

**AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI**

*Əlyazma hüququnda*

**İNFRAQIRMIZI FOTOQƏBULEDİCİLƏR ÜÇÜN InSb VƏ  
HgCdTe ƏSASINDA EPİTAKSİAL STRUKTURLAR**

İxtisas: 2203.01–Elektronika  
Elm sahəsi: Fizika  
İddiaçı: **Şixəmir Osmat oğlu Eminov**

Elmlər doktoru elmi dərəcəsi  
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

**AVTOREFERATI**

**Bakı - 2021**

Dissertasiya işi Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Fizika İnstitutunun "İnfraqırmızı fotoelektronika və plazma hadisələri" laboratoriyasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər (Elmi məsləhətçi) -

Rəsmi opponentlər:

AMEA-nın müxbir üzvü,

Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor

**Oqtay Kazım oğlu Qasımov**

Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor

**Vaqif Əli oğlu Məhərrəmov**

Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, dosent

**Ayaz Hidayət oğlu Bayramov**

Fizika elmləri doktoru, dosent

**Tərlan Xanbaba oğlu Hüseynov**

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının AMEA Fizika İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən ED 1.14 Dissertasiya şurasının bazasındakı qeydiyyat nömrəsi BED 1.14 olan Birdəfəlik Dissertasiya şurası

Dissertasiya şurasının sədri:

AMEA-nın həqiqi üzvü,

fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor

**Nazim Timur oğlu Məmmədov**

Dissertasiya şurasının elmi katibi:

Fizika elmləri doktoru, dosent

**Rəfiqə Zabil qızı Mehdiyeva**

Elmi seminarın sədri:

Fizika elmləri doktoru, dosent

**Tahir Cümşüd oğlu İbrahimov**



## İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

**Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi.** Geniş tətbiq sahələrində istifadə edilən infraqırmızı (İQ) diapazon üçün effektiv fotoqəbuledicilərin işlənməsi müasir fotoelektronikanın aktual məsələlərindən biridir. InSb и HgCdTe-nin unikal optik və fotoelektrik xassələri, onların müasir İQ şüalanması detektorlarındakı fotodiod, fotorezistorları və termoelektrik enerji çeviriciləri üçün istifadə olunan material qismində geniş tətbiqini təmin etmişdir. InSb və HgCdTe İQ-fotoelektronikada istifadə olunan 3-5 və 8-14 mkm spektral diapazonlarını fəthəssaslıq cəhətdən birqə hər ikisini əhatə edirlər.

Son onilliklər ərzində bir sıra texnoloji amillər və iqtisadi əlverişlilik səbəblərindən InSb və HgCdTe əsasında İQ-fotoçeviricilərin hazırlanması texnologiyasında həcmi krastalların tədricən epitaksial təbəqələrlə əvəz edilməsi prosesi baş verir. Hal-hazırda əsas sənaye epitaksial texnologiyaları Maye fazadan epitaksiya (MFE) və Buxar fazadan epitaksiyanın müxtəlif növləridir (Molekulyar dəstədən epitaksiya, qaz fazadan epitaksiya, Metal-üzvi maddələrinin qaz fazadan epitaksiya və s.). MFE digər texnologiyalardan yüksək məhsuldarlığı, maya dəyərinin aşağı olması, epitaksial təbəqələrin təmizliyi və s. ilə fərqlənir. Bu texnologiyanın daha da təkmilləşməsinə yönəlmiş tədqiqatların aparılması yüksək effektivli fotoqəbuledici qurğuların yaradılması üçün böyük praktiki əhəmiyyət kəsb edir.

Yeni tipli infraqırmızı fotoqəbuledici vasitələrinin hazırlanma texnologiyasına HgCdTe və InSb əsasında eptaksial təbəqələrinin tətbiqinin nisbətən yüksək templəri bu materiallar əsasında yaradılmış yüksək effektivli fotoqəbuledici vasitələrinin texniki cəhətdən yüksək işlənmə səviyyəsi ilə onlarda baş verən bir sıra fiziki hadisələrin araşdırılmasının səviyyəsi arasında gözə çarpan fərqin yaranmasına gətirib çıxarmışdır. Bununla əlaqədar olaraq, InSb və HgCdTe əsasında göyərdilən epitaksial strukturların elektrofiziki və fotoelektrik xassələrinin epitaksiya prosesinin şəraitindən və tələb olunan texniki xarakteristikalara malik olan fotoqəbuledicilərin

hazırlanması sırasında epitaksiya prosesindən sonrakı mərhələlərdəki (post-epitaksial) işləmələrdən asılılıqların müəyyənləşdirilməsi yönündə tədqiqatlar kompleksinin aparılması aktual məsələdir.

Hal-hazırda bir sıra ölkələrdəki tədqiqat qrupları tərəfindən Maye fazadan və molekulyar dəstədən epitaksiya üsulu ilə göyərdilən HgCdTe təbəqələri əsasında infraqırmızı matrisalı fotoqəbuledicilər işlənilməkdədir. Lakin, onlarda bu cür təbəqələrin qalınlığı boyunca qadağan olunmuş zonanın eninin dəyişməsi (varizonluq) nəticəsində yaranan daxili kvazielektrik sahəsinin mövcudluğundan yaranan imkanlardan istifadə edilmir. Varizon effektinin praktiki tətbiq perspektivlərinin araşdırılması da yeni tip İQ- fotoqəbuledicilərinin işlənilməsi üçün aktualdır.

Yarımkeçirici materialın səthinin fiziki mükəmməlliyi fətohəssas eptaksiyastruktur üçün müstəsna vacib əhəmiyyət kəsb edir. Bu baxımdan InSb və CdZnTe altlıqlarının və epitaksial təbəqələrinin xassələrinə müxtəlif reagentlərin kimyəvi- mexaniki və kimyəvi təsir mexanizmlərinin, termiki işlənilmənin (otjiq) və anodda oksidləşmənin təsirinin kompleks tədqiqatlarının aparılması prinsipial əhəmiyyət daşıyır.

Maye fazadan epitaksiya üsulu ilə göyərdilən epitaksial təbəqələrdə və altlıq-təbəqə strukturlarında defekt yaranması mexanizmlərinin müəyyənləşdirilməsi, onun tam və ya qismən dəf edilməsi üçün üsulların işlənilməsi, defektsiz epitaksial təbəqələrin göyərdilməsi üçün əlverişli şərait təmin edən epitaksial qurğuların və əhtacların işlənilməsi məsələsi də yuxarıda sadalanan aktual məsələlər sırasında xüsusi əhəmiyyətli yer tutur.

InSb və HgCdTe yarımkeçirici materiallarına elektronların və yüngül deşiklərin effektiv kütlələrinin çox kiçik və yürlüklüyün yüksək olması səciyyəvidir. Elektronların və yüngül deşiklərin aşağı temperaturlarda akustik fononlarla qarşılıqlı təsirin effektivliyinin yetərsiz olmasına görə InSb əsasında  $p^+$ -p-tipli epitaksial quruluşlarında yüngül deşikləri şüalanma vasitəsi ilə qızdırılması və bu materialın uzaq İnfraqırmızı spektral diapazonunda da fətohəssaslığını təmin edilməsi mümkündür. Buna görə dissertasiya

işində bu sahədə aparılmış tədqiqatlar da vacib praktiki əhəmiyyət daşıyır və aktualdır

Deyilən məsələlərinin müfəssəl tədqiqi, darzolaqlı yarımkeçiricilər və onlar əsasında cihazlar fizikasının aktual problemlərinin həllinə, elektron texnikasının yüksək effektivliyini və etibarlılığını təmin edən mütərəqqi texnoloji proseslərin elmi əsaslandırılmasına təkan verə bilər. Yuxarıda sadalananların hamısı dissertasiyanın aktuallığını ümumilikdə əsaslandırır.

#### **Tədqiqatın obyektı və predmeti:**

Tədqiqatlar maye fazadan epitaksiya üsulu ilə göyərdilmiş InSb və HgCdTe epitaksial quruluşlar və onlar üçün altlıq qismində istifadə olunan  $Cd_{0.96}Zn_{0.04}Te$  və InSb lövhələri üzərində aparılmışdır. Tədqiqat obyektlərinin bu cür seçimi ilk növbədə onunla əsaslandırılır ki, InSb və HgCdTe birgə fətohəssaslıq cəhətdən İQ fotoelektronikada istifadə edilən 3-5 və 8-14 mkm spektral diapazonlarının hər ikisini də əhatə edirlər. Buna görə də onların dissertasiyada birgə baxılmasının həm də praktiki əhəmiyyət kəsb etdiyi göstərilmişdir. InSb müxtəlif nəzəri tədqiqatlarda model material qismində istifadə olunur, tərkibindəki civənin və kadmiumun nisbi miqdarlarını dəyişməklə qadağan olunmuş zolağın idarə olunmasına imkan verən HgCdTe isə,  $A^3B^5$  qrupuna aid olan yarımkeçiricilərə xas olan xarakterik fiziki xassələrə malikdir. Bu amillər eyni cür maye fazadan epitaksiya texnologiyasından istifadə etməklə alınan InSb və HgCdTe epitaksial təbəqələr əsasında yaradılan fotoqəbuledicilərdə baş verən fiziki proseslərə vahid nöqtəyi-nəzərdən baxılmasına və ümumiləşdirilməsinə zəmin yaradır.

Dissertasiyada altlıqlar qismində istifadə olunan InSb və  $Cd_{0.96}Zn_{0.04}Te$  monokristalik lövhələrin epitaksiya prosesi üçün hazırlanması sırasında onların səthində baş verən kimyəvi proseslərin kinetikasi, HgCdTe epitaksial təbəqələrinin anodda kimyəvi oksidləşdirilməsi, In-Sb və  $(Hg_{1-z}Cd_z)_{1-y}Te_y$  məhlul-ərintilərinin sintezi rejimlərinin və onların müxtəlif aşqarlarla legiriləməsinin xüsusiyyətlərinin epitaksial təbəqələrinin elektrofiziki və fotoelektrik xassələrinə təsiri öyrənilmişdir. Burada habelə epitaksial təbəqələrinin göyərdilmə şəraitinin və daha sonrakı (post-epitaksial) texnoloji

mərhələlərdə aparılan termiki və kimyəvi işlənilmənin epitaksial təbəqələrinin bu xassələrinə təsiri tədqiq edilmişdir. Epitaksial təbəqələrdə defektyaranma prosesləri də tədqiqatın xüsusi obyektinə olmuştur.

Altılıqların və epitaksial təbəqələrin tərkib hissələrinin ilkin materialların seçilməsi, habelə yaradılması nəzərdə tutulan quruluşların fiziki parametrlərinin proqnozlaşdırılması və İQ fotoqəbuledicilərinin işləmə prinsiplərinin əsaslandırılması üçün nəzəri modellərə əsaslanan miqdari qiymətləndirmələr aparılmış, onların nəticələri isə təcrübədə alınmış nəticələrlə qarşılaşdırılmışdır.

Tədqiqatlar zamanı In-Sb və Hg-Cd-Te məhlul-ərintilərini fiziki-kimyəvi xüsusiyyətlərinin və onlarda baş verən kristallaşma və epitaksiyal göyərilmə (böyümə) proseslərinin, InSb və HgCdTe yarımkeçirici kristal lövhələrin səthində baş verən kimyəvi proseslərin kinetikasının, epitaksial təbəqələrdə müxtəlif aşqarların atom diffuziyasının, bir sıra elektofiziki, fotoelektrik və optik hadisələrinin, eptaksial təbəqələrdə və onların əsasında quruluşlarda müxtəlif defektlərin yaranma proseslərinin öyrənilməsi sırasında aparılmışdır.

#### **Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri:**

Yuxarıda qeyd olunanlarla ələqədar olaraq dissertasiya işinin **məqsədi**- InSb və HgCdTe əsasında mükəmməl epitaksial təbəqələrin göyərilməsi texnologiyasının fiziki və fiziki- kimyəvi əsaslarının təkmilləşdirilməsi və yüksək həssaslıq parametrlərinə, habelə genişləndirilmiş funksional imkanlara malik infraqırmızı şüalanma qəbuledicilərinin işlənilməsidir.

Qarşıya qoyulan məqsədə çatmaq üçün dissertasiya işində aşağıdakı məsələlər qoyulmuş və həll edilmişdir:

- İlk altılıq materiallarının (InSb və CdZnTe) habelə InSb və HgCdTe epitaksial təbəqələrin mənbəyi qismində istifadə olunan, müvafiq olaraq, In-Sb və Hg-Cd-Te məhlul-ərintilərin komponentlərinin, aşqar atomlarının tipinin və konsentrasiyası səviyyəsinin seçiminin əsaslandırılması və bu məhlulların sintezi

metodlarının işlənməsi.

- Mexaniki cilalanma, kimyəvi-mexaniki pardaxlanma və finiş kimyəvi- dinamik aşındırma metodikalarını da ehtiva edən , keyfiyyət cəhətdən İnfraqırmızı fotoqəbuledici detektorların müasir istehsalının tələblərinə cavab verə bilən səthə malik olan InSb və CdZnTe altlıqlarının epitaksiyaya hazırlanmasının elmi əsaslandırılmış texnoloji sxeminin təkmilləşdirilməsi .
- Maye fazadan epitaksiya üsulu ilə InSb p-n və n p<sup>+</sup>-p homoepitaksial təbəqələrin və izoleedici CdZnTe altlıqların səthyanı bölgəsində yaradılan kanalların daxilində və pillələr üzərində HgCdTe epitaksial təbəqələrin göyərilməsi rejimlərinin işlənməsi və optimallaşdırılması.
- Epitaksial təbəqələrin elektrofiziki və fotoelektrik xassələrinin məhlul- ərintinin aşqarlanma səviyyəsindən, aşqarın tipindən və sintez zamanı termiki işlənmə rejimlərindən asılılığının müəyyənləşdirilməsi.
- InSb n CdHgTe epitaksial təbəqələrində maye fazadan epitaksiyaya xas olan defektyaranma mexanizmlərinin müəyyənləşdirilməsi və onların qarşını alma üsullarının işlənməsi.
- Səthində defektliyi minimal səviyyədə olan epitaksial təbəqələrin göyərilməsi üçün epitaksiya reaktorunda münbit şərait təmin edən yeni epitaksiya qurğularının işlənməsi və hazırlanması.
- InSb və HgCdTe epitaksial strukturların, onlar əsasında fotoqəbuledicilərin hazırlanmasına yararlı olmasını təmin edən elektrofiziki və fotoelektrik xassələrini əldə etmək üçün epitaksiyadan sonrakı mərhələlərdə aparılan işlənmə metodlarının (kimyəvi aşındırma, anodda oksidləşdirmə, termiki işlənmə , diffuziya vasitəsi ilə legirəedilmə və s.) işlənməsi və optimallaşdırılması.
- CdHgTe və InSb ftohəssas quruluşlarda

elektrikkeçiricilik, fotokeçiricilik, tarazlıqda olmayan yük daşıyıcılarının səpilmə və rekombinasiya mexanizmlərinin müəyyənləşdirilməsi.

- InSb и HgCdTe epitaksial strukturlar əsasında İQ fotoqəbuledicilərinin hazırlaması üçün yararlı parametrlərə malik olan fotohəssas elementlərin konstruksiyalarının, işləmə prinsiplərinin fiziki əsaslarının və hazırlama üsullarının işlənilməsi.

### **Tədqiqatın metodları:**

Aparılmış tədqiqatlar, altlıqların və epitaksial təbəqələrin səthinin profilometriyası, skaner (rastr) elektron, atom-qüvvə və optik mikroskopiyaları, rentgenfaza quruluş və element analizləri, elektrik keçiricilik tipinin müəyyən edilməsi üçün termik zondlanması, geniş temperatur intervalında (77-300K) yük daşıyıcılarının elektrik keçiriciliyinin və Xoll yürüklüyünün təyin edilməsi, optik və fotoelektrik spektral xarakteristikalarının, təbəqələrin qalınlığının, aşqar atomlarının diffuziyası sırasında nüfuz etmə dərinliyinin və onların dərinlik boyunca paylanması kimi ölçmə metodlarının tətbiqi ilə aparılmışdır. Epitaksial təbəqələrdə və onlar əsasında hazırlanan fotohəssas elementlərdə qeyri-əsas yükdaşıyıcılarının rekombinasiya mexanizmlərinin müəyyənləşdirilməsi və onların müxtəlif xarakteristikalarının təyin edilməsi üçün geniş temperatur intervallarında fotohəssaslığın relaksasiyası tədqiqatı metodikalarından da istifadə edilmişdir.

Təcrübi nəticələr əsasında bir sıra kəmiyyətin qiymətləndirilməsi aparılmışdır : kadmium (Cd) atomları ilə leqirə olunmuş In-Sb məhlulunda aşqarın epitaksial təbəqələrdə seqreqasiya əmsalının, müxtəlif atomların termiki diffuziya əmsallarının və aktivləşmə enerjilərinin, tarazlıqda olmayan yükdaşıyıcılarının sərbəst qaçma məsafələrinin, optik udulma əmsallarının, HgCdTe epitaksial təbəqələrin qalınlığı boyunca Cd atomlarının tərkibinin paylanması profili, fotodiodların ayırma qabiliyyəti və s.

Geniş spektral diapazonlarda (3-5, 8-14 mkm) və temperatur (77-300K) intervallarında planar və meza- texnologiyaların tətbiqi ilə



InSb əsasında epitaksial  $p^+p$  fotorezistorları və  $n-p$  fotodiodları, habelə HgCdTe varizon quruluşlar əsasında ftohəssas elementlər hazırlanmışdır. Bu quruluşların volt-ampere xarakteristikaları, dinamik müqaviməti, ftohəssaslığı, küy-siqnal nisbəti, xüsusi ayırtma qabiliyyəti, yük daşıyıcılarının diffuziya məsafələri, yaşama müddəti və s. parametrləri ölçülmüş və hesablanmışdır.

