

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

TI-Ge-Bi-Te SİSTEMİNİN BƏZİ QATILIQ MÜSTƏVİLƏRİ ÜZRƏ FAZA TARAZLIQLARI VƏ ARALIQ FAZALARIN TERMODİNAMİK XASSƏLƏRİ

İxtisas: 2303.01 – Qeyri-üzvi kimya

Elm sahəsi: Kimya

İddiaçı: **Türkan Müzahim qızı Ələkbərova**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün
təqdim olunmuş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı – 2024

Dissertasiya işi Bakı Dövlət Universitetinin Ümumi və qeyri-üzvi kimya kafedrasının "Qeyri-üzvi Materialşünaslıq" elmi-tədqiqat laboratoriyasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər: kimya elmləri doktoru, professor,
AMEA müxbir üzvü
Məhəmməd Baba oğlu Babanlı

Rəsmi opponentlər: kimya elmləri doktoru, professor
Özbək Misirxan oğlu Əliyev
kimya elmləri doktoru, professor,
AMEA müxbir üzvü
Tofiq Abbasəli oğlu Əliyev
kimya elmləri doktoru, dosent
Nağı İbrahim oğlu Yaqubov

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Respublikasının Elm və Təhsil Nazirliyinin akademik M.Nağıyev adına Kataliz və Qeyri-üzvi Kimya İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən ED 1.15 Dissertasiya Şurası

Dissertasiya Şurasının sədri:

kimya elmləri doktoru, akademik
Dilqəm Bəbir oğlu Tağıyev

Dissertasiya Şurasının elmi katibi:

kimya üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Ülviyyə Əhməd qızı Məmmədova

Elmi seminarın sədri:

kimya elmləri doktoru, professor
Akif Şıxan oğlu Əliyev

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Ağır p-elementlərin binar və çoxkomponentli telluridləri uzun müddətdir ki, müxtəlif təyinatlı funksional materiallar kimi, xüsusən də, aşağı istilik keçiriciliyinə malik termoelektriklər kimi geniş tədqiq olunurlar. $A^{IV}-B^V$ -Te, $Tl-A^{IV}(B^V)$ -Te (A^{IV} - Ge, Sn, Pb; B^V - Sb, Bi) sistemlərində əmələ gələn bir sıra üçlü birləşmələr ($A^{IV}B_2^VTe_4$, $A^{IV}B_4^VTe_7$, TlB^VTe_2 , $Tl_9B^VTe_6$, $Tl_2A^{IV}Te_3$ və s.) belə materiallar sırasında daha yüksək termoelektrik göstəriciləri nümayiş etdirirlər¹.

Əsrimizin ilk onilliyinin sonlarından başlayaraq bu materiallara olan maraq yenidən kəskin artmışdır. Bu, onlarda yeni unikal funksional xassənin-topoloji izolyator xassəsinin aşkar olunması ilə bağlıdır. Topoloji izolyatorların yaxın gələcəkdə yeni nəsil elektronikanın - spintronikanın və topoloji kvant kompüterlərinin, tibbdə və təhlükəsizlik sistemlərində tətbiq üçün terahers tezlikli detektorların yaradılmasında və yüksək texnologiyaların bir çox digər sahələrində tətbiq olunacağı gözlənilir².

$A^{IV}-B^V$ -Te sistemləri arasında germanium əsasında sistemlər daha cəlbedicidir. Bu, onlarda $A^{IV}Te \cdot mB_2^VTe_3$ homoloji sırası ilə yanaşı $nGeTe \cdot B_2^VTe_3$ homoloji sırasına aid birləşmələrin də əmələ gəlməsilə əlaqədardır. Sonuncular hazırda kristallik və amorf hallar arasında dönər faza keçidinə malik materialların ən önəmli sinfini təşkil edir və optik yaddaş qurğularında tətbiq olunurlar³.

Yeni mürəkkəb tərkibli xalkogenid fazalarının istiqamətli sintezinin elmi əsaslarının yaradılması, xeyli dərəcədə müvafiq sistemlərin faza tarazlıqlarına və termodinamik xassələrinə aid məlumatlara əsaslanır. Ədəbiyyat məlumatlarının analizi göstərmişdir ki, yuxarıda göstərilən materiallara, xüsusən də, $Ge-B^V$ -Te

¹ Шевельков, А.В. Химические аспекты создания термоэлектрических материалов // Успехи химии, 2008, №77 (1), с. 3-21

² Babanly M.B., E.V.Chulkov, Z.S.Aliev, et al. Phase diagrams in materials science of topological insulators based on metal chalcogenides // Russian Journal of Inorganic Chemistry, 2017, №62 (13), p. 1703-1729

³ Jones, R.O. Phase change memory materials: Rationalizing the dominance of Ge/Sb/Te alloys // Physical Review B, 2020, №101 (2), p.024103

sistemlərində mövcud olan Van der Waals birləşmələrinə olan böyük marağa baxmayaraq, onlarda faza tarazlıqlarına aid məlumatlar ziddiyyətlidir, aralıq fazaların termodinamik xassələri isə praktiki olaraq öyrənilməmişdir. Digər tərəfdən, ədəbiyyatda, anomal aşağı istilik keçiriciliyinə malik termoelektrik materiallarının əmələ gəlməsi gözlənilən Tl-Ge-Bi-Te sistemində faza tarazlıqlarına aid məlumatlara da rast gəlinmir.

Tədqiqatın obyektı və predmeti. Dissertasiyanın tədqiqat obyektləri Tl-Ge-Bi-Te sisteminin bəzi qatılıq müstəviləri, tədqiqatın predmeti isə həmin obyektlərin fiziki-kimyəvi tədqiqı olmuşdur.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri. Dissertasiya işinin məqsədi GeTe-Bi₂Te₃-Te, Tl₂Te-GeTe-Bi₂Te₃ və Tl₅Te₃-Tl₈GeTe₅-Tl₉BiTe₆ sistemlərində fiziki-kimyəvi qarşılıqlı təsir xarakterinin müəyyən edilməsi, aşkar edilən aralıq fazaların fundamental termodinamik funksiyalarının təyini olmuşdur.

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

✓ Sintez metodikalarını təkmilləşdirməklə GeTe-Bi₂Te₃-Te və Tl-Ge-Bi-Te sisteminin müxtəlif qatılıq sahələri üzrə tarazlığa maksimal yaxın halda olan xəlitələrinin alınması və fiziki-kimyəvi analiz üsulları ilə tədqiqı;

✓ Alınmış təcrübi nəticələr əsasında GeTe-Bi₂Te₃ sisteminin yeni, dəqiqləşdirilmiş T-x diaqramının qurulması, GeTe-Bi₂Te₃-Te, Tl₂Te-GeTe-Bi₂Te₃ və Tl₅Te₃-Tl₈GeTe₅-Tl₉BiTe₆ sistemlərində faza tarazlıqlarının etibarlı mənzərələrinin alınması;

✓ Tədqiq olunan sistemlərdə aşkar olunan birləşmə və bərk məhlulların fərdi şəkildə alınması və xarakterizə edilməsi;

✓ Germanium-bismut telluridlərinin termodinamik xassələrinin EHQ üsulu ilə tədqiqı.

Tədqiqat metodları. Dissertasiyanın mövzusu üzrə tədqiqatlar fiziki-kimyəvi analizin ənənəvi metodları olan differensial termiki analiz (DTA), rentgenfaza analizi (RFA), skanedici elektron mikroskopıya (SEM) və elektrik hərəkət qüvvəsi (EHQ) üsulları ilə, həmçinin, mikrobərклиyin ölçülməsilə aparılmışdır. DTA "NETZSCH 404 F1Pegasus system" difraktometrində aparılmışdır. Ovuntu difraktoqramları Almaniyanın Bruker firmasının D8 ADVANCE və D2

Phaser cihazlarında çəkilməmiş və TOPAS V.3 kompüter proqramları ilə analiz edilmişdir. SEM tədqiqatları JEOLJSM-7600F markalı skanedicci elektron mikroskopda aparılmışdır. Nümunələrin mikrobərklikləri PIMT-3 markalı cihazda ölçülmüşdür. EQ ölçmələri Keithley 2100 6 1/2 Digit Multimeter markalı yüksək müqavimətli rəqəmli voltmetrlə aparılmış, nəticələr "Microsoft Excel 2010" kompüter proqramı ilə işlənmişdir.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar.

1. GeTe-Bi₂Te₃ sisteminin T-x faza diaqramının yeni, təkmilləşdirilmiş variantı, germanium-bismut telluridlərinin termiki xassələri;

2. GeTe-Bi₂Te₃-Te, Tl₂Te-GeTe-Bi₂Te₃ və Tl₅Te₃-Tl₈GeTe₅-Tl₉BiTe₆ sistemlərində faza tarazlıqları mənzərələri, o cümlədən, T-x-y diaqramların bəzi politermik və izotermik kəsikləri, likvidus səthlərinin proyeksiyaları;

3. GeTe-Bi₂Te₃-Te sisteminin bəzi faza sahələrində EQ ölçmələrinin nəticələri, xəlitələrdə germaniumun parsial molyar funksiyaları, germanium-bismut telluridlərinin fundamental termodinamik funksiyaları.

Tədqiqatın elmi yeniliyi.

➤ Ge-Bi-Te sisteminin GeTe-Bi₂Te₃ kvazibinar kəsiyinin T-x faza diaqramının ədəbiyyatda verilənlərdən fərqli, yeni variantı qurulmuş, həmin diaqramda altı üçlü birləşmə, o cümlədən üçü ilk dəfə, öz əksini tapmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, bütün bu üçlü birləşmələr inkonqruent əriyirlər, o cümlədən, GeBi₆Te₁₀, GeBi₄Te₇, GeBi₂Te₄ və Ge₂Bi₂Te₅ peritektik reaksiya üzrə, Ge₃Bi₂Te₆ və Ge₄Bi₂Te₇ birləşmələri isə bərkfaza reaksiyası üzrə parçalanırlar.

➤ GeTe-Bi₂Te₃-Te sisteminin likvidus səthinin proyeksiyası, həcmi faza diaqramının bir sıra politermik və izotermik kəsikləri qurulmuş, sistemdə əmələ gələn fazaların ilkin kristallaşma və homogenlik sahələri, non- və monovariant tarazlıqların tipləri müəyyən edilmiş və koordinatları təyin olunmuşdur.

➤ GeTe-Bi₂Te₃-Te sisteminin faza diaqramında praktikada az təsadüf olunan hadisə - sərhəd sistemlərinin birinin nonvariant tarazlıq nöqtələrindən çıxan bütün əyrilərdə monovariant tarazlığın bir tipindən digərinə keçid aşkar olunmuş və bu hadisənin baş verməsi izah olunmuşdur.

➤ Tl-Ge-Bi-Te sisteminin $Tl_2Te-GeTe-Bi_2Te_3$ və $Tl_5Te_3-Tl_8GeTe_5-Tl_9BiTe_6$ qatılıq müstəviləri üzrə faza tarazlıqlarının yeni, qarşılıqlı tənzimlənmiş mənzərələri alınmışdır. Birinci müstəvidə binar və üçlü birləşmələr əsasında geniş bərk məhlul sahələri, ikinci sistemdə isə fasiləsiz bərk məhlullar seriyası aşkar edilmişdir.

➤ Tədqiq olunan sistemlərdə əmələ gələn üçlü birləşmələr və bərk məhlulların seçmə nümunələri fərdi şəkildə sintez olunmuş və identifikasiya edilmişlər. Tetradimitəbənzər laylı quruluşa malik bəzi birləşmələrin monokristalları Bricmen-Stokbarger üsulu ilə yetişdirilmiş və xarakterizə edilmişdir.

