



AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASININ PREZİDENTİ YANINDA ELMİN İNKİŞAFI FONDU

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Elmin
İnkişafı Fondunun elmi-tədqiqat proqramlarının, layihələrinin
və digər elmi tədbirlərin maliyyələşdirilməsi məqsədi ilə
qrantların verilməsi üzrə 2013-cü il üçün elan edilmiş əsas
grant müsabiqəsinin (EIF-2013-9(15)) qalibi olmuş
layihənin yerinə yetirilməsi üzrə

YEKUN ELMİ-TEXNİKİ HESABAT

Layihənin adı: **Dizayn, böyümə, InAs_xSb_{1-x} yarımkeçirici lövhələr və onların əsasında
heterostrukturların xarakteristikaları – infraqırmızı fotoelektronikanın perspektiv materialları**

Qrantın məbləği: **60 000 manat**

Layihə rəhbərinin soyadı, adı və atasının adı: **Tanrıverdiyev Vahid Əmir oğlu**

Layihənin nömrəsi: **EIF-2013-9(15)-46/06/1-M-30**

Müqavilənin imzalanma tarixi: **09 fevral 2015-ci il**

Qrant layihəsinin yerinə yetirilmə müddəti: **12 ay**

Layihənin icra müddəti (başlama və bitmə tarixi): **01 mart 2015-ci il – 01 mart 2016-cı il**

Diqqət! Bütün məlumatlar 12 ölçülü Arial şrifti ilə, 1 intervalla doldurulmalıdır

Diqqət! Uyğun məlumat olmadığı təqdirdə müvafiq bölmə boş buraxılır

Hesabatda aşağıdakı məsələlər işıqlandırılmalıdır:

1 Layihənin həyata keçirilməsi üzrə yerinə yetirilmiş işlər, istifadə olunmuş üsul və yanaşmalar

(burada doldurmalı)

Daxili gərginlik və dislokasiyadan azad olan yüksək keyfiyyətli InAs_xSb_{1-x} (x=0,43 və x=0,38) antimonidin heteroepitaksial laylı strukturları alınmışdır.

1. Texnologiyaya aid aşağıda göstərilmiş işlər görülmüşdür:

- InAs_{0,57}Sb_{0,43} bərk məhluluna uyğun olan xətti dərəcələnməmiş GaInSb buferin tərkibi seçilib;
- Seçilmiş xətti dərəcələnməmiş buferdə InAs_{0,57}Sb_{0,43} bərk məhlulunun nazik təbəqələrinin epitaksial artması həyata keçirilib;
- InAs_{0,62}Sb_{0,38} bərk məhluluna uyğun olan xətti dərəcələnməmiş AlGaInSb buferin tərkibi seçilib;
- Seçilmiş xətti dərəcələnməmiş buferdə InAs_{0,62}Sb_{0,38} bərk məhlulunun nazik təbəqələrinin

epitaksial artması həyata keçirilib;

- e) Bufer zonanın böyüməsində altlığın temperaturu 460-520⁰C intervalda dəyişir. InAs_{1-x}Sb_x tərkibinin epitaksial böyüməsində altlığın temperature 415⁰C-dir. Böyümənin sürəti saatda 1 mkm-ə yaxındır.

2. Alınmış heteroepitaksial laylı strukturların xarakterizə etmək üçün adi və yüksək effektiv rentgen difraksiyası (высокоразрешающей рентгеновской дифракции) metodu tətbiq edilmişdir:

- a) 2-teta skan etmədə (при 2-тета сканировании) InAs_xSb_{1-x} (x=0,43 və x=0,38) üst layından [002] və [004] xarakterik reflekslər və GaSb alt qatından [002] və [004] reflekslər müşahidə olunurdu.
- b) əyri yellənmələrdən 2-teta/omega skan etmənin məlumatlarından (из данных 2-тета/омега сканирования из кривых качания) GaInSb buferinin üst qatının qəfəs parametrlərinin uyğunluğunun və InAs_{0,57}Sb_{0,43}-ün işçi qatının yüksək dərəcəsi qiymətləndirilmişdir;
- c) Yüksək effektiv rentgen difraksiyası (высокоразрешающей рентгеновской дифракции) metoduyla InAs_{0,57}Sb_{0,43} və InAs_{0,62}Sb_{0,38} kristal qəfəsinin simmetrik 004 və asimmetrik 335 düyünləri üçün tədqiqatlar aparılmışdır. Difraksiya vektoruna paralel və difraksiya vektoruna perpendikulyar tərs qəfəslərin düyünlərinin kəsiyi (Тərs Fəzanın Kartı) qurulmuşdur;
- d) Tərs fəzanın kartından epitaksial qeterostrukturlarda altqatın səthinə nəzərən böyüdülmüş strukturların meyli, artmanın səthində uyğunsuz dislokasiyaların sıxlığı, InAs_{0,57}Sb_{0,43} və InAs_{0,62}Sb_{0,38} strukturlarının böyüməsi istiqamətində nüfuz etmə dislokasiya (пронизывающих дислокаций) sıxlığı kimi əhəmiyyətli parametrlər qiymətləndirilib.

3. GaInSb aralıq buferi - InAs_{0,57}Sb_{0,43} nazik təbəqə quruluşunda şəffaf elektron mikroskopiyası metodu ilə kristallik quruluş tədqiq edilmişdir, defektlərin yerləşmə müstəviləri təyin edilmiş, dislokasiyaların sıxlığı və paylanması öyrənilmişdir.

4. Alınan heteroepitaksial laylı strukturlarda işığın kombinasiya (Raman) səpilməsi tədqiqatları aparılıb:

- a) InAs_{0,57}Sb_{0,43} və InAs_{0,62}Sb_{0,38} bərk məhlulların nazik təbəqələrin xarakterik LO və TO optik fononların tezlikləri təyin olunub;
- b) GaSb altlığın LO və TO optik fononların tezlikləri təyin olunub.
- c) skan edən konfokal raman mikrospektroskopu (mapping) vasitəsi ilə InAs_xSb_{1-x} (x=0,43 və x=0,38) strukturların alınmış qeteroepitaksial üst qatının yüksək həmcinsliyi aşkar edilmişdir

5. InAs_{0,57}Sb_{0,43} və InAs_{0,62}Sb_{0,38} bərk məhlulların nazik təbəqələrinin səth topologiyası atom-qüvvət mikroskopunda (AFM) tədqiq edilmişdir.

6. InAs_{0,57}Sb_{0,43} və InAs_{0,62}Sb_{0,38} bərk məhlulların nazik təbəqələrində fotoluminessensiya spektrləri müxtəlif temperaturalarda tədqiq edilmiş, InAs_{0,57}Sb_{0,43} yarımkəçirici birləşməsinin qadağan zonasının eni hesablanmışdır.

7. InAs_{0,57}Sb_{0,43} və InAs_{0,62}Sb_{0,38} bərk məhlulların bərk məhlullarının nazik təbəqələrinin udulma spektrləri öyrənilmişdir, udulma əmsallarının spektral asılılığı müəyyən edilmişdir.

8. Aşağıdakı spektral oblastlar üçün müxtəlif düşmə bucaqlarında ($\alpha=50^0, 55^0, 60^0, 65^0, 70^0$) InAs_{1-x}Sb_x (x=0,43 və x=0,38) bərk məhlulları əsasında qeteroepitaksial strukturlu çox laylılardan

işığın əks olunmasının ellipsometrik (polyarlaşma) tədqiqatları aparılmışdır:

- a) 0.2-1.6 mkm ellipsometer M- 2000 istifadə edərək,
- b) 2-10 mkm , IR - VASE ellipsometer istifadə