### **Müdafiyə çıxarılan əsas müddəalar:**

1. Maye fazadan epitaksiya sırasında  $(Hg_{1-z}Cd_z)_{1-y}Te_y$  məhlulunun və CdZnTe altlığının əsas komponentlərinin qarşılıqlı diffuziyası nəticəsində CdZnTe altlığının səthində və onun səthyanı bölgəsində yaradılmış dar kanallarda göyərdilən  $Cd_xHg_{1-x}Te$  epitaksial təbəqələrinin qalınlığı boyunca tərkib qradientinin və qadağan olunmuş zonasının dəyişkən strukturu (varizonluğunu) yaranır. Tərkibin paylanması Hg-Cd-Te məhlulunun tərkibi, profili epitaksial göyərdilmənin temperaturu və müddəti ilə şərtləndirilir.
2. Hg-Cd-Te sisteminin faza diaqramının tellurla zənginləşdirilmiş küncünün likvidus və solidus xətlərinin empirik ifadələrinə əsasən  $(Hg_{1-z}Cd_z)_{1-y}Te_y$  tərkibli mənbə məhlul-ərintisinin sintezinin onun likvidus temperaturunun ( $\theta_l^\circ C$ ) və bu mənbədən göyərdilən  $Hg_xCd_{1-x}Te$  epitaksial təbəqələrin  $x$  tərkibinin variasiyalarına təsirinə qiymətləndirilməsi metodikası.  $(Hg_{1-z}Cd_z)_{1-y}Te_y$  tərkibli məhlul-ərintinin sintezi zamanı onun likvidus temperaturu və ondan yetişdirilən epitaksial təbəqələrin tərkibi müəyyən sərhədlərdə variasiya edə bilər.  $(Hg_{0.946}Cd_{0.054})_{0.194}Te_{0.806}$  tərkibli məhlulun misalında göstərilmişdir ki,  $\theta_l^\circ C$  kəmiyyətinin variasiyası  $\pm 1.8^\circ C$ ,  $x$ -in variasiyası isə,  $\pm 0.003$  -dir.
3. Maye fazadan epitaksiya üsulu ilə göyərdilən InSb və HgCdTe strukturlarında defektlərin təsnifatı və yaranma mexanizmləri. Müəyyən olunmuşdur ki, bu cür quruluşlarda, maye məhluldan krisatllizasiya kinetikasının, altlıqların kristalloqrafik

xüsusiyyətləri ilə, epitaksial prosesin aparılması şərtləri ilə, habelə epitaksiyanın aparılması üçün istifadə edilən kassətlərin və avadanlığın konstruksiyaları ilə şərtlənən 10 cür müxtəlif tipli defektlər yaranır.

4.  $p$ -  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  epitaksial təbəqələrin anodda oksidləşməsinin və daha sonra inert qaz mühitində termiki işlənməsinin onların fotoelektrik xassələrinə təsirinin mexanizmi. Bu mexanizm aşağıdakı mərhələlərdən ibarətdir : anod oksidi ilə  $\text{HgCdTe}$ -epitaksial təbəqənin tərkib hissələri arasında gedən kimyəvi reaksiya , bunun nəticəsində civənin kristallik qəfəsin düyünləri arasındakı miqdarının kəskin artması, onun (civənin) termiki işlənmə nəticəsində diffuziya yolu ilə təbəqənin həcminə nüfuz etməsi, oradakı civə vakansiyalarını doldurulması və təbəqənin keçiricilik tipini  $n$  - tipə keçirilməsi.
5.  $n$ - $\text{Hg}_{0,71}\text{Cd}_{0,29}\text{Te}$  epitaksial təbəqələrində tarazlıqda olmayan yük daşıyıcılarının 80-300K temperatur intervalında rekombinasiya mexanizmləri.  $n$ - $\text{Hg}_{0,71}\text{Cd}_{0,29}\text{Te}$  tərkibli epitaksial təbəqələrdə həm məxsusi (200-300K), həm də aşqar keçiricilik temperatur intervallarında (80-200K) tarazlıqda olmayan dəşiklərin zonalar arası şüalandırma rekombinasiyası baş verir. Bununla belə, 80-200K temperatur aralığında yük daşıyıcılarının yaşama müddəti eyni zamanda təsir edən iki mexanizmlə- zonalar arası şüalandırıcı rekombinasiya və akseptor təbiətli  $E_{vr} \sim 80$  meV enerji səviyyəsinin iştirakı ilə Şokli-Rid mexanizmi üzrə həyata keçir. 300K-dən yüksək temperaturalarda rekombinasiyanın dominant mexanizmi zonalararası iki elektronun və bir yüngül deşiyin iştirakı ilə keçən zərbəli Oje- mexanizm olur.
6.  $\text{In-Sb}$  məhlul-ərintisindən göyərdilən  $\text{InSb}$  epitaksial təbəqələrində  $\text{Cd}$  akseptor aşqarının davranış mexanizmi.  $\text{InSb}$  epitaksial təbəqələrində elektrik aktiv  $\text{Cd}$ -un  $K_s$  seqreqasiya əmsalı  $\text{In-Sb}$  məhlulunun müxtəlif legirələnmə dərəcələrində ( $C_L$ ) fərqlidir. Zəif  $C_L < 1 \times 10^{17} - 4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  legirələnmə oblastında  $K_s$ -in qiyməti  $\text{InSb}$  altlığının legirəedici aşqarının tipindən ( $\text{Te}$  və ya  $\text{Ge}$ ) asılıdır.  $n$ - $\text{InSb}$  altlıqlarının üzərində göyərdilən təbəqələrdə

akseptor aşqarı altlıqdan məhlula sızan Te donör aşqarı ilə qismən kompensə edilir və buna görə deşiklərin konsentrasiyası azalır.  $C_L \approx 1 \times 10^{17} - 4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  intervalında  $K_s \sim 0.30$ ,  $C_L \approx 5 \times 10^{18} - 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  intervalında isə, bu kəmiyyət  $K_s \sim 0.25$  qiymətini alır.

7. Maye fazadan epitaksiya üsulu ilə göyərdilən p- InSb epitaksial təbəqələrdə deşiklərin səpilmə mexanizmləri. Epitaksial təbəqələrdə deşiklərin  $1 \times 10^{16} - 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  konsentrasiyaları intervalında onlara akustik fononlar və aşqar ionlarda qarışıq səpilməsi mexanizmi təsir edir. Optik fononlar üzərində səpilmənin təsirini isə tamamilə nəzərə almamaq olar. Deşiklərin konsentrasiyası  $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ -dən yüksək olduqda ionlar üzərində səpilmə ionlar üzərində səpilmə artır.
8. InSb epitaksial təbəqələrində 0.12 eV ( $\lambda \sim 10.6 \text{ mkm}$ ) enerjili infraqırmızı şüalanmanın udulma əmsalının  $\alpha(p^+) p^+ \geq 3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} - 1.2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  intervalında deşiklərin konsentrasiyasından asılılığı barəsində təcrübi nəticələri.
9. InSb və  $\text{Cd}_{0.96}\text{Zn}_{0.04}\text{Te}$  altlıqlarının maye fazadan epitaksiyaya hazırlanması metodikası, habelə InSb p-n və  $p^+ - p$  tipli quruluşların habelə izoleedici  $\text{Cd}_{0.96}\text{Zn}_{0.04}\text{Te}$  altlıqları üzərində və onların səthyanı bölgəsində yaradılmış pillələrdə və qanovlarda  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  epitaksial təbəqələrinin yetişdirilməsinin təkmilləşdirilmiş vahid metodikası.
10. InSb və HgCdTe epitaksial təbəqələr əsasında aşağıda sadalanan fotoqəbuledicilərin konstruksiyaları, hazırlanma üsulları və işləmə prinsipləri:
  - CdZnTe altlığının səthyanı bölgəsində yaradılmış pillələr üzərində göyərdilən HgCdTe epitaksial təbəqələr əsasında üç zolaqlı fotoqəbuledici;
  - CdZnTe altlığının səthyanı bölgəsində yaradılmış dar kanallarda göyərdilən varizon epitaksial CdZnTe-HgCdTe strukturlar əsasında fotoqəbuledici;
  - InSb əsasında  $p^+ - n$  strukturlu fotodiod;
  - InSb  $p^+ - p$  çəpərində yüngül deşiklərin infraqırmızı şüalanma vasitəsi ilə qızdırılması hesabına yaranan fotoeffekt əsasında uzaq İQ diapazonu üçün fotoqəbuledici.

## Tədqiqatın elmi yeniliyi:

Dissertasiyada ilk dəfə:

1. CdZnTe altlığının səthyanı bölgəsində yaradılan pillələr üzərində, həmçinin dar kanallarda epitaksial  $Hg_xCd_{1-x}Te$  ( $x=0.2-0.30$ ) təbəqələrinin göyərdilməsi metodikası işlənmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, bu cür quruluşların fotoelektrik xassələri epitaksial təbəqələrin qalınlığı boyunca Cd- atomlarının xüsusi paylanması nəticəsində yaranan və profili göyərdilmənin texnoloji şəraətindən asılı olan daxili kvazielektrik sahənin təsiri ilə təyin olunur.
2. Müxtəlif kimyəvi reagentlərin və cilalayıcı abrazivlərin CdZnTe və InSb yarımkəçirici kristalların səthinə kimyəvi və kimyəvi-mexaniki təsir mexanizmləri müəyyənləşdirilmişdir. Bu materiallardan olan altlıqların maye faza epitaksiyasına hazırlanması metodikası işlənmişdir.
3. n və p tip elektrik keçiriciliyinə malik InSb altlıqları üzərində göyərdilmiş  $p^+$ -InSb epitaksial təbəqələrində dəşiklərin konsentrasiyasının və yürüklüyünün In-Sb məhlul-ərintisinin maye fazasındakı Cd atom aşqarının miqdarından ( $C_L$ ) asılılığı müəyyənləşdirilmişdir.  $C_L$ -in  $1 \times 10^{17} - 5 \times 10^{19} \text{ cm}^3$  intervalı üçün Cd seçməsiyə əmsalının  $K_s$  qiyməti müəyyənləşdirilmişdir. Göstərilmişdir ki,  $C_L$  -in  $1 \times 10^{17} - 4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  intervalı üçün dəşiklərin konsentrasiyası altlıqdakı aşqarın tipindən (Cd və ya Te) asılıdır.  $C_L \approx 1 \times 10^{17} - 4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  aralığı üçün  $K_s \sim 0.30$ ,  $C_L \approx 5 \times 10^{18} - 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  intervalında isə,  $K_s \sim 0.25$  qiymətini alır.
4.  $p^+$ -InSb epitaksial təbəqələrində dəşiklərin səpilmə mexanizmləri müəyyənləşdirilmişdir. Dəşiklərin konsentrasiyası  $p > 1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  olduqda dəşiklərin yürüklüyünün həm akustik fononlar, həm də aşqar ionları üzərində qarışıq səpilmə mexanizmi ilə baş verir. Optik

səpilmənin təsirini isə istisna etmək olar. Deşiklərin konsentrasiyasının artımı ilə aşqar ionları üzərində səpilmə artır və həmin səpilmə  $p > 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  oblastında özünü daha çox biruzə verir.

5. Epitaksial  $p^+$ - InSb təbəqələrində enerjisi  $\sim 0.12 \text{ eV}$  ( $\lambda \sim 10.6 \text{ mkm}$ ) olan İQ- şüalanmanın aşqar udulma əmsalının deşiklərin  $p^+ \geq 3 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3} - 1.2 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  intervalındakı konsentrasiyasından asılılığı müəyyənləşdirilmişdir. Xüsusi halda isə,  $p^+ = 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  olduqda  $\alpha(p^+) = 7000 \text{ cm}^{-1}$  səviyyəsində olduğu göstərilmişdir.
6. Maye fazadan epitaksiya üsulu ilə göyərdilən HgCdTe epitaksial təbəqələrdə 77-300K temperatur intervalında tarazlıqda olmayan yük daşıyıcılarının rekombinasiyasının dominant mexanizmləri müəyyənləşdirilmişdir.
7. InSb əsasında epitaksial fətohəssas  $p^+$ -n tipli strukturların maye fazadan epitaksiya üsulu ilə göyərdilməsi və onlar əsasında  $D^* = 5 \cdot 10^{10} - 4 \cdot 10^{11} \text{ cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{W}$  ayırdetmə qabiliyyətinə malik olan fotodiodların hazırlanması metodikasını işlənmişdir.
8. Açıq və qapalı epitaksiya sistemlərində InSb və HgCdTe-nin epitaksial təbəqələrində defektlərin yaranmasının qarşısını alan və onların səthinin keyfiyyətini yüksək həssas fotoqəbuledicilərin hazırlanmasına yararlı etməsinə şərait yaradan yeni tipli maye fazadan epitaksiya üçün qurğular yaradılmışdır.
9. Təcrübi yolla alınan nəticələr əsasında müəyyən edilmişdir ki, maye fazadan epitaksiya üsulu ilə alınan InSb və HgCdTe epitaksial təbəqələrin səthində və altlıq-təbəqə sərhədində göyərdilmə prosesi ilə bilavasitə əlagədar olan 10-dan çox cürdə müxtəlif tipli defekt yaranır. Onların ətraflı təsnifatı verilmiş, yaranma mexanizmləri müəyyənləşdirilmişdir.
10. İlkin tərkibi  $(\text{Hg}_{1-z}\text{Cd}_z)_{1-y}\text{Te}_y$  və hesablanmış likvidus temperaturu ( $T_l^\circ\text{C}$ ) olan məhlul-ərintinin sintezi zamanı ampuladakı civənin təzyiqinin variasiyalarının sintez

olunmuş məhlulun likvidus temperaturu ( $\theta_l$  °C) və həmin məhluldan göyərdilən  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  epitaksial təbəqələrin tərkibinin (x) variasiyalarına təsirinin miqdarı qiymətləndirilməsi metodikasını işlənmişdir.  $(\text{Hg}_{0.946}\text{Cd}_{0.054})_{0.194}\text{Te}_{0.806}$  tərkibli məhlulun misalında göstərilmişdir ki,  $\theta_l$  °C kəmiyyətinin variasiyası  $\pm 1.8$  °C, x-in variasiyası isə  $\pm 0.003$  -dir. Hg-Cd-Te siteminin faza diaqrammasının Te bucağında likvidus əyrisi üçün yeni  $\theta_l$  °C = 1144 – 845.4y + 672.6z empirik ifadə alınmışdır. Bu ifadə ədəbiyyatdan məlum olan analitik ifadələrə nisbətən təcrübi müşahidə nəticələri ilə daha yaxşı uyuşur.

11. İki müxtəlif profilli səthə malik izoleedici CdZnTe altlıqları üzərində yetişdirilmiş epitaksial varizon strukturlar əsasında 2 cür fotoqəbuledicilərin konstruksiyası və hazırlanma metodikasının fiziki əsasları işlənmişdir:

a) CdZnTe altlığının səthyanı bölgəsində yaradılmış dar kanalların içində göyərdilən varizon epitaksial CdZnTe-HgCdTe strukturlar əsasında fotoqəbuledici; bu halda qeyri-əsas yükdaşıyıcılarının altıqla epitaksial təbəgə arasındakı səthi rekombinasiyanın məhdudlaşdırılması üçün epitaksial təbəgələrdəki daxili kvazielektrik sahədən istifadə edilmişdir;

b) CdZnTe altlığının səthyanı bölgəsində yaradılmış pillələr üzərində göyərdilən HgCdTe epitaksial təbəqələr əsasında üç zolaqlı fotoqəbuledici; bu halda epitaksial təbəqələrin qalınlığı boyunca varizon olması çoxzolaqlı infraqırmızı fotoqəbuledicinin yaradılması üçün istifadə edilmişdir.

### **Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti:**

İşin praktiki əhəmiyyəti ondan ibarətdir ki, CdZnTe altlığının səthyanı bölgəsində hazırlanmış dar kanallarda və pillələr üzərində  $(\text{Hg}_{1-z}\text{Cd}_z)_{1-y}\text{Te}_y$  tərkibli məhluldan varizon  $\text{Hg}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Te}$ , InSb əsasında isə fotorezistiv ( $p^+-p$  tipli) və fotodiod ( $p-n$  tipli) epitaksial quruluşlarının göyərdilməsi metodikalarının fiziki və fiziki-kimyəvi

əsasları işlənmişdir. Bu metodikalar, təbəqələrdə element tərkibininin paylanması profilinə, səthinin keyfiyyətinə, elektrofiziki və fotoelektrik xassələrinə görə, fotonəssaslıq oblastı atmosferin İQ şüalanma üçün şəffaflyq pəncərələrinə (3-5 və 8-14 mkm) uyğun gələn spektral diapazonlarda işləyən çoxelementli fotoqəbuledici vasitələrinin hazırlaması üçün yararlı olan epitaksial təbəqələrin alınmasına imkan yaradır. Eyni zamanda bu metodikalar InSb və HgCdTe əsasında İQ fotoqəbuledicilərin fotonəssas elementlərinin maket nümunələrinin yaradılması zamanı praktiki tətbiqi üçün yararlı olan tipik texnoloji yol xəritələrinin işlənilməsinə də zəmin yaradır. Dissertasiyada işlənmiş, epitaksiyanın açıq və qapalı mühitlərdə aparılması üçün müxtəlif cür kasetlər də defektlilik dərəcəsi minimal olan təbəqələrin göyərdilməsi üçün münbit şərait yaradır və həmçinin praktiki əhəmiyyətə malikdir .

