

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

Əlyazması hüququnda

CƏFƏROVA GÜNAY ZAKİR QIZI

İN,SB//S,SE(TE) DÖRDLÜ SİSTEMLƏRİNDƏ
FAZA TARAZLIĞININ TƏDQIQI VƏ
ALINAN YENİ FAZALARIN XASSƏLƏRİ

İxtisas – 2303.01 – Qeyri-üzvi kimya

Kimya üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq
üçün təqdim olunmuş dissertasiyanın

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

B A K I – 2014

Dissertasiya işi Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının akad. M.F.Nağiyev adına Kataliz və Qeyri-üzvi kimya İnstitutunda yerinə yetirilmişdir.

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

Rəsmi opponentlər: **M.B. Babanlı**
AMEA-nın müxbir üzvü,
kimya elmləri doktoru, professor

F.M.Sadiqov
kimya elmləri doktoru, professor

Aparıcı təşkilat: Azərbaycan Dövlət Texniki
Universiteti “Kimya kafedrası”

Dissertasiya işinin müdafiəsi «_31_» oktyabr 2014-cu il saat _10⁰⁰_ Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının akad. M.F.Nağiyev 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.Nağiyev adına Kataliz və Qeyri-üzvi kimya İnstitutunun kitabxanasında tanış olmaq olar.

Avtoreferat göndərilmişdir «_30_» sentyabr 2014-cu il

D01.021 Dissertasiya Şurasının
elmi katibi, kimya elmləri namizədi b.e.i.

S.Ə.Əliyeva

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı. Müasir elmi-texniki tərəqqi xüsusilə mikroelektronikanın, elektron sənayesinin kompüter texnikasının intensiv inkişafı məlum metodlar vasitəsilə perspektivli yarımkeçirici materialların alınmasının elmi əsaslarının hazırlanmasını tələb edir. Elementar və binar yarımkeçirici birləşmələr və onlar əsasında alınmış bərk məhlullar elektron texnikasının artmaqda olan bu tələbini tam ödəyə bilmir. Odur ki, kompleks fiziki xassələrə, termoelektrik, optiki, İQ-optikaya həssas və fotoelektrik xassələrə malik mürəkkəb tərkibli yarımkeçiricilərin alınması elmi və praktiki əhəmiyyət kəsb edir və aktual bir məsələdir.

İndium və stibium xalkogenidlərindən ibarət sistemlərdə kimyəvi qarşılıqlı təsirin xarakterini tədqiq etmək, dana mürəkkəb üçlü fazaların və bərk məhlulların alınmasına imkan verə bilər.

Ədəbiyyatda üçlü sistemlər kifayət qədər öyrənilmiş və çoxlu miqdarda yeni üçlü birləşmələr və bərk məhlullar alınmışdır.

Lakin In,Sb//S,Se(Te) ibarət dördlü sistemlər tədqiq edilməmişdir. Yeni optiki, ftohəssas, termoelektrik və s. kompleks xassələrə malik mürəkkəb tərkibli materiallar qeyd edilən dördlü sistemlərdə gözlənilir.

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

Bu problemin həll edilməsi, müxtəlif tərkibli birləşmələrin qurulmasının yaranma mexanizmi, onların tərkibi, quruluş və xassələri arasındakı əlaqəni inkişaf etdirməyə yardım etmiş olardı. Tərkib quruluş və xassə arasında korellasiyanın müəyyən edilməsi, xassələri əvvəlcədən məlum olan fazaların məqsədli sintezi üçün praktiki vacib məsələlərdəndir.

Əvvəlcədən xassələri məlum olan indium və stibium 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. Ona görə də bu sahədə aparılan axtarışlar elmi və praktiki əhəmiyyət kəsb edir.

İşin məqsədi In,Sb||S,Se(Te) dördlü sistemlərində faza tarazlığını öyrənməklə, yeni mürəkkəb tərkibli yarımkeçirici fazaların və bərk məhlulların sərhədlərini müəyyən etməkdən, maddələrin tərkibdən asılı olaraq fiziki-kimyəvi xassələrini tədqiq etməkdən ibarətdir.

Bu məqsədə nail olmaq üçün qarşıya aşağıdakı məsələlər qoyulmuş və həll edilmişdir:

-InS-Sb₂Se₃, Sb₂Se₃-In₃Sb₂S₃Se₃, InS - InSb₂S₃Se, InCe - In₃Sb₂S₃Se₃, InSe - InSb₂S₃Se, Sb₂S₃-InSb₂Se₃S, Sb₂Se₃ - InSb₂S₃Se, InSb₂S₃Se- InSb₂Se₃S, InS-Sb₃Te₃, In₃Sb₂S₃Te₃- InTe, In₃Sb₂S₃Te₃-Sb₂S₃, InS - InSb₂S₃Te, Sb₂Te₃ - InSb₂S₃Te, InTe - InSb₂Te₃S, və InSb₂S₃Te - InSb₂Te₃S kəsiklərində geniş qatılıq intervalında faza tarazlıqlarını öyrənməklə onların T-x diaqramlarının qurulması;

-dördlü sistemlərin yuxarıda göstərilən kəsiklərində yeni fazaların və bərk məhlul ərintilərinin aşkar edilməsi və onların sərhədlərinin təyin edilməsi;

- dördlü sistemlərdə alınan yeni fazaların optimal sintez şəraitinin hazırlanması;

- kristallik fazaların S → Se → Te keçidində eləcə də xalkogenid fazaların tərkibdən asılı olaraq fiziki-kimyəvi xassələrinin öyrənilməsi;

- bərk məhlul ərintilərinin və yeni dördlü fazaların əsas fiziki-kimyəvi, elektrofiziki xassələrinin tədqiqi ;

- tədqiqatlar nəticəsində praktiki əhəmiyyət kəsb edən yarımkeçirici materialların məqsədli sintezinin təşkili və tərkib-quruluş- xassə arasında korellasiyanın müəyyən edilməsi.

İşin elmi yeniliyi. Fiziki-kimyəvi analiz metodları vasitəsilə InS-Sb₂Se₃, Sb₂Se₃-In₃Sb₂S₃Se₃, InS - InSb₂S₃Se, InCe - In₃Sb₂S₃Se₃, InSe - InSb₂S₃Se, Sb₂S₃-InSb₂Se₃S, Sb₂Se₃ - InSb₂S₃Se, InSb₂S₃Se- InSb₂Se₃S, InS-Sb₃Te₃, In₃Sb₂S₃Te₃- InTe, In₃Sb₂S₃Te₃-Sb₂S₃, InS - InSb₂S₃Te, Sb₂Te₃ - InSb₂S₃Te, InTe - InSb₂Te₃S, və InSb₂S₃Te - InSb₂Te₃S sistemlərində kimyəvi qarşılıqlı təsirin xarakteri öyrənilmiş və onların geniş qatılıq intervalında hal diaqramları qurulmuşdur.

In,Sb||S,Se və In,Sb||S,Te dördlü sistemlərinin yuxarıda göstərilən kəsiklərində fazaəmələgəlmə və bərk məhlul sahələri tədqiq olunmuş ,yeni fazaların ərimə xarakteri öyrənilmiş və hər iki sistemin müəyyən hissəsinin likvidus səthinin proyeksiyası qurulmuşdur. Həmçinin kvaziüçlü sistemlərin T-x-y diaqramları üzərində mövcud fazaların ilkin kristallaşma sahəsi, non-və monovariant tarazlıqların tipləri və koordinatları müəyyən edilmişdir.

-In,Sb||S,Te dördlü sistemin daxili kəsikləri tədqiq edilmiş və dördlü sistemin müxtəlif sahələrinin likvidus səthinin proyeksiyası qurulmuş non-və monovariant tarazlıqların, üçlü peritektik və evtektik nöqtələrin koordinatları müəyyən edilmişdir.

-In,Sb||S,Se(Te) dördlü sistemlərində InSb₂S₃Se, InSb₂Se₃S, InSb₂S₃Te, InSb₂Te₃S, In₃Sb₂Se₃S₃ və In₃Sb₂S₃Te₃ tərkibli dördlü birləşmələr alınmış, onların mövcudluğu, homogenlik sahələri və digər fazalar ilə tarazlıqda olan sahələri öyrənilmişdir.

-Alınmış birləşmələrin fiziki-kimyəvi kristallokimyəvi xassələri öyrənilmiş və onların qəfəs parametrləri hesablanmışdır.

–Bərk məhlul ərintilərinin və yeni fazaların aşağıdakı fiziki-kimyəvi və fiziki xassələri: sıxlıqları, mikrobərklikləri, ərimə temperaturları, elektrik keçiricilərinin və termo-e.h.q.-nin temperatur asılılığı öyrənilmişdir.

İşin praktiki əhəmiyyəti. Dissertasiya işinin praktiki əhəmiyyəti ondan ibarətdir ki, aparılmış müasir kompleks fiziki-kimyəvi tədqiqatlar nəticəsində $\text{In,Sb} \parallel \text{S,Se}$ və $\text{In,Sb} \parallel \text{S,Te}$ dördlü sistemlərində kimyəvi qarşılıqlı təsirin xarakteri və əmələ gələn kristallik birləşmələrin və bərk məhlulların yarımkeçirici xassələri haqqında tam informasiya alınmışdır.

Tədqiqatlar zamanı əldə edilmiş informasiyalar mürəkkəb tərkibli bərk məhlulların və yeni fazaların məqsədli sintezi, onların həm $\text{S} \rightarrow \text{Se} \rightarrow \text{Te}$ sırasında, həm də tərkibdən asılı olaraq alınma metodikasının və texnoloji şəraitinin optimallaşdırılması üçün istifadə edilə bilər. Nəzərdən keçirilən sistemlərdə alınmış yarımkeçirici kristallik fazalar orta müqavimətli termoelektrik və fətohəssas olduqları üçün enerji çeviriciləri kimi istifadə oluna bilərlər.

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

Dissertasiyanın nəşr olunma və müzakirə dərcəsi. Təqdim olunan dissertasiya işinin nəticələri 9 məqalə və 9 tezis şəklində dərc olunmuş elmi əsərdə öz əksini tapmışdır. 2 məqalə “Неорганическая химия” jurnalında, 4 məqalə Azərbaycan kimya jurnalında, 3 məqalə Kimya Problemləri jurnalında jurnalında dərc olunmuşdur.

İşin nəticələri aşağıdakı konfrans və seminarlarda müzakirə edilmişdir:

Bakı Dövlət Universitetinin 90-illik yubileyinə həsr olunmuş Beynəlxalq elmi konfrans (Bakı. 2009), XX Российской молодежной научной конф., посвященной 90-летию УГУ им. А.М. Горького «Проблемы Теоретической и экспериментальной химии (Екатеринбург.20-24 апреля 2010), Ümummillə lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 87–ci il dönmünə həsr olunmuş doktorant, magistr və gənc tədqiqatçıların respublika elmi konfransı (Bakı.26-27 may. 2010),

Dahi Azərbaycan şairi Nizami Gəncəvinin 870 illik yubileyinə həsr edilmiş «Biokimyəvi nəzəriyyələrin aktual problemləri II Beynəlxalq konfransı» (Gəncə. 26-27 noyabr. 2011), Akademik T.N. Şahtaxtinskini 85- illik yubileyinə həsr olunmuş Respublika elmi konfransı (Bakı.27-28 oktyabr 2011), Всероссийской научной конференции посвященной Международному году химии «Успехи синтеза и комплексобразования» (18-22 апреля 2011), В VI Всероссийской конференции «Физико-химические процессы в концентрированных средах и межфазных границах» (ФАГРАН-2012. 15-18 октября. Воронежском ГУ). Ümummillə lider Heydər Əliyevin anadan

olmasının 91-ci ildönümünə həsr olunmuş. Müasir biologiyanın və kimyanın aktual problemləri elmi konfransı. (Gəncə.12-13 may 2014).

Dissertasiya işinin həcmi və quruluşu. Dissertasiya işi girişdən, 5 fəsilədən, nəticədən ibarət olub, 172 səhifədir. Dissertasiyada 216 adda elmi ədəbiyyata istinad edilmiş, 60 səkil və 29 cədvəl daxil edilmişdir.

