

**AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI**

*Əlyazması hüququnda*

**NANOMƏSAMƏLİ ALÜMİNİUM OKSİDDƏ YARADILAN  
CdS ƏSASLI YARIMKEÇİRİCİ STRUKTURLARIN  
ELEKTROFİZİKİ VƏ FOTOELEKTRİK XASSƏLƏRİ**

İxtisas: 2220.01- Yarımkəçiricilər fizikası

Elm sahəsi: Fizika

İddiaçı: **Cəfər Adil oğlu Quliyev**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi  
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

**AVTOREFERATI**

**Bakı-2021**

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

Elmi rəhbərlər: Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, prof.  
**Emil Kamil oğlu Hüseynov**  
Fizika-riyaziyyat elmləri namizədi, dosent  
**Şixəmir Osmat oğlu Eminov**

Rəsmi opponətlər: Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, prof.  
**Adilə Ziyat qızı Abasova**  
Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, prof.  
**Dürdanə Həmid qızı Araslı**  
Fizika-riyaziyyat elmləri namizədi, dosent  
**Azər Mustafakamal oğlu Allahverdiyev**

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının AMEA Fizika İnstitutu nəzdində fəaliyyət göstərən ED 1.14 dissertasiya şurası

Dissertasiya şurasının sədri:



AMEA-nın həqiqi üzvü,  
fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor  
**Nazim Timur oğlu Məmmədov**

Dissertasiya şurasının elmi katibi:

Fizika elmləri doktoru, dosent  
**Rəfləqə Zabil qızı Mehdiyeva**

Elmi seminarın sədri:

Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor  
**Tələt Rzaqulu oğlu Mehdiyev**

## İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

**Mövzunun aktuallığı.** Hal-hazırda dünya ölkələrində ekoloji problemin aradan qaldırılması əsasən bərpa olunan enerji mənbələrindən və başlıca olaraq günəş və külək enerjisindən istifadə etməklə həll olunur. Bu isə öz növbəsində energetikanın, iqtisadiyyatın, sənayenin və digər sahələrin inkişafına təsir edən amillərdəndir. Alternativ və bərpa olunan enerji mənbələrinin sırasında fotovoltaiq prinsipi ilə işləyən və günəş enerjisini birbaşa elektrik enerjisinə çevirən cihazların (günəş elementlərinin və batareyaların) xüsusi yeri var. Ətraf mühiti çirkləndirməyən günəş elementləri və batareyalarından həm kosmik gəmilərdə, həm də evlərin və villaların müstəqil elektrik təminatını, ucqar bölgələrdə yerləşən mobil rabitə ötürücülərinin elektrik təminatını, yolların işıqlandırılması, səhra və çöl ərazilərində əsgər həyatının və texnikanın enerji ilə təminatında, neft və qaz borularının korroziyadan qorunmasında, böyük akkumulyatorların və mobil telefonların doldurulmasında və s. geniş istifadə olunur.

Günəş enerjisinin elektrik və kimyəvi enerjiyə çevirmək üçün, işığın görünən oblastında yüksək fotoeffektivliyə malik yarımkeçirici materialların sintezi aktual problemlərdən biridir. Bu problemin həlli üçün müxtəlif üsullardan istifadə edilmişdir. Buna misal olaraq elektrokimyəvi çökdürmə, vakuumda maqnetron çökdürmə, termiki buxarlandırma və yaxın məsafədən sublimasiya üsullarını göstərmək olar. Bu üsullar içərisində elektrokimyəvi çökdürmə üsulu daha ucuz olmaqla yanaşı yarımkeçiricilərin nazik və nanostrukturlu təbəqələrinin alınması üçün geniş imkanlara malikdir. İlk öncə onu qeyd etmək lazımdır ki, elektrokimyəvi çökdürmə üsulu ilə lazimi xassəyə malik yarımkeçiricilər almaq üçün elektrolitin tərkibini və elektroliz şəraitini dəyişməklə sintez prosesini asanlıqla idarə etmək mümkündür. Bu da elektrokimyəvi çökdürülmə üsulunun digər üsullardan üstünlüyünü təmin edir.

Günəş energetikasında yarımkeçirici təbəqələrin və nanostrukturların getdikcə genişlənən istifadəsi onların optik, elektrik

və fotoelektrik xassələrinin yetərincə yüksək səviyyədə saxlanılmaq şərtilə onların sadə və ucuz texnologiya ilə alınması problemini aktual etmişdir. Bu nöqteyi nəzərdən müəssir günəş element çeviricilərində istifadə edilən günəş spektrinin görünən oblastında yüksək fotoeffektivliyə malik yarımkeçiricilərdən olan günəş elementlərində optik şəffaf və keçirici kimi  $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$ , pəncərə qatı və kollektor kimi CdS və uducu təbəqə, baza kimi istifadə olunan CdTe nazik təbəqələrinin və nanostrukturalarının fiziki və elektrokimyəvi yolla alınması texnologiyasının, onlar əsasında yaradılan günəş elementlərinin parametrlərinin optimallaşdırılması və təkmilləşdirilməsi məqsədi ilə onların xassələrinin öyrənilməsi bu gün də öz aktuallığını itirməmişdir.

**Dissertasiya işinin məqsədi:** Şüşə/ $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CdS}/\text{CdTe}$  əsaslı nanostrukturaların alınmasının fiziki əsaslarının işlənməsi, onlarda baş verən optik, elektrofiziki və fotoelektrik hadisələrin mexanizmlərinin müəyyən edilməsi və bu strukturlar əsasında günəş elementlərinin yaradılmasına dair praktiki tövsiyələrin işlənməsidir.

Qeyd olunan məqsədə çatmaq üçün aşağıdakı məsələlər qarşıya qoyulmuşdur:

- $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$ , CdS və nanoməsəmali  $\text{Al}_2\text{O}_3$  nazik təbəqələrin alınma texnologiyalarının işlənməsi;
- CdTe nazik təbəqələrin elektrokimyəvi çökdürmə üsulu və yaxın məsafədən sublimasiya üsulu ilə hazırlanma metodikaların işlənməsi;
- $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , CdS və CdTe nazik təbəqələrin ayrı-ayrılıqda və bunların əsasında yaradılmış strukturların (şüşə/ $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}/\text{CdS}$ , şüşə/ $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CdS}/\text{CdTe}$  və s.) elektrofiziki, optik, quruluş, və fotoelektrik xassələrinin öyrənilməsi;
- Nanoquruluşlu şüşə/ $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CdS}/\text{CdTe}$  strukturlar əsasında günəş elementlərinin yaradılmasına dair praktiki tövsiyələrin işlənməsidir.

