



**AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASININ PREZİDENTİ YANINDA**  
**ELMİN İNKİŞAFI FONDU**

MÜQAVİLƏYƏ ƏLAVƏ

**Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Elmin İnkişafı Fondunun**  
**Elmi-tədqiqat layihələri üzrə əsas qrant müsabiqəsinin**  
**(EIF-ETL-2020-2(36)) qalibi olmuş**  
**layihənin yerinə yetirilməsi üzrə**

**ALINMIŞ NƏTİCƏLƏRİN ƏMƏLİ (TƏCRÜBİ) HƏYATA KEÇİRİLMƏSİ**  
**VƏ LAYİHƏNİN NƏTİCƏLƏRİNDƏN GƏLƏCƏK TƏDQIQATLARDAN**  
**İSTİFADƏ PERSPEKTİVLƏRİ HAQQINDA**  
**MƏLUMAT VƏRƏQİ**

(Qaydalar üzrə Əlavə 16)

Layihənin adı: **Si-un səthinin nano-teksturasiyası ilə Si/Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>S (Se)/ZnO nazik təbəqəli günəş elementlərinin effektivliyinin artırılması**

Layihə rəhbərinin soyadı, adı və atasının adı: **Cəfərov Maarif Əli oğlu**

Qrantın məbləği: **50 000 manat**

Layihənin nömrəsi: **EIF-ETL-2020-2(36)-16/01/1-M-01**

Müqavilənin imzalanma tarixi: **17 mart 2021 – ci il**

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

Layihənin icra müddəti (başlama və bitmə tarixi): **01 aprel 2021-ci il– 01 aprel 2022-ci il**

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

**Layihənin nəticələrinin əməli (təcrübi) həyata keçirilməsi**

<b>1</b>	<p>Layihənin əsas əməli (təcrübi) nəticələri, bu nəticələrin məlum analoqlar ilə müqayisəli xarakteristikası</p> <p>(burada doldurmalı)</p> <p style="text-align: center;"><b>Tədqiqatlar nəticəsində bir sıra mühüm nəticələr alınmışdır</b></p> <ol style="list-style-type: none"><li>p-Si/A<sub>2</sub>B<sub>6</sub> tip diod quruluşlarında düzləndirmə əmsalının nazik təbəqələrin tərkibindən asılılığı ekstremum xarakterlidir- maksimal düzləndirmə tərkibin konkret bir (və ya iki) qiymətində əldə edilir.</li><li>p-Si/A<sub>2</sub>B<sub>6</sub> tip bütün tərkib heteroqecidlərin keçid oblastında iki tip defekt səviyyələri mövcuddur: birinci tip donor səviyyələrinin aktivləşmə enerjisi nazik təbəqələrin çökdürülmə rejimindən asılı olaraq dəyişdiyindən reaksiya zamanı təbəqələrin səthində və həcmində olan və asan buxarlanan halkogen (S, Se və Te) atomlarının artıqlığı ilə əlaqədardır.</li><li>Açıq hava və oksigen mühitində 400-415<sup>0</sup>C temperaturda Tİ zamanı ardıcıl müqavimətin və n-nin</li></ol>
----------	--

qiymətinin yenidən dəyişməsi, habelə fotohəssaslıq spektrində qısa dalğalar oblastında yeni bir maksimumun yaranması nazik təbəqələrin səthində və həcmində olan kimyəvi çökdürmə zamanı reaksiyaya girməmiş Cd və Zn-in Tİ zamanı mühitdəki oksigenlə birləşərək nazik təbəqələrin səthində komplekslər yaratması ilə əlaqədardır.

4. Katod çökdürmə potensialının optimal qiymətdən böyük və kiçik qiymətlərində katodun səthində termodinamik tarazlığın pozulması və ionların ( $C^{d+}$ ,  $Z^{n+}$ ,  $S^+$ ,  $S^{e+}$ ,  $T^{e+}$ ) elektrokimyəvi aktivliyinin kəskin fərqlənməsi nəticəsində metal və ya halkogen artıqlığının və metal hidrokisidlərinin yaranması heteroqəçidlərdə elektrik və fotoelektrik parametrlərinin ossilyasiyasının səbəbidir
5. Dördqat birləşmələrdə (əsasən Te-lu birləşmələrdə daha çox) VAX-ın qeyri-ideallıq əmsalının, ardıcıl müqavimətin Tİ rejimindən zəif asılı olması, habelə fotoelektrik parametrlərinin qiymətlərində ossilyasiyaların zəif olması onların ikiqat və üçqat birləşmələrə nisbətən daha dayanıqlı olduğunu sübut edir.

2

Layihənin nəticələrinin əməli (təcrübi) həyata keçirilməsi haqqında məlumat (istehsalatda tətbiq (tətbiqin aktını əlavə etməli); tədris və təhsildə (nəşr olunmuş elmi əsərlər və s. – təhsil sistemində tətbiqin aktını əlavə etməli); bağlanmış xarici müqavilələr və ya beynəlxalq layihələr (kimlə bağlanıb, müqavilənin və ya layihənin nömrəsi, adı, tarixi və dəyəri); dövlət proqramlarında (dövlət orqanının adı, qərarın nömrəsi və tarixi); ixtira üçün alınmış patentlərdə (patentin nömrəsi, verilmə tarixi, ixtiranın adı); və digərlərində)

(burada doldurmalı)

### 1. Layihənin nəticələrindən gələcək tədqiqatlarda istifadə perspektivləri

1

Nəticələrin istifadəsi perspektivləri (fundamental, tətbiqi və axtarış-innovasiya yönlü elmi-tədqiqat layihə və proqramlarında; dövlət proqramlarında; dövlət qurumlarının sahə tədqiqat proqramlarında; ixtira və patent üçün verilmiş ərizələrdə; beynəlxalq layihələrdə; və digərlərində)

(burada doldurmalı)

**SİFARIŞÇI:**

**Elmin İnkişafı Fondu**

**Baş məsləhətçi**

**Quliyeva Mülayim Sahib qızı**

(imza)

“ \_ ” \_\_\_\_\_ 20\_ -ci il

**İCRAÇI:**

**Layihə rəhbəri**

**Cəfərov Maarif Əli oğlu**

(imza)

“ \_ ” \_\_\_\_\_ 20\_ -ci il



**AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASININ PREZİDENTİ YANINDA  
ELMİN İNKİŞAFI FONDU**

MÜQAVİLƏYƏ ƏLAVƏ

1

**Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Elmin İnkişafı Fondunun  
Elmi-tədqiqat layihələri üzrə əsas qrant müsabiqəsinin  
(EIF-ETL-2020-2(36)) qalibi olmuş  
layihənin yerinə yetirilməsi üzrə**

**ALINMIŞ ELMİ MƏHSUL HAQQINDA MƏLUMAT  
(Qaydalar üzrə Əlavə 17)**

Layihənin adı: **Si-un səthinin nano-teksturasiyası ilə Si/Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>S (Se)/ZnO nazik təbəqəli  
günəş elementlərinin effektivliyinin artırılması**

Layihə rəhbərinin soyadı, adı və atasının adı: **Cəfərov Maarif Əli oğlu**

Qrantın məbləği: **50 000 manat**

Layihənin nömrəsi: **EIF-ETL-2020-2(36)-16/01/1-M-01**

Müqavilənin imzalanma tarixi: **17 mart 2021 – ci il**

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

Layihənin icra müddəti (başlama və bitmə tarixi): **01 aprel 2021-ci il– 01 aprel 2022-ci il**

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

**1. Elmi əsərlər (sayı)**

№	Tamlıq dərəcəsi	Dərc olunmuş	Çapa qəbul olunmuş və ya çapda olan	Çapa göndərilmiş
1.	Monoqrafiyalar			
	həmçinin, xaricdə çap olunmuş			
2.	Məqalələr	1	2	2
	həmçinin xarici nəşrlərdə	1	2	2

3.	Konfrans materiallarında məqalələr O cümlədən, beynəlxalq konfrans materiallarında	2		2
4.	Məruzələrin tezisləri həmçinin, beynəlxalq tədbirlərin toplusunda			
5.	Digər (icmal, atlas, kataloq və s.)			

## 2. İxtira və patentlər (sayı)

No	Elmi məhsulun növü	Alınmış	Verilmiş	Ərizəsi verilmiş
1.	Patent, patent almaq üçün ərizə			
2.	İxtira			
3.	Səmərələşdirici təklif			

## 3. Elmi tədbirlərdə məruzələr (sayı)

No	Tədbirin adı (seminar, dəyirmi masa, konfrans, qurultay, simpozium və s.)	Tədbirin kateqoriyası (ölkədaxili, regional, beynəlxalq)	Məruzənin növü (plenary, dəvətli, şifahi, divar)	Sayı
1.				
2.				
3.				

**SİFARIŞÇI:**  
Elmin İnkişafı Fondu

**Baş məsləhətçi**  
Quliyeva Mülayim Sahib qızı

\_\_\_\_\_  
(imza)  
“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_ -ci il

**İCRAÇI:**

**Layihə rəhbəri**  
Cəfərov Maarif Əli oğlu

\_\_\_\_\_  
(imza)  
“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_ -ci il



# AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASININ PREZİDENTİ YANINDA ELMİN İNKİŞAFI FONDU

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Elmin İnkişafı Fondunun  
Elmi-tədqiqat layihələri üzrə əsas qrant müsabiqəsinin  
(EIF-ETL-2020-2(36)) qalibi olmuş  
layihənin yerinə yetirilməsi üzrə

## YEKUN ELMİ-TEXNİKİ HESABAT

Layihənin adı: **Si-un səthinin nano-teksturası ilə Si/Cd<sub>1-x</sub>ZnxS (Se)/ZnO nazik təbəqəli  
günəş elementlərinin effektivliyinin artırılması**

Layihə rəhbərinin soyadı, adı və atasının adı: **Cəfərov Maarif Əli oğlu**

Qrantın məbləği: **50 000 manat**

Layihənin nömrəsi: **EIF-ETL-2020-2(36)-16/01/1-M-01**

Müqavilənin imzalanma tarixi: **17 mart 2021 – ci il**

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

Layihənin icra müddəti (başlama və bitmə tarixi): **01 aprel 2021-ci il– 01 aprel 2022-ci il**

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

**Diqqət! Uyğun məlumat olmadığı təqdirdə müvafiq bölmə boş buraxılır**

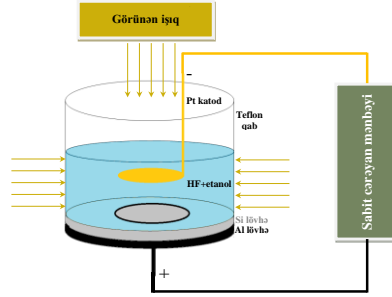
Hesabatda aşağıdakı məsələlər işıqlandırılmalıdır:

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

### **Si lövhələrinin səthində elektrokimyəvi aşılama ilə qara-Si-un hazırlanması və onun optik xassələrinin tədqiqi**

1 Elektrolitik aşılama zamanı altlıq olaraq (111) kristallaşma istiqamətinə malik ~0.2÷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, çirklənmələrdən 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 (≥300<sup>0</sup>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

lövhlər 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 bircins paylanması üçün platin elektrodların mayeyə daxil olan hissəsi üfüqi spiralvari formada hazırlanmışdır.



Şəkil 1. Elektrokimyəvi aşılamada istifadə edilmiş qurğunun sxematik təsviri.

Aşılma adi laborator şəraitdə otaq temperaturunda və hallogen (100 Vt) lampasının birbaşa işıqlanmasında aparılmışdır. Katod-anod arasındakı məsafə 1-1.5 sm götürülmüşdür.

Qara-Si-un (QS) əsas çatışmazlıqlarından biri onun stabil parametrlər nümayiş etdirməməsidir. Belə ki, HF: etanol məhlulunda elektrokimyəvi aşılma zamanı əmələ gələn teksturaların (məsamələrin) çıxıntıları (divarları) nanokristallitlərdən və oyuqların dibi isə Si-O<sub>x</sub> oksid qruplarından ibarətdir.

Əlbəttə ki, məsamələrdə hidrogenin konsentrasiyası böyükdür – bilavasitə aşılmadan sonra QS-in səthi Si-H<sub>x</sub> qrupları ilə örtülmüşdür.

Məsamələrdəki elektrolit artıqlığı yuyulduqdan sonra məsaməli silisium havadakı oksigenlə passivləşir, yəni Si-H<sub>x</sub> qrupları Si-O<sub>x</sub> qrupları ilə əvəz olunur və nəticədə, silisium nanokristallitləri amorf təbəqə ilə əhatə olunur. QS əsasında cihazların bütün elektrik, fotoelektrik və fotoluminesent parametrlərinin qeyri-stabilliyinin və deqradasiyasının əsas səbəbi məhz nanokristallitlərin ətraf mühitə qarşı qeyri-stabilliyi ilə əlaqədardır. Mövcud elmi ədəbiyyatda MS-in səthinin passivləşdirilməsi üçün müxtəlif texnoloji üsullardan istifadə edilmişdir: bunun üçün bəzi işlərdə birbaşa olaraq texnoloji prosesin özünə nəzarət olunmuş, digərlərində isə sonradan müxtəlif cür termiki işlənmələr aparılmışdır. Bəzi işlərdə QS-in passivləşdirilməsi səyriyən boşalmalı hidrogen plazmasında həyata keçirilmişdir. Passivləşdirilmə 10 Pa təzyiqdə 6 dəqiqə müddətində, boşalma gərginliyinin 600 V və cərəyan sıxlığının 1 mA/sm<sup>2</sup> qiymətində həyata keçirilmişdir. Hidrogen passivləşdirilməsi prosesinin  $Si - OH + H^+ = Si^+ + H_2O$  reaksiyası əsasında baş verməsi müəyyənləşdirilmişdir. Reaksiyadan görüldüyü kimi passivləşdirilmə zamanı Si-OH kompleksləri parçalanaraq təmiz Si nanokristallitləri və su alınır.

QS-un passivləşdirilməsi həmçinin müxtəlif elementlərin matrisə yeridilməsi ilə də həyata keçirilə bilər - QS matrisinə karbohidrat məhlullarını yeridib və daha sonra termik işləməklə matrisin karbidləşməsinə çalışırlar. Karbohidratlar 200<sup>0</sup>C temperaturda parçalanaq yalnız karbon və su buxarına çevrilir. Karbohidratlar uçucu olmadığından onlardakı karbonun demək olar ki, hamısı məsamələrdə qalır. Bu zaman seçilən karbohidratın molekularının ölçüsü məsamələrin ölçüsünə nisbətdə kiçik olmalıdır – bu şərti ödəyən karbohidrat məhsulu kimi saxaroza seçilir. Suda yaxşı həll olan saxaroza sudan fərqli olaraq məsamələri yaxşı isladır və tamamilə məsamələrə daxil ola bilər. Saxaroza su+etanol sistemində həll edilir və QS nümunələri bu məhlulun içərisində bir sütkaya qədər müxtəlif müddətlər ərzində saxlanılır. Bundan sonra nümunələr suda yuyulduqdan sonra hidrogendə 1000<sup>0</sup>C temperaturda qurudulur.

