

AZƏRBAYCAN MİLLİ ELMLƏR AKADEMİYASI
Akademik H. M. Abdullayev adına Fizika İnstitutu

Əlyazması hüququnda

SƏYYARƏ ADİL QIZI NƏBİYEVƏ

STİBİUM VƏ BİSMUT TELLURİDLƏRİ ƏSASINDA
TERMOELEKTRİK MATERİALLARINDA ÜÇÖLÇÜLÜ
DEFEKTlər

İxtisas: 2220.03 – “Elektronika”

Fizika üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

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

Bakı – 2018

Dissertasiya işi Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının akademik H. M. Abdullayev adına Fizika İnstitutu yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər:

Fizika-riyaziyyat elmlər doktoru,
professor, akademik

B. H. Tağıyev

Rəsmi opponentlər:

F.-r.e.d., prof.
F.-r.e.n., dos.

İ.R. Nuriyev
R.F. Mehtiyev

Aparıcı təşkilat: Azərbaycan Texniki Universitetin “Elektronika” kafedrası

Dissertasiya işinin müdafiəsi “14” mart 2018-ci il saat 11⁰⁰-da Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının akademik H. M. Abdullayev adına Fizika İnstitutunda fəaliyyət göstərən D. 01. 011 Dissertasiya Şurasının iclasında keçiriləcəkdir.

Ünvan: AZ 1143, Bakı ş., H. Cavid prospekti, 131
e-mail: director@physics.ab.az

Dissertasiya ilə AMEA-nın Fizika İnstitutunun kitabxanasında tanış olmaq olar.

Avtoreferat “ ____ ” “ _____ ” 2018-ci il tarixində göndərilmişdir.

**Dissertasiya Şurasının
elmi katibi, f.-r. e. d., prof.**

D. H. Arash

İŞİN ÜMUMİ SƏCİYYƏSİ

Mövzunun aktuallığı. Məlumdur ki, materialların termoelektrik effektivliyi

$$ZT = T\alpha^2 \sigma / k$$

ifadəsi ilə (İoffe düsturu) təyin edilir. Burada, σ – elektrikkeçirmə, α – termoelektrik hərəkət qüvvəsi əmsali, k – istilikkeçirmədir. Bu ifadədən görünür ki, verilmiş temperaturda termo e.h.q. nə qədər böyük, istilikkeçirmə isə nə qədər kiçik olarsa, elektrik enerjisinin yaranması da bir o qədər effektiv baş verər. Selen vismut və tellur vismut əsaslı halkogenidlər laylı quruluşa malikdir. Burada kvintetlər, halkogenid və metal atomları Van-der-Vaals zolağına ayrılıb və öz aralarında zəif əlaqə ilə birləşiblər. Bundan başqa, verilmiş birləşmələr bir sıra maraqlı fiziki xassələrə malikdir və bu xassələrin əsasını birləşmələrin qəfəs quruluşlarının kvazi ikiölçülü xarakteri təşkil edir. Bu birləşmələrin xassələrinə məsamə və nanoadacıqlar kimi üçölçülü defektlər də təsir edirlər. $\text{Te}^{(1)}\text{-Te}^{(1)}$ layları arasında Van-der-Vaals zolağının mövcudluğu materialın mexaniki möhkəmliyinə təsir edərək onun istilikkeçirməsinin azalmasına və termoelektrik effektivliyinin artmasına gətirib çıxaran fononların lokallaşmasında fəza məhdudlaşdırıcısı rolunu oynayır. Bu gün çeviricilərin effektivliyinin səviyyəsi ən yaxşı termoelektrik materialların parametrləri ilə müəyyən olunur. Buna görə də, son onillikdə nanoquruluşlu materiallara böyük maraq var, çünki bu materiallarda təkcə fonon deyil, həmçinin elektron xassələri də mühüm rol oynayır. Bütün bunlar bizə perspektiv termoelektrik material kimi nanoquruluşlu birləşmələri seçməyə əsas verdi. Müxtəlif nanoquruluşlu vasitələr arasında materialın bir hissəsinin həcmnin, hətta kristalların səthindən aşqarların çıxardılması yolu ilə əldə edilmiş məsaməli yarımkeçiriciləri xüsusilə qeyd etmək lazımdır. Onlarda əmələ gələn məsamələr və nanokristallar birdən yuzlərlə nanometrə qədər ölçüyə malik olurlar. Məsamələrin ölçülərinin artması böyük dənəciklərin kiçik dənəciklər hesabına böyüməsi və bunun nəticəsində də yeni və daha böyük boşluqların əmələ gəlməsi faktı ilə əsaslandırılır. Ədəbiyyat məlumatlarına görə məsaməli

materialların istilik xassələri ətraflı tədqiq edilmişdir. Biz bu prosesi Bi_2Te_3 termoelektrik materialında nəzərdən keçirmişik. Bundan başqa, yaradılmış quruluşun fiziki xassələri ilkin materialın xassələrindən kəskin şəkildə fərqlənir. Eyni zamanda, interkalasiya edilmiş kristallar da perspektiv material hesab edilir. Onların əsasında $\text{A}_2^{\text{V}}\text{B}_3^{\text{VI}}$ birləşmələrində $\text{Te}^{(1)}\text{-Te}^{(1)}$ aşqar atomları arasında nanoquruluşlar almaq mümkündür. Termoelementlər fizikasının müasir inkişaf mərhələsində qarşıda duran əsas məsələ defektli və müxtəlif quruluşlu yarımkeçirici materialların yaradılmasıdır. Burada əsas fiziki problem kristallarının yetişdirilməsi zamanı $\text{A}_2^{\text{V}}\text{B}_3^{\text{VI}}$ sisteminin (0001) səthindən keçən atomların qurulması və qoparılması kimi elementar prosesləri aydınlaşdırmaqdan ibarətdir. Kristal qəfəsdə, atom səviyyəsində nahamarlıq da daxil olmaqla, kvintet-kvintet ayrıcının hüdudlarının mikromorfologiyasının öyrənilməsi də aktual məsələlərdən hesab olunur. Biz üçölçülü (həcmli) və səthi mikrodefektlərin tədqiqi üçün atom-qüvvə mikroskopu (AQM) metodundan istifadə etmişik. Üçölçülü defektlərdə aşqarların interkalasiyası ilə əlaqədar olan məsələlər öyrənilmişdir. Buna görə, laylı $\text{A}_2^{\text{V}}\text{B}_3^{\text{VI}}$ kristallarında və onların evtektikasında $\text{A}_2^{\text{V}}\text{B}_3^{\text{VI}}\text{-Te}$ laylararası defektlərin (məsamə və klaster tipli) arasındakı əlaqələri aydınlaşdırmaq öz-özlüyündə aktual məsələlərdən biridir. Yuxarıda göstərilən problemlərin əksəriyyəti laylı $\text{A}_2^{\text{V}}\text{B}_3^{\text{VI}}$ əsaslı termoelektrik materialların birfazlı və ikifazlı sistemlərində zəif öyrənilmiş, həmçinin onların termoelektrik xassələrdə defekt əmələgəlməyə təsiri haqqında heç bir informasiya yoxdur.

İşin məqsədi üçölçülü defektlərin nanoquruluşlu birfazlı $\text{Sb}_2\text{Te}_3(\text{Bi}_2\text{Te}_3)$ kristallarının (0001) Van-der-Vaals səthinə, $\text{A}_2^{\text{V}}\text{B}_3^{\text{VI}}\text{-Te}$ evtektik sistemlərinə və termoelektrik materialların elektrofiziki xassələrinə təsirini müəyyən etməkdir.

Qarşıya qoyulan məqsədə çatmaq üçün aşağıdakı məsələlər həll edilmişdir:

1. Sb_2Te_3 və Bi_2Te_3 monokristalları və $\text{A}_2^{\text{V}}\text{B}_3^{\text{VI}}\text{-Te}$ əsaslı evtektik sistemi istiqamətlənmiş kristallaşma metodu ilə yetişdirilmişdir. $\text{Sb}_2\text{Te}_3(\text{Bi}_2\text{Te}_3)$ sisteminin $\text{Te}^{(1)}\text{-Te}^{(1)}$ laylararası fəzasında nümunənin oturacaqları diffuziya

metodundan istifadə etməklə B və Se ilə interkalyasiya olunmuşdur.

