

**AZƏRBAYCAN MİLLİ ELMLƏR AKADEMİYASI**  
**akademik H.M. ABDULLAYEV adına FİZİKA İNSTİTUTU**

---

*Əlyazması hüququnda*

**NASSER MOHAMMAD FATHI**

**NAZİK TƏBƏQƏLİ CDTE FOTOVOLTAİK**  
**ÇEVİRİCİLƏRİN TEXNOLOGİYASI VƏ FOTOELEKTRİK**  
**XASSƏLƏRİ**

**2203.01- elektronika**

**Fizika üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi**  
**almaq üçün təqdim olunmuş dissertasiyanın**

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

## **BAKI – 2016**

Dissertasiya işi Azərbaycan MEA akademik H.M. Abdullayev adına Fizika İnstitutunda yerinə yetirilmişdir.

### **Elmi rəhbəri:**

Fizika- riyaziyyat elmləri  
doktoru

**A.H. Bayramov**

### **Rəsmi opponentlər:**

Akademik, fizika- riyaziyyat  
elmləri doktoru, professor

**T.C. Cəfərov**

Fizika-riyaziyyat elmləri  
doktoru, professor

**R.S.Mədətov**

**Aparıcı təşkilat:** Azərbaycan Texniki Universitetinin  
“Elektronika” kafedrası

Dissertasiyanın müdafiəsi “23\_\_” noyabr 2016-cı il saat 11<sup>00</sup> - da Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının akademik H.M.Abdullayev adına Fizika İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən D.01.011 Dissertasiya Şurasının iclasında olacaq.

Ünvan: AZ-1143, Bakı ş., H.Cavid pr. 131.

E-mail: [director@physics.ab.az](mailto:director@physics.ab.az)

Dissertasiya ilə AMEA akademik H.M.Abdullayev adına Fizika İnstitutunun elmi kitabxanasında tanış olmaq olar.

**Avtoreferat “\_\_” \_\_\_\_\_ 2016-cı ildə göndərilmişdir.**

D.01.011 Dissertasiya Şurasının  
Elmi katibi, fizika-riyaziyyat elmləri

**İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI**

**Aktuallıq.** BMT-də qəbul edilən rəhbərlik prinsiplərinə görə, əsasında günəş enerjisindən istifadə duran bütün enerji mənbələri bərpa olunan enerji mənbələri adlanır. Əgər bəşəriyyət bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadə texnologiyasını mənimsəsə, neft, qaz, kömür ehtiyatlarının tükənməsi ilə əlaqədar enerji böhranına məruz qalmaz. Yer səthinə bir həftə ərzində düşən günəş enerjisinin miqdarı dünya neft, qaz, kömür və uran ehtiyatlarının verdiyi enerjinin cəmindən çoxdur. Əgər 40 min kv.km sahə günəş elementləri ilə örtülsə, günəş stansiyalarının f.i.ə.-nin orta - 12% qiymətində (müasir nailiyyətlərə görə kiçik qiymətlərdə) bəşəriyyətin bütün elektrik enerjisinə olan tələbatı tamamilə ödəmiş olar. 2013-cü ilin nəticələrinə görə günəş energetikasının müasir səviyyəsi Günəş elektrik stansiyalarının qərarlaşmış gücünün təqribən 10 GVt qiyməti ilə xarakterizə olunur. Hal hazırda bu dünya energetikasının qərarlaşmış gücünün təqribən 0.5% - ni təşkil edir. Günəş energetikası modullarının istehsal və satış həcmi 10 milyard ABŞ dolları ətrafındadır, yəni bu sahədə biznesin həcmi nəzərə çarpacaq dərəcədədir və getdikcə artma tendensiyasına malikdir.

Günəş elementlərinin indiki dəyərinin yüksək olması heç də o demək deyildir ki, bu gün sənaye, kənd təsərrüfatı və məişətin müxtəlif sahələrində onların istifadəsi sərfəli deyil. Bu modullar sənaye elektrik xətləri və digər enerji mənbəyi olmayan rayonlarda enerji təchizatı sistemlərində tətbiq oluna bilər. Bu sistemlərə aşağıdakılar aiddir:

1. Binaların və bağ evlərinin elektrik təchizatı
2. Su nasoslarının, yunqırma maşınları və s. çöl şəraitində elektrik təchizatı
3. Su təmizləyici sistemlərinin elektrik təchizatı
4. Neft və qaz borularının nəzarəti və monitorinqi
5. Kommunikasiya sistemləri
6. Tibb müəssisələrinin ehtiyat elektrik təminatı
7. Təbii və texnogen fəlakətlər və s. zamanı ehtiyat elektrik təminatı

Hal-hazırda günəş energetikası problemləri ilə dünyanın bir çox elmi kollektivləri və şirkətləri məşğuldur. Günəş çeviricilərinin kütləvi istehlakı ABŞ-da, Yaponiyada və Almaniyada dövlət səviyyəsində dəstəklənən “Günəş damları”-nın yaradılması proqramları ilə bağlıdır. Yeni ekoloji təmiz texnologiyalar evlərin damını və fasadını ucuz silisium günəş batareyalarından düzəltməyə və elektrik enerjisini uzun elektrik ötürmə xətlərindən imtina etməklə almağa imkan verir. Hal-hazırda günəş elementlərinin 1Vt qərarlaşmış gücünün dəyəri 0.5-1 ABŞ dolları ətrafındadır, bu isə istehsal olunan elektrik enerjisinin 1kVt-saat-ın 0.25-0.5 dollar qiymətində müasir tələblərə uyğun deyil. Günəş çeviricilərinin kütləvi istehsalı və sürətli inkişafını təmin etmək üçün qərarlaşmış gücün və eləcə də elektrik enerjisinin dəyərini 2-3 dəfə aşağı salmaq lazımdır. Günəş energetikasının inkişafı üçün əsas maniyə günəş elementləri üçün əsas materialın – günəş keyfiyyətli silisiumun dəyərinin yüksək – bir kg-nın 40-100 ABŞ dolları olmasıdır. Bu nöqtəyi-nəzərdən günəş elementləri yaratmağa yararlı olan yeni, ucuz və yüksək həssaslığa malik yarımkeçirici materialların axtarışı və tədqiqi böyük elmi və praktik əhəmiyyət kəsb edir. Buna görə də son zamanlar dünya alimlərinin diqqəti nazik təbəqəli (amorf silisium, CdTe, CuInGaSe<sub>2</sub> və.s. əsaslı) günəş elementlərinin yaradılmasına yönəlmiş və bu sahədə bir çox nailiyyətlər əldə olunmuşdur.