➤ Müxtəlif müqayisə elektrodlarına nəzərən qatılıq dövrlərinin EHQ-nin ölçülməsilə altı germanium – bismut telluridinin və GeTe birləşməsinin standart əmələgəlmə termodinamik funksiyalarına və standart entropiyalarına aid yeni qarşılıqlı tənzimlənmiş kəmiyyətlər kompleksləri alınmışdır.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti. Dissertasiya işində alınmış Tl-Ge-Bi-Te sisteminin GeTe-Bi₂Te₃-Te, Tl₂Te-GeTe-Bi₂Te₃ və Tl₅Te-Tl₈GeTe₅-Tl₉BiTe₆ qatılıq müstəviləri üzrə fiziki-kimyəvi qarşılıqlı təsir xarakterinin müəyyən edilməsi, onlarda yeni tellurid fazalarının aşkar edilməsi, həmin fazaların kristalloqrafik parametrlərinin və fundamental termodinamik funksiyalarının təyin olunması kimi mühüm elmi nəticələr müvafiq fazaların istiqamətli sintez metodlarının işlənməsi üçün zəruri məlumatlar olub, termoelektrik, topoloji izolyator və oxşar xassəli mürəkkəb maddələrin materialşünaslığına ciddi töhvədir.

Aprobasiya və tətbiq. Dissertasiya işində alınmış nəticələr, o cümlədən qurulmuş faza diaqramları, aşkar edilən fazaların termodinamik funksiyaları və kristalloqrafik göstəriciləri onların sintezi və monokristallarının yetişdirilməsi üçün istifadə oluna bilər, həmçinin fundamental xarakteristikalar kimi müvafiq elektron informasiya bazalarına daxil edilə bilər. "Google Scholar Citations" informasiya bazasında olan məlumatlara görə müəllifin dissertasiya mövzusu üzrə beynəlxalq elmi jurnallarda çap olunan 4 məqaləsinə 18 istinad edilmişdir.

Dissertasiya mövzusunun əsas nəticələri aşağıdakı elmi konfranslarda məruzə və müzakirə edilmişdir: XV и XVI Всероссийские

конференции "Высокочистые вещества и материалы. получение, анализ, применение" (Нижний Новгород, Россия, 2015, 2018); Akademik Toğrul Şahtaxtinskiyin 90 illik yubileyinə həsr olunmuş respublika elmi konfransı (Bakı, Azərbaycan, 2015); Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 92-ci ildönümünə həsr olunmuş doktorant, magistr və gənc tədqiqatçıların "Kimyanın aktual problemləri" IX Respublika Elmi konfransı (Bakı, Azərbaycan, 2015); XII International Conference "Electronic Processes in Organic and Inorganic Materials" (Kamianets-Podilskyi, Ukraine, 2020); The International Conference on Actual problems of Chemical Engineering, dedicated to the 100th Anniversary of the Azerbaijan State of Oil and Industry University (Baku, Azerbaijan, 2020); XI Международная научная конференция "Кинетика и механизм кристаллизации. Кристаллизация и материалы нового поколения" (Иваново, Россия, 2021).

Dissertasiya işində alınmış nəticələr, o cümlədən qurulmuş faza diaqramları, aşkar edilən fazaların termodinamik funksiyaları və kristalloqrafik göstəriciləri müvafiq elektron informasiya bazalarına daxil edilə, onların sintezi və monokristallarının yetişdirilməsi üçün istifadə oluna bilər. "Google Scholar Citations" informasiya bazasında olan məlumatlara görə müəllifin dissertasiya mövzusu üzrə beynəlxalq elmi jurnallarda çap olunan 4 məqaləsinə 18 istinad edilmişdir.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı. Dissertasiya işi BDU-nun Ümumi və Qeyri-üzvi Kimya kafedrasının nəzdində fəaliyyət göstərən "Qeyri-üzvi Materialşünaslıq ETL"-də yerinə yetirilmişdir. Tədqiqatların bir hissəsi DAAD təqaüdü çərçivəsində Almaniya Federativ Respublikasının Eberhard Karls adına Tübingen Universitetinin Qeyri-üzvi kimya İnstitutunun "Bərk cisimlər kimyası və nəzəri qeyri-üzvi kimya" laboratoriyasında aparılmışdır.

Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda həcmi qeyd olunmaqla dissertasiyanın işarə ilə ümumi həcmi. Dissertasiya girişdən (10212 işarə), beş fəsildən (I fəsil - 41217, II-22177, III-34270, IV-22948, V-41314 işarə), əsas nəticələrdən, 251 adda istifadə edilən elmi ədəbiyyat siyahısından ibarət olub, 149 səhifə həcmə malikdir. Dissertasiyaya 60 şəkil və 21 cədvəl daxil edilmişdir.

İŞİN ƏSAS MƏZMUNU

Girişdə dissertasiya işinin aktuallığı əsaslandırılmış, işin məqsədi, elmi yeniliyi, praktiki əhəmiyyəti və müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar verilmişdir.

Birinci fəsilə ağır p-elementlərin binar, üçlü və daha mürəkkəb telluridlərinin tədqiqinin müasir vəziyyəti araşdırılmış və dissertasiyanın tədqiqat obyektlərinin seçilməsi əsaslandırılmışdır. Burada həmçinin Tl-Ge-Bi-Te sisteminin $\text{GeTe-Bi}_2\text{Te}_3\text{-Te}$ $\text{Tl}_2\text{Te-GeTe-Bi}_2\text{-Te}_3$ və $\text{Tl}_5\text{Te}_3\text{-Tl}_8\text{GeTe}_5\text{-Tl}_9\text{BiTe}_6$ qatılıq müstəvilərinin binar və üçlü sərhəd sistemlərində faza tarazlıqlarına və müvafiq fazaların fiziki-kimyəvi xassələrinə aid ədəbiyyat məlumatları verilmişdir. Bu məlumatlar dissertasiya mövzusu üzrə təcrübi tədqiqatların planlaşdırılmasında və alınan nəticələrin analizində istifadə edilmişdir.

İkinci fəsil dissertasiya işində istifadə olunan sintez və fiziki-kimyəvi tədqiqat metodlarının qısa şərhinə həsr olunmuşdur.

Tədqiq olunan sistemlərin ilkin binar və üçlü birləşmələri Almaniyanın Alfa Aesar firmasına məxsus yüksək təmizlik dərəcəli (99.999%) elementar komponentlərin stexiometrik miqdarlarının kvars ampulalarda vakuum şəraitində ($\sim 10^{-2}$ Pa) birgə əridilməsi ilə sintez edilmişdir. Sintez olunmuş birləşmələrin fərdiliyi DTA və RFA üsulları ilə yoxlanılmışdır. Tədqiqatlar üçün nümunələr əvvəlcədən sintez və identifikasiya olunmuş ilkin binar və üçlü birləşmələrin vakuum şəraitində kvars ampulalarda birgə əridilməsi ilə hazırlanmışdır. Sintezdən sonra nümunələr ərimə xarakterlərindən asılı olaraq solidusdan $30\text{-}50^\circ$ aşağı temperaturalarda uzunmüddətli termiki emaldan keçirilmiş və sobanı cərəyan mənbəyindən ayırmaqla tədricən soyudulmuşdur. Birləşmə və nümunələrin konkret sintez şəraitləri dissertasiyada verilir.

İşdə istifadə olunmuş tədqiqat metodları və cihazlar barədə məlumatları yuxarıda (səh.4) verimişdir

Üçüncü fəsilə xəlitələrin sintezinə yeni yanaşma tətbiq etməklə sintez olunmuş nümunələrin tədqiqi nəticəsində $\text{GeTe-Bi}_2\text{Te}_3\text{-Te}$ sistemində faza tarazlıqlarına aid aldığımız yeni nəticələr verilir.

GeTe-Bi₂Te₃-Te sistemində faza tarazlıqları. Bu sistem üzrə faza tarazlıqlarının xarakterini müəyyən etmək üçün bir sıra daxili kəsiklər üzrə aldığımız nəticələr və kənar kvazibinar sistemlər üçün

ədəbiyyat məlumatları birgə işlənmişdir.

GeTe-Bi₂Te₃ sistemi. Bu kəsiyin bizim tədqiqatlara qədər qurulmuş faza diaqramında yalnız üç üçlü birləşmə - Ge₃Bi₂Te₆, GeBi₂Te₄ və GeBi₄Te₇ öz əksini tapmışdır. Bir sıra mənbələrdə isə bu kəsik üzrə iki homoloji sıra (GeTe·mBi₂Te₃ və nGeTe·Bi₂Te₃) birləşmələrinin mövcud olduğu göstərilir.

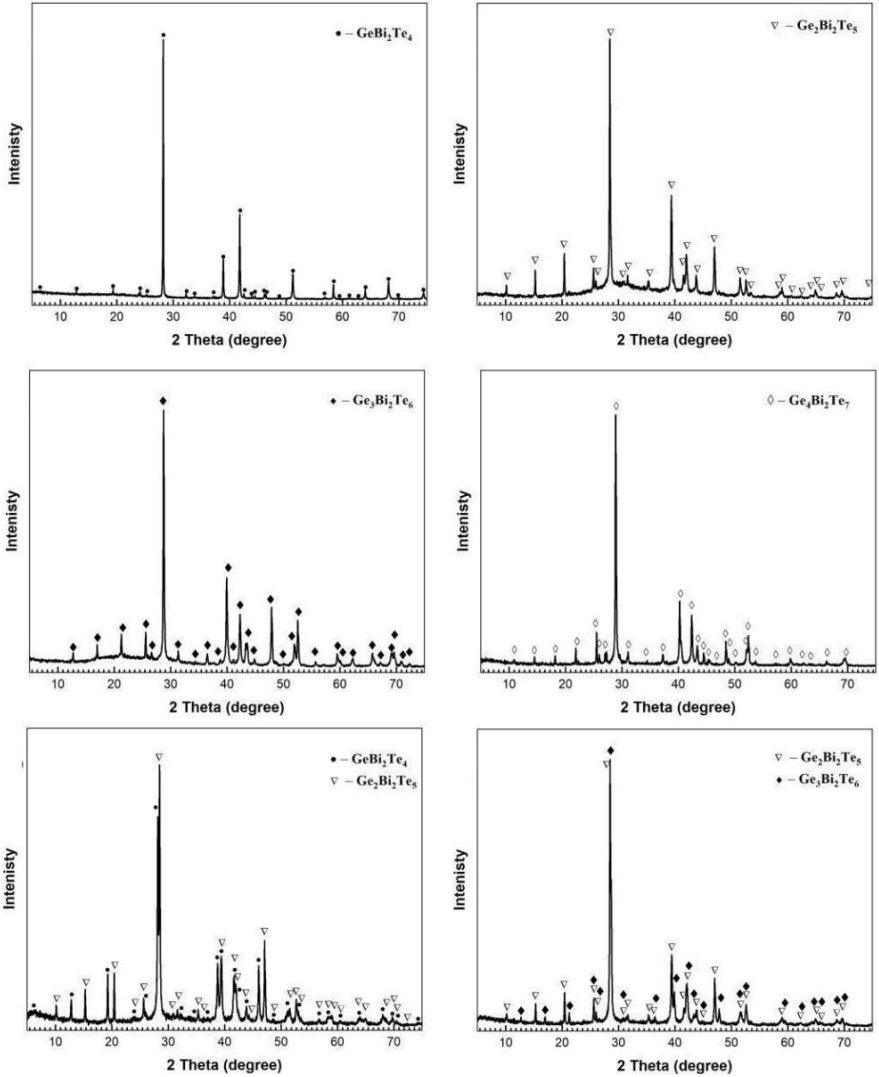
Bu birləşmələrin əksəriyyətinin termiki davamlılığı, ərimə xarakteri, ilkin kristallaşma sahələri haqqında məlumatlar yoxdur.

Qeyd edilənləri nəzərə alaraq, dissertasiya işində, xəlitələrin sintezinə yeni yanaşma tətbiq etməklə tarazlığa yaxın halda olan nümunələr hazırlanmış və onların tədqiqi nəticəsində GeTe-Bi₂Te₃-Te sistemində faza tarazlıqlarına aid yeni nəticələr alınmışdır.

Xəlitələr iki mərhələdə sintez edilmişdir. Birinci mərhələdə yüksək təmizlik dərəcəsinə malik elementar komponentlərdən vakuum şəraitində birbaşa sintez yolu ilə GeTe və Bi₂Te₃ birləşmələri alınmış və identifikasiya olunmuşdur. İkinci mərhələdə isə bu birləşmələri vakuum şəraitində müxtəlif nisbətlərdə birgə əritməklə GeTe-Bi₂Te₃ kəsiyi üzrə nümunələr alınmışdır. Bu mərhələdə alınan nümunələr ampulaları 950-1100 K-dən (maye haldan) buzlu suya atmaqla tavlandırılmış, sonra isə tərkibdən asılı olaraq 700-850 K-də uzunmüddətli (1000-1300 saat) termiki emaldan keçirilmiş və tədricən soyudulmuşdur. GeTe-la zəngin olan seçmə nümunələr termiki emaldan sonra 850 K-dən tavlandırılmışdır.