2. Sb_2Te_3 (Bi_2Te_3) kristallarının (0001) səthi rentgen difraksiya metodu ilə analiz edilmiş və Van-der-Vaals səthlərində nanoobyektlər və nanoboşluqlar olması faktı göstərilmişdir.
3. AQM və nanoobyektlərin ölçülərinin paylanma profilaqramması ilə birlikdə Sb_2Te_3 monokristalının (0001) səthinin Bi_2Te_3 səthi ilə müqayisədə 2D- və 3D-ölçülərdə tədqiq etmək. Nanoadacıqların (NA) paylanmasını göstərmək.
4. Müxtəlif tip məsamələrin yaranma mexanizmini və $\text{A}_2^{\text{V}}\text{B}_3^{\text{VI}}$ kristalının (0001) səthində kristalın üzlərindəki atom pillələrinə oxşar olan eşalon və antieşalonların yaranma proseslərini aşkara çıxartmaq.
5. Kiçikbucaqlı rentgen səpilməsi metodu ilə Sb_2Te_3 - Bi_2Te_3 bərk məhlul sisteminin quruluş və dağılma xarakterini tədqiq etmək.
6. Sb_2Te_3 (Bi_2Te_3) nanoquruluş verilmiş kristalların morfolojiyasını evtektik $\text{A}_2^{\text{V}}\text{B}_3^{\text{VI}}$ -Te səthinin morfolojiyası, təbii obyektlər (“arı şanı” tipli) və Bernar özəyi tipli dissipativ struktur ilə müqayisə etmək.
7. Nanoadacıqların kütləvi daşınma mexanizmlərini və kinetikasını tədqiq etmək və bu proseslərdə defektlərin altlığın səth quruluşuna təsirini aydınlaşdırmaq. $\text{A}_2^{\text{V}}\text{B}_3^{\text{VI}}$ kristalında mikro- və makroadacıqların yaranma mexanizmini və evtektik $\text{A}_2^{\text{V}}\text{B}_3^{\text{VI}}$ -Te üçün fazalararası qarşılıqlı təsiri öyrənmək. $\text{A}_2^{\text{V}}\text{B}_3^{\text{VI}}$ -Te evtektik ərintilər əsasında laylı TB işlənil hazırlanması.

- **Tədqiqat obyektləri** Sb_2Te_3 (Bi_2Te_3) əsaslı termoelektrik materiallarda üçölçülü defektlərdir.
- **Dissertasiya işinin mövzusu** aşağıdakılardır:
- $\text{A}_2^{\text{V}}\text{B}_3^{\text{VI}}$ <aşqar> sisteminə nanoquruluşun verilməsi;
- $\text{A}_2^{\text{V}}\text{B}_3^{\text{VI}}$ <aşqar> bərk məhlul kristallarının yetişdirilməsi metodu və onların fiziki-kimyəvi parametrlərinin tədqiqi metodu;
- $\text{A}_2^{\text{V}}\text{B}_3^{\text{VI}}$ əsaslı kristallara nanoquruluşun verilməsi;

- Termoelektrik materiallar əsaslı ($A^V_2B^{VI}_3$ -Te) evtektik ərintilərin səth fazalarının morfoloji xüsusiyyətləri.

Dissertasiya tədqiqatının metodoloji əsasları. Məqsədə çatmaq və bir sıra praktik məsələləri həll etmək üçün skan zond mikroskopıya (SZM) və rentgendifraktometr təcrübi tədqiqat metodlarından istifadə olunub.

İşdə SZM metodlarından skan tunel mikroskopu (STM) və AQM metodları tətbiq edilmişdir.

İşin elmi yeniliyi

1. İlk dəfə olaraq, massiv nanoadaçılıq, burulmuş və pilləli quruluşlu materiallar, müxtəlif ölçülü və paylanma sıxlıqlı nanosaplar alınmışdır.

2. $Bi_2Te_3Te^{(1)}$ - $Te^{(1)}$ mühitində nanosapların və nanoadaçıların (NA) yaranma prosesi öyrənilmişdir. Göstərilmişdir ki, bu mühitdə koalesensiya ilə miqrasiya prosesi baş verir və diffuziya-məhdudlu aqrqasiya nəticəsində özləri nanosap əmələ gətirən quruluşlar yaranır.

3. $A^V_2B^{VI}_3$ sisteminin (0001) səthində $Te^{(1)}$ - $Te^{(1)}$ laylararası fəzada diffuziya zamanı dayanıqsızlıq müəyyən edilmişdir. Bunun nəticəsi olaraq, ardıcıl sistemlərin yenidən paylanması pilləli eşalonlar sisteminin və eşalonlararası sinqulyar oblastların yaranmasına gətirib çıxarır.

4. $A^V_2B^{VI}_3$ sistemində mikro- və makroməsələrin yaranma təbiəti göstərilmiş və onların $A^V_2B^{VI}_3<In,Se>$ sistemində elektronların və fononların səpilmə proseslərinə təsiri müəyyən edilmişdir.

5. Təbii obyektlərin səthinin morfolojiyasının $Sb_2Te_3(Bi_2Te_3)$ nanoquruluşlu kristalların morfolojiyası ilə müqayisə etdikdə onlarda Bernar özəyi, “arı şanı” tipli quruluş fraqmenti, dissipativ quruluşlu kristallara nümunə olan laylı kristallarda bəzi altıüzlü dislokasiya torları kimi oxşar elementlər müşahidə edilmişdir. Belə sistemlərdə prosesləri tədqiq olunan sistemin özünü-təşkil müxtəlif iyerarxik səviyyələrdə altıüzlü quruluşun yaranmasına gətirib çıxarır.

6. $A^V_2B^{VI}_3$ -Te evtektikasının (0001) səthində özü təşkil olunmuş antipatternlərin fraktal formalarının qanunauyğun artması müəyyən

edilmişdir. Kompozit və çoxfazlı evtektik sistemlərdə pattern nümunələri aşkar olunmuşdur.

7. $A^V_2B^{VI}_3$ -Te evtektik sistemi alınmışdır. Göstərilmişdir ki, nanoçuxıntılı matrislər nanoməsaməli tellur lövhəyə girirək $Bi_2Te_3(Sb_2Te_3)$ nanoquruluşlu fazaya malik olur. Səth fazalararası nanoobyektlərin qarşılıqlı təsiri sayəsində suprastruktur fazaları yaranır.

8. $Bi_{0.5}Sb_{1.5}Te_3$ bərk məhlulunda xətti və fraktal həcmələr üçün KBRS metodu vasitəsilə nöqtəvi defekt şəkilli xətti quruluşlu qeyri-bircinslik təyin edilmişdir.

İşin əsas elmi müddəaları. Müdafiəyə aşağıdakı elmi müddəalar və nəticələr çıxarılaçaq:

1. Deformasiya olunmuş laylı kristallarda laylar arasında ($Te^{(I)}$ - $Te^{(II)}$) dissipativ sistemlər yaranır. $A^V_2B^{VI}_3$ laylı kristallarda müxtəlif quruluş defektlərinin iştirakı üçözlü defektlərin yaranmasına gətirib çıxarır.
2. Müəyyən edilmişdir ki, tədqiq edilən sistemdə aşağı temperaturalarda $A^V_2B^{VI}_3$ laylararası fəzasında proseslərin özünütəşkili Bernar özəyi tipli altıüzlü quruluşun və müxtəlif iyerarxik səviyyələrdə nanoadacıqların yaranmasına gətirib çıxarır.
3. Məsaməli və kvaziaddımlı nanoadacıqlı $A^V_2B^{VI}_3$ -Te evtektikasının fazalararası səthlərinin morfolojiyası ilə yanaşı termoelektrik hərəkət qüvvəsinin və elektrikkeçirmənin anomal dəyişməsi fazalararası qarşılıqlı təsirin mövcudluğunu göstərir.
4. Monopillələrin diffuziya-məhdudlu koalesensiyası Van-der-Vaals səthlərində makroşəlonlar və antieşəlonlar yaradır.
5. Nanoquruluşlu $Bi_{0.5}Sb_{1.5}Te_3$ kristalının kiçikbucaqlı rentgen səpilmə metodu (KBRS) ilə analizinin üç tip müxtəlif nanoölçülü səpilməyə malik olduğunu göstərir.