### **Tədqiqat metodları:**

Dissertasiya işinin yerinə yetirilməsində tədqiqat obyektini kimi 0.125M CdSO<sub>4</sub>, 0.25M Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>, 0.35M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 0.007M Trilon-B (C<sub>10</sub>H<sub>14</sub>O<sub>8</sub>N<sub>2</sub>:H<sub>2</sub>O) tərkibli elektrolitdən (su tərkibli) və susuz Etilenqlikolda T=130°C temperaturunda həll olunmuş 0.2M CdCl<sub>2</sub>, 0.02M S<sub>8</sub>, və 0.1M NH<sub>4</sub>Cl tərkibli məhlulları seçilmişdir. Birinci məhlulda çökmə prosesi IVIUMSTAT markalı elektrokimyəvi analizator potensiostatı vasitəsilə, ikinci məhlulda isə laboratoriyada yaradılan iki elektrodlu yavacıqda aparılmışdır. Təbəqələrin rəngəncüruluş analizi CuK<sub>α</sub> (λ=1.54060 Å) şüa mənbəli “Rigaku Miniflex-500” və X-Ray diffractometer D2 Phaser (Bruker, Germany) markalı diffraktometrlər vasitəsilə, səthin morfologiya analizi isə Smart SPM 1000 AIST NT atom qüvvə mikroskopu, “Carl Zeiss Sigma” markalı skan elektron mikroskopu (SEM), enerji dispesiya spektrləri (X-ray EDS) isə “Oxford Instruments” SEM vasitəsilə xarakterizə edilmişdir. Nümunələrin optik buraxma və udulma spektrləri “Specord 250+ UV/VIS Spectrophotometr” markalı qurğuda, Raman və fotoluminissensiya spektrləri Nd:YAG (λ=532nm) lazerlə təchiz olunmuş “Tokyo instruments” modeli Nanofinder 30-NM01 (Tokyo Instruments, Inc) konfokal lazer spektroskop cihazı vasitəsilə ölçülmüşdür. Günəş elementlərin xarakteristikaları isə “Solar cell I-V Tester Model IV16K (PV Measurements Inc, USA)” günəş simulyator cihazı vasitəsilə ölçülmüşdür. Təbəqələrin qalınlığı MIII-4 interferensiya mikroskopunda və Rotating Compensatory Ellipsometr M2000-Dİ, markalı (J.A.Woollam Co.Inc. USA) ellipsometriya qurğusunda ölçülmüşdür. Nümunələrin xüsusi müqaviməti yük daşıyıcıların yürüklüyü və keçiricilik tipi Van-Der-Pau üsulu ilə 4-zondlu standard qurğu vasitəsilə və termik zondla ölçülmüşdür.

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

- Müxtəlif nisbətli oksigen/arqon qaz qarışığı (0, 5 və 10%) mühitində vakuumba maqnetron tozlanması üsulu ilə alınmış və 200–500°C temperatur intervalında termiki işlənmiş In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Sn şəffaf keçirici nazik təbəqələrdə baş verən elektrik və

optik xassələri öyrənilmiş və onlarda baş verən yükdaşıma və optik hadisələrinin mexanizmləri müəyyənləşdirilmişdir.

- Müəyyən olunmuşdur ki,  $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$  nazik təbəqələrində yüksək elektrik keçiriciliyi və optik buraxılması  $500^\circ\text{C}$  temperaturunda hava mühitində termiki işlənmə nəticəsində, müvafiq olaraq, 0 və 5% oksigen/arqon nisbətləri şəraitində əldə edilmişdir.  $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$  nazik təbəqələrdə müşahidə olunan, O/Ar qarışığında oksigen payının artması ilə bu təbəqələrin keçiriciliyinin azalmasının səbəbi ( $500^\circ\text{C}$ -də  $3.5 \times 10^2 \Omega/\square$ )  $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$ -da akseptor tipli Sn vakansiyalarının formalaşması nəticəsində yük daşıyıcıların konsentrasiyasının və yürüklüyün azalması ilə izah edilir.
- $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$  nazik təbəqə ilə örtülmüş şüşə altlıqların üzərinə çökdürülmüş nazik alüminium təbəqəsinin anodda oksidləşmə üsulu ilə diametri 5–100 nm, qalınlığı isə 300 nm÷1mkm intervallarında dəyişdirilə bilən, nizamlanmış quruluşlu, optik şəffaf və dielektrik xassəli nanoməsaməli  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (AOA) təbəqələrinin yetişdirilmə texnologiyası işlənilmiş, oksidləşmə prosesinin mexanizmi müəyyənləşdirilmiş, onların səth morfologiyası, quruluş, optik xassələri (buraxılma və raman sürüşməsi spektri) və element tərkibləri müxtəlif üsullarla xarakterizə edilmişdir.
- CdS təbəqələrin elektrokimyəvi yolla alınması üçün lazım olan elektrolitin tərkibi və elektrolizin şəraiti müəyyən olunmuş, habelə birgə çökmə potensial sahəsi təyin edilmişdir. Seçilmiş elektrolit məhlullarında kadmium ionlarının çökmə potensial sahəsi müəyyənləşdirilmiş, kükürd ionların çökmə potensial sahəsi ilə yanaşı, onların sulfid ionlarına qədər dərin reduksiya potensial sahəsi də təyin edilmişdir.
- Şüşə/ $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$ /AAO strukturu üzərində alınmış CdS təbəqələrin elektrokimyəvi çökdürmə üsulu ilə yetişdirilmə texnologiyası işlənilmişdir. Bu təbəqələrin səth morfologiyası (SEM təsvirləri), element tərkibi (EDS spektrləri), quruluş (XRD) və optik xassələrinin (Optik buraxma, Raman sürüşməsi və fotolumenissensiya spektrləri) öyrənilməsi

nəticəsində bu strukturun AOA məsələlərində stexiometrik tərkibli heksaqonal modifikasiyalı kristallik quruluşa malik olan CdS nanotellərin yetişdiyi və onların optik və elektrik xassələrinə malik olaraq günəş elementlərində tətbiqi üçün yararlı olduğu müəyyən edilmişdir.