İşin elmi əhəmiyyəti ondan ibarətdir ki, tədqiqatların nəticələri InSb p-n və p<sup>+</sup>-p tipli quruluşlarının, ayrıca götürülmüş HgCdTe n- və p tipli epitaksial təbəqələrin və varizon strukturların əsas parametrlərinin və fotoelektrik xassələrinin proqnozlaşdırılmasına imkan verir. InSb əsasında p<sup>+</sup>-p və n-p<sup>+</sup> tipli quruluşlarda elektrik keçiricilik mexanizmləri və fotoelektrik xassələri, HgCdTe epitaksial strukturlarda yük daşıyıcılarının rekombinasiyası və fotoelektrik proseslərin xüsusiyyətləri barəsində əldə olunmuş biliklər bu materiallar əsasında yaradılan cihaz strukturlarının optimallaşdırılması üçün zəmin yaradır. InSb və HgCdTe epitaksial təbəqələrdə defektyaranma mexanizmləri üzrə təcrübi nəticələr və maye fazadan epitaksiyaya xas olan defektlərin təsnifatı yarımkeçirici materialların epitaksial texnologiyasının elmi əsaslarının inkişafına qulluq edir. CdZnTe altlığının səthyanı dar kanallarında və pillələr üzərində göyərdilən HgCdTe varizon epitaksial quruluşlar əsasında rəngli fotoqəbuledicilərin hazırlanma prinsipləri və üsulları yüksək effektivli İQ fotoqəbuledicilərinin hal-hazırda mövcud olan hazırlama texnologiyasını sadələşdirir.

İşdə təklif olunan, InSb epitaksial p<sup>+</sup>-p tipli quruluşlarında yüngül deşiklərin infraqırmızı şüalanma vasitəsilə qızdırılması hesabına yaranan fotoeffektə əsaslanan İQ fotoqəbuledicinin işləmə prinsipi

InSb-dan uzaq İQ diapozonunda da şüalanmanın ayırıldılması üçün istifadə perspektivlərini yaradır və onun tətbiq sahəsini genişləndirir.

### **Işın aprotasiyası və tətbiqi:**

Dissertasiyanın materialları aşağıdakı konfrans və seminarlarda müzakirə edilmişdir:

- II научная конференции “Фотозлектрические явления в полупроводниках”, 1991, Ашгабад, Туркменистан;
- V Республиканская Межвузовская конференция по физике, 1992, Баку, Азербайджан ;
- Республиканская Межвузовская конференция по физике “Физика-93”, 1993, Баку, Азербайджан;
- IX Российская Конференция по росту кристаллов, 2000, Москва, Россия;
- 12-й Международный симпозиум “Тонкие пленки в электронике”, 2001, Харьков, Украина;
- Харьковская научная асамблея, 2002, Харьков, Украина;
- “YAP-ın 10-illik yubileyinə həsr olunmuş “Rabitə və elmi-texniki tərəqqi” elmi Konfransı , 2002, Баку, Азербайджан;
- 3-я и 4-я Международные конференции “Оборудование и технологии термической обработки металлов и сплавов” (г. Харьков, 2002 ,2003, Харьков, Украина;
- XIII Российский симпозиум по растровой электронной микроскопии, РЭМ-2003, 2003, Москва, Россия;



- “Fizika-2005” Beynəlxalq elmi Konfransı, 7-9 iyun, 2005, Bakı, Azərbaycan;
- “Fizika-2010” Beynəlxalq elmi Konfransı , 2010, Bakı, Azərbaycan;
- III, IV и V Международные конференции “Аморфные и микрокристаллические полупроводники”, 2002-2006, Ст.-Петербург, Россия;
- The International Conference “ICTM-17”, 27-30 September, 2010, Bakı, Azərbaycan;
- “Fizikanın Müasir Problemləri” IV Respublika Konfransı, 24-25 dekabr, 2010 , Bakı, Azərbaycan;
- The Conference “Perspectives of peaceful use of nuclear energy”, –8-10 November, 2010, Bakı, Azərbaycan;
- 16<sup>th</sup> Iranian Conference on Optics and Photonics, 2010, Yazd, Iran
- 5<sup>th</sup> International Workshop on Crystal Growth Technology, June 26- 30, –2011, Berlin, Germany;
- “Alternativ və bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadənin perspektivləri”Konfransı, 1-2 iyun , 2011, Bakı, Azərbaycan;
- Конференции стран СНГ по росту кристаллов, 1-5 октября, 2012 ,Харьков,Украина;

- XVI–XXIV Международные конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения, 2000-2016 г.г Москва, Россия ;
- Международная конференция МТСМР-2018 , посвященная 100-летию академика Г.Б.Абдуллаева, 2018, Баку, Азербайджан;
- АМЕА Fizika İnstitutunun elmi seminarları.

Dissertasiya mövzusu üzrə nüfuzlu xarici və respublika jurnallarında nəşr edilmiş 69 elmi işdə, o cümlədən impakt faktorlu jurnallarda 9 məqalədə, 5 müəlliflik şəhadətnaməsi nəşr edilmişdir. Elmi işlərin siyahısı avtoreferatın sonunda təqdim edilmişdir.

#### **Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı:**

Dissertasiya işi, Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Fizika İnstitutunun “İnfraqırmızı fotoelektronika və plazma hadisələri laboratoriyasında yerinə yetirilmişdir.

#### **Dissertasiyanın quruluşu və həcmi:**

Dissertasiya işi girişdən, 7 fəsildən, əsas nəticələrdən və 380 adda istifadə olunmuş ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. Dissertasiyanın həcmi 315 səifədə 129 şəkil, 9 cədvəldən və ümumilikdə 406,532 işarədən ibarətdir .

### **İŞİN ƏSAS MƏZMUNU**

Girişdə işin ümumi xarakteristikası, mövzunun aktuallığının əsaslandırılması, işin məqsədi və həll ediləcək əsas məsələlər göstərilmiş, aparılmış işlərin metodları və obyektləri, dissertasiyanın elmi yeniliyi, praktiki əhəmiyyəti, müdafiəyə çıxarılmış əsas müddəlar, işin mövzusu üzrə çap olunmuş nəşrlər və dissertasiya işinin aprobeiası şərh edilmişdir.

**Birinci fəsildə** InSb və HgCdTe bərk məhlullarının fiziki-kimyəvi, elektrofiziki, optik və fotoelektrik xassələrinə və bu

materiallar əsasında müasir fotoqəbuledici qurğulara həsr etmiş elmi işlərin analitik icmalı təqdim edilmişdir. InSb və HgCdTe əsasında fotoqəbuledicilərin praktiki tətbiq sahələri şərh edilmişdir. Qeyd edilmişdir ki, bu materiallar birgə fətohəssaslıq cəhətdən infraqırmızı spektrin orta və uzaq şəffaflıq pəncərələrinə uyğun gələn 3-5 və 8-14 mkm diapazonlarının hər ikisini də əhatə edirlər. Bu səbəbdən də bu materillərin dissertasiyada birgə baxılmasının həm də praktiki əhəmiyyət kəsb etdiyi qöstərilmişdir.

InSb və HgCdTe materiallarının əsas fərqləndirici və ümumi fiziki xassələri şərh edilmişdir. Onların fərqləndirici xassələrinin şərhində sırasında qeyd edilmişdir ki, InSb  $A^3B^5$  qrupunun ikili kimyəvi birləşmələrinə, HgCdTe isə,  $A^2B^6$  qrupunun dəyişkən tərkibli üçlü bərk məhlullarına aiddir. Onların oxşar xassələri isə, hər biri dar zolaqlı yarımkəçiricilərə - qadağan olunmuş zonasının eni 0.5 eV-dən kiçik olan və zonalararası udulma sərhədinin 2 mkm-dən uzun dalğalara uyğun gələn yarımkəçiricilərin geniş sinfinə aiddirlər. Onların hər biri elektronlarının və yüngül deşiklərin yürüklüyü yüksək və effektiv kütləsi çox kiçik olan düzzolaqlı yarımkəçiricidir. Onların kristallik qəfəslərinin quruluşu oxşardır və enerji zolaqlarının quruluşu cəhətdən Keyn yarımkəçiricilərinə aiddirlər. InSb və HgCdTe—un deyilən ümumi xassələri, bu materiallar əsasında hazırlanan, xüsusən də oxşar texnoloqiya ilə hazırlanmış fotoqəbuledici cihazlarda baş verən fiziki proseslərin vahid nöqtəyi nəzərdən baxılmasına və ümümləşdirilməsinə əsas verir. InSb və HgCdTe unikal optik və fotelektrik xassələri onların texnikanın müxtəlif sahələrində istifadə edilən İQ detektorların işçi maddəsi qismində geniş tətbiqini təmin etmişdir.

Hal-hazırda ABŞ, İsrail, Rusiya, Kanada, Böyük Britaniya, Fransa, Almaniya, Hindistan kimi ölkələrinin bir çox firmaları hərbi və mülki təyinatlı infraqırmızı fotoqəbuledicilərinin işlənilməsi və təkmilləşdirilməsi ilə məşquldur. Hərbi təyinatlı infraqırmızı fotoqəbuledicilər əsasən lazer nişangahlarda, raketlərin öz-özünə yönləndirməsində, gecəgörmə sistemlərində və s. də istifadə olunur. Onlar təbabətdə iltihab proseslərinin diaqnostikasında, ekologiyada ətraf mühitin monitorinqi üçün, nüvə reaktorlarının istiliyi

nəzarətində, texnoloji proseslərin idarə olunmasında və məhsulun keyfiyyətinin nəzarətində, naviqasiyada, uçuşların təşkilində, astronomiyada və elmin müxtəlif sahələrində tətbiq olunur.

Hal-hazırda qədər fotoqəbuledicilərinin əsas tiplərinin tətbiq sahələr üzrə özünəməxsus təsnifatı yarımmışdır. 1.5-2.5 mkm diapazonu üçün 293-195 K-də işləyən PbS fotorezistorları, 3-5 mkm üçün PbSe fotorezistorları,  $Hg_{1-x}Cd_xTe$  ( $x=0.3$ ) (195-77 K temperatur diapazonu) və InSb fotodiodları (77K); 8 -14 mkm üçün  $Hg_{1-x}Cd_xTe$  ( $x=0.2$ ) (77K) fotodiodları və fotorezistorlardır. 3-5 və 8-14 mkm diapazonlarında istismar edilən istilikgörmə texnikasında istifadə edilən fotodiodların, fotorezistorların və fotoelektromaqnit detektorların əksəriyyəti HgCdTe və InSb əsasında hazırlanır.

HgCdTe əsəsindəki fotoqəbuledicilərin tətbiqi son illər daha vüsətlə artmaqdadır. Bununla belə fiziki xassələrinin uzunmüddətli stabilliyinə malik olan və alınma texnologiyası daha sadə olan InSb HgCdTe ilə rəqabət apara bilər. 3-5 mkm diapazonunda yüksək həssaslıq lazım olduqda InSb əsaslı qəbuledicilərə, 8-14 mkm diapazonu üçün isə HgCdTe- əsaslı qəbuledicilə üstünlük verilir. Hal-hazırda qədər bu materialların bərqərar olunmuş hazırlanma texnologiyası formalaşmışdır. Buna baxmayaraq fotoqəbuledicilərin xarakteristikalarının yaxşılaşdırılması və eyni zamanda onların maya dəyərinin, həndəsi ölçülərinin, kütləsinin, enerji sərvəyatının azaldılması üçün artıq məlum olan texnologiyaların və çeşidlərinin müqayisəsi ilə əlaqədar məsələlərin həll edilməsi və ən mühüm texnoloji əməliyyatların optimallaşdırılması problemi aktual olaraq qalmaqdadır. Daha sonra bu fəsildə InSb əsas fiziki xassələri təsvir edilir. Materialın zona strukturu, In-Sb binar sistemin faza hal diaqramması, yükdaşıyıcılarının yürüklüyünün temperaturdan asılılığı, onların səpilmə mexanizmləri, optik, termoelektrik xassələri və s. təsvir edilir. Daha sonra InSb ı HgCdTe həcmi monokristalların Bricmen və Çoxralski üsullarından bəhs edilir və müqayisəli şəkildə bu üsulların üstün cəhətləri və çatışmazlığı qeyd edilir. Göstərilir ki, hal-hazırda qədər monokristallik həcmi InSb kristalların mükəmməlliyi artıq özünün zirvə səviyyəsinə çatmışdır və InSb texniki parametrlərinin həcmi monokristalların yetiştirilməsi prosesində

metallurji üsullarla daha da yüksəldilməsi prakti cəhətcə mümkün deyil.

Daha sonra həcmi InSb kristallar əsasında fotohəssas fotodiod quruluşlarının implantasiya və diffuziya üsulları vasitəsilə hazırlanmasına toxunulur. Göstərilir ki, yüksək temperaturlarda termiki işlənmə sırasında bu üsullar kristalın elektrik keçiricilik tipinin dəyişməsi-termokonversiya problemi ilə üzləşir. Məlumdur ki, kristalın səthinə ionların implantasiyasından sonra onun zədələnmiş səthinin bərpası üçün, habelə atom aşqarlarının diffuziyası üçün yüksək temperaturlarda (400-500°C, 5-10 saat) uzun müddətli termiki işlənmə aparılmalıdır.

Daha sonra InSb nazik epitaksial təbəqələrin göyərdilmə üsulları, müqaisəli üslubda onların üstünlüyü və çatışmayan cəhətləri təsvir edilmişdir. Maye fazadan epitaksiya, ümumi cəhətdən, materialın orientasiya edilmiş kristallik təbəqəsinin doymuş və ya ifrat doymuş maye-ərinti haldakı məhluldan monokristal altlıq üzərində göyərdilməsi üsulu kimi ifadə edilmişdir. Bununla belə, altlığın qəfəsi göyərdilən təbəqənin qəfəsinə quruluş və ölçüləri cəhətdən o dərəcədə oxşar olmalıdır ki, göyərdilən kristallik quruluşun davam etməsi koherent şəkildə baş verə bilsin. InSb altlıqları üzərində göyərdilən InSb homoepitaksial təbəqələrin və CdTe-InSb, ZnTe-InSb, GaAs-InSb və Si-InSb tipli quruluşlar misalında  $A^2B^6-A^3B^5$ ,  $A^3B^5-A^3B^5$  və  $Si-A^3B^5$  tipli heterostrukturların qəfəs sabitləri arasında böyük dərəcədə uyğunsuzluğu olan, amma İQ- şüalanmasına şəffaf olan alternativ atlıqlar üzərində göyərdilməsinə həsr edilən elmi işlərin təhlili vermişdir. Göstərilmişdir ki, səth, passivləşdirici təbəqə ilə mühafizə edilmədiyində n- və p- InSb altlıqlarında 400°C-dən yuxarı temperaturlarında termiki təsir nəticəsində keçiricilik tipinin arzuolunmaz dəyişilməsi (termokonversiya) və səthin eroziyası problemi altlıqların qızdırılma temperaturuna və işlənmə müddətinə məhdudiyət qoyur. Bu cəhətdən InSb-un ərimə temperaturundan (525°C) çox aşağı temperaturlarda (200-400°C) keçirilən maye fazadan epitaksiyanın bu materialın (InSb) legirəlmə dərəcəsi  $\sim 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  qədər yüksək olan təbəqələrinin alınması üçün ən uyğun texnologiya olduğu vurğulanıb.

Bu fəslin  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ -a həsr olunmuş bölmələrində onun elektrofiziki, optik və bəzi fiziki-kimyəvi xüsusiyyətlərinin təsnifatı verilmişdir. Binar  $\text{CdTe-HgTe}$  və üçlü  $\text{CdTe-HgTe-Te}$  və  $\text{Hg-Cd-Te}$  sistemlərin faza (P-T) hal xüsusiyyətlərinə, və  $\text{HgCdTe}$  həcmi kristallarının göyərdilməsi proseslərinin termodinamikasına,  $(\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x)_{1-y}\text{Te}_y$  tərkibli məhlulun təsviri üçün uyğun riyazi modelin seçilməsinə həsr edilmiş elmi işlərin ətraflı təhlili aparılmışdır. Daha sonra  $\text{HgCdTe}$  kristallik qəfəsinin tədqiqinə, onun sintezinin texnoloji şərtlərinə,  $\text{Hg-Cd-Te}$  и  $\text{HgTe-CdTe}$  sistemlərinin faza hal diaqramlarının modelləşdirilməsinə və bu diaqramların solidus-likvidus əyrilərinin analitik və empirik ifadələrinin alınmasına həsr olunmuş ədəbiyyat məqalələri analiz edilir. Xüsusi olaraq qeyd etmək lazımdır ki, bu cür ifadələrin mövcudluğu təyin olunmuş tərkibli üç və dörd komponentli bərk məhlullar əsaslı kristalların yetişdirilməsi üçün üçün çox böyük praktiki əhəmiyyətə malikdir.

Daha sonra  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  monokristallarının Bricmen üsulu ilə yetişdirilən həcmi monokristalların və epitaksial təbəqələrin tədqiqatına həsr edilmiş məqalələr şəhr edilir. SSRİ-də ilk  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  monokristalları 1960-cı illərin ortalarında yetişdirilmişdir. Elə o zaman da doymuş buxarda Hg atomlarının yüksək temperaturlu diffuziyası üsulu ilə p-n keçidli ilk  $\text{HgCdTe}$  əsaslı fotodiodlar hazırlanmışdır. Bricmen üsulu ilə 50 mm diametrli, elektronların konsentrasiyası  $n = (1-5)10^{14} \text{ cm}^{-3}$ , yürüklüyü  $\mu_n = 1,5-3 \times 10^5 \text{ cm}^2 \text{ B}^{-1} \text{ c}^{-1}$ , və yaşama müddəti  $\tau \geq 10^{-6}$  saniyə olan monokristalların yetişdirilməsinin mümkün olduğu göstərilmişdir. Bu kristallarda kiçik bucaqlı sərhədlər və ikinci faza daxil olmaları mövcud deyil, dislokasiyaların sıxlığı  $10^5 \text{ cm}^{-2}$ -dən kiçikdir. Bricment üsulu ilə yetişdirilən kristallarda tərkib üzrə qeyribircinslilik, seqreqasiya əmsalına uyğun olaraq, nəinki uzununa istiqamətdə, hətta eninə istiqamətdə də müşahidə edilmişdir. Bunlara baxmayaraq bu cür kristallar ayır etmə qabiliyyətinin orta qiyməti  $D^* \sim 8 \times 10^{10} \text{ smHz}^{1/2} \text{ Vt}^{-1}$  olan çoxelementli fotorezistorların hazırlanmasına imkan verir.  $D^*$  -nin bu qiymətləri ölçmə şəraitinə görə nəzəri limitə yaxındır.