GeTe-Bi₂Te₃ sisteminin 700 K-də termiki emal olunmuş bəzi nümunələrinin toz difraktoqramları şəkil 1-də verilir. Göründüyü kimi, üçlü birləşmələrin difraktoqramları onların bircinsliliyini təsdiq edir. Aralıq tərkiblərə uyğun nümunələr isə ikifazalıdır – onların difraktoqramları qonşu birləşmələrin difraksiya xətləri toplularından ibarətdir. Məsələn, 30 və 40 mol%Bi₂Te₃ tərkibli nümunələr, müvafiq olaraq, Ge₂Bi₂Te₅+Ge₃Bi₂Te₆ və GeBi₂Te₄+Ge₂Bi₂Te₅ ikifazalı qarışıqlarından ibarətdir.

Sistemdə aşkar edilmiş birləşmələrin toz difraktoqramlarını Ritveld metodu ilə analiz etməklə onların kristal qəfəs tipləri təyin edilmiş və qəfəs parametrləri hesablanmışdır. Nəticələr cədvəl 1-də verilir.



Şəkil 1. GeTe-Bi₂Te₃ sisteminin 700 K-də termiki emal olunmuş bəzi üçlü birləşmələrin və ikifazlı (30 və 40 mol % Bi₂Te₃ tərkibli) nümunələrin toz difraktoqramları.

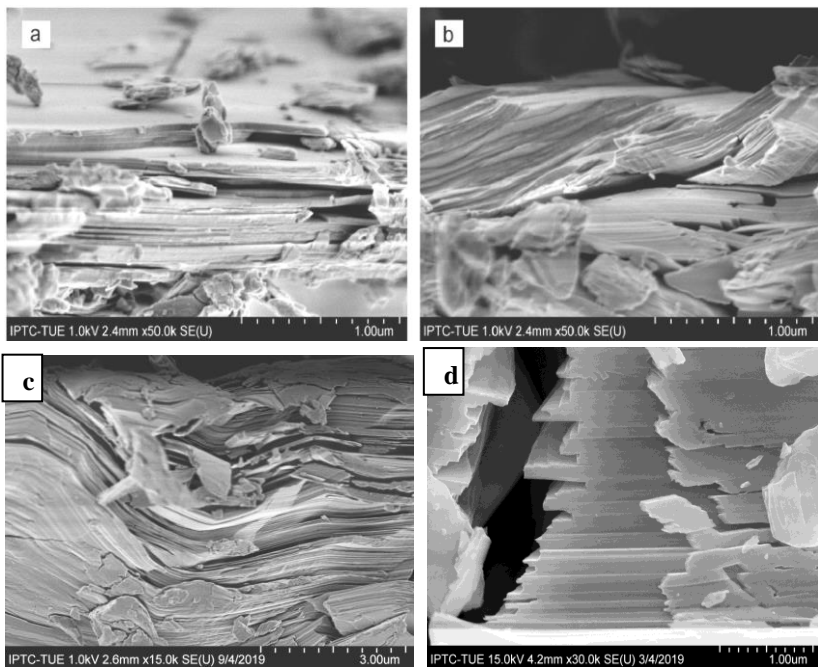
Cədvəl 1

GeTe-Bi₂Te₃ sistemində bəzi fazaların kristalloqrafik göstəriciləri

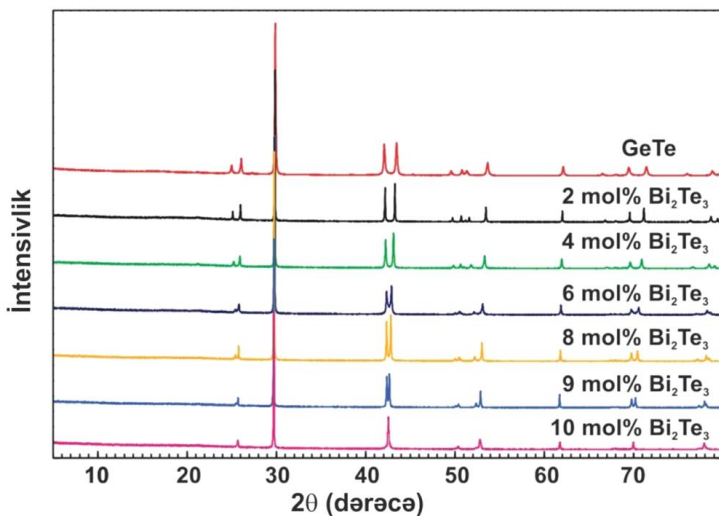
Tərkib	Kristal qəfəs tipi və parametrlər, Å	
	700 K	870 K
GeTe	Romboedr., <i>R3m</i> , $a=4.1628(3)$, $c=10.6675(8)$	Kubik, <i>Fm3m</i> , $a=5.9824(5)$
2 mol% Bi ₂ Te ₃	"-", $a=4.1788(3)$, $c=10.6075(8)$	
4 mol% Bi ₂ Te ₃	"-", $a=4.1965(4)$, $c=10.5582(9)$	"-", $a=5.9904(5)$
6 mol% Bi ₂ Te ₃	"-", $a=4.2107(3)$, $c=10.4815(8)$	
8 mol% Bi ₂ Te ₃	"-", $a=4.2311(4)$, $c=10.4302(9)$	
9 mol% Bi ₂ Te ₃	"-", $a=4.2406(3)$, $c=10.3998(8)$	"-", $a=6.0096(6)$
10 mol% Bi ₂ Te ₃	Kubik, <i>Fm3m</i> , $a=6.0061(5)$	
15 mol% Bi ₂ Te ₃		"-", $a=6.0238(6)$
Ge ₄ Bi ₂ Te ₇	Romboedr., <i>R3m</i> , $a=4.2638(2)$, $c=73.271(3)$	
Ge ₃ Bi ₂ Te ₆	"-", $a=4.2730(3)$, $c=62.634(4)$	
Ge ₂ Bi ₂ Te ₅	Triqonal, <i>P3m1</i> , $a=4.2986(2)$, $c=17.335(3)$	
GeBi ₂ Te ₄	Romboedr, <i>R3m</i> , $a=4.3176(3)$, $c=41.259(5)$	
GeBi ₄ Te ₇	Triqonal, <i>P3m1</i> , $a=4.3556(2)$, $c=23,928(4)$	
GeBi ₆ Te ₁₀	Romboedr. <i>R3m</i> , $a=4.3572(3)$, $c=101.911(2)$	
90 mol% Bi ₂ Te ₃	"-", $a=4.3693(2)$, $c=30.2132(2)$	

Cədvəldən görünür ki, bu birləşmələr tetradimitəbənzər laylı quruluşda kristallaşır. Onların laylı quruluşlu olmasını SEM mənzərələri də təsdiq edir (şək. 2).

Şəkil 3-də 700 K-də termiki emal olunmuş 0-10 mol % Bi₂Te₃ tərkibli nümunələrin toz difraktoqramları verilir. Göründüyü kimi, 0-9 mol % Bi₂Te₃ tərkibli bütün nümunələr keyfiyyətcə eyni difraksiya mənzərələrinə malikdirlər və bu mənzərələr GeTe birləşməsinin aşağı temperaturu romboedrik modifikasiyasının difraktoqramı ilə identikdir. Bu göstərir ki, həmin tərkib intervalında GeTe-Bi₂Te₃ sistemində GeTe birləşməsinin aşağı temperaturu modifikasiyası əsasında əvəz olunma bərk məhlulları əmələ gəlir. Maraqlıdır ki, bərk məhlullarda bismutun qatılığı artdıqca bir sıra qoşa difraksiya pikləri, məs, 25-27°, 42-44°, 69-72° bucaq intervallarında olan qoşa piklər bir-birinə yaxınlaşır və 10 mol % Bi₂Te₃ tərkibdə birləşərək bir pikə çevrilir. Həmin nümunənin difraktoqramının analizi göstərir ki, o, tam olaraq kubik qəfəsdə indekslənilir (cədv. 1).



Şəkil 2. Tetradimitəbənzər laylı quruluşlu birləşmələrin SEM mənzərələri. $\text{Ge}_3\text{Bi}_2\text{Te}_6$ (a), $\text{Ge}_4\text{Bi}_2\text{Te}_7$ (b), $\text{Ge}_2\text{Bi}_2\text{Te}_5$ (c) və $\text{GeBi}_6\text{Te}_{10}$ (d).



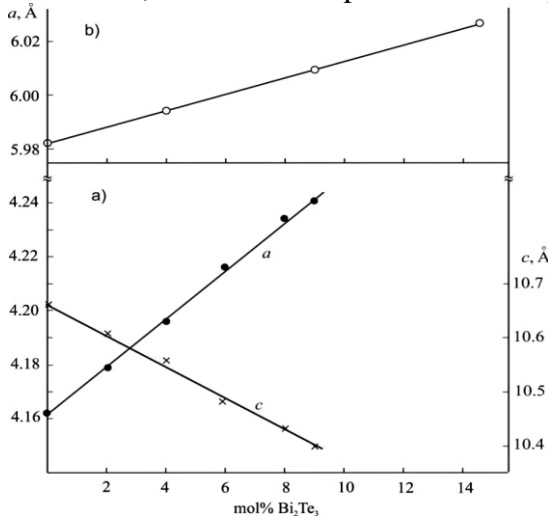
Şəkil 3. 700 K-də termiki emal olunmuş 0-10 mol % Bi_2Te_3 tərkibli nümunələrin toz difraktoqramları.

Bu nəticələrin interpretasiyası 9-10 mol % Bi_2Te_3 tərkib intervalında sistemdə "romboedrik \leftrightarrow kubik" morfootrop faza keçidi baş verdiyini deməyə əsas verir.

Qeyd etmək lazımdır ki, 12-20 mol % Bi_2Te_3 tərkibli nümunələrin rentgenoqrafik analizi onların kubik və tetradimitəbənzər laylı quruluşa malik fazaların qarışığından ibarət olduğunu göstərir. Güman etmək olar ki, kubik faza ilə tarazlıqda olan laylı fazalar $m\text{GeTe}\cdot\text{Bi}_2\text{Te}_3$ homoloji sırasının GeTe -la daha zəngin olan fazası və ya belə fazaların qarışığıdır. Təəssüf ki, biz həmin fazaları dəqiq identifikasiya edə bilmədik.

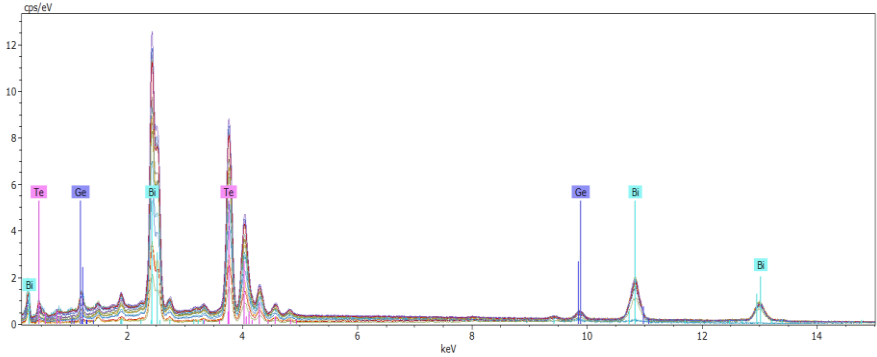
$\text{GeTe-Bi}_2\text{Te}_3$ sistemində GeTe -in yüksəktemperaturlu kubik modifikasiyası əsasında həllolmanı öyrənmək üçün 4, 9 və 15 mol % Bi_2Te_3 tərkibli nümunələr 10 saat müddətində 850 K-də saxladıqdan sonra soyuq suda tavlandırılmışdır. Alınmış difraksiya mənzərələri onların birfazalı və kubik quruluşlu olduğunu göstərmişdir.