İŞİN ƏSAS MƏZMUNU

Dissertasiya işi beş fəsilədən ibarətdir. Dissertasiya işinin giriş hissəsində mövzunun aktuallığı, tədqiqat işinin məqsədi, alınmış elmi nəticələrin yeniliyi və praktiki əhəmiyyəti əsaslandırılmışdır.

İşin birinci fəsilində $\text{In,Sb} // \text{S,Se}(\text{Te})$ dördlü sistemlərində kimyəvi qarşılıqlı təsirin xarakteri və bu işlərə dair mövcud ədəbiyyat məlumatları toplanaraq araşdırılmış və tədqiqat işində istifadə edilmişdir. Qeyd edilən xalkogenidli sistemlərdə üçlü fazaların və bərk məhlulların alınması haqqında məlumatlar kifayət qədərdir. Bu sahədə aparılan tədqiqatlar nəticəsində çoxlu miqdarda termoelektrik və fətohəssas materiallar alınmışdır. Lakin $\text{In,Sb} // \text{S,Se}(\text{Te})$ dördlü sistemlərində kimyəvi qarşılıqlı təsirin xarakteri və bir sıra fiziki xassələri kifayət qədər tədqiq edilməmişdir.

İşin ikinci fəsilində $\text{In,Sb} // \text{S,Se}(\text{Te})$ dördlü sistemlərin ərintilərinin sintezi, başlanğıc komponentlərin xarakteristikaları və işin təcrübə hissəsinin yerinə yetirməsində istifadə olunan əsas tədqiqat metodları haqqında qısa məlumatlar verilmişdir.

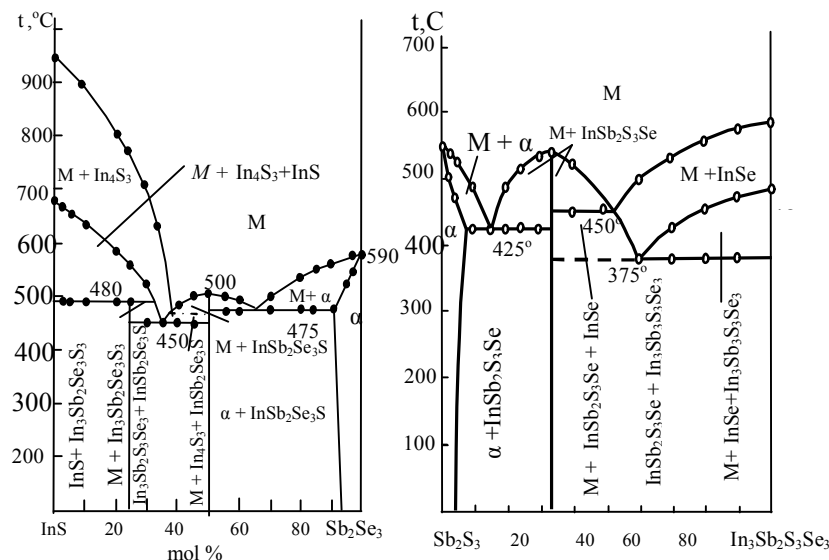
Ərintilər yüksək təmizlikli elementlərdən sintez olunmuşdur. Sintez olunmuş ərintilər tədqiq edilmək üçün uzun müddət ərzində müvafiq temperaturda homogenləşdirilmişdir.

Sistemlərin ərintiləri diferensial-termiki (DTA, NTR-73), mikroquruluş (MIM-8 mikroskop), rentgenfaza analizi (RFA, DRON-3 və D2 PHASER, Cu K_α), 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: elektrik keçiriciliyi, termo-e.h.q. və xüsusi müqavimətlərinin temperatur asılılığı öyrənilmişdir.

İşin üçüncü fəsilində $\text{In,Sb} // \text{S,Se}$ dördlü sisteminin aşağıdakı kə-siklərində kimyəvi qarşılıqlı təsirin xarakteri tədqiq edilmiş: $\text{InS-Sb}_2\text{Se}_3$, $\text{Sb}_2\text{Se}_3\text{-In}_3\text{Sb}_2\text{S}_3\text{Se}_3$, $\text{InS -InSb}_2\text{S}_3\text{Se}$, $\text{InSe - In}_3\text{Sb}_2\text{S}_3\text{Se}_3$, $\text{InSe - InSb}_2\text{S}_3\text{Se}$, $\text{Sb}_2\text{S}_3\text{-InSb}_2\text{Se}_3\text{S}$, $\text{Sb}_2\text{Se}_3 - \text{InSb}_2\text{S}_3\text{Se}$, $\text{InSb}_2\text{S}_3\text{Se - InSb}_2\text{Se}_3\text{S}$ və onların hal diaqramları qurulmuşdur.

1.InS-Sb₂Se₃ sistemi. InS-Sb₂Se₃ sistemdə komponentlərin 1:1 və 3:1 nisbətində uyğun olaraq InSb₂Se₃S və In₃Sb₂S₃Se₃ tərkibli dördlü

birleşmələrin alındığı müəyyənləşdirilmişdir (şək.1).



Şək.1. InS-Sb₂Se₃ sisteminin hal diaqramı.

Şək.2. Sb₂S₃-In₃Sb₂S₃Se₃ sisteminin hal diaqramı.

Rentgenfaza analizinin nəticələrinə əsasən müəyyən edilmişdir ki, In₃Sb₂S₃Se₃ birləşməsi rombik sinqoniyada kristallaşır və qəfəs parametrləri: $a = 7,08$; $b = 6,24$; $c = 18,91$ Å; $Z=3$, fəza qrupu $np.rp.P2_12_12_1$, sıxlığı $\rho_{\text{pikn.}} = 5,38$ q/sm³; $\rho_{\text{rent.}} = 5,49$ q/sm³. Sistemdə alınan digər birləşmə InSb₂Se₃S analoji olaraq rombik sinqoniyada kristallaşır və qəfəs parametrləri: $a = 6,86$; $b = 5,28$; $c = 18,81$ Å; $Z=4$, sıxlığı $\rho_{\text{pikn.}} = 5,80$ q/sm³; $\rho_{\text{rent.}} = 6,11$ q/sm³-dir.

InS-Sb₂Se₃ sistemdə iki ikili evtektikanın əmələ gəldiyi aşkar edilmişdir və tərkibləri uyğun olaraq 38 və 65 mol % Sb₂Se₃ təşkil edir. Sistemdə otaq temperaturunda Sb₂Se₃ birləşməsi əsasında 6 mol % bərk məhlul sahəsi əmələ gəlmişdir.

2.Sb₂S₃- In₃Sb₂S₃Se₃ sistemi. Sb₂S₃- In₃Sb₂S₃Se₃ sistemdə kimyəvi qarşılıqlı təsirin xarakteri tədqiq edilmiş və onun hal diaqramı qurulmuşdur. Sistemin hal diaqramı qismən qeyri-kvazibinar olub, evtektik tiplidir (Şək.2). Sistemdə InSb₂S₃Se tərkibli 540°C-də konqruent əriyən bir dördlü birləşmə alınmışdır. Sistemdə Sb₂S₃ və InSb₂S₃Se birləşmələrinin birgə kristallaşması ikili evtektika nöqtəsində başa çatır, tərkibi 15 mol %

In₃Sb₂S₃Se₃, əriməsi 425°C-dir. Sistemin 33,33-100 mol % In₃Sb₂S₃Se₃ qatılıq intervalında ikili evtektikanın tərkibi 52 mol % In₃Sb₂S₃Se₃, əriməsi isə 450°C-dir.

Sistemin bu hissəsində ikili evtektik tarazlıq və peritektik çevrilmə baş verdiyi müəyyən edilmişdir. Otaq temperaturunda Sb₂S₃ əsasında 4 mol % In₃Sb₂S₃Se₃ həll olur.

Rentgenoqrafik analiz nəticələrinə əsasən müəyyən edilmişdir ki, InSb₂S₃Se birləşməsi rombik sinqoniyada kristallaşır, qəfəs parametrləri: $a = 6,81$; $b = 5,21$; $c = 18,66$ Å; $Z=4$, $\rho_{\text{pik.}} = 5,32$ q/sm³, $\rho_{\text{rent.}} = 5,35$ q/sm³.

3.Sb₂Se₃- InSb₂S₃Se sistemi. Sb₂Se₃- InSb₂S₃Se sisteminin hal diaqramı kvazibinar olub, evtektik tiplidir. Sistemdə əmələ gələn evtektikanın tərkibi 60 mol % InSb₂S₃Se, temperaturu isə 400°C-dir. Tədqiqatlar nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, sistemdə otaq temperaturunda InSb₂S₃Se birləşməsi əsasında 15 mol % Sb₂Se₃ həll olur, Sb₂Se₃ əsasında isə bərk məhlul sahəsi 3,5 mol % InSb₂S₃Se təşkil edir.

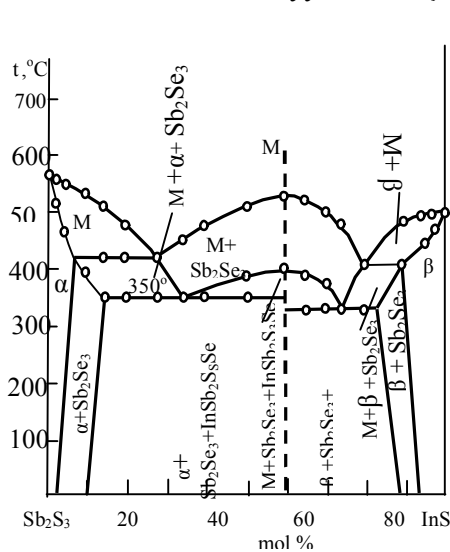
4.Sb₂S₃-InSb₂Se₃S sistemi. Fiziki-kimyəvi analiz metodları vasitəsilə Sb₂S₃-InSb₂Se₃S sisteminin hal diaqramı qurulmuş və müəyyən edilmişdir ki, sistemin hal diaqramı qeyri-kvazibinar (Şək.3). Sistemdə ilkin komponentlər əsasında məhdud miqdarda bərk məhlul sahəsi aşkar edilmişdir. Otaq temperaturunda Sb₂S₃ birləşməsi əsasında 2 mol % InSb₂Se₃S həll olduğu halda, InSb₂Se₃S birləşməsi əsasında həllolma 7 mol % Sb₂S₃ həllolma baş verir.

Sistemin likvidusu Sb₂S₃ birləşməsi əsasında əmələ gələn α - bərk məhlulun, Sb₂Se₃ birləşməsinin və InSb₂Se₃S birləşməsi əsasında alınmış β - bərk məhlulun ilkin kristallaşma əyrilərindən ibarətdir.

Sb₂S₃ - InSb₂Se₃S sistemi Sb₂S₃ - InSb₂S₃Se- Sb₂Se₃ və InSb₂S₃Se - In₃Sb₂S₃Se₃ - Sb₂Se₃ tabeli üçbucaqlarının sahəsindən keçdiyi üçün qeyri-kvazibinar (Şək.4). 10- 50 mol % InSb₂Se₃S qatılıq intervalında solidus xəttindən yuxarıda $M + \alpha + \text{InSb}_2\text{S}_3\text{Se}$ -dən ibarət üçfazlı sahə mövcuddur.

5.InSb₂Se₃S- InSe sistemi. Sistemin hal diaqramı kvazibinar olub, sadə evtektik tiplidir (şək.4). Sistemdə əmələ gələn ikili evtektikanın tərkibi Tamman üçbucağının qurulması yolu ilə dəqiqləşdirilmiş və 30 mol % InSe-nə, əriməsi isə 450°C-dir. Sistemin likvidusu InSb₂Se₃S birləşməsi əsasında əmələ gələn α -bərk məhlulun və InSe əsasında alınmış β - bərk məhlulun öz mayesi ilə tarazlıqda olan monovariant əyrilərlə hüdudlanmışdır. 0-30 mol % qatılıq intervalında olan sahədə mayedən α -bərk məhlulun ilkin kristalları çökür və likvidus əyrisindən aşağıda ($M + \alpha$)-dan ibarət ikifazlı sahə əmələ gəlir. 30-100 mol % qatılıq intervalında mayedən β -bərk məhlulun ilkin kristalları çökür və likvidus əyrisindən aşağıda ($M + \beta$)-dan ibarət ikifazlı sahə əmələ gəlir. Sistemdə InSb₂Se₃S əsasında otaq temperaturunda 10 mol

% InSe bərk məhlul sahəsi, InSe birləşməsi əsasında isə 3 mol % $\text{InSb}_2\text{Se}_3\text{S}$ bərk məhlul sahəsi müəyyən edilmişdir.