Daha sonra icmalda qeyd olunmuşdur ki, HgCdTe kristallarının laboratoriya və sənaye istehsalı daim inkişaf edərək, həcmi kristalların  $700^{\circ}\text{C}$  dən yüksək temperaturlarda ərinti halından və 100 atm təzyiqlərdə qapalı həcmli kvars ampulaların içində yetişdirmədən aşağı temperaturu maye fazadan epitaksiyaya gəlib çıxmışdır.

1990-cı illərin əvvəllərində epitaksial göyərilmə üsullarının intensiv inkişafının başlaması ilə molekulyar dəstədən və maye fazadan epitaksiya üsulları ilə göyərtilən nazik epitaksial təbəqələrin HgCdTe həcmi kristalları tədricən sıxışdırılması və əvəzlənməsi prosesi başlamışdır. Bu onunla əlaqədardır ki, nazik təbəqəli epitaksial texnologiyalar həcmi kristallara nisbətən daha bircinsli materialın alınmasına imkan yaradır və yüksək keyfiyyətli altlıqlar üzərində tələb olunan tərkibə və qalınlığa malik fətohəssas layların alınmasına imkan verir. Hal-hazırda istismar edilən həcmi kristallar əsasında HgCdTe fotorezistorları praktiki olaraq öz nəzəri cəhətcə maksimal parametrlərinə çatmışdılar. Fətoqəbuledicilərin sənaye kütləvi itehsalında onların ən yüksək parametrlərinə çatmaqda çətinliklər yaranır. Epitaksial laylardan istifadə, həcmi kristalların tələb olunan qalınlıqlara gədər nazikləşdirilməsi kimi bəha başa gələn və çox əmək tələb edən mexaniki və kimyavi - mexaniki işlənmələri aradan qaldırmağa imkan verir. Epitaksiya nisbətən aşağı temperaturlarda aparıldığına görə məxsusi defektlərin sıxlığının azaltmasına imkan yaranır. Tellurla zənginləşdirilmiş Hg-Cd-Te məhlulunda civənin təzyiqi kiçikdir (0.1 atm.) və buna görə kvars ampulalarına ehtiyac qalmır. Bu üsulla yetişdirilən epitaksial təbəqələr, kristallik mükəmməlliyini artırmaq üçün aşağı temperaturlarda termiki işləmə bilər. Epitaksial təbəqələr əsasında fətohəssas elementin topologiyasının yaradılması əməliyyatlarına termiki işlənmədən və kimyəvi aşındırmadan bilavasitə sonra başlamaq mümkündür. Epitaksial üsullar həcmi kristallara nisbətən daha böyük sahəli ( $\sim 30 \text{ cm}^2$ ) fətohəssas elementlərin hazırlanmasına imkan verir. Onlar habelə mürəkkəb tərkib və legirlənmə profillərinə malik çoxlaylı strukturların yaradılmasına imkan verirlər.

Daha sonra InSb və HgCdTe əsasında İQ-fotoqəbuledicilərə aid qısa icmalda müasir fotoqəbuledicilərin əsas tiplərinin təsnifatı və onların statik xarakteristikaları təhlil edilmişdir. InSb əsasında ftohəssas epitaksial təbəqələrin,  $p^+-n-n^+$ ,  $p-i-n$  və  $p-n$  keçidlərinin müxtəlif variantlarına əsaslanan fotorezistor, fotodiodların və metal-dielektrik-yarımkeçirici strukturların yaradılmasına həsr edilmiş təcrübi işlərin nəticələri təhlil edilmişdir. Göstərilmişdir ki, InSb-un tətbiq edildiyi spektral diapazonu InSb-un As, Bi və ya Tl ilə üçlü InAsSb, InBiSb və ya InTlSb kimi bərk məhlullarından istifadəsi hesabına genişləndirmək mümkündür.

$p$ -InSb-da aşqar udulma oblastında ( $\lambda=10,6 \mu\text{m}$ ) elektronların ftohəssas  $p$ -oblastına injeksiyasının qarşısını alan epitaksial  $p^+$ -kontaktına malik olan  $p^+-p$  quruluşlar vasitəsi ilə məhdudlaşdırılması şəraitində fotokeçiricilik mexanizmləri təsvir edilir. Bu cür InSb əsasında  $p^+-p$  quruluşlar tərəfimizdən maye fazadan epitaksiya üsulu ilə yaradılmışdır. Bu tip keçidlər, kontaktların birində ikiqat injeksiyalı fotodiodlarda, bipolyar tranzistorların baza kontaktında, qızdırılmış yük daşıyıcılar əsasında ifrat yüksək tezlikli şüalanma detektorlarında və s. quruluşlarda istifadə olunur.

Elektronlar üçün öncədən kilidli hesab olunan  $p^+$ -kontaktlı InSb  $p^+-p$  quruluşlarının volt-ampere xarakteristikalarının tədqiqi zamanı onların erkən qeyri-xətliliyi və neqativ müqavimətə malik olması aşkarlanmışdır. Bu qeyri-xətlilik elektronların epitaksial  $p^+$ -laydan baza  $p$ - bölgəsinə injeksiyası ilə izah edilir.

Eyni istilik təsirə məruz qalmış sınaq lövhənin müxtəlif yerlərində nöqtəvi termoelektrik hərəkətedici qüvvənin işarəsini təyin etmə yolu ilə (termozond) lövhədə  $n$ -tipli keçiriciliyinə malik mikroskopik ölçülərdə olan bölgələr müəyyən edilmişdir. Bunun əsasında müəyyən edilmişdir ki, germanium atomları ilə kompensə edilmiş  $p$ -InSb lövhəsinin həcmində  $n$ - tipli keçiriciliyinə malik mikroskopik bölgələrin yaranması bir yandan nümunədəki potensialın flüktuasiyası hesabına, digər tərəfdən isə epitaksiya prosesi sırasındakı termiki təsirin nəticəsində lövhənin səthyanı bölgəsində keçiricilik tipinin əksinə dəyişməsi hadisəsi (inversiyası) mümkündür.



Daha sonra qeyd olunmuşdur ki, son onilliklərdə CO<sub>2</sub> lazer şüalanmasının qəbulu üçün yararlı olan HgCdTe əsasında soyudulmayan fotoelektromaqnit (FEM) detektorların işlənməsi intensiv inkişaf edir. Göstərilmişdir ki, FEM detektorların ən yaxşı parametrləri zəif səviyyədə legirələnmiş dəşik (p) keçiricikli HgCdTe-də əldə olunur. soyudulmayan qəbuledici üçün yararlı ola bilən materialın yararlılıq meyarı olan akspetor legirələnmə dərəcəsi  $Y = \alpha\tau(z + \frac{1}{z})/n_i$  düsturu ilə ifadə olunur. Burada  $\alpha$  (cm<sup>-1</sup>)- udulma əmsalı,  $z = p/n_i$ -legirələnmə dərəcəsinin xarakteristikasıdır. Ədəbiyyat məlumatlarının analizi əsasında göstərilmişdir ki, Y kəmiyyəti öz maksimum səviyyəsinə  $z=3$  qiymətində çatır. Göstərilmişdir ki, kristalların mislə (Cu)  $p=(5-6)$ ni dərəcəsində legirələnməsi, maqnit sahəsində dəşiklərin ambipolyar yürüklüyünün artmasına görə FEM detektorlarının həm volt həssaslığını, həm də məxsusi ayırdetmə qabiliyyətini artırmağa imkan verir. Soyudulmayan fotoqəbuledicilərini tətbiqinin genişlənməsi HgCdTe-da rekombinasiya hadisələrinin tədqiqatını və epitaksial təbəqələrin FEM detektorların işlənməsində tətbiq imkanların genişləndirilməsinin araşdırılmasını aktual edir.

Daha sonra HgCdTe həcmi monokristallar əsasında fotoqəbuledicilərin hazırlanma üsulların əsas mərhələləri qısa şəkildə təsvir edilmiş və onların, matrisalı detektorların konstruksiyaları ilə əlaqədar olan bir neçə çatışmayan cəhətləri sadalanmışdır. Bu çatışmazlıqlardan konstruksiyanın etibarlılığının yetərsizliyi qeyd edilir. Onun səbəbi matrisalı strukturun arxitekturasını təşkil edilməsi üçün istifadə olunan yapışdırıcı üzvi kompozisiyalardan istifadə edilməsidir. Digər çatışmamazlıq olan “əndirimli kontakt” texnoloqiyasından istifadə edilməsi zərurətinin yaranması səbəbindən hazırlanma mürəkkəbliyi və çətinliyi kimi qeyd olunur . Həmçinin göstərilmişdir ki, HgCdTe əsasında müasir infraqırmızı detektorlarda maye fazadan epitaksiya üsulu ilə göyərtilən epitaksial təbəqələrdə qalınlığı üzrə qadağan olunmuş zonanın qradientinin yaranması-varizonluğu nəticəsində formalaşan kvazielektrik

sahəsinin mövcud olması faktının yaratdığı geniş imkanlardan istifadə edilmir.

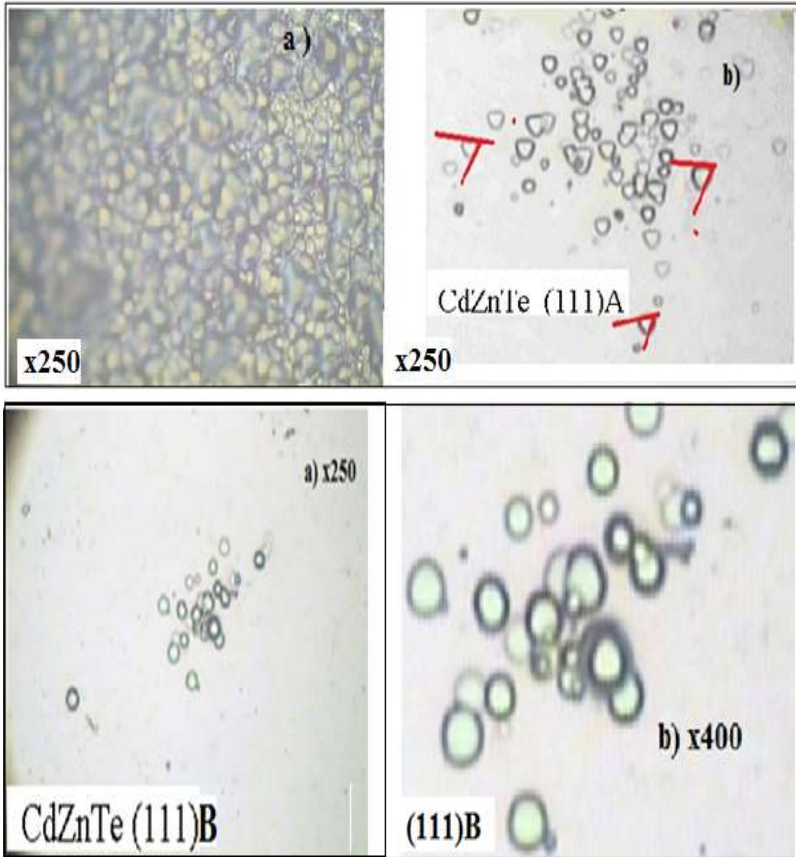
**İkinci fəsilə** InSb və CdZnTe altlıqlarının səthinin maye fazadan epitaksiya üçün hazırlanması üçün aparılan kimyəvi-mexaniki və kimyəvi cilalanma proseslərinin tədqiqatı nəticələri təqdim edilmişdir. Göstərilmişdir ki, monokristallik altlığın səthinin hamarlıq vəziyyəti, onun fiziki təbiəti və kristallik quruluşu onun üzərində epitaksial təbəqənin göyərdilməsi prosesinə və yüksək keyfiyyətli epitaksial təbəqələrin alınmasının həlledici faktorlarındanıdır. Bu onunla bağlıdır ki, maye fazadan epitaksiya prosesi zamanı altlıq üzərində kristallizasiya prosesinin başlanması, altlığın səthi ilə məhlul - ərinti arasındakı təmas sərhədində maye və bərk fazaların qarşılıqlı təsirin xarakteri ilə, habelə kristallaşdırılan material atomlarının səthi çökmə reaksiyasının kinetikası ilə təyin olunur. InSb և Cd<sub>0,96</sub>Zn<sub>0,04</sub>Te-nin altlıq materialları kimi epitaksiya üçün seçilməsinin əsaslandırılması verilmişdir. Göstərilmişdir ki, praktikda HgCdTe və CdZnTe epitaksiyası üçün səthi (111) kristalloqrafik oriyentasiyalı InSb və CdZnTe altlıqlarından daha geniş istifadə olunur, göyərdilmə isə bir çox halda bu altlığın bilavasitə (111)B(Sb) üzündə aparılır. Bu cür seçim, vyurtsit kristallik quruluşuna xas olan {111} müstəvilərinin və [111] istiqamətlərinin polyar olması ilə, kristalların (111)B müstəvisində göyərdilməsinin (111)A müstəvisinə nisbətən, enerji cəhətdən daha sərfəli və dayanıqlı olması ilə əlaqədardır. HgCdTe epitaksiyası üçün altlığın seçiminin əsaslandırılması zamanı göstərilmişdir ki, həcmi Si, GaAs, InSb, InP və safir kimi yarımkeçirici materiallar, bu hal üçün istifadəsi ən əlverişli olan yüksək keyfiyyətli və nisbətən ucuz materialdırlar. Amma, onların qəfəs parametrlərinin HgCdTe qəfəsi ilə böyük uyğunsuzluğu (GaAs ilə 13.6%, Si ilə 19%) epitaksial təbəqələrdə sıxlığı yüksək olan uyğunsuzluq dislokasiyalarının yaranmasına gətirir. Deyilən materialların və Cd<sub>0,96</sub>Zn<sub>0,04</sub>Te parametrlərinin müqaisəsi analizi əsasında, alternativ materillərin bir sıra cəlbəddici xassələrinə və Cd<sub>0,96</sub>Zn<sub>0,04</sub>Te çatışmayan cəhətlərinə baxmayaraq, bu materialın hal-hazırda qədər ən yaxşı material olaraq qalmasına dair nəticəyə gəlinmişdir. Daha sonra Cd<sub>0,96</sub>Zn<sub>0,04</sub>Te və InSb altlıqlarının

səthinin epitaksiya üçün hazırlanması məqsədi ilə aparlan mexaniki və kimyəvi cilalanma proseslərinin öyrənilməsinə dair təcrübi işlərin nəticələri təqdim olunub. Tərəfimizdən işlənilmiş səthin hazırlanması metodikası təfərrüatlı şəkildə təqdim olunur. Bu metodika pardaxlayıcı abraziv materiallarından ( $Al_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $ZrO$ ) istifadə edən və etməyən mexaniki və kimyəvi cilalanma, həmçinin müxtəlif kimyəvi məhlullarda kimyəvi - dinamik pardaxlanma metodikalarından ibarətdir.  $InSb$  və  $CdZnTe$  altlıqlarının kimyəvi aşındırması üzrə aparılan kompleks tədqiqatlarımızın nəticələri təqdim olunur. Bu işlər altlıq səthinin epitaksiyaya yararlı vəziyyətdə alınmasını təmin edə bilən aşındırıcı kimyəvi məhlul tərkibinin müəyyənləşdirilməsi məqsədi ilə aparılmışdır.

Tədqiqatlar  $InSb$  və  $Cd_{0,96}Zn_{0,04}Te$  altlıqları üzərində aparılmışdır. GIREDMET, Moskva şirkətinin istehsalı olan  $Cd_{0,96}Zn_{0,04}Te$  lövhələrin orientasiyası [111], ilkin qalınlığı 1000 mkm, diametri 20 mm olmuşdur. Pardaxlanan səthin keyfiyyətinin seçilən cilalanma metodikasından asılılığı tədqiq edilmişdir. Altlıq səthinin dənəciklərin müxtəlif (1-3 mkm) ölçüdə olan  $Al_2O_3$  və  $MgO$  kimi abraziv materiallarının etilen-glikolda həll olunmuş pardaxlayıcı məhluldan istifadə edən və abrazivlərdən istifadə etməyən mərhələli, mexaniki və kimyəvi cilalalama proseslərini özündə cəmləşdirən cilalama və pardaxlama metodikaları işlənilmişdir. 500 ml etilen qlikolda həll olunmuş 0,5 ml  $Br$  tərkibli məhlulda abrazivlərdən istifadə etmədən kimyəvi pardaxlama da tədqiq olunmuşdur. Təcrübələr göstərmişdir ki, pardaxlamadan sonra abraziv dənəcikləri lövhənin üzərinə çökür və ionların məhluldan adsorbsiyası nəticəsində yaranan ikiqatlı elektrik fazalararası layın (Zeta-potensial layı) təsirindən lövhənin səthinə yapışır. Bu zərrəciklərin pardaxlanmış səthtdən kənar edilməsi mürəkkəb texniki problemlər yaradır. Buna alternativ mövcud olduqda, abrazivli kimyəvi-dinamik pardaxlanma metodikasının altlıqların hazırlanması üçün tətbiqi məqsədə uyğun deyil. Bunu nəzərə almaqla müəyyən olmuşdur ki, məhz abrazivsiz kimyəvi-dinamik pardaxlanma metodikası daha sərfəlidir.

Daha sonra  $Cd_{0.96}Zn_{0.04}Te$  altlığının (111)A u (111)B üzlərinin tərəfimizdən işlənmiş ayırdetmə- identifikasiyası üsulu təsvir edilir. Göstərilir ki, altlıq səthlərini  $HF: H_2O_2:H_2O:=3:2:1$  məhlulunda aşındırılması zamanı (111)A səthində üçbucaq formasında, (111)B səthində isə, dairələr formasında fiqurlar aşkarlanır (Şəkil 1).