Şəkil 4-də germanium telluridlə zəngin sahədə 700 və 870 K-də bərk məhlulların kristal qəfəs parametrlərinin tərkibdən asılılıq qrafikləri verilmişdir. Şəkildən görünür ki, $\text{Ge}\rightarrow\text{Bi}$ əvəzləmələri zamanı bərk məhlullarda həm kubik, həm də romboedrik modifikasiya halında a parametri artır, sonuncunun c parametri isə kiçilir.



Şəkil 4. 700 K (a) və 870 K-də (b) GeTe əsasında bərk məhlulların qəfəs parametrlərinin tərkibdən asılılıqları.

Cədvəl 1-də qeyd edilən birləşmə və bərk məhlulların element tərkibləri SEM/EDS üsulu ilə təsdiq olunmuşdur. Şəkil 5-də $\text{GeBi}_6\text{Te}_{10}$ birləşməsinin EDS spektri, cədvəl 2-də isə EDS spektrindən həmin birləşmənin element tərkibi üçün alınmış nəticələr verilir.

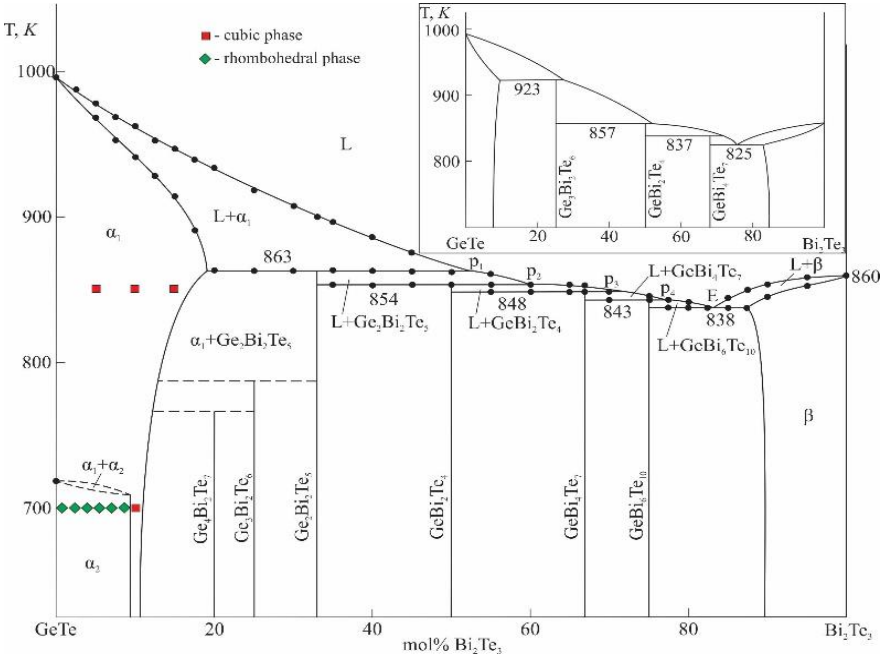


Şəkil 5. $\text{GeBi}_6\text{Te}_{10}$ birləşməsinin EDS spektri.

Cədvəl 2
 $\text{GeBi}_6\text{Te}_{10}$ birləşməsinin EDS spektrindən alınmış element tərkibi

Element	Seriyalar	Miqdar, kütlə %	Miqdar, atom %	Xəta, kütlə %
Germanium	K-seriyası	2.69	5.65	0.28
Bismut	L- seriyası	47.07	34.33	3.33
Tellur	L- seriyası	50.24	60.02	4.10
	Yekun	100.00	100.00	

Yuxarıda verilən RFA və SEM nəticələrini nəzərə almaqla DTA nəticələri əsasında $\text{GeTe-Bi}_2\text{Te}_3$ sisteminin T-x diaqramı qurulmuşdur (şək. 6). Bu diaqrama görə sistemdə 6 üçlü birləşmə və hər iki ilkin binar birləşmə əsasında geniş bərk məhlul sahələri mövcuddur. Faza diaqramından görüldüyü kimi, aşkar edilən üçlü birləşmələrdən dördü peritektik reaksiyalar üzrə parçalanmaqla əriyirlər, $\text{Ge}_3\text{Bi}_2\text{Te}_6$ və $\text{Ge}_4\text{Bi}_2\text{Te}_7$ birləşmələri isə bərk fazada parçalanırlar. DTA əyriləri üzərində bu birləşmələrin bərk fazada parçalanmasına aid heç bir termiki effekt aşkar edilmədiyindən parçalanma temperaturları təxmini olaraq qırıq xətlərlə göstərilmişdir.



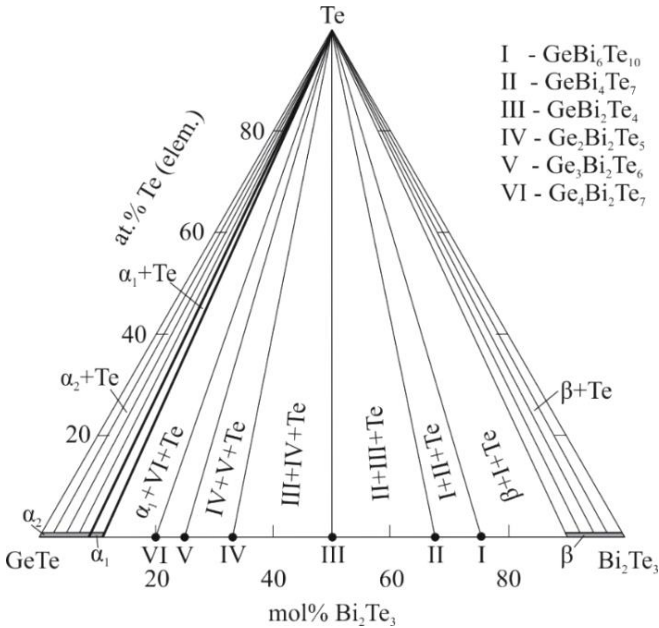
Şəkil 6. GeTe-Bi₂Te₃ sisteminin faza diaqramını yeni variantı. Kiçildilmiş miqyasda faza diaqramının əvvəlki variantı verilir.

300K-də bərkfaza tarazlıqları diaqramı sistemin bütün üçlü birləşmələrinin, həmçinin binar birləşmələr əsasında α_1 , α_2 və β - bərk məhlulların elementar tellurla stabil konnodlar əmələ gətirməsilə səciyyələnir (şək.7). Göründüyü kimi, bərk məhlulların GeTe-Bi₂Te₃ kəsiyi üzrə homogenlik sahələrinə uyğun olaraq faza diaqramında α_1 +Te, α_2 +Te, β +Te ikifazlı sahələri formalaşır. Üçlü birləşmələrin homogenlik sahələri kiçik (~1 mol % tərtibində) olduğundan, onların hər birinin tellurla əmələ gətirdiyi ikifazlı sahələr praktiki olaraq bir şüa xəttinə cırışmışdır, məs., I+Te, II+Te və s.

Şək.7-də verilən bütün faza sahələri RFA və SEM üsulları ilə təsdiq edilmişdir. Həmin nəticələr dissertasiyada verilir və şərh olunur.

Likvidus səthinin proyeksiyası. GeTe-Bi₂Te₃-Te sisteminin likvidus səthi 7 ilkin kristallaşma sahəsindən ibarətdir. Ən böyük 1 sahəsi GeTe- birləşməsinin yüksəktemperaturlu modifikasiyası əsasında α_1 -bərk məhlullara, 2 sahəsi Bi₂Te₃ əsasında β -bərk məhlullara aiddir.

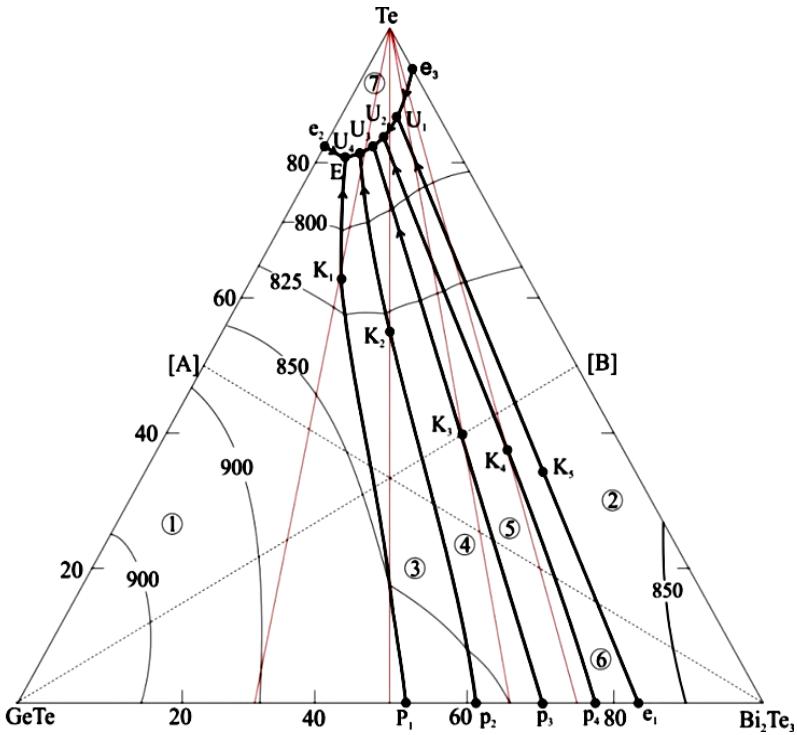
$\text{Ge}_2\text{Bi}_2\text{Te}_5$, GeBi_2Te_4 , GeBi_4Te_7 və $\text{GeBi}_6\text{Te}_{10}$ birləşmələrinin likvidus səthləri (3-6 sahələri) bu iki geniş sahə arasında nisbətən nazik zolaqlar şəklində GeTe - Bi_2Te_3 yan sistemindən qatılıq üçbucağının Te təpəsinə doğru yönəlmişlər.



Şəkil 7. GeTe - Bi_2Te_3 - Te sisteminin 300 K-də bərkfaza tarazlıqları diaqramı

Müxtəlif fazaların likvidus səthləri bir-biri ilə bir sıra monovariant tarazlıq əyriləri və nonvariant tarazlıq nöqtələri ilə sərhədlənilir. Sistemdə müşahidə olunan nonvariant və monovariant tarazlıqlar haqqında məlumatlar Cədvəl 3-də toplanmışdır.

Sistem ilkin binar birləşmələrindən ikisi (GeTe , Bi_2Te_3) əsasında (α -və β -fazalar), TlBiTe_2 əsasında (γ -faza) və Tl_8GeTe_5 - Tl_9BiTe_6 kva-zibinar kəsiyi boyunca (δ -faza) geniş bərk məhlul sahələrinin əmələ gəlməsilə xarakterizə olunur. Sistemin digər birləşmələri əsasında həll olma 1-2 mol%-dən artıq deyil.



Şəkil 8. GeTe-Bi₂Te₃-Te sisteminin likvidus səthinin proyeksiyası. İlk kristallaşma sahələri: 1- α ; 2- β ; 3- Ge₂Bi₂Te₅; 4- GeBi₂Te₄, 5- GeBi₂Te₄, 6- GeBi₆Te₁₀; 7-Te.

Şəkil 6 və cədvəl 3-dən görünür ki, P₁, P₂, P₃, P₄ -pertektika və e₁ evtektika nöqtələrindən çıxan monovariant tarazlıq ayrılırları K₁-K₅ keçid nöqtələri ilə iki hissəyə bölünürlər. Həmin nöqtələrdə nonvariant tarazlığın bir tipindən digərinə keçid baş verir. Bu hadisə dissertasiya işində geniş şərh olunmuşdur.

Dördüncü fəsildə Tl-Ge-Bi-Te sisteminin Tl₂Te-GeTe-Bi₂Te₃ və Tl₂Te-Tl₈GeTe₅-Tl₉BiTe₆ qatılıq müstəviləri üzrə faza tarazlıqlarının tədqiqinin nəticələri verilmişdir. Hər iki alt sistem ilk dəfə öyrənilmişdir.