Şəkil 3. Sb_2S_3 - $\text{InSb}_2\text{Se}_3\text{S}$ sisteminin hal diaqramı.

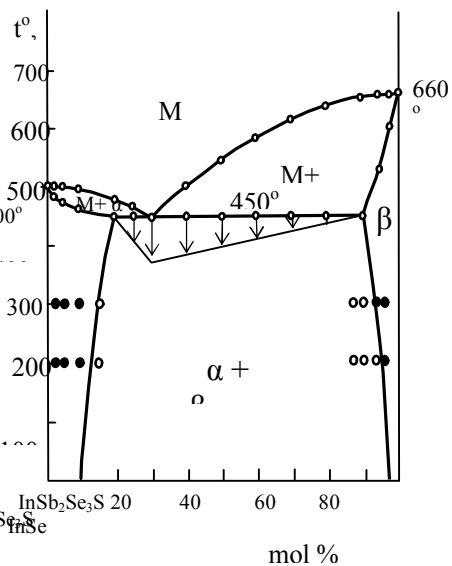
6. $\text{InSb}_2\text{S}_3\text{Se}$ - $\text{InSb}_2\text{Se}_3\text{S}$ sistemi. Fiziki-kimyəvi analizin nəticələrinə əsasən $\text{InSb}_2\text{S}_3\text{Se}$ - $\text{InSb}_2\text{Se}_3\text{S}$ sisteminin hal diaqramı qurulmuşdur. Müəyyən edilmişdir ki, sistemin hal diaqramı kvazibinar olub, sadə evtektik tiplidir.

Sistemin likvidusu α və β bərk məhlullarının monovariant tarazlıq ayrılıqları ilə hüdudlanmışdır. α və β fazalarının birgə kristallaşması ikili evtektikada başa çatır. Tamman üçbucağının qurulması yolu ilə tərkibi müəyyən edilmiş evtektikanın koordinatı 63 mol % $\text{InSb}_2\text{Se}_3\text{S}$, temperaturu isə, 425°C -dir. Sistemdə ilkin komponentlər əsasında kifayət qədər geniş həllolma sahəsi əmələ gəlir. Müəyyən edilmişdir ki, $\text{InSb}_2\text{S}_3\text{Se}$ əsasında bərk məhlul sahəsi 20 mol %, $\text{InSb}_2\text{Se}_3\text{S}$ birləşməsi əsasında isə 12 mol %-dir.

7. InSe - $\text{In}_3\text{Sb}_2\text{S}_3\text{Se}_3$ sistemi. InSe - $\text{In}_3\text{Sb}_2\text{S}_3\text{Se}_3$ sisteminin hal diaqramı qurulmuş və müəyyən edilmişdir ki, onun hal diaqramı qismən qeyri-kvazibinarlıdır. Sistemin likvidusu α və γ -bərk məhlullarının ilkin kristallaşma ayrılıqları ilə hüdudlanmışdır.

InSe birləşməsi əsasında əmələ gələn bərk məhlulun sahəsi 3,5 mol %, $\text{In}_3\text{Sb}_2\text{S}_3\text{Se}_3$ birləşməsi əsasında isə 12 mol % olduğu dəqiqləşdirilmişdir.

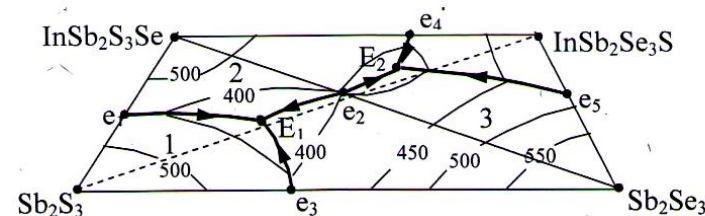
8. InS - $\text{InSb}_2\text{S}_3\text{Se}$ sistemi. InS - $\text{InSb}_2\text{S}_3\text{Se}$ sistemində kimyəvi qarşılıqlı təsir öyrənilməklə onun hal diaqramı qurulmuşdur. Müəyyən edilmişdir ki,



Şəkil 4. $\text{InSb}_2\text{Se}_3\text{S}$ - InSe sisteminin hal diaqramı.

sistemin hal diaqramı qismən qeyri-kvazibinarlıdır. Sistemdə evtektik tarazlıq və pritektik çevrilmə baş verir. Mikroquruluş analizi nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, $\text{InSb}_2\text{S}_3\text{Se}$ birləşməsi əsasında 10 mol % InS həll olduğu halda, InS birləşməsində bərk məhlul praktiki olaraq aşkar edilməmişdir.

9. In,Sb//S,Se üçlü qarşılıqlı sistemin bir hissəsi olan kvazidördlü Sb_2S_3 - $\text{InSb}_2\text{S}_3\text{Se}$ - $\text{InSb}_2\text{Se}_3\text{S}$ - Sb_2Se_3 sisteminin likvidus səthinin proyeksiyası



Şəkil 5. Sb_2S_3 - $\text{InSb}_2\text{S}_3\text{Se}$ - $\text{InSb}_2\text{Se}_3\text{S}$ - Sb_2Se_3 dördlü sisteminin likvidus səthinin proyeksiyası. 1- Sb_2S_3 , 2- $\text{InSb}_2\text{S}_3\text{Se}$, 3- Sb_2Se_3 və 4- $\text{InSb}_2\text{Se}_3\text{S}$.

Sb_2S_3 - $\text{InSb}_2\text{S}_3\text{Se}$ - $\text{InSb}_2\text{Se}_3\text{S}$ - Sb_2Se_3 kvazidördlü sisteminin likvidus səthinin proyeksiyasının qurulmasında aşağıdakı kəsiklər tədqiq edilmişdir: Sb_2S_3 - $\text{In}_3\text{Sb}_2\text{S}_3\text{Se}_3$, Sb_2Se_3 - $\text{In}_3\text{Sb}_2\text{S}_3\text{Se}_3$, $\text{InSb}_2\text{S}_3\text{Se}$ - $\text{InSb}_2\text{Se}_3\text{S}$, $\text{InSb}_2\text{S}_3\text{Se}$ - Sb_2Se_3 , Sb_2S_3 - $\text{InSb}_2\text{Se}_3\text{S}$.

Tədqiq edilmiş kəsiklərdən alınmış təcrübə məlumatlarına əsasən In,Sb//S,Se üçlü qarşılıqlı sistemin bir hissəsi olan Sb_2S_3 - $\text{InSb}_2\text{S}_3\text{Se}$ - $\text{InSb}_2\text{Se}_3\text{S}$ - Sb_2Se_3 kvazidördlü sistemin likvidus səthinin proyeksiyası qurulmuşdur. (şəkil 5). Sistemdə müxtəlif fazaların mono- və nonvariant tarazlıq reaksiyaları və temperaturları müəyyən edilmişdir.

Sb_2S_3 - $\text{InSb}_2\text{S}_3\text{Se}$ - $\text{InSb}_2\text{Se}_3\text{S}$ - Sb_2Se_3 kvazidördlü sisteminin likvidus səthi 4 fazanın ilkin kristallaşma sahəsindən ibarətdir: Sb_2S_3 , Sb_2Se_3 , $\text{InSb}_2\text{S}_3\text{Se}$ və $\text{InSb}_2\text{Se}_3\text{S}$. Kvazidördlü sistemdə Sb_2S_3 , Sb_2Se_3 və $\text{InSb}_2\text{S}_3\text{Se}$ fazalarının kristallaşma sahələri demək olar ki, bir-birinə çox yaxındır. Yalnız $\text{InSb}_2\text{Se}_3\text{S}$ birləşməsinin sahəsi kiçikdir.

Sb_2S_3 - $\text{InSb}_2\text{S}_3\text{Se}$ - $\text{InSb}_2\text{Se}_3\text{S}$ - Sb_2Se_3 dördlü sistemində 2 nonvariant evtektik tarazlıq prosesi baş verir (E_1 - E_2).

Dördüncü fəsildə In,Sb//S,Te üçlü qarşılıqlı sisteminin daxilində baş verən kimyəvi reaksiyaların təbiəti aydınlaşdırılmışdır. Bu məqsədlə aşağıdakı: InS - Sb_2Te_3 , $\text{In}_3\text{Sb}_2\text{S}_3\text{Te}_3$ - InTe , $\text{In}_3\text{Sb}_2\text{S}_3\text{Te}_3$ - Sb_2S_3 , InS - $\text{InSb}_2\text{S}_3\text{Te}$, Sb_2Te_3 - $\text{InSb}_2\text{S}_3\text{Te}$, InTe - $\text{InSb}_2\text{Te}_3\text{S}$, və $\text{InSb}_2\text{S}_3\text{Te}$ - $\text{InSb}_2\text{Te}_3\text{S}$ daxili kəsiklərində geniş qatılıq intervalında faza tarazlıqlarını öyrənməklə, onların T-x diaqramları qurulmuşdur.

1. InS - Sb_2Te_3 sistemi. InS - Sb_2Te_3 sistemi tədqiq edilmiş və onun faza diaqramı qurulmuşdur. Sistemin hal diaqramı qismən qeyri-kvazibinarlıdır.

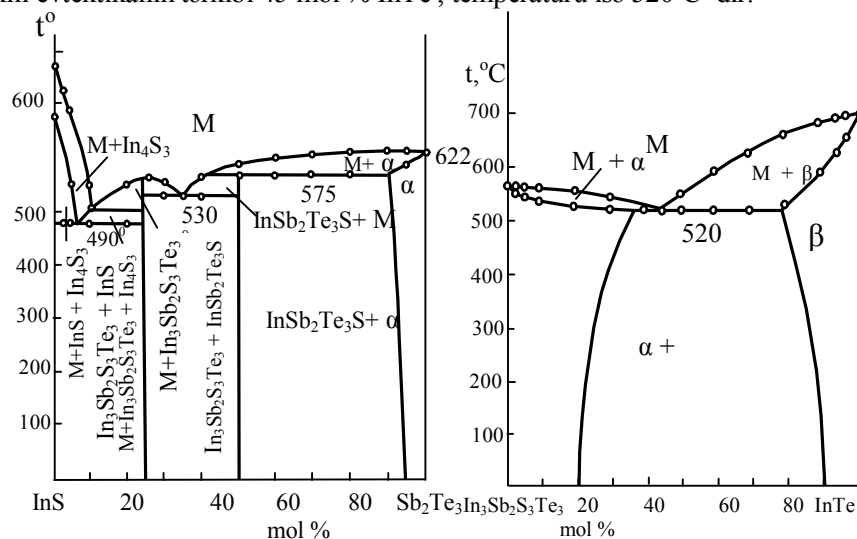
olub, evtektik tiplidir və iki dördlü $\text{In}_3\text{Sb}_2\text{S}_3\text{Te}_3$ və $\text{InSb}_2\text{Te}_3\text{S}$ birləşmələrinin əmələ gəlməsilə xarakterizə olunur (Şək.6). $\text{In}_3\text{Sb}_2\text{S}_3\text{Te}_3$ birləşməsi 560°C -də konqruent əriyir, $\text{InSb}_2\text{Te}_3\text{S}$ birləşməsi isə peritektik reaksiya vasitəsilə əmələ gəlir və 575°C -də inkonqruent əriyir.

Rentgenoqrafik analiz metodu vasitəsilə müəyyən edilmişdir ki, $\text{In}_3\text{Sb}_2\text{S}_3\text{Te}_3$ birləşməsi tetraqonal sinqoniyada kristallaşır və qəfəs parametrləri : $a = 12,35$; $c = 14,07 \text{ \AA}$; $Z=7$, $\rho_{\text{pik.}} = 5,72 \text{ q/sm}^3$, $\rho_{\text{rent.}} = 5,78 \text{ q/sm}^3$. Cədvəl 4.2-də $\text{In}_3\text{Sb}_2\text{S}_3\text{Te}_3$ birləşməsinin rentgenoqrafik analizlərinin nəticələri verilmişdir.