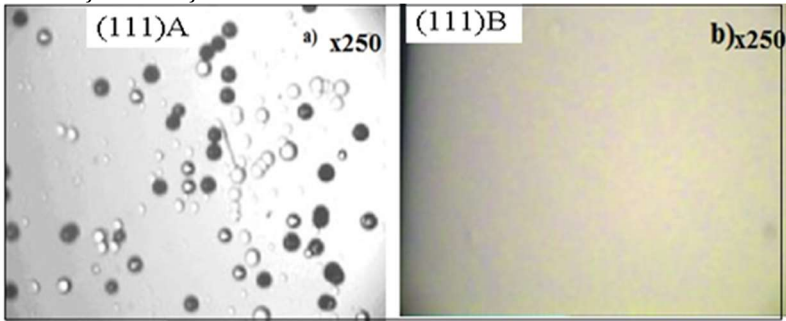
$InSb$  altlıqları misalında tədqiqat obyektı qalınlığı 500 mkm, diametrlı isə 50 mm olan və müxtəlif istehsalçılardan (MEP, Kaluga SSRİ), “GİREDMET, Rusiya və “Firebird Technology” Kanada) alınan lövhələr olmuşdur.



Şəkil 1. Pardaxlanmış  $CdZnTe$  altlığının (111)A u (111)B üzlərində aşındırma fiqurları

Germaniumla legirə edilmiş (elektronları kompensə etməklə) p-tipli InSb lövhələrində deşiklərin konsentrasiyası  $5 \times 10^{12} - 5 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ , n-tipli InSb-də (Tellurla legirlənmiş) isə elektron konsentrasiyası  $\sim 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  ətrafında olmuşdur. Lövhələrin əksəriyyətində dislokasiya sıxlığı  $200 \text{ cm}^{-2}$  dən aşağı olmuşdur.

Lövhələrin səthi [111] kristalloqrafik istiqamətində oriyentasiya olunmuşdur (yönləndirilmişdir). Hər iki qrupdan olan lövhələrin (111)A üzü istehsalçı tərəfindən pardaxlanmışdır. Bizim tərəfimizdən isə, lövhələrin “işçi” üzü olan (111)B tərəfinin mexaniki və mexaniki-kimyəvi pardaxlama (MKP) və kimyəvi- dinamik aşındırma (KDA) metodikası işlənmişdir.



*Şəkil 2. InSb altlıq lövhələrinin tartarik (çaxır) turşusunda aşındırmadan sonrakı mikrofotografik görüntüsü a) lövhənin (111)A üzü, b) lövhənin (111)B üzü*

Pardaxlama prosesi iki mərhələdə aparılmışdır: ilk mərhələdə - 6 q  $\text{Al}_2\text{O}_3$ :300 ml etilen qlikol məhlulunda MP, ikinci mərhələdə isə,  $\text{ZrO}_2$  -in tartarik turşusunun 20%-li su məhlulunda kimyəvi-mexaniki- pardaxlaması və daha sonra abrazivlərin turş (Ph2) mühitə kənarlaşdırılması aparılmışdır. MP və MKP mərhələlərindən keçən InSb lövhələrinin (111)In və (111)Sb polyar üzlərinin müxtəlif kimyəvi məhlullarda kimyəvi-dinamik pardaxlanması prosesi tədqiq edilmişdir. Daha sonra pardaxlanmış (111)In və (111)Sb üzlü lövhələrinin abraziv zərrəciklərindən təmizləmə metodikası təsvir edilmişdir. Göstərilmişdir ki, süd turşusu əsasında məhlulda aşındırma zamanı altlığın səthində, onun müstəvisi ilə (111) müstəvisi arasındakı bucağa kəmiyyətcə yaxın olan bucaq altında yönəlmiş müstəvilər

şəbəkəsi aşkarlanır. Tartarik turşusu əsasında məhlul isə, (111)B üzünü səthdə oksid layı yaratmadan parıltılı hamar pardaxlayır. Bu üzün aşınma sürəti və onda kimyəvi cəllənmədən sonra qalan zədəli layın dərinliyi və quruluşu müəyyənləşdirilmişdir. Məlum olmuşdur ki, bu lay 3 bölgədən - çatlı, dislokasiyalı və elastik qalıq deformasiyalar bölgələrindən ibarətdir. Maye fazadan epitaksiya prosesi üçün hazırlıq üçün KMP- dən sonra kristalın həcmində qalan zədəli layı kənarlaşdırmaq üçün 40-50 mkm dərinliyinə qədər KDP-nin aparılması məqsəduyğ sayılır. Daha dərin qalıq deformasiyalar layının təbiəti hələlik dəqiq məlum deyil, ancaq mümkündür ki, o, altlığın kəsildiyi ana monokristalının yetişdirmə xüsusiyyətləri ilə əlaqədardır. Elastik qalıq deformasiyalar zonası fotoçeviricilərin xassələrinə təsir etmir .Buna görə altlıqların 10-15 mkm dərinliyə qədər kimyəvi aşındırması yetərlidir

**Üçüncü fəslin** əvvəlində maye fazadan epitaksiyanın həm InSb həm də HgCdTe-un fiziki-kimyəvi xassələrinə uyğunlaşdırılmış metodik xüsusiyyətləri və epitaksial prosesin aparat tərtibatı təsvir edilmişdir. MFE-nin müxtəlif variantlarına uyğun olan qurğuların və kasetlərin- altlıq tutqaclarının konstruktiv xüsusiyyətləri üzrə işlərin qısa icmalı verilmişdir. Göstərilmişdir ki, maye fazadan epitaksiyanın ən vacib və hələ də həll olunmamış qalan problemlərdən biri-epitaksiya prosesi bitdikdən sonra yetişdirilmiş epitaksial layın səthin üzərində qalan məhlul-ərintinin damcılarını tamamilə kənarlaşdırılması məsələsidir. Göstərilmişdir ki bu problem bir sıra amillərlə yaxından bağlıdır. Onlardan ən əsasları məhlul-ərintinin səthi gərilmə əmsalının qiyməti, eptaksial təbəqə səthinin fiziki vəziyyəti (hamarlığı və defektliyi), epitaksiyanın keçirilməsi üsulları habelə epitaksiya kasetlərinin konstruksiyasıdır. Maye fazadan epitaksiya üçün müxtəlif cür qurğular haqda məlumat verilmişdir. Əyilən (meyləndirilən) reaktorlu, altlığın məhlul həcminə daxil etdirilən tipli şaquli reaktorlar , çevrilən ampullu və üfqə istiqamətli reaktorların işləmə prinsipləri, onların altlığın məhlul-ərinti ilə təmasa gətirilməsi üsullarına görə təsnifatı, habelə onların üstün və çatışmayan texniki cəhətləri şərh edilmişdir.

İşin icrası sırasında tərəfimizdən epitaksial təbəqənin üzərindən məhlul-ərintinin tamamilə kənarlaşdırılmasına şərait yaradan yeni

MFE qurğuları işlənilmişdir. Hidrogen qaz axını mühitində işləyən şaquli reaktorda və üfüqi reaktorda epitaksiyası üçün nəzərdə tutulmuş kassetlərin, HgCdTe epitaksiyası üçün 2 ədəd müxtəlif tipdə kassetin konstruksiyaları və işləmə prinsipləri təsvir edilmiş, onların analoq və proptotiplərinə nisbətən üstün cəhətləri qeyd edilmişdir.

**Dördüncü fəsildə** InSb və HgCdTe maye fazadan epitaksiyasının fiziki- kimyəvi əsaslarına baxılmışdır. In-Sb və  $(\text{Hg}_z\text{Cd}_{1-z})_{1-y}\text{Te}_y$  məhlullarının sintezi metodikası və göyərdilmə rejimləri təsvir edilmişdir.

İlkin tərkibi  $(\text{Hg}_{1-z}\text{Cd}_z)_{1-y}\text{Te}_y$  məhlul-ərintinin sintezinin ampulanın daxilində civənin təzyiqinin variasiyalarının, onun Te-Hg-Cd-Te faza-hal diaqramının Te- la zənginləşdirilmiş bucağında likvidus temperaturuna ( $\theta_l^\circ\text{C}$ ) və bu məhluldan göyərdilən  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  epitaksial təbəqələrin tərkibinə (yani, kadmium atomlarının miqdarına, x) təsirinin qiymətləndirilməsi aparılmışdır. ( $\theta_l^\circ\text{C}$ )-nin qiymətini ədəbiyyatdan məlum olan ifadələrə nisbətən daha dəqiq hesablanmasına imkan verən yeni  $\theta_l^\circ\text{C} = 1144 - 845.4y + 672.6z$  empirik ifadəsi alınmışdır.  $(\text{Hg}_{0.946}\text{Cd}_{0.054})_{0.194}\text{Te}_{0.806}$  tərkibli məhlulun misalında göstərilmişdir ki,  $\theta_l^\circ\text{C}$ -nin kəmiyyəti  $\pm 1.8^\circ\text{C}$  aralığında, x kəmiyyəti isə,  $\pm 0.003$  aralığında variasiya edə bilər.

Daha sonra qeyd olunub ki, HgCdTe materialında aşqarların termiki diffuziyası qısa müddətli proses olduğuna görə, atom diffuziyası mexanizmlərinin müəyyənləşdirilməsi üçün həcmi kristallardan olan qalın həcmi lövhələr nazik epitaksial təbəqələrə nisbətən daha əlverişli tədqiqat obyektidir. Hg, Cu, Au, In və Pt atomlarının HgCdTe həcmi kristallarına diffuziyasının metodikası habelə onlar əsasında fotohəssas elementlərin hazırlanma metodikası təsvir edilmişdir. Bu tədqiqatların nəticələri tərəfimizdən HgCdTe epitaksial təbəqələrində aşqarların diffuziyasının aparılması zamanı model baza bilikləri qismində istifadə edilmişdir.

Daha sonra InSb əsasında  $p^+-p$  və  $p^+-n$  epitaksial strukturların habelə  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  təbəqələrin göyərdilməsinin  $(\text{Cd}_z\text{Hg}_{1-z})_{1-y}\text{Te}_y$  məhlulunun sintezi metodikası təsvir edilmişdir. Burada InSb və HgCdTe epitaksial təbəqələrinin səthində mikrorelyefin

formalaşması xüsusiyyətlərinin müəyyənləşdirilməsi nəticələri təqdim edilmişdir. InSb p-n və p<sup>+</sup>-p və CdZnTe- HgCdTe quruluşlarında və təbəqələrdə rastlaşan müxtəlif təbiətli və xassəli defekt tiplərinin təsnifatı aparılmışdır. Göstərilmişdir ki, bu cür strukturlarda sayca 10-dan çox müxtəlif böyümə defektlərin formalaşması mümkündür. Bu defektlərin yaranma mexanizmləri müəyyənləşdirilmişdir. Bir sıra hal üçün defektlərin kənarlaşdırılması üzrə tövsiyələr verilir. Bu defektlərin bəzilərinin təsnifatı aşağıda sadalanır:

-altlığın böyümə səthinin nominal orientasiyalı istiqamətlərə nisbətən fərqli istiqamətə yönəlməsi səbəbindən yaranan böyümə piramidaları;

-istiliyin təsirindən yüngül uçucu komponentlərin buxarlanması və məhlul buxarının aşındırıcı təsiri səbəbindən səthin eroziyası  
Termokonversiyalı sahələr – epitaksiya zamanı termik təsirdən əmələ gələn keçiricilik tipini dəyişmişdir geniş sahəli oblastlar

**Bəşinci fəsilə** HgCdTe əsasında diffuziyalı p-n keçidlərinin, HgCdTe epitaksial təbəqələrinin və CdZnTe- HgCdTe strukturların quruluş, elektrofiziki, optik və fotoelektrik xassələrinin təcrübi tədqiqatı nəticələri təsvir edilmişdir. Nümunələrin hazırlanması və onların bir sıra xarakteristikalarının ölçülməsi üsulları şəhr olunur. Diffuziya ilə alınan HgCdTe p-n keçidlərinin fotoelektrik xassələrinin tədqiqatı zamanı müəyyənləşdirilmişdir ki, küy-siqnal nisbətinin ən yüksək qiyməti qızılın legirəsi ilə alınan diodlarda müşahidə olunur. Civənin diffuziyası ilə alınan diodlarda isə amplituda- tezlik xarakteristikalarının sərhəd tezliyinin qiymətinin 1 HHZ-dən də yüksək olduğu müəyyən edilmişdir . Bu effektlər onunla izah olunur ki, civə atomları HgCdTe kristallarında iki kanallı mexanizmlə, yəni eyni zamanda həm vakansiya, həm də qəfəsin düyümləriarası diffuziya mexanizmi ilə həyata keçir. Digər atomlar isə, yalnız bir mexanizmlə- ya vakansiya ( Cu, In və Pt), ya da düyümlərarası diffuziya mexanzmi ilə həyata keçir. İkikanallı diffuziya mexanizmi, bir kanallı diffuziya mexanizminə nisbətən, kristalın daha yüksək stexiometriyasını və bircinsliyini təmin edir.

Daha sonra HgCdTe epitaksial təbəqələrinin civə mühitində



termiki işlənməsinin aparılmasından öncə və ondan sonra ölçülən rentgen difraktoqramları və optik buraxılma spektrləri təqdim edilir və onların əsasında bu işləmlərinin epitaksial təbəqələrin kristallik quruluşuna və tərkibinə təsir mexanizmləri təhlil edilir. Göstərilmişdir ki, difraktoqramda (111) istiqamətində orientasiya olunmuş kubik quruluşlu fazalara uyğun gələn piklər mövcuddur. Bunlar isə təbəqələrin kristal quruluşunun yüksək keyfiyyətini sübut edir.

$\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  ( $x=0.2-0.30$ ) təbəqələrinin 77-300K temperatur intervalında və 2-11 mkm spektral diapazonunda optik xassələrinin və fotonəzəmliliyinin tədqiqi nəticəsində  $x$ -in (CdTe-un molyar payının) tərkibinin qalınlıq boyunca paylanması profili müəyyən edilmişdir. Habelə göstərilmişdir ki, maye fazadan epitaksiya prosesi sırasında  $(\text{Hg}_{1-z}\text{Cd}_z)_{1-y}\text{Te}_y$  məhlulunun və CdZnTe altlığının əsas tərkib komponentlərinin (Cd və Hg) qarşılıqlı diffuziyası nəticəsində CdZnTe altlığının səthində və onun səthə yaxın bölgəsində yaranan dar kanallarda göyərtilən  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  epitaksial təbəqələrinin qalınlığı boyunca tərkibinin qradientini və qadağan olunmuş zonasının dəyişkən strukturunu (varizonluğunu) formalaşdırır. Epitaksial təbəqənin tərkibinin paylanması profili, məhlulun tərkibi epitaksial göyərtilmənin temperaturu və müddəti ilə şərtlənir. Epitaksial layların varizonluğu strukturun geniş zolaqlı qismindən nisbətən darzolaqlı qismi istiqamətində yönəlmiş daxili kvazi-elektrik sahəsinin yaranmasına səbəb olur. Bu sahə epitaksial təbəqənin həcmində şüalanmanın təsirindən törənən qeyri-əsas yük daşıyıcılarını altlıqla təmas xəttindən geriye itələyir və səthdə baş verən rekombinasiya aktivliyini zəiflədir. Daha sonra varizon CdZnTe-HgCdTe strukturlarının 2-5 və 8-12 mkm spektral diapazonlarında və 80-114K temperatur intervalında elektrik sahəsinin müxtəlif gərginliklərində ölçülmüş fotocavabın spektrləri təqdim edilmişdir. 2,3 - 2,5 mkm, 4 - 4,5 mkm və 7 - 10 mkm intervallarında müşahidə edilən piklərin yaranması və onların intensivliyinin temperatur asılılığı varizonluq nəticəsində təbəqələrdə yaranan daxili kvazi-elektrik sahəsinin təsiri ilə izah olunmuşdur. Qeyd edilir ki, fotocavabın elektrik sahəsindən asılılığının tədqiqi zamanı müəyyən edilmişdir ki, signal şüalanmanın hər bir dalğa uzunluğuna fotoelektrik hərəkətedici

qüvvənin inversiyasının baş verdiyi elektrik sahəsinin intensivliyinin müəyyən qiyməti uyğun gəlir. İnversiya nöqtəsi ilə elektrik sahəsinin intensivliyi arasındakı bu cür əlaqə, bu strukturlar əsasında fətohəssaslığı elektrik sahəsi vasitəsi ilə idarə olunan rəngli fətoqəbuledicilərinin yaradılması perspektivlərini açır. Daha sonra p-tip elektrik keçiriciliyə malik  $Cd_xHg_{1-x}Te$  epitaksial təbəqələrinin anodda oksidləşdirilməsinin (AO) və sonrakı mərhələdə inert (arqon) qaz mühitində termiki işlənməsinin onların elektrofiziki və fətoelektrik xassələrinə təsirinin tədqiq edilməsi nəticələri verilmişdir. Göstərilmişdir ki, anodda oksidləşdirilmiş strukturlarda fətohəssaslığın spektral asılılığında müşahidə olunan maksimum piklərini termiki işlənmədən sonra uzun dalğalara tərəf yerdəyişməsi (sürüşmə) müşahidə olunur. Bu effekt AO- nın təsiri nəticəsində epitaksial təbəqələrdə Cd atomlarının tərkibinin cəvəyə nisbətən azalması ilə izah olunur. Bu prosesin bir neçə mərhələdən ibarət olan təsir mexanizmi təklif olunmuşdur. Belə ki, emal edilmiş anod oksidi ilə  $HgCdTe$ -nin tərkib hissələri olan Te və Cd arasında gedən kimyəvi reaksiya nəticəsində cəvənin kristallıq qəfəsinin düyümləri arasındakı miqdarı kəskin dərəcədə artır, termiki işlənmənin təsiri nəticəsində isə, cəvə atomları təbəqənin dərinliyinə (həcminə) diffuziya (nüfuz) edərək orada olan cəvə vakansiyalarını doldurur. Bunun nəticəsində təbəqənin bütün həcmində elektrik keçiricilik tipi p- tipdən konversiya olunaraq n-tipə keçir. Daha sonra müxtəlif tərkibli  $HgCdTe$  epitaksial təbəqələrdə keçiriciliyinin, Xoll əmsalının və qeyri əsas yük daşıyıcılarının yaşama müddətinin temperaturdan asılılığı və onların rekombinasiya mexanizmləri təsvir edilir. n- $Hg_{0.71}Cd_{0.29}$  tərkibli epitaksial təbəqənin misalında dəşiklərin yaşama müddətinin temperaturdan təcrübi və nəzəri asılılıqlarının birgə təhlili aparılmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, 80-110K temperatur intervalında bu təbəqələrdə tarazlıqda olmayan dəşiklərin rekombinasiyası akseptor təbiətli  $E_{vr} = 80$  meV enerji səviyyəsi vasitəsi ilə Şokli-Rid-Holl (SRH) mexanizmi üzrə həyata keçir. 115-120K-də (S-RH)  $\tau_{s,r}$  yaşama müddəti zonalararası şüalandırma  $\tau_R$  yaşama müddəti ilə bərabərləşir. Temperaturun artması ilə tarazlıqda olmayan dəşiklərin valent zonasına geriyyə

qayıtmasının (re- emissiya) kəskin artması  $\tau_{s,r}$  -in zonalararası rekombinasiya hesablanmış müddətinin üstələməsinə səbəb olur. Beləliklə, şüalanma rekombinasiya mexanizmi dominant rekombinasiya mexanizminə çevrilməsi, təbəqədə məxsusi keçiricilik vəziyyətinin yaranmasından əvvəl baş verir və bu mexanizm 300K temperaturuna qədər öz dominantlığını saxlayır. 300K-dən yüksək temperaturalarda rekombinasiyanın dominant mexanizmi zonalararası zərbəli Oje-mexanizm olur.