Tl₂Te-GeTe-Bi₂Te₃ sistemində bərkfaza tarazlıqları.

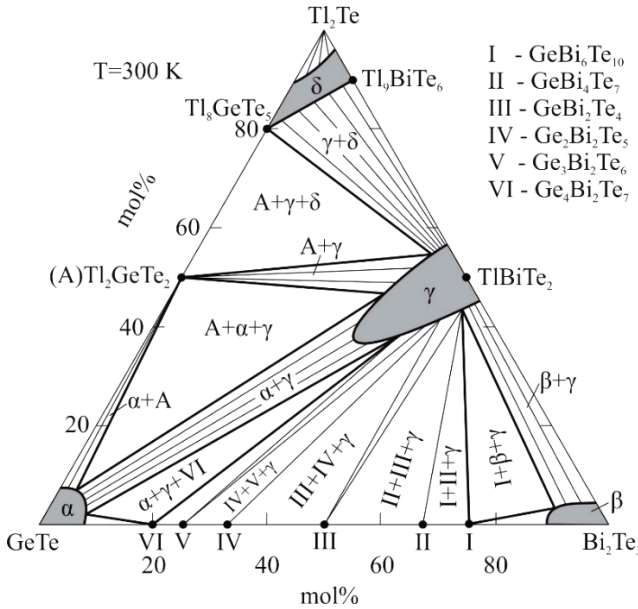
GeTe-Bi₂Te₃-Te sistemində non- və monovariant tarazlıqlar

Şək.8-də nöqtə və ya əyri	Tarazlıq	T, K
P ₁	$L + \alpha_1 \leftrightarrow \text{Ge}_2\text{Bi}_2\text{Te}_5$	863
P ₂	$L + \text{Ge}_2\text{Bi}_2\text{Te}_5 \leftrightarrow \text{GeBi}_2\text{Te}_4$	854
P ₃	$L + \text{GeBi}_2\text{Te}_4 \leftrightarrow \text{GeBi}_4\text{Te}_7$	848
P ₄	$L + \text{GeBi}_4\text{Te}_7 \leftrightarrow \text{GeBi}_6\text{Te}_{10}$	843
e ₁	$L \leftrightarrow \text{GeBi}_6\text{Te}_{10} + \beta$	838
e ₂	$L \leftrightarrow \alpha_2 + \text{Te}$	653
e ₃	$L \leftrightarrow \beta + \text{Te}$	686
U ₁	$L + \beta \leftrightarrow \text{GeBi}_6\text{Te}_{10} + \text{Te}$	677
U ₂	$L + \text{GeBi}_6\text{Te}_{10} \leftrightarrow \text{GeBi}_4\text{Te}_7 + \text{Te}$	670
U ₃	$L + \text{GeBi}_4\text{Te}_7 \leftrightarrow \text{GeBi}_2\text{Te}_4 + \text{Te}$	662
U ₄	$L + \text{GeBi}_2\text{Te}_4 \leftrightarrow \text{Ge}_2\text{Bi}_2\text{Te}_5 + \text{Te}$	653
E	$L \leftrightarrow \alpha_2 + \text{Ge}_2\text{Bi}_2\text{Te}_5 + \text{Te}$	645
P ₁ K ₁	$L + \alpha_1 \leftrightarrow \text{Ge}_2\text{Bi}_2\text{Te}_5$	863-815
P ₂ K ₂	$L + \text{Ge}_2\text{Bi}_2\text{Te}_5 \leftrightarrow \text{GeBi}_2\text{Te}_4$	854-827
P ₃ K ₃	$L + \text{GeBi}_2\text{Te}_4 \leftrightarrow \text{GeBi}_4\text{Te}_7$	848-830
P ₄ K ₄	$L + \text{GeBi}_4\text{Te}_7 \leftrightarrow \text{GeBi}_6\text{Te}_{10}$	843-830
e ₁ K ₅	$L \leftrightarrow \text{GeBi}_6\text{Te}_{10} + \beta$	838-830
K ₅ U ₁	$L + \beta \leftrightarrow \text{GeBi}_6\text{Te}_{10}$	830-677
K ₄ U ₂	$L + \text{GeBi}_6\text{Te}_{10} \leftrightarrow \text{GeBi}_4\text{Te}_7$	830-670
K ₃ U ₃	$L + \text{GeBi}_4\text{Te}_7 \leftrightarrow \text{GeBi}_2\text{Te}_4$	830-662
K ₂ U ₄	$L + \text{GeBi}_2\text{Te}_4 \leftrightarrow \text{Ge}_2\text{Bi}_2\text{Te}_5$	827-653
K ₁ E	$L \leftrightarrow \alpha_1 (\alpha_2) + \text{Ge}_2\text{Bi}_2\text{Te}_5$	815-645
e ₃ U ₁	$L \leftrightarrow \beta + \text{Te}$	686-677
U ₁ U ₂	$L \leftrightarrow \text{GeBi}_6\text{Te}_{10} + \text{Te}$	677-670
U ₂ U ₃	$L \leftrightarrow \text{GeBi}_4\text{Te}_7 + \text{Te}$	670-652
U ₃ U ₄	$L \leftrightarrow \text{GeBi}_2\text{Te}_4 + \text{Te}$	662-653
U ₄ E	$L \leftrightarrow \text{Ge}_2\text{Bi}_2\text{Te}_5 + \text{Te}$	653-638
e ₂ E	$L \leftrightarrow \alpha_2 + \text{Te}$	653-638

Sistem ilkin binar birləşmələrdən ikisi (GeTe və Bi₂Te₃) əsasında (α -, β -fazalar), TlBiTe₂ əsasında (γ -faza) və Tl₈GeTe₅-Tl₉BiTe₆ kvazibinar kəsiyi boyunca (δ -faza) geniş bərk məhlul sahələrinin əmələ gəlməsilə xarakterizə olunur. Sistemin digər birləşmələri əsasında həllolma 1-2 mol%-dən artıq deyil.

Bu birləşmə və fazaların qarşılıqlı təsiri nəticəsində faza diaq-

ramında bir sıra 2 və 3 fazlı sahələr formalaşır. Həmin sahələrin formalaşmasında həlledici rol TlBiTe_2 birləşməsi əsasında γ -fazaya məxsusdur. O, Tl_2Te istisna olmaqla, sistemin bütün digər fazaları ilə α -, β -, δ - bərk məhlullarla, Tl_2GeTe_2 birləşməsilə, həmçinin $\text{GeTe-Bi}_2\text{Te}_3$ sistemində mövcud olan I-VI birləşmələri ilə konnod əlaqəsindədir. Həmin konnodların bəziləri ($\alpha+\gamma$, $\beta+\gamma$, $\delta+\gamma$, $\text{Tl}_2\text{GeTe}_2-\gamma$, $\alpha+\text{Tl}_2\text{GeTe}_2$) geniş ikifazlı sahələr əmələ gətirir. Digər ikifazlı sahələr isə nisbətən kiçik qatılıq sahələrini tutur və ya bir konnoda cırılmış haldadırlar.

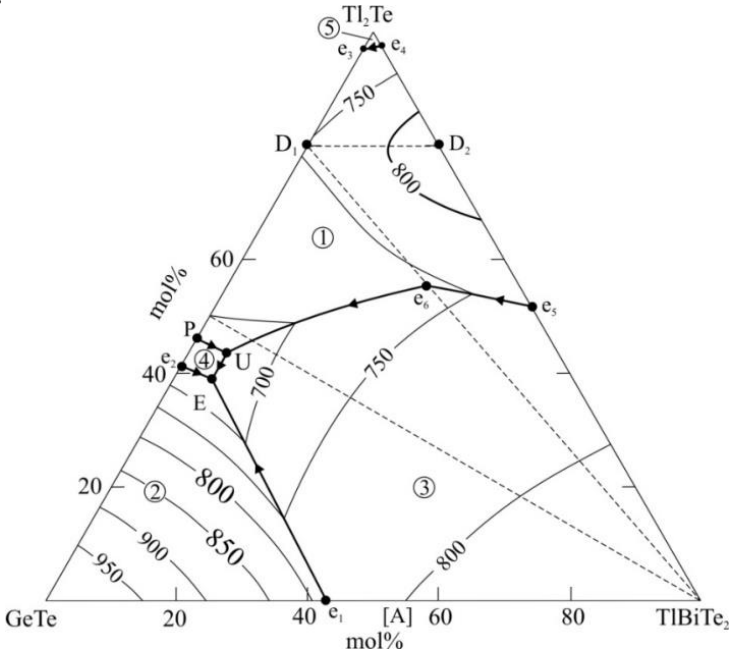


Şəkil 9. $\text{Tl}_2\text{Te-GeTe-Bi}_2\text{Te}_3$ sisteminin 300 K-də bərkfaza tarazlıqları diaqramı

$\text{Tl}_2\text{Te-Tl}_8\text{GeTe}_5\text{-Tl}_9\text{BiTe}_6$ alt sistemi baxılan kvaziüçlü sistemin 4 müstəqil altsistemindən biridir. Şək. 9-da nisbətən kiçik qatılıq sahəsini tutsa da, o, potensial aşağı istilik keçiricilikli termoelektrik materialları kimi böyük maraq doğurur. Bu alt sistemdə Tl_5Te_3 tipli kristal quruluşa malik geniş bərk məhlul sahəsi əmələ gəldiyindən o, daha ətraflı öyrənilmişdir və dissertasiyada ayrıca şərh edilir.

$\text{Tl}_2\text{Te-GeTe-TlBiTe}_2$ sisteminin likvidus səthinin proyeksiyası 5 fazanın ilkin kristallaşma sahəsindən ibarətdir (Şək.10).

Onlardan üçü (1, 2 və 3 sahələri) çox geniş qatılıq intervallarını əhatə edirlər və müvafiq olaraq δ -, α - və γ -bərk məhlulların ilkin kristallaşmasını əks etdirirlər. Likvidus səthlərini bir-biri ilə sərhədləndirilən non- və monovariant tarazlıqlar haqqında məlumatlar cədv. 4-də toplanmışdır.



Şəkil 10. Tl_2Te - $GeTe$ - $TlBiTe_2$ sisteminin likvidus səthinin proyeksiyası
İlkin kristallaşma sahələri: 1- δ ; 2- α ; 3- β ; 4- Tl_2GeTe_2 , 5- Tl_2Te .
Qırıq xətlər - kvazibinar və solidusdan aşağıda stabil olan kəsiklərdir.

Tl_8GeTe_5 - Tl_9BiTe_6 - $TlBiTe_2$ altsistemi (şək.10) monovariant evtektik tiyə aiddir. Likvidus səthi γ - və δ - fazaların ilkin kristallaşmasına aid 2 sahədən ibarətdir. Bu sahələri bir-birindən $L \leftrightarrow \gamma + \delta$ monovariant tarazlığına uyğun e_5e_6 evtektika əyrisi ayırır. Solidusdan aşağıda faza diaqramı γ - və δ - fazaların homogen sahələrindən və onların tarazlıqda olduğu ikifazlı sahədən ibarətdir.

$GeTe$ - Tl_8GeTe_5 - $TlBiTe_2$ altsistemi daha mürəkkəb faza tarazlıqları mənzərəsinə malikdir (şək. 10). Bu altsistemin 2 yan tərəfi -

GeTe-TlBiTe₂ və Tl₈GeTe₅-TlBiTe₂ evtektik tipə aiddir, üçüncü isə peritektik və evtektik tarazlıqlarla xarakterizə olunur. Yan sistemlərin həmin nonvariant tarazlıq nöqtələrindən (e₁, e₂, e₆, P) çıxan monovariant tarazlıq əyrilərinin bir-biri ilə qovuşması dördfazlı nonvariant keçid (U) və evtektik (E) tarazlıqların (cədv. 4) yaranmasına gətirib çıxarır.