Günəş elementlərinin və onların əsasında yaradılan modulların məyişətdə və sənayedə geniş istifadəsini təmin etmək üçün üç əsas meyar nəzərə alınmalıdır:

- a) onların qiyməti,
- b) effektivliyi
- c) işləmə müddəti.

Bu üç meyar biri-birindən asılıdır və qarşılıqlı münasibətdədirlər. Yüksək effektivlik və uzun işləmə müddəti qiymətin aşağı salınmasına gətirir.

Yuxarıda göstərilən günəş çeviricilərinin indiki qiyməti məyişət və sənayenin bəzi sahələrində istifadə olunmağa imkan versə də, hələlik ənənəvi enerji mənbələrindən alınan elektrik enerjisinin qiyməti ilə müqayisə oluna bilməz. Ona görə də, əgər bu çeviriciləri gələcəkdə sosial, sənaye, kənd təsərrüfatı, ətraf mühit və sairə

sahələrdə istifadə etmək məqsədi ilə inkişaf etdirmək lazımdırsa, onların qiymətinin kifayət qədər aşağı salınmasına inkişaf etmiş ölkələrdə olduğu kimi dövlət tərəfindən ciddi dəstək lazımdır. Bu cür dəstək olmazsa günəş çeviriciləri yaxın onilliklərdə də yalnız həyatımızın bəzi spesifik sahələrində yararlı olaraq qalacaq.

Hal-hazırda günəş çeviriciləri bir çox yarımkeçirici materiallar əsasında yaradılır. Belə materialların arasında günəş çeviriciləri nöqtəyi-nəzərindən ən perspektivliləri aşağıdakılardır:

1) Monokristallik silisium. Onun əsasında yaradılan günəş elementləri məyişətdə və sənayedə ən geniş istifadə olunur, texnoloji cəhətdən önəmlidir, effektivliyi 15-16%, modulyar şəkildə 10-11%-ə çatır.

2) Gallium arsenid və ona qohum yarımkeçiricilər. Bu materiallarda alınan günəş elementlərinin effektivliyi bəsit heteroqəçidlərdə 27%-ə, mürəkkəb coxlaylı heteroqəçidlərdə 40%-ə çatır. Həddindən artıq baha başa gəlidiyinə görə yalnız kosmik sistemlərin enerji təminatında istifadə olunurlar.

3)  $\text{CuInGaSe}_2$  yarımkeçiricilərinin nazik təbəqələri. Bu təbəqələr əsasında alınan günəş elementlərinin effektivliyi 17-19%-ə çatır. Alınma texnologiyası mürəkkəbdir, baha başa gələn yüksək vakuum şəraiti tələb edir. Modul texnologiyası kifayət qədər işlənmişdir.

4) Nazik təbəqəli amorf silisium günəş çeviricisi. Effektivliyi 10-12%-ə çatır ki, bu da elementlərin çox ucuz başa gəlməsini nəzərə alsaq kifayət qədər yüksək effektivlik hesab oluna bilər.

5)  $\text{CdTe}$  yarımkeçiricilərinin nazik təbəqələri. Bu təbəqələr əsasında alınan günəş elementlərinin effektivliyi 14-16%-ə çatır. Modulyar effektivliyi 10-11%-ə düşür. Alınma texnologiyası sadədir, yüksək vakuum tələb etmir, ucuz başa gələn materiallardan hazırlanır.

Yuxarıda adları çəkilən nazik təbəqəli günəş elementləri sırasında kadmium tellur ( $\text{CdTe}$ ) əsaslı günəş elementləri günəş enerjisinin istehsalında əhəmiyyətli kommersiya təsirinə malik çeviricilərdəndir. O, geniş sahəli monolitik nazik təbəqə modullarının yaradılması, uzunmüddətli temperatur dayanıqlılığı, rəqabətə davamlı effektivlik və istehsalat miqyaslı maliyyə yatırımlarını cəlb etmə qabiliyyəti cəhətdən ən münasib elementlərdən biridir.

**Dissertasiya işinin məqsədi** qabaqcıl texnologiyalardan istifadə edərək müxtəlif modifikasiyalı nazik təbəqəli CdTe günəş elementlərinin hazırlanma texnologiyalarının işlənməsi və onların fotoelektrik xassələrinin tədqiqidir.

**Tədqiqat obyektləri** kimi CdTe, CdS, ZnO, ZnO:Al nazik təbəqələri və onların əsasında yaradılmış CdTe günəş elementlərindən istifadə olunmuşdur.

**Dissertasiya işinin** məqsədinə çatmaq üçün aşağıdakı məsələlər qarşıya qoyulmuşdur:

- CdTe, CdS, ZnO, ZnO:Al nazik təbəqələrinin alınma texnologiyalarının seçilməsi, işlənməsi və onların fiziki xassələrinin optimallaşdırılması;
- Aşağı temperaturda çökdürmə üsulu ilə CdTe günəş elementlərinin hazırlama texnologiyasının işlənməsi;
- Yaxın məsafədən sublimasiya və fiziki buxar çökdürmə üsulları ilə CdTe günəş elementlərinin hazırlama texnologiyalarının işlənməsi;
- Modifikasiya olunmuş şüşə/selenləşdirilmiş Mo/CdTe/CdS/ZnO/ZnO:Al konfigurasiyalı CdTe günəş elementlərinin hazırlanma texnologiyasının işlənməsi;
- Alınmış strukturların fotoelektrik xassələrinin və parametrlərinin tədqiqi.