**Altıncı fəsilə** epitaksial p-InSb və onların əsasında p-n tipli quruluşların elektrik, optik və fotoelektrik xassələrinin tədqiqatı nəticələri təqdim edilmişdir. Hədəf ayırdetmə qabiliyyətinə malik olan fotoqəbuledicinin alınması üçün optimal olan, n-InSb və p-InSb altlıq mareiallarının və epitaksial təbəqələrin elektrofiziki və həndəsi parametrlərinin və In-Sb məhlulunun legirələnmə dərəcəsinin seçilməsinin miqdarı əsaslandırılması təqdim olunur. Burada habelə p-n keçidinin yerləşməsinin dərinliyi, In-Sb məhlulunda aşqarların element tərkibinin və miqdarının hesablanması verilmişdir. Göstərilmişdir ki fotodiodun maksimal ayırdetmə qabiliyyətini  $\sim 10^{11}$  dərəcədə təmin edilməsi üçün n-InSb altlığında elektronların konsentrasiyasının optimal qiyməti  $\approx 1 - 2 \cdot 10^{15} \text{cm}^{-3}$ , minmal qalınlığı 160 mkm, p-tipli epitaksial təbəqənin qalınlığı isə 1 mkm olması şərtlərini ödəməlidir.

In-Sb-məhlulunun legirəedici akspetor aşqarı qismində istifadə edilən Kadmiyumun seqreqasiya əmsalının ( $K_s$ ), yük daşıyıcılarının yürüklüyünün, optik udulma əmsalının açqarının legirə edilmə dərəcəsiindən ( $C_L, \text{cm}^{-3}$ ) asılılığı müəyyənləşdirilmişdir. Göstərilmişdir ki, legirələmə dərəcəsinin nisbətən zəif olması halında ( $C_L < 1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ )  $K_s$ -in qiyməti, altlığın legirələmə aşqarının növündən (n-InSb Te ilə, p-InSb isə Ge- ilə aşqarlanıb) asılıdır.  $C_L \approx 1 \times 10^{17} - 4 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$  aralığında  $K_s$ -in qiyməti 0.3,  $C_L = 5 \times 10^{18} - 1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$  intervalında isə  $\sim 0.25$  qiymətini alır. Daha sonra p<sup>+</sup>-kontaktlı ( $p \approx 1 \cdot 10^{17} - 1.2 \cdot 10^{19} \text{cm}^{-3}$ ) quruluşlarda 8-12 mkm spektral diapazonunda 90K-də optik buraxılmanın və aşqar fotokeçiriciliyin

60 K və 90K temperatrlarında aparılmış ölçmə nəticələri təqdim olunur. Burada 8-12 mkm optik diapazonunda p-InSb altlıqlarda optik udulma əmsalının ( $\alpha \approx 1-3 \text{ cm}^{-1}$ ) spektral asılılığı göstərilib. Qeyd edilir ki,  $p^+$  laylarında  $p^+ \approx 2 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  konsentrasiya qiymətində udulma əmsalı  $7000 \text{ cm}^{-1}$  qədər yüksəlir. InSb epitaksial təbəqələrində konsentrasiyanın  $p \geq 3 \cdot 10^{18} - 1.2 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  intervalı üçün udulma əmsalının qiymətləri ilk dəfə bizim tərəfimizdən alınmışdır. Fotokeçiricilik elektronlarının  $p^+$ -p quruluşunun p-bölgəsinə elektronların injeksiyasını məhdudlaşdıran  $P^+$ - kontaktlarına elektrik sahəsinin uzununa yönəldiyi vəziyyətdə ölçülmüşdür. Bu tərzdə qoşulma uzununa fotorezistorun dövrəyə qoşulma tərzinə uyğun gələn ikikoordinatlı fotorezistorların topologiyasına uyğun gəlməsi ilə, habelə fotokeçiricilik effektinin şüalanmanın arxa elektroddan əks edilməsi hesabına ikiqat artırması imkanından irəli gəlmişdir. Fotokeçiriciliyi ölçmək üçün spektrometr parabolik güzgü vasitəsilə monoxromatora çevrilmişdir. Bunun üçün güzgü, prizmanın arxasında yerləşdirilərək monoxromatik işıq selini azot kriostatında yerləşən nümunəyə yönəldilir. Fotokeçiricilik üzrə alınan nəticələrin analizi göstərmişdir ki, altlıqlarda ölçülmüş  $\alpha \approx 1-3 \text{ cm}^{-1}$  qiyməti onun nəzəri hesablama qiymətləndirilməsinə ( $\alpha \approx 0.1 \text{ cm}^{-1}$ ) nisbətən dəfələrlə yüksəkdir. Bu dəşiklərin fotoionizasiyanın en kəsiyi (ehtimalı)  $1 \cdot 10^{-15} \text{ cm}^{-2}$  -dan yüksək deyildir. Bu fərq fotohəssalığa məsul olan dəşiklərin fotokeçidləri elektronların keçirici zonaya keçidlərlə maskalanması ilə izah edilir.

Epitaksial p-InSb təbəqələrində dəşiklərin yüklüyünün legirəedici aşqarın konsentrasiyasından təcrübi yolla müəyyənəndirilmiş asılılıqların və yük daşıyıcıların səpilməsinə dair nəzəri modellərin birgə təhlili əsasında onlarda dəşiklərin səpilmə mexanizmləri müəyyənəndirilmişdir.  $1 \times 10^{16} - 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  konsentrasiya intervalında dəşiklərin səpilməsi, eyni zamanda baş verən həm akustik fonon həm də aşqar ion səpilməsi ilə qarışıq (birgə) təsir mexanizmi üzrə baş verir, optik fonon səpilmənin təsirini isə, tamamilə nəzərə almamaq olar. Dəşiklərin konsentrasiyası  $p > 5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  olduqda aşqar ionlar üzərində səpilmənin təsiri artır.

Daha sonra InSb p-n quruluşlarında cərəyan keçirmə və fotokeçiricilik mexanizmlərinin müəyyənləşdirilməsi nəticələri təqdim edilmişdir. Bu quruluşlar əsasında hazırlanan fotodiodların fon süalanma şəraitində volt-ampere və volt-differensial müqaviməti xarakteristikaları, açıq dövrə gərginliyi, qısa qapanma cərəyanı, yük daşıyıcılarının diffuziya məsafələri  $L_n$  və s. kimi parametrləri təhlil edilmişdir. Fotodioda tətbiq edilən  $V=75\div 100\text{mV}$  əks gərginliklərdə cərəyankeçirmə mexanizminin generasiya-rekombinasiya mexanizmindən diffuziya mexanizminə dəyişməsinin məhz bu gərginliklərdə baş verdiyini sübut edən, differensial müqavimət əyrilərində müşahidə olunan xarakterik sınıma nöqtələri müşahidə olunur. Fon şüalanması şəraitində fotodiodların açıq dövrə gərginliyi, diffuziya və ya ion implantasiya üsulları ilə hazırlanan analoqlarında (Rusiya, ABŞ da istehsal olunan fotodiodlarda kimi) 90-120 mV səviyyəsindədir.  $\lambda=5.5\ \mu\text{m}$ -də fotodiodların xüsusi ayırdetmə qabiliyyətinin qiyməti isə,  $D_{\lambda=5.5\ \mu\text{m}}^* \approx 4 \times 10^{11}\ \text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$  səviyyəsindədir.

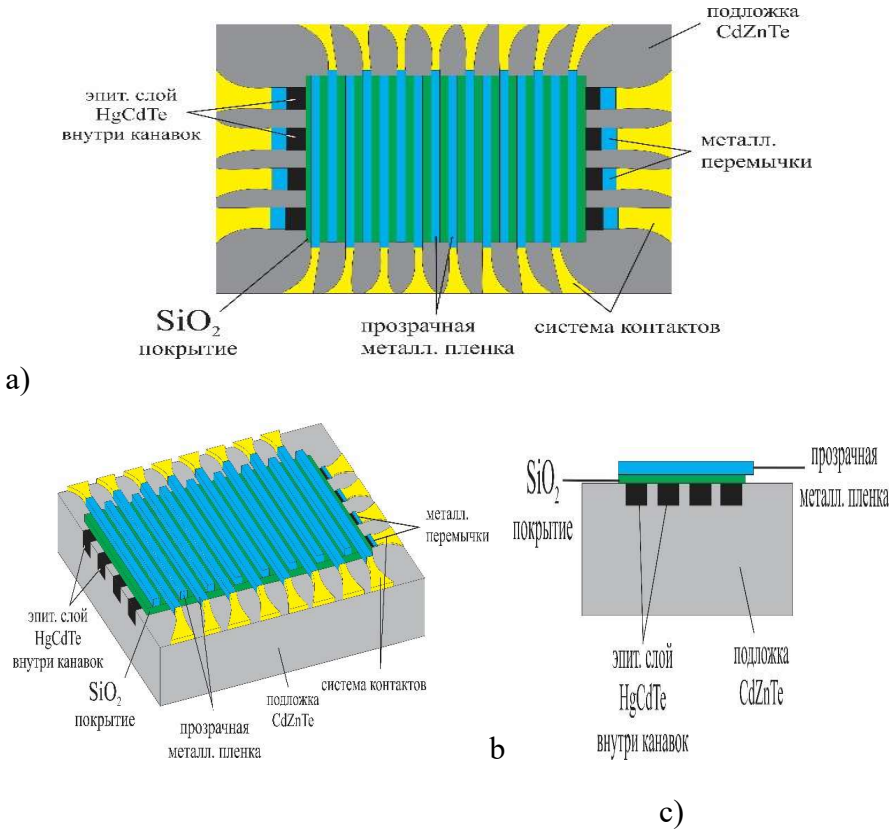
**Yeddinci fəsil** InSb və HgCdTe epitaksial quruluşlar əsasında IQ- fotoqəbuledicilərin hazırlanması üçün yararlı parametrlərə malik olan yeni tip fotohəssas elementlərin işləmə prinsiplərinin fiziki əsasları və hazırlama metodları təsvir olunmuşdur. Onların xüsusiyyətləri aşağıda sadalanır:

A) CdZnTe altlığının səthyanı qatında hazırlanan dar kanalların daxilində yetişdirilən HgCdTe təbəqələri əsasında matrisalı fotoqəbuledici.

Bu qurğuda epitaksial təbəqələrin varizon xarakterindən irəli gələn üstün cəhətlərindən və HgCdTe epitaksial təbəqələrin habelə CdZnTe altlığının qəfəs parametrləri bəzi fiziki xassələrinin (qəfəs parametrləri, istilik genişlənmə əmsalı) yaxın olmasından istifadə olunur. Elektrik yükü injeksiyası rabitəsi prinsipinə əsaslanan fotoqəbuledici matrisasının konstruksiyasının mahiyyəti ondan ibarətdir ki, izoləedici CdZnTe altlığının səthyanı bölgəsində bir-birindən eyni uzaqlıqda yerləşən, eyni dərinliyi və eyni endə olan dar kanallar hazırlanır. Onların daxilində matrisanın sətirləri sayında

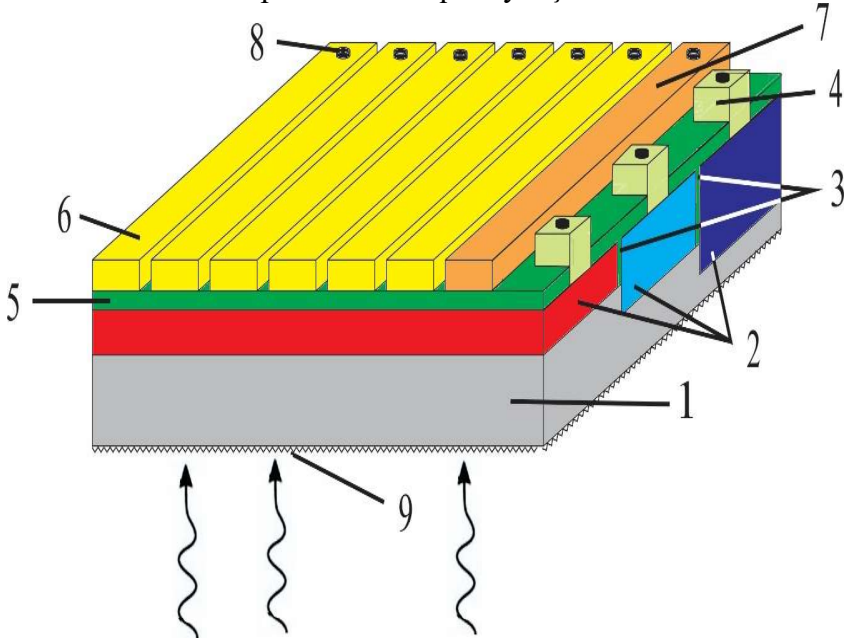
HgCdTe epitaksial zolaqları yetişdirilir, bunların əsasında isə, matrisanın sütunları sayda metal-dielektrik-yarımkəçirici elementləri yaradılır; Konstruksiyanın ümumi görünüşü şəkil 3- də təsvir edilmişdir.

**B)** CdZnTe altlığının səthyanı bölgəsində yaradılmış bir neçə pillə üzərində göyərdilən HgCdTe epitaksial təbəqələr əsasında üç zolaqlı fotoqəbuledici;



*Şəkil 3. Matrisalı fotoqəbuledicinin ümumi təsviri a) yuxarıdan görünüş b) həcmi görünüşü, c) epitaksial təbəqələrin uc qismlərində en kəsiyi göstərilmişdir (elektrik kontaktları göstərilməmişdir); c- en kəsiyi*

Qurğunun konstruksiyası səkil 4- də göstərilmişdir və aşağıda təsvir edilir. CdZnTe altlığının səthində öncədən fotolitoqrafiya və kimyəvi aşındırma üsulları ilə bir neçə pillə hazırlanır və daha sonra bu pillələr üzərində fotohəssas epitaksial təbəqələr yetişdirilir.



