

# AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

*Əlyazması hüququnda*

## **ZnS(Se)-ZnTe SİSTEMİ NAZİK TƏBƏQƏLƏRİNİN VƏ ONLARIN ƏSASINDA STRUKTURLARIN ELEKTRON XASSƏLƏRİ**

İxtisas: 2211.01 – Bərk cisimlər fizikası

Elm sahəsi: Fizika

İddiaçı: **Xanməmmədova Elmira Ələsgərovna**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsini almaq üçün təqdim edilmiş  
dissertasiyasının

**AVTOREFERATI**

**Bakı – 2023**

Dissertasiya işi Azərbaycan Respublikasının Elm və Təhsil Nazirliyinin Fizika İnstitutunda, Bakı Dövlət Universitetinin Fizika fakültəsinin Yarımkəçiricilər fizikası kafedrasında və Türkiyə Respublikasının Atatürk Universitetinin “DAYTAM” (Doğu Anadolu Yüksək Texnoloji Uygulama və Araştırma Merkezi) mərkəzində yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər **Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor**  
**Maarif Əli oğlu Cəfərov**

Rəsmi opponətlər: **Fizika elmlər doktoru , professor**  
**Cahangir İslam oğlu Hüseynov**

**Fizika elmlər doktoru, dosent**  
**Huseynaga İbrahim oğlu Huseynov**

**Fizika elmlər doktoru, dosent**  
**İzzət Məmməd qızı Əfəndiyeva**

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Bakı Dövlət Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.19 Dissertasiya Şurası.

Dissertasiya şurasının sədri: **Fizika elmləri doktoru, dosent**  
**Hüseyn Mikayıl oğlu Məmmədov**

Dissertasiya şurasının elmi katibi: **Fizika üzrə fəlsəfə doktoru**  
**Şəhla Nəbi qızı Hacıyeva**

Elmi seminarın sədri: **Fizika elmləri doktoru, dosent**  
**Sədiyar Soltan oğlu Rəhimov**

## **İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI**

**Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi.** Elektron texnikasının artan tələbatının ödənilməsi halkogen komponentli qismən nizamsız struktura malik mürəkkəb strukturlu yarımkeçirici birləşmələrin və onların nazik təbəqələrinin elektron xassələrinin kompleks tədqiqi ilə də bağlıdır. Elektronikanın bu sahəsində nazik təbəqələrin sadə və iqtisadi cəhətdən sərfəli şəkildə hazırlanması imkanları onların yüksək effektivliyini birləşdirən kompleks yanaşma ilə təyin olunur. Bu, bir tərəfdən yeni-yeni materialların axtarılması və onların nazik təbəqələrindən istifadə olunması imkanlarının araşdırılması, digər tərəfdən isə mövcud mürəkkəb strukturlu yarımkeçiricilərin nazik təbəqələrinin alınma texnologiyasının təkmilləşdirilməsi ilə yanaşı, onların parametrlərini yüksək səviyyədə saxlamaqla daha sadə texnologiya ilə alınması sahəsində tədqiqatların genişləndirilməsini tələb edir.

Bu baxımdan nazik təbəqələrin sulu məhluldan kimyəvi üsulla alınma texnologiyası xüsusi diqqət cəlb edir. Həmin üsulun özünün də bir neçə variantı mövcuddur: təbəqələrin bilavasitə sulu məhlulda formalaşması; məhlulun yüksək elektrik sahəsi və ya pulverizasiya ilə altlığa hopdurulması; elektrokimyəvi çökdürmə və s. Məhluldan kimyəvi alınma üsulunun perspektivliyi bir sıra amillərlə bağlıdır: mürəkkəb strukturlu yarımkeçirici materialların təbəqələrinin alınması; müxtəlif yarımkeçirici bərk məhlulların və nazik təbəqəli kompozitlərin alınması; aktiv aşqarların daxil edilməsi; çox təbəqəli strukturların hazırlanması; elektrik kontaktlarının formalaşması; metal yarımkeçirici kontaktının, heterokeçidlərin vahid bir texnologiya ilə reallaşdırmaq imkanları; massiv altlıq üzərində eyni materialın nanoölçülü təbəqələrinin epitaksiya imkanları; mikro- və nanomaterialların alınmasında tətbiqi və s. Bu üsul müxtəlif metalların halkogenli birləşmələrinin unikal xassələrə malik nazik təbəqələrlə və böyük ölçülü səthlər formasında seriyalı istehsalını səmərəli reallaşdırmağa və həmin materialların mühüm xassələrinin tətbiq oblastlarını genişləndirməyə imkan verir.

Bu istiqamətdə aparılan tədqiqatlar göstərir ki, belə

strukturların effektivliyi təkcə generasiya-rekombinasiya prosesləri ilə deyil, həm də kontakt materiallarının seçilməsi və onların alınmasının texnoloji və konstruktiv xüsusiyyətləri ilə də təyin olunur.

Beləliklə də ZnS və ZnSe əsaslı, yüksək həssaslığa malik nanostrukturlu təbəqələrin alınmasına imkan verən texnoloji rejimlərin müəyyənləşdirilməsi, alınmış təbəqə və strukturlarda optik udma, fotokeçiricilik kimi bir sıra elmi- nəzəri və praktiki-texnoloji əhəmiyyətli effektlərlə səciyyələnən hadisələrin tədqiq edilməsi, bu materiallar əsasında metal-yarımkeçirici, yarımkeçirici-yarımkeçirici strukturların yaradılması, baxımından aktualdır.

**Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri.** Dissertasiya işinin məqsədi məhluldan kimyəvi və elektrokimyəvi çökdürmə üsulu ilə alınmış ZnS(Se)S(Te) əsaslı nanostrukturlu təbəqələrdə və onların əsasında hazırlanmış strukturlarda elektron proseslərin və cərəyankeçmə mexanizmlərinin əsas xüsusiyyətlərini aşkar etmək və praktik tətbiq imkanlarını müəyyənləşdirməkdir.

Bu məqsədi həyata keçirmək üçün aşağıdakı məsələlər qoyulmuş və həll edilmişdir:

1. Nazik  $ZnS_{1-x}Se_x$  və  $ZnSe_{1-x}Te_x$  təbəqələrinin fiziki xassələrinin, bu təbəqələrin alınma və termiki emal rejimlərindən asılılığını müəyyən etməklə, lazımı parametrlərə malik təbəqələrin alınması üçün optimal şərtlərin aşkar edilməsi;

2. Kimyəvi və elektrokimyəvi çökdürmə metodu ilə alınmış nanoölçülü  $ZnS_{1-x}Se_x$  və  $ZnSe_{1-x}Te_x$  təbəqələrinin və nanohissəciklərinin tərkibdən, alınma rejimlərindən asılı olaraq xassələrini müqayisəli tədqiq etmək;

3.  $ZnS_{1-x}Se_x$  və  $ZnSe_{1-x}Te_x$  nanostrukturlu təbəqələrində baş verən relaksasiya və rekombinasiya proseslərinin nanozərrəciklərin ölçülərindən asılılıq mexanizmlərini aydınlaşdırmaq;

4. Silisium alıtlığı üzərində alınmış Si-məs.Si/CdS strukturlarının foto və qaz həssaslığının effektivliyini artırmaq üçün optimal tərkibi və termik işlənmə şəraitini müəyyən etmək;

5. Məhluldan elektrokimyəvi çökdürmə və termik emal rejimlərinə nəzarət etməklə p-Si/ $ZnS_{1-x}Se_x$  və p-Si/ $ZnSe_{1-x}Te_x$

heterokeçidləri əsasında yüksək həssaslığa malik fotoqəbuledicilər hazırlanma imkanlarını tədqiq etmək;

6.  $\text{KOH} + \text{C}_3\text{H}_8\text{O}$  və  $\text{HF} + \text{HNO}_3$  məhlullarında aşılmanın p-Si/  $\text{ZnS}_{1-x}\text{Se}_x$  və p-Si/ $\text{ZnSe}_{1-x}\text{Te}_x$  heterokeçidlərinin elektrik xassələrinə təsirini öyrənmək;

7. p-Si/ $\text{ZnS}_{1-x}\text{Se}_x$  və p-Si/ $\text{ZnSe}_{1-x}\text{Te}_x$  heterokeçidlərinin fotoelektrik xassələrinə müxtəlif mühit və rejimlərdə termik işlənmənin təsirini araşdırmaq;

8. Məhluldan elektrokimyəvi çökdürmə və termik emal rejimlərinə nəzarət etməklə  $\text{ZnS}/\text{ZnTe}/\text{CdTe}/\text{CdS}$  çoxtəbəqəli heterokeçidləri əsasında yüksək həssaslığa malik fotoqəbuledicilər hazırlanma imkanlarını tədqiq etmək.

### **Tədqiqat metodları.**

Nazik təbəqələrin sulu məhluldan kimyəvi, elektrokimyəvi üsulla alınma metodları, nanohissəciklərin və nanostrukturlu təbəqələrin onların əsasında strukturların volt-ampere, volt-farad xarakteristikalarının, fotokeçiricilik və fotolyüminessensiya spektrlərinin tədqiqi metodları.

### **Tədqiqatın elmi yeniliyi :**

Dissertasiya işinin yerinə yetirilməsindən alınan elmi yeniliklər aşağıdakılardır:

1.  $\text{ZnS}_{1-x}\text{Se}_x$  və  $\text{ZnSe}_{1-x}\text{Te}_x$  nanostrukturlu təbəqələrin yüksək həssaslığını təmin edən optimal tərkib, alınma və termik emal rejimi müəyyən edilmiş, kimyəvi üsulun başqa metodlara nisbətən üstünlüyü göstərilmişdir.

2. Nanostrukturlu  $\text{ZnS}_{1-x}\text{Se}_x$  və  $\text{ZnSe}_{1-x}\text{Te}_x$  təbəqələrində müşahidə olunan fotokimyəvi reaksiyanın mexanizmi müəyyən edilmişdir.