9. Ənənəvi energetika metodikası ilə $\text{InAs}_{1-x}\text{Sb}_x$ ($x=0,43$ və $x=0,38$) bərk məhlulları əsasında qeteroepitaksial strukturlarından əks olunma spektrlərinin tədqiqatları keçirilmişdir

10. COMPLETE-in xüsusi proqram paketindən istifadə edərək aşağıdakı spektral oblastlar üçün müxtəlif düşmə bucaqlarında $\text{InAs}_{1-x}\text{Sb}_x$ çox laylılı strukturların üst layı (рабочего слоя) üçün tərs ellipsometrik məsələ həll edilmişdir və kompleks dielektrik funksiya qurulmuşdur:

- a) 0.2-1.6 mkm,
- b) 2-10 mkm

11. Sınmanın göstəriciləri və udmalar daxil olmaqla alınmış kompleks dielektrik funksiya əsasında $\text{InAs}_{1-x}\text{Sb}_x$ -in bərk məhlullarının ($x=0,43$ və $x=0,38$) əsas optik funksiyalarının spektral asılılıqları hesablanmışdır.

12. Sınmanın göstəricilərinin və udmanın alınmış spektral asılılıqları əsasında əks olunan işığın s- və p- komponentlərinin intensivliyinin dalğa uzunluğundan (fotonun enerjiləri) asılılığı hesablanmışdır.

13. Əks olunan işığın s- və p- komponentlərinin hesablamaları 9-ci bəndəki təcrübədən alınan qiymətlər ilə müqayisə edilmişdir.

14. Δ spin-orbital parçalanmanın və x tərkibindən asılı olaraq $\text{InAs}_{1-x}\text{Sb}_x$ -nin enerji zolağına yaxın E_0 (M_0 -tip) və E_{0+} (M_0 -tip) kritik nöqtələrinin vəziyyətlərinin model hesablamaları aparılmışdır.

İstifadə olunmuş üsul və yanaşmalar:

1. Molekulyar -şua epitaksiyası üsulu ilə izomorf $\text{InAs}_x\text{Sb}_{1-x}$ bərk məhlulunun ($x=0,43$ və $x=0,38$) nazik təbəqələrin VEECO GEN 930 MBE system qurğusunda alınması;
2. Rentgen şuaların difraksiyasının BRUKER D8 ADVANCE rentgen difraktometrə tədqiqi;
3. Birləşmələrə xass olunan optik fononların tezliklərinin raman səpilməsi vasitəsi ilə KONFOKAL LASER MİKROSKOP NANOFİNDER 30 sistemində təyini;
4. TEM JOEL-1400 işıq şəffaf elektron mikroskopunda tədqiqatlar;
5. AIST-NT atom-qüvvət və tunel skan edən mikroskoplarında tədqiqatlar;
6. İK Furiye-spektrometri FTIR (Fourier Transform İnfrared Spectroscopy) VERTEX 70v
7. Spektral ellipsometrik tədqiqat metodu:
 - a) M-2000 DI optik diapazon ellipsometri
 - b) IR-VASE infra-qırmızı diapazon ellipsometri

2 Layihənin həyata keçirilməsi üzrə planda nəzərdə tutulmuş işlərin yerinə yetirilmə dərəcəsi (faizlə qiymətləndirməli)
(burada doldurmalı)
100%

3 Hesabat dövründə alınmış **elmi nəticələr** (onların yenilik dərəcəsi, elmi və təcrübi əhəmiyyəti, nəticələrin istifadəsi və tətbiqi mümkün olan sahələr aydın şəkildə göstərilməlidir)
(burada doldurmalı)
Daxili gərginlik və dislokasiyadan azad olan $\text{InAs}_x\text{Sb}_{1-x}$ (burada $x=0,57$; $0,62$) antimonidin

metamorf laylarının böyüdülməsi və geniş tədqiqi işin əsas məqsədi olub və bu məqsəd əldə edilib.