$\text{InSb}_2\text{Te}_3\text{S}$ birləşməsi də tetraqonal sinqoniyada kristallaşır və qəfəs parametrləri : $a = 9,95$; $c = 12,30 \text{ \AA}$; $Z=6$, $\rho_{\text{pik.}} = 6,12 \text{ q/sm}^3$, $\rho_{\text{rent.}} = 6,32 \text{ q/sm}^3$.

$\text{InS}-\text{Sb}_2\text{Te}_3$ sistemində otaq temperaturunda Sb_2Te_3 birləşməsi əsasında 6 mol % InS bərk məhlul sahəsi aşkar edilmişdir. $\text{In}_3\text{Sb}_2\text{S}_3\text{Te}_3$ və $\text{InSb}_2\text{Te}_3\text{S}$ birləşmələrinin birgə kristallaşması ikili evtektikada başa çatır, tərkibi 35 mol % Sb_2Te_3 temperaturu isə 530°C -dir.

2. $\text{In}_3\text{Sb}_2\text{S}_3\text{Te}_3 - \text{InTe}$ sistemi. $\text{In}_3\text{Sb}_2\text{S}_3\text{Te}_3-\text{InTe}$ sisteminin hal diaqramı kvazibinar olub, sadə evtektik tiplidir. Sistemin ilkin komponentləri əsasında məhdud sahədə bərk məhlul aşkar edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, otaq temperaturunda $\text{In}_3\text{Sb}_2\text{S}_3\text{Te}_3$ birləşməsi əsasında 20 mol % InTe həll olur, InTe əsasında isə bərk məhlul sahəsi 10 mol % InTe təşkil edir. Sistemdə əmələ gələn ikili evtektikanın tərkibi 45 mol % InTe , temperaturu isə 520°C -dir.



Şək.6. $\text{InS}-\text{Sb}_2\text{Te}_3$ sisteminin hal diaqramı.

Sistemdə 0-20 mol % InTe intervalında solidus xəttindən aşağıda α -faza kristallaşır. 90-100 mol % InTe intervalında solidus xəttindən aşağıda isə birləşməli β -faza kristallaşır. 80-90 mol % InTe qatılıq intervalında isə $(\alpha + \beta)$ -dan ibarət ikifazlı ərintilər kristallaşır.

3. $\text{InSb}_2\text{S}_3\text{Te} - \text{Sb}_2\text{Te}_3$ sistemi. $\text{InSb}_2\text{S}_3\text{Te} - \text{Sb}_2\text{Te}_3$ sisteminin faza diaqramı qurulmuş və müəyyən edilmişdir ki, sistem kvazibinar olub, evtektik tiplidir. Sistemdə ilkin komponentlər əsasında kifayət qədər bərk məhlul sahəsi aşkar edilmişdir. $\text{InSb}_2\text{S}_3\text{Te}$ birləşməsi əsasında alınmış bərk məhlulun sahəsi 13 mol % Sb_2Te_3 , həll olduğu halda, Sb_2Te_3 birləşməsi əsasında isə bərk məhlul sahəsi 3 mol % $\text{InSb}_2\text{S}_3\text{Te}$ təşkil edir.

Sistemdə $\text{InSb}_2\text{S}_3\text{Te}$ və Sb_2Te_3 birləşmələrinin birgə kristallaşması ikili evtektikada başa çatır. Evtektikanın tərkibi 30 mol % Sb_2Te_3 , temperaturu isə 420°C -dir. 0-30 mol % Sb_2Te_3 , qatılıq intervalında α -fazanın ilkin kristalları ayrılır. 30-100 mol % Sb_2Te_3 qatılıq intervalında β -bərk məhlulun ilkin kristalları çökür. 0-13 mol % Sb_2Te_3 intervalında solidus xəttindən aşağıda α -bərk məhlulun kristalları ayrılır. 87-97 mol% Sb_2Te_3 qatılıq intervalında solidus xəttindən aşağıda $(\alpha + \beta)$ -dan ibarət ikifazlı ərintilər kristallaşır.

4. $\text{Sb}_2\text{S}_3-\text{In}_3\text{Sb}_2\text{S}_3\text{Te}_3$ sistemi. $\text{Sb}_2\text{S}_3-\text{In}_3\text{Sb}_2\text{S}_3\text{Te}_3$ sistemində faza tarazlığı öyrənilmiş və onun hal diaqramı qurulmuşdur.

Müəyyən edilmişdir ki, $\text{Sb}_2\text{S}_3-\text{In}_3\text{Sb}_2\text{S}_3\text{Te}_3$ sistemində komponentlərin 2:1 nisbətində $\text{InSb}_2\text{S}_3\text{Te}$ tərkibli bir birləşmə əmələ gəlmişdir. $\text{InSb}_2\text{S}_3\text{Te}$ birləşməsi 450°C temperaturda konqruent əriyir və rombik sinqoniyada kristallaşır və qəfəs parametrləri : $a = 9,045$; $b = 11,36$; $c = 10,14 \text{ \AA}$; $Z=6$, $\rho_{\text{pik.}} = 5,52 \text{ q/sm}^3$, $\rho_{\text{rent.}} = 5,56 \text{ q/sm}^3$ -dir.

Sistemdə iki ikili evtektikanın yeri müəyyən edilmişdir. Evtektikanın tərkibləri uyğun olaraq 25 mol % $\text{In}_3\text{Sb}_2\text{S}_3\text{Te}_3$ və 60 mol % $\text{In}_3\text{Sb}_2\text{S}_3\text{Te}_3$ təşkil edir. Müəyyən edilmişdir ki, $\text{Sb}_2\text{S}_3-\text{In}_3\text{Sb}_2\text{S}_3\text{Te}_3$ sistemində otaq temperaturunda Sb_2S_3 əsasında 3 mol % həll $\text{In}_3\text{Sb}_2\text{S}_3\text{Te}_3$ olur, $\text{In}_3\text{Sb}_2\text{S}_3\text{Te}_3$ əsasında isə 17 mol % Sb_2S_3 həll olur.

5. $\text{InTe}-\text{InSb}_2\text{Te}_3\text{S}$ sistemi. $\text{InTe}-\text{InSb}_2\text{Te}_3\text{S}$ sisteminin faza diaqramı qismən kvazibinar olub, evtektik tarazlıq və peritektik çevirmə ilə xarakterizə edilir. InTe və Sb_2Te_3 birləşmələrinin mayedən birgə kristallaşması 60 mol % $\text{InSb}_2\text{Te}_3\text{S}$ tərkibinə uyğun gəlir. Peritektik çevirmə 500°C -də baş verir. Sistemdə ilkin komponentlər əsasında bərk məhlul sahələri praktik olaraq aşkar edilməmişdir. 0-60 mol % $\text{InSb}_2\text{Te}_3\text{S}$ qatılıq intervalında likvidus xəttindən aşağıda InTe birləşməsinin ilkin kristallaşması baş verir, daha sonra ikifazlı sahə $(\text{M} + \text{InTe})$ əmələ gəlir. Təkrar çökmə nəticəsində likvidus xəttindən aşağıda üçfazlı sahələr əmələ gəlir $(\text{M} + \text{InTe} + \text{Sb}_2\text{Te}_3)$ və $(\text{M} + \text{InSb}_2\text{Te}_3\text{S} + \text{Sb}_2\text{Te}_3)$. Solidus xəttindən aşağıda

Şək.7. $\text{In}_3\text{Sb}_2\text{S}_3\text{Te}_3 - \text{InTe}$ sisteminin hal diaqramı.

500°C-də iki üçfazlı sahələrdə $M + Sb_2Te_3 \leftrightarrow InSb_2Te_3S$ reaksiyası üzrə peritektik çevrilmə nəticəsində solidus xəttindən aşağıda ikifazlı ($InTe + InSb_2Te_3S$) ərintilər kristallaşırlar.

6. $InSb_2S_3Te - InSb_2Te_3S$ sistemi. $InSb_2S_3Te - InSb_2Te_3S$ sistemində kimyəvi qarşılıqlı təsir öyrənilmiş və onun faza diaqramı qurulmuşdur. Sistemin hal diaqramı qismən qeyri- kvazibinar olub, evtektik tarazlıq və peritektik çevrilmələrlə müşayiət olunur. $InSb_2S_3Te$ birləşməsi əsasında geniş sahədə α – bərk məhlulu aşkar edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, sistemdə $InSb_2S_3Te$ əsasında otaq temperaturunda 20 mol %, 380°C-də isə 40 mol % həllolma baş verir. $InSb_2S_3Te - InSb_2Te_3S$ sisteminin likvidusu $InSb_2S_3Te$ birləşməsi əsasında əmələ gələn məhlulun və Sb_2Te_3 birləşməsinin öz mayesi ilə tarazlıqda olan monovariant tarazlıq əyriləri ilə hüdudlanmışdır. α -bərk məhlulu ilə Sb_2Te_3 birləşməsi 50 mol % $InSb_2Te_3S$ tərkibdə ikili evtektika əmələ gətirir və temperaturu 405°C-dir.

Sistemdə 380°C-də peritektik çevrilmə nəticəsində $M + Sb_2Te_3$ tərkibdən $InSb_2Te_3S$ birləşməsi əmələ gəlir. Nəticədə solidus xəttindən aşağıda ($\alpha + InSb_2Te_3S$)-dən ibarət ikifazlı ərintilər kristallaşırlar.

7. $InS - InSb_2S_3Te$ sistemi. $InS - InSb_2S_3Te$ sistemində komponentlər arasında faza tarazlığı öyrənilmiş və onun hal diaqramı qurulmuşdur. Sistemin hal diaqramı qismən qeyri-kvazibinar olub, evtektik tarazlıq və peritektik çevrilmələrlə müşayiət olunur. Sistemdə yalnız $InSb_2S_3Te$ birləşməsi əsasında 3 mol % InS həll olur. Sistemin likvidusu InS və $InSb_2S_3Te$ birləşməsi əsasında əmələ gələn α – bərk məhlulun ilkin kristallaşma əyriləri ilə hüdudlanmışdır. InS birləşməsi aşağıda kimi parçalanır $InS \leftrightarrow M + In_4S_3$ və nəticədə solidus xəttindən yuxarıda üçfazlı sayələr əmələ gəlir. Sistemdə 0-80 mol % $InSb_2S_3Te$ qatılıq intervalında In_4S_3 birləşməsinin ilkin kristal çökməyə başlayır. Peritektik çevrilmə nəticəsində $M + In_4S_3 \leftrightarrow InS$ birləşməsi əmələ gəlir. InS birləşməsinin ilkin kristallarının mayedən çökməsi 0-77 mol % $InSb_2S_3Te$ qatılıq intervalında baş verir.

8. $Sb_2S_3 - InSb_2Te_3S$ sistemi. $Sb_2S_3 - InSb_2Te_3S$ sistemi $Sb_2S_3 - InSb_2S_3Te - Sb_2Te_3$ və $InSb_2S_3Te - In_3Sb_2S_3Te_3 - Sb_2Te_3$ tabeli üçbucaqlarının sahəsindən keçdiyi üçün qeyri-kvazibinardır. $Sb_2S_3 - InSb_2Te_3S$ kəsiyini şərti olaraq iki hissəyə ayırmaq olar.

Birinci sahə $Sb_2S_3 - InSb_2Te_3S$ kəsiyinin $Sb_2S_3 - InSb_2S_3Te - Sb_2Te_3$ üçbucağının sahəsindən keçən hissəsidir. İkinci hissə isə $Sb_2S_3 - InSb_2S_3Te - Sb_2Te_3$ -dir. $Sb_2S_3 - InSb_2Te_3S$ likvidusu Sb_2S_3 birləşməsinin, $InSb_2S_3Te$, Sb_2Te_3 və $InSb_2Te_3S$ birləşməsinin ilkin kristallaşma əyriləri ilə əhatə edilmişdir.

0-25 mol % qatılıq intervalında mayedən Sb_2S_3 birləşməsinin ilkin kristalları ayrılır. Bu sahədə təkrar kristallaşma nəticəsində ($M + Sb_2S_3 + InSb_2S_3Te$) ibarət sahə əmələ gəlir.