### **Elmi yenilik.**

- ZnO:Al və ZnO nazik təbəqələri əhəngli şüşə üzərinə magnetron tozlandırma üsulu ilə 200-400°C altlıq temperaturunda müxtəlif nisbətli oksigen/arqon (0-6%) qaz qarışığı mühitində çökdürülmüşdür. Bu təbəqələrin optimal kristallik, elektrik və optik xassələrinin texnoloji rejimləri müəyyən edilmişdir.
- CdTe və CdS nazik təbəqələri aşağı temperaturlarda (otaq temperaturundan aşağı) fiziki buxar çökdürmə üsulu ilə alınmışdır. Bu təbəqələr əsasında yüksək effektivliyə malik (~14%) CdTe günəş elementləri işlənilib hazırlanmışdır.

- Yeni tip şüşə/selenləşdirilmiş Mo/CdTe/CdS/ZnO/ZnO:Al konfigurasiyalı CdTe günəş elementlərinin hazırlanma texnologiyası işlənmişdir ki, bu da alınmış elementlərin maya dəyərinin xeyli surətdə aşağı salınmasına imkan verir.

### **Aparılmış tədqiqatların praktiki əhəmiyyəti.**

Dissertasiyada təqdim olunan müxtəlif texnoloji üsullarla alınan nazik təbəqəli effektiv CdTe günəş elementləri əsasında yaradıla biləcək günəş modulları sənaye elektrik xətləri və digər enerji mənbəyi olmayan rayonlarda enerji təchizatı sistemlərində tətbiq oluna bilər.

### **Müdafəyə qoyulan əsas müddəalar.**

- Maqnetron tozlanması üsulu ilə alınmış ZnO nazik təbəqələrinin ən yüksək kristallaşma dərəcəsi və optik parametrləri altlığın 400°C temperaturunda, uyğun olaraq 0 və 4% oksigen/arqon nisbətərində əldə edilmişdir. ZnO:Al təbəqələrinin keçiriciliyi 400°C-də təmiz Ar atmosferində  $3.5 \times 10^2 \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$  qeydə alınmışdır və O/Ar qarışığında oksigenin payının artması ilə azalır. Keçiriciliyin oksigen iştirakı ilə azalması ZnO:Al-da akseptor tipli Zn vakansiyalarının formalaşması ilə izah edilir.
- Aşağı temperaturda çökdürmə üsulu ilə alınmış CdTe və CdS nazik təbəqələri danəciklərin eyni ölçüləri və səth morfologiyası, eləcə də təbəqələrin yüksək sıxlığı ilə xarakterizə olunur. Bu isə öz növbəsində heteroqəçidin komponentlərinin optimal qarışmasını (intermixing) təmin edərək keçid oblastında (interfeysdə) yaranan defektlərin konsentrasiyasının aşağı salınmasına gətirib çıxarır.
- Fiziki buxar çökdürülməsi (FBC) ilə alınmış CdTe əsaslı günəş elementlərində maksimum effektivlik CdCl<sub>2</sub> emalında CdCl<sub>2</sub>- in 0.35 µm qalınlığına uyğun gəlir. Bu qalınlıqda FBC üsulu ilə alınmış CdTe təbəqələrində zərrələrin rekristallizasiyası və üstün oriyentasiyanın [111]-dən [422]-yə dəyişməsi təbəqələrdə yüksək konsentrasiyalı defektlərin səbəb olduğu kristal gərginliyinin azalması ilə bağlıdır. Fiziki tozlandırılmış CdTe təbəqələrindən fərqli olaraq, yaxın

məsafədən sublimasiya (CSS) üsulu ilə alınmış CdTe təbəqələrində CdCl<sub>2</sub> emalından sonra quruluş xassələrində və səth morfolojiyasında əhəmiyyətli dəyişiklik baş vermir. Bu fərq CSS üsulu ilə alınmış CdTe təbəqələrində defektlərin konsentrasiyasının və danələrin sərhəd sahələrinin kiçik olması ilə bağlıdır ki, bu da qəfəs gərginliyinin aşağı olmasına gətirib çıxarır və nəticədə rekristallizasiya baş vermir.

- Modifikasiya olunmuş “substrate” konfigurasiyalı CdTe əsaslı günəş elementləri, ənənəvi texnologiya ilə müqayisədə, ucuz əhəngli şüşə, sadələşdirilmiş kontakt və 1-2 mkm qalınlıqlı CdTe təbəqəsi istifadə etməklə elementlərin maya dəyərinin keyli aşağı salınmasına imkan verir.

**İşin aprobasiyası.** Dissertasiyada təsvir olunan tədqiqat nəticələri ICTMC 17 (Bakı 2010); Euromat 2009 (Qlazqo, Şotlandiya); Euromat 2011 (Monpelye, Fransa); Alternativ enerji (Aşqabad 2010) konfranslarında müzakirə edilmişdir.

**Nəşrlər.** Aparılmış tədqiqatların nəticələrinə görə xarici və yerli jurnallarda 9 iş dərc olunmuşdur.

**Dissertasiyanın quruluşu və həcmi.** Dissertasiya işi girişdən, dörd fəsildən, əsas nəticələrdən ibarətdir və 143 səhifədə öz əksini tapmışdır. Buraya 42 şəkil, 6 cədvəl, 160 sayda ədəbiyyat toplusu da daxildir.

## **İŞİN GISA MƏZMUNU**

**Girişdə** seçilmiş mövzunun aktuallığından, işin məqsədi və qoyulan məsələlərdən, elmi yenilikdən, işin praktiki əhəmiyyətindən, müdafiəyə çıxarılmış əsas müddələrdən və dissertasiya işinin qısa məzmunundan bəhs edilir.