3. Elektrokimyəvi metodla alınmış Si/CdS heterokeçidlərin əsas parametrləri və xarakteristikalarının tədqiqinə əsasən cərəyankeçmə mexanizmi müəyyən edilmişdir. Termik emal nəticəsində heterokeçidin parametrlərin qiymətlərində müşahidə edilən dəyişikliklər keçid oblastında və təbəqələrin səth hissəsində baş verən elektron-molekulyar proseslə bağlı olduğu göstərilmişdir.

4. Müəyyən olunmuşdur ki, elektrokimyəvi metodla alınan p-Si/ $\text{ZnS}_{1-x}\text{Se}_x$  və p-Si/ $\text{ZnSe}_{1-x}\text{Te}_x$  heterokeçidlərin əsas

xüsusiyyətləri bağlayıcı təbəqədə generasiya-rekombinasiya proseslərinin mövcud olması ilə səciyyələnir, volt-farad xarakteristikası isə bu strukturun kəskin anizotip heteroroqetid olduğunu göstərir.

5. Kimyəvi aşılmanın  $p\text{-Si/ZnS}_{1-x}\text{Se}_x$  və  $p\text{-Si/ZnSe}_{1-x}\text{Te}_x$  heteroroqetidlərinin elektrik xassələrinə təsir mexanizmi öyrənilmişdir

6.  $p\text{-Si/ZnS}_{1-x}\text{Se}_x$  və  $p\text{-Si/ZnSe}_{1-x}\text{Te}_x$  heteroroqetidlərinin elektrik xassələrinə S-Se-Te əvəzləməsinin, eləcə də müxtəlif mühit və rejimlərdə termik işlənmənin təsir mexanizmi müəyyən edilmişdir

7. İkitəbəqəli ITO/ZnTe/CdTe heteroroqetidinə nisbətən çoxtəbəqəli ITO/ZnS/ZnTe/CdTe/CdS strukturundan istifadə olunmasının günəş elementləri kimi parametrlərinin effektivliyi və stabilliyi baxımdan daha üstün olduğu göstərilmişdir.

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

Dissertasiya işinin nəzəri və elmi-praktiki əhəmiyyəti aşağıdakı amillərlə müəyyən edilmişdir:

$\text{ZnS}_{1-x}\text{Se}_x$  və  $\text{ZnSe}_{1-x}\text{Te}_x$  nazik təbəqələri əsasında hazırlanmış strukturların iqtisadi cəhətdən sərfəli, eləcə də yüksək effektivliyə malik fotoqəbuledicilər, günəş elementləri, yüksək düzləndirmə əmsalına malik diodlar, spektrin geniş oblastında işləyə bilən optronlar, fotoqəbuledicilər üçün, eləcə də mikro-, nanoelektron elementlərin nanoölçülü hissəcik və nanomaterialların hazırlanmasında istifadə edilə bilməsi imkanları ilə təyin olunur.

### **Müdafiyyə çıxarılan əsas müddəalar.**

1. Nazik əsaslı təbəqələrin  $\text{ZnS}_{1-x}\text{Se}_x$  və  $\text{ZnSe}_{1-x}\text{Te}_x$  fiziki xassələrinin və onların əsasında alınma texnologiyası və termik emal prosesindən asılılığını tədqiq olunmaqla, bizə lazım olan parametrlərə malik təbəqələr almaq üçün optimal şərtlərinin müəyyən edilməsi;

2.  $\text{ZnS}_{1-x}\text{Se}_x$  və  $\text{ZnSe}_{1-x}\text{Te}_x$  nanoquruluşlu təbəqələrində baş verən relaksasiya və rekombinasiya proseslərinin nanozərrəciklərin ölçülərindən asılılıq mexanizmləri;

3. Silisium altlığı üzərində alınmış Si-məs.Si/CdS strukturlarının foto və qaz həssaslığının effektivliyini artırmaq üçün

optimal tərkibi və termik emal rejiminin müəyyənləşdirilməsi;

4. Məhluldan elektrokimyəvi çökdürmə və termik emal rejimlərinə nəzarət etməklə  $p\text{-Si}/\text{ZnS}_{1-x}\text{Se}_x$  və  $p\text{-Si}/\text{ZnSe}_{1-x}\text{Te}_x$  heteroqəçidlərin əsasında yüksək həssaslığa malik fotoqəbuledicilər hazırlanma imkanları;

5.  $\text{KOH} + \text{C}_3\text{H}_8\text{O}$  və  $\text{HF} + \text{HNO}_3$  məhlullarında aşılmanın  $p\text{-Si}/\text{ZnS}_{1-x}\text{Se}_x$  və  $p\text{-Si}/\text{ZnSe}_{1-x}\text{Te}_x$  heteroqəçidlərinin elektrik xassələrinə təsiri;

6.  $p\text{-Si}/\text{ZnS}_{1-x}\text{Se}_x$  və  $p\text{-Si}/\text{ZnSe}_{1-x}\text{Te}_x$  heteroqəçidlərinin elektrik xassələrinə müxtəlif mühit və rejimlərdə termik işlənmənin təsiri;

7. Məhluldan elektrokimyəvi çökdürmə və termik emal rejimlərinə nəzarət etməklə  $\text{ZnS}/\text{ZnTe}/\text{CdTe}/\text{CdS}$  çoxtəbəqəli heteroqəçidləri əsasında yüksək həssaslığa malik fotoqəbuledicilər hazırlanma imkanları.

**İşin aprobeşiyası:** Dissertasiya işinə daxil edilən tədqiqatların nəticələri aşağıda adları qeyd olunan Respublika və Beynəlxalq elmi konfranslarında müzakirə edilmiş və materiallarında dərc olunmuşdur:

1. Riyaziyyatın tətbiqi məsələləri və Yeni informasiya texnologiyaları, həsr olunmuş “Электронные свойства гетеропереходов  $p\text{-Si}/\text{ZnSe}_{1-x}\text{Te}_x$ ”, III Respublika Elmi Konfrans, (Sumqayıt 15-16 dekabr-2016).

2. Turkish Physical Society 30th International Physics Congress-Herodot Cultural Center, “Improvement of photoelectrical parameters of the  $\text{Mo-CuInSe}_2/\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}_{1-y}\text{Se}_y$  flexible solar cells”, (Bodrum/Turkey September 5-9, 2018).

3. Материали конференцій МЦНД, “Determining the effect on heterojunctions by reducing series resistance”, (29.07.2022; Черкаси, Україна).

4. International scientific and practical conference «An integrated approach to science modernization: Methods, Models and Multidisciplinary» 26.08.2022, Vinnytsia, Ukr. - Vienna, Aut.

**Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı.**

Dissertasiya işi Azərbaycan Respublikasının Elm və Təhsil Nazirliyinin Fizika İnstitutunda, Bakı Dövlət Universitetinin Fizika fakültəsinin Yarımkeçiricilər fizikası kafedrasında və Türkiyə

Respublikasının Atatürk Universitetinin “DAYTAM” (Doğu Anadolu Yüksek Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi) mərkəzində yerinə yetirilmişdir.

**Aparılan tədqiqatda iddiaçının şəxsi töhvəsi.** İddiaçı tərəfindən tədqiqatın aktuallığı, əsas məqsədi və qarşıya qoyulan problemin həllinə nail olmaq üçün qoyulan məsələlər göstərilmiş, tədqiqatın istiqamətləri müəyyən olunmuş, onların icrası yerinə yetirilmiş, nəzəri tədqiqatların aparılması müstəqil olaraq həll edilmiş, nəticələrin emalı, sistemləşdirilməsi və müzakirəsi keçirilmişdir. Material seçimi o, cümlədən istifadə edilmiş və yeni axtarış metodları tədqiq edilmişdir.

**Dissertasiyanın strukturu və həcmi.** Dissertasiya işi 164 səhifə çap olunmuş mətnə təqdim olunur, giriş, dörd fəsil, nəticələr, praktik tövsiyələrdən, 42 şəkil və 9 cədvəl və 153 adda ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. Ədəbiyyatda 20 əsər rus dilində, 133 əsər ingilis dilindədir.

Dissertasiya işinin fəsilərinin həcmi-I fəsil 66793, II fəsil 28886, III fəsil 12204, IV fəsil 56317 işarədən olmaqla ümumən 164200 işarədən ibarətdir.

**Nəşr olunma dərəcəsi.** Dissertasiya işinin materialları əsasında 14 elmi iş, o cümlədən, 9 məqalə (onlardan 1-i Web of science və 2-si Scopus bazasında indeksləşən jurnallarda dərc olunub) və 5 tezis çap olunmuşdur.



## İŞİN QISA MƏZMUNU

**Girişdə** mövzunun aktuallığı əsaslandırılmış və işlənmə dərəcəsi təhlil edilmiş, tədqiqatın obyektı və predmeti təyin edilmiş, məqsəd və vəzifələri, metodları müəyyən edilmiş, müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar, tədqiqatın elmi yeniliyi, nəzəri və praktiki əhəmiyyəti izah edilmiş, aprobeasiyası və tətbiqi, dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı təqdim edilmiş, dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda həcmi qeyd olunmaqla dissertasiyanın işarə ilə ümumi həcmi verilmişdir.