Bəzi hallarda isə, QS-də hidrogenin və oksigenin passivləşdirilməsi prosesi birbaşa olaraq aşılama prosesi ilə bərabər aparılmışdır. Bunun üçün aşılama prosesində məhlula müxtəlif tərkibli duzlar ( $\text{AuCl}_3$ ,  $\text{FeCl}_3$  və s.) əlavə edilmişdir. Belə ki, QS-un göyərilməsi zamanı məhlula müxtəlif konsentrasiyalarda qızıl və dəmir xlorid duzları əlavə edilmişdir. Əsas məqsəd qeyri-stabil Si-H kompleks rabitələrinin Si-Au və ya Si-Fe stabil rabitələri ilə əvəz edilməsi olmuşdur.  $\text{Fe}^{3+}$  və  $\text{Au}^{3+}$  silisiuma nisbətən daha güclü oksidləşdirici olduğundan onların məhlulda iştirakı aşılama sürətini artırır. Nəticədə, yaranan silisium nanokristallitlərinin ölçüsü daha kiçik olur və oksigen və hidrogen rabitələri silisium-metal kompleksləri ilə əvəz olunur.

QS-un parametrlərinin stabilləşdirilməsi və yaxşılaşdırılması üçün diffuziya metodu da geniş tətbiq olunur. Makroməsaməli QS bor və fosforla aşqarlanmışdır. Bunun üçün QS,  $\text{H}_3\text{BO}_3$ +1%-li və  $\text{H}_3\text{PO}_4$  +10%-li spirt məhlullarında 1240-1250°C temperaturlarda uyğun olaraq 3 və 5 saat saxlanılır. Nəticədə, həm QS passivləşdirilir, həm də QS daxilində aşqarlanma hesabına p-n keçid alınır. n- və p- tip Si lövhələri üzərində alınmış QS-u 700 və 1000°C temperaturlu  $\text{MgCl}_2$  və  $\text{CrCl}_3$  duzlarının sulu məhlullarında 10 dəqiqə saxlanılır və daha sonra suda yuyulduqdan sonra havada qurudulur. QS-un erbiumla passivləşdirilməsi prosesini həm  $\text{Er}(\text{NO}_3)_3$ -un spirtli məhlulunda elektrokimyəvi çökdürülmə və  $\text{Er}(\text{NO}_3)_3$ -un sulu məhlulunda 1000°C temperaturda 10 dəqiqə saxlamaqla diffuziya prosesləri ilə həyata keçirilir.

Yuxarıda göstərilənlər nəzərə alınaraq layihədə aşılama prosesi zamanı HF+spirt məhluluna 10:1 nisbətində  $\text{CdCl}_2$  sulu məhlulu əlavə edilmişdir.  $\text{CdCl}_2$ -nin məhlula əlavə edilməsi qeyri-stabil Si-H kompleks rabitələrinin Si-Cd stabil rabitələri ilə bərabər, QS əsasında yaradılacaq QS/ $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$  strukturlarının bilavasitə həm məsamələrin içərisində, həm də səthində alınması ehtimalını artırır. Müqayisə məqsədilə, dissertasiya işində  $\text{CdCl}_2$  qatqılı (QSCD) və qatqı olmadan alınmış QS əsəsindəki heteroqatqılar tədqiq edilmişdir. Müqayisə üçün hər iki məhlula eyni anod gərginlikləri- 20; 25 və 30 V tətbiq olunmuşdur. Çökdürülmə 40- 70 mA cərəyanda aparılmışdır. Aşılmanın davam etmə 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.

Qeyd edək ki, eyni bir gərginlikdə QSCD-də QS-ə nisbətən məsamələrin ölçüləri bərabər olmaqla yanaşı həm də nisbətən kiçik olmuşdur. Bu,  $\text{Cd}^{2+}$ -un silisiuma nisbətən daha güclü oksidləşdirici olması ilə əlaqədardır.

Şəkil 2a-da 20 V aşılama gərginliyində və 10-40 mA/sm<sup>2</sup> cərəyanda p-Si altlıqları üzərində alınmış QSCD və QS-in səthinin SEM fotoşəkilləri təsvir edilmişdir. Şəkildən görüldüyü kimi,  $\text{CdCl}_2$  qatqısız mühitdə aşılama p-Si səthində yalnız qeyri-bircins (kortəbii) paylanmış oyuqlar əmələ gəlir. Yalnız bəzi hissələrdə məsamələrin özəkləri hiss olunur. Anod gərginliyinin bu qiymətində alınmış təbəqələrin element analizi onların səthində çox cüzi miqdarda hidrogenin olduğunu göstərir (şəkil 2b). Bu fakt anod gərginliyinin kiçik qiymətlərində silisiumun səthinin HF+H<sub>2</sub>O+etanol mühitində yalnız elektrohamarlanmasını sübut edir. Belə ki, monokristallik silisiumun səthinin defekt quruluşuna malik olması HF məhlulunda səthdəki Si-Si rabitələrinin qırılmasına və Si-H rabitələrinin yaranmasına səbəb olur, Yəni məhlulda Si-un səthi hidrogenlə bloklanır- səth hidrogenlə doyur ki, bu da silisiumun səthinin elektrolit məhlula qarşı kimyəvi cəhətdən inert olmasına gətirir. Məhlula katod və anod arasına gərginlik tətbiq etdikdə, monokristallik Si lövhəsindən (aşılama zamanı anod kimi qoşulduğundan) sərbəst yükdaşıyıcılar (verilən halda deşiklər) silisiumun səthinə- silisium-elektrolit sərhəddinə doğru miqrasiya edir. Nəticədə hidrogen atomları ilə bloklanmış Si atomları yük mübadiləsi nəticəsində sərbəstləşərək elektrolitin molekul və ionları ilə qarşılıqlı təsirdə olmaqla məhlula daxil olur. Əlbəttə ki, aşılama cərəyanının qiyməti artdıqca Si-anod elektrodunun

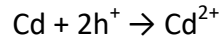


səthində yaranan dəşiklərin konsentrasiyası da kifayət qədər artır. Onlar bütün səth boyu Si-elektrolit sərhəddində praktik olaraq bütün Si atomlarının reaksiyaya girmək qabiliyyətini artırır. Məhz bu səbəbdən, dissertasiya işinin I fəslində verilən elmi ədəbiyyat şərhindən də görüldüyü kimi, Si-un səthində məsaməliliyin artırılması, habelə onun məqsədyönlü olaraq idarə edilməsi üçün ilkin materialda (Si lövhələrində) aşqarlanma dərəcəsini kifayət qədər artırmaq lazımdır.

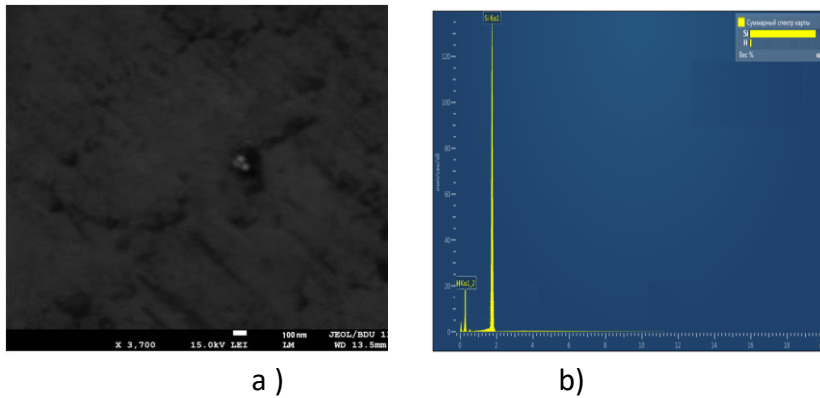
Monokristallik Si-un səthindəki mikroçuxıntılardan səth sahəsi digər bərabər paylanmış hissələrə nisbətən böyük olduğundan onlar daha sürətlə həll olur- aşılır. Nəticədə, silisium anodunun səthi tədricən bərabərləşir. Məhz 20 V aşılama zamanı bu proses baş verir ki, bu da Si-un səthinin yalnız elektrokimyəvi hamarlanmasına səbəb olur.

Bundan fərqli olaraq 20 V aşılama gərginliyində və 40 mA/sm<sup>2</sup> cərəyanda HF+CdCl<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>O+etanol mühitində aparılmış aşılama zamanı alınmış təbəqələrin SEM fotosəkilləri onların səthində çox kiçik ölçülü məsamələrin alınmasını göstərir (Şəkil 3a). Element analizləri təbəqələrin səthində Cd-un və hidrogenin olduğunu təsdiqləyir. Nəticələri belə izah etmək olar ki, HF məhluluna daxil edilmiş CdCl<sub>2</sub> ionlara parçalanaraq məhlulda Cd<sup>2+</sup> ionlarının yaranmasına və Si<sup>2+</sup> ionları ilə bərabər yük mübadiləsində iştirak edir və silisiumun səthində başlanğıc göyermə adacıqlarının əmələ gəlməsini sürətləndirir. Nəticədə Si-un səthində məsamələrin həm dibində, həm də daxili divarlarında Si-la bərabər Cd atomları da çökərək qeyri-stabil Si-H rabitələrinin azalmasına və onların Si-Cd ilə əvəz olunmasına səbəb olur.

Belə ki, Si-la paralel olaraq  $Si + 2H^+ \rightarrow Si^{2+}$  reaksiyasına analogi olaraq

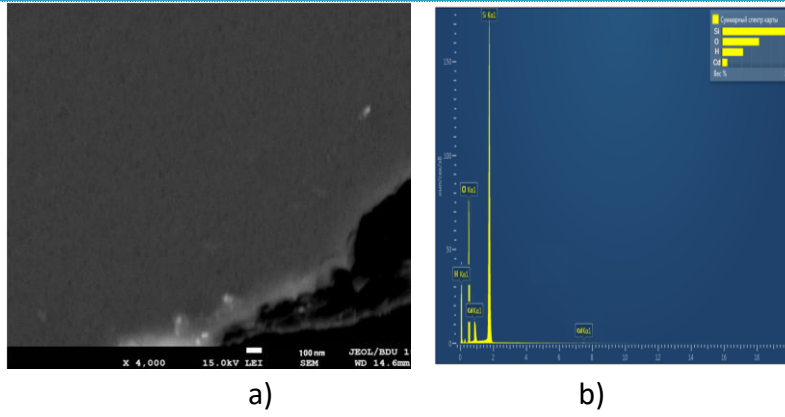


reaksiyası ilə dayanıqsız Cd<sup>2+</sup> ionları yaranır. Daha sonra yük mübadiləsi nəticəsində məsamələrdə neytrallaşan Cd atomları ya neytral halda ya ya Si-Cd dayanıqlı rabitələri kimi məsamələrin strukturunu müəyyən edir. Anod gərginliyinin bu qiymətində alınmış təbəqələrin element analizi onların səthində Cd-un olduğunu göstərir (Şəkil 3b). EDS spektrdən görüldüyü kimi, anod gərginliyinin bu qiymətində alınmış kiçik ölçülü QSCD-in açıq havaya çıxarılması zamanı Si-H rabitələrinin əksər hissəsinin Si-O rabitələri ilə əvəz olunması bir daha təsdiq olunur.



Şəkil 2. 20 V aşılama gərginliyində və 40 mA/sm<sup>2</sup> cərəyanda p-Si altlıqları üzərində alınmış QS-in səthinin SEM fotosəkli (a) və EDS spektri (b).



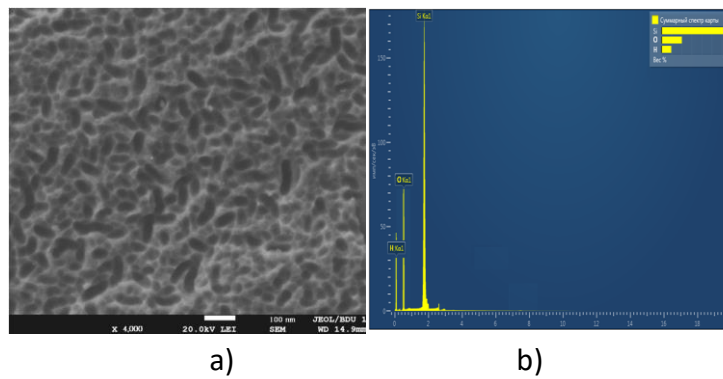


Şəkil 3. 20 V aşılma gərginliyində və 40 mA/sm<sup>2</sup> cərəyanda p-Si altlıqları üzərində alınmış QSCD-in səthinin SEM fotosəkli (a) və EDS spektri (b).

Lakin bu gərginlikdə az da olsa Cd atomlarının məsələrdə yerləşməsi də EDS spektrlərində aydın görünür. Anod cərəyanını sabit saxlamaqla (10-40 mA/sm<sup>2</sup>) anod gərginliyinin 25-30 V-a qədər artırılması aşılmanın xarakterini tamamilə dəyişir. Belə ki, metal ionsuz (Cd) və metal ionu olan mühitdə eyni şəraitdə və müddətdə (30 dəqiqə) 25-30 V gərginlikdə aşılma zamanı monokristallik p-Si-un səthində məsələlər əmələ gəlməsi prosesi sürətlənir. Metal ionsuz mühitdə alınan QS-da məsələlər oval və ya sferik formaya malik olub səthdə qeyri-bircis paylanır (şəkil 4 a).

Səthdəki sferik formalı oyuqların ölçüsü 7-30 nm, oval formalı oyuqların uzununa ölçüləri isə 10-110 nm intervalında dəyişir. MS-in səthində məsələlərin bu cür qeyri-bircins paylanması anod cərəyanının 50-55 mA/sm<sup>2</sup> qiymətində Si-elektrolit sərhəddində yükün qeyri-bərabər paylanması, daha dəqiq desək səthin müəyyən hissələrində “yük çatışmazlığı” ilə əlaqədar olaraq Si<sup>2+</sup> ionlarının neytrallaşması prosesinin nisbətən zəif getməsi ilə əlaqədar olaraq izah edilə bilər. EDS spektral analizləri bu rejimdə alınmış QS-un açıq havaya çıxarılması ilə Si-O rabitələrinin yaranmasını göstərir. Düzdür bu rejimdə alınan QS-də Si-H rabitələri də qalır, amma bu rabitələrin qeyri-stabil olması onlar əsasındakı cihazların (qaz sensorlarının və günəş fotoelementlərinin) parametrlərinin qeyri-stabilliyinə gətirir ki, bu da onların tətbiq imkanlarını azaldır.

Həmçinin Si-O rabitələri QS-in xüsusi müqavimətinin artmasına səbəb olur.