İşin praktik əhəmiyyəti. Nanoquruluş verilmiş $A^V_2B^{VI}_3$ kristalları və onların evtektikləri əsasında termoelementləri (TE) evtektik kommutasiya layları kimi istifadə etməklə termobatareyalar (TB) işlənib hazırlanmışdır. Mövcud olan termobatareyalardan fərqli olaraq, təqdim olunan konstruksiyalar istilik mübadilə sistemlərinə

əsaslanan və uyğun olaraq, istilik müqavimətinin mümkün olan minimum qiymətinə çatmağa zəmanət verən isti lehimplərin, isti kontakt səthində kifayət qədər böyük qüvvə ilə yığılmasının mümkünlüyünü təmin edir. Bundan başqa, yığılma qüvvəsi qüvvə karkasında qapanır, yarımkeçirici sahələrdə isə mexaniki boşalmalar meydana çıxır.

İşin aprobasiyası: Dissertasiyanın əsas materialları aşağıda göstərilmiş konfranslarda və seminarlarda məruzə və müzakirə olunub:

1. XIII Межгосударственный Семинар “Термоэлектрики и их применения” 13-14 ноября 2012 г., Санкт-Петербург, с.317-323.
2. Современные информационные технологии г.Украина, Одесса, 4-8 июня 2012, с.293-296.
3. XIV Межгосударственный Семинар “Термоэлектрики и их применения” 23 ноября 2014г., Санкт-Петербург., с. 319-324.
4. XIV Межгосударственный Семинар “Термоэлектрики и их применения” 23 ноября 2014г. Санкт-Петербург, с. 476-481.
5. Фундаментальные и прикладные проблемы физики, 2016 г, Саранск, с.179-188
6. На X Международной научно-практической конференции «Аморфные и Микрорекристаллические Полупроводники», 4-9 июля 2016 г., г. Санкт-Петербург, с. 115-119.

İşin nəticələri AMEA Fizika institutunun elmi seminarlarında dəfələrlə müzakirə olunmuşdur.

Dissertasiya mövzusunə aid nəşrlər: Dissertasiya mövzusunə aid 15 elmi əsər-10 məqalə və 6 konfrans materialı dərc edilmişdir.

Dissertasiyanın quruluşu və həcmi. Dissertasiya işi 167 səhifədən ibarətdir. Buraya giriş, dörd fəsil, hər bir fəsil üçün nəticələr, əsas nəticələr, istifadə olunmuş ədəbiyyat və əlavələr, həmçinin 46 şəkil, 6 cədvəl və 142 işdən ibarət ədəbiyyat daxildir.

DISSERTASIYA İŞİNİN TƏRKİBİ

Girişdə mövzunun aktuallığı, məqsədi, əsas məsələlər, elmi yeniliklər, müdafiəyə çıxarılan problemlər və praktik əhəmiyyəti əsaslandırılmışdır.

Birinci fəsil xülasə xarakteri daşıyır. $A_2^V B_3^{VI}$ (Sb_2Te_3 и Bi_2Te_3) nanoquruluşlu kristalların fiziki, fiziki-kimyəvi, termoelektrik xassələrinə, həmçinin nanoquruluşlu maddələr və onların problemlərinə həsr olunub. Sb_2Te_3 , Bi_2Te_3 və Bi_2Se_3 birləşmələri və onların bərk məhlullarının böyük termoelektrik effektivliyinə ZT malik olması kristal qəfəsin k_q istilikkeçirməsinin kiçik, yükdaşıyıcıların və termoelektrik hərəkət qüvvəsinin nisbətən böyük qiymətləri ilə əlaqədardır.

Bu fəsildə aşağıdakı məsələlər analiz olunub:

1. Tədqiq olunan laylı birləşmələr və onların çoxkomponentli evtektik quruluşları üçün nöqtəvi və üçölçülü defektlər də daxil olmaqla müxtəlif defekt tiplərinin mövcudluğu səciyyəvi xarakter daşıyır. Atomların yad aşqarlarla interkalyasiya olunması onlarda laylararası nanoölçülü nanotörəmələr əmələ gətirir.
2. Sadə ikiqat evtektikaların kristallaşma proseslərinin fiziki xassələrə təsiri, evtektikların faza müstəviləri arasında əmələ gələn istiqamət uyğunluğu, yüksək plastiklik effekti və fazalararası sərhədlərdə kimyəvi qarşılıqlı təsir kimi xassələri göstərilmişdir.
3. Sb_2Te_3 - Bi_2Te_3 bərk məhlul sisteminin quruluş və dağılma xüsusiyyətlərinin kiçikbucaqlı rentgen səpilmə (KBRS) metodu vasitəsilə sistemli şəkildə tədqiqinə baxılmışdır.
4. Nano və mikro kompozitlərin qarışığından alınmış $(Bi,Sb)_2Te_3$ əsaslı massiv materialın quruluşu və termoelektrik xassələri verilmişdir.

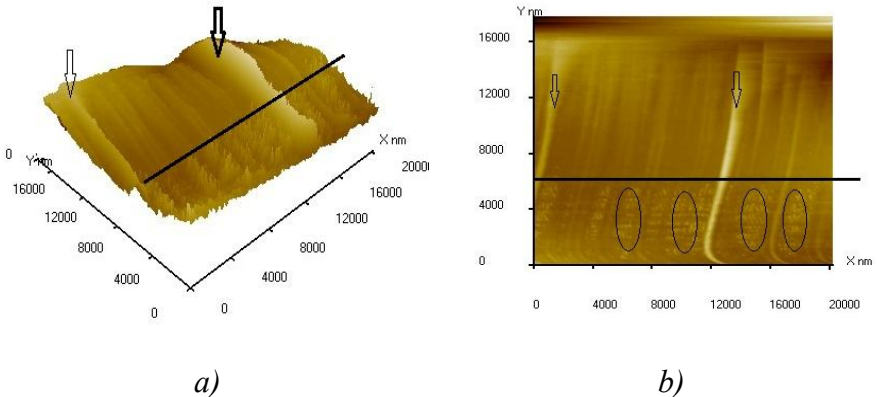
İkinci fəsildə $A_2^V B_3^{VI}$ <aşqar> kristallarının müxtəlif yetişdirilmə metodları, Sb_2Te_3 laylı kristalının və Sb_2Te_3 - Bi_2Te_3 bərk məhlulunun atomlarla interkalyasiya prosesləri təsvir edilmişdir. Alınmış kompozit materialların termoelektrik hərəkət qüvvəsinin,

elektrikkeçirmə və istilikkeçirməsinin ölçülmə və fiziki-kimyəvi parametrlərinin tədqiqi metodları verilmişdir.

Üçüncü fəsildə Sb_2Te_3 kristalının (0001) Van-der-Vaals səthinin AQM vasitəsilə müxtəlif ölçülərdə alınmış şəkilləri defektli nanotörəmələri aşkar etməyə imkan verib. Kristal qəfəsdə büzülüb-qıvrılmış submikrostrukturun yaranma xüsusiyyətinə və kiçik ölçülü nanoadacıqların (~ 10 nm) paylanma sıxlıqlarına təsir edən kvintetlərarası relaksasiya gərginliyi öyrənilmişdir. İnterkalyasiya zamanı laylararası fraktal kompozitlər yaranan $Sb_2Te_3(Bi_2Te_3)\langle a\text{şqar} \rangle$ nanoquruluş verilmiş kristallarda nanoobyektlərin laylararası mexanizmində vintşəkilli dislokasiya tərəciklərinin rolu aşkar olunmuşdur. Nöqtəvi və üçölçülü defektlərin stibium və vismut tellur əsaslı bərk məhlullarda kristal qəfəsin istilikkeçirməsinin azalmasına səbəb olduğu təyin olunub.

Zərrəciklərin assosiasiyası zamanı fraktal ölçünün orta qiyməti üçün üçölçülü fəzada (Broun hərəkətinin aqreqasiyası modelində) $D=2,46\pm 0,05$, ikiölçülü fəzada isə $D_a=1,68\pm 0,02$ qiymətləri alınmışdır. Zərrəciklərin aqreqasiyasının xüsusiyyətləri sərbəst fəzada kifayət qədər ətraflı öyrənilmişdir. Aşağıdan ~ 5 -10nm, yuxarıdan isə ~ 1000 nm diapazonu ilə məhdudlaşan ölçülərdə quruluşun uyğun olaraq, fraktal aqreqat və ilkin fraktal klasterlər yaradan fraktal xassələri meydana çıxır.