**Birinci fəsil**  $A^{II}B^{VI}$  birləşmələrinin bərk məhlullarının nazik təbəqələrinin kimyəvi və elektrokimyəvi çökdürmə üsulu ilə alınması, onların elektrik və fotoelektrik xassələri barədə, habelə müxtəlif texnoloji üsullarla nazik təbəqələr əsasında heterostrukturların hazırlanmasına dair mövcud elektron mənbələrin və dərc edilmiş elmi-texniki ədəbiyyatın müqayisəli icmalından ibarətdir. Heteroqəçidlər və onlarda cərəyankeçmə mexanizmlərinin nəzəriyyəsi verilmişdir. Aparılmış təhlildən müəyyən edilmişdir ki, elektrokimyəvi çökdürmə üsulunun yalnız binar  $A^{II}B^{VI}$  yarımqəçirici nazik təbəqələrinin alınması texnologiyasında çox geniş tədqiq olunmuş, lakin üçqat bərk məhlullarının alınma texnologiyasına isə yetərinə və layiqincə diqqət yetirilməyib. Aparılmış xülasələr və təhlillər nəticəsində,  $ZnS_{1-x}Se_x$  və  $ZnSe_{1-x}Te_x$  təbəqələrinin alınmasının texnoloji üsullarının təkmilləşdirilməsinin, onların dərinləşdirilmiş eksperimental-nəzəri tədqiqatlar əsasında struktur analizinin aparılmasının aktuallığı müəyyən edilmişdir. Həmçinin,  $ZnS_{1-x}Se_x$  və  $ZnSe_{1-x}Te_x$  əsaslı nazik təbəqələrin optik, fotoelektrik və lüminessensiya xassələrinin müəyyən edilməsinin əhəmiyyəti də əsaslandırılmışdır.

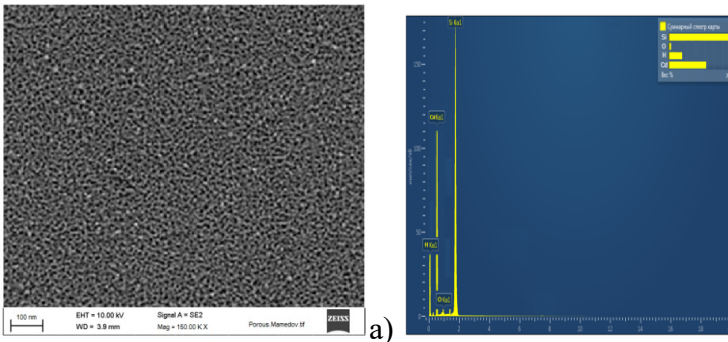
**İkinci fəsildə** Si altlıqlarının aşılınması, səthinin passivləşdirilməsi,  $ZnS_{1-x}Se_x$  və  $ZnSe_{1-x}Te_x$  əsaslı nazik təbəqələrin, kimyəvi və elektrokimyəvi alınma şəraiti tədqiq olunmuşdur.

Sulu məhlullardakı duzların əvvəlcə ayrı-ayrılıqda, daha sonra isə əvvəlki konsentrasiya və pH-turşuluqda qarışığının tsiklik volt-ampere xarakteristikaları (voltamoqramma) tədqiq edilmişdir. Tsiklik voltamoqrammalar xarici gərginliyin  $-1.2 \div +1.2$  V

intervalında həyata keçirilmişdir. Xarakteristikaların ölçülməsi əvvəlcə katoda tətbiq edilən xarici gərginliyin mənfi, sonra isə müsbət qiymətlərində xarici gərginliyin iki müxtəlif istiqamətlərində aparılmışdır.

Elektrolitik aşılama zamanı altlıq olaraq (111) kristallaşma istiqamətinə malik  $\sim 0.2 \div 0.6$  mm qalınlıqlı, 0.01 - 0.09 Om·sm xüsusi müqavimətə malik monokristallik p-Si müstəvi paralel lövhələri istifadə olunmuşdur. Elektrolitik aşılama qabına yerləşdirilməzdən əvvəl p-Si lövhələrinin səthi zəif turşu məhlullarında SiO<sub>2</sub> oksid təbəqəsindən, habelə, çirkənmələrdən təmizlənmişdir. Bu məqsədlə p-Si lövhələri otaq temperaturunda KOH+KNO<sub>3</sub> (1:4) məhlulunda 2 sutka ərzində saxlanılmış, sonra isə ardıcıl olaraq 10%-li HCl turşusunda 3-5 dəq ərzində, təmiz spirtdə və bidistillə olunmuş suda yuyulmuşdur. Bəzi hallarda isə altlıqların yuyulması yüksək temperaturda ( $\geq 300^{\circ}\text{C}$ -də) HCl məhlulunda qısa müddət ərzində aparılmışdır. Bundan sonra lövhələr azot buxarı ilə qısa müddət ərzində qurudularaq HF:etil spirti (1:1) məhlulunun içərisinə salınmışdır. Aşılama zamanı aşağı hissəsində 1 sm<sup>2</sup> sahəli dairəvi və ya kvadrat şəkilli yarığa malik olan silindrik formalı Teflon qabdan istifadə edilmişdir (şəkil 1). P-Si altlıqları katod kimi istifadə edilmiş Al lövhələr üzərinə yerləşdirilmişdir. Aşağı yarıqdan mayenin kənara axmaması üçün Si lövhələr teflon şaybalar vasitəsilə sıxıcıların köməyi ilə qaba kip bağlanmışdır. Anod materialı kimi platin məftildən istifadə olunmuşdur. P-Si-un səthində və məhlulda gərginliyin biricins paylanması üçün platin elektrodların mayeyə daxil olan hissəsi üfqi spiralvari formada hazırlanmışdır. aşılama prosesi zamanı HF+spirt məhluluna 10:1 nisbətində CdCl<sub>2</sub> sulu məhlulu əlavə edilmişdir. ZnCl<sub>2</sub>-nin məhlula əlavə edilməsi qeyri-stabil Si-H kompleks rabitələrinin Si-Zn stabil rabitələri ilə bərabər, Qara-Si-un (QS) əsasında yaradılacaq QS/ZnS strukturlarının bilavasitə həm məsamələrin içərisində, həm də səthində alınması ehtimalını artırır. Müqayisə məqsədilə, dissertasiya işində ZnCl<sub>2</sub> qatqılı (QSCd) və qatqı olmadan alınmış QS əsasında heteroqeyidlər tədqiq edilmişdir. Müqayisə üçün hər iki məhlula eyni anod gərginlikləri-20; 25 və 30 V tətbiq olunmuşdur. Çökdürülmə 40-70 mA

cərəyanda aparılmışdır. Aşılmanın davametmə müddətindən (30-1800 saniyə) və məhluldakı anod gərginliyindən asılı olaraq monokristallik p-Si lövhələrinin səthində 7-80 nm ölçülü məsamələrə malik QS alınmışdır. Anod gərginliyinin artırılması ilə məsamələrin ölçüsünü artırmaq mümkün olmuşdur. Anod cərəyanını sabit saxlamaqla (10-40 mA/sm<sup>2</sup>) anod gərginliyinin 25-30 V-a qədər artırılması aşılmanın xarakterini tamalilə dəyişir. Belə ki, metal ionsuz (Zn) və metal ionu olan mühitdə eyni şəraitdə və müddətdə (30 dəqiqə) 25-30 V gərginlikdə aşılma zamanı monokristallik p-Si-un səthində məsamələr əmələ gəlməsi prosesi sürətlənir.



**Şəkil 1. 30 V aşılma gərginliyində və 40 mA/sm<sup>2</sup> cərəyanda p-Si altlıqları üzərində alınmış QSCD-in səthinin SEM fotosəkli (a) və EDS spektri (b).**

Metal ionsuz mühitdə alınan QS-da məsamələr oval və ya sferik formaya malik olub səthdə qeyri-bircis paylanır. QS təbəqələrindən fərqli olaraq 30 V anod gərginliyində metal mühitində alınan QSCD təbəqələrində məsamələr bircins paylanmaqla bərabər, demək olar ki, yalnız sferik formalı oyuq şəklində formalaşirlar. Anod gərginliyinin növbəti artımı (40 V-a qədər) məsamələrin ölçü və formasını demək olar ki, çox az dəyişir. Məhz gərginliyin səth boyu bərabər paylanması məsamələrin sferik formada formalaşmasına səbəb olur.

Məsamələrin ölçüsünü isə yalnız anod cərəyanın qiymətinin

artırılması ilə idarə etmək mümkün olmuşdur. Belə ki, anod cərəyanının  $70 \text{ mA/sm}^2$ -a qədər artırılması ilə məsələlərin ölçüsünü  $70 \text{ nm}$ -ə qədər artırmaq mümkün olmuşdur.  $30 \text{ V}$  aşılma gərginliyində və  $40 \text{ mA/sm}^2$  cərəyanda p-Si altlıqları üzərində alınmış QSCD-in səthinin SEM fotosəkli (a) və EDS spektri şəkillərdə verilmişdir.

Aşılmadan sonra Si lövhələrinin səthinin passivləşdirilməsi  $10 \text{ Pa}$  təzyiqdə  $6$  dəqiqə müddətində, boşalma gərginliyinin  $600 \text{ V}$  və cərəyan sıxlığının  $1 \text{ mA/sm}^2$  qiymətində həyata keçirilmişdir.

**Üçüncü fəsildə** məhluldan kimyəvi çökdürmə üsulu ilə alınmış,  $\text{ZnS}_{1-x}\text{Se}_x$  və  $\text{ZnSe}_{1-x}\text{Te}_x$  nazik təbəqələrinin elektrik və fotoelektrik xassələrinin təbəqələrin tərkibindən, çökdürülmə və termik emalı rejimlərindən asılılıqları tədqiq edilmişdir.

$4, 6$  və  $8$  saat ərzində formalaşmış nazik təbəqələrin qalınlığın qiyməti müvafiq olaraq  $210, 775$  və  $1375 \text{ nm}$  olmuşdur. Təbəqələrin qalınlığı çökmə vaxtı ilə xətti olaraq artır.  $\lambda = 300\text{-}1100 \text{ nm}$  intervalında olan  $\text{ZnSeTe}$  nazik təbəqələri üçün optik buraxma (T%) və udma əmsallarının (A) tədqiqi təbəqənin qalınlığı ilə optik buraxma arasında korrelyasiya olduğunu göstərir.