Cədvəl 4

Tl₂Te-GeTe-TlBiTe₂ sistemində nonvariant və monovariant tarazlıqlar

Şəkil 10-da nöqtə və ya əyri	Tarazlıq	T,K
D ₁	$L \leftrightarrow Tl_8GeTe_5 (\delta)$	753
D ₂	$L \leftrightarrow Tl_9BiTe_6 (\delta)$	830
P	$L + \delta \leftrightarrow Tl_2GeTe_2$	690
e ₁	$L \leftrightarrow \alpha' + \gamma'$	785
e ₂	$L \leftrightarrow \alpha' + Tl_2GeTe_2$	683
e ₃	$L \leftrightarrow Tl_2Te + \delta (Tl_8GeTe_5)$	695
e ₄	$L \leftrightarrow Tl_2Te + \delta (Tl_9BiTe_6)$	697
e ₅	$L \leftrightarrow \gamma + \delta (Tl_9BiTe_6)$	763
e ₆	$L \leftrightarrow \gamma + \delta (Tl_8GeTe_5)$	740
U	$L + \delta \leftrightarrow Tl_2GeTe_2 + \gamma$	683
E	$L \leftrightarrow \alpha + \gamma + Tl_2GeTe_2$	675
e ₁ E	$L \leftrightarrow \alpha'(\alpha) + \gamma'(\gamma)$	785-675
e ₂ E	$L \leftrightarrow \alpha'(\alpha) + Tl_2GeTe_2$	683-675
e ₄ e ₃	$L \leftrightarrow Tl_2Te + \delta$	697-695
e ₅ e ₆	$L \leftrightarrow \gamma + \delta$	763-740
e ₆ U	$L \leftrightarrow \gamma + \delta (Tl_8GeTe_5)$	740-683
PU	$L + \delta \leftrightarrow Tl_2GeTe_2$	690-683
UE	$L \leftrightarrow Tl_2GeTe_2 + \gamma$	683-675

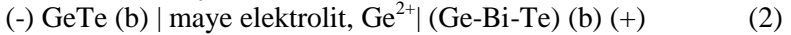
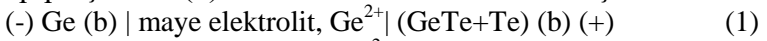
Kristallaşma U keçid reaksiyası (cədv.4) üzrə maye fazanın (L) çatışmazlığı şəraitində başa çatdıqda subsolidusda Tl₂Te+δ +γ üçfazlı halı, δ-fazanın çatışmazlığı şəraitində başa çatdıqda isə Tl₂GeTe₂ +γ ikifazlı halı yaranır. Kristallaşma nonvariant evtektik (E) reaksiya ilə başa çatdıqda subsolidusda α+γ+Tl₂GeTe₂ üçfazlı sahəsi yaranır.

Dissertasiya işinin üç və dördüncü fəsilərində hər iki sistemin faza diaqramlarının bir sıra politermik kəsikləri verilmiş və ətraflı şərh olunmuşdur.

Bəşinci fəsil GeTe birləşməsinin və Ge-Bi-Te sistemində əmələ gələn üçkomponentli fazaların termodinamik xassələrinin elektrik hərəkət qüvvəsi (EHQ) üsulu ilə tədqiqinə həsr olunmuşdur.

Fəslin əvvəlində EHQ üsulunun mahiyyəti, onun üstünlükləri və çatışmayan cəhətləri qısa şərh edilir, bərk və maye elektrolitli EHQ üsulunun termodinamik tədqiqatlarda istifadə olunması haqda məlumatlar verilir, bu üsulun çoxkomponentli heterogen sistemlərə tətbiqinin spesifik cəhətləri araşdırılır və dissertasiya üzrə təcrübi tədqiqatlar planlaşdırılır. Sonra EHQ üsulu ilə tədqiqatların aparılması və nəticələrin riyazi işlənməsi metodikaları verilir. Son iki paragrafda isə Ge-Te və Ge-Bi-Te sistemlərinin aralıq fazalarının termodinamik tədqiqinin nəticələri verilir və müzakirə edilir.

Ge-Te sisteminin termodinamik tədqiqi üçün (1), Ge-Bi-Te sisteminin tədqiqi üçün isə (2) dövrlərindən istifadə edilmişdir:



Hər iki dövrdə elektrolit kimi kalium xloridin qliserinli məhlulu götürülmüşdür. Ölçmələr 300-450 K temperatur intervalında aparılmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, EHQ qiymətləri təkrarlanandır və temperaturdan asılı olaraq xətti dəyişir. Bu, tərtib olunan dövrlərin dönər olmasını, müvafiq faza sahələrində tarazlıqda olan fazaların tərkiblərinin temperaturdan asılı olmadan sabit olmasını göstərir və EHQ ölçmələrinin nəticələri əsasında termodinamik hesablamalar aparmağa əsas verir.

EHQ-nin temperatur asılılığının xətti olmasına nəzərə alaraq ölçmələrin nəticələri ən kiçik kvadratlar üsulu ilə işlənmiş və (3) tipli xətti tənliklər şəklində təqdim olunmuşdur:

$$E = a + bT \pm 2 \cdot \left[(S_E^2/n) + S_b^2 (T_i - \bar{T})^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

burada n – E və T qiymətləri cütlərinin sayı; S_E – ayrı-ayrı EHQ ölçmələrinin, S_b – isə b sabitinin dispersiyası; \bar{T} – orta temperaturdur.

GeTe+Te ikifazalı sahəsi üçün alınan xətti tənlik

$$E, \text{ mV} = 256.50 + 0.0586 T \pm 2 \left[\frac{1.64}{30} + 2.6 \cdot 10^{-5} (T - 376.5)^2 \right]^{1/2}$$

şəklindədir. Bu tənlikdən

$$\Delta \bar{G}_{\text{Ge}} = -zFE \quad (4)$$

$$\Delta \bar{S}_{Ge} = zF \left(\frac{\partial E}{\partial T} \right)_p = zFb \quad (5)$$

$$\Delta \bar{H}_{Ge} = -zF \left[E - T \left(\frac{\partial E}{\partial T} \right)_p \right] = -zFa \quad (6)$$

termodinamik ifadələri vasitəsilə GeTe+Te xəlitələrinə germaniumun 298.15 K - də nisbi parsial termodinamik funksiyaları hesablanmışdır:

$$\Delta \bar{G}_{Ge} = -52.87 \pm 0.09 \text{ kC/mol}$$

$$\Delta \bar{H}_{Ge} = -49.50 \pm 0.38 \text{ kC/mol}$$

$$\Delta \bar{S}_{Ge} = 11.30 \pm 1.00 \text{ C/(K} \cdot \text{mol)}$$

(4)-(6) ifadələrində z - mütəhərrik komponent kationunun (Ge^{2+}) yükü, F - Faradey ədədi, a və b - (3) tənliyindəki sabitlərdir. Ge-Te sisteminin faza diaqramına əsasən bu kəmiyyətlər (1) tipli dövrlərdə aşağıdakı yekun potensialəmələgətirici reaksiyanın termodinamik funksiyalarıdır:



Yəni onlar GeTe birləşməsinin standart əmələgəlmə termodinamik funksiyalarıdır. Elementar Ge və Te-un standart entropiyaları üçün $S^0_{Ge} = 31.13 \pm 0.3 \text{ C} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$; $S^0_{Te} = 49.50 \pm 0.21 \text{ C} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ qiymətlərdən istifadə etməklə

$$S^0_{GeTe} = S^0_{Ge} + S^0_{Te} + \Delta_f S^0_{GeTe}$$

ifadəsi vasitəsilə GeTe birləşməsinin standart entropiyası hesablanmışdır: $S^0_{GeTe} = 91.1 \text{ C} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$

Dissertasiyada GeTe birləşməsinin standart inteqral termodinamik funksiyaları üçün aldığımız qiymətlərin müxtəlif mənbələrdən götürülmüş kəmiyyətlərlə müqayisəli təhlili verilir.

Ge-Bi-Te sisteminin müxtəlif faza sahələri üçün (2) tipli dövrlərdə EHQ ölçmələri əsasında alınmış xətti tənliklər cədvəl 5-də verilmişdir.

Alınmış tənliklərdən və (4)-(6) tipli termodinamik ifadələrdən istifadə etməklə GeTe-in ərintilərdə nisbi parsial molyar Gibbs sərbəst enerjisi, entalpiyası və entropiyası hesablanmışdır (cədv. 6). Bu kəmiyyətlər (2) tipli dövrənin sol və sağ elektrodları üçün germaniumun müvafiq parsial molyar funksiyalarının fərqidir:

Cədvəl 5

300-450 K temperatur intervalında Ge-Bi-Te sisteminin bəzi faza sahələrində (2) tipli dövrlər üçün EHQ-nin temperaturdan asılılıq tənlikləri

Faza sahəsi	$E = a + bT \pm 2S_E(T)$
$\beta(5 \text{ mol \% GeTe}) + \text{Te}$	$157.89 + 0.0752 T \pm 2 \left[\frac{1.5}{30} + 2.4 \cdot 10^{-5}(T - 376.5)^2 \right]^{1/2}$
$\beta(10 \text{ mol \% GeTe}) + \text{Te}$	$135.47 + 0.0641 T \pm 2 \left[\frac{1.1}{30} + 1.7 \cdot 10^{-5}(T - 376.5)^2 \right]^{1/2}$
$\beta + \text{GeBi}_6\text{Te}_{10} + \text{Te}$	$128.28 + 0.0520 T \pm 2 \left[\frac{1.4}{30} + 2.2 \cdot 10^{-5}(T - 376.1)^2 \right]^{1/2}$
$\text{GeBi}_6\text{Te}_{10} + \text{GeBi}_4\text{Te}_7 + \text{Te}$	$103.20 + 0.0511 T \pm 2 \left[\frac{1.3}{30} + 2.0 \cdot 10^{-5}(T - 376.4)^2 \right]^{1/2}$
$\text{GeBi}_4\text{Te}_7 + \text{GeBi}_2\text{Te}_4 + \text{Te}$	$95.79 + 0.0281 T \pm 2 \left[\frac{1.0}{30} + 1.7 \cdot 10^{-5}(T - 376.7)^2 \right]^{1/2}$
$\text{GeBi}_2\text{Te}_4 + \text{Ge}_2\text{Bi}_2\text{Te}_5 + \text{Te}$	$57.81 + 0.0385 T \pm 2 \left[\frac{1.2}{30} + 2.0 \cdot 10^{-5}(T - 376.7)^2 \right]^{1/2}$
$\text{Ge}_2\text{Bi}_2\text{Te}_5 + \text{Ge}_3\text{Bi}_2\text{Te}_6 + \text{Te}$	$35.81 + 0.0430 T \pm 2 \left[\frac{1.5}{30} + 2.5 \cdot 10^{-5}(T - 376.7)^2 \right]^{1/2}$
$\text{Ge}_3\text{Bi}_2\text{Te}_6 + \text{Ge}_4\text{Bi}_2\text{Te}_7 + \text{Te}$	$20.78 + 0.0478 T \pm 2 \left[\frac{2.1}{30} + 2.1 \cdot 10^{-5}(T - 377.4)^2 \right]^{1/2}$

$$\Delta \bar{G}_{\text{GeTe}}(\text{xəlitədə}) = \Delta \bar{G}_{\text{Ge}}(\text{xəlitədə}) - \Delta \bar{G}_{\text{Ge}}(\text{GeTe-də})$$

Ona görə də

$$\Delta \bar{G}_{\text{Ge}}(\text{xəlitədə}) = \Delta \bar{G}_{\text{GeTe}}(\text{xəlitədə}) + \Delta \bar{G}_{\text{Ge}}(\text{GeTe-də})$$

Deməli, ərintilərdə germaniumun parsial termodinamik funksiyaları GeTe-də germaniumun müvafiq parsial molyar funksiyaları ilə Cədv. 6-da verilən kəmiyyətlərin toplanması ilə hesablanıla bilər. Əldə edilmiş nəticələr cədv. 7-də verilmişdir.

β -bərk məhlulların standart əmələgəlmə termodinamik funksiyalarının hesablanması Gibbs-Duhem tənliyinin GeTe-Bi₂Te₃ kəsiyi boyunca qrafik inteqrallanması yolu ilə aparılmışdır:

$$\Delta_f Z^0(\beta) = (1-x) \int_0^x \frac{\Delta \bar{Z}_{\text{GeTe}}}{(1-x)^2} dx + (1-x) \Delta_f Z^0(\text{Bi}_2\text{Te}_3) + x \Delta_f Z^0(\text{GeTe})$$

Bu tənlikdə x - GeTe-in mol hissəsidir, $\Delta \bar{Z}_{\text{GeTe}}$ β -fazada GeTe-in

parsial molyar funksiyaları (cədv. 6), $-\Delta_f Z^0(\text{Bi}_2\text{Te}_3)$ isə Bi_2Te_3 birləşməsinin standart əmələgəlmə termodinamik funksiyalarıdır.