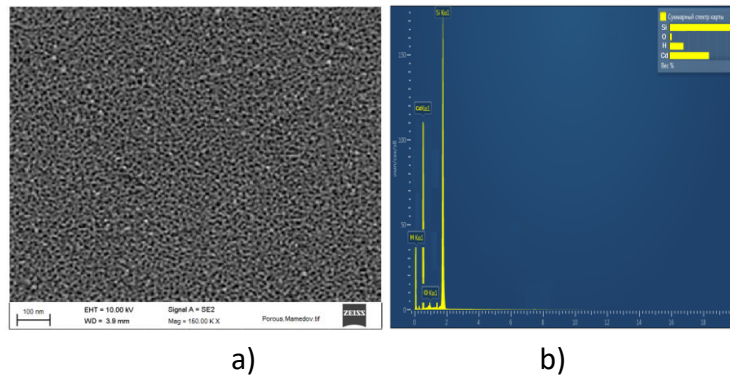


Şəkil 4. 30 V aşılma gərginliyində və 40 mA/sm<sup>2</sup> cərəyanda p-Si altlıqları üzərində alınmış QS-in səthinin SEM fotosəkli (a) və EDS spektri (b).

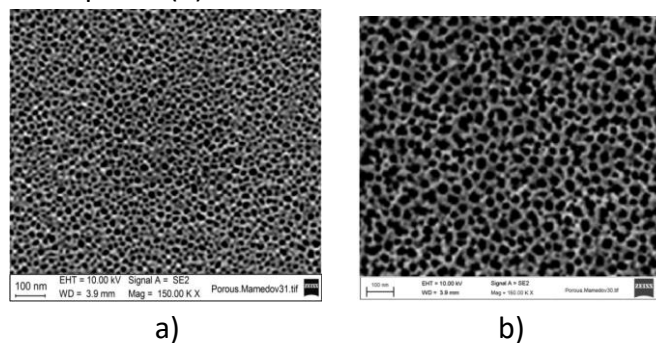
Düzdür bəzi hallarda bu effekt üstün xüsusiyyətlərə malik olsa da, məsaməli Si-da o qədər də yaxşı effekt vermir. Belə ki, aşılardan sonra məsaməli Si-un səthində bilavasitə məsamələrin ucluqlarında və divarlarında oksidləşmiş (SiO və ya SiO<sub>2</sub>) və təmiz Si klasterləri mövcud olur. Nəticədə QS əsasında hazırlanmış heteroqəçidlərdə həm p-Si/QS/oksid/CdZnS/metal (YOM), həm də YM kontaktları əmələ gəlir. Yəni strukturun yekun parametrləri bu cür iki tip strukturun parametrlərinin cəmi ilə müəyyən olunur. Aydındır ki, bu hal yekunda əksər parametrlərin həm stabilliyinin azalmasına, həm də gözlənilməz effektlərin – “göydən düşmə” effektlərin yaranmasına səbəb olur.

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 formalaşırlar. Anod gərginliyinin növbəti artımı (40 V-a qədər) məsamələrin ölçü və formasını demək olar ki, çox az dəyişir (cədvəl 1). Məsamələrin ölçüsünün demək olar ki, eyni olması Cd<sup>2+</sup> ionlarının yükün və buna analogi olaraq anod gərginliyinin silisium-elektrolit sərhəddində bütün səth boyu bərabər paylanmasına stimül verdiyini söyləməyə imkan verir. Məhz gərginliyin səth boyu bərabər paylanması məsamələrin sferik formada formalaşmasına səbəb olur. Məsamələrin ölçüsünü yalnız anod cərəyanının qiymətinin artırılması ilə idarə etmək mümkün olmuşdur (cədvəl 1).

Belə ki, anod cərəyanının 70 mA/sm<sup>2</sup>-a qədər artırılması ilə məsamələrin ölçüsünü 70 nm-ə qədər artırmaq mümkün olmuşdur (şəkil 5a və şəkil 6a və 6b). Onu da qeyd edək ki, anod cərəyanının artırılması ilə Cd atomlarının da məsamələrdə məskunlaşması dərəcəsi də dəyişir. Belə ki, EDS spektrləri göstərir ki, anod cərəyanının 55-60 mA/sm<sup>2</sup>-a qədər artması ilə Si-H rabitələrinin əksər hissəsi Si-Cd rabitələri ilə əvəz olunur. Məsamələrdə yalnız cüzi konsentrasiyada Si-O rabitələri əmələ gəlir (şəkil 5b).



Şəkil 5. 30 V aşılama gərginliyində və 40 mA/sm<sup>2</sup> cərəyanda p-Si altlıqları üzərində alınmış QSCD-in səthinin SEM fotosəkil (a) və EDS spektri (b).



Şəkil 6. 30 V aşılama gərginliyində 55 mA/sm<sup>2</sup> (a) və 70 mA/sm<sup>2</sup> cərəyanda p-Si altlıqları üzərində alınmış QSCD-in səthinin SEM fotosəkilləri.

Qeyd edək ki, EDS spektrləri həm bilavasitə aşılardan sonra və 1 ay saxlanılmış QSCD təbəqələri üçün çəkilmişdir. Hər iki halda demək olar ki, eyni nəticə əldə edilmişdir- oksigenin məsamələrdəki konsentrasiyası dəyişməmişdir. Bu da metal ionlu mühitdə alınan QSCD təbəqələrinin stabil olmasına dəlalət edir. Anod cərəyanının  $70 \text{ mA/sm}^2$ -a qədər artırılması ilə məsamələrin ölçüsünün böyüməsi ilə yanaşı, Cd atomlarının QS strukturunda konsentrasiyası da azalır və EDS tədqiqatlarının da təsdiqlədiyi kimi Si-O rabitələrinin konsentrasiyası artır. Lakin bu rabitələrin o qədər də qeyri-stabil olmaması və dəyişkən valentlilik nümayiş etdirməsi, onlardan müxtəlif tipli qazların sensoru kimi istifadə etmək imkanını yaradır.

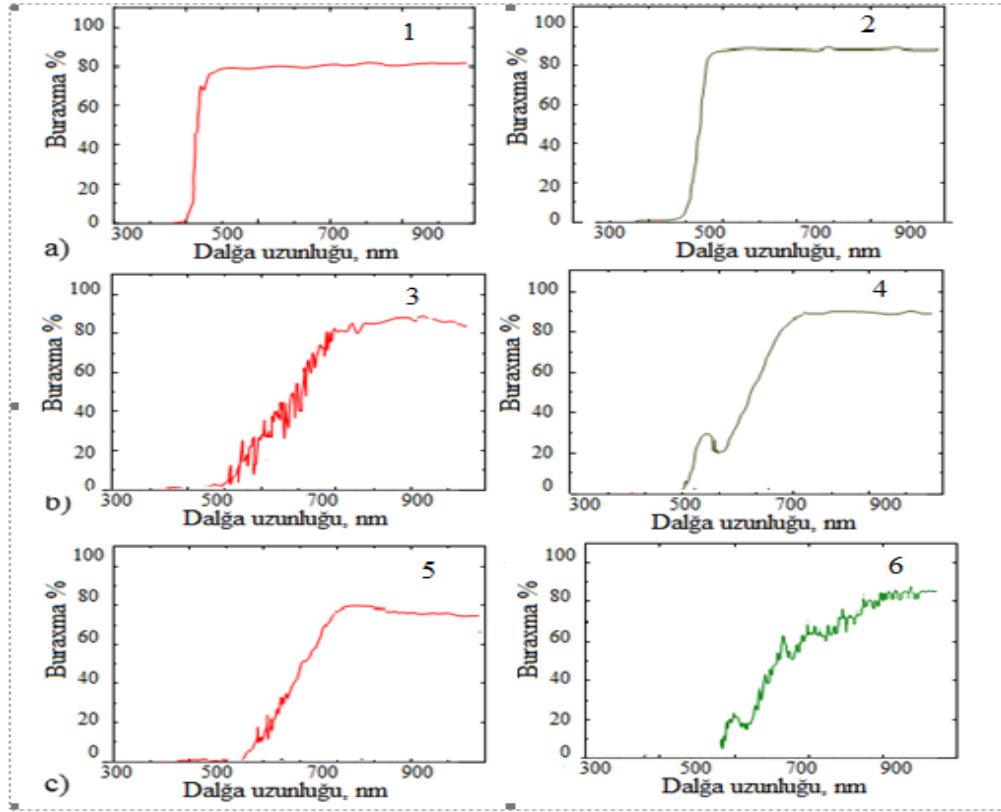
P-Si monokristallik lövhələrinin səthində alınmış *qara*-Si əvvəlcə 1-4 dəqiqə ərzində asetonda, sonra bidistillə olunmuş suda yuyulmuş bundan sonra isə azotla qurudulduqdan sonra CdZnS nazik təbəqələrinin alınması üçün hazırlanmış məhlul olan qaba salınmışdır. Burada p-Si/*qara*-Si altlıqları katod kimi istifadə edilmişdir.

Cədvəl 1

Nümunələr	Anod gərginliyi (V)	Anod cərəyanı sıxlığı ( $\text{mA/sm}^2$ )	Aşılma müddəti (san)	Məsamələrin ölçüsü (nm)
QSCD1	30	40	1800	8–11
QSCD2	30	55	1800	10–16
QSCD3	30	70	1800	30–70
QSCD2	34	55	1800	10–15
QSCD2	36	55	1800	11–17
QSCD2	40	55	1800	10–19
QSCD2	30	55	1200	9–16
MSCD2	30	55	400	10–17

Struktura hazırlamadan öncə, müxtəlif tərkibli  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}(\text{Se})$  təbəqələrinin ayrılıqda termik emaldan əvvəl (1,3,5) və sonra (2,4,6) buraxma spektrləri tədqiq olunmuşdur. (şəkil 7.)

Müəyyən olunmuşdur ki, eyni bir optimal qalınlıqlı nazik təbəqənin altlıq üzərində əmələ gəlməsi (formalaşması) otaq temperaturunda aparılmış elektrokimyəvi çökdürmə zamanı yüksək temperaturlardakı çökdürmə prosesi ilə müqayisədə daha gec baş verir. Bununla belə, tədqiqatların göstərdiyi kimi, nisbətən böyük qalınlıqlı ( $l \geq 6 \text{ mkm}$ ) təbəqələrin altlığa adgeziyası otaq temperaturunda daha yaxşıdır. Bu, onunla izah edilir ki, yüksək temperaturlarda ionların altlıq üzərinə reduksiya sürəti böyük olduğundan altlıq üzərində onların neytrallaşma prosesi, yəni atom laylarının formalaşması gecikir. Bu da laylarda texnoloji defektlərin yaranmasına, təbəqənin səthində və həcmində metal/yarımkeçirici artıqlığının yaranmasına, rabitə qüvvələrinin qeyri-bərabər paylanmasına və nəhayət, nisbətən böyük qalınlıqlarda təbəqənin dağılmasına səbəb olur.



Şəkil 7.

#### Nano-teksturasiyalı Si səthinəmalik Si/Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>S(Se)/ZnO tipli fotovoltaiq elementlərin hazırlanması

Heteroqəçidlərin elektrik xassələrinin tədqiqi zamanı müqayisə məqsədilə CdCl<sub>2</sub> qatqılı və təmiz HF:etanol (1:1) məhlulunda 30 V gərginlikdə və 40; 55 və 70 mA/sm<sup>2</sup> cərəyanlarda alınmış MSCD və MS əsaslı p-Si/MS(MSCD)/Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>S(Se) heteroqəçidləri istifadə edilmişdir. Heteroqəçidlərin qaranlıq VAX və VFX-nın tədqiqi zamanı Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>S(Se) nazik təbəqələrinin səthinə termik buxarlanma üsulu ilə çökdürülmüş bütöv omik elektrik kontaktlı, qaza həssaslığının və fotonəssaslığının tədqiqi zamanı isə vakuumdə termik buxarlanma üsulu ilə xüsusi Ш və ya П formalı maskalardan çökdürülmüş In və ya Au elektrik kontaktlı heteroqəçidlər istifadə edilmişdir. p-Si lövhələrinə isə omik elektrik kontaktı kimi vakuumdə buxarlanma üsulu ilə bütöv Al kontaktları alınmışdır. Elektrik kontaktlarının omikliyi Al-p-Si və Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>S(Se)-In (və ya Au) sistemlərinin -30V – + 30V gərginlik intervalında VAX-nın xarakterioqrafda tədqiqi ilə yoxlanılmışdır. Hər iki sistemin VAX-ı kiçik (0÷5) V gərginliklərdə simmetrik və xətti olmuşdur. Xarici gərginliyin U>5V qiymətlərində hər iki metal/yarımqəçirici kontaktlarının VAX-ı xəttilikdən kənarəçıxmalar müşahidə edilmişdir. Ona görə də işdə Al/p-Si/MS(və ya MSCD)/ Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>S(Se)/In (və ya Au) heteroqəçidlərinin bütün elektrik xassələri xarici gərginliyin məhz bu intervalında - (0÷5) V gərginliklərdə tədqiq edilmişdir.

Bilavasitə çökdürmədə n-p-Si/A<sup>II</sup>B<sup>VI</sup> tip heteroqəçidlərin bütün tərkibləri düzləndirmə xassəsinə malik olmuşdur (şəkil 1). Düzləndirmə istiqaməti p-Si- a müsbət potensial tətbiq olunduğu halda uyğundur. Şəkil 1a-dan görüldüyü kimi, Si-un CdS- lə elektrik kontaktında düzünə cərəyanın qiyməti tərkibə Zn-in əlavəsi zamanı azalır. Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>S nazik təbəqələrinin tərkibində Cd/Zn nisbəti artdıqca düzünə cərəyanın qiyməti artır, əksinə cərəyan isə kəskin olaraq azalır. Ən yaxşı düzləndirmə (k=60) x=0.6 tərkibli nazik təbəqələr əsasında heteroqəçidlərdə müşahidə olunur (şəkil 1 a) ki, bu da həmin tərkib nazik təbəqələrlə p-Si-un qəfəs parametrlərinin uyğunlaşmasını göstərir. Zn- in əlavə olunması ilə düzləndirmə əmsalının azalması Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>S

nazik təbəqələrinin xüsusi müqavimətinin artması və nəticədə, elektron-deşik cütünün kifayət qədər ayırılma biləcəyi ilə izah edilə bilər. Lakin Zn-in əlavə edilməsi ilə qadağan olunmuş zolağın eninin artması p-Si/Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>S heteroqeyidlərində kontakt potensialları fərqi artmasına və keçid oblastında keçirici zonalara fərqi azalmasına (x=0.8 tərkibli nazik təbəqələrdə ΔE<sub>c</sub>=2,22 eV, CdS-lə Si kontaktında ΔE<sub>c</sub>=2.7 eV) səbəb olur ki, bu da onların günəş enerjisi çeviricilərində tətbiq olunma imkanlarını artırır. Həmçinin Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>S nazik təbəqələrinin deformasiyaya qarşı davamlılığının yüksək olması onların elastik günəş panellərində (*flexible solar panels*) tətbiqinə geniş imkan yaradır. Qadağan olunmuş zolağın enini sabit saxlamaqla qəfəs parametrlərini (və ya əksinə), nazik təbəqələrin xüsusi müqavimətini və buna uyğun olaraq da heteroqeyidlərdə zonalara fərqi (ΔE<sub>c</sub>və ΔE<sub>v</sub>), optik buraxma əmsalını, keçidin ardıcıl müqavimətini və s. idarə etmək məqsədilə biz Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>S nazik təbəqələrinə müəyyən konsentrasiyada Se əlavə etməklə Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>S<sub>1-y</sub>Se<sub>y</sub> bərk məhlulları nazik təbəqələrinin p-Si- la elektrik kontaktını yaratmağa cəhd etdik. Belə ki, bu cür kontaktlar həm yeni tip alternativ diod quruluşlarının yaradılmasına, həm də Si-un elmi ədəbiyyatda məlum olan parametrləri əsasında mürəkkəb quruluşlu nazik təbəqələrdə baş verən fiziki prosesləri öyrənməyə və nəticədə, mürəkkəb quruluşlu yarımkeçiricilər əsasında mikro- və nanoelektronikanın yeni bir bölməsinin yaradılmasına stimül vermiş olar.

Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>S nazik təbəqələrinə cüzi miqdarda (y=0.1; 0.2) Se-nin əlavə edilməsi xüsusi müqavimətin azalması və düzləndirmə əmsalının artması ilə nəticələnir. Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>S<sub>0.9</sub>Se<sub>0.1</sub> və Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>S<sub>0.8</sub>Se<sub>0.2</sub> dördkomponentli nazik təbəqələrinin p-Si-la elektrik kontaktında x=0.6 və 0.7 tərkibləri ən yaxşı düzləndirmə nümayiş etdirir (k=1800). Nazik təbəqələrin tərkibində sinkin miqdarının sonrakı artımında təbəqələrin xüsusi müqavimətinin və buna uyğun olaraq ardıcıl müqavimətin artması düzləndirmə əmsalının kəskin azalması ilə nəticələnir. Həmçinin tərkibdə Se-nin miqdarının artması ilə xüsusi müqavimətin azalmasına baxmayaraq onların Si-la qəfəs parametrlərinin fərqlənməsi düzləndirmə əmsalının azalmasına və hətta bəzi tərkiblərdə omik kontaktların alınmasına səbəb olur. CdS nazik təbəqələrinə kiçik konsentrasiyada (x=0.1) Se-nin əlavə olunması zamanı düzünə cərəyan Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>S nazik təbəqələri ilə müqayisədə kəskin olaraq azalır. Lakin selenin konsentrasiyasının x=0.2-yə qədər artırılması ilə düzünə cərəyanın nisbi artımı, əksinə cərəyanın isə azalması müşahidə edilir. Tərkibdə selenin konsentrasiyasının x<0.8 qiymətlərinə qədər artırılması ilə p-Si/CdS<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub> heteroqeyidlərində düzləndirmə əmsalının azalması, x=0.8 tərkiblərində isə düzləndirmə əmsalının sıçrayışlı artımı (k=2200) müşahidə edilir. Tərkibdə selenin konsentrasiyasının sonrakı artımında düzləndirmə yenidən pisləşir. Bütün deyilənlər onu göstərir ki, CdS<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub> nazik təbəqələrində qəfəs parametrlərinin tərkibdən asılılığı Veqardın xətti qaydasına tabe deyil. Yəni, x=0.2 və x=0.8 tərkibli CdS<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub> nazik təbəqələrinin p-Si-la elektrik kontaktları düzləndirici diodlar kimi tətbiq edilə bilər.

Şəkil 8. də bir neçə tərkib nazik təbəqələr əsasında heteroqeyidlərin düzünə istiqamətdə yarımloqarifmik miqyasda VAX-ı təsvir edilmişdir.  $I = I_0 \left[ \exp\left(\frac{qU}{nkT}\right) - 1 \right]$  ifadəsinə tabe olan eksponensial qanunla artır.

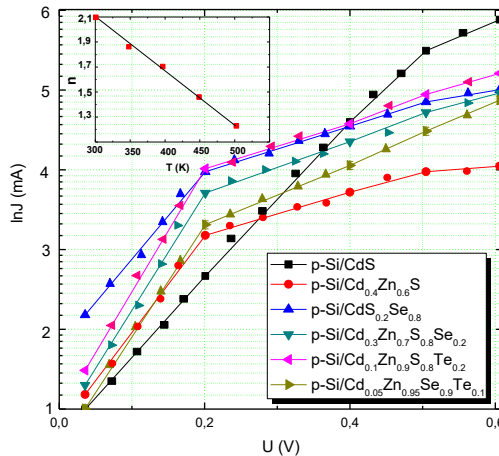
Burada,  $I_0$  – dioddan axan doyma cərəyanı,  $q$  – elektronun yükü,  $k$ - Bolsman sabiti,  $T$ - temperatur,  $n$ - öyrənilən struktura məxsus VAX-nın qeyri-ideallıq əmsalındır. Şəkildən istifadə etməklə qeyri-ideallıq əmsalının  $n = \frac{q}{kT} \frac{\Delta U}{\Delta \ln J}$  ifadəsi əsasında hesablanmış qiymətləri cədvəl 1-də göstərilmişdir. Göründüyü kimi CdS əsasında heteroqeyidlərdə geniş gərginlik oblastında  $n$ -nin qiyməti çox böyükdür. Bu Si-la CdS-in qəfəs parametrlərinin uyğunsuzluğu hesabına həcmi yüklər oblastında hər iki yükdaşıyıcı hesabına baş verən rekombinasiya aktlarının böyük olması və gərginliyin artması ilə defekt mərkəzlərinin pilləli boşalması nəticəsində ΔE<sub>c</sub>-nin qiymətinin böyük olması ilə əlaqədar olaraq çəpərüstü keçidlərin zəif olması və tunel keçidlərinin üstünlük təşkil etməsini bir daha sübut edir. Tunel cərəyanlarının üstünlük təşkil etməsi isə



Si/CdS diod quruluşları əsasında günəş elementlərinin fotoelektrik parametrlərinin kifayət qədər yüksək olmaması ilə nəticələnir. CdS-ə Zn, Se-nin əlavə olunması ilə keçid oblastının quruluşu və enerji strukturu dəyişir. Belə ki, Zn-in əlavə olunması ilə qeyri-ideallıq əmsalı xarici gərginliyin kiçik qiymətlərində ( $U \leq 0,2V$ )  $n=1,8$ -ə qədər azalır. Bu onu göstərir ki, Zn-in əlavə olunması ilə  $Cd_{1-x}Zn_xS$  nazik təbəqələrinin Si-la qəfəs parametrləri uyğunlaşır, lakin eyni zamanda Si/ $Cd_{1-x}Zn_xS$  heteroqəçidlərinin ardıcıl müqavimətinin artması xarici gərginliyin əsas hissəsinin həcmi yüklər oblastına yox, nazik təbəqələrə düşməsi heteroqəçidlərdə kiçik gərginliklərdə rekombinasiya cərəyanlarının üstünlük təşkil etməsi ilə nəticələnir. Düzünə xarici gərginliyin ( $0,2 \leq U \leq 0,5V$  gərginliklərdə  $n$ -nin qiyməti 1,4-ə qədər azalır) və temperaturun artması ilə  $n$ -nin qiymətinin azalması (şəkil 8 əlavə) onu göstərir ki, rekombinasiya mərkəzləri donor tip mərkəzlərdir. Fikrimizcə bu mərkəzlər nazik təbəqələrin polikristallıq dərəcəsi və onlarda olan metal/yarımkeçirici vakansiyaları ilə əlaqədar olan mütəhərrik (xarici təsirlə idarə oluna bilən səviyyələr) səviyyələrdir.

Belə ki, düzünə xarici gərginliyin artması ilə, Si-dan keçid oblastına injeksiya olunan deşiklərin rekombinasiya mərkəzlərini doldurması nəticəsində artıq çəpərüstü keçidlər üstünlük təşkil edir ki, bu da  $n$ -nin qiymətinin azalması ilə nəticələnir. Həmçinin, Zn-in əlavə olunması ilə  $\Delta E_c$ -nin qiymətinin azalması və kontakt potensiallar fərqi artması (cədvəl 1) tunel keçidlərinin ehtimalını azaldır ki, bu da Si/ $Cd_{1-x}Zn_xS$  heteroqəçidlərinin fotoelektrik parametrlərinin Si/CdS heteroqəçidləri ilə müqayisədə daha yaxşı olacağına dəlalət edir.

CdS-ə Se-nin əlavə olunması ilə qəfəs parametrlərinin uyğunsuzluğunun azaldılmasına baxmayaraq, qeyri-ideallıq əmsalının qiyməti o qədər də azalmır (cədvəl 1). Belə ki, düzünə xarici gərginliyin  $U \leq 0,5V$  qiymətlərinə qədər Si/ $Cd_{1-x}Se_x$  heteroqəçidlərində tunel-rekombinasiya cərəyanları üstünlük təşkil edir. Düzdür, Se-nin əlavə olunması ilə nazik təbəqələrin xüsusi müqaviməti azalır, lakin selenin əlavə olunması ilə nazik təbəqələrin polikristal dərəcəsinin artması və səthdə metal/yarımkeçirici artıqlığı ilə əlaqədar olan vakansiyalar (çox ehtimalla həm donor, həm də akseptor tip) keçid oblastında hər iki tip yükdaşıyıcıların rekombinasiya aktlarını artırır ki, bu da düzünə cərəyanın xarici gərginlikdən çəpərüstü keçidlərlə bağlı olan eksponensial asılılığının pozulmasına səbəb olur.

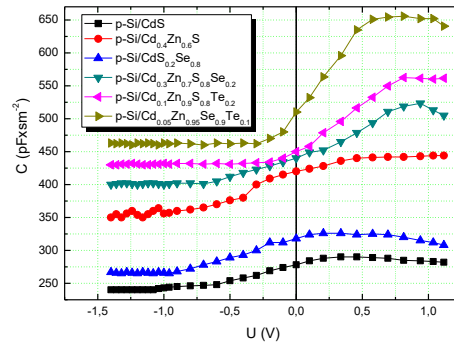


Şəkil 8. Bilavasitə çökdürülmədən sonra p-Si/n-A<sup>III</sup>B<sup>VI</sup> heteroqəçidlərinin yarımloqarifmik miqyasda VAX-ı

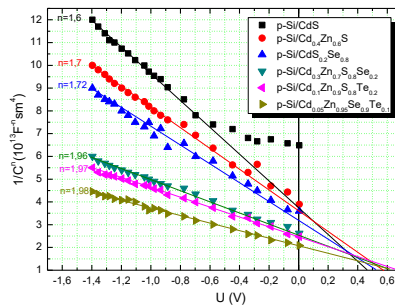
Ümumiyyətlə, elmi ədəbiyyatda keçid oblastında defektlərin konsentrasiyasını idarə etmək məqsədilə, keçidə yüksək və ya alçaq müqavimətli aralıq təbəqənin çökdürülməsi üsulu da təklif olunur. Belə ki, aralıq təbəqə kontakta gətirilmiş materialların qəfəs parametrlərinin və istilikdən genişlənmə əmsallarının fərqi

hesabına yaranan defektlərə uyğun potensial çəpərin hündürlüyünü azaltmağa və izafi tunnel cərəyanlarını minimuma endirməyə imkan verir. Si əsasında heteroqeyidlərdə izafi tunnel cərəyanlarının qiymətini minimuma endirmək və nəticədə heteroqeyidlərin elektrik və fotoelektrik parametrlərini yaxşılaşdırmaq məqsədilə keçid oblastına müxtəlif kimyəvi tərkibli (CdS, CdTe, CdSSe, CdZnS) yüksək və alçaq müqavimətli nazik təbəqələri alınmışdır. Nəticədə müəyyən olunmuşdur ki, aralıq təbəqənin kimyəvi tərkibini, faiz tərkibini, kristal quruluşunu, qalınlığını və xüsusi elektrik keçiriciliyini dəyişməklə keçiddəki defektlərin konsentrasiyasını idarə etmək mümkündür. Onu da qeyd edək ki, dolayı yolla- yəni aralıq təbəqə ilə keçid oblastının topoqrafiyası, termik işlənmənin mühtinin və rejiminin seçilməsi ilə də idarə oluna bilindiindən və fiziki proseslər demək olar ki, eyni qanunauyğunluqla baş verdiyindən bu fəsildə yalnız ümumiləşmiş nəticələr təsvir olunmuşdur.

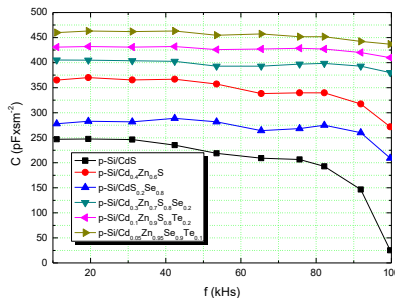
Tədqiq olunan heteroqeyidlərin keçid oblastının daha ətraflı diaqnostikası üçün biz onlarda keçidin tutum-gərginlik (VFX) və tutum-tezlik (VTX) xarakteristikalarını tədqiq etmişik. Şəkil 9-da müxtəlif tərkibli heteroqeyidlər üçün keçid tutumunun xarici gərginlikdən asılılıq qrafikləri göstərilmişdir. Şəkildən görüldüyü kimi, dördkomponentli bərk məhlulların nazik təbəqələri əsasında heteroqeyidlərdə keçid tutumu xarici gərginlikdən asılı olaraq daha kəskin dəyişir və  $U=0$  qiymətində keçid tutumunun qiyməti daha böyükdür.