- Şüşə/ $\text{In}_2\text{O}_3$ :Sn/CdS/CdTe quruluşlu günəş elementinin və elektrik enerjisinin akkumulyatorunun hibridi olan yeni cihazın konstruksiyası və onun təfərrüatlı hazırlanma metodikası işlənmişdir.

### **İşin elmi yeniliyi:**

- Nanoməsəməli  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (AOA) təbəqələrin alınmasının üsulları işlənmiş, onların formalaşma mexanizmləri müəyyənləşdirilmiş və səth morfologiyası, optik xassələri, element tərkibi müxtəlif üsullarla xarakterizə edilmişdir.
- Şüşə/ $\text{In}_2\text{O}_3$ :Sn/Al strukturların “Leybold Hereaus Z550” markalı vakuum tozlandırılması qurğusunda radio-tezlikli maqnetron tozlandırma üsulu ilə bir neçə mərhələdən ibarət proseslə alınması metodikası işlənmişdir.
- İlk dəfə olaraq müxtəlif nisbətli (0, 5 və 10%) oksigen/arqon qaz qarışığı mühitində maqnetron tozlandırma üsulu ilə çökdürülmüş və hava və arqon qaz mühitlərində 200- 500  $^{\circ}\text{C}$  temperatur intervalında termiki işlənmiş  $\text{In}_2\text{O}_3$ :Sn təbəqələrin optik və elektrik xassələrinin alınma şəraitindən asılılığı tədqiq edilmişdir.
- İlk dəfə olaraq Nikel lövhə elektrodlarında və şüşə/ $\text{In}_2\text{O}_3$ :Sn altlıqlarında elektrokimyəvi çökdürülmə üsulu ilə müxtəlif elektrolitlərdə CdTe və CdS nazik təbəqələrin və nanoquruluşlu strukturların alınma metodları işlənmiş və onların elektrofiziki, quruluş və optik xassələri öyrənilmişdir.
- Şüşə/ $\text{In}_2\text{O}_3$ :Sn/CdS/CdTe quruluşlu günəş elementinin və elektrik enerjisinin akkumulyatorunun hibridi olan yeni cihazın konstruksiyası və onun təfərrüatlı hazırlanma metodikası işlənmişdir.

**Nəzəri və praktiki əhəmiyyəti.** Alınan elmi nəticələr  $\text{Al}_2\text{O}_3$  massivi daxilində elektrokimyəvi yolla yetişdirilən CdS nanosütunlarından ibarət CdS/CdTe heterosistemlərinin əsas parametrlərinin və fotoelektrik xassələrinin proqnozlaşdırılmasına imkan verir.  $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}/\text{AAO}/\text{CdS}/\text{CdTe}$  tipli nanoquruluşlarda aşqarların diffuziyası, cərəyankeçmə mexanizmləri və fotoelektrik proseslərin xüsusiyyətləri barəsində əldə olunmuş biliklər bu materiallar əsasında yaradılan cihaz strukturlarının optimallaşdırılması üçün zəmin yaradır.

**İşin aprobasiyası.** Dissertasiyanın materialları aşağıda qeyd olunan beynəlxalq və respublika konfranslarında müzakirə edilmişdir: The V International Conference Perspectives of Peaceful Use of Nuclear Energy, November 21-23 (Baku, Azerbaijan 2012); Euro Intelligent Materials, 26-27 september (Kiel, Germany 2013); “International Baku Forum of Young Scientists Dedicated to the 90-th Anniversary of National Leader Heydar Aliyev”, 20-25 may (Baku, Azerbaijan 2013); 1st International Scientific Conference of Young Scientists and Specialists “The Role of Multidisciplinary Approach in Solution of Actual Problems of Fundamental and Applied Sciences (Earth, Technical and Chemical)”, 15-16 October (Baku, Azerbaijan 2014); 31st European Photovoltaic Solar Energy Conference And Exhibition “The Innovation Platform For The Global PV Solar Sector”, 14-18 September (Hamburg, Germany 2015); International Conference on Chemical Science and Applications (ICCSA-2016), 6-9 August (*Alexandria, Egypt 2016*); Modern Researches And Prospects of Their Use in Chemistry, Chemical Engineering and Related Fields “The Conference is Dedicated to the 60-th Anniversary of R.Agladze Institute of Inorganic Chemistry And Electrochemistry”, September 21-23 (Ureki, Georgia 2016); Qafqaz University, IV International Scientific Conference of Young Researchers “Dedicated to the 93-th Anniversary of the National Leader of Azerbaijan, Heydar Aliyev”, 29-30 April (Baku, Azerbaijan 2016); VI Международная Научно-Техническая конференция “Альтернативные Источники



Сырья и Топлива АИСТ – 2017”, 30 мая-1июня (Минск, Беларусь 2017); “Metallurgiya və Materialşünaslığın Problemləri” Mövzusunda 2-ci Beynəlxalq Elmi-Texniki Konfrans, 28-30 Noyabr (Bakı, Azərbaycan 2017); Magistrantların və Gənc Tədqiqatçıların “Fizika və Astronomiya Problemləri” Beynəlxalq Elmi Konfransı, 24-25 May (Bakı, Azərbaycan 2018); Academician G.B. Abdullayev Centenary International Conference and School “Modern Trends in Condensed Matter Physics (MTCMP-2018)”, September 24-26 (Baku, Azerbaijan 2018); XXV Международная Научно-Техническая Конференция по Фотозлектронике и Приборам Ночного Видения, 23-26 мая (Москва, Россия 2018):

**Nəşrlər.** Dissertasiyanın tam məzmunu müəllifin 26 elmi işində dərc edilmişdir, əsərlərin siyahısı avtoreferatın sonunda verilmişdir.

**İşin strukturu və həcmi.** Dissertasiya işi girişdən, 4 fəsildən, nəticələrdən və 162 adda istifadə olunmuş ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. İşin həcmi 59 şəkil, 9 cədvəldən və ümumilikdə 248608 işarədən ibarətdir.