30-70 mol % $InSb_2Te_3S$ intervalında likvidus xəttindən aşağıda mayedən Sb_2Te_3 birləşməsinin ilkin kristalları ayrılır. Təkrar çökmə nəticəsində likvidus xəttindən aşağıda $M + Sb_2Se_3 + InSb_2S_3Se$ –dən ibarət üçfazlı ərintilər kristallaşırlar. 60-100 mol % $InSb_2Te_3S$ intervalında solidus xəttindən aşağıda ($InSb_2Te_3S + Sb_2Te_3 + InSb_2S_3Te$) –dən ibarət üçfazlı ərintilər kristallaşırlar.

9. $Sb_2S_3 - In_3Sb_2S_3Te_3 - Sb_2Te_3$ kvaziüçlü sisteminin likvidus səthinin proyeksiyası

$Sb_2S_3 - In_3Sb_2S_3Te_3 - Sb_2Te_3$ kvaziüçlü sistemi $In, Sb // S, Te$ dördlü sisteminin bir hissəsidir. $Sb_2S_3 - In_3Sb_2S_3Te_3 - Sb_2Te_3$ kvaziüçlü sistemin likvidus səthinin proyeksiyasını qurmaq üçün aşağıdakı kəsiklər öyrənilmişdir: $In - Sb_3Te_3$, $In_3Sb_2S_3Te_3 - InTe$, $InSb_2S_3Te - Sb_2Te_3$, $Sb_2S_3 - In_3Sb_2S_3Te_3$, $InTe - InSb_2Te_3S$, $InSb_2S_3Te - InSb_2Te_3S$, $InS - InSb_2S_3Te$ və $Sb_2S_3 - InSb_2Te_3S$.

Tədqiq edilmiş kvazibinar və qeyri-kvazibinar kəsiklər hesabına alınmış təcrübi nəticələrə əsasən $Sb_2S_3 - In_3Sb_2S_3Te_3 - Sb_2Te_3$ kvaziüçlü sisteminin likvidus səthinin proyeksiyası qurulmuşdur (şək.8).

$Sb_2S_3 - In_3Sb_2S_3Te_3 - Sb_2Te_3$ kvaziüçlü sisteminin likvidus səthi 5 fazanın kristallaşma sahəsindən ibarətdir: Sb_2S_3 , Sb_2Te_3 , $InSb_2S_3Te$, $In_3Sb_2S_3Te_3$ və $InSb_2Te_3S$. Kvaziüçlü sisteminin likvidus səthinin proyeksiyasında ən çox kristallaşma sahəsinə malik Sb_2Te_3 və $In_3Sb_2S_3Te_3$ fazalarıdır.

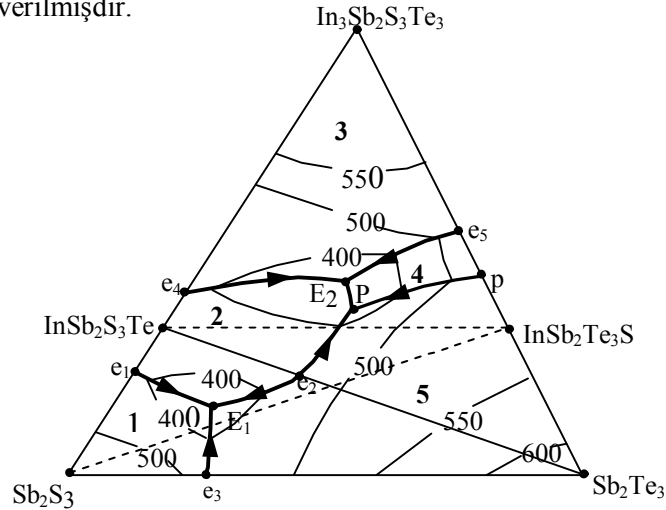
$Sb_2S_3 - In_3Sb_2S_3Te_3 - Sb_2Te_3$ kvaziüçlü sistemində 3 nonvariant tarazlıq prosesi baş verir ki, bunlardan ikisi ($E_1 - E_2$) evtektik, biri isə peritektikdir (P).

Cədvəl 3.11-də $Sb_2S_3 - In_3Sb_2S_3Te_3 - Sb_2Te_3$ sistemində monovariant və nonvariant tarazlıq reaksiyaları və onların temperatur şəraitləri verilmişdir.

Cədvəl 3.11 $Sb_2S_3 - InSb_2S_3Te - Sb_2Te_3$ kvaziüçlü sistemində monovariant və nonvariant tarazlıqlar

Monovariant və nonvariant tarazlıqlar	Reaksiyalar	Temperatur, °C
e_1E_1	$M \leftrightarrow Sb_2S_3 + InSb_2S_3Te$	415-355
$E_1e_2E_2$	$M \leftrightarrow InSb_2S_3Te + Sb_2Te_3$	355-420-360
e_3E_1	$M \leftrightarrow Sb_2S_3 + Sb_2Te_3$	500-355
e_4E_2	$M \leftrightarrow InSb_2S_3Te + In_3Sb_2S_3Te_3$	425-360
e_5E_2	$M \leftrightarrow InSb_2Te_3S + In_3Sb_2S_3Te_3$	530-360
pP	$M \leftrightarrow Sb_2Te_3 + InSb_2Te_3S$	575-380
E_1	$M \leftrightarrow InSb_2S_3Te + Sb_2S_3 + Sb_2Te_3$	355
E_2	$M \leftrightarrow InSb_2S_3Te + In_3Sb_2S_3Te_3 + Sb_2Te_3$	360
P	$M + Sb_2Te_3 \leftrightarrow InSb_2S_3Te + In_3Sb_2S_3Te_3$	380

Beləliklə, kvazibinar kəsiklər hesabına Sb_2S_3 - $In_3Sb_2S_3Te_3$ - Sb_2Te_3 kvaziüçlü sistemi iki tabeli qatılıq üçbucaqlarına bölünmüşdür. Hər bir tabeli qatılıq üçbucağında kimyəvi qarşılıqlı təsirin xarakteri qısa şəkildə aşağıda verilmişdir.



Şək.8. Sb_2S_3 - $In_3Sb_2S_3Te_3$ - Sb_2Te_3 kvaziüçlü sisteminin likvidus səthinin proyeksiyası. 1- Sb_2S_3 , 2- $In_3Sb_2S_3Te_3$, 3- Sb_2Te_3 , 4 - $InSb_2S_3Te$ və 5- $InSb_2Te_3S$.

Sb_2S_3 - $InSb_2S_3Te$ - Sb_2Te_3 kvaziüçlü sistemi E_1 , E_2 üçlü evtektik və beş ikili evtektik tarazlıq nöqtəsi ilə xarakterizə olunur. $InSb_2S_3Se$ - $InSb_2Se_3S$ - Sb_2Se_3 kvaziüçlü sistemində isə bir üçlü evtektik E_2 və bir peritektik (P) nonvariant tarazlıq nöqtəsi müəyyən edilmişdir. Sb_2S_3 - $InSb_2S_3Te$ - Sb_2Te_3 kvaziüçlü sistemində 5 fazanın kristallaşma sahəsi dəqiqləşdirilmişdir. Sistemdə 9 tarazlıq reaksiyaları müəyyən edilmişdir.

Sb_2S_3 - $In_3Sb_2S_3Te_3$ - Sb_2Te_3 kvaziüçlü sistemdə Sb_2S_3 birləşməsinin kristallaşma sərhədi e_1E_1 , e_3E_1 monovariant tarazlıq əyriləri ilə hüdudlanmışdır. $InSb_2S_3Te$ birləşməsinin kristallaşma sərhədi e_1E_1 , e_2E_1 , e_2P , PE_2 və e_4E_2 monovariant tarazlıq əyriləri ilə hüdudlanmışdır. Sistemdə $In_3Sb_2S_3Te_3$ birləşməsinin kristallaşma sahəsi kifayət qədər böyükdür. Onun kristallaşma sərhədi e_4E_2 və e_5E_2 monovariant tarazlıq əyriləri ilə əhatə olunmuşdur. $InSb_2Te_3S$ birləşməsinin kristallaşma sahəsi pP , PE_2 və e_3E_2 monovariant tarazlıq əyriləri ilə əhatə olunmuşdur. Sistemdə daha çox kristallaşma sahəsi Sb_2Te_3 birləşməsinin payına düşür. Sb_2Te_3 birləşməsinin kristallaşma sərhədi pP , e_2P , e_2E_1 və e_3E_1 monovariant tarazlıq əyriləri ilə hüdudlanmışdır.

Beşinci fəsilə $In,Sb//S,Se(Te)$ dördlü sistemlərində alınmış bərk məhlulların elektrik keçiriciliyinin, termoelektrik hərəkət qüvvəsinin və

xüsusi müqavimətlərinin temperatur asılılıqları verilmişdir.

Məlumdur ki, indium xalkogenidləri və onlar əsasında alınmış bərk məhlul ərintiləri görünən dalğa sahəsində fətohəssas yarımkeçirici materiallar olub, elektron texnikasının müxtəlif sahələrində istifadə olunurlar.

Stibium xalkogenidləri və onlar əsasında alınmış yeni fazalar fətohəssas materiallar olmaqla bərabər, onlar termoelektrik materiallar kimi enerji çeviricilərində geniş istifadə olunurlar.

Bu nöqteyi-nəzərdən $In,Sb//S,Se(Te)$ dördlü sistemlərində alınan yeni fazaların və bərk məhlulların elektrik, termoelektrik və fətoelektrik xassələrinin öyrənilməsi elmi və praktiki cəhətdən çox əhəmiyyətlidir.

$(Sb_2S_3)_{1-x}(InSe)_x$ ($x=0,01; 0,02; 0,03$) bərk məhlul ərintiləri Sb_2S_3 və $InSe$ komponentlərindən sintez edilmiş və $400^\circ C$ -də 220 saat müddətində homogenləşdirilmişdir. Daha sonra $(Sb_2S_3)_{1-x}(InSe)_x$ ($x=0,01; 0,02; 0,03$) tərkibli nümunələrin elektrik keçiriciliyinin (σ), termoelektrik hərəkət qüvvəsinin (α) və xüsusi müqavimətinin temperatur asılılığı öyrənilmişdir. Nümunələrin elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığı kompensasiya metodu ilə ölçülmüşdür.

Sb_2S_3 -ə 1 mol % $InSe$ əlavə etdikdə elektrik keçiriciliyi otaq temperaturunda $\sigma = 3,55 \cdot 10^{-8} \text{ Om}^{-1} \cdot \text{sm}^{-1}$, $220^\circ C$ -də $\sigma = 1,51 \cdot 10^{-7} \text{ Om}^{-1} \cdot \text{sm}^{-1}$ qiymətini alır. 2 və 3 mol % $InSe$ tərkibli bərk məhlul ərintilərinin elektrik keçiriciliyi də yarımkeçirici maddələrə xas olub, temperaturdan asılı olaraq artır. 2 və 3 mol % $InSe$ ərintilərin elektrik keçiriciliyi otaq temperaturunda uyğun olaraq $\sigma = 3,8 \cdot 10^{-8} \text{ Om}^{-1} \cdot \text{sm}^{-1}$, $\sigma = 4,27 \cdot 10^{-8} \text{ Om}^{-1} \cdot \text{sm}^{-1}$, $220^\circ C$ -də isə uyğun olaraq $\sigma = 1,66 \cdot 10^{-7} \text{ Om}^{-1} \cdot \text{sm}^{-1}$ və $\sigma = 2,0 \cdot 10^{-7} \text{ Om}^{-1} \cdot \text{sm}^{-1}$ qiymətlərini alır. Elektrik keçiriciliyi 20 - $120^\circ C$ temperatur intervalında nisbətən zəif artır və bu intervalda keçiricilik aşqar keçiriciliyə uyğun gəlir. Temperaturun yuxarı qiymətində (110 - $220^\circ C$) isə keçiricilik nəzərə çarpacaq qədər artır və bu keçiricilik məxsusi keçiriciliyə uyğundur. Otaq temperaturunda 1, 2 və 3 mol % $InSe$ tərkibli nümunələrin termo-e.h.q.-nin qiyməti tərkibdən asılı olaraq $\alpha = 10 \cdot 10^{-4} \text{ V/dər}$, $\alpha = 10,3 \cdot 10^{-4} \text{ V/dər}$ və $\alpha = 10,5 \cdot 10^{-4} \text{ V/dər}$ təşkil edir.