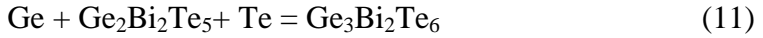
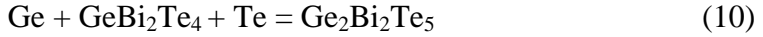
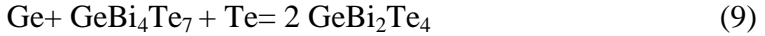
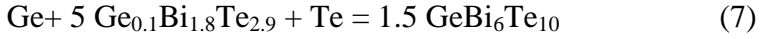
Cədvəl 6
Ge-Bi-Te sisteminin ərintilərində GeTe-in nisbi parsial molyar funksiyaları (T=298 K)

Faza sahəsi	$-\Delta\bar{G}_{\text{GeTe}}$	$\Delta\bar{H}_{\text{GeTe}}$	$\Delta\bar{S}_{\text{GeTe}}$
	kJ/mol		C/mol·K
$\beta(5 \text{ mol \% GeTe}) + \text{Te}$	34.79 ± 0.09	30.47 ± 0.36	14.49 ± 0.95
$\beta(10 \text{ mol \% GeTe}) + \text{Te}$	29.83 ± 0.07	26.14 ± 0.30	12.38 ± 0.80
$\beta + \text{GeBi}_6\text{Te}_{10} + \text{Te}$	27.74 ± 0.08	24.75 ± 0.34	10.03 ± 0.91
$\text{GeBi}_6\text{Te}_{10} + \text{GeBi}_4\text{Te}_7 + \text{Te}$	22.85 ± 0.08	19.91 ± 0.32	9.86 ± 0.85
$\text{GeBi}_4\text{Te}_7 + \text{GeBi}_2\text{Te}_4 + \text{Te}$	20.10 ± 0.07	18.48 ± 0.30	5.43 ± 0.78
$\text{GeBi}_2\text{Te}_4 + \text{Ge}_2\text{Bi}_2\text{Te}_5 + \text{Te}$	13.37 ± 0.08	13.37 ± 0.08	7.41 ± 0.86
$\text{Ge}_2\text{Bi}_2\text{Te}_5 + \text{Ge}_3\text{Bi}_2\text{Te}_6 + \text{Te}$	9.39 ± 0.09	6.91 ± 0.37	8.32 ± 0.97
$\text{Ge}_3\text{Bi}_2\text{Te}_6 + \text{Ge}_4\text{Bi}_2\text{Te}_7 + \text{Te}$	6.76 ± 0.08	4.01 ± 0.34	9.22 ± 0.89

Cədvəl 7
Ge-Bi-Te sisteminin ərintilərində germaniumun nisbi parsial molyar funksiyaları (T=298 K)

Faza sahəsi	$-\Delta\bar{G}_{\text{Ge}}$	$-\Delta\bar{H}_{\text{Ge}}$	$\Delta\bar{S}_{\text{Ge}}$
	kJ/mol		C/mol·K
$\beta(5 \text{ mol \% GeTe}) + \text{Te}$	87.66 ± 0.18	79.97 ± 0.76	25.8 ± 1.96
$\beta(10 \text{ mol \% GeTe}) + \text{Te}$	82.70 ± 0.16	75.64 ± 0.70	23.7 ± 1.90
$\beta + \text{GeBi}_6\text{Te}_{10} + \text{Te}$	80.61 ± 0.17	74.25 ± 0.74	21.3 ± 1.94
$\text{GeBi}_6\text{Te}_{10} + \text{GeBi}_4\text{Te}_7 + \text{Te}$	75.72 ± 0.17	69.41 ± 0.72	21.2 ± 1.92
$\text{GeBi}_4\text{Te}_7 + \text{GeBi}_2\text{Te}_4 + \text{Te}$	72.97 ± 0.16	67.98 ± 0.70	16.7 ± 1.90
$\text{GeBi}_2\text{Te}_4 + \text{Ge}_2\text{Bi}_2\text{Te}_5 + \text{Te}$	66.24 ± 0.17	60.66 ± 0.73	18.7 ± 1.93
$\text{Ge}_2\text{Bi}_2\text{Te}_5 + \text{Ge}_3\text{Bi}_2\text{Te}_6 + \text{Te}$	62.26 ± 0.18	56.41 ± 0.77	19.6 ± 1.97
$\text{Ge}_3\text{Bi}_2\text{Te}_6 + \text{Ge}_4\text{Bi}_2\text{Te}_7 + \text{Te}$	59.63 ± 0.17	53.51 ± 0.74	20.5 ± 1.94

Qeyd olunan üçfazlı sahələrdə tarazlıqda olan fazaların tərkiblərinin sabitliyini nəzərə alaraq, üçlü birləşmələrinin standart inteqral termodinamik funksiyaları potensialəmələ gətirici reaksiyalar üsulu ilə hesablanmışdır. Bərkfaza tarazlıqları diaqramına (şək. 7) əsasən, müvafiq üçfazlı sahələrdə germaniumun parsial molyar funksiyalarının qiymətləri aşağıdakı virtual reaksiyaların termodinamik funksiyalarıdır (bütün maddələr kristallik haldadır).



Bu reaksiya tənliklərinə əsasən $\text{GeBi}_6\text{Te}_{10}$, GeBi_4Te_7 , GeBi_2Te_4 , $\text{Ge}_2\text{Bi}_2\text{Te}_5$, $\text{Ge}_3\text{Bi}_2\text{Te}_6$, $\text{Ge}_4\text{Bi}_2\text{Te}_7$ birləşmələrinin standart əmələgəlmə termodinamik funksiyaları ($Z \equiv G, H$) aşağıdakı münasibətlərdən istifadə etməklə hesablanmışdır.

$$\Delta_f Z^0(\text{GeBi}_6\text{Te}_{10}) = \frac{2}{3} \overline{\Delta Z}_{\text{Ge}} + \frac{2}{5} \Delta_f Z^0(\text{Ge}_{0.1}\text{Bi}_{1.8}\text{Te}_{2.9}) \quad (13)$$

$$\Delta_f Z^0(\text{GeBi}_4\text{Te}_7) = \frac{1}{3} \overline{\Delta Z}_{\text{Ge}} + \frac{2}{3} \Delta_f Z^0(\text{GeBi}_6\text{Te}_{10}) \quad (14)$$

$$\Delta_f Z^0(\text{GeBi}_2\text{Te}_4) = 0.5 \overline{\Delta Z}_{\text{Ge}} + 0.5 \Delta_f Z^0(\text{GeBi}_4\text{Te}_7) \quad (15)$$

$$\Delta_f Z^0(\text{Ge}_2\text{Bi}_2\text{Te}_5) = \Delta \bar{Z}_{\text{Ge}} + \Delta_f Z^0(\text{GeBi}_2\text{Te}_4) \quad (16)$$

$$\Delta_f Z^0(\text{Ge}_3\text{Bi}_2\text{Te}_6) = \Delta \bar{Z}_{\text{Ge}} + \Delta_f Z^0(\text{Ge}_2\text{Bi}_2\text{Te}_5) \quad (17)$$

$$\Delta_f Z^0(\text{Ge}_4\text{Bi}_2\text{Te}_7) = \Delta \bar{Z}_{\text{Ge}} + \Delta_f Z^0(\text{Ge}_3\text{Bi}_2\text{Te}_6) \quad (18)$$

$$S^0(\text{GeBi}_6\text{Te}_{10}) = \frac{2}{3} \overline{\Delta S}_{\text{Ge}} + \frac{2}{3} S^0(\text{Ge}) + \frac{2}{3} S^0(\text{Te}) + \frac{2}{5} S^0(\text{Ge}_{0.1}\text{Bi}_{1.8}\text{Te}_{2.9}) \quad (19)$$

$$S^0(\text{GeBi}_4\text{Te}_7) = \frac{1}{3} \overline{\Delta S}_{\text{Ge}} + \frac{1}{3} S^0(\text{Ge}) + \frac{1}{3} S^0(\text{Te}) + \frac{2}{3} S^0(\text{GeBi}_6\text{Te}_{10}) \quad (20)$$

$$S^0(\text{GeBi}_2\text{Te}_4) = 0.5 \overline{\Delta S}_{\text{Ge}} + 0.5 S^0(\text{Ge}) + 0.5 S^0(\text{Te}) + 0.5 S^0(\text{GeBi}_4\text{Te}_7) \quad (21)$$

$$S^0(\text{Ge}_2\text{Bi}_2\text{Te}_5) = \Delta \bar{S}_{\text{Ge}} + S^0(\text{Ge}) + S^0(\text{Te}) + S^0(\text{GeBi}_2\text{Te}_4) \quad (22)$$

$$S^0(\text{Ge}_3\text{Bi}_2\text{Te}_6) = \Delta \bar{S}_{\text{Ge}} + S^0(\text{Ge}) + S^0(\text{Te}) + S^0(\text{Ge}_2\text{Bi}_2\text{Te}_5) \quad (23)$$

$$S^0(\text{Ge}_4\text{Bi}_2\text{Te}_7) = \Delta \bar{S}_{\text{Ge}} + S^0(\text{Ge}) + S^0(\text{Te}) + S^0(\text{Ge}_3\text{Bi}_2\text{Te}_6) \quad (24)$$

Göstərilən ifadələr üzrə hesablamalarda cədv. 7-də verilən partial molyar kəmiyyətlərlə yanaşı germanium və tellurun standart entropiyalarının qiymətlərindən (bax. səh.24) həmçinin, Bi_2Te_3 birləşməsinin standart integral termodinamik funksiyalarının qiymətlərindən (cədv. 8) istifadə edilmişdir.

Cədvəl 8

Ge-Bi-Te sisteminin binar və üçlü fazalarının standart inteqral termodinamik funksiyaları

Faza	$-\Delta_f G^\circ(298\text{ K})$	$-\Delta_f H^\circ(298\text{ K})$	$S^\circ(298\text{ K}),$ C/mol·K
	kJ/mol		
GeTe	52.9 ± 0.1	49.5 ± 0.4	91.1 ± 1.4
Bi_2Te_3 (ədəbiyyat)	76.9 ± 0.2	79.2 ± 0.5	254.2 ± 3.0
β ($\text{Ge}_{0.05}\text{Bi}_{1.9}\text{Te}_{2.9}$)	77.5 ± 0.2	79.2 ± 0.6	246.8 ± 3.0
β ($\text{Ge}_{0.1}\text{Bi}_{1.8}\text{Te}_{2.8}$)	77.9 ± 0.2	79.0 ± 0.6	239.3 ± 3.0
$\text{GeBi}_6\text{Te}_{10}$	313.4 ± 0.8	312.8 ± 2.5	865.6 ± 11.7
GeBi_4Te_7	234.2 ± 0.6	231.7 ± 1.9	611.0 ± 8.7
	-	191 ± 14^4	-
GeBi_2Te_4	153.6 ± 0.4	149.8 ± 1.3	354.2 ± 5.6
	-	114 ± 8^4	-
$\text{Ge}_2\text{Bi}_2\text{Te}_5$	219.8 ± 0.6	210 ± 2.0	453.5 ± 8.1
$\text{Ge}_3\text{Bi}_2\text{Te}_6$	282.1 ± 0.8	266.9 ± 2.8	553.7 ± 10.6
$\text{Ge}_4\text{Bi}_2\text{Te}_7$	341.7 ± 1.0	320.4 ± 3.6	654.8 ± 13.1

Bütün hesablamalarda xətlər səhvlərin toplanması üsulu ilə təyin edilmişdir.

Əldə olunmuş termodinamik nəticələr qarşılıqlı tənzimlənmiş kəmiyyətlər kompleksi olub, müvafiq maddələrin fundamental fiziki-kimyəvi göstəriciləridir.