## İŞİN QISA MƏZMUNU

İşin giriş hissəsində mövzunun aktuallığı əsaslandırılır, dissertasiyanın məzmunu ilə bağlı nəticələrin qısa xülasəsi verilir və əsas nəticələr şərh olunur.

**Birinci fəsil** ədəbiyyatın icmalılı şəklinə tərtib olunub. Burada  $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$ ,  $\text{CdS}$  və  $\text{CdTe}$ , alüminium nazik təbəqələrin habelə onların anodda oksidləşmə yolu ilə işlənməsi nəticəsində sintez olunan nanoməsəmali  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -in alınma metodları haqqında məlumat verilir. Göstərilir ki, metalların anodda oksidləşmə prosesi, korroziyanın qarşısını almaq üçün ötən 20-ci əsrin ortalarından başlayaraq sənayedə geniş istifadə olunur. Belə ki, elektrokimyəvi oksidləşmə prosesi zamanı anodda oksidləşmiş metallın səthində oksid təbəqəsi yaranır. Alüminium (Al), mexaniki möhkəmliyinin çəkisinə nisbətinin yüksək olmasına görə texnikada geniş tətbiq olunur. Hələ keçən əsrdə

alüminium təbəqələrin komponentlərini müxtəlif turşularda anodda oksidləşdirməsi aparılmış və alınan yüksək korroziya davamlığına və dielektrik xassəli məsaməli material hava nəqliyyat vasitələrində, avtomobillərdə və məişətdə işlənən bəzək əşyaların hazırlanmasında geniş istifadə olunmuşdur. Anodik Al oksidinin iki tipi mövcuddur. Onlardan birinci tipi elektrik izolyatora oxşar nazik, bərk, yüksək müqavimətli və məsaməsiz çəpər qatıdır. İkinci tipi isə anodda oksidləşmiş alüminium oksid (AOA) qatı adlanan qalın, məsamələrin altlığın səthinə perpendikulyar istiqmətdə yönəlmiş, alınma rejimindən asılı olaraq diametri 5-100 nm, hündürlüyü isə 50 nm-100 mkm və daha çox olan olan nizamlı pətəkvəri struktura (sıxlığı  $10^{10}$   $\text{cm}^{-2}$ ) malik və optik şəffaf qatdır. Texnikada bu cür məsamə strukturu korroziyanın qarşısını almaq üçün istifadə olunur.

Daha sonra qeyd edilmişdir ki, son illərdə nanotexnoloqiyanın və nanoölçülü obyektlərin təsvirini yarada bilən Skaner və keçirici elektron mikroskopiyasının və kompyuter texnoloqiyyalarının inkişafı ilə əlqədar olaraq müxtəlif materialların nanotellərinin və nanonöqtələrinin, nanoborularının və s. sintezi üçün AOA təbəqəsindən qəlib qismində istifadə olunur. Nanostrukturların hazırlanması üçün AAO alüminium qəliblərindən istifadə olunması iqtisadi cəhətdən də əlverişlidir.

Daha sonra “Şəffaf keçirici oksidlərdən (ŞKO)” bəhs olunur. Göstərilir ki, bu termin bir çox aşqarlanmış yarımkeçirici oksidlərə aiddir. Qadağan olunmuş zonanın eninin kifayət qədər ( $\geq 3$  eV) böyük olmasına görə onlar görünən spektr diapazonunda şəffafdırlar. ŞKO-ların keçiricilik qabiliyyətinin kifayət qədər yüksək olması onların yarımkeçirici olması ilə eyni zamanda otaq temperaturunda metal xassələrinə malik olmasını təmin edir. Belə materiallardan olan təbəqələr infraqırmızı oblast yaxınlığında yüksək əks olunma əmsalına malikdir. Son 30-40 il ərzində stannum ( qalay) oksid ( $\text{SnO}_2$ ), indium oksid ( $\text{In}_2\text{O}_3$ ), indium-qalay oksid ( $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$ ) və sink oksid ( $\text{ZnO}$ ) elektronika və optoelektronika sahələrində geniş istifadə olunan əsas aparıcı ŞKO-lar olmuşlar. Stexiometrik  $\text{In}_2\text{O}_3$  optik şəffaf məxsusi yarımkeçiricidir. Onun əsasında şəffaflığı yüksək olan yarımkeçirici n-tip elektrik keçiriciliyinə malik  $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$  (ədəbiyyatda İTO adlanır)

hazırlanır. Bunun üçün Indium atomlarının bir qismi (10%) Stanumla əvəz olunaraq aşqarlana bilər.  $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$  təbəqələrin maye kristal ekranları, günəş elementlərinin şəffaf elektrodları və fotodetektorlarda, təyyərələrin və digər nəqliyyat vasitələrinin donmayan pəncərələrində geniş istifadə edilir.

Daha sonra qeyd edilir ki,  $\text{A}^2\text{B}^6$  yarımkəçirici materiallarının bəzilərindən fotovoltaiq qurğularda pəncərə təbəqəsi qismində geniş istifadə olunur.  $\text{A}^2\text{B}^6$  yarımkəçiricilərindən olan kadmium sulfidinin ( $\text{CdS}$ ) həcmi kristallarının otaq temperaturunda qadağan olunmuş zonasının eni  $E_g = 2.42\text{eV}$  olmaqla n-tip keçiriciliyə malikdir. Günəş çevricilərində  $\text{CdS}$  nazik təbəqələri “pəncərə” rolunu oynayır. Bu baxımdan  $\text{CdS}$ -in iqtisadi cəhətdən ucuz və daha asan yolla yüksək fotoeffektivliyə malik nazik təbəqələrinin alınması böyük praktiki əhəmiyyət kəsb edir.  $\text{CdS}$  iki müxtəlif modifikasiyalı struktura malikdir: sfalerit tipli kubik quruluşa ( $\alpha$ -modifikasiya) və vürsit tipli heksaqonal quruluşa ( $\beta$ -modifikasiya). Sfaleritin kubik quruluşuna qəfəs parametri  $a=6.820\text{\AA}$  olan iki sıx qablaşdırılmış, bir birinin daxilinə keçən kubik qəfəslərdən ibarət olan quruluş kimi baxmaq olar. Belə quruluşda verilmiş növün ( $\text{Cd}$  yaxud  $\text{S}$ ) hər atomu digər növlü ( $\text{S}$  yaxud  $\text{Cd}$ ) atomlarla  $\frac{3}{4} a$  məsafəsində ( $a$ -qəfəs parametri) düzgün tetradrin təpələrində yerləşən dörd atom ilə bağlıdır. Bu quruluşun xüsusiyyəti inversiya mərkəzinin olmamasındadır, bu da nəticədə  $\text{CdS}$ -in  $(111)$  oriyentasiyalı səthlərinin bütövlüklə kadmium atomlarından,  $(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$  səthlərinin isə bütövlüklə kükürd atomlarından ibarət olmasına gətirib çıxarır. Buna görə bu tillər kristalloqrafik polyarlığa malikdir.