$(Sb_2S_3)_{1-x}(InTe)_x$ ($x=0,01; 0,02; 0,03$) tərkibli bərk məhlul ərintilərinin elektrik keçiriciliyinin (σ), termoelektrik hərəkət qüvvəsinin (α) və xüsusi müqavimətinin temperatur asılılığı öyrənilmişdir.

1, 2 və 3 mol % $InTe$ nümunələrinin elektrik keçiriciliyi otaq temperaturunda uyğun olaraq $\sigma = 3,98 \cdot 10^{-8} \text{ Om}^{-1} \cdot \text{sm}^{-1}$, $\sigma = 4,68 \cdot 10^{-8} \text{ Om}^{-1} \cdot \text{sm}^{-1}$, $\sigma = 5,38 \cdot 10^{-8} \text{ Om}^{-1} \cdot \text{sm}^{-1}$ qiymətlərini alır, $250^\circ C$ -də isə uyğun olaraq $\sigma = 2 \cdot 10^{-7} \text{ Om}^{-1} \cdot \text{sm}^{-1}$ və $\sigma = 2,57 \cdot 10^{-7} \text{ Om}^{-1} \cdot \text{sm}^{-1}$ qiymətlərini alır.

$(Sb_2S_3)_{1-x}(InTe)_x$ bərk məhlul ərintilərinin bu intervalında temperaturdan asılı olaraq termoelektrik hərəkət qüvvəsinin qiyməti azalır, tərkibdən asılı olaraq isə artır. 1, 2 və 3 mol % $InTe$ tərkibli nümunələrin otaq

temperaturunda termo-e.h.q.-nin qiyməti uyğun olaraq, $\alpha = 10,60 \cdot 10^{-4}$ V/dər, $\alpha = 10,80 \cdot 10^{-4}$ V/dər və $\alpha = 11,20 \cdot 10^{-4}$ V/dər təşkil edir. 250°C temperaturda isə nümunələrin termo-e.h.q.-nin qiymətləri uyğun olaraq $\alpha = 12,14 \cdot 10^{-4}$ V/dər, $\alpha = 12,28 \cdot 10^{-4}$ V/dər və $\alpha = 12,72 \cdot 10^{-4}$ V/dər qiymətlər alır.

Otaq temperaturunda 1, 2 və 4 mol % InTe tərkibli ərintilərinin xüsusi müqaviməti uyğun olaraq, $\rho = 2,51 \cdot 10^7$ Om·sm, $\rho = 2,14 \cdot 10^7$ Om·sm və $\rho = 1,86 \cdot 10^7$ Om·sm qiymətlərini alır

(Sb₂Se₃)_{1-x}(InS)_x (x= 0,01; 0,02; 0,03) tərkibli nümunələrin elektrik keçiriciliyinin (σ), termoelektrik hərəkət qüvvəsinin (α) və xüsusi müqavimətinin temperatur asılılığı öyrənilmişdir.

Otaq temperaturunda 1, 2 və 3 mol % InS tərkibli nümunələrin elektrik keçiriciliyinin qiymətləri uyğun olaraq $\sigma = 1,02 \cdot 10^{-6}$ Om⁻¹·sm⁻¹, $\sigma = 1,48 \cdot 10^{-6}$ Om⁻¹·sm⁻¹ və $\sigma = 1,78 \cdot 10^{-6}$ Om⁻¹·sm⁻¹-dir. 230°C –də onların qiyməti uyğun olaraq $\sigma = 3,02 \cdot 10^{-5}$ Om⁻¹·sm⁻¹, $\sigma = 3,81 \cdot 10^{-5}$ Om⁻¹·sm⁻¹ və $\sigma = 5,01 \cdot 10^{-5}$ Om⁻¹·sm⁻¹ olmuşdur.

Temperaturun yuxarı qiymətlərində (100-110°C) termo-e.h.q.-nin maksimal qiyməti 1, 2 və 3 mol % InS tərkibli ərintilər üçün uyğun olaraq, $\alpha = 17,5 \cdot 10^{-4}$ V/dər, $19,0 \cdot 10^{-4}$ V/dər və $20,2 \cdot 10^{-4}$ V/dər-dir. Otaq temperaturunda 1 və 2 mol % InS tərkibli nümunələrin termo-e.h.q.-nin qiyməti tərkibdən asılı olaraq artır $\alpha = 12,5 \cdot 10^{-4}$ V/dər, $15,3 \cdot 10^{-4}$ V/dər. 3 mol % InS tərkibli ərintinin qanunauyğunluqdan kənara çıxması baş verir. Otaq temperaturunda onun termo-e.h.q.-nin qiyməti $\alpha = 14 \cdot 10^{-4}$ V/dər-dur. Yuxarı temperaturda isə 3 mol % InS tərkibli ərintinin termo-e.h.q.-nin qiyməti daha çoxdur. 230°C-də 1, 2 və 3 mol % InS tərkibli ərintilər üçün termo-e.h.q.-nin qiyməti uyğun olaraq, $\alpha = 14,5 \cdot 10^{-4}$ V/dər, $10,0 \cdot 10^{-4}$ V/dər və $16,8 \cdot 10^{-4}$ V/dər olmuşdur və kənara çıxma müşahidə edilməmişdir.

Hər üç nümunənin otaq temperaturunda xüsusi müqavimətinin qiymətləri uyğun olaraq, aşağıdakı qiymətləri almışdır: $\rho = 9,79 \cdot 10^5$ Om·sm, $\rho = 6,74 \cdot 10^5$ Om·sm və $\rho = 5,61 \cdot 10^5$ Om·sm, 250°C-də isə uyğun olaraq $\rho = 3,31 \cdot 10^4$ Om·sm, $\rho = 2,61 \cdot 10^4$ Om·sm, $\rho = 1,99 \cdot 10^4$ Om·sm-dir.

(Sb₂Se₃)_{1-x}(InSe)_x (x= 0,01; 0,02; 0,03) tərkibli bərk məhlul nümunələrin elektrik keçiriciliyinin (σ), termoelektrik hərəkət qüvvəsinin (α) və xüsusi müqavimətinin temperatur asılılığı öyrənilmişdir.

Sb₂Se₃ birləşməsinə 1 mol % InSe əlavə etdikdə otaq temperaturunda elektrik keçiriciliyi $\sigma = 1,59 \cdot 10^{-6}$ Om⁻¹·sm⁻¹-dən, $\sigma = 4,79 \cdot 10^{-5}$ Om⁻¹·sm⁻¹-ə qədər artmışdır. Hər üç nümunədə 20-100°C temperatur intervalında aşqar keçiricilik baş verir. Temperaturun yuxarı qiymətində məxsusi keçiricilik başlayır və elektrik keçiriciliyi artmağa başlayır. 2 və 3 mol % InSe tərkibli ərintilərin otaq temperaturunda elektrik keçiriciliyi uyğun

olaraq, $\sigma = 2,0 \cdot 10^{-6}$ Om⁻¹·sm⁻¹, $\sigma = 2,83 \cdot 10^{-6}$ Om⁻¹·sm⁻¹, 250°C-də isə $\sigma = 3,81 \cdot 10^{-5}$ Om⁻¹·sm⁻¹, $\sigma = 9,89 \cdot 10^{-5}$ Om⁻¹·sm⁻¹ olmuşdur.

InSe birləşməsinə 1; 2 və 3 mol % InSe əlavə etdikdə ərintilərinin otaq temperaturunda termo-e.h.q.-nin qiyməti uyğun olaraq $\alpha = 14 \cdot 10^{-4}$ V/dər, $\alpha = 15,81 \cdot 10^{-4}$ V/dər və $\alpha = 17,5 \cdot 10^{-4}$ V/dər olmuşdur, 230°C temperaturda isə uyğun olaraq, $\alpha = 16,1 \cdot 10^{-4}$ V/dər, $\alpha = 17,4 \cdot 10^{-4}$ V/dər və $\alpha = 18,0 \cdot 10^{-4}$ V/dər qiymətləri alır.

1 mol % InSe nümunəsinin xüsusi müqaviməti 20-250°C temperatur intervalında $\rho = 6,28 \cdot 10^5$ Om·sm –dən, $\rho = 2,09 \cdot 10^5$ Om·sm-ə qədər azalmışdır. 2 və 3 mol % InSe nümunələrinin xüsusi müqavimətləri otaq temperaturunda uyğun olaraq, $\rho = 5 \cdot 10^5$ Om·sm, $\rho = 3,54 \cdot 10^5$ Om·sm-dir,

(Sb₂Se₃)_{1-x}(InTe)_x (x= 0,01; 0,02; 0,03) tərkibli bərk məhlul nümunələrin elektrik keçiriciliyinin (σ), termoelektrik hərəkət qüvvəsinin (α) və xüsusi müqavimətinin temperatur asılılığı öyrənilmişdir. Sb₂Se₃ birləşməsinə aşağı müqavimətli InTe birləşməsi əlavə etdikdə tərkibdən asılı olaraq ərintilərin elektrik keçiriciliyi artır.

1 mol % InTe tərkibli ərintinin elektrik keçiriciliyinin otaq temperaturunda qiyməti $\sigma = 2,4 \cdot 10^{-6}$ Om⁻¹·sm⁻¹, 230°C-də isə onun qiyməti $\sigma = 5,01 \cdot 10^{-5}$ Om⁻¹·sm⁻¹-dir. 2 mol % InTe tərkibli ərintinin elektrik keçiriciliyi bir qədər artmışdır, onun otaq temperaturunda $\sigma = 3,18 \cdot 10^{-6}$ Om⁻¹·sm⁻¹-dən $\sigma = 6,31 \cdot 10^{-5}$ Om⁻¹·sm⁻¹-ə qədər artmışdır. 3 mol % InTe tərkibli ərintinin elektrik keçiriciliyi otaq temperaturunda $3,98 \cdot 10^{-6}$ Om⁻¹·sm⁻¹ və 230°C-də $8,91 \cdot 10^{-5}$ -dir. Ərintilərin elektrik keçiriciliyi 20-230°C-temperatur intervalında bir tərtibdən bir qədər artıq olmuşdur.

Temperaturun sonrakı artımı termo-e.h.q.-nin azalmasına səbəb olur. Hər üç tərkib üçün termo-e.h.q.-nin qiymətinin maksimal qiyməti uyğun olaraq $\alpha = 18,5 \cdot 10^{-4}$ V/dər, $\alpha = 20,0 \cdot 10^{-4}$ V/dər və $\alpha = 21,4 \cdot 10^{-4}$ V/dər olmuşdur. Bu maksimum qiymətlərdən sonra termo-e.h.q.-nin qiymətinin azalması (Sb₂Se₃)_{1-x}(InTe)_x (x= 0,01; 0,02; 0,03) bərk məhlul ərintilərini üçün $\alpha = 17,3$ V/dər, $\alpha = 18,2 \cdot 10^{-4}$ V/dər və $\alpha = 18,6 \cdot 10^{-4}$ V/dər olmuşdur. Otaq temperaturunda həmin tərkiblər üçün termo-e.h.q.-nin qiymətinin qiymətləri uyğun olaraq $\alpha = 14,5 \cdot 10^{-4}$ V/dər, $\alpha = 16,85 \cdot 10^{-4}$ V/dər və $\alpha = 18,1 \cdot 10^{-4}$ V/dər olmuşdur.

Otaq temperaturunda 1; 2 və 3 mol % InTe tərkibli ərintilərin xüsusi müqavimətləri $\rho = 4,18 \cdot 10^5$ Om·sm, $\rho = 3,15 \cdot 10^5$ və $\rho = 2,51 \cdot 10^5$ Om·sm, 230°C-də isə $\rho = 1,99 \cdot 10^4$ Om·sm, $\rho = 1,58 \cdot 10^4$ və $\rho = 1,12 \cdot 10^4$ Om·sm olmuşdur.

Bu sistemlərdə əmələ gələn bərk məhlul ərintilərinin bəzi fiziki xassələri müqayisə üçün cədvəl 5.1-də verilmişdir.