Bor atomları (atom radiusu kiçik olan) ilə aşqarlanmış kristalların (0001) səthlərində əmələ gəlmiş nanolayların iştirakını və müxtəlif ölçülü adacıqların izlərini görmək olar (şək. 1).



Şək. 1. AQM- $Bi_2Te_3\langle B \rangle$ kristalının (0001) səthinin morfologiyasının şəkli:

a) 3D-ölçüdə; b) 2D-ölçüdə

Göstərilmişdir ki, $A^{V_2B_3^{VI}}$ <aşqar> kristallarının daxilində yaranan $Te^{(1)}-Te^{(1)}$ aşqar səthi pilləli-laylı xarakter daşıyır. Şaquli istiqamətdə kristallaşma prosesində əmələ gələn nanoçıxıntılarının hündürlüyü pillənin kənarlarından 10-20 nm təşkil edir. n -tip materialın termoelektrik effektivliyinin $Z_{max}=3,5 \cdot 10^{-3} K^{-1}$ qiymətinə qədər artması onun effektivliyini qiyməti $Z_{max}=3,6 \cdot 10^{-3} K^{-1}$ olan p -tip nümunənin effektivliyinə yaxınlaşdırır və istilik çeviricisinin faydalı iş əmsalını artırır.

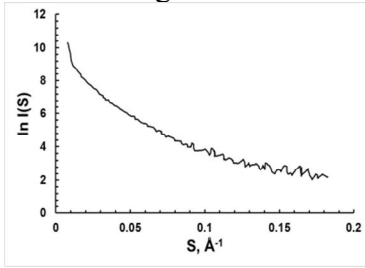
Buradan belə nəticə çıxara bilərik ki, birinci $D \sim 1$ olduqda, $0,015 < s < 0,019 \text{ \AA}^{-1}$ diapazonunda kiçikbucaqlı səpilmə ($L \sim 2\pi/s$) 33-41,87 nm xətti ölçülü, xətti qeyri-bircinslikdən baş verir. İkinci $0,019 < s < 0,039 \text{ \AA}^{-1}$ diapazonunda D -nin qiymətinə görə deyə bilərik ki, 16,1-33nm xətti ölçülü səpilmə mərkəzləri kütləvi həcmli fraktallar olur və onların sıxlığı defekt əmələgəlmə mərkəzlərindən uzaqlaşdıqca yavaş-yavaş azalır. Nəhayət, üçüncü diapazon üçün D -nin qiymətinə görə belə nəticəyə gəlirik ki, 8,85-16,1 nm xətti ölçülü səpilmə mərkəzləri ümümlilikdə hamar səthli və sferik formalı olmur.

Beləliklə, KBRs analizi belə bir nəticəyə gəlməyə imkan verir ki, verilmiş nümunə öz tərkibində üç tip nanoölçülü səpilmə qeyri-bircinsliliyinə malikdir. Birinci tip özünü xətti qeyri-bircinsli, ikinci kütləvi fraktallar, üçüncü isə hamar və sferik olmayan məsaməli fraktal səthlər kimi göstərir. Tədqiqatların gedişində aydın olub ki, qeyri-bircinsli strukturlu və heterogen sistemin istilikkeçirmə mexanizmi və teplofiziki xassələrinin daha adekvat təsviri üçün, müxtəlif defektlərin əmələ gəlməsinin fiziki-kimyəvi proseslərini, onların məsaməliyini, zərrəciklərin səthinin nahamarlığını və nanosəviyyələrdə ayrılma sərhədlərini nəzərə almaq lazımdır.

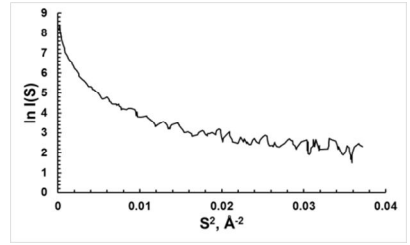
Üçüncü fəsildə verilmiş nəticələr əsasında aşağıdakı yekun nəticələri çıxarmaq olar:

1. Kox tipli səthlərə aid olan, fraktal əlamətlərə malik laylararası nanoobyektlər alınmışdır.
2. KBRs metodu vasitəsilə göstərilmişdir ki, $Bi_{0,5}Sb_{1,5}Te_3$ bərk məhlulu öz tərkibində üç tip nanoölçülü səpilmə qeyri-bircinsliliyinə malikdir. Birinci tip özünü xətti qeyri-bircinsli (şək. 2a), ikinci kütləvi fraktallar (şək. 2b), üçüncü isə hamar

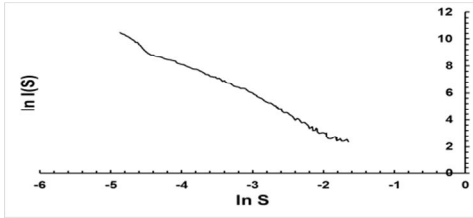
və sferik formalı olmayan, məsaməli fraktal səthlər (şək. 2v) kimi göstərir.



a)



b)



v)

Şək. 2. KBRŞ metodu ilə aşkar edilmiş üç tip nanoölçülü səpilmə qeyri-bircinsliyi

Dördüncü fəsildə kristallaşma istiqamətində evtektik quruluşun yaranması prosesləri təsvir edilmişdir. Nanoobyektlərin morfoloji xüsusiyyətləri, evtektik fazalarda xətti defektlərin əmələ gəlməsi verilmiş, fazalararası kristalloqrafik əlaqələr müəyyən edilmişdir. Evtektik Sb_2Te_3 -Te, Bi_2Te_3 -Te və Te üçün rentgen difraktometrik reflekslərə baxılmışdır. Bi_2Te_3 və Te, həmçinin Sb_2Te_3 və tellu mexaniki qarışıqlarında fazalararası kimyəvi qarşılıqlı təsiri aşkar etmək üçün rentgen difraktoqramma aparılmışdır. Bu tədqiqatlar yalnız evtektikalarda fazalar arasındakı kimyəvi qarşılıqlı təsir haqqında nəticə çıxarmağa imkan verir.

Bir və ikifazalı sistemlərdə məsamələri faza-struktur qeyri-bircinsliyinin yaratdığı göstərilmişdir. Onlara, həmçinin müəyyən lokallaşma yerlərinə, formaya və matrisdə ölçüləri atomlararası məsafədən əhəmiyyətli dərəcədə böyük olan sərbəst lokal həcmələr kimi də baxılmışdır. Üçölçülü vakansiya yığılmaları kimi həcmi qeyri-bircinslik özü də məsamələrə aid olur.

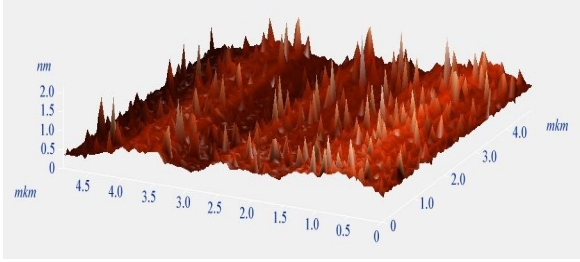
$A_2^V B_3^{VI} \langle Te \rangle$ evtektikasında ölçüləri 6-200 nm arasında dəyişən submikro-, mikro- və makroməsəmələr kimi görünən daxili dalan tipli məsəmələrə aiddir.

Fazalararası sərhədlərin morfologiyasının xüsusiyyətləri belədir: Bi_2Te_3 fazasının (0001) səthi günbəzəbənzər nanoçıxıntılardan, ikinci faza (Te) isə müxtəlif dərinlikli üçölçülü həcmi məsəmələrdən ibarətdir. Fazalararası sərhədlərin yaranması zamanı özünütəşkil prosesi müxtəlif ölçülü defektlərin (5-6 nm ölçülü mikroməsəmələr, ~18-30 nm ölçülü submikroməsəmələr) əmələ gəlməsinə gətirib çıxarır. Bi_2Te_3 və Te fazalarının müstəviləri arasındakı xüsusi fazalararası calaqların mövcudluğunun, günbəzəbənzər nanoadaçıqların tellur lövhəsindəki məsəmələrə daxil olması ilə əlaqədar olduğunu fərz etmək olar. AQM şəkilləri müstəvilərin əslində müxtəlif ölçülü defektli suprastrukturlar olduğunu göstərir. Bu toxunma müstəvilərinin morfologiyasından Bi_2Te_3 -Te evtektikasının fazaları arasındakı istiqamət münasibətləri təyin olunur. Bi_2Te_3 fazasında nanoadaçıqların yerləşmə ehtimalının ən böyük olduğu yer tellur lövhəsinin məsəmələridir. Daxili dalan tipli məsəməyə malik olan nanoadaçıqların elektron qarşılıqlı təsiri verilmiş evtektikada termoelektrik xassələrin 280-dən 500 $Om^{-1}cm^{-1}$ qiymətinə qədər dəyişməsinə gətirib çıxarır. Evtektikanın α və σ kəmiyyətlərinin bu qiymətləri onu yaradan fazalardakı qiymətlərdən böyükdür, yəni evtektikanı yaradan substrukturların fiziki kəmiyyətləri üçün (Bi_2Te_3 üçün $\alpha_1=200$ kV/K; $\sigma_1=1000$ $Om^{-1}cm^{-1}$ və Te üçün $\alpha_2=140$ kV/K; $\sigma_1=10^{-1}$ $Om^{-1}cm^{-1}$) additivlik pozulur.