Şəkil 9. Bilavasitə çökdürülmədən sonra p-Si/n-A<sup>III</sup>B<sup>VI</sup> heteroqeyidlərinin müxtəlif tərkibləri üçün volt-farad xarakteristikaları



Şəkil 10. Bilavasitə çökdürülmədən sonra p-Si/n-A<sup>III</sup>B<sup>VI</sup> heteroqeyidlərinin  $C^n=f(U)$  miqyasında volt-farad xarakteristikaları



Şəkil 11. Bilavasitə çökdürülmədən sonra p-Si/n-A<sup>III</sup>B<sup>VI</sup> heteroqeyidlərinin müxtəlif tərkibləri üçün tutumun

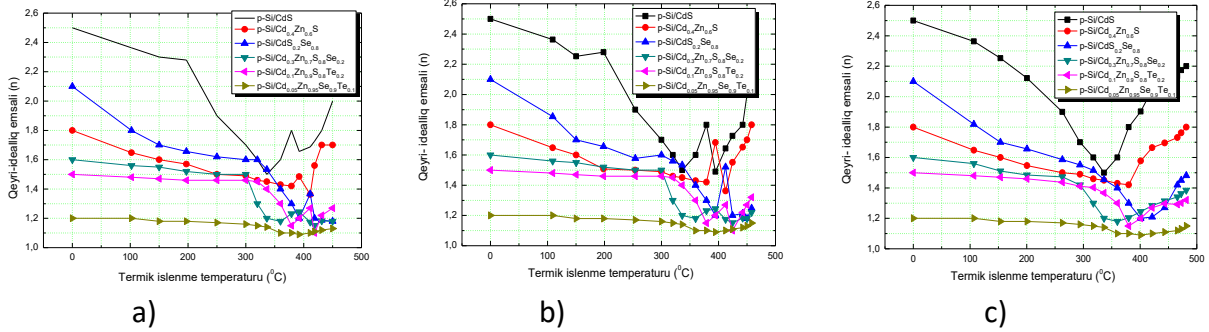


## tezlikdən asılılığı

Qrafiklərdən istifadə edərək müxtəlif tərkibli heteroqeyidlər üçün  $C^n=f(U)$  asılılıqları qurulmuşdur (şəkil 10). Qrafiklərdən görüldüyü kimi CdS əsasında heteroqeyidlər üçün  $n=1.6$  olduqda qrafik xətti qanuna yaxın olur ki, bu da həmin heteroqeyidlərdə həcmi yüklər oblastının sərhəddinin kəskin olmadığını və keçid oblastında rekombinasiya mərkəzlərinin olduğunu bir daha təsdiqləyir. Dördkomponentli bərk məhlulların nazik təbəqələri əsasında heteroqeyidlərdə isə  $n \approx 2$  (1,96-1,98) və həmin heteroqeyidlərdə tutumun tezlikdən asılılığı (şəkil 11) daha zəifdir ki, bu da onların keçid oblastının ideal hala yaxın olduğunu sübut edir. Şəkil 11-ə görə  $f \approx 40$  kHs-ə qədər bütün tərkib heteroqeyidlərin keçid tutumu demək olar ki, sabitdir. Daha yuxarı tezliklərdə tutumun azalması müşahidə edilir. Görüldüyü kimi keçid hallarının konsentrasiyası az olan dördkomponentli birləşmələr əsasında heteroqeyidlərdə azalma daha zəifdir. Aydınır ki, tutumun tezlik xarakteristikalarındakı düşmə (enmə) hissəsinin kəskinliyi defekt səviyyəsinin keçidin ümumi tutumuna verdiyi əlavəni müəyyənləşdirir. Elektrik tutumunun temperaturdan asılılığı əsasında müəyyən olunmuşdur ki, temperaturun yüksəlməsi ilə rekombinasiya səviyyələrinin boşalması ilə əlaqədar olaraq xarakteristikalarda müşahidə edilən enmə hissələrinin hündürlüyü kiçilir. Defekt səviyyələrinin enerji dərinliyini hesablamaq məqsədi ilə, əvvəlcə həmin səviyyələrin xarakteristik tezliyi ( $\omega_t$ ) təyin edilmişdir. Bunun üçün müxtəlif temperaturlardakı  $\frac{dC}{d\omega} = f(\omega)$  qrafiklərindən istifadə olunmuşdur. Qrafiklərdən müəyyən edilmiş xarakteristik tezliklər əsasında  $\ln\left(\frac{\omega_t}{T^2}\right) = f\left(\frac{1000}{T}\right)$  Arrenius əyriləri qurulmuş və həmin əyrilərə əsasən defekt səviyyələrinin enerji dərinliyi hesablanmışdır ( $E_1= 0.157$  eV) və  $E_{II}= 0.276$  eV (bütün tərkib heteroqeyidlər üçün)). Qeyd edək ki,  $E_1$  səviyyələrinin aktivləşmə enerjisi nazik təbəqələrin çökdürülmə rejimindən asılı olaraq dəyişdiyinə bəmayaraq,  $E_2$ -səviyyələrinin aktivləşmə enerjisi tədqiq edilmiş bütün nazik təbəqələr üçün eyni bir qiymətə malik olur. Bütün bu nəticələr imkan verir deyək ki, birinci qrup səviyyələr yalnız reaksiya zamanı təbəqələrin səthində və həcmində olan və asan buxarlanan halkogen(S, Se və Te) atomlarının artıqlığı ilə əlaqədardır. Daha dərin  $E_2$  qrup səviyyələri (bizim fikrimizcə onlar akseptor səviyyələridir) reaksiya məhlulundan çıxarıldıqdan sonra nazik təbəqələrin səthinə hopmuş oksigenin yaratdığı  $[(V_{Cd,Zn} - O)^+ - (Zn)Cd_i^{++}]^{++}$  vakansiyaları ilə əlaqədardır.  $A^{II}B^{VI}$  tip nazik təbəqələrin açıq hava, oksigen və arqon mühitlərində termik işlənməsi (Tİ) zamanı təbəqələrin səthində və həcmində baş verən fiziki və kimyəvi proseslər onların bütün elektrik, optik və fotoelektrik xassələrini dəyişir. Aparığımız hərtərəfli tədqiqatlar nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki,  $A^{II}B^{VI}$  tip nazik təbəqələr əsasında müxtəlif tip heteroqeyidlərin optimal elektrik parametrlərinin əldə olunması üçün onlar optimal mühit və rejimdə termik işlənməlidirlər. Belə ki, termik işlənmə mühitindən və rejimindən asılı olaraq nazik təbəqələrin səthində və heteroqeyidlərin keçid oblastında ya fiziki, ya da kimyəvi proseslər baş verir. Biz p-Si/ $A^{II}B^{VI}$  tip heteroqeyidlərin elektrik xassələrinin müqayisəli analizi üçün açıq hava, oksigen və arqon mühitində aparılmış tədqiqatların nəticələrini şərh etmişik. Termik işlənmə tədqiq edilən bütün tip p-Si/ $A^{II}B^{VI}$  heteroqeyidlərin nəinki kristal quruluşunu və kristallaşma dərəcəsini, həmçinin bütün elektrik parametrlərini və cərəyanın keçiddən daşınma mexanizmini kəskin olaraq dəyişir. Belə ki, şəkil 7-də açıq hava (a), oksigen (b) və arqon (c) mühitlərində termik işlənmiş heteroqeyidlərdə VAX-ın qeyri-ideallıq əmsalının (n) termik işlənmə temperaturundan asılı olaraq dəyişməsi qrafikləri təsvir edilmişdir. Qrafiklərdən görüldüyü kimi, termik işlənmə mühitindən asılı olmayaraq ilkin temperaturlarda qeyri-ideallıq əmsalının dəyişməsi eyni cür qanunauyğunluqla baş verir. İlkin Tİ temperaturlarında ( $150^{\circ}\text{C}$  temperaturlara qədər)n-nin qiyməti bütün nazik təbəqələr üçün azalır. Bu azalma nazik təbəqələrin səthində və həcmində

çökdürülmə zamanı reaksiyaya girməmiş (birləşmə yaratmamış) metal/yarımkeçirici artıqlığının buxarlanması ilə əlaqədardır. Şəkillərdən görüldüyü kimi dördkomponentli birləşmələrdə bu azalma daha zəif qanunla baş verir ki, bu da onlarda metal/yarımkeçirici artıqlığının daha az olması ilə əlaqədar ola bilər. Cədvəl 2-dən və şəkildən görüldüyü kimi, bütün elektrik parametrlərinin optimal qiymətləri üçün Tİ-nin rejimi müxtəlif nazik təbəqələr üçün müxtəlifdir. Şəkillərdən görüldüyü kimi, Tİ-nin mühitindən asılı olmayaraq nazik təbəqələrdə Zn və Te-un miqdarının artması ilə Tİ-nin temperatur və rejimindən asılılığı zəifləyir. Ən zəif asılılıq tellurlu birləşmələrdə müşahidə edilir ki, bu da onların ətraf mühitə qarşı daha davamlı olduqlarını göstərir. Yəni tellurlu birləşmələr əsasında diod quruluşları iş prosesində daha zəif degradasiya nümayiş etdirə bilər. Tərkibdən asılı olaraq 300-390°C temperatura qədər Tİ zamanı  $n$ -nin və ardıcıl müqavimətin qiymətinin azalması davam edir və minimal qiymətə malik olur ki, bu da bu temperaturlarda termik işlənmə zamanı heteroqəçidlərin tam formalaşdığını göstərir. Aparıldığı mühitdən asılı olmayaraq göstərilən temperatur intervalında Tİ-dən sonra heteroqəçidlər maksimal düzləndirmə nümayiş etdirir; bütün tip heteroqəçidlərdə  $C^{-n}=f(U)$  asılılığında  $n \approx 2$  qiymətini alır ki, bu da Tİ-dən sonra onların həcmi yüklər oblastının sərhəddinin kəskinləşdiyini, yəni kəskin heteroqəçid olduqlarını göstərir; tutumun xarici sahənin tezliyindən asılılığı müşahidə edilmir; ardıcıl müqavimət minimal qiymət alır (cədvəl 2). Keçid oblastının skanedici elektron mikroskopu ilə çəkilmiş fotoşəkilləri, nazik təbəqələrin atom qüvvət mikroskopunda çəkilmiş səth fotoşəkilləri və Tİ-dən sonra baş verən dəyişikliklər fikrimizcə birbaşa çökdürülmədən sonra alınmış nazik təbəqələrin polikristal dərəcəsi ilə əlaqədardır. Belə ki, birbaşa çökdürülmədən sonra heteroqəçidlərin keçid oblastı müxtəlif elektrik xassələrinə malik və həndəsi ölçüsü çox kiçik olan nanoheterostrukturdan təşkil olunmuşdur və bu nanoheterostrukturların hər biri müxtəlif cür düzləndirmə istiqamətinə malikdir. Xarici elektrik sahəsində bu nanoheteroqəçidlərin hər birində həcmi yüklər oblastında sahənin paylanma xarakteri və cərəyanın daşınması mexanizmi müxtəlif təbiətlidir. Yəni ümumi heteroqəçid matrisinin elektrik xassələri bu cür nanoheteroqəçidlərin xassələri ilə müəyyən olunur. Yüksək temperaturlarda (300-390°C) Tİ zamanı yenidən kristallaşma (rekristallizasiya) nazik təbəqələrin bütün həcmi boyu polikristalların birləşməsinə, keçid oblastında (həcmi yüklər oblastında) elektrik sahəsinin flüktasiyalarının azalmasına və nəticədə vahid bir sistemin formalaşmasına səbəb olur ki, bu da optimal elektrik parametrlərinin əldə edilməsi ilə nəticələnir. Aşağı temperaturlarda termik işlənmə zamanı heteroqəçidlərin bütün elektrik xassələri Tİ-nin aparıldığı mühitin növündən asılı olmadığı halda, daha yüksək temperaturlarda ( $t \geq 400^\circ\text{C}$ ) Tİ zamanı elektrik parametrlərinin həm dəyişməsi mexanizmi, həm də qiyməti mühitin növündən kəskin asılı olur. Bu onu göstərir ki, aşağı temperaturlarda Tİ zamanı nazik təbəqələrin səthində və həcmində yalnız fiziki proseslər baş verdiyi halda, yüksək temperaturlarda həm də kimyəvi proseslər baş verir. Belə ki, şəkildən görüldüyü kimi, açıq havada və oksigen mühitində 400-415°C temperaturda Tİ zamanı VAX-ın qeyri-ideallıq əmsalının qiyməti yenidən artır və kəskin olaraq azalır.  $n$ -nin qiymətinin dəyişməsi oksigen mühitində özünü daha çox biruzə verir. Arqon mühitində 400-415°C temperaturda Tİ zamanı isə demək olar ki, heç bir dəyişiklik baş vermir. Fikrimizcə, açıq hava və oksigen mühitində Tİ zamanı nazik təbəqələrin səthində və həcmində olan kimyəvi çökdürmə zamanı reaksiyaya girməmiş Cd və Zn yüksək temperaturda Tİ zamanı mühitdəki oksigenlə birləşərək nazik təbəqələrin səthində  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{O}$  tipli yarımkeçirici birləşmələrini yaradır və nəticədə p-Si/A<sup>II</sup>B<sup>VI</sup>/Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>O tipli heteroqəçidlərin əmələ gəlməsi bütün elektrik parametrlərinin (VAX-ın qeyri-ideallıq əmsalı, ardıcıl müqavimət, potensial çəpərin hündürlüyü, düzləndirmə əmsalı və s.) dəyişməsinə səbəb olur. Şəkil 12 a,b,c-dən görüldüyü kimi termik işlənmənin aparıldığı mühitdən asılı olmayaraq, kükürlü-tellurlu birləşmələr əsasında heteroqəçidlərin elektrik parametrləri zəif dəyişsə də, selenli-tellurlu nazik təbəqələr əsasında

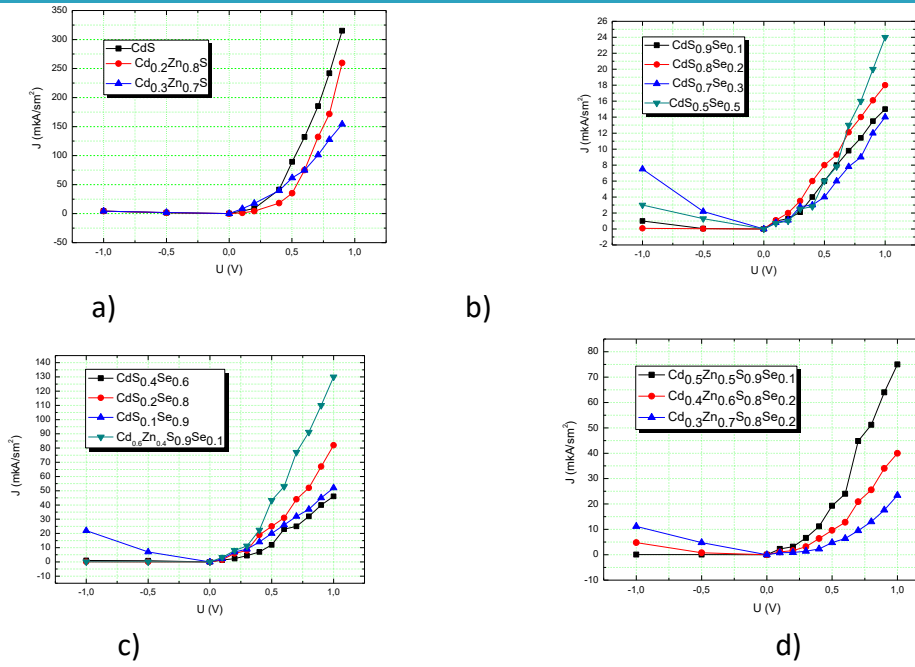
heteroqeçidlərin elektrik parametrləri demək olar ki, dəyişməmişdir. Bu da onların ətraf mühitə qarşı daha dayanıqlı olduqlarını bir daha təsdiq edir. Şəkildən görüldüyü kimi, Tİ-nin daha yuxarı temperaturlarında (hər üç Tİ mühitində)  $n$ -nin qiyməti bütün tip heteroqeçidlərdə kəskin olaraq artır ki, bu da nazik təbəqələrin intensiv buxarlanması və qeçidin dağılması kimi fiziki hadisələrlə izah oluna bilər (şəkil 14). Heteroqeçidlərin bütün elektrik parametrləri Tİ mühitindən və temperaturundan asılı olaraq hesablanmışdır (cədvəl 2).