Cədvəl 2. Sb₂S₃-InSe(InTe) və Sb₂Se₃-InS(InSe,InTe) sistemlərində bərk məhlul ərintilərinin otaq temperaturunda bəzi fiziki-kimyəvi xassələri

Əritilərin tərkibi, mol %	Elektrik keçiriciliyi, σ , Om ⁻¹ .sm ⁻¹	Termo-e.h.q.-si əmsalı, α , V/dər.	Xüsusi müqavimət ρ , Om.sm	Keçiriciliyin tipi
99% Sb ₂ S ₃ - 1% InSe	$3,55 \cdot 10^{-8}$	$10 \cdot 10^{-4}$	$3,01 \cdot 10^7$	p
98% Sb ₂ S ₃ - 2% InSe	$3,8 \cdot 10^{-8}$	$10,3 \cdot 10^{-4}$	$2,81 \cdot 10^7$	p
97% Sb ₂ S ₃ - 3% InSe	$4,27 \cdot 10^{-8}$	$10,5 \cdot 10^{-4}$	$2,51 \cdot 10^7$	p
99% Sb ₂ S ₃ - 1% InTe	$3,98 \cdot 10^{-8}$	$10,60 \cdot 10^{-4}$	$2,51 \cdot 10^7$	p
98% Sb ₂ S ₃ - 2% InTe	$4,68 \cdot 10^{-8}$	$10,80 \cdot 10^{-4}$	$2,14 \cdot 10^7$	p
97% Sb ₂ S ₃ - 3% InTe	$5,38 \cdot 10^{-8}$	$11,20 \cdot 10^{-4}$	$1,86 \cdot 10^7$	p
99% Sb ₂ Se ₃ - 1% InS	$1,02 \cdot 10^{-6}$	$12,5 \cdot 10^{-4}$	$9,79 \cdot 10^5$	p
98% Sb ₂ Se ₃ - 2% InS	$1,48 \cdot 10^{-6}$	$15,3 \cdot 10^{-4}$	$6,74 \cdot 10^5$	p
97% Sb ₂ Se ₃ - 3% InS	$1,78 \cdot 10^{-6}$	$14 \cdot 10^{-4}$	$5,61 \cdot 10^5$	p
99% Sb ₂ Se ₃ - 1% InSe	$1,59 \cdot 10^{-6}$	$14 \cdot 10^{-4}$	$6,28 \cdot 10^5$	p
98% Sb ₂ Se ₃ - 2% InSe	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$15,810^{-4}$	$5,0 \cdot 10^5$	p
97% Sb ₂ Se ₃ - 3% InSe	$2,83 \cdot 10^{-6}$	$17,5 \cdot 10^{-4}$	$3,54 \cdot 10^5$	p
99% Sb ₂ Se ₃ -1% InTe	$2,40 \cdot 10^{-6}$	$14,5 \cdot 10^{-4}$	$4,18 \cdot 10^5$	p
98% Sb ₂ Se ₃ - 2% InTe	$3,18 \cdot 10^{-6}$	$16,85 \cdot 10^{-4}$	$3,15 \cdot 10^5$	p
97% Sb ₂ Se ₃ - 3% InTe	$3,98 \cdot 10^{-6}$	$18,1 \cdot 10^{-4}$	$2,51 \cdot 10^5$	p

Cədvəl 2-dən görüldüyü kimi Sb₂S₃-InSe(InTe) və Sb₂Se₃-InS(InSe,InTe) sistemlərində otaq temperaturunda bərk məhlul ərintilərinin S→Se→Te keçidində elektrik keçiriciliyi $\sigma = 3,55 \cdot 10^{-8}$ Om⁻¹.sm⁻¹-dən $\sigma = 3,98 \cdot 10^{-6}$ Om⁻¹.sm⁻¹ qədər artmışdır. S→Se→Te sırasında kükürddən tellura getdikcə ion radiuslarının böyüməsi nəticəsində elektronlar nüvədən uzaqlaşır və elektronların asan qopması baş verir, bununla əlaqədar olaraq elektronlar keçiricilikdə iştirak edir və elektrik keçiriciliyi qanunauyğun olaraq artır.

Buna uyğun olaraq xüsusi müqavimət $\rho = 3,01 \cdot 10^7$ Om.sm-dən, $\rho = 2,51 \cdot 10^5$ Om.sm qədər iki tərtib azalır. Cədvəl 5.1-dən görüldüyü kimi termoelektrik hərəkət qüvvəsi otaq temperaturunda bir o qədər kəskin dəyişməmişdir. Sb₂S₃ və Sb₂Se₃ birləşmələri üçün termo-e.h.q.-nin qiyməti uyğun olaraq $\alpha=10 \cdot 10^{-4}$ V/dər və $\alpha=12 \cdot 10^{-4}$ V/dər-dir. Tədqiq olunan bərk məhlul ərintilərinin termoelektrik hərəkət qüvvəsinin qiymətinin kifayət qədər böyük olması ($\alpha=18,1 \cdot 10^{-4}$ V/dər) deməyə əsas verir ki, bu tədqiq olunan ərintilər termoelektrik material kimi enerji çeviricilərdə istifadə edilə bilirlər.

ƏSAS NƏTİCƏLƏR

1. Fiziki-kimyəvi analiz metodları (DTA, MQA, RFA və mikrobərkliyin və sıxlığın təyini) vasitəsilə In,Sb//S,Se və In,Sb//S,Te dördlü sistemlərinin daxili kəsiklərində: InS-Sb₂Se₃, Sb₂Se₃-In₃Sb₂S₃Se₃, InS -InSb₂S₃Se, InSe - In₃Sb₂S₃Se₃, InSe - InSb₂S₃Se, Sb₂S₃-InSb₂Se₃S, Sb₂Se₃ - InSb₂S₃Se,

InSb₂S₃Se- InSb₂Se₃S və InS-Sb₃Te₃, In₃Sb₂S₃Te₃- InTe, In₃Sb₂S₃Te₃ - Sb₂S₃, InS - InSb₂S₃Te, Sb₂Te₃ - InSb₂S₃Te, InTe - InSb₂Te₃S, InSb₂S₃Te - InSb₂Te₃S kimyəvi qarşılıqlı təsirin xarakteri və fazaəmələgəlmə tədqiq edilmiş, onların faza diaqramları qurulmuşdur.

2. In,Sb//S,Se dördlü sisteminin 8 daxili kəsiklərinin tədqiqi zamanı müəyyən edilmişdir ki, InSe - InSb₂S₃Se, Sb₂Se₃ - InSb₂S₃Se, InSb₂S₃Se- InSb₂Se₃S kəsikləri kvazibinar, dörd kəsik InS-Sb₂Se₃, InS -InSb₂S₃Se, Sb₂Se₃-In₃Sb₂S₃Se₃, InSe - In₃Sb₂S₃Se₃ qismən kvazibinar və bir kəsik isə Sb₂S₃-InSb₂Se₃S qeyri- kvazibinarıdır. In,Sb//S,Te dördlü sistemlərinin daxili kəsiklərindən üçü In₃Sb₂S₃Te₃- InTe, Sb₂Te₃ - InSb₂S₃Te, InSb₂S₃Te - InSb₂Te₃S kvazibinar, dördü InS-Sb₃Te₃, InTe - InSb₂Te₃S, InS -InSb₂S₃Te, InSb₂S₃Te - InSb₂Te₃S qismən kvazibinar, biri isə In₃Sb₂S₃Te₃-Sb₂S₃ qeyri-kvazibinarıdır.
3. Tədqiqatlar zamanı müəyyən edilmişdir ki, In,Sb//S,Se dördlü sistemində InSb₂S₃Se, InSb₂Se₃S və In₃Sb₂S₃Se₃ tərkibli dördlü birləşmələr əmələ gəlir. InSb₂S₃Se və InSb₂Se₃S birləşmələri konqruent olub, uyğun olaraq 560 və 500°C-də əriyirlər. In₃Sb₂S₃Se₃ birləşməsi isə peritektik reaksiya vasitəsilə əmələ gəlir və 480°C-də parçalanaraq əriyir.
4. In,Sb//S,Te dördlü sistemində də selenidli sistemlərdə olduğu kimi analogi InSb₂S₃Te, InSb₂Te₃S və In₃Sb₂S₃Te₃ tərkibli dördlü birləşmələr alınmışdır. Fiziki -kimyəvi analiz metodları vasitəsilə bu birləşmələrin mövcudluğu və əmələgəlmə xarakteri öyrənilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, In₃Sb₂S₃Te₃ və InSb₂S₃Te birləşmələri konqruent, InSb₂Te₃S isə inkonqruent əriyirlər.
5. Rentgenoqrafik analiz metodunun nəticələrinə əsasən bu sistemlərdə alınmış 6 birləşmənin kristal tipləri müəyyən edilmiş və onların qəfəs parametrləri hesablanmışdır. In₃Sb₂S₃Se₃ birləşməsi rombik sinqoniyada kristallaşır və qəfəs parametrləri: $a = 7,08$; $b = 6,24$; $c = 18,91$ Å; $Z=3$, InSb₂Se₃S birləşməsi rombik sinqoniyada kristallaşır və qəfəs parametrləri: $a = 6,86$; $b = 5,28$; $c = 18,81$ Å; $Z=4$, InSb₂S₃Se birləşməsi rombik sinqoniyada kristallaşır, qəfəs parametrləri: $a = 6,81$; $b = 5,21$; $c = 18,66$ Å; $Z=4$. In₃Sb₂S₃Te₃ birləşməsi tetraqonal sinqoniyada kristallaşır və qəfəs parametrləri: $a = 12,35$; $c = 14,07$ Å; $Z=7$. InSb₂Te₃S birləşməsi də tetraqonal sinqoniyada kristallaşır və qəfəs parametrləri: $a = 9,95$; $c = 12,30$ Å; $Z=6$, InSb₂S₃Te birləşməsi rombik sinqoniyada və qəfəs parametrləri: $a = 9,045$; $b = 11,36$; $c=10,14$ Å; $Z=6$.
6. Fiziki-kimyəvi analiz metodları vasitəsilə In,Sb//S,Se üçlü qarşılıqlı sistemin bir hissəsi olan Sb₂S₃-InSb₂S₃Se-InSb₂Se₃S-Sb₂Se₃ sisteminin likvidus səthinin proyeksiyası qurulmuşdur. Sistemdə Sb₂S₃, InSb₂S₃Se, InSb₂Se₃S, Sb₂Se₃ birləşmələrinin kristallaşma sahələri, monovariat və nonbariant tarazlıqların koordinatları və temperaturları dəqiqləşdirilmişdir. Sistemdə iki üçlü (E₁, E₂) və beş (e₁, e₂, e₃, e₄, e₅) ikili evtektik

tarazlıq nöqtələri müəyyən edilmişdir.

7. In,Sb//S,Te üçlü qarşılıqlı sistemin bir hissəsi olan Sb_2S_3 - $InSb_2S_3Te$ - Sb_2Te_3 kvaziüçlü sistemin likvidus səthinin proyeksiyası qurulmuşdur. Kvaziüçlü sistemi iki E_1 , E_2 üçlü evtektik və beş ikili evtektik tarazlıq nöqtəsi ilə xarakterizə olunur. Sb_2S_3 - $InSb_2S_3Te$ - Sb_2Te_3 kvaziüçlü sistemində 5 fazanın kristallaşma sahəsi dəqiqləşdirilmişdir. Sistemdə 9 tarazlıq reaksiyaları müəyyən edilmişdir.
8. Sb_2S_3 - $InSe(InTe)$ və Sb_2Se_3 - $InS(InSe,InTe)$ sistemlərində bərk məhlul ərintilərinin elektrofiziki xassələrinin öyrənilməsi nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, bu nümunələrin hamısı yarımkeçirici xassəyə malik materiallardır.

$S \rightarrow Se \rightarrow Te$ sırasında kükürddən tellura getdikcə ion radiuslarının böyüməsi nəticəsində elektronlar nüvədən uzaqlaşır və elektronların asan qopması baş verir, bununla əlaqədar olaraq elektronlar keçiricilikdə iştirak edir və elektrik keçiriciliyi qanunauyğun olaraq artır.

Tədqiq olunan bərk məhlul ərintilərinin termoelektrik hərəkət qüvvəsinin qiymətinin kifayət qədər böyük olması ($\alpha = 18,1 \cdot 10^{-4}$ V/dər) deməyə əsas verir ki, bu ərintilər termoelektrik material kimi enerji çeviricilərdə istifadə edilə bilərlər.