NƏTİCƏLƏR

1. DTA, RFA, SEM və mikroquruluş analiz üsulları ilə, həmçinin mikrobərkiyin və müxtəlif tipli qatılıq dövrlərinin EHQ-nin ölçülməsilə Tl-Ge-Bi-Te sisteminin $\text{GeTe-Bi}_2\text{Te}_3\text{-Te}$, $\text{Tl}_2\text{Te-GeTe-Bi}_2\text{Te}_3$ və $\text{Tl}_5\text{Te}_3\text{-Tl}_8\text{GeTe}_5\text{-Tl}_9\text{BiTe}_6$ qatılıq müstəviləri üzrə fiziki-kimyəvi qarşılıqlı təsir xarakteri müəyyən edilmişdir.
2. $\text{GeTe-Bi}_2\text{Te}_3$ kvazibinar sisteminin faza diaqramının yeni, ədəbiyyatda verilənlərdən fərqli variantı qurulmuşdur. Həmin T-x diaqramda $\text{Ge}_4\text{Bi}_2\text{Te}_7$, $\text{Ge}_3\text{Bi}_2\text{Te}_6$, $\text{Ge}_2\text{Bi}_2\text{Te}_5$, GeBi_2Te_4 , GeBi_4Te_7 və $\text{GeBi}_6\text{Te}_{10}$ birləşmələri (onlardan üçü ilk dəfə olmaqla) öz əksini

⁴ Skoropanov A.S., Valevsky B.L., Skums V.F. et al. Physico-chemical study of Ge(Pb)Te-Bi₂(Sb₂)Te₃ system ternary compounds // Thermochimica Acta, 1985, №90, p. 331-334

- tapmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, ilk iki birləşmə bərk fazada parçalanır, qalanları isə peritektik reaksiyalar üzrə inkonqruent əriyirlər. Sistemdə, həmçinin GeTe birləşməsinin iki kristallik modifikasiyası əsasında geniş bərk məhlul sahələri aşkar edilmiş və onlar arasında morfortrop faza keçidi baş verməsi müəyyən edilmişdir.
3. GeTe-Bi₂Te₃-Te sisteminin likvidus səthinin qatılıq üçbucağı üzərinə proyeksiyası, həmçinin faza diaqramının bir sıra şaquli və izotermik kəsikləri qurulmuşdur. Sistemdə yeddi fazanın ilkin kristallaşma sahələri, bu sahələri sərhədləndirən non- və monovariant tarazlıqların tipləri və koordinatları təyin edilmişdir.
 4. GeTe-Bi₂Te₃-Te sisteminin T-x-y faza diaqramında GeTe-Bi₂Te₃ kvazibinar kəsiyinin peritektika və evtektika nöqtələrindən çıxan bütün monovariant tarazlıq əyrilərində bir tarazlıq tipindən digərinə keçid aşkar edilmiş, onun izahı verilmişdir.
 5. İlk dəfə olaraq Tl-Ge-Bi-Te sisteminin qatılıq tetraedrinin Tl₂Te-GeTe-Bi₂Te₃ və Tl₅Te₃-Tl₈GeTe₅-Tl₉BiTe₆ daxili müstəviləri üzrə faza tarazlıqları mənzərələri müəyyən edilmişdir. Birinci kvaziüçlü sistemin Tl₂Te-GeTe-TlBiTe₂ tərkib sahəsində, ikincinin isə tam T-x-y diaqramları, onların müxtəlif izo- və politermik kəsikləri qurulmuş; non-, mono- və bivariant tarazlıqlar müəyyən edilmişdir. Göstərilmişdir ki, Tl₅Te₃-Tl₈GeTe₅-Tl₉BiTe₆ sistemində fasiləsiz, Tl₂Te-GeTe-Bi₂Te₃ sistemində GeTe, Bi₂Te₃, TlBiTe₂ birləşmələri əsasında və Tl₂Te-Tl₈GeTe₅-Tl₉BiTe₆ altsistemində geniş bərk məhlul sahələri əmələ gəlir.
 6. GeTe-Bi₂Te₃ sistemində əmələ gələn üçlü birləşmələr, həmçinin digər tədqiq olunan sistemlərdə aşkar edilən bərk məhlulların seçmə nümunələri fərdi halda sintez olunmuş və identifikasiya edilmişlər. Sintez olunmuş germanium-bismut telluridlərinin tetradiomitəbənzər laylı quruluşa malik olmaları göstərilmiş və Ritveld üsulu ilə onların dəqiqləşdirilmiş kristal qəfəs parametrləri təyin edilmişdir. Üçlü birləşmələrdən bəzilərinin monokristalları Bricmen-Stokbarger üsulu ilə yetişdirilmiş və lay səthlərinin rentgenoqrafik tədqiqi ilə təsdiq edilmişlər.
 7. Müəyyən edilmişdir ki, Tl₈GeTe₅-Tl₉BiTe₆ kvazibinar kəsiyi üzrə əmələ gələn Tl₅Te₃ tipli tetraqonal quruluşlu bərk məhlulların homogenlik sahələri Tl₅Te₃-Tl₈GeTe₅-Tl₉BiTe₆ və Tl₂Te-Tl₈GeTe₅-

Tl_9BiTe_6 qatılıq müstəvilərinə nüfuz edərək birinci müstəvini tam əhatə edir, ikinci müstəvi üzrə isə çox geniş sahəni tutur. Bu, onların tərkibini dəyişməklə funksional xassələrini idarə etməyə imkan yaradır.

8. Ge və GeTe müqayisə elektrodlarına nəzərən qatılıq dövrlərinin EHQ-nin ölçülməsilə Ge-Te və GeTe- Bi_2Te_3 -Te sistemlərinin bir sıra heterogen tarazlıq sahələri öyrənilmiş, xəlitələrdə germaniumun və GeTe kvazikomponentinin parsial molyar Gibbs sərbəst enerjisi, entalpiyası və entropiyası hesablanmışdır. Müvafiq sistemin bərkfaza tarazlıqları diaqramına əsaslanmaqla bu parsial molyar kəmiyyətlərə uyğun potensialəmələgətirici reaksiyalar müəyyən edilmiş və GeTe, $GeBi_6Te_{10}$, $GeBi_4Te_7$, $GeBi_2Te_4$, $Ge_2Bi_2Te_5$, $Ge_3Bi_2Te_6$ və $Ge_4Bi_2Te_7$ birləşmələrinin standart əmələgəlmə termodinamik funksiyalarına və standart entropiyalarına aid yeni qarşılıqlı tənzimlənmiş kəmiyyətlər kompleksləri alınmışdır.

Dissertasiya işinin əsas nəticələri aşağıdakı elmi əsərlərdə dərc olunmuşdur:

1. Алекперова Т.М., Амирасланов И.Р., Бабанлы М.Б. Фазовые равновесия в системе Tl_8GeTe_5 - Tl_9BiTe_6 и некоторые свойства твердых растворов // *Kimya Problemləri* - 2015. №4, - s. 376-381.
2. Алекперова Т.М., Гусейнов Ф.Н., Юсифова И.М., Имамалиева С.З. Получение и термоэлектрические свойства твердых растворов со структурой Tl_5Te_3 в системе Tl -Ge-Bi-Te / Тезисы докладов XV конференции и VIII школы молодых ученых. Нижний Новгород, - 2015, - с.105.
3. Алекперова Т.М., Гусейнов Ф.Н., Юсифова И.М. Т-х-у диаграмма системы Tl_2Te - Tl_8GeTe_5 - Tl_9BiTe_6 / *Akademik Toğrul Şahtaxtinski* nin 90 illik yubileyinə həsr olunmuş respublika elmi konfransı. Bakı, - 2015. - s.130.
4. Ələkbərova Т.М., Yusifova İ.М. Tl_8GeTe_5 - Tl_9BiTe_6 sistemində bərk məhlulların sintezi və tədqiqi / *Ümummilli Lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 92-ci ildönümünə həsr olunmuş doktorant, magistr və gənc tədqiqatçıların “Kimyanın aktual problemləri” IX Respublika Elmi konfransının materialları*. Bakı, - 2015. - s.69.

5. Алекберова Т.М., Гусейнов Ф.Н., Бабанлы М.Б. Фазовые равновесия в системе $Tl_2Te-Tl_5Te_3-Tl_8GeTe_6$ // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, -2016. № (11), - с. 946-950.
6. Alakbarova T.M., Jafarov Y.I., Mustafayeva A.L., Babanly M.B. $Tl_2Te-Tl_9BiTe_6-Tl_8GeTe_5$ system // Kimya problemləri, - 2017. №4, - p. 355-363.
7. Алекперова Т.М., Мирзоева Р.Дж., Султанова С.Г., Бабанлы М.Б. Исследование фазовых равновесий в системе $Tl_2Te-Tl_8GeTe_5-Tl_9BiTe_6$ / XVI Всероссийская конференция и IX Школа молодых ученых, посвященные 100-летию академика Г.Г.Девярых. Нижний Новгород, - 2018. - с. 148.
8. Alakbarova T.M., Orujlu E.N., Imamaliyeva S.Z., Babanly M.B. Solid phase equilibria in the $GeTe-Bi_2Te_3$ system and crystal structures of the intermediate phases / XII International Conference "Electronic Processes in Organic and Inorganic Materials" (ICEPOM-12). Kamianets-Podilskyi, Ukraine, - 2020. - p.268.
9. Alakbarova T.M., Orujlu E.N., Sultanova S.G., Bulanova M.V., Babanly M.B. Phase equilibrium in the $GeTe-Bi_2Te_3$ system and some properties of intermediate phases / The International Conference on Actual problems of Chemical Engineering, dedicated to the 100th Anniversary of the Azerbaijan State of Oil and Industry University (APCE 2020). Baku, - 2020. - p.140.
10. Alakbarova T.M., H.-J.Meyer, E.N.Orujlu, Amiraslanov İ.R., Babanly M.B. Phase equilibria of the $GeTe-Bi_2Te_3$ quasi-binary system in the range 0-50 mol % Bi_2Te_3 // Phase transitions, - 2021. №94 (5), - p. 366-375.
11. Alakbarova T.M. Thermodynamic properties of germanium telluride // New Materials, Compounds and Applications, - 2021. №5 (1), - p. 59-65.
12. Alakbarova T.M., Meyer H.-J., Babanly M.B. Phase diagram of the $GeBi_2Te_4-Bi_2Te_3$ system and thermodynamic properties of the germanium-bismuth tellurides / XI Международная научная конференция "Кинетика и механизм кристаллизации. Кристаллизация и материалы нового поколения", Иваново, - 2021, - p. 232-233.

13. Alakbarova T.M., Orujlu E.N., Babanly D.M., İmamöliyeva S.Z., Babanly M.B. Solid-phase equilibria in the $\text{GeBi}_2\text{Te}_4\text{-Bi}_2\text{Te}_3\text{-Te}$ system and thermodynamic properties of compounds of the $\text{GeTe}\cdot m\text{Bi}_2\text{Te}_3$ homologous series // *Physics and Chemistry of Solid State*, - 2022. №23 (1), - p. 25-33.
14. Alakbarova T.M., Meyer H.-J., Orujlu E.N., Babanly M.B. A refined phase diagram of the $\text{GeTe-Bi}_2\text{Te}_3$ system // *Condensed Matter and Interphases*, - 2022. №24 (1), - p. 11-18.
15. Alakbarova T.M. Physicochemical interactions in $\text{TlBiTe}_2\text{-Tl}_8\text{GeTe}_5$ (Tl_2GeTe_2) systems // *New Materials, Compounds and Applications*, - 2022. №6 (2), - p. 162-168.



Dissertasiyanın müdafiəsi 07 mart 2024-cü il tarixində saat 10⁰⁰ Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi akademik M.Nağıyev adına Kataliz və Qeyri-üzvi Kimya İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən ED 1.15 Dissertasiya Şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ 1143, Bakı şəhəri, H.Cavid prospekti, 113.

Dissertasiya ilə Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi akademik M.Nağıyev adına Kataliz və Qeyri-üzvi Kimya İnstitutunun kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları www.kqkiamea.az rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 02 fevral 2024-cü il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 25.01. 2024

Kağızın formatı: 60x84^{1/16}

Həcm: 36 137

Tiraj: 100 nüsxə