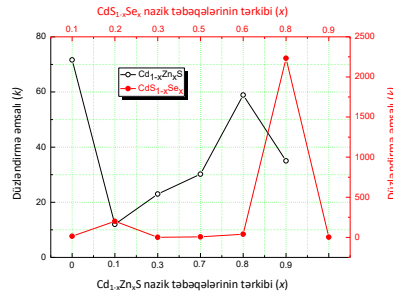
Şəkil 12. Müxtəlif tərkibli p-Si/A<sup>II</sup>B<sup>VI</sup> heteroqeçidlərində VAX-ın qeyri-ideallıq əmsalının ( $n$ ) açıq hava (a), oksigen (b) və arqon (c) mühitlərində termik işlənmə temperaturundan asılı olaraq dəyişməsi. Tİ-nin davam etmə müddəti 11 dəq olmuşdur.

Cədvəl 2. p-Si/A<sup>II</sup>B<sup>VI</sup> heteroqeçidlərinin müxtəlif mühit və rejimlərdə termik işlənmədən sonra elektrik parametrləri

Elektrik parametrləri	p-Si/CdS												
	Tİ-dən əvvəl	Termik işlənmənin mühiti və rejimi											
		Açıq hava (°C) 11 dəq ərzində				Oksigen (°C) 11 dəq ərzində				Arqon (°C) 11 dəq ərzində			
		150	340	400	450	150	340	410	450	150	340	400	450
Düzləndirmə əmsalı	72	110	1400	900	40	100	1350	1000	32	140	1600	1570	30
Qeyri-ideallıq əmsalı	2,5	2,3	1,5	1,68	2	2,27	1,5	1,5	2,2	2,25	1,48	1,9	2,17
Ardıcıl müqavimət (Om) 1 sm <sup>2</sup> sahə üçün	1	0,98	0,6	1,74	≥10	0,9	0,64	1,9	≥14	0,84	0,52	0,6	≥3
Potensial çəpərin hündürlüyü (eV)	0,45	0,45	0,45	0,57	-	0,45	0,45	0,64	-	0,45	0,45	0,45	-
Elektrik parametrləri	p-Si/Cd <sub>0.4</sub> Zn <sub>0.6</sub> S												
	Tİ-dən əvvəl	Termik işlənmənin mühiti və rejimi											
		Açıq hava (°C) 11 dəq ərzində				Oksigen (°C) 11 dəq ərzində				Arqon (°C) 11 dəq ərzində			
		150	360	410	450	150	360	410	450	150	360	410	450
Düzləndirmə əmsalı	60	90	1500	1260	25	84	1450	1300	20	120	1900	1850	-
Qeyri-ideallıq əmsalı	1.8	1,6	1,42	1,36	1,7	1,6	1,43	1,37	1,8	1,6	1,41	1,68	1,7
Ardıcıl müqavimət (Om) 1 sm <sup>2</sup> sahə üçün	5,6	5	3,2	4	≥8	5,3	3,6	4,2	≥11	4,2	2,2	2,8	≥3
Potensial çəpərin hündürlüyü (eV)	0,58	0,58	0,58	0,65	-	0,58	0,58	0,7	-	0,58	0,58	0,58	-



Şəkil 13. p-Si/n-A<sup>II</sup>B<sup>VI</sup> heteroqəçidlərinin bilavasitə çökdürmədən sonra otaq temperaturunda qaranlıq VAX-ı



Şəkil 14. Bilavasitə çökdürülmədən sonra p-Si/n-A<sup>II</sup>B<sup>VI</sup> heteroqəçidlərində düzləndirmə əmsalının nazik təbəqələrin tərkibindən asılılığı

Cədvəl 3. p-Si/A<sup>II</sup>B<sup>VI</sup> tip heteroqəçidlərin bilavasitə çökdürülmədən sonra elektrik parametrləri

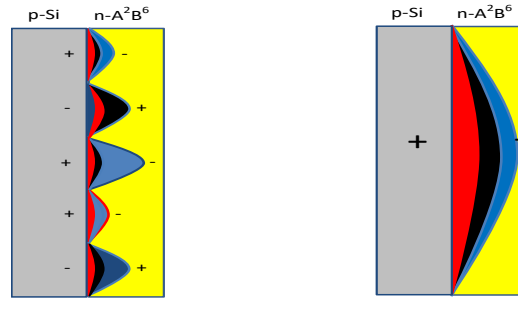
Nümunə	Qeyri-ideallıq əmsali ( $U \leq 0,2$ V)	Qeyri-ideallıq əmsali ( $0,2 \leq U \leq 0,5$ V)	Düzləndirmə əmsali	Əksinə doyma cərəyanı (A)	müqavimət (Om)	$1 \text{ sm}^2$ sahə potensiallar fərqi (eV)	potensiallar fərqi (eV) (VFX-dan)	Cərəyanın daşınma mexanizmi	Keçirici zonalər fərqi, ΔE (eV)
Si/CdS	2,5	2,5	72	$4,6 \cdot 10^{-7}$	1	0,45	0,45	Həcmi yüklər oblastında hər iki yükdaşıyıcı hesabına baş verən tunel-rekombinasiya	2,74
Si/Cd <sub>0.4</sub> Zn <sub>0.6</sub> S	1,8	1,4	60	$2,3 \cdot 10^{-8}$	5,6	0,57	0,58	$U \leq 0,2$ V gərginliklərdə: Deşiklər	2,24

								hesabına tunel-rekombinasiya 0,2≤U≤ 0,5V gərginliklərdə: Diffuziya	
Si/CdS <sub>0,2</sub> Se <sub>0,8</sub>	2,1	1,8	2200	≈10 <sup>-8</sup>	2	0,5	0,52	Həcmi yüklər oblastında hər iki yükdaşıyıcı hesabına baş verən tunel-rekombinasiya	2,57
Si/Cd <sub>0,3</sub> Zn <sub>0,7</sub> S <sub>0,8</sub> Se <sub>0,2</sub>	1,6	1,3	1800	1,2·10 <sup>-8</sup>	6,3	0,63	0,6	U≤0,2 V gərginliklərdə: tunel- rekombinasiya, 0,2≤U≤ 0,5V gərginliklərdə: Diffuziya	2,34

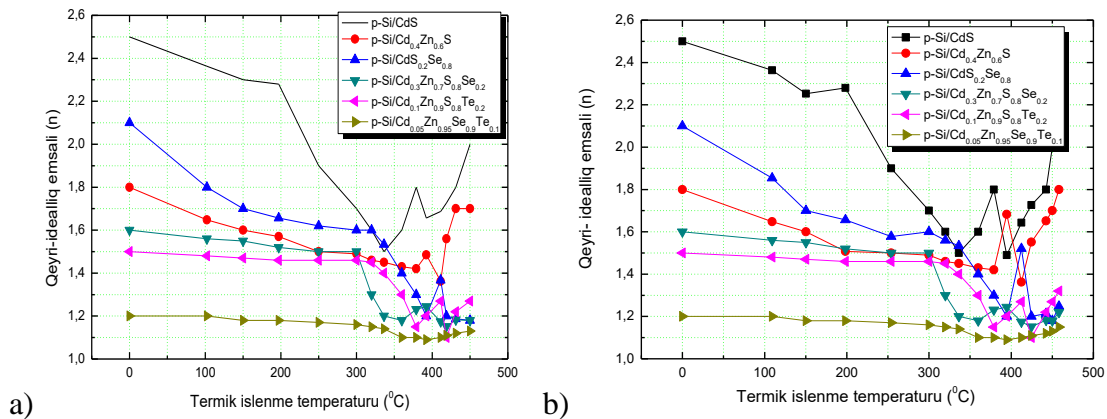
### Passivləşdirici təbəqələrin hazırlanması və onun xarakteristikası

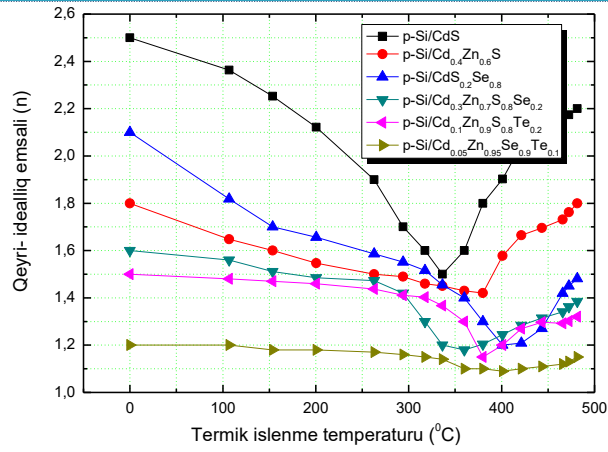
p-Si/n-A<sub>2</sub>B<sub>6</sub> tipli nazik təbəqəli heteroqəçidlərin dalğa uzunluğunun (0.3 – 1.4 mkm) geniş diapazonunda fotoelektrik xassələrinin A<sub>2</sub>B<sub>6</sub> tipli bərk məhlulların nazik təbəqələrinin kəmiyyətə tərkibindən, elektrokimyəvi çökdürmə potensialından, termik işlənmə mühitindən və rejimindən asılılığı tədqiq edilmişdir. Termik işlənmədən əvvəl (a) və sonra (b) heteroqəçidlərin keçid oblastının fərz olunan diaqramı şəkil 15-də göstərilmişdir

artıqlığın yaranmasına, rabitə qüvvələrinin qeyri-bərabər paylanmasına və nəhayət, nisbətən böyük qalınlıqlarda təbəqənin dağılmasına səbəb olur.



Şəkil 15. Termik işlənmədən əvvəl (a) və sonra (b) heteroqəçidlərin keçid oblastının fərz olunan diaqramı Effektiv passivləşdirici rejiminə nail olmaq üçün açıq hava (a), oksigen (b) və arqon (c) mühitlərində termik işlənmiş heteroqəçidlərdə VAX-ın qeyri-idealıq əmsalının (n) termik işlənmə temperaturundan asılı olaraq dəyişməsi tədqiq olunmuşdur.





c)

Şəkil 16. 10 dəq ərzində açıq hava (a), oksigen (b) və arqon (c) mühitlərində termik işlənmiş heteroqeyidlərdə VAX-ın qeyri-ideallıq əmsalının (n) termik işlənmə temperaturundan asılı olaraq dəyişməsi.

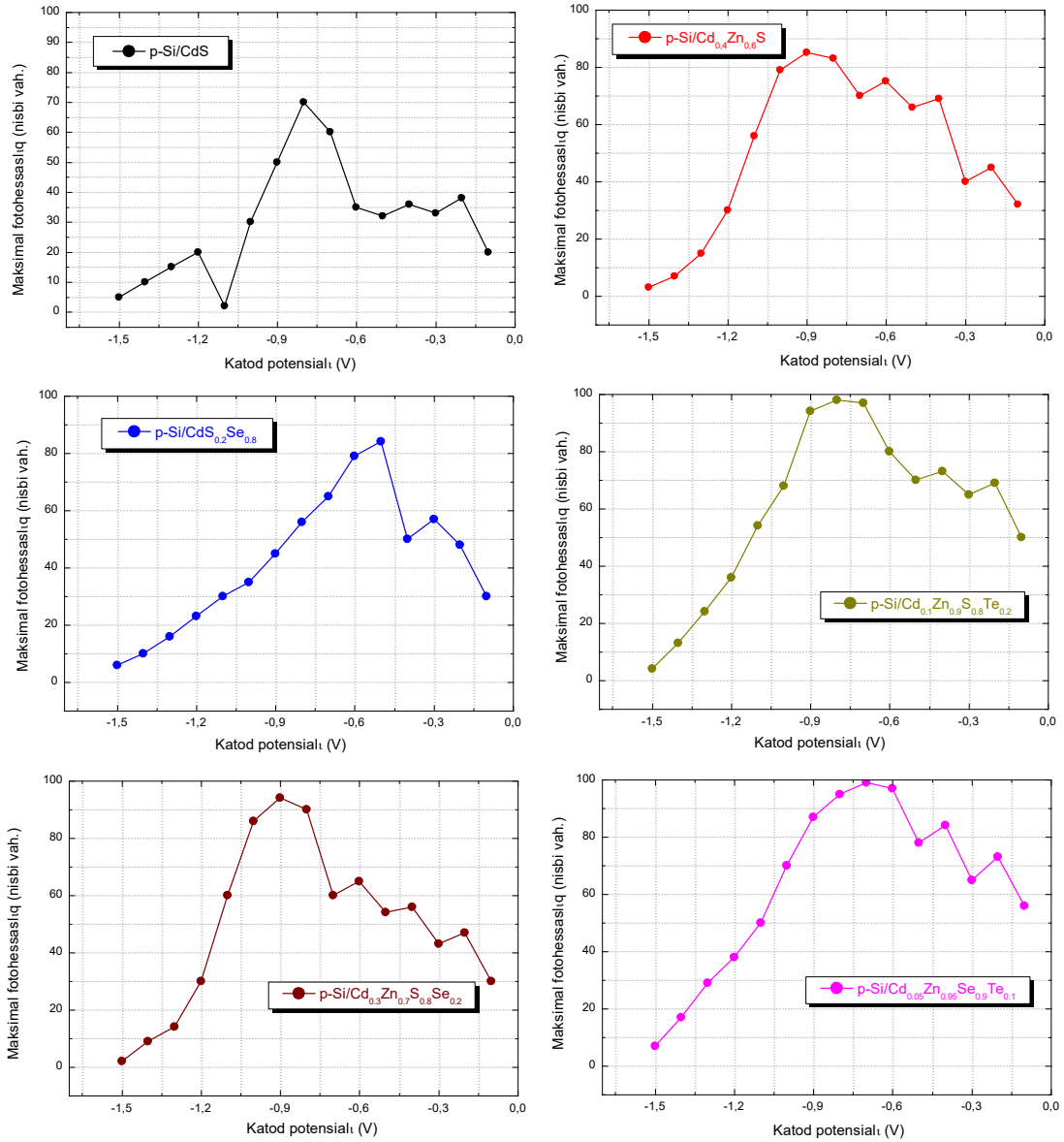
Bilavasitə çökdürülmədən sonra bütün tip heteroqeyidlərdə fotovoltaiq effekt müşahidə edilir. Belə ki, ftohəssaslıq elektrokimyəvi çökdürülmə potensialından (katod potensialından) kəskin asılıdır. Şəkil 17.-də müxtəlif tərkibli heteroqeyidlər üçün nisbi ftohəssaslığın ( $1 \text{ sm}^2$  sahədə və  $100 \text{ mVt/sm}^2$  işıqlanmada hər bir nümunə üçün maksimal ftohəssaslığa uyğun dalğa uzunluğundakı qiymətlər) çökdürmə potensialından asılılıq qrafikləri təsvir edilmişdir. Şəkillərdən görüldüyü kimi, maksimal ftohəssaslıq katod potensialının konkret bir qiymətində müşahidə edilir və müxtəlif tərkiblər üçün müxtəlif qiymətlər alır. Nisbi ftohəssaslığın zəif olduğu katod potensiallarında ftohəssaslıq ossilyasiya xarakterlidir. Fikrimizcə bu onunla əlaqədardır ki, katod potensialının bu qiymətlərində alınmış nazik təbəqələr hələ tam formayaşmayıb (AFM, SEM və rentgendifraksiya tədqiqatları). Fotocərəyanın ossilyasiyası nazik təbəqələrin matrisində kiçik ölçülü CdS-ZnS-ZnSe (Te)-CdSe (Te) qarışıq sisteminin və ya metal/halkogen artıqlığının olması ilə izah oluna bilər. Lakin çökdürmə potensialının verilmiş tərkibli nazik təbəqə üçün konkret qiymətlərində alınmış heteroqeyidlərin spektrin qısa dalğa uzunluğu oblastında ftohəssaslığı kəskin olaraq artır və fotocərəyanın ossilyasiyaları itir və heteroqeyidlər maksimum ftohəssaslıq nümayiş etdirir. Katod potensialının sonrakı artımında ( $U \geq -1.0 \text{ V}$ ) heteroqeyidlərin spektrin qısa dalğa uzunluğu oblastında ftohəssaslığı yenidən pisləşir. Ftohəssaslığın çökdürmə potensialından asılı olaraq bu cür qeyri-monoton dəyişməsi,  $A_2B_6$  tip bərk məhlulların nazik təbəqələrinin stexiometrik tərkibinin yalnız potensialın konkret qiymətində alınmasını bir daha sübut edir. Belə ki, katod potensialının optimal qiymətdən böyük və kiçik qiymətlərində katodun səthində termodinamik tarazlığın pozulması və ionların ( $\text{Cd}^+$ ,  $\text{Zn}^+$ ,  $\text{S}^+$ ,  $\text{Se}^+$ ,  $\text{Te}^+$ ) elektrokimyəvi aktivliyinin kəskin fərqlənməsi metal və ya halkogen artıqlığına, habelə, metal hidrokidlərinin yaranmasına və bunun nəticəsində səthi çoxlu sayda qarışıqlardan ibarət olan bir sistemin əmələ gəlməsinə səbəb olur.