**Birinci fəsildə** A<sup>II</sup>B<sup>VI</sup> birləşmələrinin (CdTe, CdS, ZnO və ZnO:Al) fiziki xassələrinə aid qısa icmal verilmişdir. İdeal günəş elementinin çevirmə effektivliyinin qadağan olunmuş zonadan asılılığının hesablanması göstərir ki, CdTe birləşməsi bir çevirici kimi, effektiv qara cisim fotosferli, səth temperaturu 5700 K, ümumi parlaqlığı  $3.9 \cdot 10^{33}$  erg/s və G2 spektral sinfə aid olan günəşə çox



yaxşı uyğun gəlir. CdTe  $A^{II}-B^{VI}$  qrupuna aid yarımkeçirici birləşmədir, onun düz optik zonası günəş spektri üçün demək olar ki, optimaldır. CdTe-un  $E_g = 1.5$  eV-luq düz qadağan olunmuş zonası və  $5 \cdot 10^5/cm$  yüksək udma əmsalı onu göstərir ki, onun yüksək kvant çıxışı ultrabənövşəyi sahədən CdTe-un qadağan olunmuş zonasına ( $\lambda = 825$  nm) qədər geniş sahəli dalğa uzunluqlarında müşahidə oluna bilər. Qısa dalğa uzunluqlu, enerjisi  $E_g$ -dən böyük olan fotonlar CdTe-un səthi yaxınlığında udulurlar ki, bu da kadmium telluru nazik təbəqəli günəş elementləri üçün uducu lay kimi cəlbedici material edir.

ZnS, CdSe və HgTe kimi  $A^{II}-B^{VI}$  birləşmələri arasında CdTe unikaldır, belə ki, o yüksək orta atom nömrəsi, ən az mənfi formalaşma entalpiyası, ən aşağı ərimə temperaturu, ən böyük qəfəs parametri və ən yüksək ionlaşma dərəcəsinə malikdir. Elektrik xassələrinə gəldikdə isə, CdTe amfoter yarımkeçiricidir və bu da onu aşqarlama yolu ilə n və p tip keçiricilik almağa imkan verir. Bütün bu amillər CdTe-un optik zolağının ideal enə malik olması və udma əmsalı ilə tamamlanır və CdTe-u nazik təbəqə şəklində çökdürmək və idarə etmək üçün əvəzəlməz material edir.

Məlumdur ki,  $A^{II}-B^{VI}$  tip birləşməsi olan kadmium sulfid (CdS) iki struktur modifikasiyasına malik ola bilər: sfalerit tipli kubik quruluşa ( $\alpha$ - modifikasiya) və vürsit tipli heksaqonal quruluşa ( $\beta$ - modifikasiya).  $A^{II}-B^{VI}$  qrupunun bütün birləşmələri kimi kadmium sulfidə də tərkibində ion və kovalent komponentlər olan kimyəvi əlaqənin qarışıq tipi aiddir. CdS-də kimyəvi əlaqədə üstünlük ion xarakterinə verilir, kovalent əlaqənin qatqısı isə 15 % təşkil edir.

Kadmium sulfid düzzonalı yarımkeçiricidir. Onun keçirici zonasının minimumu və valent zonasının maksimumu Brillüen zonasının mərkəzində yerləşir. Kadmiumda keçirici zonanın ən kiçik qiymətinə 5s səviyyəsi uyğundur, kükürdün valent zonasında ən böyük qiymət isə 3p səviyyəsinə uyğun gəlir.

Son 10 ildə ZnO-in yarımkeçirici kimi çox geniş araşdırılması müşahidə olunur. O, ilkin olaraq GaN və müvafiq ərintilər üçün altlıq kimi nəzərdə tutulmuşdur. Yüksək keyfiyyətli böyük parçalı monokristalların mövcudluğu, optik lazerlərdə güclü lüminessensiya nümayişi və elektrik keçiriciliyinə nəzarətin əldə olunmasının perspektivləri ZnO-in elektron və foton cihazlarına tətbiqi üçün bir

çox qruplar tərəfindən araşdırılmışdır. Yüksək elektron yürüklüyü, yüksək elektrik keçiriciliyi, geniş və düz keçidli qadağan olunmuş zona və yüksək eksiton rabitə enerjisi ZnO-i cihazlarda geniş tətbiq üçün yararlı edir. ZnO, o cümlədən şəffaf nazik təbəqəli tranzistorlar, fotodetektorlar, işıqlanan diodlar və spektrin mavi və ultrabənövşəyi sahəsində işləyən lazer diodlarında da istifadə edilir.

Son zamanlar ZnO və ZnO:Al nazik təbəqələri şəffaf keçirici kontakt kimi nazik təbəqəli günəş elementlərində geniş istifadə olunur. Bu səbəbdən, CdS və CdTe –dan fərqli olaraq, ZnO nazik təbəqələrinin fiziki xassələrinin kifayət qədər aydın olmadığı üçün onun icmalına bu fəsilə daha geniş yer verilmişdir.

**İkinci fəsilə** CdTe əsaslı nazik təbəqəli günəş elementlərinin inkişafı tarixi, indiki vəziyyəti və gələcək perspektivləri haqqında qısa məlumat verilmiş, CdS, CdTe və ZnO nazik təbəqələrin alınma texnologiyaları – Fiziki buxar çökdürülməsi, Yaxın məsafədən sublimasiya, Buxar daşınma çökdürülməsi, Maqnetron tozlandırma, Elektrokimyəvi çökdürmə, Metal üzvi kimyəvi buxar çökdürülməsi, Çiləmə üsulu və Çap üsulu ilə çökdürmə üsulları təfərrüatıyla təsvir olunmuş və hər üsulun üstünlüyü və çatışmaz cəhətləri müzakirə olunmuşdur. Fəsilə ənənəvi CdTe əsaslı günəş elementlərinin alınma texnologiyası, sonrakı emalı və arxa kontaktların hazırlanma prosesləri geniş təsvir olunmuşdur.

Bunlardan əlavə dissertasiya işində CdTe əsaslı günəş elementlərində istifadə olunan nazik təbəqələrin hazırlanma texnologiyası haqqında geniş məlumat verilmişdir.

Belə ki, 6-8 mkm qalınlıqlı CdTe nazik təbəqələri yaxın məsafədən sublimasiya üsulu ilə ikitəbəqəli SnO<sub>2</sub> altlıqlar üzərinə çökdürülmüşdür (Two Zones Furnace for PVD (CSS) Processing - OTF-1200X-RTP-II, MTI, USA). Çökdürülmə prosesi təcrid olunmuş həcmdə, sistemin ümumi 16 torr təzyiqində (1 torr oksigen və 15 torr helium) altlıq və mənbənin uyğun olaraq 580°C və 660°C temperaturlarında aparılmışdır.