Şəkil 4. Üç pilləli altlıq üzərində yaradılan üç spektral kanallı fotoqəbuledici

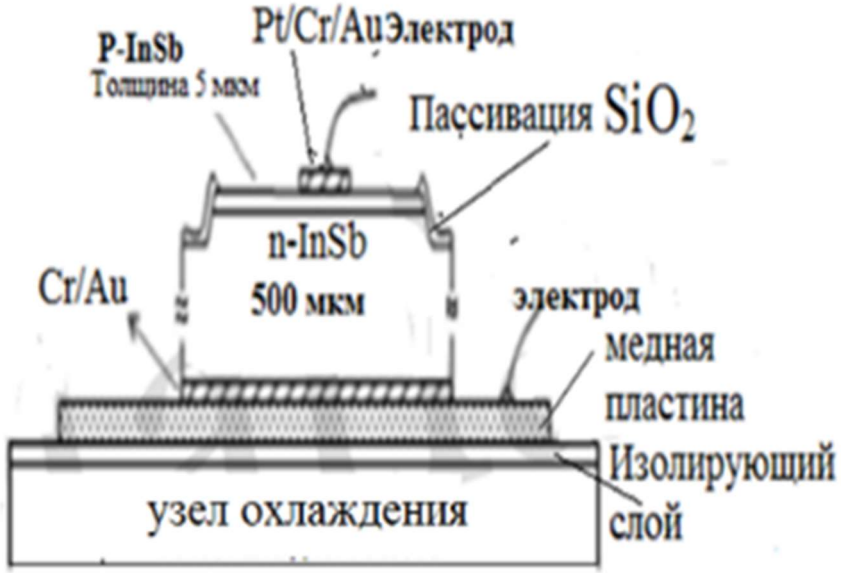
- 1- CdZnTe altlıq, 2- altlığın fərqli pillələrində tərkibi diskret paylanmış epitaksial lay, 3-dielektriklə doldurulmuş rənglərin ayırıcı qanovları, 4- oxuma elektrodları, 5- izoledici-dielektrik layı, 6- kilid elektrodlar, 7-yükün toplanması elektrodu, 8- strukturun idarəetmə və işlənilmə sxemi ilə montajı üçün kontaktlar, 9- əksetmə əleyhinə lay

Fotoqəbuledici genişzolaqlı CdZnTe yarımkəçiricisindən (1) və varizon epitaksial  $Cd_xHg_{1-x}Te$  (2) laydan ibarətdir. Bu layın üst səthi İQ signalın bütün spektral zolaqları üçün vahiddir. Qalınlıqları

müxtəlif olduğundan qonşu pillələr üzərindəki epitaksial təbəqənin üst qismi fərqli qadağan olunmuş zonaya malikdir. Fotoçeviricidə rəng kanallarının bir birindən təcrid edilməsi üçün təbəqənin müxtəlif tərkibli hissələri (2) bir birindən dielektrik materialla doldurulmuş dar kanallarla (3) ayrılmışdır. Epitaksial təbəqənin səthi, oxuyucu elektrodların (4) yerləşdiyi sahəni istisna etməklə, üzərinə kilid (6) və yığım elektrodları (7) yerləşdirildiyi şəffaf oksid qatı (5) ilə örtülmüşdür. İdarəetmə dövrəsi ilə montaj və siqnalın oxunuşu üçün elektrodların hamısında kontaktlar (8) yerləşdirilib. Altlığın əks üzünü işığın əksətməsi əleyhinə (антиотражающий) layla (9) örtülüb. Cihazın işləmə prinsipi yük rabitəli cihazların (YRC, ingiliscə CCD) işləmə prinsipinə əsaslanır. Şüalanma siqnalı epitaksial varizon layın səthində yük daşıyıcılarını törədir. Bu yük daşıyıcıları siqnalın ekspozisiyası zamanı ərzində potensial çuxurlarda toplanır. Ekspozisiya bitdikdən sonra çuxurlara tətbiq edilən gərginliyi aradan götürməklə toplanmış yük daşıyıcıları r YRC sətirlərinin hər birinin boyunca məlumatın çıxışı qurğularına ötürülür. Beləliklə, oxuyucu (4) elektrodu xarici gücləndiricilərinin sahə tranzistorlarına birləşdirməklə YRC –nin sətiri boyunca işıqlanma intensivliyinin ifadəsi olan siqnalların ardıcılığının oxunuşunu həyata keçirmək mümkündür. Siqnalın spektri YRC sətirinin yerləşdiyi varizon yarımkeçiricinin qadağan olunmuş zonasının eni ilə müəyyənləşdirilir

C) InSb  $p^+$ -n- quruluşları əsasında ayırdetmə qabiliyyəti  $D^*=5 \cdot 10^{11} \text{cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \text{W}^{-1} (\lambda=5.3 \text{ мкм})$  olan epitaksial fotodiod (Şəkil 5). InSb  $p^+$ -n- quruluşları əsasında  $p^+$ -layının qalınlığı 5-10 mkm və ftohəssas sahənin diametri 3 mm olan fotodiodlar hazırlanmışdır. Onların hazırlanmasının ilkin mərhələsində epitaksial təbəqənin 10 mm x 20 mm ölçülü sahəsində fotolitoqrafiyanın tətbiqi ilə bir neçə fotodiodun maketləri hazırlanır.  $p$ -və  $n$  oblastlarını səth boyunca qısa qapanmanın qarşısını almaq üçün kimyəvi aşındırma vasitəsilə müvafiq izoleddici kanallı meza struktur yaradılır və səthin üzərinə nazik  $\text{SiO}_2$  passivləşdirici təbəqə vakuumba çökdürülür.





Şəkil 5. InSb  $p^+ - n$  fotodiodunun ümumi görünüşü

Ana lövhədən kəsildikdən sonra fotodiodun hər birində passivləşdirilmiş layı xarici mühitin təsirindən mühafizə edilməsi üçün mexaniki cəhətcə dayanıqlı neqativ fotorezistiv materialla örtülmüşdür. Fotodiodun arxa tərəfi də  $SiO_2$  ilə passivasiya edilmişdir. Passivasiyadan sonra p-tipli elektrik keçiricilə malik layın üzərinə üçlaylı Pt( $7000\text{\AA}$ )/Cr( $3000\text{\AA}$ )/Au( $30000\text{\AA}$ ) metallizasiya qatı tozlandırılmışdır. n-InSb altlığı üzərinə omik kontakt qismində istifadə edilən ikiqat Cr ( $3000\text{\AA}$ )/Au ( $30000\text{\AA}$ ) layı tozlandırılmışdır.

D) *İnfraqırmızı şüalanma vasitəsi ilə InSb  $p^+ - p$  çəpərində yüngül dəşiklərin qızdırılması hesabına yaranan fotoeffekt əsasında işləyən İQ- spektrin uzaq diapazonu üçün 1% kvant effektivlikliyə malik FQ-nin işləmə prinsipləri.* Dissertasiyada göstərilmişdir ki, InSb-da dəşiklərin effektiv kütləsi çox kiçik olduğuna görə bu materialda qızdırılmış yüngül dəşiklərin generasiyası ilə müşahidət edilən zonadaxili udulma ehtimalı yüksəkdir. Bu işə yük daşıyıcılarının

şüalanma ilə qızdırılması effektinin aşqar udulma fotoeffektinə alternativ effekt olduğunu göstərir.

## ƏSAS NƏTİCƏLƏR

1. Maye fazadan epitaksiya prosesi sırasında  $(\text{Hg}_{1-z}\text{Cd}_z)_{1-y}\text{Te}_y$  məhlulunun və  $\text{CdZnTe}$  altlığının əsas komponentlərinin qarşılıqlı diffuziyası nəticəsində  $\text{CdZnTe}$  altlığının səthində və onun səthyanı bölgəsində yaradılan dar kanallarda göyərdilən  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  epitaksial təbəqələrinin qalınlığı boyunca tərkib qradientinin və qadağan olunmuş zonasının dəyişkən strukturu (varizonluğu) yaranır. Tərkibin paylanması profili məhlulun tərkibi, epitaksial göyərdilmənin temperaturu və müddəti ilə şərtləndirilir [49,66,69].

2. Maye fazadan epitaksiya üsulu ilə göyərdilən epitaksial  $\text{InSb}$  və  $\text{HgCdTe}$  strukturlarının səthində mikrorelyefin formalaşması xüsusiyyətləri və defektyaranma mexanizmləri tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, maye fazadan epitaksiya üsulu ilə alınan  $\text{InSb}$  və  $\text{HgCdTe}$  epitaksial təbəqələrin səthində və altlıq-təbəqə sərhədində, göyərdilmə prosesi ilə bağlı olan 10 cür tipdə müxtəlif təbiətli defekt yaranır. Onların ətraflı təsnifatı verilmiş, yaranma mexanizmləri müəyyənləşdirilmiş və təsvir edilmişdir [47,50,54,55].

3. p-tipli elektrik keçiriciliyinə malik epitaksial  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  təbəqəsinin səthinin anodda oksidləşməsinin və bundan sonrakı arqon mühitində termiki işlənilmənin onun elektrofiziki və fotoelektrik xassələrinə təsirinin aşağıdakı mərhələlərdən ibarət olan mexanizmi təklif olunmuşdur: anod oksidi ilə  $\text{HgCdTe}$ -nin tərkibindəki  $\text{Te}$  və  $\text{Cd}$  arasında gedən kimyəvi reaksiya nəticəsində civənin kristallik qəfəsin düyümləri arasındakı miqdarı kəskin artır, termiki işlənmə nəticəsində isə bu sərbəstləşən civə təbəqənin həcminə diffuziya yolu ilə nüfuz edərək oradakı civə vakansiyalarını doldurur və bütün təbəqənin keçiricilik tipini n- tipə keçirir. [30,32,34,36].

4. İlk  $(\text{Hg}_{1-z}\text{Cd}_z)_{1-y}\text{Te}_y$  tərkibli və hesablanmış likvidus temperaturu  $T_1$  olan məhlul-ərintinin sintezi zamanı ampulada civənin təzyiqinin variasiyalarının sintez olunmuş məhlulun  $(\theta_1^\circ\text{C})$  likvidus

temperaturuna və həmin məhluldan göyərdilən  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  epitaksial təbəqələrin tərkibinin (x) variyasiyalarına təsirinin qiymətləndirilməsi metodikası işlənmişdir.  $(\text{Hg}_{0.946}\text{Cd}_{0.054})_{0.194}\text{Te}_{0.806}$  tərkibli məhlulun misalında göstərilmişdir ki,  $\theta_l^\circ\text{C}$  kəmiyyətinin variyasiyası  $\theta_l^\circ\text{C} = T_l \pm 1.8^\circ\text{C}$ , x-in variyasiyası isə  $\pm 0.003$  -dir. Hg-Cd-Te sisteminin faza diaqramının Tellurla zənginləşdirilmiş bucağında likvidus əyrisi üçün yeni  $\theta_l^\circ\text{C} = 1144 - 845.4y + 672.6z$  empirik ifadə alınmışdır [48,49,67].

5.HgCdTe -un müxtəlif aşqarlarla (Hg, In, Au, Pt, Cu) diffuziya legirələnməsinin tədqiqatı əsasında müəyyən olunmuşdur ki, eyni zamanda həm vakansiya, həm də dədüyümlər arası diffuziya mexanizmlərinin vəhdəti olan mexanizmlə keçən civənin HgCdTe – a ikikanallı diffuziya mexanizmi kristalların stexiometriyasının saxlanılmasını təmin edir.Bu mexanizimli diffuziya ilə alınan fotodiodlar yalnız bir mexanizmlə- ya vakansiya ( Cu, In və Pt), ya da düyümlər arası diffuziya edən aşqarların legirələnməsi ilə alınan fotodiodlara nisbətən daha yüksək amplituda- tezlik xarakteristikasının sərhəd qiymətinə malik -(1HHz-dən yüksək tezliklərdə)fotodiodların alınmasına imkan yaradır [8,11,18,23 ,25,27,29,56]..

6. InSb epitaksial təbəqələrində legirəedici Cd-un  $K_s$  seqreqasiya əmsalı onun In-Sb məhlulundakı konsentrasiyasından ( $C_L$ ) asılıdır və müxtəlif legirələnmə dərəcələrində fərqlidir.Nisbətən zəif  $C_L < 1 \times 10^{17} - 4 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$  legirələnmə oblastında  $K_s$ -in qiyməti InSb altlığının legirəedici aşqarın tipindən (Te və ya Ge) asılıdır.  $C_L \approx 1 \times 10^{17} - 4 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$  oblastında  $K_s \sim 0.30$ ,  $C_L \approx 5 \times 10^{18} - 1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$  oblastında isə, bu kəmiyyət  $K_s \sim 0.25$  qiymətini alır [9,37,68].

7.P-InSb epitaksial təbəqələrində dəşiklərin yürüklüyünün Cd atom aşqarının konsentrasiyasından asılılığının analızı əsasında müəyyənləşdirilmişdir ki, təbəqələrdə dəşiklərin  $1 \times 10^{16} - 1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$  konsentrasiya intervalında akustik fononlar və aşqar ionlar üzərindən qarışıq səpilmə mexanizmi təsir edir. Dəşiklərin konsentrasiyası  $2 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ -dən yüksək olduqda ionlar üzərində səpilmə artır [ 68].

8. n-Hg<sub>0.71</sub>Cd<sub>0.29</sub> tərkibli epitaksial təbəqələrdə həm məxsusi (200-300K), həm də aşqar keçiricilik temperatur intervallarında (80-200K) tarazlıqda olmayan dəşiklərin rekombinasiyası zonalararası şüalandırma mexanizminə keçir. Bununla belə, 80-200K temperatur intervalında yaşama müddəti, eyni zamanda təsir edən iki mexanizmlə- zonalar arası şüalandırıcı rekombinasiya və akspetor təbiətli  $E_{vr} \approx 80$  meV enerji səviyyəsinin iştirakı ilə Şokli-Rid mexanizmi üzrə həyata keçir. 300K-dən daha yüksək temperaturalarda rekombinasiyanın dominant mexanizmi zonalararası iki elektronun və bir yüngül deşiyin iştirakı ilə keçən zərbəli Oje- mexanizm olur [ 69].

9. Açıq və qapalı epitaksiya sistemlərində defektsiz  $Cd_xHg_{1-x}Te$  və InSb epitaksial təbəqələrinin göyərdilməsi üçün əlverişli şərait yaradan müxtəlif tipli kassetlər işlənmiş və hazırlanmışdır. [2,4,39,40,45,49,67].

10. InSb əsasında hidrogen axınında horizontal sistemdə slayder tipli konteynerdən istifadə edən p<sup>+</sup>-p və n-p epitaksial strukturların və Hg-Cd-Te məhlul- ərintisindən qapalı kvarts ampulasında məhlul-ərintinin qalıqlarının ampulanın döndərməsi ilə kənarlaşdırma yolu ilə  $Cd_xHg_{1-x}Te$  maye faza epitaksiyasının fiziki- kimyəvi əsasları işlənmişdir. InSb və CdZnTe lövhələrinin kimyəvi- mexaniki və kimyəvi cilalanmasını, finiş kimyəvi aşındırmanı və p<sup>+</sup>-p və n-p epitaksial strukturların göyərdilməsi metodikasını özündə ehtiva edən fotohəssas elementlərin hazırlanmasının texnoloji marşrutları işlənmişdir [22,23,30–36, 41,42,46,48,52,53,57,58,67].

11. InSb və HgCdTe epitaksial quruluşlar əsasında IQ-fotoqəbuledicilərin hazırlanması üçün yararlı parametrlərə malik olan yeni tip fotohəssas elementlərin işləmə prinsiplərinin fiziki əsasları və hazırlama metodları işlənmişdir:

- CdZnTe altlığının səthyanı bölgəsində yaradılmış dar kanallarda göyərdilən varizon epitaksial CdZnTe-HgCdTe strukturlar əsasında fotoqəbuledici;

- CdZnTe altlığının səthyanı bölgəsində yaradılmış pillələr üzərində göyərdilən HgCdTe epitaksial təbəqələr əsasında üç zolaqlı fotoqəbulədiçi;

- InSb əsasında ayırədetmə qabiliyyəti  $D^* = 5 \cdot 10^{11} \text{ cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \text{W}^{-1}$  olan  $p^+ \text{-n}$  strukturlu fotodiod;

- Infraqırmızı şüalanma vasitəsi ilə InSb  $p^+ \text{-p}$  çəpərində yüngül dəşiklərin qızdırılması hesabına yaranan fotoeffekt əsasında İQ-spektrin uzaq diapazonu üçün 1% kvant effektivlikliyə malik olan FQ-nin fiziki işləmə prinsipləri. [1,3,5,7,12,14,16,17,21,41,61,63,66].

### **Dissertasiya işinin əsas məzmunu aşağıdakı nəşrlərdə**

#### **dərc edilmişdir:**

1. Попов, Ю.Г. Преобразователь изображения с электронным коммутатором. Авторское свидетельство № 205955, СССР/ Эминов Ш.О., Красницкая С.Д. –1984.
2. Попов, Ю.Г. Устройство для жидкостной эпитаксии. Авторское свидетельство № 1082078, СССР / Эминов Ш.О., – 1983.
3. Попов, Ю.Г. ИК-фотодетектор матричного преобразователя изображения. Авторское свидетельство № 227804, СССР / Эминов Ш.О., Попова С.Д. –1985.
4. Эминов, Ш.О. Устройство для ЖФЭ //Авторское свид. № 1707090, СССР / Гусейнов Э.К., Гусейнов Д.И.[и др] – 1991.
5. Эминов, Ш.О. Квантовая эффективность надбарьерной фотоэмиссии дырок через  $p^+$ -контакт./ Ш.О. Эминов. //Деп. в ЦНИИ “Электроника”.Р-4307, “Сборник рефератов НИОКР, обзоров, переводов и депонированных рукописей”– 1986 , №50. Сер.”РТ”.
6. Эминов, Ш.О., Попов, Ю.Г., Гусейнов, Э.К. Оптическое поглощение и фоточувствительность эпитаксиальных  $p^+$ -слоев InSb // Тезисы докладов II научной конференции

- “Фотоэлектрические явления в полупроводниках”, Ашхабад, –1991, с.337-338.
7. Эминов, Ш.О., Гусейнов, Э.К., Везиров, Х.Н. Надбарьерная фотоэмиссия дырок в  $p^+$ - $p$  структурах из InSb // Тезисы докладов 5 -й Республиканской межвузовской научной конференции по физике, Баку, –1992,– с.67.
  8. Эминов, Ш.О., Гусейнов, Э.К., Раджабли А.А. Получение  $p$ - $n$  переходов в HgCdTe методом ионного внедрения //Тезисы докладов Республиканской межвузовской научной конференции“Физика-93”, Баку, сентябрь, –1993, –с.127.
  9. Попов, Ю.Г., Эминов, Ш.О., Гусейнов, Э.К. Распределение кадмия в эпитаксиальных  $p^+$ - $p$  структурах из антимонида индия / Ю.Г.Попов, Ш.О., Эминов, Э.К. Гусейнов //Неорганические Материалы (РАН), –1993, т.29, № 8 ,– с.1148-1149.
  10. Эминов, Ш.О., Гусейнов Э.К., Алиев А.А., Раджабли А.А. Особенности спектров фотоотклика эпитаксиальных слоев  $n$ - $Cd_xHg_{1-x}Te$ / Ш.О. Эминов, Э.К.Гусейнов, А.А. Алиев [и др] // Fizika, –1999, –№1, с.12-14.
  11. Эминов, Ш.О., Алиев, А.А., Раджабли, А.А. Amplitude-frequency characteristics of  $Cd_xHg_{1-x}Te$  ( $x =0.2$ ) photodiodes / Proceedings of the. Second. Intl. Symposium on Mathematical & Computational applic.Baku,–1999, –р.85.
  12. Эминов, Ш.О. Матричный твердотельный преобразователь изображения. Patent № 20000216, Azərbaycan Respublikası /Алиев А.А., Гусейнов Э.К., Мамедов А.К. [и др.].
  13. Эминов, Ш.О. Устройство для ЖФЭ роста и фотопроводимость варизонных эпитаксиальных слоев  $Cd_xHg_{1-x}Te$  // Тезисы докладов IX Национальной Конференции по росту кристаллов, Москва, –16–20 октября, –2000, –с.243.
  14. Aliyev, A.A, Multi-channel infrared imager /Aliyev A.A, Mamedov A.K., Nasibov I.A., Eminov Sh.O. [et al] // SPIE Proceedings, –2000, v.4340, –р.128-132.