Tədqiq olunan p-Si/ $A_2B_6$  tip bərk məhlulların nazik təbəqələri əsasında heteroqeyidlərdə ftohəssaslıq katod potensialı ilə yanaşı, həm də təbəqənin qalınlığı ilə müəyyən olunur.

Məlum olduğu kimi, günəş fotoelementlərinin hasil etdikləri elektrik enerjisinin maya dəyərini daha da aşağı salmaq üçün mövcud olan üsullardan biri də işçi elementin hazırlandığı yarımkeçirici təbəqənin qalınlığını mümkün qədər kiçiltmək lazımdır. Bu bir tərəfdən material sərfini azladır, ən başlıcası isə günəş elementinin ardıcıl müqavimətinin kiçildilməsinə gətirir. Lakin təbəqənin qalınlığının azaldılması da müəyyən problemlər yaradır. Sadə mülahizələrlə bunu izah etsək, məlumdur ki, elektrik sahəsi qalınlıqla sadə formada  $E = U/d$  şəklində asılıdır. Yəni qalınlığın azaldılması keçid zonasında daxili elektrik sahəsinin artmasına səbəb olar və bu əlavə sahə işığın təsiri ilə generasiya olunmuş yükdaşıyıcıların ayrılması prosesinə kömək edər, yəni yekunda effektivlik artır. Yəni ekstra ultra nazik təbəqə almaqla maksimal effektivlik əldə etmək mümkündür. Başqa nəzəri məlumatlara söykənsək, əgər işığın təsiri ilə elektron-deşik cütü keçidin sərhəddindən hesablanan  $L_p$  və  $L_n$  diffuziya uzunluqları tərtibində generasiya olunarsa, onlar müvəffəqiyyətlə ayrılabilir. Yəni prinsipcə aktiv qalınlıq  $d = L_p + L_n + \text{həcmi yüklər oblastının eni (HYOE)}$  kimi təyin oluna bilər. Əgər  $L_p + L_n$  cəmini sifra yaxın qəbul etsək aktiv qalınlıq yalnız həcmi yüklər



oblastının eni ilə müəyyən edilir. Nazik təbəqənin udma əmsalı ( $\alpha$ ) ilə qalınlığı arasında  $d \sim 1/\alpha$  münasibət olduğundan, belə nəticəyə gəlmək olar ki, udma əmsalı çox böyük olan material üçün  $d \approx \text{HYOE}$  olar və onlar üçün fotocərəyan da çox böyük olar. Ümumiyyətlə,  $A_2B_6$  tip nazik təbəqələrdə udma əmsalı  $0$  qədər də böyük deyil.

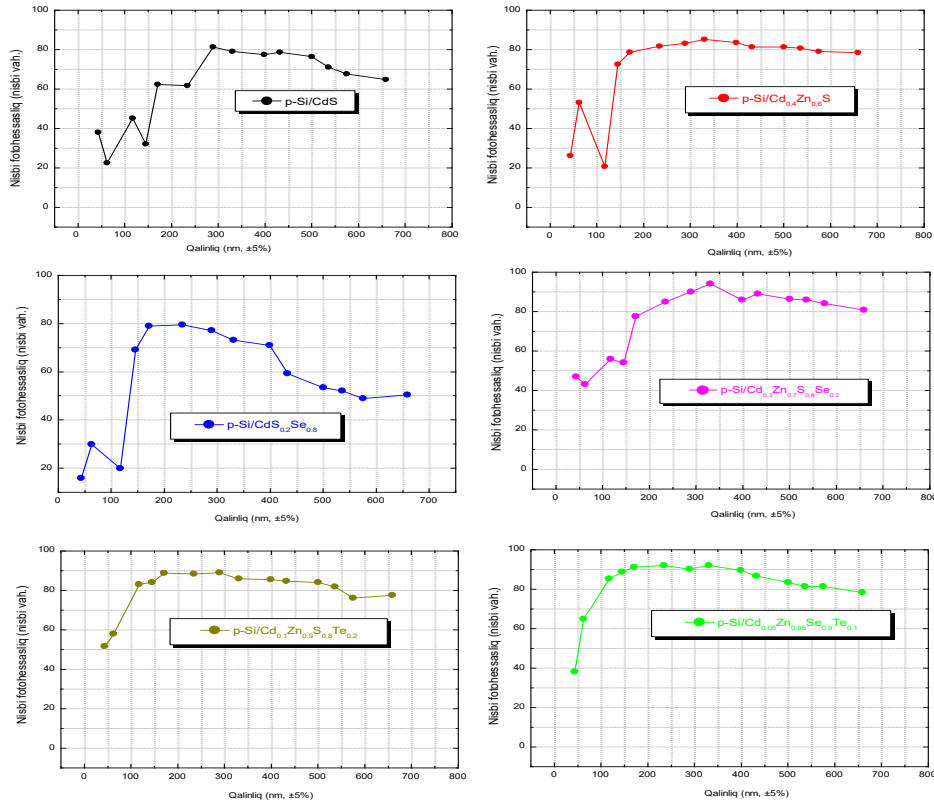


Şəkil 3. Bilavasitə çökdürülmədən sonra müxtəlif tərkibli p-Si/ $A_2B_6$  tip heteroqeyidlər üçün nisbi fotohəssaslığın ( $1 \text{ sm}^2$  sahədə və  $100 \text{ mVt/sm}^2$  işıqlanmada hər bir nümunə üçün maksimal fotohəssaslığı uyğun dalğa uzunluğundakı qiymətlər) çökdürmə potensialından asılılığı.

Ona görə də maksimal effektivliyin əldə edilməsi üçün konkret material üçün konkret qalınlıq seçilməlidir. Şəkil 4-də katod potensialının optimal qiymətində (şəkil 3.ə görə heteroqeyidlərin maksimal fotohəssaslığına uyğun katod çökdürmə potensialı) alınmış nazik təbəqəli heteroqeyidlərdə bilavasitə çökdürmədən sonra nisbi fotohəssaslığın nazik təbəqələrin qalınlığından asılılıq qrafikləri təsvir edilmişdir. Qrafiklərdən görüldüyü kimi, fotohəssaslığın təbəqənin qalınlığından asılılığı ekstremum xarakterlidir. Kiçik qalınlıqlarda fotohəssaslıq kəskin olaraq azalır və ossilyasiya xarakterlidir. Fotohəssaslığın ossilyasiya xarakterli olması belə izah oluna bilər: tədqiq edilən nazik təbəqələr polikristal olduğundan təbəqənin ümumi fotohəssaslığı ayrı-ayrı adacıqların fotohəssaslığı ilə müəyyən edilir. Hər bir adacığın müqaviməti fərqli olduğundan işığın onlarda udulması və elektron-deşik cütlərinin generasiyası da müxtəlif xarakterdə baş verir. Kiçik qalınlıqlarda adacıqlar arasındakı fərq kifayət qədər olduğundan heteroqeyidin fotohəssaslığı da qalınlığın dəyişməsindən qeyri-monoton asılı olur. Qalınlıq artdıqda adacıqların sərhəddi



bir-birini bürüyür və bu ossilyasiyalar azalır. Şəkildən görüldüyü kimi, S-Te və Se-Te tərkibli dördqat birləşmələr əsasında nazik təbəqələrdə ossilyasiyalar zəifdir. Bu bir daha təsdiq edir ki, tellurlu birləşmələr daha dayanıqlıdır və onlar əsasında elastik (flexible), dayanıqlı günəş elementləri hazırlamaq mümkündür. Daha böyük qalınlıqlarda şüalanmanın daha çox hissəsi nazik təbəqələrdə udulduğundan ftohəssaslıq zəifləyir. Qrafiklər əsasında hər bir tərkib heteroqeyid üçün maksimal ftohəssaslığı müəyyən edən optimal qalınlıq seçilmiş və məhz həmin heteroqeyidlər üçün fotocərəyanın spektral paylanması, lüks-ampere xarakteristikası, işıq VAX-1 bilavasitə çökdürmədən sonra və termik işlənmənin mühit və rejimindən asılı olaraq kompleks formada tədqiq edilmişdir.



Şəkil 4. Bilavasitə çökdürülmədən sonra müxtəlif tərkibli p-Si/A<sub>2</sub>B<sub>6</sub> tip heteroqeyidlər üçün nisbi ftohəssaslığın (1 sm<sup>2</sup> sahədə və 100 mVt/sm<sup>2</sup> işıqlanmada hər bir nümunə üçün maksimal ftohəssaslığa uyğun dalğa uzunluğundakı qiymətlər) nazik təbəqələrin qalınlığından asılılığı.

Nazik təbəqələrin tərkibinin dəyişməsi ilə spektrin qısa dalğa uzunluğu oblastindəki maksimum Se və Te-un miqdarının artması ilə uzun dalğalar tərəfə, Zn-in miqdarının artması ilə isə daha qısa dalğalar tərəfə sürüşür. Bu bir daha olaraq sulu məhluldan elektrokimyəvi çökdürmə üsulu ilə stexiometrik tərkibə malik ikiqat, üçqat və dördqat birləşmələrin nazik təbəqələrinin alınmasını sübut edir. Aparduğumuz təcrübə tədqiqatları göstərmişdir ki, aparıldığı mühitdən asılı olmayaraq Tİ bütün tərkib heteroqeyidlərinin ftohəssaslığını kəmiyyətcə və keyfiyyətcə dəyişdirir.

p-Si/n-A<sub>2</sub>B<sub>6</sub> tip heteroqeyidlərin termik işlənmədən əvvəl və müxtəlif mühitlərdə optimal Tİ rejimində qısa qapanma cərəyanının spektral paylanma əyriləri və LAX-1 tədqiq olunmuşdur. Termik işlənmədən sonra heteroqeyidlərin qısa dalğa uzunluğu oblastində ftohəssaslığı yüksəltməklə bərabər, həm də onun spektri daha qısa dalğalar oblastı tərəf genişləyir. Açıq hava və oksigen mühitində Tİ zamanı spektrin qısa dalğa uzunluğu oblastində daha bir maksimum əmələ gəlir ki, bu da nazik təbəqələrin səthində Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>O nazik təbəqələrinin əmələ gəldiyini bir daha təsdiq edir. Onu da qeyd edək ki, dördqat birləşmələr əsasında heteroqeyidlərdə bu effekt o qədər də özünü biruzə vermir. Bu da onların ətraf mühitə qarşı dayanıqlı

olduqlarını bir daha sübut edir. Arqon mühitində Tİ zamanı ftohəssaslıq spektrin bütün oblastında kəskin artır ki, bu da tədqiq edilən heteroqəçidlərdən effektiv günəş elementləri kimi istifadə etməyə imkan verir. Oksigen mühitində Tİ zamanı isə bütün spektr boyu ftohəssaslığın arqon mühitindəkinə nisbətən azalmasına baxmayaraq, qısa dalğala oblastıda həssaslığın artması onlardan həm spektrin ultrabənövşəyi oblastında yüksək effektivliyə və həssaslığa malik günəş enerjisi çeviriciləri, həm də işıq qeydediciləri kimi istifadə etməyin mümkünlüyünü deməyə imkan verir. Belə mühit və rejimdə termik işlənmədən sonra tədqiq etdiyimiz heteroqəçiricilərin, həmçinin spektrin görünən oblastında həssaslığı da artır və stabilləşir. Optimal rejimdə termik işlənmədən sonra bu heteroqəçidlər spektrin geniş diapazonunda (385–1100 nm) yüksək stabil ftohəssaslıq nümayiş etdirilər. Termik işlənmə temperaturunun və ya müddətinin optimal qiymətdən bir qədər də artırılması qısa dalğa uzunluğu oblastında həmin heteroqəçidlərin ftohəssaslığını kəskin azaldır, ftohəssaslığın ossilyasiyasını isə artırır.

Bilavasitə çökdürülmüş heteroqəçidlərdə qısa qapanma cərəyanı düşən işığın intensivliyindən qeyri-xətti asılıdır. Bu cür qeyri-xətti asılılıq nazik təbəqələrdə mövcud olan asan və çətin idarə olunan donor və ya akseptor təbiətli mərkəzlərin olması ilə əlaqədardır. Belə ki, qısa qapanma cərəyanının işığın intensivliyindən asılılığı üstlü qanuna, əvvəlki paraqrafda deyildiyi kimi, Tİ-dən sonra isə nazik təbəqələrdə mövcud olan donor-akseptor təbiətli səviyyələrin idarə olunması nəticəsində LAX xətti qanuna tabe olur, dördqat birləşmələrdə LAX ele birbaşa çökdürmədən sonra da xəttiliyə yaxın asılılıq nümayiş etdirir. Bu onu göstərir ki, dördqat birləşmələrdə reaksiya zamanı termodinamik tarazlığın pozulmaması hesabına bütün reaksiya məhsulları təbəqənin bütün səthi və həcmi boyunca tam reaksiyaya girir ki, bu da onlarda metal/yarımkeçirici artıqlığının və boş vakansiyaların yaranmamasına və nəticədə oksigenin səthə absorpsiyasının qarşısını almağa imkan verir.

Yüksək temperaturlarda və daha uzunmüddətli termik işlənmə səthdən intensiv buxarlanmağa və keçidin dağılmasına gətirir ki, bu da asılılıq qrafikinə yenidən xəttilikdən kənara çıxması ilə nəticələnir.