Fazalararası sərhəddə Te sətindəki makroməsəmələrin və Bi_2Te_3 nanoçıxıntılarının atomları arasında elektron əlaqələrinin əmələ gəlməsi, enerji cəhətdən üstün istiqamətlərdə bu fazaların birləşməsinin bilavasitə səbəbi ola bilər. Bundan başqa, $A_2^V B_3^{VI} \langle Te \rangle$ evtektik ərintilərində birləşmə yerlərində qəfəs parametrlərinin natamam uyğunluğuna görə mexaniki gərginlik əhəmiyyətli dərəcədə artır və fazalararası sərhəddə, Te məsəmələrində nanoadaçıqların (NA) əmələ gəldiyi yerlərdə maksimum qiymətə çatır.

Bi_2Te_3 nazik kristallarında laylı materiallar üçün səciyyəvi olan həcmli defektlər-suprastrukturlar müşahidə olunur. Bi_2Te_3 -Te kristallaşmış evtektikasının morfologiyasının və kristallaşma xassələrinin analizi onları $A_2^V B_3^{VI}$ kristalında $Te^{(1)}$ atomları və ikinci

fazada Te atomları arasında çoxfazlı sistemin xüsusi sinfi kimi göstərir. Bununla yanaşı, suprastrukturun məsamə və nanoadacıqlar kimi defekt elementlərinin müəyyən qarşılıqlı təsirləri reallaşa bilər. $A_2^V B_3^{VI}$ -Te evtektikalarında fazalararası səthlərin morfoloqiyasının AQM şəkilləri, evtektik fazalardan təşkil olunmuş lövhələrdə üçölçülü həcmi defektləri (submikroməsamə, makroməsamə və NA) təcrübi olaraq aşkar edilə bilər. Heksaqonal Te-un kristallaşması zamanı (evtektikadan kənar) bu cür məsamələr müşahidə olunmur. AQM şəkilləri göstərir ki, Sb_2Te_3 -Te və Bi_2Te_3 -Te evtektik fazaları kristallaşma zamanı bir-birinin içərisində cücəriblər. Bundan başqa, fazaların yaranması, dendrit nanoadacıqların əmələ gəldikdə onların cüt böyüməsi yolu ilə həyata keçirilir (şək.3).



Şək.3. Bi_2Te_3 <Se> kristalının (0001) səthində məsamələrin əmələ gəldiyi yerlərdə yaranan NA

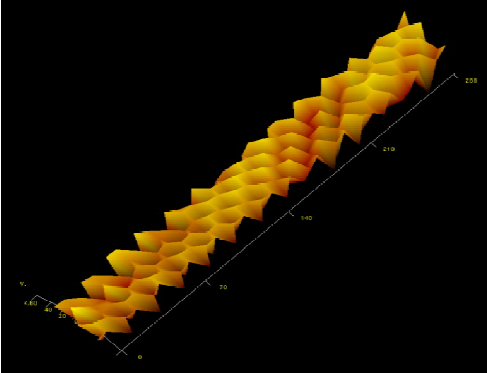
Bərk cisimlərdə makroskopik məsamələrin diffuziya hərəkəti Te-evtektikalarında makroməsamələrin yaranmasında vacib olan hadisələrə əhəmiyyətli dərəcədə təsir edir. Te-un (001) səthinin morfoloqiyasının analizində onu nəzərə almalıyıq ki, 500-800 K temperatur intervalında TE-də vakansiyların isti hissədən soyuq hissəyə axını yükdaşıyıcıların konsentrasiyasını poza bilər.

Vakansiyların axını zamanı laylarda yeni defektlər yaradan məsamələrin yaranmasında nanoquruluşlu laylararası səthlərin rolunu qeyd etmək lazımdır. Məsaməlik zamanı, məsamələr aşağı keçiricilik nəticəsində istiliyin yayılmasının yolunda effektiv maneə olur. In və $SeTe^{(1)}$ - $Te^{(1)}$ layları arasında aşkar edilmiş məsamə tipli həcmi defektlər, nanoadacıqlar ilə yanaşı olaraq, əlavə fononlarla səpilmə yaradır ki, bu da kristal qəfəsdə istilikkeçirmənin və elektrikkeçirmənin azalmasına gətirib çıxarır. Bəzi variantlarda məsamələrin mövcudluğu istilikkeçirməni azaldır, çünki onlar keçiricilik fononlarla həyata keçdikdə boşluqlar kimi aparılırlar. Həmçinin bu boşluqların elektrikkeçirmənin azalmasına təsiri çox cüzdür, çünki səth halı elektron axımını onların ətrafında yönləndirir.

Fəsilədə, həmçinin Sb_2Te_3 kristallarının, “arı şanı”na oxşar və altıüzlü formalı, üçölçülü nanoobyektlərin Van-der-Vaals səthlərinin tədqiqinin nəticələrinə baxılmışdır. Aşkar olunmuş bərk cisim patternlərinin təbiəti araşdırılmışdır. Onlar konservativ, dissipativ qeyri-tarazılıqlı mühitlərdə olan lokallaşmış fəza nizamlılıqlarından asılıdırlar. Bu da patternləri klassifikasiya etməyə imkan verir.

Kristal cisimlərdə açıq sistemlərdə patternlərin yaranması üçün lazım olan özünü-təşkil proseslərinə və patternlərin yaranması məsələlərinə baxılmışdır. Bu məsələlər dissipasiya (müxtəlif növ hərəkətlərin zəifləməsi, enerjinin səpilməsi) anlayışları ilə əlaqədardır.

“Dissipativ quruluşlar” termini bütün pattern növlərini özündə birləşdirir. Bərk cisim təbiətli konservativ, dissipativ quruluşların analizi aparılmış, quruluşların yaranması və özünü-təşkil məsələlərinə baxılmışdır. İşin bu hissəsində əsas məqsədlərimizdən biri kristallarda “arı şanı” və pattern kimi digər bərk cisim təbiətli nanotörəmələrə baxmaqdır.



Şək. 4. Təbii və vaxşi arı şanlarına oxşayan Sb_2Te_3 məsamələrin Van-der-Vaals (0001) səthin AQM 3D-miqyasda şəkilləri

Təqdim etdiyimiz şablon-quruluş dəqiq patternlərdən çıxır. Bu patternlər $A_2^V B_3^{VI}$ kristallarında $Te^{(1)}-Te^{(1)}$ deformasiyaya uğramış kvintetlər arasında yerləşərək müxtəlif iyerarxiyaya malik olan elektronların və fononların səpilmə proseslərində aktiv iştirak edir.