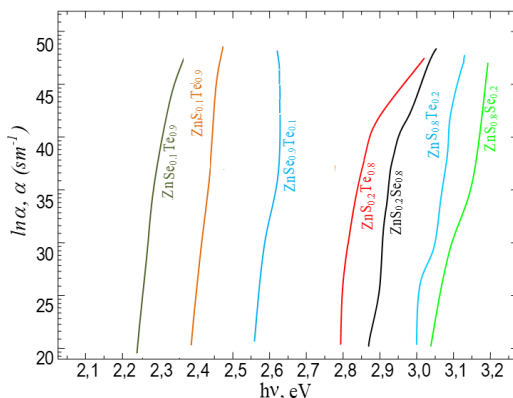
Bundan başqa, o da müəyyən edilmişdir ki,  $300\text{-}330 \text{ nm}$  intervalında digərləri ilə müqayisədə udma zolağının kənarı müvafiq olaraq  $4, 6$  və  $8$  saatlıq çökmə intervalları üçün  $\sim 310, 320$  və  $330 \text{ nm}$ -də yerləşir. Çökmə vaxtı təbəqənin qalınlığının artması sındırma əmsalının artmasına səbəb olur. Müxtəlif təbəqələrin dielektrik sabitlərinin hesablanmasından müəyyən edilmişdir ki, artan təbəqə qalınlığının təsiri ilə çökmə intervalı genişlənir və buna görə də nazik təbəqələrin həqiqi dielektrik keçiriciliyi artır. Bu artımlar nazik təbəqələr üçün əvvəlcədən nəzərə alınacaq qədər gözlənilən artımlardır.

Bu fəsildə  $\text{ZnS}_{1-x}\text{Se}_x$  və  $\text{ZnSe}_{1-x}\text{Te}$  nazik təbəqələrin morfoloji və kristalloqrafik xassələrinin texnoloji və Tİ rejimlərindən asılılığı öyrənilmişdir. Tədqiq olunan nazik təbəqələrin qalınlığı İKP-14 tipli interferometrə və NT-MDT tipli elektron mikroskopunda yoxlanılmışdır. Termik işlənmədən əvvəl və  $360^\circ\text{C}$ -də  $10$  dəq ərzində (TGA ayrılarkən kütlənin dəyişmədiyini hissədə) açıq havada, oksigen və arqon mühitlərində termik işlənmədən sonra

$ZnS_{1-x}Se_x$  və  $ZnSe_{1-x}Te_x$  nazik təbəqələrinin təcrübi ölçmələrdə alınmış optik buraxma əmsalının spektral paylanma əyriləri tədqiq olunmuşdur.

Termik işlənmədən əvvəl,  $360^{\circ}C$ -də 10 dəq ərzində açıq havada, oksigen və arqon mühitlərində termik işlənmədən sonra  $ZnS_{1-x}Se_x$  və  $ZnSe_{1-x}Te_x$  nazik təbəqələrinin təcrübi ölçmələrdə alınmış optik buraxma əmsalının spektral paylanma əyriləri təsvir edilmişdir. Bilavasitə çökdürülmədən sonra  $S-Se$  və  $S-Te$  əsaslı nazik təbəqələrinin spektrin görünən oblastında optik buraxma spektri çox mürəkkəb struktura malik olduğu üçün interpretasiyası çox çətinidir. Bundan fərqli olaraq  $Se-Te$  əsaslı nazik təbəqələrdə ossilyasiyaların intensivliyi o qədər də böyük deyil. Bu da onların bilavasitə çökdürülmədən sonra daha bircins olduğunu və onlarda metal-yarımkeçirici artıqlığının daha az konsentrasiyada olduğunu göstərir.  $S-Se$  və  $S-Te$  əsaslı nazik təbəqələrdə spektrin belə mürəkkəb strukturu həmin təbəqələrin çökdürülmə zamanı ion mübadiləsinin sinxron olaraq baş verməməsi ilə əlaqədar olaraq kristal qəfəsin tam formalaşmaması (qəfəsdə vakansiyaların olması), bircins səthin olmaması ilə izah oluna bilər. Bu cür qeyri-bircinsliklər və səthdəki natamam rabitələrin (tamamlanmaması) oksigenin səthə “çox asanlıqla” absorbsiya etməsinə səbəb olur. Nəticədə açıq havada termiki işlənmə zamanı oksigen molekulları səthdəki izafi metal atomları ilə birləşərək səthdə müxtəlif kimyəvi və faiz tərkibli metal oksidlərinin yaranmasına səbəb olur ki, bu da optik buraxma spektrində udma sərhədinin qısa dalğa uzunluqları tərəfə sürüşməsi ilə nəticələnir. Bu sürüşmə oksigen mühitində termiki işlənmə zamanı özünü daha nəzərəçarpancaq dərəcədə göstərir.  $Te$  əsaslı nazik təbəqələrdə səthin bircinsliyinin artması metal oksidləri ilə əlaqədar olan maksimumların intensivliyini azaldır.  $Se-Te$  əsaslı nazik təbəqələrdə yalnız oksigen mühitində  $T\dot{I}$  zamanı qısa dalğalar oblastında yalnız kiçik meylli hissələr müşahidə olunur. Nümunənin arqon mühitində  $T\dot{I}$ -i zamanı spektrin udma sərhəddinə uyğun hissəsinin meylliliyi kəskin artır ki, bu da onların kristallaşma cəhətdən tam formalaşmasına dəlalət edir. Bu nümunələr kəskin buraxma sərhəddinə malik optik filtrlər (süzgəclər) kimi istifadə edilə bilər.

1000 nm-ə qədər olan dalğa uzunluğu oblastında eyni qalınlıqlı S-Se əsaslı nazik təbəqələrin arqon mühitində termiki işlənmədən sonra optik şəffaflığı ən böyük qiymətə  $\approx 90\%$ -ə bərabər olur. Ümumi halda  $ZnS_{1-x}Se_x$  və  $ZnSe_{1-x}Te_x$  sistemi bərk məhlullarının nazik təbəqələrinin optik şəffaflığı 44 – 90% intervalında dəyişir. Nazik təbəqələrin optik buraxma əmsalının qiymətinin kifayət qədər böyük qiymətə malik olması, onlardan günəş enerjisi çeviricilərinin hazırlanmasında istifadə etməyə imkan verir. Müxtəlif tərkibli  $ZnS_{1-x}Se_x$  və  $ZnSe_{1-x}Te_x$  nazik təbəqələri üçün  $(\hbar\omega - E_g)^2$ -nin fotonun enerjisindən asılılıq qrafiklərinin  $\hbar\omega$  oxuna ekstrapolyasiyası üsulu ilə nazik təbəqələrin qadağan olunmuş zolağının eni ( $E_g$ ) hesablanmışdır. Bu asılılıqlar udma sərhədində xətti qanuna tabedir ki, bu da öz növbəsində nazik təbəqələrin tədqiq edilən bütün tərkiblərinin düz zolaqlı struktura malik olduğunu göstərir.

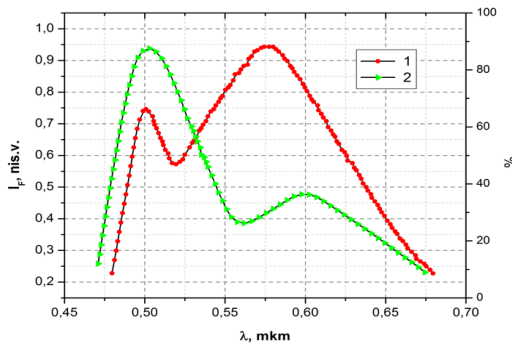


**Şəkil 2. Müxtəlif tərkibli  $ZnS_{1-x}Se_x$  və  $ZnSe_{1-x}Te$  nazik təbəqələri üçün Urbax eksponensial sərhədi.**

Şəkil 2- də tədqiq etdiyimiz nazik təbəqələr üçün  $\ln\alpha \sim \hbar\omega$  asılılığı qurulmuşdur. İşdə Veqard qaydasından istifadə edərək, müxtəlif tərkibli  $ZnS_{1-x}Se_x$  və  $ZnSe_{1-x}Te$  nazik təbəqələrinin qadağan olunmuş zolağının eninin qiyməti hesablanmış və bu qiymətlər, optik ölçmələrdən alınan qiymətlərlə müqayisə edilmişdir nazik təbəqələrin qadağan olunmuş zolağının eni Veqard

qaydasına tabedir və ifadə əsasında hesablanmış qiymətlərə demək olar ki, 0,02% dəqiqliklə bərabərdir.

Bu fəsilə anion və kation əvəzlənməsindən asılı olaraq  $A^2B^6$  bərk məhlullarının nazik təbəqələrində fotokimyəvi reaksiyanın (FKR) xüsusiyyətləri, onların çökdürülməsi və termik emalının (TE) texnoloji rejimləri nəzərdən keçirilmişdir.  $ZnS_{1-x}Se_x$  ( $0,45 < x < 0,6$ ) nazik təbəqələri tədqiq edilərkən fətohəssaslığın dəyişməsinə səbəb olan fotostimullaşdırılmış proseslər aşkar edilmişdir. Məlum olmuşdur ki,  $ZnS_{1-x}Se_x$  nazik təbəqələr görünən işıqla fasiləsiz işıqlandırılmaqla  $350 \div 400$  K temperaturundan 80 K-ə qədər yavaş soyudulduqdan sonra, 80 K temperaturda stasionar fotocərəyan nümunələr qaranlıqda soyudularkən müşahidə olunan fotocərəyandan  $80 \div 100$  dəfə çoxdur.



