>2</sub>Se<sub>4</sub>, CaGa<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>, CaGa<sub>4</sub>Se<sub>7</sub>, CaGa<sub>4</sub>Te<sub>7</sub>, CaInSe<sub>2</sub>, CaInTe<sub>2</sub>, CaIn<sub>2</sub>Se<sub>4</sub>, CaIn<sub>4</sub>Se<sub>7</sub> və CaIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> installed and the nature of their melting. On the basis of X-ray crystal analysis established types of the compounds and calculations of the lattice parameters. On the basis of the phase diagrams developed technological optimal conditions halkogallatov and halkoindatov and obtain their monokritallov.

The spectral distribution of photocurrent solid solutions (CaIn<sub>2</sub>Se<sub>4</sub>)<sub>1-x</sub>(CaSe)<sub>x</sub> and (CaIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>)<sub>1-x</sub>(CaTe)<sub>x</sub> x = 0,01; 0,02; 0,03 found that they exhibit a high photosensitivity in the spectral range 0,45-0,70 m and 0,70-1,20 microns respectively, are recommended as a photoresist sensor instrumentation.

На правах рукописи

Наги Ибрагим оглы Ягубов

Физико-химических основ фазообразования в тройных системах  
Са-Ga(In)-Se(Te) и свойства полученных фаз

2303.01- Неорганическая химия

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

Диссертация на соискание ученой  
степени доктора наук по химию

Баку - 2017

**Kağız formatı 60x84 1/16.Sayı 100.**

---

**«Bakı Universiteti» nəşriyyatı, Bakı, AZ 1148, Z.Xəlilov, 23.**