Sb_2Te_3 (Bi_2Te_3) nanoquruluş verilmiş kristalların morfoloqiyasının təbii quruluşların səthinin morfoloqiyası ilə müqayisəsi zamanı onlarda oxşar həndəsi elementlərin olduğu aşkar edilib. Laylı kristallarda Van-der-Vaals səthində altıüzlü nanoobyektlərin bəzi formaları, “arı şanı”, Bernar özəyi konservativ və dissipativ özünü-təşkilə nümunə göstərmək olar. Belə sistemlərdə $A_2^V B_3^{VI}$

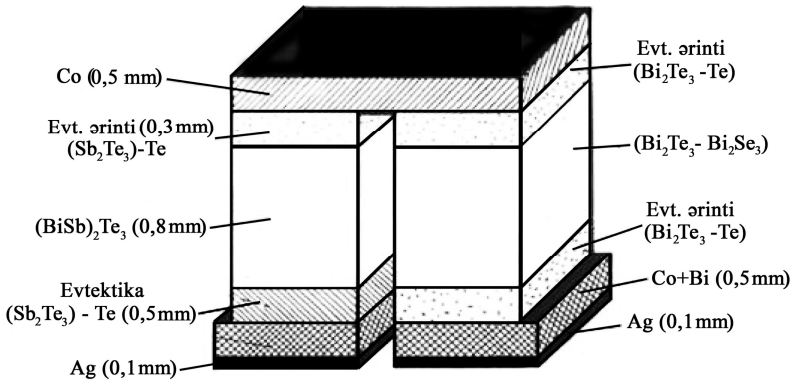
kristalının laylararası fəzasında, aşağı temperaturalarda tədqiq olunan sistemlərdə proseslərin özünütəşkili müxtəlif iyerarxik səviyyələrdə altıüzlü nanoobyektlərin yaranmasına gətirib çıxarır.

$A_2^V B_3^{VI}$ patternlərində və evtektikasında aparılmış tədqiqatlardan çıxan bəzi yekun nəticələr:

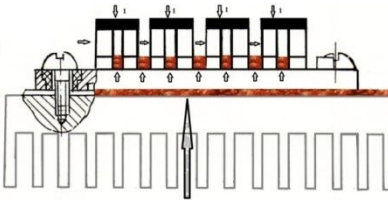
1. $A_2^V B_3^{VI}$ -Te evtektik sistemi, nanolaylı fazalı Bi_2Te_3 , (Sb_2Te) və Te-un müxtəlif tip məsaməli “plastin” fazaları alınmışdır. Bi_2Te_3 , (Sb_2Te) fazaları nanoadacıqlı matrisdir. Bu nanoadacıqlar II fazada Te-un (001) və $A_2^V B_3^{VI}$ kristalının (0001) müstəvilərində olan məsamələrlə eyni istiqamətdə yetişiblər, yəni $Sb_2Te_3(Bi_2Te_3)$ müstəvisi tellur fazalarının artma istiqamətinə paraleldir. Faza səthləri sərhəd fazalararası NA ilə məsamələrin qarşılıqlı təsiri sayəsində bir-birinə paralel olaraq artırlar.
2. Termoelektrik hərəkət qüvvəsində və elektrikkeçirmədə müşahidə olunan dəyişmə evtektikanın fazalararası sərhədlərinin qarşılıqlı təsiri nəticəsində ola bilər.
3. $A_2^V B_3^{VI}$ nanoquruluşlu obyektler, “arı şanı” və Bernar özəyi tipli dissipativ quruluşlar altıüzlü formaya malik olur. Sb_2Te_3 , Bi_2Te_3 kristallarının Van-der-Vaals səthlərində altıüzlü Bernar özəyi formalı və “arı şanı” quruluşuna oxşar altıüzlü, üçöçlü nanoobyektler aşkar olunmuşdur. Belə formaların oxşarlığı özünəbənzər, bərk cisim təbiətli patternlərdən təşkil olunmuş vahid mexanizmin olmasını təsdiq edir.

Bu fəsilə $[(Sb_2Te_3, Bi_2Te_3)-Te]$ -Me evtektikaları əsasında, çoxlaylı termoelektrik quruluşların xassələri salınmışdır. Evtektikaların laylarından TE kommutasiyalar işlənmiş, onların xarakteristikaları 300-600 K temperatur intervalında tədqiq edilmişdir. Dielektrik keçidlər kimi, aluminium oksid və seolit nanolaylı kompozitlərdən istifadə olunmuş TB-nin konstruksiyası verilmişdir.

Fəsildə kommunikasiya keçidləri kimi, Sb_2Te_3 -Te və Bi_2Te_3 -Te evtektikalarından istifadə olunmuş TE-in sxemi verilmişdir (şək. 3). İstilik mübadiləsinin etibarlığı işçi səthə seolit örtüyünün sıxılması ilə təmin olunur (şək. 4, 5). Bu fəsildə yarımqeçirici-metal isti kontaktı ($T=600$ K) kimi evtektikalardan istifadə edilməsinin mümkünlüyünü aşkar etmək məqsədilə, evtektik ərintilərin xassələrinin analizi aparılmışdır.



Şək.5. Sb_2Te_3-Te və Bi_2Te_3-Te evtektik ərintilər əsasında kommutativ laylı termoelementin sxemi



Şək.6. Seolit dielektrik örtüklü termobatareyanın sxemi

Bərk cisim soyuducuları üçün seolitdən olan dielektrik keçidli termoelektrik batareyaların konstruksiyasında Al_2O_3 və seolit mürəkkəb qarışıqından çökdürülmüş, iki dielektrik səthlə təchiz olunmuş, istilik izolyasiyalı materialdan olan sərt karkas nəzərdə tutulmuşdur.

TB üçün təklif olunan konstruksiyada istilik mübadilə sistemlərinə əsaslanan isti lehimlərin, isti kontakt müstəvisində kifayət qədər böyük qüvvə ilə sıxılmasının yaradılmasının mümkünlüyü təmin olunur. Bu cür sıxılma kontakt səthlərinin istilik baxımından daha gərgin hissəsində istilik müqavimətinin daha kiçik olmasını təmin edir.

Beləliklə, biz TB-da daha böyük temperatur fərqlərində və əhəmiyyətli mexaniki şərtlər daxilində işin yüksək etibarlılığına və bütün enerji karkasında anodlaşmadan qaçmaqla, hazırlanma texnologiyasının dəyərini əhəmiyyətli dərəcədə azaltmağa nail olmağı bacardıq.

Nəticəyə alınmış əsas yekun nəticələr və istinad olunmuş ədəbiyyat salınmışdır.

ƏSAS NƏTİCƏLƏR

1. $A_2^V B_3^{VI} \langle Te, In, Se \rangle$ kristallarında (0001) səthində fraktal əlamətlərə malik və həndəsi klassifikasiyası Kox tipli səthlərə aid olan nanoobyektlər alınmışdır. Əmələ gəlmiş obyektlərin fraktal təbiəti müxtəlif ölçülərdə meydana çıxır. $Sb_2Te_3 \langle Te \rangle$, $Bi_2Te_3 \langle In \rangle$ kristallarının (0001) Van-der-Vaals səthinin nanosəviyyədə AQM metodu ilə kontrolu, 5-10nm hündürlüklü şaquli yetişmiş fraktal obyektlərin ($D_f=1,85$) mövcudluğunu aşkar edir.
2. KBRs metodu vasitəsilə göstərilmişdir ki, $Bi_{0,5}Sb_{1,5}Te_3$ bərk məhlulu öz tərkibində üç tip nanoölçülü səpilmə qeyri-bircinsliyinə malikdir. Birinci tip özünü xətti qeyri-bircinsli, ikinci kütləvi fraktallar, üçüncü isə hamar və sferik olmayan məsaməli fraktal səthlər kimi göstərir.
3. $Bi_2Te_3 \langle Ge, Se \rangle$ (0001) səthində təcrübi olaraq, büzülmüş quruluşlar, o cümlədən tilli NA aşkar olunmuşdur. $Bi_2Te_3 \langle Ge, Se \rangle$ evtektikalarında laylararası nanoobyektlərin yaranma mexanizmi “kinetik” istiqamətli olur və Se-nin yüksək konsentrasiyalarında həcmli kristalların termoelektrik hərəkət qüvvəsi 240 $\mu kV/K$ qiymətindən 100 $\mu kV/K$ qiymətinə qədər azalır. Nəticədə nanoquruluşlu $Bi_{0,5}Sb_{1,5}Te_3$ bərk məhlulunda termoelektrik hərəkət qüvvəsi əhəmiyyətli dərəcədə artır, termoelektrik effektivliyi isə otaq temperaturunda 1-2 qiymətinə çatır.
4. $Bi_2Te_3Te^{(I)}-Te^{(I)}$ laylararası fəzasında laylararası diffuziya zamanı (0001) səthində, eşalonlar sistemində monoatomlu pillələrin ardıcıl sistemlərinin yenidən paylanmasına gətirib çıxaran, yaxın yerləşmiş atom pillələrindən və eşalonlar arasındakı demək olar ki, sinqulyar oblastlardan təşkil olunmuş dayanıqsız monoatomlu pillələr, həmçinin antieşalonlar sisteminin mikroyefinin eşalonlara paralel olan və ilkin pillələrlə müqayisədə əks istiqamətli pillələrdən təşkil olunmuş, əlavə elementlərinin formalaşması müəyyən edilmişdir.
5. Sb_2Te_3 kristalına nanoquruluş verilməsi kiçik ölçülü (5-10nm) fraktal nanoadacıqların yaranmasına gətirib çıxarır. Pillələrin terrasında belə adacıqların yetişməsi Sb_2Te_3 kristalının (0001)

müstəvisi boyunca yaranan səth diffuziyasının hesabına baş verir. $A_2^V B_3^{VI} \langle \text{In, Se} \rangle$ evtektikasının $\text{Te}^{(1)}\text{-Te}^{(1)}$ mühitində eşalonlarla yanaşı olaraq, istilikkeçirmə əmsalının kəskin azalmasına səbəb olan üçözlü defektlərin rolu aşkar olunmuşdur. Nanoəmələgəlmə kristalların termoelektrik xassələrinə təsir edir: istilikkeçirmə əmsalının fononların NA-dan səpilməsi nəticəsində azalması hesabına termoelektrik effektivliyi $Z=1,5 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ qiymətindən $3,6 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ qiymətinə qədər artır.