80-100 nm qalınlıqlı CdS nazik təbəqələri kimyəvi vanna üsulu ilə çökdürülmüşdür. Çökdürülmə 90°C temperaturuna qədər qızdırılmış kadmium asetat (CdAc<sub>2</sub>, 99.99%), ammonium asetat (NH<sub>4</sub>Ac, 99.99%), tiosidik cövhəri (NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CS, 99.99 %) və

müntəzəm əlavə olunan ammonium hidroksidin ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) iştirakı ilə ionsuzlaşdırılmış su məhlulunda aparılmışdır.

ZnO və ZnO:Al nazik təbəqələri maqnetron tozlandırma üsulu ilə oksigen/arqon qaz mühitində müxtəlif O/Ar faizlərində  $200\text{-}400^\circ\text{C}$  temperatura qədər qızdırılmış qalınlığı 1.0 mm, ölçüsü  $2 \times 2$  sm əhəng şüşə altlıqlar üzərinə çökdürülmüşdür (EVOVAC Deposition system, Angstrom Engineering Inc., Canada). Çökmə sürəti  $1\text{Å}/\text{san}$  təşkil etmişdir.

**Üçüncü fəsilə** CdS, CdTe, ZnO və ZnO:Al nazik təbəqələrinin struktur və səth tədqiqatları təsvir olunmuş, ZnO və ZnO:Al nazik təbəqələrinin optik və elektrik tədqiqatları aparılmış və bəzi xassələri öyrənilmişdir.

Təbəqələrin rentgen analizi Bruker D2 Phaser (Germany) diffraktometrində  $2\theta$  bucaq altında Ni ilə filtrlənmiş  $\text{CuK}\alpha$  şüa ( $\lambda=1.54060\text{ Å}$ ) mənbələrindən istifadə olunaraq aparılmışdır. Topoqrafik analizi isə Smart SPM 1000 AIST NT (Tokyo Instruments, Japan) qurğusunda aparılmışdır.

CdS təbəqələri qəfəs parametri  $a$  və  $c$  uyğun olaraq  $4.121\text{ Å}$  və  $6.716\text{ Å}$ , olan vürsit tipli heksaqonal quruluşda (fəza qrupu P63mc), CdTe təbəqələri isə  $a=6.485\text{ Å}$  olduqda sfalerit tipli kubik quruluşda (fəza qrupu F43m) kristallaşır. CdS və CdTe təbəqələri əsasən uyğun olaraq [002] və [111] istiqamətlərində oriyentasiya olunur.

CdTe təbəqələrinin AQM (atom qüvvə mikroskopiyası) təsvirlərində 3-5 mkm ölçülü danələrdən ibarət sıx qarışma müşahidə olunmuşdur. Qeyd edilmişdir ki, CdTe-da  $\text{CdCl}_2$  “quru” emalından sonra quruluş xassələrində və səth morfoloqiyasında heç bir əhəmiyyətli dəyişiklik baş vermir, və bu hal CSS üsulu ilə alınmış böyük danəli CdTe təbəqələrinə uyğundur. Hər iki (emal olunmamış və  $\text{CdCl}_2$  ilə emal olunmuş) CdTe təbəqələri təmiz cilalanmış səthə malikdir və danələrin orta ölçüsü təxminən 3-4 mkm təşkil edir.

Temperaturu  $200^\circ\text{C}$  olan altlıqların üzərinə çökdürülmüş ZnO və ZnO:Al nazik təbəqələrinin rentgen analizi təbəqələrin amorf olduğunu göstərmişdir.

0-6% (O/Ar) qarışığı mühitində  $300^\circ\text{C}$  və  $400^\circ\text{C}$  temperaturu altlıqlara çökdürülmüş ZnO təbəqələrinin kristallığı ZnO:Al təbəqələrinə nisbətən aşağı olması müşahidə olunmuşdur.  $300^\circ\text{C}$  temperaturu altlıqlar üzərinə çökdürülmüş ZnO:Al təbəqələrinin

kristallaşma dərəcəsi digərlərinə nisbətən aşağıdır. Xüsusən, altlıqların 400°C temperaturunda 2% O<sub>2</sub> təzyiqi altında çökdürülmüş təbəqələr maksimum yüksək kristallıq dərəcəsi göstərir və oksigenin parsial təzyiqinin azalması ilə azalır. Altlıqların 400°C temperaturunda ZnO:Al təbəqələrinin yüksək kristallıq dərəcəsi göstərməsi təbəqələrin çökdürülməsi zamanı aluminiumun rüşeymləmə prosesində əhəmiyyətli dərəcədə iştirak etməsindən qaynaqlanır. Altlıqların 400°C temperaturunda ZnO:Al təbəqələrində danələrin ölçülərinin artması bu fikri dəstəkləyir.

ZnO və ZnO:Al nazik təbəqələrinin AQM analizi göstərmişdir ki, mühitdə O/Ar faiz nisbəti böyüdükcə kristallaşma əvvəl artır, sonra azalır. 6% O/Ar mühitində isə, ümumiyyətlə kristallaşma müşahidə olunmur və nazik təbəqə amorf xarakter nümayiş etdirir. Skanetmə kontaktsiz rejimdə  $1 \times 1 \mu\text{m}^2$  sahədə aparılmışdır.

ZnO və ZnO:Al nazik təbəqələrinin ellipsometrik tədqiqi 220-1700 nm spectral intervalında Woollam M2000 (USA) ellipsometrində aparılmışdır və O/Ar 2-4% mühitində alınmış ZnO:Al nazik təbəqələrinin dielektrik funksiyaları bu təbəqələrin amorf bənzər olduqlarını və bu nümunələrdə defektlərin yüksək konsentrasiyada olmasını göstərmişdir. Təmiz Ar mühitində alınmış ZnO:Al nazik təbəqələrinin  $\epsilon_1$  və  $\epsilon_2$  maksimal intensivliyi və minimal eni bu təbəqələrin daha yüksək kristallaşma dərəcəsinə malik olduğunu təsdiq edir.

Bütün çökdürmə rejimlərində ZnO:Al nazik təbəqələri n-tip elektrik keçiriciliyi göstərmişdir. Təbəqələrin keçiriciliyi standart dördzond üsulu ilə HL5500PC Hall system (Nanometrics Inc., USA) qurğusunda tədqiq edilmişdir. Bütün tədqiqatlar otaq temperaturunda aparılmışdır.