**Şəkil 3. 80 K-də  $ZnS_{1-x}Se_x$  nazik təbəqələrində fotocərəyanın spektral paylanması: 1- qaranlıqda 300 K-dən soyudulduqdan sonra; 2 - görünən işıqla işıqlandırma zamanı.**

Havada  $10 \div 15$  dəqiqə ərzində TE-dan sonra  $ZnS_{1-x}Se_x$  ( $x=0,2$ ) nazik təbəqələrində həssaslandırılan FKR müşahidə olunmuşdu, onun aktivləşmə enerjisi  $0,15 \div 0,18$  eV təşkil edirdi. Həssaslandırılmamış (1 əyrisi) və həssaslandırılmış (2 əyrisi) nazik təbəqələr üçün fotocərəyanın spektral paylanması qrafik 2-də göstərilmişdir. Havada  $10 \div 15$  dəqiqə ərzində TE-dan sonra  $ZnS_{1-x}Se_x$  nazik təbəqələrində həssaslandırılan FKR müşahidə olunmuşdu, onun aktivləşmə enerjisi  $0,17 \div 0,21$  eV təşkil edirdi. Başlanğıc hal

nazik təbəqəni qaranlıqda 200 ÷ 300 K temperatur oblastında saxladıqdan sonra bərpa olunurdu.

Termik emaldan keçməmiş  $ZnS_{1-x}Se_x$  nazik təbəqələrinin ftohəssaslığının belə dəyişməsi daha əvvəllər aşkar olunmuşdur və fərz olunurdu ki, o, elektronların sinkin vakansiyası ilə şərtlənən r-mərkəzləri tərəfindən tutulması ilə bağlıdır.  $x = 0.2$  və  $0.8$  tərkibli nazik təbəqələr üçün bu mərkəzlərin uyğun ftohəssaslıq piklərinin uzundalğalı sərhədlərinə görə müəyyən edilmiş keçiricilik zonasının dibinə nəzərən dərinlikləri müvafiq olaraq 1.57 və 1.38 eV təşkil edir. 380–400 °S temperaturda 3-7 dəqiqəlik TE-dan sonra öyrənilən nazik təbəqələrin ftohəssaslığı əhəmiyyətli dərəcədə böyüyür. TE-dan sonra tədqiq edilən nazik təbəqələrin ftohəssaslıq spektri daha uzundalğalı tərəfə genişlənir və  $\lambda_2=0.95-1.19$  mkm-də aydın ifadə edilmiş əlavə maksimum meydana çıxır. Bişirmə müddəti artırıldıqca ( $3 \leq \tau \leq 7$  dəq) birinci maksimumun intensivliyi azalır, ikincininiki isə böyüyür. 7 dəqiqəlik termik emaldan sonra spektrdə birinci maksimum demək olar ki, yox olur, ikincinin intensivliyi isə öz maksimal qiymətinə çatır. TE-dan sonra  $\lambda_2=0.95-1.19$  mkm-də  $ZnS_{1-x}Se_x$  nazik təbəqələrinin ftohəssaslıq spektrində tərəfimizdən müşahidə edilən əlavə maksimum, öyrənilən nazik təbəqələrdə donor-akseptor cütlərin  $(V_{Zn} - Zn_i)^+$  parçalanması səbəbindən yeni fotoaktiv mərkəzlərin daxil edilməsinə dəlalət edir.

**Dördüncü fəsilə**  $CdS$ ,  $ZnS_{1-x}Se_x$  və  $ZnSe_{1-x}Te$  əsaslı heterostrukturular tədqiq edilmişdir. Si-CdS heteroqəçidinin elektrik və fotoelektrik xassələri kristalit və məsamə ölçüsündən asılı olaraq tədqiq edilmişdir. Stasionar I-V xarakteristikası tədqiq olunan heteroqəçidin düzləndirmə xassələrinə malik olduğunu müəyyən etməyə imkan verdi. Düzləndirmə əmsalı məsamələrin ölçüsünü 7,4-dən 10 nm-ə qədər artması ilə 180-dən 1100-ə qədər artır. Məsamə ölçülərinin daha da artması düzləndirmənin kəskin azalmasına səbəb olur (~12÷15). Kristalit və məsamələrin ölçüsündən asılı olaraq heteroqəçidin foto və qaz həssaslığı tədqiq edilmişdir. Məsamələrin ölçüsü 7,4 olan heteroqəçidlər üçün  $U=1$  V-də birbaşa cərəyanın asılılığı; 10 və 30 nm, müxtəlif qazların (oksigen, azot, metan və etanol buxarı) konsentrasiyası üzərində



tədqiq edilmişdir. U= 1 V-də birbaşa cərəyan müxtəlif konsentrasiyalı havada ölçüldü. 10 nm olan heteroqeyidlərdə birbaşa cərəyan dəyişməyib, 30 nm hetero-qeyidlərdə isə artan hava konsentrasiyası ilə azalıb

Tədqiqat zamanı altlıq kimi (0.8-1) Om·sm xüsusi müqavimətə malik 800 mkm qalınlıqlı monokristallik *p-Si* <100> lövhələrindən istifadə edilmişdir. İşdə tədqiq olunan *p-Si/ZnS<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub>* heteroqeyidləri 520-530 nm qalınlıqlı *ZnS<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub>* (x=0; 0.1; 0.2) nazik təbəqələrini müxtəlif konsentrasiyalı *KOH+Spirt* və *HF+HNO<sub>3</sub>* məhlullarında aşılənmiş *p-Si* lövhələri üzərində sulu məhluldan elektrokimyəvi çökdürülmə üsulu ilə almaqla hazırlanmışdır. Heteroqeyidlərin elektrik xassələri *KOH+Spirt* və *HF+HNO<sub>3</sub>* məhlullarında aşılmanın davam etmə müddətindən, məhlulun temperaturundan və qatqıların məhluldakı konsentrasiyasından (*KOH* və *HF* (1-5 wt%); *Spirt* və *HNO<sub>3</sub>* (3-10 vol%) asılı olaraq tədqiq edilmişdir.

### Cədvəl 1.

#### Si lövhələrinin *KOH+C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O* məhlulunda aşılma rejimləri

Nüm.	<i>KOH</i> k.wt%	<i>C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O</i> k. vol%	<u>M. k.</u> °C	Aş.m. dəq.
SK1	1	3	80	20
SK2	1	3	80	30
SK3	2	6	80	30
SK4	3	6	80	40
SK5	3	10	90	50
SK6	5	10	80	60

Qeyd: Nüm.-nümunələr; *KOH* k.-*KOH* konsentrasiyası; *C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O* k.- *C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O* konsentrasiyası; M.k.- məhlulun konsentrasiyası °C; Aş.m.-aşılma müddəti

*KOH + C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O* (cədvəl 1 -də SK nümunələri) və *HF+HNO<sub>3</sub>* (cədvəl 2-də SH nümunələri) məhlulunda aşılma silisiumun səthidə piramidaların (və ya çuxurların) meydana gəlməsinə səbəb olur ki, onların da morfolojiyası və ölçüsü məhlulun temperaturundan, konsentrasiyasından və aşılma müddətindən asılıdır.

Səthdəki piramidalar 20-30 dəq. ərzində aşılmadan sonra

aydın görünməyə başlayır (*SK1, SK2, SK3, SH1, SH2 və SH3*). Ona görə də dissertasiya işinin bu fəslində məhz  $\geq 20$  dəq müddətləri ərzində aşılınmış silisium (*Si*) əsasında heteroqecidlər tədqiq edilmişdir. 20-30 dəq. ərzində aşılınma *Si*-nin səthində yalnız qeyri-bərabər paylanmış piramidaların əmələ gəlməsinə səbəb olur. Müəyyən edilmişdir ki, çuxurların və piramidaların paylanmasını əldə etmək üçün məhlulun konsentrasiyasına nəzarət etmək lazımdır. Başqa bir praktiki əhəmiyyət 40 dəq. ərzində aşılınmadan sonra aşkar edilmişdir. Belə ki, yalnız bu müddətə *Si*-nin (nümunə *SK4* və *SH4*) səthi nisbətən bərabər paylanmış piramidalarla (və ya çuxurlarla) örtülür ki, bu da günəş elementlərinin parametrlərinin stabilliyinin artırılması üçün çox vacib şərtlərdən sayılır (cədvəl 1 və cədvəl 2).

## Cədvəl 2.

### Si lövhələrinin HF+HNO<sub>3</sub> məhlulunda aşılınma rejimləri

Nüm.	HF k.wt, %	HNO <sub>3</sub> k vol,%	M. k. °C	Aş.m., dəq.
SH1	1	3	80	20
SH2	2	3	80	30
SH3	3	6	80	30
SH4	5	8	80	40
SH5	6	9	90	50
SH6	5	10	80	60

Qeyd: Nüm.-nümunələr; HF k. HF konsentrasiyası; HNO<sub>3</sub> k.- HNO<sub>3</sub> konsentrasiyası; M.k.- məhlulun konsentrasiyası °C; Aş.m.-aşılınma müddəti.

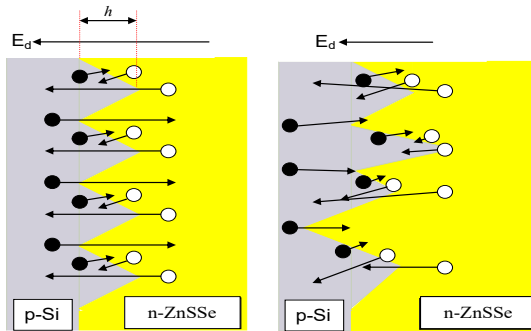
Qaldı ki, məhlullun konsentrasiyasının, müddət və temperaturunun sonrakı artımlarına (*SK5, SK6, SH5* və *SH6* nümunələri), burada: *Si* lövhələrinin səthinin morfolojiyasında heç bir başqa dəyişiklik aşkar edilməmişdir.