6. Göstərilmişdir ki, $A_2^V B_3^{VI}$ ikifazlı sistemlərdə, tellur məsamələrində həyata keçirilən səthi nanoadacıqlar suprastrukturlar yaradırlar. Bu suprastrukturlar $A_2^V B_3^{VI}\text{-Te}$ və $A_2^V B_3^{VI}\langle \text{aşqar} \rangle$ evtektikaları əsasında yüksək effektiv elektron birləşmə yaradırlar. Eyni zamanda, evtektikalarda termoelektrik hərəkət qüvvəsinin və elektrikkeçirmənin müşahidə olunan dəyişməsi, səth nanoadacıqlarının mikroməsamələrlə fiziki-kimyəvi qarşılıqlı təsiri nəticəsində baş verir.
7. $A_2^V B_3^{VI}$ kristalında aşkar olunmuş dislokasiya torunun “arı şanı” tipli quruluşu, Bernar özəyi tipli nanoölçülü dissipativ strukturlar altüzlü formaya malikdir. Sb_2Te_3 , Bi_2Te_3 kristallarının Van-der-Vaals səthlərində “arı şanı” və altüzlü formalı Bernar özəyinə oxşar quruluşlu nanoobyektlər laylı məsamə-patternlərə aiddir. Bu cür formaların oxşarlığı diffuziya məsaməliliyi ilə əlaqəli olan vahid mexanizmin olduğunu təsdiq edir.
8. $A_2^V B_3^{VI}\text{-Te}$ evtektik ərintilərindən ibarət yüksək plastik keçidli TB və TE hazırlanmış, TB-nı istilik çıxarma sistemilə birləşdirmək üçün nanoməsaməli seolitlər əsaslı, kompozit qarışıqlar təbiiq olunmuşdur. Yüksək etibarlılıq, bütün karkasda anodlaşmadan qaçmaq, hazırlanma texnologiyasının dəyərini əhəmiyyətli dərəcədə azaltmaq təmin edilmişdir.

Dissertasiya işinin materialları aşağıdakı elmi əsərlərdə öz əksini tapmışdır:

1. Набиева С. А., Алескеров Ф.К., Кахраманов С. Ш., Алиева А. П., Моройдор Е. Д., Пишкин Г. М. Механизм формирования межслоевых квантовых нитей в легированном цинком Bi_2Te_3 // Технологии и конструирование в электронной аппаратуре, 2012, №5, с. 46-48.
2. Nabiyeva S. A., Aleskerov F.K., Kakhramanov S.Sh. The self-organization of low-dimensional structures in volume crystals $\text{A}_2^{\text{V}}\text{B}_3^{\text{VI}}$ <impurity> and their morphology // Azerbaijan Journal of Physics, volume XVIII, Number 2, Section: En, June, 2012, p.42-47.
3. Набиева С.А., Алескеров Ф.К., Кахраманов С.Ш., Кахраманов К. Ш., Багиров С. Б. Массоперенос в слоистых кристаллах типа $\text{A}_2^{\text{V}}\text{B}_3^{\text{VI}}$ <примесь> // XIII Межгосударственный семинар “Термоэлектрики и их применение”, 13-14 ноября 2012 г., с. 317-323.
4. Nəbiyeva S.A., Quliyev Z. Ə., Mehdiyev T. R., Ələsgərov F. K., Bağırov S. B., Qəhrəmanov K. Ş. $\text{A}_2^{\text{V}}\text{B}_3^{\text{VI}}$ kvintetlərin arasında laylararası nanoqramentlərin formalaşma mexanizmi // Jurnal “Fizika”, 2012, cild. XVIII, №4, s. 14-29
5. Nabiyeva S.A., Aleskerov F.K., Taghiyev R.M., Kakhramanov A. Sh. Nano-fractal structures on (0001) Van-Der Waals surface of $\text{A}_2^{\text{V}}\text{B}_3^{\text{VI}}$ crystals// Jurnal “Fizika” 2012, vol. XVIII, №3, s. 17-23
6. Набиева С.А., Алескеров Ф.К., Кахраманов К. Ш., Кахраманов С. Ш. Самоорганизация низкоразмерных наноструктур в слоистых кристаллах типа $\text{A}_2^{\text{V}}\text{B}_3^{\text{VI}}$ //Термоэлектричество, №4, 2013, с. 60-74.
7. Набиева С.А., Алескеров Ф.К., Кахраманов К. Ш., Багиров С.Б. Дефекты в кристаллах (0001) Bi_2Te_3 <Ge,Se> // Gənc Alimlərin Əsərləri, №7, 2013, s. 12-14.
8. Набиева С.А., Алескеров Ф.К., Кахраманов К.Ш., Рамазанов М. А., Маммадов М. М. Самоорганизация паттернов термоэлектрических системах // “Fizikanın aktual problemləri”, Beynəlxalq elmi konfransının materialları, 6 dekabr 2013-cü il, Bakı, s. 240-242.
9. Набиева С.А., Алескеров Ф.К., Кахраманов К. Ш. Морфология межфазных границ эвтектик на основе $\text{A}_2^{\text{V}}\text{B}_3^{\text{VI}}$ -Te.// Металлофизика. Новейшие технологии, г. Киев, №10, 2014 г., с. 1343.
10. Набиева С. А., Рамазанов М.А., Алескеров Ф.К., Кахраманов К.Ш. Паттерны в системах $\text{A}_2^{\text{V}}\text{B}_3^{\text{VI}}$ <примесь> // XIV Межгосударственный семинар “Термоэлектрики и их применение”, 23 ноября 2014 г., г. Санкт-Петербург, с. 319-324.
11. Nabiyeva S.A., Kahrmanov K. Sh., Aleskerov F.K., Kahrmanov S.Sh. Three-dimensional nanoobjects in the layered dissipative

environments of $A_2^V B_3^{VI}$ // XVI International forum thermoelectricity, poster, Paris, 2015.

12. Набиева С.А., Алескеров Ф.К., Кахраманов К.Ш., С.Б. Багиров. Коммутация термоэлементов на основе эвтектических сплавов $A_2^V B_3^{VI}$ -Te// XIV Межгосударственный Семинар “Термоэлектрики и их применение”, 23 ноября 2014 г., г. Санкт-Петербург.

13. Пашаев А.М., Тагиев Б.Г., Тагиев О.Б., Набиева С.А., Кахраманов К.Ш. Трёхмерные дефекты в их многофазных структурах// Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Əsərləri, 2016, №1, s. 3-18.

14. Пашаев А.М., Тагиев Б.Г., Тагиев О.Б., Набиева С.А., Кахраманов К.Ш. Формирование трёхмерных дефектов в слоистых кристаллах/Сб. Фундаментальные и прикладные проблемы физики, 2016 г, г. Саранск, с.179-188.