Altlığın 400°C temperaturunda və təmiz arqon atmosferində alınmış ZnO:Al təbəqələrinin keçiriciliyi  $\sigma \sim 3.5 \times 10^2 \Omega^{-1} \cdot \text{sm}^{-1}$  ətrafındadır və O/Ar qarışığında oksigenin qatılığından asılı olaraq keçiriciliyin azalması müşahidə olunmuşdur. Altlıqların 200°C və 300°C temperaturunda çökdürülmüş təbəqələrin keçiriciliyi xeyli dərəcədə aşağıdır və 2% O/Ar qarışığı nisbətində maksimum göstərir.

Məlum olduğu kimi, 400°C temperaturunda oksigenin iştirakı ilə çökdürülmüş ZnO:Al təbəqələrinin keçiriciliyinin azalması oksigen

artıqlığı zamanı Zn vakansiyalarının formalaşması və ZnO birləşməsində akseptor tipli defektlərin yaranması ilə izah olunur.

**Dördüncü fəsil**də müxtəlif üsullarla alınmış nazik təbəqəli CdTe əsaslı günəş elementlərinin fotoelektrik xassələrinin tədqiqi nəticələri verilmişdir. Burada CdTe günəş elementlərinin aşağı temperaturda çökdürmə metodu ilə hazırlanması, və həmçinin yaxın məsafədən sublimasiya və fiziki buxar çökdürülməsi üsulu ilə hazırlanmış CdTe əsaslı günəş elementlərinin xassələrinə CdCl<sub>2</sub> emalının təsiri öyrənilmişdir. Sonda modifikasiya olunmuş şüşə/MoSe<sub>2</sub>/CdTe/CdS/ZnO/ZnO:Al konfigurasiyalı günəş elementlərinin hazırlanma texnologiyası və onların fotoelektrik xassələrinin tədqiqi nəticələri verilmişdir. Elementlərin İ-V parametrləri 100 mW/cm<sup>2</sup> güclü günəş imitatoru altında Solar cell I-V Testing System IV16 (PV Measurements, Inc.) cihazında ölçülmüşdür.

Yüksək çevirici effektivlikli günəş elementlərinin hazırlanması üçün aşağı temperaturda çökdürmə metodu CdTe və CdS nazik təbəqələrinə uğurla tətbiq edilmişdir. Bunun üçün təxminən 90 nm CdS və 5.0 mkm CdTe təbəqələri ardıcılıqla ikiqatlı SnO<sub>2</sub> ilə örtülmüş Corning 7059 şüşə altlıq üzərinə çökdürülmüşdür. Yüksək təmizlikli CdS və CdTe tozları mənbə materialı kimi istifadə edilmişdir. Buxarlanma prosesi altlığın və mənbəyin temperaturunu hər iki material üçün uyğun olaraq 218K və 870-920K, çökdürməni 1.5 nm/s sürətlə saxlayaraq aparılmışdır. CdCl<sub>2</sub> emalı “quru” üsuldən istifadə etməklə həyata keçirilmişdir. Göstərilən üsulla alınan elementlərdə, CdS və CdTe təbəqələrinin eyni danəcik ölçüləri və səth morfologiyası, eləcə də təbəqələrin yüksək sıxlığı, komponentlərin optimal qarışmasını təmin edir və heteroqəçidlərin aşağı defekt konsentrasiyası ilə formalaşmasına gətirib çıxarır. Bu üsulla alınmış günəş elementlərinin çeviricilik effektivliyi 14% -ə çatır.

Fiziki buxar çökdürülməsi ilə alınmış CdTe əsaslı günəş elementlərində maksimum effektivlik CdCl<sub>2</sub> emalında CdCl<sub>2</sub>-nin **0.35** μm qalınlığına uyğun gəlir. CdCl<sub>2</sub>- emalı zamanı FBC üsulu ilə alınmış CdTe təbəqələrində danəciklərin ölçülərinin ciddi surətdə böyüməsi müşahidə olunmuşdur ki, bu da kristal qəfəsində defekt gərginliyinin azalmasının nəticəsidir. Termik tozlandırılmış CdTe təbəqələrinin əksinə olaraq, CSS üsulu ilə alınmış CdTe

təbəqələrində  $\text{CdCl}_2$  emalından sonra quruluş xassələrində və səth morfologiyasında əhəmiyyətli dəyişiklik baş vermir.  $\text{CdCl}_2$  emalının nəticələri arasındakı fərq CSS üsulu ilə alınmış  $\text{CdTe}$  təbəqələrində defektlərin konsentrasiyasının və dənələrin sərhəd sahələrinin kiçik olması və bu səbəbdən qəfəs gərginliyinin aşağı olması ilə izah oluna bilər.

“Substrate” konfigurasiyalı şüşə/selenləşdirilmiş  $\text{Mo/CdTe/CdS/ZnO/ZnO:Al}$  tipli modifikasiya olunmuş günəş elementləri  $\text{CdTe}$  nazik təbəqələri üçün omik kontakt olan selenləşmiş molibdendən istifadə etməklə hazırlanmışdır. Bu konfigurasiya, ənənəvi texnologiya ilə müqayisədə, ucuz əhəngli şüşə, sadələşdirilmiş kontakt və aşağı (1-2 mkm) qalınlıqlı  $\text{CdTe}$  təbəqələrinin istifadə edilməsini nəzərdə tutur ki, bu da alınan elementlərinin maya dəyərinin nəzərə çarpacaq dərəcədə aşağı salmağa imkan verir. Alınmış elementlər  $V_{oc} = 0.69\text{V}$ ,  $J_{sc} = 21.5\text{ mA/sm}^2$ , dolma faktoru (FF)=56.1% və ümumi sahənin çevirmə effektivliyi 8.4% parametrləri ilə xarakterizə olunur. Elementlərin komponentlərinin elektrik, optik xassələrinin və qalınlıqlarının optimallaşdırılması ilə onların effektivliyini ciddi surətdə artırmaq mümkündür.