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

1. Cəfərova G.Z., Əliyev İ.İ., Şahbazov M.H. InS - Sb_2Se_3 üçlü qarşılıqlı sistemdə fazaəmələgəlmə // Bakı Dövlət Universitetinin 90-illik yubileyinə həsr olunmuş Beynəlxalq elmi konfransının materialları. Təbiət elmləri. Bakı. 2009. s.359.
2. Алиев И.И., Джафарова Г.З., Велиев Дж.А. Физико-химические исследования системы InS - Sb_2Te_3 // Тезисы докладов XX Российской молодежной научной конференции, посвященной 90 летию УГУ им.А.М.Горького. «Проблемы теоретической и экспериментальной химии. Екатеринбург, 20-24 апреля 2010. с. 251.
3. Əliyev İ.İ., Cəfərova G.Z., İsmayılov F.İ., Əjdərova D.S., İskakov R.Q. InS - Sb_2Se_3 sistemində faza tarazlığı // Azərb.kimya jurnalı. 2010. № 4. s.112-115.
4. Cəfərova G.Z., Əliyev İ.İ., Əliyev İ.P. $InSe$ - $In_3Sb_2S_3Se_3$ sistemində qarşılıqlı təsirin xarakteri // Ümummillə lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 87 –ci il dönmünə həsr olunmuş doktorant, magistr və gənc tədqiqatçıların respublika elmi konfransının materialları. Bakı.26-27 may. 2010. s.10.
5. Əliyev İ.İ., Cəfərova G.Z., Əliyev F.H. Sb_2S_3 - $In_3Sb_2S_3Se_3$ sisteminin faza diaqramı // Kimya Problemləri jurnalı. 2010. № 4. s.635-639.
6. Əliyev İ.İ., Yusibov Y.A., Cəfərova G.Z. Sb_2S_3 - $InSb_2Se_3S$ sisteminin faza diaqramı // Konfrans dahi azərbaycan şairi Nizami Gəncəvinin 870 illik yubileyinə həsr edilmişdir. «Biokimyəvi nəzəriyyələrin aktual

problemləri II Beynəlxalq konfransın materialları » Gəncə.25-27 noyabr. 2011. c.144-146.

7. Cəfərova G.Z., Əliyev İ.İ., Əjdərova D.S., Şahbazov M.H. Sb_2Se_3 - $InSb_2S_3Se$ sisteminin faza diaqramı // Akademik T.N. Şahtaxtinskini 85- illik yubileyinə həsr olunmuş Respublika elmi konfransı. Məruzələrinin tezisləri. Bakı. 27-28 oktyabr 2011.s.305.
8. Əliyev İ.İ., Cəfərova G.Z., Məmmədov E.H., Mehdiyeva S.A. $InSb_2Se_3S$ – $InSe$ sisteminin faza diaqramı // Azərbaycan kimya jurnalı. 2011. № 3. s. 84-87.
9. Алиев И.И., Джафарова Г.З., Шахбазов М.Г., Синтез и исследование фазообразования в системе $InSe$ - Sb_2Te_3 //Тезисов докладов Всероссийской научной конференции о международным участием, посвященной Международному году химии.«Успехи синтеза и комплексообразования» Москва.18-22 апреля 2011.с.272.
10. Cəfərova G.Z., Əliyev İ.İ., Əliyev F.H., İskakov R.Q., Sb_2Se_3 - $InSb_2S_3Se$ sistemində faza tarazlığı // Kimya Problemləri jurnalı. 2011. №4. s. 596-599.
11. Cəfərova G.Z.Əliyev İ.İ. Sb_2S_3 - $InSb_2Se_3S$ sisteminin fiziki-kimyəvi tədqiqi. Azərbaycan kimya jurnalı. 2011. № 4. s. 84-86.
12. Əliyev İ.İ., Cəfərova G.Z., Əliyev İ.P. InS - $InSb_2S_3Se$ sistemində kimyəvi qarşılıqlı təsirin xarakteri // Kiya Problemləri jurnalı. 2012. № 1.s.115-120.
13. Алиев И.И., Алиев И.Г., Джафарова Г.З., Аждарова Д.С., Велиев Дж.А. Физико-химическое исследование систем $Tl_3As_2Se_3Te_3$ - $TlAs_2Se_2Te_2$ и $InSb_2S_3Se$ - $InSb_2Se_3S$ // VI Всероссийской конференции «Физико-химические процессы в концентрированные средах и межфазных границах» ФАГРАН-2012.15-18 октября. Воронежском ГУ. с.283.
14. Джафарова Г.З., И.И.Алиев Физико-химическое исследование системы $InSb_2S_3Se$ - $InSb_2Se_3S$ // Azərbaycan kimya jurnalı. 2012. № 3. s. 48-51.
15. Алиев И.И., Джафарова Г.З., Исмаилов Ф.И., Велиев Дж.А. Фазовое равновесие в системе InS - Sb_2Te_3 // Журн.неорганической химии. 2013. т.58. №2.с.253-256.
16. Алиев И.И., Джафарова Г.З., Исмаилов Ф.И., Новрузова Ф.А. Фазовые равновесия в системе $In_3Sb_2S_3Te_3$ - $InTe$ // X Международное Курнаковское совещание по физико-химическому анализу Сб.трудов.Т.1.2013. 1-5 июля Самара .с.209-212.
17. Алиев И.И., Джафарова Г.З., Мамедова А.З., Дж.А.Велиев Характер химического взаимодействия в системе $InSe$ – $In_3Sb_2S_3Se_3$ // Журн.неорганической химии.2014. т.59.№ 8.с.
18. Əliyev İ.İ., Yusibov Y.Ə., İsmayılov F.İ., Qasımov V.Ə., Cəfərova G.Z. $InSb_2S_3Te$ - Sb_2Te_3 sistemində faza tarazlığı // Konfrans Ümummillə lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 91-ci ildönümünə həsr olunub. Müasir biologiyanın və kimyanın aktual problemləri elmi konfransı. Gəncə.12-13 may 2014-cü il.

Джфарова Гюнай Закир кызы
Исследование фазового равновесия в четверных системах
In,Sb//S,Se(Te) и свойства полученных новых фаз

РЕЗЮМЕ

Методами физико-химического анализа исследован характер химического взаимодействия компонентов и фазовых равновесий в полупроводниковых четверных системах In,Sb//S,Se и In,Sb//S,Te. Характер взаимодействия в четверных системах In,Sb//S,Se и In,Sb//S,Te изучены следующих разрезов: InS-Sb₂Se₃, Sb₂Se₃-In₃Sb₂S₃Se₃, InS -InSb₂S₃Se, InSe - In₃Sb₂S₃Se₃, InSe - InSb₂S₃Se, Sb₂S₃-InSb₂Se₃S, Sb₂Se₃ - InSb₂S₃Se, InSb₂S₃Se - InSb₂Se₃S вэ InS-Sb₃Te₃, In₃Sb₂S₃Te₃- InTe, In₃Sb₂S₃Te₃ -Sb₂S₃, InS - InSb₂S₃Te, Sb₂Te₃ - InSb₂S₃Te, InTe - InSb₂Te₃S, InSb₂S₃Te - InSb₂Te₃S и построены их диаграммы состояния.

Используя литературные и экспериментальные данные, были построены проекции поверхности ликвидуса части четверной систем Sb₂S₃-In₃Sb₂S₃Se₃-Sb₂Se₃ и Sb₂S₃-InSb₂S₃Te-Sb₂Te₃. Для них характерно образование новых соединений и твердых растворов.

Впервые синтезированы соединения In₃Sb₂S₃Se₃, InSb₂Se₃S, InSb₂S₃Se₃, In₃Sb₂S₃Te₃, InSb₂S₃Te и InSb₂Te₃S. Рассчитаны кристаллохимические параметры полученных соединений. Установлено, что соединения In₃Sb₂S₃Se₃, InSb₂Se₃S, InSb₂S₃Se₃ и InSb₂S₃Te изоструктурны и кристаллизуются в ромбической сингонии, а остальные соединения In₃Sb₂S₃Te₃ и InSb₂Te₃S кристаллизуются в тетрагональной сингонии.

Для образцов твердых растворов системы Sb₂S₃-InSe(InTe) и Sb₂Se₃-InS(InSe,InTe) измерены температурные зависимости электропроводности (σ), термо-э.д.с. (α) и удельного сопротивления (ρ). Определены оптимальные составы твердых растворов на основе сульфида и селенида сурьмы и проанализированы полученные термоэлектрические параметры. Выявлено, что все полученные сплавы на основе Sb₂S₃ и Sb₂Se₃ являются полупроводниками "р"-типа проводимости.

Таким образом, на основании физико-химических исследований и физических измерений выявлены однородные сплавы на основе Sb₂S₃ и Sb₂Se₃ которые, детально охарактеризованы и могут быть предложены как перспективные термоэлектрические материалы..

Cafarova Gunay Zakir gizi
Investigation of phase equilibria in the quaternary systems
In, Sb // S, Se (Te) and the properties of the new phases

SUMMARY

The character of the chemical interaction and phase equilibria in semiconductor quaternary systems In,Sb//S,Se and In,Sb//S,Te were investigated by methods of physico-chemical analysis. Character of interaction in quaternary systems In,Sb//S,Se and In,Sb//S,Te studied on following sections : InS-Sb₂Se₃, Sb₂Se₃-In₃Sb₂S₃Se₃, InS -InSb₂S₃Se, InSe - In₃Sb₂S₃Se₃, InSe - InSb₂S₃Se, Sb₂S₃-InSb₂Se₃S, Sb₂Se₃ - InSb₂S₃Se, InSb₂S₃Se - InSb₂Se₃S вэ InS-Sb₃Te₃, In₃Sb₂S₃Te₃- InTe, In₃Sb₂S₃Te₃ - Sb₂S₃, InS - InSb₂S₃Te, Sb₂Te₃ - InSb₂S₃Te, InTe - InSb₂Te₃S, InSb₂S₃Te - InSb₂Te₃S and were constructed their phase diagrams.

Using literature and experimental data projection of liquidus surface of part of quaternary systems Sb₂S₃- In₃Sb₂S₃Se₃ - Sb₂Se₃ and Sb₂S₃- InSb₂S₃Te - Sb₂Te₃ have been constructed. They are characterized by the formation of new compounds and solid solutions.

Compounds In₃Sb₂S₃Se₃, InSb₂Se₃S, InSb₂S₃Se₃, In₃Sb₂S₃Te₃, InSb₂S₃Te and InSb₂Te₃S were first by synthesized. Crystal parameters of obtained compounds were calculated. Compounds In₃Sb₂S₃Se₃, InSb₂Se₃S, InSb₂S₃Se₃ and InSb₂S₃Te isostructural and crystallized in the orthorhombic structure, and other compounds In₃Sb₂S₃Te₃ and InSb₂Te₃S crystallized in the tetragonal lattice.

For samples of solid solutions Sb₂S₃-InSe (InTe) вэ Sb₂Se₃-InS (InSe, InTe) studied the temperature dependence of the electrical conductivity (σ), thermo-emf. (α) and specific resistance (ρ). The optimum composition of the solid solutions based on antimony sulfide and selenide obtained and analyzed their thermoelectric parameters. Showed that all alloys based on Sb₂S₃ and Sb₂Se₃ are semiconductors with p-type conductivity.

Thus, on the basis of physico-chemical studies and physical measurements revealed homogeneous alloys based on Sb₂S₃ and Sb₂Se₃ are characterized in detail and can be offered as promising thermoelectric materials.

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНА
ИНСТИТУТ КАТАЛИЗ и НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ
им.АКАДЕМИКА М.Ф.НАГИЕВА**

На правах рукописи

ДЖАФАРОВА ГЮНАЙ ЗАКИР КЫЗЫ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОГО РАВНОВЕСИЯ В ЧЕТВЕРНЫХ
СИСТЕМАХ In,Sb//S,Se(Te)
И СВОЙСТВА ПОЛУЧЕННЫХ НОВЫХ ФАЗ**

2303.01- Неорганическая химия

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

Диссертации на соискание ученой степени
доктора философии по химию

Б А К У – 2014