Bütün tip heteroqecidlər diodlara xas olan düzləndirmə nümayiş etdirir və düzləndirmə istiqaməti *p-Si*-də xarici gərginliyin müsbət istiqamətinə uyğundur. *p-Si* və *n-ZnS* yarımkeçirici materiallarının qəfəs parametrlərinin kifayət qədər yaxın olmasına baxmayaraq (uyğun olaraq 5.431 Å və 5.410 Å), *ZnS* nazik

təbəqələrinin xüsusi müqavimətinin böyük olması, aşılammamış *p-Si* əsasındakı heterokeçidlərdə yaxşı düzləndirmə əldə etməyə imkan vermir ( $k=50-80$ ).

Digər tərəfdən silisiumun səthində müxtəlif cür texnoloji üsullarla praktiki olaraq, aradan qaldırılması mümkün olmayan  $SiO_x$  tipli oksid qatının (adi otaq temperaturunda bu təbəqənin qalınlığı 50-200 Å-ə qədər çata bilər) olması düzləndirmənin yaxşı olmamasını təsbit edən səbəblərdən biridir. Lakin, təklif edilən metodikada  $KOH + C_3H_8O$  məhlulu ilə cüzi aşılama təsiri ilə səthdəki nənki arzuolunmaz oksid təbəqəsinin silinməsinə, hətta keçid oblastında müxtəlif tipli nano- və ya mikro- heterokeçidlərin yaranmasına da nail olunmuşdur.

Nəticə etibarlı ilə, yekun matrisin bütün parametrləri bu cür kiçik ölçülü heterokeçidlərin parametrləri ilə müəyyənəşir.



**Şəkil 4. Piramida və oval teksturalı heterokeçidlərdə keçid oblastının sxematik təsviri**

*p-Si/ZnS* heterokeçidlərində cərəyanın daşınmasında termo-emissiya mexanizmi üstünlük təşkil edir. Aşılammamış *p-Si/ZnS* heterokeçidlərində VAX-nın qeyri-ideallıq əmsalı  $A=2.4$  ( $U=0.5-0.88$  V) və  $A=4.3$  ( $U \geq 0.89$  V) təşkil edir. VAX-ın qeyri-ideallıq əmsalının kifayət qədər böyük olması əslində, deyildiyi kimi, *ZnS* nazik təbəqələrinin xüsusi müqavimətinin nisbətən böyük və *Si*-nin

səthindəki  $SiO_2$  (və ya  $SiO$  tipli oksid layının) olmaları  $A$ -nın qiymətinin böyük olmasının səbəbidir. Əlbəttə ki, ardıcıl müqavimət kifayət qədər kiçik olsaydı və oksid qatı olmasaydı VAX düzünə istiqamətdə yalnız eksponensial qanuna tabe olmalı və  $A=1$  olmalı idi. Kiçik xarici gərginliklərdə  $U_a = IR_a \ll U$  olduğundan kiçik gərginliyin əsas hissəsi keçidə düşür, ona görə də VAX eksponensial asılılıq nümayiş etdirir ( $A \approx 1$ ).

**Cədvəl 3.**

**$p$ -Si/ $ZnS_{1-x}Se_x$  heteroqəçidlərinin elektrik parametrləri**

Nümunələr	k (düzəltmə əmsali)	R (Om·sm xüsusi müqavimətə)	A (qeyri-ideallıq əmsali)
aşılmamış $p$ -Si/ $ZnS$	90	2200	2.4 və 4.3
$p$ -Si/SK1/ $ZnS$	180	700	2.0
$p$ -Si/SK2/ $ZnS$	280	340	2.0
$p$ -Si/SK4/ $ZnS$	600	95	1.58
$p$ -Si/SK4/ $ZnS_{0.9}Se_{0.1}$	1790	16	1.4
$p$ -Si/SK4/ $ZnS_{0.8}Se_{0.2}$	1200	64	1.6
$p$ -Si/SH1/ $ZnS$	100	950	2.7
$p$ -Si/SH2/ $ZnS$	190	670	2.6
$p$ -Si/SH4/ $ZnS$	480	210	2.0
$p$ -Si/SH4/ $ZnS_{0.9}Se_{0.1}$	1400	48	1.7
$p$ -Si/SH4/ $ZnS_{0.8}Se_{0.2}$	900	124	1.9

Xarici gərginliyin artması ilə ardıcıl müqavimətə düşən gərginlik artır və eyni zamanda sərbəst yükdaşıyıcıların oksid təbəqədə tutulması baş verir. Bu da keçid oblastında rekombinasiya aktlarının artması ilə VAX-ın qeyri-ideallıq əmsalının böyük qiymət almasına səbəb olur.

Aşılmanın optimal rejiminin seçilməsinə baxmayaraq  $ZnS$  nazik təbəqələrinin xüsusi müqavimətinin hətta aşqarlanma ilə kifayət qədər azaldıla bilinməməsi səbəbindən onlar əsasındakı

heterodiodlar o qədər də yaxşı düzləndirmə nümayiş etdirmir. Bu səbəbdən dissertasiya işində *ZnS-ZnSe* və *ZeSe-ZnTe* sistemlərinin bərk məhlullarının nazik təbəqələri istifadə edilmişdir. *ZnS*-ə çüzi miqdarda *Se*-nin əlavə edilməsi (20%) düzləndirmə əmsalının qiymətinin  $k=1800-2000$ -ə qədər artırmağa imkan vermişdir.

**Cədvəl 4.**

***p-Si/ZnSe<sub>1-x</sub>Te<sub>x</sub>* heteroqeyidlərinin elektrik parametrləri**

Nümunələr	k (düzləndirmə əmsalı)	R ( $\Omega\cdot\text{sm}$ xüsusi müqavimət)	A (qeyri-ideallıq əmsalı)
Aşılanmamış <i>p-Si/ZnSe<sub>0.8</sub>Te<sub>0.2</sub></i> Tİ-dən əvvəl	25	1700	2.5
Aşılanmamış <i>p-Si/ZnSe<sub>0.8</sub>Te<sub>0.2</sub></i> Tİ-dən sonra	1280	140	1.8-2.0
<i>p-Si/SK2/ZnSe<sub>0.8</sub>Te<sub>0.2</sub></i>	1600	80	1.5
<i>p-Si/SK4/ZnSe<sub>0.8</sub>Te<sub>0.2</sub></i>	2500	34	1.2
<i>p-Si/SH4/ZnSe<sub>0.8</sub>Te<sub>0.2</sub></i>	2200	60	1.2

Əslində *Se*-nin miqdarının artırılması ilə xüsusi *ZnS-ZnSe* sistemi nazik təbəqələrinin müqavimətini azalmaqla və beləliklə də, heteroqeyidlərin düzləndirməsini artırmaq olardı. Lakin *Se*-nin mol miqdarının  $x=0.2$ -yə qədər artırılması *Si* və *ZnS<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub>*-nin qəfəs parametrləri arasındakı uyğunsuzluğun artmasına və nəticədə keçid oblastında defektlərin konsentrasiyasının artmasına səbəb olur. Bu da onlar əsasında heteroqeyidlərin parametrlərinin yenidən pisləşməsinə gətirir.

*Si-CdS* heteroqeyidlərin elektrik və fotoelektrik xassələri kristalit və məsamə ölçüsündən asılı olaraq tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki,  $U = 1$  V-də təyin olunan düzləndirmə əmsalının (K) qiyməti və cərəyankeçirmə mexanizmi məsamələrin və kristalitlərin ölçülərindən asılıdır.

Düzləndirmə istiqaməti *c-Si-də* xarici gərginliyin müsbət

polaritesinə uyğundur. II xarakteristikadan göründüyü kimi, məsamə ölçüsünün 8-11 nm-dən 10-16 nm-ə artması ilə,  $U = 1$  V-da rektifikasiyanın 82-dən 1100-ə qədər artması müşahidə olunur. A. məsamə ölçülərinin daha da artması düzləndirmə əmsalının kəskin azalmasına səbəb olur ( $K = 30-40$ ). 0,82 V potensialda *c-Si/PS*-də (məsamələrin ölçüsü 7,4; 10 və 30 nm) yerləşdirilən *CdS* təbəqələrinin kristallitlərinin ölçüsü silisiumun məsamə ölçüsünü seçməklə idarə oluna bilər.

*CdS* təbəqələri məsamələrin ölçüsünü 10-dan 30 nm-ə qədər artıraraq nanodənəli teksturanı göstərir. Kristallit və məsamələrin ölçüsündən asılı olaraq heteroqovşaqların foto və qaz həssaslığı tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, düzləndirmə əmsalının qiymətləri və cərəyankeçirmə mexanizmi məsamələrdən və kristallitin ölçüsündən asılıdır. Keçid istiqaməti *c-Si* təbəqələrində xarici gərginliyin müsbət qütbə birləşdirilməsinə uyğundur. Düzləndirmə əmsalı məsamələrin ölçüsünü 7,4-dən 10 nm-ə qədər artıraraq 180-dən 1100-ə qədər artır. Məsamə ölçülərinin daha da artması düzləndirmənin kəskin azalmasına səbəb olur ( $\sim 12 \div 15$ ).