СЕЙЯРА АДиль КЫЗЫ НАБИЕВА
“ТРЕХМЕРНЫЕ ДЕФЕКТЫ В
ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОМ МАТЕРИАЛЕ НА ОСНОВЕ
ТЕЛЛУРИДА СУРЬМЫ И ВИСМУТА”

ВЫВОДЫ

1. В кристаллах $A_2^V B_3^{VI} \langle Te, In, Se \rangle$ на поверхности (0001) получены нанообъекты, имеющие признаки фрактальности и относящиеся к геометрической классификации типа поверхности Коха. Фрактальная природа образующихся объектов проявляется в различных масштабах. Контроль состояния Ван-дер-Ваальсовой поверхности (0001) $Sb_2Te_3 \langle Te \rangle$, $Bi_2Te_3 \langle In \rangle$ на наноуровне методом АСМ выявил наличие вертикально выросших фрактальных объектов ($D_f=1,85$) высотой от 5 до 10 нм.
2. Методом МУРР показано, что твердый раствор $Bi_{0,5}Sb_{1,5}Te_3$ имеет в своем составе три типа наноразмерные рассеивающие неоднородности. Первый тип представляет собой линейные неоднородности, второй – массовые фракталы, а третий – пористую фрактальную поверхность с не сферической формой и гладкой поверхностью.
3. Экспериментально обнаружены гофрированные структуры на поверхности (0001) $Bi_2Te_3 \langle Ge, Se \rangle$, в том числе и ограненных НО. Механизм формирования межслоевых нанообъектов в $Bi_2Te_3 \langle Ge, Se \rangle$ имеет «кинетическую» направленность и при высоких концентрациях Se снижается термоэдс объемных кристаллов от 240 до 100 мкВ/К. В результате наноструктурирования твердого раствора $Bi_{0,5}Sb_{1,5}Te_3$ термоэдс существенно увеличивается, а термоэлектрическая эффективность достигает до значений 1-2 при комнатной температуре.
4. В межслоевом пространстве $Te^{(I)}-Te^{(II)}$ Bi_2Te_3 установлена неустойчивость системы моноатомных ступеней на поверхности (0001) при межслоевой диффузии, приводящая к перераспределению регулярной системы моноатомных ступеней в систему эшелонов ступеней, состоящую из близкорасположенных моноатомных ступеней и почти сингулярных областей между эшелонами, а также формирование дополнительных элементов микрорельефа системы антиэшелонов, которые параллельны

- эшелоном и содержит ступени противоположной ориентации по сравнению с исходными ступенями.
5. Наноструктурирование Sb_2Te_3 приводит к формированию фрактальных островков малых размеров (5-10 нм). Рост таких островков вблизи террас ступеней происходит за счет поверхностной диффузии вдоль плоскости (0001) Sb_2Te_3 . Выявлена роль трехмерных дефектов, которые наряду с эшелонами в среде $\text{Te}^{(1)}\text{-Te}^{(1)} \text{A}_2^{\text{V}}\text{B}_3^{\text{VI}}\langle\text{In,Se}\rangle$ сильно уменьшают коэффициент теплопроводности. Нанообразования влияют на термоэлектрические свойства кристаллов: Z растет от 1,5 до $3,6 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ за счет уменьшения коэффициента теплопроводности, в результате рассеяния фононов на НО.
 6. Показано, что поверхностные наноструктуры в двухфазных системах $\text{A}_2^{\text{V}}\text{B}_3^{\text{VI}}$ внедряясь в теллуридные поры формируют супраструктуры с взаимодействующими граничными атомами, создавая высокоэффективное электронное сопряжение в термоэлементах на основе $\text{A}_2^{\text{V}}\text{B}_3^{\text{VI}}\langle\text{примесь}\rangle$ -эвтектика $\text{A}_2^{\text{V}}\text{B}_3^{\text{VI}}\text{-Te}$, а также наблюдаемые изменения термо ЭДС и электропроводности в эвтектиках, являются следствием физико-химического взаимодействия граничных НО с микропорами.
 7. Обнаруженные наноразмерные диссипативные структуры типа ячеек Бенара, структур типа «пчелиных сот» дислокационные сетки в $\text{A}_2^{\text{V}}\text{B}_3^{\text{VI}}$ имеют шестигранные формы. На ван-дер-ваальсовой поверхности кристаллов Sb_2Te_3 , Bi_2Te_3 трехмерные нанобъекты подобные структурам «пчелиных сот» и шестигранным формам ячеек Бенара отнесены к межслоевым порам-паттернам. Подобие таких форм свидетельствует о едином механизме связанной с диффузионной пористостью.
 8. Разработаны ТЭ и ТБ с высокопластичными переходами из эвтектических сплавов $\text{A}_2^{\text{V}}\text{B}_3^{\text{VI}}\text{-Te}$, а для сопряжения ТБ с системой теплосброса применены композитные смеси на основе нанопористых цеолитов. Обеспечивая высокую надежность, удешевив технологию изготовления, избежав анодирование всего каркаса.

SAYYARA ADIL NABIYEVA

“THREE-DIMENSIONAL DEFECTS IN A THERMOELECTRIC MATERIAL BASED ON ANTIMONY AND BISMUTH TELLURIDE”

SUMMARY

In the thesis the results of studies of three-dimensional defects on the van der Waals surface (0001) Sb_2Te_3 (Bi_2Te_3) in nanostructured single-phase and eutectic systems $\text{A}_2^{\text{V}}\text{B}_3^{\text{VI}}\text{-Te}$ are presented with the help of atomic force microscopy (AFM), elucidation of the mechanisms of their influence on the electrophysical properties of thermoelectric materials and the creation of high-plastic transitions in a thermoelement (TE) in the temperature range 300-600 K.

The characteristic values of the thermopower and electrical conductivity of *p*-type solid solutions ($\text{Sb}_2\text{Te}_3\text{-Bi}_2\text{Se}_3$) were studied. In the crystals $\text{A}_2^{\text{V}}\text{B}_3^{\text{VI}} <\text{Te, In, Se}>$ on the surface (0001), nanoobjects with fractal characteristics and relating to the geometric classification of the Koch surface type were obtained.

In the interlayer space $\text{Te}^{(1)}\text{-Te}^{(1)}$ Bi_2Te_3 , instability of the system of monatomic steps on the (0001) surface is established for interlayer diffusion, leading to a redistribution of the regular system of monoatomic steps to the system of levels of stages, consisting of closely spaced monoatomic steps and almost singular regions between the echelons, as well as the formation of additional elements of the microrelief of the system of anti-echelons, which are parallel to the echelons and contain steps of opposite orientation in comparison with the initial steps.

Nanostructuring of Sb_2Te_3 leads to the formation of small-sized fractal islands (5-10 nm). The growth of such islands near the terraces of the steps is due to surface diffusion along the (0001) Sb_2Te_3 plane. The role of three-dimensional defects is revealed, which along with the echelons in the $\text{Te}^{(1)}\text{-Te}^{(1)}$ $\text{A}_2^{\text{V}}\text{B}_3^{\text{VI}} <\text{In, Se}>$ environment greatly reduce the thermal conductivity.

It is shown that surface nano-islands in two-phase $\text{A}_2^{\text{V}}\text{B}_3^{\text{VI}}$ systems penetrate into the telluride pores and form suprastructures with interacting boundary atoms, creating highly efficient electron conjugation in thermoelements based on the $\text{A}_2^{\text{V}}\text{B}_3^{\text{VI}}$ impurity eutectic $\text{A}_2^{\text{V}}\text{B}_3^{\text{VI}}\text{-Te}$, as well as the observed changes in thermoelectric power and electrical conductivity in eutectics, are a consequence of physicochemical interaction of boundary nanoislands with micropores.

Thermoelements (TE) and thermobatteries (TB) with high-plastic transitions from eutectic $\text{A}_2^{\text{V}}\text{B}_3^{\text{VI}}\text{-Te}$ alloys have been developed, and composite mixtures based on nanoporous zeolites have been used to interface TB with a heat-sink system, providing high reliability, reducing the manufacturing technology without the need for anodizing the entire frame.

The practical significance of this work is that on the basis of nanostructured $\text{A}_2^{\text{V}}\text{B}_3^{\text{VI}}$ crystals, TB has been developed with the use of eutectics as switching sub-layers of TE.

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНА
Институт Физики имени академика Г. М. Абдуллаева

На правах рукописи

СЕЙЯРА АДИЛЬ КЫЗЫ НАБИЕВА

**ТРЕХМЕРНЫЕ ДЕФЕКТЫ В ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОМ
МАТЕРИАЛЕ НА ОСНОВЕ ТЕЛЛУРИДА СУРЬМЫ И
ВИСМУТА**

2203.01 – Электроника

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
доктора философии по физике

Баку – 2018