İlk dəfə müəyyən edilib:

1. GaSb altılıqla $\text{InAs}_{0,57}\text{Sb}_{0,43}$ nazik təbəqə ilə arasında $\text{In}_{0,38}\text{Al}_{0,62}\text{Sb}$ seçilmiş bufer gərilməmiş (ненапряженные) $\text{InAs}_{0,57}\text{Sb}_{0,43}$ nazik təbəqələrin alınmasına imkan verir.

2. GaSb altılıqla $\text{InAs}_{0,62}\text{Sb}_{0,38}$ nazik təbəqə ilə arasında $\text{In}_{0,32}\text{Ga}_{0,68}\text{Sb}$ seçilmiş bufer gərilməmiş (ненапряженные) $\text{InAs}_{0,62}\text{Sb}_{0,38}$ nazik təbəqələrin alınmasına imkan verir.

3. Aparılan rentgen difraksiyası tədqiqatları (reflekslərin bucaq yerləri və intensivliyi) göstərir ki, belə usulla alınmış $\text{InAs}_{0,57}\text{Sb}_{0,43}$ və $\text{InAs}_{0,62}\text{Sb}_{0,38}$ nazik təbəqələr yüksək keyfiyyətə malikdilər.

4. Yüksək effektiv rentgen difraksiyası metoduyla $\text{InAs}_{0,57}\text{Sb}_{0,43}$ və $\text{InAs}_{0,62}\text{Sb}_{0,38}$ kristal qəfəsinin simmetrik 004 və asimmetrik 335 düyünləri üçün aparılmış tədqiqatların və qurulmuş tərs qəfəsin kartlarının analizi epitaksial qeterostrukturun yüksək keyfiyyətini və dislokasiyaların aşağı sıxlığını ($<10^7 \text{ sm}^{-2}$) göstərir.

5 Şəffaf elektron mikroskopu ilə dərin (срезам) kəsiklərdə aparılan tədqiqatların analizi göstərdi ki, kiçik sıxlıqlı dislokasiyaları olan yüksəkkeyfiyyətli metamorf nazik təbəqələri alınmışdır. Bununla da, $\text{InAs}_{0,57}\text{Sb}_{0,43}$ və $\text{InAs}_{0,62}\text{Sb}_{0,38}$ nazik təbəqələri üçün, uyğun olaraq xüsusilə seçilmiş və dərəcələnməmiş InAlSb və InGaSb aralıq buferlərinin seçimi düzgün seçim sayıla bilər. Kəsiklərin şəffaf elektron mikroskopunda alınmış təsvirləri göstərdi ki, uyğunsuzluq dislokasiyaları və calaq (стыковка) defektləri əsasən 2 mkm qalınlıqlı buferin 1,5 mkm dərinliyində qərarlaşıblar. Buferin qalan 0,5 mkm qalınlığında nüfuz etmiş dislokasiyaların sıxlığı 1 sm^{-2} -da 10^7 –dən çox deyil.

6 Atom-qüvvət mikroskopiyası metoduyla nazik təbəqələrin səthinin morfolojiyasının tədqiqatları aşkar etdi ki, sahədə səthin orta kvadrat nahamarlığı $\text{InAs}_{0,62}\text{Sb}_{0,38}$ nazik təbəqələri üçün 50 mkm-da 50 mkm ərazidə 6 nm bərabərdir və təxminən $\text{InAs}_{0,57}\text{Sb}_{0,43}$ nazik təbəqələri üçün 7 nm qiymətə qədər artır;

7 Udmanın spektrlərinin tədqiqatları və $\text{InAs}_{0,57}\text{Sb}_{0,43}$ -ün və $\text{InAs}_{0,62}\text{Sb}_{0,38}$ -in incə nazik təbəqələrinin fotoluminessensiyaları göstərdi ki, fotoluminessensiyanın pikinin mövqeləri və bütün nümunələr üçün udmanın kənarları uyğun gəlir. Udmalardan kənarada hər iki nazik təbəqə üçün udma əmsalının ölçüsü $2 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-1}$ -yə çatır.