Göstərilmişdir ki son zamanlar  $\text{CdS}$ -in nazik təbəqələrinin sintezi ilə yanaşı, onun nanostrukturalarının yaradılmasına maraq gündü- gündən artır. Çünki, nazik təbəqələrdən fərqli olaraq, nanostrukturada ölçü effekti də müşahidə olunur.  $\text{CdS}$ -i müxtəlif şablonlardan (qəliblərdən) və elektrolitlərdən istifadə etməklə nanoməfillər, nanokompozitlər və s. nanostrukturalar şəklində almaq mümkündür. Bir çox hallarda şablon olaraq anodda oksidləşmiş alüminium oksiddən istifadə olunur. Nanoquruluşların ölçüləri istifadə olunan AAO şablonların məsamələrinin ölçülərindən asılıdır.

Günəş elementlərində CdS-dən “pəncərə” kimi istifadə olunduğu halda, CdTe əsas uducu element rolunda işlədilir. CdTe-un müxtəlif elektrolitlərdən nazik təbəqələr şəklində çökdürülməsinə, optoelektrik xassələrinin və quruluşunun tədqiqinə aid çoxsaylı məqalələr dərc olunmuşdur. Ədəbiyyat materiallarının analizindən bu qənaətə gəlmək olur ki, binar yarımkeçiricilər arasında CdTe Günəş enerjisinin elektrik və ya kimyəvi enerjiyə çevirmək üçün daha perspektivli materialdır. Burada CdTe nazik təbəqələrinin alınma texnologiyaları - Fiziki buxar çökdürülməsi, Yaxın məsafədən sublimasiya, Buxar Daşınma Çökdürülməsi, Maqnetron Tozlandırma, Elektrokimyəvi çökdürmə, Metal üzvi kimyəvi buxar çökdürülməsi, Çiləmə üsulu ilə çökdürmə, Çap üsulu ilə çökdürmə üsulları təfərrüatıyla təsvir olunmuş və hər üsulun üstünlüyü və çatışmaz cəhətləri müzakirə olunmuşdur.

CdTe optik zonası günəş spektri üçün optimal olan  $A^2B^6$  qrupuna aid yarımkeçirici birləşmədir. CdTe-un  $E_g=1.5$  eV-luq qadağan olunmuş zonası və  $5 \cdot 10^5 \text{ cm}^{-1}$  dən yüksək udulma əmsalının hesabına onun yüksək kvant çıxışı ultrabənövşəyi sahədən CdTe-un qadağan olunmuş zonasının kənarına ( $\lambda=825 \text{ nm}$ ) qədər geniş dalğa uzunluqları diapazonunda müşahidə oluna bilər.

Fəslin sonunda, mövcud ədəbiyyatın araşdırılması nəticəsində dissertasiya işində həll olunacaq məsələlər müəyyənləşdirilir.

**İkinci fəsil**də eksperimentin metodikasından bəhs edilir. Burada Indium Stanum Oksid ( $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$  və ya ITO ) və alüminiumun nazik təbəqələrinin maqnetron tozlandırma üsulu ilə alınması, alüminiumun anodda oksidləşmə yolu ilə anodda oksidləşdirilmiş nanoməsəməli alüminun oksidinin (AAO,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) alınması metodikası, CdS və CdTe-un müvafiq olaraq elektrokimyəvi üsulla və yaxın məsafədə sublimasiya üsulu ilə alınma texnologiyası, habelə alınan təbəqələrin elektrofiki, optik, quruluş və fotoelektrik xassələrinin araşdırılması üsulları və istifadə olunmuş cihaz və avadanlıqlar təsvir olunmuşdur.

$\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$  nazik təbəqələri, In və Sn tərkibi 9:1 nisbətdə olan standart hədəflə təchiz olunmuş Leybold Herause Z550 markalı qurğuda vakuum kamerasına işçi Ar qazının və müəyyən miqdarda  $\text{O}_2$  daxil etməklə radiotezlikli maqnetron tozlandırma üsulu ilə alınmışdır.

Alüminium təbəqələrinin də bu qurğuda alınması üçün yüksək təmiz (99,99%) Al hədəfindən istifadə edilmişdir. Maqnetron tozlandırma üsuluyla çökdürmə prosesinin aparmamışdan əvvəl nümunənin və hədəfin səthi vakuum kamerasında Arqonun təzyiqi  $8 \cdot 10^{-1}$  Pa şəraitində 200-500 Vt gücündə qaz boşalması vasitəsilə 2dəq. müddətində Ar ion dəsti ilə təmizləndirdi. Bundan bilavasitə sonra, vakuumu pozmadan təbəqənin təyin olunmuş qalınlığına müvafiq olaraq müxtəlif müddətlər ərzində 100-150Vatt gücündə qaz boşalması şəraitində Al çökdürülməsi prosesi aparılmışdır.

Daha sonra alüminium folqanın və maqnetron tozlandırma üsulu ilə müxtəlif altlıqlar üzərinə çökdürülmüş nazik təbəqəli alüminiumu anodda oksidləşdirilməsinin müxtəlif elektrolit məhlullarında və müxtəlif rejimlərdə alınma üsulları təsvir edilmişdir. Nanoməsəməli  $Al_2O_3$  (AAO) təbəqələrin alınması üçün laboratoriyamızda tərəfimizdən 2 elektrodlu kimyəvi yuvacıq və onun idarəedilməsi üçün elektrik sistemi işlənmiş və hazırlanmışdır. Bu qurğuda yardımcı elektrod- katod qisminə Pt telindən, anod qisminə isə bilavasitə Al lövhəsindən istifadə olunmuşdur. İşçi məhlulun (0-5°C) temperaturuna qədər soyudulması üçün termoelektrik soyuducudan və ya buzdan istifadə olunmuşdur. Proses sırasında məhlulun qarışdırılması üçün yüksək sürətli elektrik mikromühərək dən istifadə olunmuşdur.