Qeyd etmək lazımdır ki, hazırlanmış elementlərin maksimal effektivliyi altlığın mərkəzi hissəsində müşahidə olunub. Effektivliyin kənar hissələrdə kəskin azalmasının ən əsas səbəbi  $\text{CdTe}$  təbəqələrinin kənarlarında yüksək sıxlıqlı boşluqların əmələ gəlməsi və qalınlığın əhəmiyyətli dərəcədə azalmasıdır.

## ƏSAS NƏTİCƏLƏR

Təqdim olunan dissertasiya işində  $A^2B^6$  birləşmələrinin nazik təbəqələrinin müxtəlif üsullarla alınma texnologiyaları, bu təbəqələrin struktur, elektrik və optik xassələrinin kompleks tədqiqatları nəticələri və onların əsasında yaradılmış müxtəlif konfigurasiyalı günəş elementlərinin fotoelektrik xassələri verilmiş və aşağıdakı əsas nəticələr alınmışdır:

1. Yaxın məsafədən sublimasiya, kimyəvi vanna çökdürməsi, fiziki buxar çökdürmə və maqnetron tozlandırma üsulları ilə CdTe, CdS, ZnO və ZnO:Al nazik təbəqələrinin çökdürülmə texnologiyaları işlənmişdir. Uyğun texnoloji rejimlərin seçilməsi yolu ilə, bu təbəqələrin effektiv günəş elementlərində istifadəsi üçün, struktur, optik və elektrik xassələri optimallaşdırılmışdır.

2. Yüksək çevirici effektivlikli günəş elementləri quruluşlarının hazırlanması üçün aşağı temperaturda çökmə üsulunun tətbiqi göstərir ki, alınmış CdTe və CdS nazik təbəqələri demək olar ki, eyni danəcik ölçüləri və səth morfologiyası ilə xarakterizə olunur, təbəqələrin yüksək sıxlığı isə komponentlərinin optimal qarşılıqlı diffuziyasını (interdiffusion) təmin edir və heteroqeyidlərin aşağı konsentrasiyalı defektlərlə formalaşmasına gətirib çıxarır. Nəticədə, bu üsulla alınan günəş elementlərinin çevirmə effektivliyi 14% -ə çatır.

3. Fiziki buxar çökdürməsi və yaxın məsafəli sublimasiya üsulları ilə alınmış CdTe əsaslı günəş elementlərinin müqayisəli analizi göstərir ki, "CdCl<sub>2</sub>-emalı", FBÇ üsulu ilə alınmış CdTe nazik təbəqələrindən fərqli olaraq, CSS üsulu ilə alınmış CdTe təbəqələrinin struktur xassələrinə və səth morfologiyasına nəzərə çarpacaq dərəcədə təsir etmir. "CdCl<sub>2</sub>-emalı" nəticələrindəki fərq CSS üsulu ilə alınan CdTe təbəqələrində defekt konsentrasiyası və zərrəciklər sərhəddi sahəsinin aşağı olması ilə izah olunur ki, bu da rekrystallizasiya və zərrəciklərin böyüməsini stimullaşdıran qəfəs gərginliyi enerjisinin kiçik olmasının nəticəsidir.

4. Uyğun olaraq yaxın məsafəli sublimasiya (CSS), kimyəvi vanna üsulu (CBD) və maqnetron tozlandırma üsulları ilə çökdürülmüş CdTe, CdS, ZnO və ZnO:Al nazik təbəqələri əsasında modifikasiya olunmuş "Substrate" konfigurasiyalı Şüşə/MoSe<sub>2</sub>/CdTe/CdS/ZnO/ZnO:Al günəş elementləri hazırlanmışdır. Bu konfigurasiya, ənənəvi texnologiya ilə müqayisədə, ucuz əhəngli şüşə, sadələşdirilmiş kontakt və aşağı (1-2 mkm) qalınlıqlı CdTe təbəqələrinin istifadə edilməsini nəzərdə tutur ki, bu da alınan elementlərin maya dəyərinin nəzərə çarpacaq dərəcədə aşağı salmağa imkan verir. Alınmış elementlər Voc = 0.69V, Jsc = 21.5 mA/sm<sup>2</sup>, dolma faktoru (FF) = 56.1% və ümumi sahənin çevirmə effektivliyi 8.4% parametrləri ilə xarakterizə olunur.

## MÖVZU ÜZRƏ NƏŞR OLUNMUŞ İŞLƏRİN SİYAHISI

1. Naser M.Fathi, V.D. Novruzov, A.I. Bayramov, Sh.S.Aslanov. Low-temperature deposited CdS and CdTe thin films and their solar cell application //Transactions, Vol.XXIX, N2, 2009, pp.20-24.
2. V. D. Novruzov, N. M. Fathi, O. Gorur, M. Tomakin, A. I. Bayramov, S. Schorr and N.Mamedov. CdTe thin film solar cells prepared by a low-temperature deposition method // Phys. Status Solidi A207, No. 3, 2010, 730–733.
3. N.Fathi, R.Hajimammadov, M.Sadigov, E.Mirzoyev, A.Bayramov, G. Khrypunov, N. Klochko and T. Li. CdTe-based solar cells prepared by physical vapor deposition and close-spaced sublimation methods // Azerbaijan J. of Physics, Vol.16, №3-4, 2010, pp.15-9.
4. Rashad Hajimammadov, Nasser Fathi, Ayaz Bayramov, Genady Khrypunov, Nataliya Klochko and Tatyana Li. Effect of “CdCl<sub>2</sub> Treatment” on Properties of CdTe-Based Solar Cells Prepared by Physical Vapor Deposition and Close-Spaced Sublimation Methods /Thesis ICTMC 17,Baku,2010, P.2-6.
5. Rashad Hajimammadov, Nasser Fathi, Ayaz Bayramov, Genady Khrypunov, Nataliya Klochko, and Tatyana Li. Effect of “CdCl<sub>2</sub> Treatment” on Properties of CdTe-Based Solar Cells Prepared by Physical Vapor Deposition and Close-Spaced Sublimation Methods // Jpn.J.of Appl. Phys. 50 (2011) 05FH01.
6. N. Mamedov, Y. Shim, A.Bayramov, K. Wakita, S. Schorr, N.Fathi, E. Guseynov. CdTe-based thin film solar cells: Ellipsometric view /Euromat 2009, E31, Glasgow (Scotland), Evromat 2011, Montpellier (Fransa), 11-15 Sentyabr 2011.
7. N.Fathi, R.Hajimammadov, U.Gasanov, A.Bayramov. High efficiency polycrystalline CdTe based thin film solar cells / Proc. of International. Conference ”Problems of use of alternative energy sources in Turkmenistan”, Ashkhabad, February 24-25, 2010, pp.72-75.