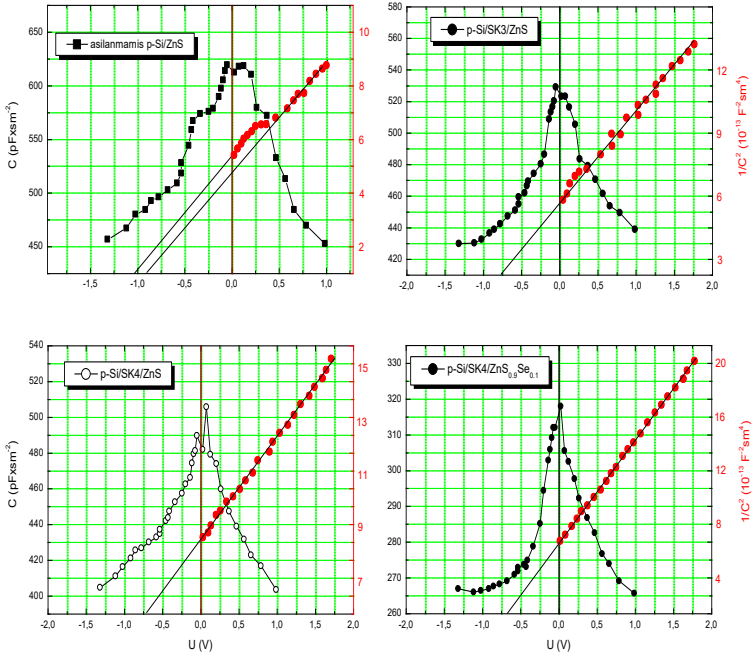
Müəyyən edilmişdir ki, adsorbsiya dərəcəsi məsamələrin ölçüsündən asılıdır. Bu faktı təsdiqləmək üçün heteroqovşadlıqda 50-70°C-də qızdırılıb və J-V xarakteristikaları vakuumda götürülüb. Müəyyən edilmişdir ki, məsamə ölçüsü 7,4 və 10 nm olan heteroqovşaqlarda rektifikasiya demək olar ki, dəyişməz qalmışdır.

Ümumi halda, çökdürülmə potensialının müxtəlif qiymətlərində alınmış heteroqovşadlıqların düzünə istiqamətdə VAX-nı:

$$U_a = I_0 e^{-\frac{eU}{AkT}} \quad (1)$$

ifadəsi ilə müəyyən edilən eksponensial qanunla təsvir etmək olar. Burada,  $I_0$ - əksinə doyma cərəyanı,  $e$ - elektronun yükü,  $U$ - tətbiq olunmuş xarici gərginlik,  $k=8.7 \cdot 10^{-5}$  eV/K - Bolsman sabiti,  $T$ - mütləq temperatur və  $A$ - VAX-ın qeyri-ideallıq əmsalıdır.

Müəyyən olunmuşdur ki, heteroqovşadlıqların düzləndirmə əmsalının nazik təbəqələrin tərkibindən asılılığı qeyri-monotondur.



**Şəkil 5. Müxtəlif rejimlərdə aşılınmış SK altlıqları əsasında  $p\text{-Si/SK/ZnS}_{1-x}\text{Se}_x$  heteroqəçidlərinin otaq temperaturunda  $f = 60$  kHs tezlikdə VFX-1.**

Digər tərəfdən,  $\text{ZnSe}_{1-x}\text{Te}_x$  nazik təbəqələrində xüsusi elektrik müqavimətinin təbəqələrin tərkibindən asılılığı da qeyri-monoton xarakterlidir. Bu effekt də özünü heteroqəçidlərin ardıcıl müqavimətinin ( $R_s$ ) təbəqələrin tərkibindən asılılığında da biruzə verir. Heteroqəçidlərdə ardıcıl müqavimət VAX-ın düzünə hissəsindən  $dU/dI=f(U)$  asılılıq qrafikində xətti hissənin ordinat oxuna aproksimasiyası üsulu ilə hesablanmışdır.  $x \neq 0.6$  tərkibli heteroqəçidlərdə  $\ln I = f(U)$  asılılıqları iki hissədən ibarətdir və xətti hissələrin meyli temperaturdan kəskin asılıdır. Qrafiklərin iki hissədən ibarət olması qəfəs parametrləri uyğunsuzluğu və çökdürülmə zamanı təbəqələrin həcmində və səthində qalan metal hidrokisidlərin olmasını bir daha təsdiq edir.  $x=0.6$  tərkibli heteroqəçidlərdə  $\ln I = f(U)$  asılılıq

qrafiklərində yalnız bir meyilli hissə müşahidə edilir.  $ZnSe_{1-x}Te_x$  və  $p$ - $Si$ -nin qəfəs parametrlərinin uyğun olması digər tərkiblərdə müşahidə edilən ikinci hissənin aradan qalxmasına səbəb olur.  $ZnSe_{1-x}Te_x$  və  $p$ - $Si$ -nin qəfəs parametrlərinin uyğunsuzluğu ilə əlaqədar olan səth hallarının konsentrasiyasını hesablamış və bu  $N_d \approx 6 \times 10^{13} \text{ sm}^{-3}$  təşkil etmişdir. Həmçinin  $x=0.6$  tərkibli heteroqəçidlərdə  $lnI=f(U)$  asılılıq qrafiklərinin meylinin temperaturdan demək olar ki, çox zəif asılı olması onlarda çoxpilləli tunel-rekombinasiya emissiya cərəyanlarının üstünlük təşkil etməsini göstərir. Hətta qəfəs parametrləri arasındakı uyğunsuzluq hesabına yaranan defektlərin  $x=0.6$  tərkibli heteroqəçidlərdə minimum olmasına baxmayaraq, qeyri-ideallıq əmsalının böyük olması ( $n=1.7$ ) keçid oblastında reaksiya məhsulları və oksigenlə bağlı olan defektlərin konsentrasiyasının kifayət qədər olmasına dəlalət edir. Heteroqəçidlərdə çəpər tutumu da defektlərin konsentrasiyası ilə müəyyən olunur.  $x \neq 0.6$  tərkibli heteroqəçidlərin  $C^{-2} = f(U)$  miqyasında volt-farad xarakteristikaları nisbi olaraq xətti qanuna tabe olmaqla bir neçə meyilli hissələrdən ibarətdir. Bu tip heteroqəçidlərdə həm elektrik tutumunun qiyməti xarici sahənin tezliyindən asılıdır, həm də onlarda kontakt potensialları fərqi ( $V_c$ ) VAX və VFX-dan tapılmış qiymətləri bir-birindən fərqlənir. Bununla bərabər heteroqəçidlərdə  $C^{-2} = f(U)$  miqyasında volt-farad xarakteristikaları demək olar ki xətti qanuna tabedir və elektrik tutumunun qiyməti digərlərinə nisbətən kiçik olmaqla bərabər tezlikdən zəif asılıdır. Bu tip heteroqəçidlərdə VFX-nın  $C^{-2} = f(U)$  miqyasında xətti qanuna tabe olması onların keçid oblastının sərhəddinin kəskin olmasına dəlalət edir. VFX-da müşahidə edilən nisbi kənarçıxmalar qəfəs parametrləri uyğunsuzluğunun həll olunmasına baxmayaraq, metal hidroksidlərinin qalmasını göstərir.

Dissertasiya işində məhz tutum-tezlik spektroskopiyasından istifadə etməklə keçid oblastındakı defektlərin enerji dərinliyi və təbiəti müəyyən edilmişdir. Keçid oblastının tutum spektroskopiyası metodları içərisində isə tutum-tezlik-temperatur spektroskopiyası metodları daha geniş tətbiq olunur və keçid oblastının daha dəqiq diaqnostikasını aparmağa imkan verir.

Oksigen mühitində Tİ-dən sonra hər iki səviyyənin boşalması ilə əlaqədar olaraq xarakteristikalarda müşahidə edilən enmə hissələrinin



hündürlüyü də azalır və  $x=0.6$  tərkibli heteroqeyidlərdə pillələr demək olar ki, müşahidə edilmir. Buradan belə nəticəyə gəlmək olar ki, nazik təbəqələrdə texnoloji proses zamanı və sonradan oksigenin səthə daxil olması ilə yaranan rekombinasiya mərkəzləri idarə oluna biləndir, yəni onların konsentrasiyasını və aktivləşmə enerjisini təbəqələrin tərkibini və termik işlənmə rejimini seçməklə idarə etmək olar.

Tədqiq olunan  $p\text{-Si/ZnSe}_{1-x}\text{Te}_x$  nazik təbəqələri əsasında heteroqeyidlərdə fətohəssaslıq katod potensialı ilə yanaşı, həm də təbəqənin qalınlığı ilə müəyyən olunur. Heteroqeyidlərdə ardıcıl müqavimətin kiçildilməsi üçün tətbiq edilən üsullardan biri də kontakta gətirilmiş bufer təbəqənin qalınlığını optik qanunları nəzərə almaqla mümkün qədər kiçiltmək lazımdır. Lakin nəzərə alsaq ki, təbəqədə işığın udulmasının dərəcəsi təbəqənin qalınlığından qeyri-monoton asılıdır. Deməli, ümumi halda effektivliyin artırılması üçün təkcə elektrik deyil, həm də optik xassələr də mütləq nəzərə alınmalıdır. Ona görə də maksimal effektivliyin əldə edilməsi üçün konkret materiala görə konkret qalınlıq seçilməlidir. Çökdürülmə potensialının optimal qiymətində hazırlanmış bütün tərkib heteroqeyidlər bilavasitə çökdürülmədən sonra fətovoltaik effekt nümayiş etdirir və fətoqərginliyin işarəsi bütün fətohəssaslıq oblastında dəyişmir. Elektrik parametrlərində olduğu kimi, maksimal fətoelektrik parametrləri  $x=0.6$  tərkibli nazik təbəqələr əsasında heteroqeyidlərdə əldə edilmişdir.

Oksigen mühitində optimal rejimdə ( $600^{\circ}\text{C}$  temperaturda 15 dəq.) termik işlənmədən sonra heteroqeyidlərin keçid oblastının rekonstruksiyası və nazik təbəqələrin səthində və həcmində baş verən elektron-molekulyar proseslər (rekristallaşma, metal hidrosidlərinin parşalanması, oksigenin desorbsiyası və s.) nəticəsində keçidin yenidən formalaşması qısa qapanma cərəyanının ( $J_{\text{qq}}$ ) və boşuna işləmə gərginliyinin ( $U_{\text{ad}}$ ) qiyməti də nəzərə çarpacaq dərəcədə dəyişirdi. Bu zaman heteroqeyidlərin elektrik parametrlərində olduğu kimi fətoelektrik parametrləri də Tİ-nin yalnız konkret rejimində yaxşılığa doğru dəyişir. Onu da qeyd edək ki, 5 il ərzində heteroqeyidlər maksimum 0.01% deqradasiya nümayiş etdirir ki, bu da onlardan stabil və ən əsası ətraf mühitə zərərsiz bir fətoqeyirici kimi istifadə etməyə imkan verir.