CdS nazik təbəqələrinin alınması üçün 0.125M  $CdSO_4$ , 0.25M  $Na_2SO_3$ , 0.35M  $H_2SO_4$ , 0.007M Trilon-B ( $C_{10}H_{14}O_8N_2 \cdot H_2O$ ) tərkibli elektrolitdən (su tərkibli) və susuz Etilen-glikolda  $T=130^{\circ}C$  temperaturunda həll olunmuş 0.2M  $CdCl_2$ , 0.02M  $S_8$ , və 0.1M  $NH_4Cl$  tərkibli məhluldan istifadə olunmuşdur. Cd və S ionlarının birgə elektrokimyəvi çökmə prosesi birinci məhlulda görünən səthi  $2 \text{ sm}^2$  olan Ni, şüşə/ $In_2O_3$ :Sn və şüşə/ $In_2O_3$ :Sn/AAO elektrodları üzərində aparılmışdır. Birinci məhlulda çökmə prosesi IVIUMSTAT markalı elektrokimyəvi analaziator potensiostatı vasitəsilə potensiostatik rejimdə müxtəlif potensiallarda otaq temperaturunda yerinə yetirilmişdir. İkinci məhlulda isə çökdürmə prosesi potensiostatik rejimdə,  $T=90-100^{\circ}C$  temperatur aralığında, laboratoriyada yaradılan iki elektrodlu yuvacıqda aparılması əks olunmuşdur.

CdTe nazik təbəqələri iki üsulla: 1) yaxın məsafədən sublimasiya və 2) elektrokimyəvi çökdürmə üsulları ilə alınmışdır. Birinci üsul ilə çökdürülmə “Two Zones Furnace for PVD (CSS) Processing - OTF-1200X-RTP-II, MTI, USA” markalı yaxın məsafədən sublimasiya qurğusu vasitəsilə aparılmışdır. Yaxın məsafədən sublimasiya (YMS) üçün mənbə qismində sahəsi altılıq sahəsi qədər olan keramik həcmə (putaya) yerləşdirilən, qalınlığı 100-200 mkm olan narın toz halına salınmış CdTe-dan istifadə olunmuşdur.

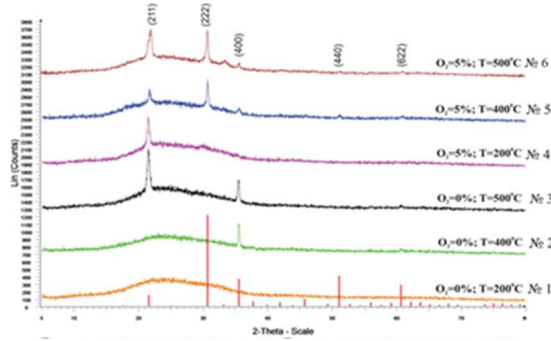
Elektrokimyəvi çökdürülmə üsulu ilə CdTe nazik təbəqələrinin çökdürülməsində isə, işçi elektrodu (katod) qismində müxtəlif (şüşə/ $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$  və ya CdS təbəqəsi) altılıqlardan, anod qismində isə Platin elektrodundan ibarət iki elektrodlu çökdürülmə yüvaciği vasitəsi ilə keçirilmişdir. Bunun üçün 1.5M  $\text{CdSO}_4$  həll edilmiş distillə olunmuş suya 1000mg/L  $\text{CdCl}_2$  və aşağı konsentrasiyalı 1mM  $\text{TeO}_2$  olan məhlulundan istifadə olunmuşdur. Çökdürmə processi IVIUMSTAT elektrokimyəvi analiziator potensiostatı vasitəsilə aparılaraq katod polyarizasiya ayrıləri çəkilmiş və CdTe-un müxtəlif (İTO və CdS ) altılıqlara çökmə potensialları təyin edilmişdir.

Təbəqələrin renqenquruluş analizi  $\text{CuK}_\alpha$  ( $\lambda=1.54060 \text{ \AA}$ ) şüa mənbəli “Rigaku Miniflex-500” və X-Ray diffractometer D2 Phaser (Bruker, Germany) markalı diffraktometrlər vasitəsilə, səthin morfologiya analizi isə Smart SPM 1000 AIST NT atom qüvvə mikroskopu, “Carl Zeiss Siqua” markalı skan elektron mikroskopu (SEM), enerji dispesiya spektrləri (X-ray EDS) isə “Oxford Instruments” SEM vasitəsilə xarakterizə edilmişdir. Şüşə lövhəsi üzərinə maqnetron fiziki tozlandırma üsulu ilə çökdürülmüş  $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$  (İTO) və elektrokimyəvi üsulla çökdürülmüş CdS nümunələrin optik buraxma və udulma spektrləri “Specord 250+ UV/VIS Spectrophotometr” markalı qurğuda, Raman və fotolumenissensiya spektrləri Nd:YAG ( $\lambda=532\text{nm}$ ) lazerlə təchiz olunmuş “Tokyo instruments” modelli Nanofinder 30-NM01 (Tokyo Instruments, Inc) konfokal lazer spektroskop cihazı vasitəsilə ölçülmüşdür. Günəş elementlərin xarakteristikaları isə “Solar cell I-V Tester Model IV16K (PV Measurements Inc, USA)” günəş simulyator cihazı vasitəsilə

ölçülmüşdür. Təbəqələrin qalınlığı MIII-4 interferensiya mikroskopunda və Rotating Compensatory Ellipsometr M2000-Dİ, markalı (J.A.Woollam Co.Inc. USA) ellipsometriya qurğusunda ölçülmüşdür. Nümunələrin xüsusi müqaviməti yük daşıyıcıların yürüklüyü və keçiricilik tipi Van-Der-Pau üsulu ilə 4-zondlu standard qurğu vasitəsilə və termik zondla ölçülmüşdür.