Fotoluminessensiyanın pikinin vəziyyəti 150K temperaturda $\text{InAs}_{0,57}\text{Sb}_{0,43}$ nazik təbəqələr üçün təxminən 120 meV (10,5 mkm), $\text{InAs}_{0,62}\text{Sb}_{0,38}$ – nazik təbəqəsi üçün isə 157 meV (8mkm) –dir. Xətlərin spektral yarımənisi (FWHM) təxminən 11 meV-dir və temperaturun azaldılmasıyla azalır. Temperaturun azaldılmasıyla fotoluminessensiyanın pikinin vəziyyəti qısa dalğalara tərəf sürüşür.

8. Işığın kombinasiya (Raman) səpilməsi tədqiqatlarından müəyyən edilib ki для твёрдого раствора $\text{InAs}_{1-x}\text{Sb}_x$ характерен двухмодовый тип перестройки фононных спектров.

9. Skan edən konfokal raman mikrospektroskopu (сканирующей конфокальной рамановской микроспектроскопии) vasitəsi ilə $\text{InAs}_{0,57}\text{Sb}_{0,43}$ və $\text{InAs}_{0,62}\text{Sb}_{0,38}$ strukturlarının alınmış qeteroepitaksial yüksək həmcinsliyi və mapping rejimində strukturun səthi üzrə (sahəsi

	<p>100мкм×100мкм) lazer şüasının skan edilməsi yolu ilə təsdiq edilmişdir</p> <p>10. $\text{InAs}_{0,57}\text{Sb}_{0,43}$ və $\text{InAs}_{0,62}\text{Sb}_{0,38}$ nazik təbəqələri üçün dielektrik funksiyaların spektral asılılıqları qurulmuş, udma dərinlikdə elektron zonaların ekstremumlarına uyğun olan kritik nöqtələr aşkar edilmişdir.</p> <p>11. Görünən (1-6eV) və infraqırmızı (0-1eV) diapazonda $\text{InAs}_{0,57}\text{Sb}_{0,43}$ və $\text{InAs}_{0,62}\text{Sb}_{0,38}$ nazik təbəqələri üçün layın sönmə əmsalı və sındırma əmsalı dispersiya asılılıqları qurulmuşdur.</p> <p>Alınmış nəticələr infra-qırmızı fotoelektroniki cihazlarında - diod lazerləri, işıq saçan diodlar (İSD), fotoqəbuledicilər, doymuş uducular, modulyatorlar, filtrlər və s. istifadə üçün incə yüksək keyfiyyətli (gərginləşməmiş, relaksiya olunmamış (ненапряженных, нерелаксированных)) nazik lövhələrin alınması texnologiyasında istifadə edilə bilər</p>
4	<p>Layihə üzrə elmi nəşrlər (elmi jurnallarda məqalələr, monoqrafiyalar, icmaller, konfrans materiallarında məqalələr, tezislər) (dərc olunmuş, çapa qəbul olunmuş və çapa göndərilmişləri ayrılıqda qeyd etməklə, uyğun məlumat - jurnalın adı, nömrəsi, cildi, səhifələri, nəşriyyat, indeksi, İmpact Factor, həmmüəlliflər və s. bunun kimi məlumatlar - ciddi şəkildə dəqiq olaraq göstərilməlidir) <i>(surətlərini kağız üzərində və CD şəklinə əlavə etməli!)</i></p> <p><i>(burada doldurmalı)</i></p> <p>1. bir məqalə “Физика и техника полупроводников” jurnalına çapa göndərilib: «Гетероэпитаксиальные структуры InAsSb на линейных градиентных буферных слоях GaInSb и AlGaInSb» P.P.Гусейнов, В.А.Танрывердиев, Е.Н.Алиева, Н.А.Абдуллаев, G.L.Belenky, G.Kipshidze</p>
5	<p>İxtira və patentlər, səmərələşdirici təkliflər</p> <p><i>(burada doldurmalı)</i></p> <p>Yox</p>
6	<p>Layihə üzrə ezamiyyətlər (ezamiyyə baş tutmuş təşkilatın adı, şəhər və ölkə, ezamiyyə tarixləri, həmçinin ezamiyyə vaxtı baş tutmuş müzakirələr, görüşlər, seminarlarda çıxışlar və s. dəqiq göstərilməlidir)</p> <p><i>(burada doldurmalı)</i></p> <p>yox</p>
7	<p>Layihə üzrə elmi ekspedisiyalarda iştirak (əgər varsa)</p> <p><i>(burada doldurmalı)</i></p> <p>yox</p>
8	<p>Layihə üzrə digər tədbirlərdə iştirak</p> <p><i>(burada doldurmalı)</i></p> <p>yox</p>
9	<p>Layihə mövzusu üzrə elmi məruzələr (seminar, dəyirmi masa, konfrans, qurultay, simpozium və s. çıxışlar) (məlumat tam şəkildə göstərilməlidir: a) məruzənin növü: plenar, dəvətli, şifahi və ya divar məruzəsi; b) tədbirin kateqoriyası: ölkədaxili, regional, beynəlxalq)</p> <p><i>(burada doldurmalı)</i></p>