Cədvəl 3. p-Si/A<sup>IV</sup>B<sup>VI</sup> heteroqəçidlərinin müxtəlif mühit və rejimlərdə termik işlənmədən sonra elektrik parametrləri

Elektrik parametrləri	p-Si/Cd <sub>0.1</sub> Zn <sub>0.9</sub> S <sub>0.8</sub> Te <sub>0.2</sub>												
	Ti-dən əvvəl	Açıq hava (°C) 11 dəq ərzində				Oksigen (°C) 11 dəq ərzində				Arqon (°C) 11 dəq ərzində			
		150	340	400	450	150	340	410	450	150	340	400	450
Düzləndirmə əmsali	72	9400	10000	8900	2000	9100	9800	8300	1800	10000	12000	10000	3000
Qeyri-ideallıq əmsali	2,5	1,48	1,16	1,24	1,3	1,48	1,15	1,24	1,3	1,47	1,16	1,24	1,2
Ardıcıl müqavimət (Om) 1 sm <sup>2</sup> sahə üçün	1	3,7	1,4	1,6	7,6	3,7	1,4	1,6	7,8	3,4	1,3	1,36	5,7
Potensial çəpərin hündürlüyü (eV)	0,45	0,64	0,64	0,66	0,6	0,64	0,64	0,66	0,6	0,64	0,64	0,64	0,64
Elektrik parametrləri	p-Si/Cd <sub>0.05</sub> Zn <sub>0.95</sub> Se <sub>0.9</sub> Te <sub>0.1</sub>												
	Ti-dən əvvəl	Açıq hava (°C) 11 dəq ərzində				Oksigen (°C) 11 dəq ərzində				Arqon (°C) 11 dəq ərzində			
		150	360	410	450	150	360	410	450	150	360	410	450
Düzləndirmə əmsali	60	4400	6800	6700	5900	4400	6800	6700	5900	4400	6800	6700	5900
Qeyri-ideallıq əmsali	1.8	1,17	1,1	1,1	1,14	1,17	1,1	1,1	1,14	1,17	1,1	1,1	1,14
Ardıcıl müqavimət (Om) 1 sm <sup>2</sup> sahə üçün	5,6	0,74	0,5	0,57	0,66	0,74	0,5	0,6	0,66	0,74	0,5	0,5	0,56

Potensial çəpərin hündürlüyü (eV)	0,58	0,61	0,61	0,65	0,6	0,61	0,61	0,67	0,6	0,61	0,61	0,6	0,6

Şəkil 18.də katod potensialının optimal qiymətində (şəkil 17.yə görə heteroqəçidlərin maksimal fotohəssaslığına uyğun katod çökdürmə potensialı) alınmış nazik təbəqəli heteroqəçidlərdə bilavasitə çökdürmədən sonra nisbi fotohəssaslığın nazik təbəqələrin qalınlığından asılılıq qrafikləri təsvir edilmişdir. Qrafiklərdən görüldüyü kimi, fotohəssaslığın təbəqənin qalınlığından asılılığı ekstremum xarakterlidir. Kiçik qalınlıqlarda fotohəssaslıq kəskin olaraq azalır və ossilyasiya xarakterlidir. Fotohəssaslığın ossilasiya xarakterli olması belə izah oluna bilər: tədqiq edilən nazik təbəqələr polikristal olduğundan təbəqənin ümumi fotohəssaslığı ayrı-ayrı adacıqların fotohəssaslığı ilə müəyyən edilir. Hər bir adacığın müqaviməti fərqli olduğundan işığın onlarda udulması və elektron-deşik cütlərinin generasiyası da müxtəlif xarakterdə baş verir. Kiçik qalınlıqlarda adacıqlar arasındakı fərq kifayət qədər olduğundan heteroqəçidin fotohəssaslığı da qalınlığın dəyişməsindən qeyri-monoton asılı olur. Qalınlıq artdıqda adacıqların sərhəddi bir-birini bürüyür və bu ossilyasiyalar azalır. Şəkildən görüldüyü kimi, S-Te və Se-Te tərkibli dördqat birləşmələr əsasında nazik təbəqələrdə ossilyasiyalar zəifdir. Bu bir daha təsdiq edir ki, tellurlu birləşmələr daha dayanıqlıdır və onlar əsasında elastik (flexible), dayanıqlı günəş elementləri hazırlamaq mümkündür.

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

100% yerinə etirilmişdir

3 Hesabat dövründə alınmış **elmi nəticələr** (onların yenilik dərəcəsi, elmi və təcrübi əhəmiyyəti, nəticələrin istifadəsi və tətbiqi mümkün olan sahələr aydın şəkildə göstərilməlidir)

## NƏTİCƏLƏR

1.  $CdS_{1-x}Se_x$  nazik təbəqələrində qəfəs parametrinin tərkibdən asılılığının Veqardın xətti qaydasına tabe olmamasına görə, onların iki tərkibinin ( $x=0.2$  və  $x=0.8$ ) qəfəs parametrləri p-Si-la uyğundur və onların elektrik kontaktları düzləndirici diodlar kimi tətbiq edilə bilər.
2. p-Si/ $A_2B_6$  tip diod quruluşlarında düzləndirmə əmsalının nazik təbəqələrin tərkibindən asılılığı ekstremum xarakterlidir- maksimal düzləndirmə tərkibin konkret bir (və ya iki) qiymətində əldə edilir.
3. p-Si/ $A_2B_6$  tip bütün tərkib heteroqəçidlərin keçid oblastında iki tip defekt səviyyələri mövcuddur: birinci tip donor səviyyələrinin aktivləşmə enerjisi nazik təbəqələrin çökdürülmə rejimindən asılı olaraq dəyişdiyindən reaksiya zamanı təbəqələrin səthində və həcmində olan və asan buxarlanan halkogen (S, Se və Te) atomlarının artıqlığı ilə əlaqədardır.
4. Açıq hava və oksigen mühitində 400-415<sup>0</sup>C temperaturda Tİ zamanı ardıcıl müqavimətin və  $n$ -nin qiymətinin yenidən dəyişməsi, habelə fotohəssaslıq spektrində qısa dalğalar oblastında yeni bir maksimumun yaranması nazik təbəqələrin səthində və həcmində olan kimyəvi çökdürmə zamanı reaksiyaya girməmiş Cd və Zn-in Tİ zamanı mühitdəki oksigenlə birləşərək nazik təbəqələrin səthində komplekslər yaratması ilə əlaqədardır.
5. Katod çökdürmə potensialının optimal qiymətdən böyük və kiçik qiymətlərində katodun səthində termodinamik tarazlığın pozulması və ionların ( $C^{d+}$ ,  $Z^{n+}$ ,  $S^+$ ,  $S^{e+}$ ,  $T^{e+}$ ) elektrokimyəvi aktivliyinin kəskin fərqlənməsi nəticəsində metal və ya halkogen artıqlığının və metal hidrokidlərinin yaranması heteroqəçidlərdə elektrik və fotoelektrik parametrlərinin ossilyasiyasının səbəbidir
6. Dördqat birləşmələrdə (əsasən Te-lu birləşmələrdə daha çox) VAX-ın qeyri-ideallıq əmsalının, ardıcıl müqavimətin Tİ rejimindən zəif asılı olması, habelə fotoelektrik parametrlərinin qiymətlərində ossilyasiyaların zəif olması onların ikiqat və üçqat birləşmələrə nisbətən daha dayanıqlı olduğunu sübut edir.

4 Layihə üzrə **elmi nəşrlər** (elmi jurnallarda məqalələr, monoqrafiyalar, icmallar, konfrans materiallarında məqalələr, tezislər) (dərc olunmuş, çapa qəbul olunmuş və çapa göndərilmişləri ayrılıqda qeyd etməklə, uyğun məlumat - jurnalın adı, nömrəsi, cildi, səhifələri, nəşriyyat, indeksi, İmpact Factor, həmmüəlliflər və s. bunun kimi məlumatlar - ciddi şəkildə dəqiq olaraq göstərilməlidir) (*surətlərini kağız üzərində və CD şəklinə əlavə etməli!*)

**1. Məqalənin adı:** Synthesis and characterization of nanoscale material ZnS in porous silicon by chemical method

Müəlliflərin S.A.A: M. A. Jafarov, E. F. Nasirov, A. H. Kazımzadə, S. A. Jahangirova

Nəşrin adı: Chalcogenide Letters Vol. 18, No. 12, December 2021, p. 791 - 795

E-link: - <https://chalcogen.ro › journals>

**2. Məqalənin adı:** Electrical properties of p-Si/Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>S (Se)<sub>1-y</sub>Se(Te)<sub>y</sub>/ZnO heterojunctions

**Müəlliflərin S.A.A:** Mamedov Huseyn, Jafarov Maarif, Nasirov Elshan, Rasulova Aida, Piriyeva Dilara, Ganbarova Sevinj Baku State University, Azerbaijan

**Nəşrin adı:** [ABSTRACT BOOK MTP-2021](#)

**E-link:** - [http://mtp2021.bsu.edu.az › ABSTRACT\\_BOOK\\_M...PDF](http://mtp2021.bsu.edu.az › ABSTRACT_BOOK_M...PDF)

**3. Məqalənin adı:** Electrical and optical properties of CdS thin films

**Müəlliflərin S.A.A:** Jafarov Maarif, Kazımzadə Aydın, Nasirov Elshan Baku State University, Azerbaijan

**Nəşrin adı:** [ABSTRACT BOOK MTP-2021](#)

**E-link:** - [http://mtp2021.bsu.edu.az › ABSTRACT\\_BOOK\\_M...PDF](http://mtp2021.bsu.edu.az › ABSTRACT_BOOK_M...PDF)

**4. Məqalənin adı:** NANOSTRUCTURED POR Si-CdSTe THIN FILMS  
**Müəlliflərin S.A.A** HM MAMEDOV1, MA JAFAROV1, A KUKOVECZ2, Z KONYA2, EF NASIROV1, VU MAMMADOV1 and GM EYVAZOVA1  
 1-Baku State University, Baku, Azerbaijan  
 2-University of Szeged, Szeged, Hungary  
**Nəşrin adı:** [CONFERENCE PROCEEDINGS MTP-2021 \(Volume 2\), s.160-165](#)  
**E-link:** - <http://mtp2021.bsu.edu.az>

**5. Məqalənin adı:** ELECTRICAL PROPERTIES OF p-Si/Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>S(Se)<sub>1-y</sub>Se(Te)<sub>y</sub>/ZnO HETEROJUNCTIONS  
**Müəlliflərin S.A.A** HM MAMEDOV1, MA JAFAROV1, SI SHAH2, EF NASIROV1, DN PIRIYEVA1, SV GANBAROVA1 and AR RASULOVA1  
 1-Baku State University, Baku, Azerbaijan  
 2-Delaware University, USA  
**Nəşrin adı:** [CONFERENCE PROCEEDINGS MTP-2021 \(Volume 2\), s.127-139](#)  
**E-link:** - <http://mtp2021.bsu.edu.az>

5	İxtira və patentlər, səmərələşdirici təkliflər Tədqiqatlar nəticəsində Si kristallarından istifadə olunması əvəzinə, onun nazik təbəqələrinin yeni quruluşda alınması istiqamətdə tədqiqatların genişləndirilməsi yolları göstərilmişdir.
6	Layihə üzrə ezamiyyətlər (ezamiyyə baş tutmuş təşkilatın adı, şəhər və ölkə, ezamiyyə tarixləri, həmçinin ezamiyyə vaxtı baş tutmuş müzakirələr, görüşlər, seminarlarda çıxışlar və s. dəqiq göstərilməlidir) 20-23 yanvar 2022 tarixlərində aldığım məvacib hesabına Ukrayna elmlər Akademiyasının Neft və Qeyri üzvi Kimya İnstitutunda elmi müzakirələrdə olmuşam
7	Layihə üzrə elmi ekspedisiyalarda iştirak (əgər varsa)
8	Layihə üzrə digər tədbirlərdə iştirak (burada doldurmalı)
9	Layihə mövzusu üzrə elmi məruzələr (seminar, dəyirmi masa, konfrans, qurultay, simpozium və s. çıxışlar) (məlumat tam şəkildə göstərilməlidir: a) məruzənin növü: plenary, dəvətli, şifahi və ya divar məruzəsi; b) tədbirin kateqoriyası: ölkədaxili, regional, beynəlxalq) (burada doldurmalı) BDU-da keçirilən Modern Trend in Physics 7-ci Beynəlxalq konfransda bir şifahi və bir divar məruzəsi ilə çıxış olunmuşdur. 15-17 dekabr 2021 ci il.
10	Layihə üzrə əldə olunmuş cihaz, avadanlıq və qurğular, mal və materiallar, komplektləşdirmə məmulatları
11	Yerli həmkarlarla əlaqələr Yarımkəçiricilər fizikası kafedrasından Akademiyanın müxbir üzvü, prof. A.H. Kazımzadə, kafedranın dosenti S.Ə.Cahangirova ilə əməkdaşlıq edilmişdir
12	Xarici həmkarlarla əlaqələr

	Delaware University, USA -dan SI SHAH, University of Szeged, Szeged, Hungary-dan A KUKOVECZ, Z KONYA, Ukrayna elmlər Akademiyasının Neft və Qeyri üzvi Kimya İnstitutunun əməkdaşlarından institutun elmi işlər üzrə direktor müavini V. Evdokimenko və k.e.n. D. Kamenski ilə müzakirələr aparılmışdır
1 3	Layihə mövzusu üzrə kadr hazırlığı (əgər varsa)
	BDU-nun Fizika fakültəsinin fəlsəfə üzrə doktorantı Piriyeva Dilarə və magistri Qənbərova Sevinc elmi təcrübələrin aparılmasına və nəticələrin təhlilinə cəlb olunaraq bu sahədə bilik və bacarıqlarının artırılmasında kifayət qədər təcrübə toplamışlar
1 4	Sərgilərdə iştirak (əgər baş tutubsa)
1 5	Təcrübə artırmada iştirak və təcrübə mübadiləsi (əgər baş tutubsa)
	Ukrayna elmlər Akademiyasının Neft və Qeyri üzvi Kimya İnstitutunun əməkdaşları ilə dörd gün təcrübə mübadiləsində şəxsən iştirak etmişəm
1 6	Layihə mövzusu ilə bağlı elmi-kütləvi nəşrlər, kütləvi informasiya vasitələrində çıxışlar, yeni yaradılmış internet səhifələri və s. (məlumatı tam şəkildə göstərməlidir)
	BDU Fizika fakültəsinin elmi seminarında müzakirə olunması nəzərdə tutulur. Türkiyənin Namik Kamal adına Təkirdağ Universitetində müzakirələr üçün hazırlıq işi aparılır.

**SİFARIŞÇI:**

**Elmin İnkişafı Fondu**

**Baş məsləhətçi**

**Quliyeva Mülayim Sahib qızı**

\_\_\_\_\_  
(imza)

“ \_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_ -ci il

**İCRAÇI:**

**Layihə rəhbəri**

**Cəfərov Maarif Əli oğlu**

\_\_\_\_\_  
(imza)

“ \_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_ -ci il