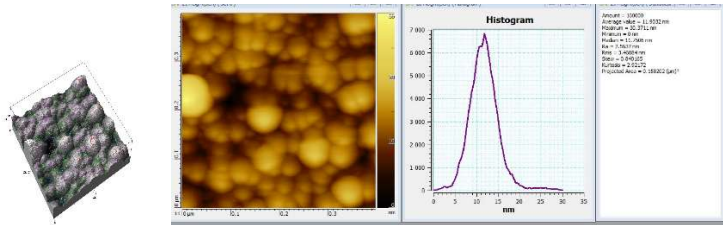
**Üçüncü fəsil** nanoquruluşlu şüşə/ $\text{In}_2\text{O}_3$ :Sn/AAO/CdS/CdTe strukturun bütöv halının və onu təşkil edən layların ayrı-ayrılıqda quruluş, elektrofiziki, optik, fotoelektrik və fotolumenessensiya xassələrinin araşdırılmasına həsr edilmişdir.

İlk öncə bu strukturun ilkin təbəqəsi olan  $\text{In}_2\text{O}_3$ :Sn-nin quruluş, optik və elektrik xassələrinin maqnetron kamerasında oksigen/Ar qarışığının tərkibindən asılılığının öyrənilməsi nəticələri təqdim edilmişdir. Təbəqələrin 0% və 5% oksigen/arqon qaz qarışığı mühitində maqnetron tozlanması üsulu ilə alınmış və daha sonra hava mühitində 200, 400 və 500°C temperaturlarında termiki işlənmiş təbəqələrinin Rentgen difraktoqrammasında (şəkil 1), maqnetron kamerasında oksigenin olmaması şəraitində ( $\text{O}_2=0\%$ ) alınan və daha sonra mufel sobasında Ar qazı mühitində  $T=200^\circ\text{C}$ -də termiki işlənən təbəqələrin difraktoqrammasında  $2\theta=18\div 38^\circ$  bucaqları intervalında amorf materiallara xas olan diffuziya “qozbelliyi” müşahidə olunur. Onun mövcudluğu bu strukturda amorf faza quruluşlu materialların (o cümlədən, amorf şüşə altlığının da) mövcudluğuna işarə edir. Strukturun tədricən artan temperaturalarda (200-500°C) termiki işlənmə nəticəsində bu temperaturun artırılması difraksiya piklərinin həm daralmasına həm də intensivliyin artmasına səbəb olur.  $T=500^\circ\text{C}$  temperaturda termiki işlənmiş təbəqələrdə  $\text{In}_2\text{O}_3$ :Sn difraksiya spektrinə xas olan (222) və (211) səthlərə aid olan piklərinin intensivliklərin ən zəif (400) pikinin intensivliyinə nisbətləri 4.8 ( $J_{222}/J_{400}$ ) və 3.7 ( $J_{211}/J_{400}$ ) qiymətlərini verir. Debay-Şerrer düsturu vasitəsilə təbəqədə kristallit zərrəciklərin ölçülərinin qiymətləndirilməsi onların  $\approx 13\text{nm}$  olduğunu göstərilmişdir.



**Şəkil 1. 0, 5% oksigendə 200, 400 və  $500^\circ\text{C}$ -də termiki işlənmiş  $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$  təbəqələrinin difraktoqramması.**

$\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$  təbəqəsinin Atom qüvvə mikroskopiyası vasitəsilə alınan təsvirlərindən və bu zərrəciklərin həndəsi ölçüləri üzrə paylanmasının histoqrammasından (Şəkil 2) göründüyü kimi onların ölçüləri 5 nm ilə 20 nm intervalında dəyişir, histoqrammanın maksimumu isə 11.9 nm də yerləşir. Bu isə difraktoqramma və Debay-Şerrer düsturuna əsasən alınan rəqəmi təsdiq edir.



**Şəkil 2.  $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$  təbəqələrin atom qüvvə mikroskopu vasitəsilə alınan təsvirləri və kristallitlərin ölçülər üzrə paylanma histoqramması.**

Daha sonra bu təbəqələrin optik xassələrinin təhlili verilmişdir. Göstərilmişdir ki,  $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$  təbəqələrinin termiki işlənmədən öncəki optik buraxılma ( $T\%$ ) spektri maqnetron kamerasında oksigenin  $q_{O_2}$  parsial miqdarından asılıdır. Belə ki, bu təbəqələrin şəffaflığı kameraya  $q_{O_2}=5\%$  oksigenin əlavə olunması ilə  $q_{O_2}=0\%$  nisbətən



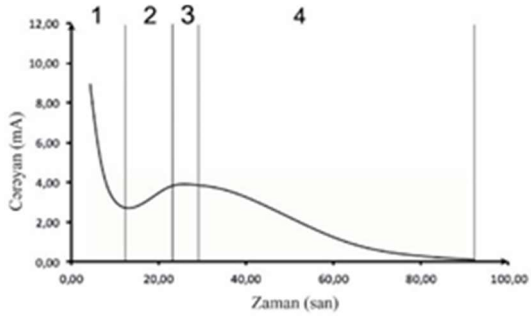
( $T=60\%$ ) ciddi şəkildə dəyişmiş, amma  $q_{O_2}=10\%$ -a qədər artırmasıyla şəffaflıq kəskin artır ( $T=90\%$ ). Lakin, təbəqələri  $500^\circ\text{C}$ -də aparılmış termiki işlənmədən sonrakı  $q_{O_2}=0\%$  (oksigeniz) şəraitində alınan təbəqələrin şəffaflığı termiki işlənmədən əvvəlkinə nisbətən yüksəlir. ( $T=80\%$ ). Digər tərəfdən  $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$  -nun şəffaflığı  $q_{O_2}=5\%$  oksigen əlavə etməklə nisbətən azalır ( $T=75\%$ ) və spektrin udulma kənarının  $300\text{-}450\text{ nm}$  həddində qısa dalğa uzunluğu tərəfə sürüşməsi müşahidə olunur. Eyni zamanda bu təbəqələrin arqon qazı və hava mühitlərində  $400^\circ\text{C}$  temperaturunda 10 dəqiqə müddətində termiki işlənmədən sonra arqonda işlənmiş nümunələrin optik buraxılma dərəcəsi, havada işlənmiş nümunələrə nisbətən daha yüksəkdir. Təbəqənin şəffaflığının azalması hava mühitində termiki işlənmə sırasında havadakı oksigenin  $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$  ilə reaksiyaya getməsi və onun qəfəsinə daxil olunması ilə izah oluna bilər.