8. Z.Q.Mamiyev, N.O.Balayeva, N.M.Fathi, A.M. Kerimova, Y.N.Aliyeva, N.A.Qasimov, A.H.Bayramov. Structural and optical characterization of nanostructured CdS thin films deposited by spray pyrolysis method //Azerbaijan Journal of Physics, vol.XX, №4, 2014, pp.26-28.
9. N.M. Fathi, E.A.Bağiyev, A.M.Kərimova, Y.Əliyeva, N.O.Balayeva, R.Vəliyev, Z.Q.Məmiyev, A.H.Bayramov. “Substrate” konfigurasiyalı CdTe əsaslı günəş elementləri //Fizika, cild XX, №4, 2015, s.17-20.

**Нассер Мохаммад Фатхи**

**Технология и фотоэлектрические свойства  
тонкопленочных CdTe фотовольтаических  
преобразователей**

**РЕЗЮМЕ**

В представленной работе приведены результаты разработки технологии получения тонких пленок  $A^2B^6$ , комплексное исследование структурных, электрических и оптических свойств этих пленок и гетероструктур на их основе.

Осаждение пленок ZnO:Al и ZnO методом магнетронного распыления при температурах подложек 200-400 °C и различных кислород/аргон смесях (0-6%) показывает, что наиболее высокая степень кристаллизации наблюдается при, соответственно 0% и 4% смеси O/Ar. Пленки, полученные при температуре подложки 300 °C показывают низкую степень кристаллизации и имеют максимум при 2% кислорода в смеси O/Ar.

Пленки ZnO:Al имеют максимальную проводимость при температуре подложки 400 °C в чистой атмосфере аргона, которая составляет  $3.5 \times 10^2 \Omega^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ , и уменьшается с увеличением доли кислорода в смеси. Уменьшение проводимости с увеличением доли кислорода объясняется формированием вакансий цинка акцепторного типа при избытке кислорода в ZnO:Al.

Применение метода низкотемпературного осаждения для получения тонкопленочных солнечных преобразователей показывает, что полученные пленки CdS и CdTe характеризуются почти одинаковыми размерами зерен и поверхностной морфологией, а высокая плотность пленок обеспечивает оптимальную взаимную диффузию компонентов, что приводит к низким концентрациям дефектов в гетеропереходе. Эффективность полученных таким способом солнечных элементов выше 14%.

На основе пленок CdTe, CdS, ZnO и ZnO:Al, полученных методами, соответственно, сублимации с близкого расстояния, химической ванны и магнетронного распыления получены солнечные элементы стекло/MoSe<sub>2</sub>/CdTe/CdS/ZnO/ZnO:Al конфигурации «substrate». Такая конфигурация, по сравнению с традиционной superstrate конфигурацией позволяет использовать дешевое известковое стекло, упрощенный контакт и тонкие слои CdTe (1-2 мкм), что позволяет существенно уменьшить себестоимость полученных элементов. Полученные таким способом солнечные элементы характеризуются параметрами  $U_{xx}=0.69\text{В}$ ,  $J_{kз}=21.5\text{мА/см}^2$ , фактором заполнения  $ff=56.1\%$  и эффективностью преобразования 8.4%.

**Technology and photoelectrical properties of thin film CdTe photovoltaic convertors**

**ABSTRACT**

In this work the results on preparation technology of  $A^2B^6$  thin film and the study of structural, electrical and optical properties of the films and heterostructures on their basis are given.

Deposition of ZnO:Al and ZnO films by magnetron sputtering method at 200-400°C substrate temperatures and under different oxygen/argon mixtures (0-6%) shows that the higher degree of crystallization is observed at 400°C and 0% to 4% O/Ar, respectively. The films deposited at 300°C show relatively low degree of crystallization and have maximums under 2% O/Ar.

ZnO:Al film shows a conductivity  $3.5 \times 10^2 \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$  at 400°C substrate temperature under pure argon atmosphere, which decreases with increase of oxygen partial pressure in mixture. Decrease of conductivity with oxygen partial pressure, is attributed to the formation of acceptor-type zinc vacancies in case of oxygen excess in ZnO:Al.

CdS and CdTe films deposited by low temperature deposition method have nearly the same grain sizes and surface morphologies, and high densities of the films provide the optimal interdiffusion of the components leading to the low concentration of defects in heterojunction. Efficiency of the solar cells obtained by low temperature deposition method was found to be higher than 14%.

On the basis of CdTe, CdS, ZnO and ZnO:Al films deposited by close-spaced sublimation, chemical bath deposition and magnetron sputtering methods, respectively, the glass/MoSe<sub>2</sub>/CdTe/CdS/ZnO/ZnO:Al solar cells of «substrate» configuration were created. Utilization of such a configuration makes possible to use the cheap soda lime glass, simplified contact and thinner CdTe layers (1-2 μm) what essentially decreases the cell performance cost. The obtained cells are characterized by the parameters  $U_{oc} = 0.69\text{V}$ ,  $J_{sc} = 21.5\text{mA/cm}^2$ , fill factor  $ff = 56.1\%$  and conversion efficiency  $\eta = 8.4\%$ .

Kağız formatı: 60/84 16/1  
Sayı: 100 nüsxə

---

AMEA-nın mətbəəsində çap olunmuşdur





**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНА**  
**ИНСТИТУТ ФИЗИКИ имени академика Г.М. Абдуллаева**

---

*На правах рукописи*

**НАССЕР МОХАММАД ФАТХИ**

**ТЕХНОЛОГИЯ И ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  
ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ CdTe ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИХ  
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ**

**2203.01- Электроника**

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

Диссертации на соискание ученой степени  
доктора философии по физике



**БАКУ – 2016**