15. Эминов, Ш.О. Электрические свойства эпитаксиальных  $p^+$  -  $p$  структур на основе компенсированного  $p$ -InSb//12-й Межд. Симпозиум “Тонкие пленки в электронике”(ISTFE-12) Харьков,–23–27 апреля,–2001, –с.18-20.
16. Эминов, Ш.О., Ибрагимов, Т.И. Цветной ИК-фотоприемник на основе  $Cd_xHg_{1-x}Te$ //Fizikanın aktual problemləri II Respublika elmi konfransı, Bakı, –2001, –с.30-31.
17. Попов, Ю.Г., Эминов, Ш.О. Длина свободного пробега и квантовая эффективность внутренней фотоэмиссии дырок на  $p^+$  -  $p$  переходе из InSb// 14-й Международный Симпозиум “Тонкие пленки в электронике” (ISTFE-14) Харьков,– 22-27 апреля,–2002, –с.34-35.
18. Эминов, Ш.О., Раджабли, А.А., Алиев, А.А. [и др.] Сравнительный анализ характеристик фотодиодов на основе  $Cd_xHg_{1-x}Te$ , полученных диффузией различных элементов //III Межд. Конф. “Аморфные и микрокристаллические полупроводники”, Ст.-Петербург,–2-4 июля,–2002,–с.19-20.
19. Эминов, Ш.О., Гусейнов, Э.К., Раджабли, А.А. и др. Особенности роста ЖФЭ слоев из InSb // “Харьковская научная ассамблея”Высокочистые металлические и полупроводниковые материалы, ISPM-8”, Харьков, –22-27 апреля,–2002,– с.20-22.
20. Эминов, Ш.О., Раджабли, А.А. Влияние термической обработки на характеристики фотодиодов изготовленных из сплава теллурид ртути- теллурид кадмия //3-я Международная конф.«Оборудование и технологии термической обработки металлов и сплавов», Харьков,– 9-13 сентября,–2002, –с.34-36.
21. Эминов, Ш.О. Фотоприемники ИК-диапазона на основе узкозонных материалов  $CdHgTe$  и InSb для средств связи //YAP-in 10-illik yubileyinə həsr olunmuş “Rabitə və elmi-texniki tərəqqi” Konfransı, Bakı, –2002,–с.38–39.
22. Эминов, Ш.О., Раджабли, А.А., Ибрагимов, Т.И. Зависимость состояния морфологии поверхности эпитаксиальных пленок InSb от условий роста / Тезисы докладов “XIII Российского

- симпозиума по растровой электрон-ной микроскопии РЭМ-2003”, Москва,–2-4 июня,–2003,–с.110-111.
23. Эминов, Ш.О., Раджабли, А.А, Ибрагимов, Т.И.[и др.] Влияние термообработки на свойства р-п переходов в CdHgTe /Труды 4-й Межд. Конф. “Оборудование и технологии термообработки металлов” ,Харьков, –2003, – с.17-19.
  24. Эминов, Ш.О. Совместное изучение ВАХ и продольной фотопроводимости в эпитаксиальных структурах из InSb / Ш.О., Эминов А.А. Раджабли, А.А. Дадашев // АМЕА Хəбərləri , Fizika və astronomiya –2003,т.ХІІІ, №2,–с. 76-79.
  25. Эминов, Ш.О., Раджабли, А.А., Ибрагимов,Т.И. Воздействие импульсного гамма-излучения и импульсного нейтронного облучения на фотоэлектрические свойства ионно-имплантационных р-п переходов из HgCdTe // Сб.трудов Нац. Конф.“РСНЭ 2003”, Москва, 17-22 ноября,–2003, –с.23.
  26. Эминов, Ш.О., Раджабли А.А, Ибрагимов Т.И. [и др] Оптическое пропускание и фотопроводимость в эпитаксиальных слоях InSb // Тезисы докладов IV Межд. Конференции “Аморфные и микрокристаллические полупроводники”,Ст.-Петербург,–5–7июля,–2004,–с.378-379.
  27. Эминов, Ш.О., Раджабли, А.А, Ибрагимов, Т.И. Воздействие ионизирующе го излучения на фотоэлектрические свойства фотодиодов на основе CdHgTe//Тезисы докладов “ХVІІІ Межд. Конф. по фотоэлектронике и приборам ночного видения“, Москва,– 25-28 мая,–2004,–с.97.
  28. Эминов, Ш.О. Оптическое пропускание и примесная фотопроводимость в InSb // “Fizkia-2005” Beynəlxalq Konfrans məqalələr toplusu, Bakı,–7-9 iyun, –2005, –s. 667-670.
  29. Эминов, Ш.О., Раджабли, А.А, Ибрагимов, Т.И. Влияние радиационного облучения на характеристики диффузионных и имплантационных фотодиодов из HgCdTe



- //“Fizkia-2005” Beynəlxalq Konfrans, məqalələr toplusu, Bakı, – 7-9 iyun, –2005, –s.684-687.
30. Гусейнов, Э.К., Эминов, Ш.О., Раджабли, А.А. [и др.] Влияние отжига на свойства эпитаксиальных слоев  $CdHgTe$  с анодным окислением // Тезисы докладов XIX Научно-технической конфер. По фотоэлектронике и приборам ночного видения, Москва, – 23-26 мая, –2006, –с. 49.
  31. Эминов Ш.О. Особенности роста ЖФЭ слоев антимонида индия / Труды XII Национальной конференции по росту кристаллов НКРК-2006, Москва, – 27 октября, –2006, –с.298.
  32. Huseynov, E.K. Thermal annealing impact on properties of  $Cd_xHg_{1-x}Te$  epitaxial layers with anodic oxidation /E.K. Huseynov, Sh.O. Eminov, A.A. Radjabli //SPIE, –2007, v. 6636, –р 663616-1-663616-3.
  33. Эминов, Ш.О. Воздействие ионизирующего излучения на электрические и фото-электрические свойства фотодиодов на основе  $Cd_xHg_{1-x}Te$  / Ш.О. Эминов, Э.К. Гусейнов Э.К., Раджабли А.А. [и др.] // Прикладная физика, –2007, №4, с.115-118.
  34. Эминов, Ш.О. Термоконтверсия типа проводимости анодно-окисленных эпитаксиальных слоев  $Cd_xHg_{1-x}Te$  / Ш.О. Эминов Э.К. Гусейнов, А.А. Раджабли, [и др] // АМЕА Хəbərлəri, Fizika-və astronomiya seriyası, –2007, №5, –с.99-102.
  35. Гусейнов, Э.К., Эминов, Ш.О., Раджабли, А. А. [и др] Ибрагимов, Т.И. Особенности получения эпитаксиальных слоев  $HgCdTe$  методом жидкофазной эпитаксии. Тезисы докладов XX Межд. Научно-технической конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения, Москва, –27-30 мая, –2008, –с. 131-132.
  36. Эминов, Ш.О. Влияние отжига на свойства эпитаксиальных слоев  $Cd_xHg_{1-x}Te$  с анодным окислением / Ш.О. Эминов, А.А. Раджабли, Н.Д. Исмаилов. [и др] // Прикладная физика, – 2008, №4, – с.132-135.
  37. Эминов, Ш.О. Электрические свойства эпитаксиальных слоев и р-п–переходов из  $InSb$ , выращенных методом ЖФЭ

- / Ш.О Эминов, Э.К. Гусейнов, А.А Раджабли [ и др] // Fizika, 2008, т. XIV, №3, с. 101-106.
38. Эминов, Ш.О. Химическое травление полярных плоскостей {111}InSb при подготовке к жидкостной эпитаксии/ Ш.О. Эминов // Fizika, –2009, т.XV, №2, –с. 96-100.
  39. Эминов, Ш.О. Устройство для жидкофазной эпитаксии / Э.К. Гусейнов, А.А. Раджабли [ и др]//Заявка на изобретение рег. № 20080107, Приоритет 2008, Баку, –2008 .
  40. Эминов, Ш.О.. [ и др] Мамедова Э.А., Мухтарова Р.И., Ибрагимов Т.И. Кассета для жидкофазной эпитаксии в горизонтальном реакторе/ Ш.О. Эминов, Э.К.Гусейнов, А.А.Раджабли [ и др] // АМЕА Хəбərləri, Fizika-və astronomiya seriyası, –2009, №5,– с. 148-152.
  41. Sareminia, Gh., Eminov, Sh.O., Hajian ,M., G. [et al]. Characterization of photodiodes made from a p– type epitaxial layer grown on n- type InSb by LPE method // Proceedings of 16<sup>th</sup> Iranian Conference on Optics and Photonics, Yazd, Iran– 26-28 January– 2010.
  42. Эминов, Ш.О. Влияние методики полирования подложек  $\text{Cd}_{0.96}\text{Zn}_{0.04}\text{Te}$  на жидкофазную эпитаксию слоев  $\text{CdHgTe}$ / Ш.О. Эминов, А.А Раджабли, Т.И. Ибрагимов // Неорганические материалы, –2010, т. 46, №7, – с.796-800.
  43. Эминов, Ш.О., Гусейнов, Э.К,Раджабли,А.А.[и др] Алиев А.А., Ибрагимов Т.И. Особенности роста ЖФЭ слоев  $\text{HgCdTe}$  //Тезисы докладов XXI Межд. Н-т конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения, Москва, –25-28 мая,–2010, –с.203.
  44. Гусейнов Э.К., Исмаилов Н.Д., Эминов Ш.О. [и др]. Двухдиапазонный фотоприемник на основе  $\text{HgCdTe}$  // Тезисы докладов XXI межд. Н-т конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения, Москва, –25-28 мая,–2010, –с.195-196.
  45. Эминов, Ш.О. Устройство для жидкофазной эпитаксии/ Ш.О. Эминов, А.А. Раджабли //Приборы и техника эксперимента, –2010, № 2,–с.153-155.

46. Eminov, Sh.O The characteristic study of InSb epitaxial layers grown by LPE/ Sh.O Eminov, E.K Huseynov, A.A. Rajabli [et al.] // Azerbaijan Journal of Physics, –2010, № 2, –р.42-46.
47. Эминов, Ш.О., Зависимость состояния поверхности подложек CdZnTe от методики полирования/ Ш.О.Эминов, А.А. Раджабли, Т.И. Ибрагимов [ и др] // АМЕА Хəбərləri, Fizika- və astronomiya, 2010, № 2, –с. 148-154.
48. Huseynov, E.K., Eminov, Sh.O., Rajabli, A.A. [et al].Growth features of HgCdTe LPE layers //The International Conference ICTM-17, Baku,–27-30 September, –2010.
49. Huseynov, Emil. Evaluation of composition reproducibility of HgCdTe epitaxial layers grown in novel liquid phase epitaxy apparatus / Emil Huseynov , Shikhamir Eminov, Alovzat Rajabli [et al.]// Japanese Journal of Appl. Phys., –2011, v. 50, № 5, – р.05FB16-1 -05FB16-2.
50. Эминов Ш.О., Раджабли А.А., Сеидли Г.С.[и др]. /Дефектообразование в эпитаксиальных слоях InSb /Fizikanın Müasir Problemləri IV Resp. Konfransı, –Bakı, 24-25 dekabr,–2010,c.1- 4.
51. Эминов, Ш.О., Сеидли, Г.С. Особенности роста эпитаксиальных слоев HgCdTe для ИК теплового контроля реакторов// The Conference Perspectives of peaceful use of nuclear energy, –Baku, –8-10 November, 2010, –с. 100- 101.
52. Sareminia, Gh. Characterisation of photodiodes, made from a p-type epitaxial layer grown on n-type <111> InSb by LPE method/ Gh.Sareminia, M. Hajian, H. Simchi , Eminov Sh.[ et al.] // Infrared Physics & Technology, –2010, v.53, № 5, –р.315-319.
53. Эминов, Ш.О. Жидкостное химическое травление плоскостей (111)In и (111)Sb подложек из InSb / Ш.О. Эминов, Х.Д. Джалилова [ и др.] //Неорган. Мат., –2011, том 47, № 4, –с. 394-398.
54. Eminov, Sh.O., Huseynov, E.K., Rajabli, A.A.[et al.] Defects in InSb and InSbBi layers grown by LPE //Proceedings of 5<sup>th</sup> International Workshop on Crystal Growth Technology, June 26-30, –2011, Berlin, –р.53-54.

55. Eminov, Sh.O., Rajabli, A.A., Mamedova, E.A. Defect formation in InSb and InSbBi epilayers grown by LPE /Alternativ və bərpa olunan enerji mənbə-lərindən istifadənin perspektivləri”Konfransı, 1-2 iyun, Bakı,–2011, – p. 54-55.
56. Эминов, Ш.О., Раджабли, А.А., Аббасов, И.И. Влияние радиационного излучения на АЧХ р-п переходов из HgCdTe / Alternativ və bərpa olunan enerji mənbə-lərindən istifadənin perspektivləri” Konfransı, Bakı, – 1-2 iyun, 2011,с.82-83.
57. Sareminia, Gh. Cleaning method of InSb [111]B of n-InSb [111] A/B for the growth of epitaxial layers by liquid phase epitaxy / Gh Sareminia, F.Zahedi, Sh. Eminov [et al.]//Journal of Semiconductors,–2011,v.32, №5,–p. 056001-056001.
58. Eminov, Sh.O., Mamedova,E.A. Growth and characterization of LPE grown InSb and InSbBi epitaxial layers /Труды Конференции стран СНГ по росту кристаллов, P30(A2).Секция А(2)Функциональные кристаллические материалы, Харьков, 1-5 октября,–2012, – с.128.
59. Ismayilov, N.J. High sensitive p-CdxHg1-xTe (x=0.23-0.3) based photoconductor with surface conversion layer / N.J. Ismayilov, E.K. Huseynov, A.A. Aliyev, Sh.O Eminov //Azerb.Journal of Physics,– 2015, №3, –p.13-17.
60. Эминов, Ш.О. Оценка параметров разогретого фотоэффекта в эпитаксиальных P<sup>+</sup>-P структурах InSb/ Ш.О. Эминов, Т.Г. Гардашова.// АМЕА Хəбərləri, Fizika və astronomiya , –Bakı:–2015, № 2, –с. 19-27.
61. Эминов, Ш.О. Изучение примесной фотопроводимости в р-InSb с использованием эпитаксиальных р<sup>+</sup>-контактов / Ш.О. Эминов // Физика и техника полупроводников, –2016, т.50, №8, –с.1025-1029.
62. Исмаилов, Н.Д., Гасанов, И.С., Эминов, Ш.О. Высокочувствительные двухслойные фоторезисторы на основе HgCdTe с конвертированным приповерхностным слоем /Сб. докладов XXIV Межд.конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения, 24-27 мая, Москва, –2016, с. 525-530.

63. Эминов, Ш.О. ИК-фотоприемник на основе HgCdTe с варизонными эпитаксиальными слоями, выращенными в приповерхностном слое CdZnTe подложки/ Ш.О Эминов, А.А. Алиев, Т.И Ибрагимов [ и др.] // АМЕА Хəбərləri, Fizika və astronomiya , Bakı:– 2017, №2,–с. 56-73.
64. Эминов, Ш.О. Вольтамперные характеристики эпитаксиальных P<sup>+</sup>-P и P<sup>+</sup>-P -P<sup>+</sup> переходов на основе антимонида индия/ Ш.О. Эминов , Э.А. Ибрагимова , Т.И. Ибрагимов // АМЕА Хəбərləri, Fizika və astronomiya, Bakı:– 2018, cild XXXVII, №5, –с.120-124.
65. Эминов, Ш.О. Характеристики эпитаксиальных p<sup>+</sup>-n структур InSb, выращенных методом ЖФЭ / Ш.О. Эминов, // Azerbaijan Journal of Physics, Fizika, –2018, №3, –с. 107-109.
66. Эминов, Ш.О. Фотоприемники ИК-излучения на основе варизонных эпитаксиальных слоев HgCdTe / Ш.О. Эминов // Azerbaijan Journal of Physics, Fizika, –2018, №3, Az, –с. 23-25.
67. Eminov, Sh.O. Liquid phase epitaxy apparatus and features of HgCdTe layers / Sh.O. Eminov //Electrical & Electronic Technology Open Access Journal,–2018,v.2, №5, – pp. 322–325.
68. Гардашова, Т.Г. Коэффициент сегрегации кадмия и подвижность дырок в эпитаксиальных слоях p-InSb, выращенных методом жидкофазной эпитаксии / Т.Г. Гардашова, Ш.О.Эминов, Э.А. Ибрагимова [и др.] //АМЕА Хəбərləri, – 2019, №5, –с.98-104.
69. Эминов, Ш.О. Особенности фоточувствительности и рекомбинационных процессов в эпитаксиальных слоях Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te, выращенных жидкофазной эпитаксией // Ш.О.Эминов, А.А.Алиев, А.А.Раджабли и др. /АМЕА Хəбərləri, – 2021, №2, –с.26-33.

Dissertasiyanın müdafiəsi "3" noyabr 2021-ci il tarixində saat 11:00-da AMEA Fizika İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən ED 1.14 Dissertasiya şurasının bazasındakı qeydiyyat nömrəsi BED 1.14 olan Birdəfəlik dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan : AZ1143, Bakı şəhəri, H.Cavid pr., 131

Dissertasiya ilə Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Fizika İnstitutunun kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları AMEA Fizika İnstitutunun rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat "1" oktyabr 2021-ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.



Çapa imzalanmışdır:29.09.2021

Kağız formatı : A5

Həcm: 84 900 işarə

Tiraj : 30