## NƏTİCƏ

1.  $ZnS_{1-x}Se_x$  və  $ZnSe_{1-x}Te_x$  nanostrukturulu təbəqələrin yüksək həssaslığının təmin etməkdən ötrü optimal tərkib müəyyən edilmiş, alınma texnologiyası və termik emal prosesinin rejimləri aşkarlanmışdır;

2. Müxtəlif tərkibli  $ZnS_{1-x}Se_x$  və  $ZnSe_{1-x}Te_x$  nazik təbəqələri üçün qadağan olunmuş zolağının eni ( $E_g$ ) hesablanmışdır. Bu asılılıqlar udma sərhədində xətti qanuna tabedir ki, bu da öz növbəsində nazik təbəqələrin tədqiq edilən bütün tərkiblərinin düz zolaqlı olduğunu göstərir.

3.  $ZnS_{1-x}Se_x$  nazik təbəqələrində müşahidə olunan fotokimyəvi reaksiya, konsentrasiyası təbəqənin təkibi və TE şəraiti ilə təyin olunan  $(V_{Zn} - Z_n)_+$  donor-akseptor çütlüyünün yaranıb parçalanması ilə bağlıdır.

4.  $KOH + C_3H_8O$  və  $HF+HNO_3$  məhlullarında aşılama nəticəsində p-Si/ $ZnS_{1-x}Se_x$  və p-Si/ $ZnSe_{1-x}Te_x$  heteroqəçidlərinin düzləndirmə əmsalı uyğun olaraq  $k=1800$  və  $k=2500$  -ə çatır.

5. Müəyyən olunmuşdur ki, elektrokimyəvi metodla alınan p-Si/ $ZnS_{1-x}Se_x$  və p-Si/ $ZnSe_{1-x}Te_x$  heteroqəçidlərin əsas xüsusiyyətləri bağlayıcı təbəqədə generasiya-rekombinasiya proseslərinin mövcud olması ilə səciyyələnir, volt-farad xarakteristikası isə bu strukturun kəskin anizotip heteroqəçid olduğunu göstərir.

6. p-Si/ $ZnS_{1-x}Se_x$  və p-Si/ $ZnSe_{1-x}Te_x$  heteroqəçidlərində cərəyan-keçmənin termoelektron mexanizmi termik emal nəticəsində generasiya-rekombinasiya mexanizminə çevrilmişdir.

7. Şüşə/ITO/ $ZnS/ZnTe/CdTe/CdS$  strukturunda enli zolaqlı amorf  $ZnS$  təbəqəsindən bufer qatı kimi istifadə olunması bu strukturların günəş elementi kimi bütün parametrlərini əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşdırır və ikitəbəqəli ITO/ $ZnTe/CdTe/CdS$  strukturlara nisbətə çoxtəbəqəli strukturlardan istifadə olunmasını daha üstün və məqsədə uyğun olduğunu göstərir.

## Dissertasiya işinin mövzusu üzrə dərc edilmiş elmi əsərlər:

1. Nəsirov E.F., Cahangirova S.A., Khanmamedova E.A. Фотохимическая реакция в наноразмерных пленках твердых растворов  $A^2B^6$ , осажденных из раствора. Российская Федерация, г. Воронеж, Конденсированные среды и межфазные границы, том 15, № 3, 2013, стр.266-271.
2. Cəfərov M.Ə., Nəsirov E.F., Khanmamedova E.A. Preparation of nanosized  $A^2B^6$  Compound Multilayer Structures for Solar Cell, Universal Journal of Physics and Application 1(2): 2013, p.125-129.
3. Jafarov M.A., Hasanov I.S., Mamedov H.M., Khanmamedova E.A. Electrical and photoelectrical properties of heterojunctions p-Si/ZnSe<sub>0.8</sub>Te<sub>0.2</sub>, prepared by the method of electrochemical deposition Massachusetts Review of Science and Technologies, 2016, № 1(13), (January - June). Volume VII, "MIT Press", 2016. - 940 p., Source Normalized Impact per Paper (SNIP): 5.256, SCImago Journal Rank (SJR): 5.578, Vol. VII, 2016, p 753-758.
4. Khanmamedova E.A. Электронные свойства гетеропереходов p-Si/ZnSe<sub>1-x</sub>Te<sub>x</sub> Riyaziyyatın tətbiqi məsələləri və Yeni informasiya texnologiyaları, III Respublika Elmi Konfrans, Sumqayıt 15-16 dekabr-2016, səh.54-55.
5. Mamedov H.M., Muradov M., Jafarov M.A., Konya Z., Kukovecz A., Kordas K., Shah S.I., Mamedova V.J., Ahmedova Kh.M., Mamedov V.U., Khanmamedova E.A., Photo- and gas- sensitivity of heterojunctions c-Si/porous-Si/CdS, Journal of Low Dimensional Systems, v 1 (1), 2017, Baku State University, 2017, p.24-29
6. Mamedov H.M., Tagiyev E.B., Mamedov V.U., Piriyeva D.P., Khanmamedova E.A., Improvement of photoelectrical parameters of the Mo-CuInSe<sub>2</sub>/Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>S<sub>1-y</sub>Se<sub>y</sub> flexible solar cells, Turkish Physical Society 30<sup>th</sup> International Physics Congress-Herodot Cultural Center, Bodrum/Turkey September 5-9, 2018, p-170

7. Мамедов Г.М., Кукевеч А., Коня З., Кордаш К., Шах С.И., Мамедов В.У., Ахмедова Х.М., Мамедова В.Д., Рзаев Р.М., Шамилова Ш.А., Агазаде Л.Э., Khanmamedova E.A. Электрические и фотоэлектрические характеристики гетеропереходов C-Si/пористый - Si/CdS. Известия высших учебных заведений. Физика. Национальный Исследовательский Томский Государственный Университет (Томск) Том: 61, Номер: 9 (729) Год: 2018. Russian Science Citation Index (Web of Science), 2018, стр. 96-101.
8. Khanmamedova E.A. Effect of KOH + C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O texturing on the electrical Properties of p-Si/textured-Si/ZnS<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub> heterojunctions, Journal of Baku Engineering University Physics 2019. Volume 3, Number 2, p146-150.
9. Mamedov H.M., Jafarov M.A, Nəsirov E.F, Khanmamedova E.A., G.M.Mamedova, Effect of texturing regimes on the efficiency of p-Si/textured-Si/ZnS<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub> heterojunctions solar cells. Conference proceedings Modern Trends In Physics Baku, 01-03 May, 2019 Proceedings indexed in the Web of Science Clarivate Analytics System, 2019, p.1660-1666.
10. Khanmamedova E.A. Effect of etching on the electrical properties of p-Si/ZnS<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub> and p-Si/ZnSe<sub>1-x</sub>Te<sub>x</sub> heterojunctions, Journal of Low Dimensional Systems, Volume 3 (2), 2019, Baku State University, 2019, p.36-42.
11. Jafarov M.A., Mamedov H.M., Nəsirov E.F, Khanmamedova E.A., Effect of texturing regimes on the efficiency of p-Si/textured-Si/ZnS<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub> heterojunctions solar cells, Peer Review Journal of Solar & Photoenergy Systems, PRSP.000513. 1(3).2019, p.000513.
12. Khanmamedova E.A, Electrical and optical properties of structures formed on the basis of thin layers of different composition CdSe<sub>1-x</sub>S<sub>x</sub>, Ecoenergetics 19(2), 2022. p. 101-104.
13. Khanmamedova E.A., Determining the effect on heterojunctions by reducing series resistance, № 29.07.2022; Черкаси, Україна: III Міжнародна наукова конференція

- «Здобутки Та Досягнення Прикладних Та Фундаментальних Наук Ххі Століття», 2022, р.170-172.
14. Khanmamedova E.A., Influence of thin films on photoelectric properties of solar cells based on p-GaAs/n-Cd<sub>0.25</sub>Zn<sub>0.75</sub>S<sub>0.8</sub>Te<sub>0.2</sub> heterojunctions “International Scientific and Practical Conference” “An integrated approach to science modernization: Methods, Models and Multidisciplinarity” 26.08.2022, Vinnytsia, Ukr - Vienna, Aut, 2022, p.211-213.

## **Həmmüəlliflərlə yerinə yetirilən işlərdə iddaçının şəxsi əməyi:**

[8], [10],[12], [13], [14] - işləri sərbəst yerinə yetirilmişdir;  
[1], [2], [3], [6], [9], [11] - işlərində məsələnin qoyuluşunda, tədqiqatların keçirilməsində və nəticələrin ümumiləşdirilməsində iştirak;

[4], [5], [7] - işlərində hesabatların aparılması, nəticələrin təhlili, laboratoriya sınaqlarının keçirilməsi və nəticələrin ümumiləşdirilməsində iştirak.

[4], [8], [10], [12], [13], [14] - müstəqil yerinə yetirilib

Dissertasiyanın müdafiəsi 22 Sentyabr 2023-ci il tarixində saat 15<sup>00</sup> Bakı Dövlət Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.19 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcəkdir.

Ünvan: AZ 1148, Bakı şəh., Z.Xəlilov küç., 23, Bakı Dövlət Universiteti, Əsas bina, Elmi kitabxana.

Dissertasiya ilə Bakı Dövlət Universitetinin Elmi Kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları Bakı Dövlət Universitetinin rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat \_\_\_\_.\_\_\_ 2023-ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 20.07. 2023.

Kağızın formatı:A5

Həcm: 37533

Tiraj: 100