	Yox
10	Layihə üzrə əldə olunmuş cihaz, avadanlıq və qurğular, mal və materiallar, komplektləşdirmə məmullatları (burada doldurmalı) 1. Seçmə gücləndirici SR 830 – 1 ədəd, 2. Rəqəmsal multimetr Agilent 34110A – 2 ədəd, 3. Analoq rəqəmsal çevirici GPİB – 2 ədəd, 4. Noutbook komputer (Model: ACER TMP 256-MG-7170, Core i7-4510U/8) – 1 ədəd, 5. Noutbook komputer (Model: ACER TMP 256-MG-5731, Core i5-4210U/4) – 1 ədəd 5. Masa üstü komputer (Model:HP ProDesk 400 G2 Core i5-4590S) – 1 ədəd, 7. Çox funksiyalı printer (HP lazerJet Pro 100MFP M125) – 1 ədəd. 8. 3-ü 1-də çox funksiyalı printer üçün katric (HP 83A Black LJ Toner Cartridge CF283A) 2-ədəd 9. Xarici yaddaş (Sərt disk) Toshiba 1Tb HDD 2 ədəd
11	Yerli həmkarlarla əlaqələr (burada doldurmalı)
12	Xarici həmkarlarla əlaqələr 1. ABŞ Nyu–York Stony Brook Universiteti, prof. Belenky G.L. 2. Rusiya Elmlər Akademiyasının Bərk Cisimlər Fizikası İnstitutu, prof. Zverev V.N. 3. Rusiya Elmlər Akademiyasının Sankt Peterburg Fizika-texniki İnstitutu, prof. Nemov S.A.
13	Layihə mövzusu üzrə kadr hazırlığı (əgər varsa) (burada doldurmalı) Bir aspirant çalışır
14	Sərgilərdə iştirak (əgər baş tutubsa) (burada doldurmalı) Yox
15	Təcrübəartırmada iştirak və təcrübə mübadiləsi (əgər baş tutubsa) (burada doldurmalı) Yox
16	Layihə mövzusu ilə bağlı elmi-kütləvi nəşrlər, kütləvi informasiya vasitələrində çıxışlar, yeni yaradılmış internet səhifələri və s. (məlumatı tam şəkildə göstərilməlidir) (burada doldurmalı) Yox

SİFARIŞÇI:
Elmin İnkişafı Fondu

İCRAÇI:

Müşavir

Babayeva Ədilə Əli qızı

(imza)

“ __ ” _____ 201_-cü il

Layihə rəhbəri

Tanrıverdiyev Vahid Əmir oğlu

(imza)

“ 09__ ” _mart_____ 2016_-cı il

Baş məsləhətçi

Qurbanova Səmirə Yaşar qızı

(imza)

“ __ ” _____ 201_-cü il