Daha sonra  $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$  təbəqələrinin elektrofiziki xassələri təhlil edilərək yük daşıyıcıların konsentrasiyasına, yüürlüklüyünə və elektrik keçiriciliyinə vakuüm maqnetron kamerasındakı oksigenin parsial təzyiqinin rolu müəyyənləşdirilir. Göstərilir ki, oksigenin parsial təzyiqi ( $10^{-4}\text{-}10^{-5}$ ) torr arasında dəyişdikdə elektronların yüürlüklüyü artır, yük daşıyıcıların konsentrasiyası və keçiriciliyi isə azalır. Oksigenin hər bir vakansiyası iki ədəd sərbəst elektronu keçiricilik üçün pay verə bilər. Oksigenin parsial təzyiqinin artması ilə oksigen vakansiyalarının sayı artır, yük daşıyıcıların konsentrasiyası isə azalır. Digər tərəfdən, təbəqələrdə oksigen əksikliyi (defisiti) elektronların konsentrasiyasını artırır və nəticədə onlar tərəfindən işğın udulmasına və buraxılmanın azalmasına, qadağan olunmuş zonanın daralmasına, Sn ilə aşqarlanmasının effektivliyinin zəiflənməsinə və yük daşıyıcıların yüürlüklüyünün azalmasına gətirib çıxarır. Yük daşıyıcıların yüürlüklüyünün azalması, onların ionlaşmış aşqarlar üzərində daha effektiv səpilməsinin artması ilə izah olunur.

Növbəti bölmədə bu strukturun ikinci təbəqəsi olan Şüşə/ $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$  üzərinə maqnetron tozlandırma üsulu ilə çökdürülmüş alüminiumun əsasında anodda oksidləməsi ilə sintez olunmuş AOA nanoməsaməli quruluşun yaranma mexanizmi təhlil edilir. Burada habelə AOA nanoməsamələrinin SEM təsvirləri, Enerji-dispersiv

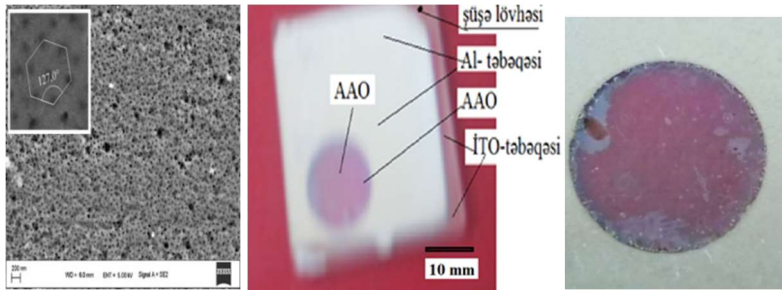
analızı (EDS) əsasında müəyyən olunan stexiometriyaya uyğun qələn element tərkibi və görünən işıq diapazonunda ölçülmüş optik buraxma spektrləri təqdim edilmişdir. Şəkil 3-də anodda oksidləşmə prosesində məsələli  $Al_2O_3$  şablonlarının (qəliblərinin) formalaşması sırasında müşahidə olunan cərəyan-zaman asılılığı göstərilmişdir. Qrafikdən görüldüyü kimi bu proses aşağıda göstərilən dörd fərqli mərhələdən ibarətdir. İlkin (1) mərhələdə alüminium səthinin yüksək keçiriciliyə malik olmasına görə ilk anda cərəyan şiddəti yüksəkdir. Daha sonra  $O_2$  və  $OH$  ionları  $Al$  səthinə diffuziya edərək  $Al$  səthində  $Al_2O_3$  oksid layını (AOA) əmələ gətirir ki, bu da müqavimətin artması və cərəyan şiddətinin kəskin azalması ilə müşahidə olunur. İkinci (2) mərhələdə yeni yaranmış oksid qatı elektrolitdə tədricən həll olunur və onun səthində nanoməsələlər əmələ gəlməsi başlayır. Bunun nəticəsində oksid qatı nazıqlaşır, onun müqaviməti azalır və cərəyan şiddəti artmağa başlayır. Üçüncü (3) mərhələdə oksidin formalaşması və həll olma prosesləri bir-biri ilə tarazlaşır və eyni zamanda təbəqədə öz-özünə nizamlanmış məsələlər yaranır. Bu mərhələ ərzində anod cərəyanı nisbətən sabit qalır və buna görə onu sabitləşmə mərhələsi adlandırmaq olar. Bu mərhələ  $Al$  layının qalınlığından asılı olaraq bir neçə saniyə və ya dəqiqə sürə bilər. Dördüncü (4) mərhələdə  $Al$ -un bütün qatı tədricən oksidləşir, təbəqənin müqaviməti artır və anodlaşma cərəyan şiddəti azalaraq sifira yaxınlaşır. Müəyyən olmuşdur ki, anodda oksidləşmənin parametrləri olan tətbiq olunan elektrik qərginliyi, elektrolitin temperaturu və oksidləşmə müddəti AOA-da məsələlərin diametrinə, qalınlığına və onların müntəzəmliyinə bir başa təsir edir.

Şəkil 4 də aldığımız AOA səthinin SEM təsviri və fotoşəkilləri göstərilmişdir. SEM təsvirindən görünür ki, hər bir məsələnin ən yaxın ətrafındakı qonşu məsələ sayı 6 ədəddir, bunları xəyali xətlərlə birləşdirdikdə daxili bucaqları  $\approx 125-127^\circ$  olan düzgün altıbucaqlı alınır. Fotoşəkildə, əslində optik şəffaf olan AAO təbəqəsi, interferensiya nəticəsində bənövşəyi rəngdə görünür. İnterferensiya onun yüksək dərəcədə nizamlanmış olduğunu təsdiq edir. Məsələlərin yüksək dərəcədə öz-özünə nizamlanmış düzülüşü AQM təsvirlərindən də görünür.



**Şəkil 3. Al anodda oksidləşdirməsi prosesində cərəyanın zamandan asılılığı**

Daha sonra nanoməsəmli AOA-nun optik buraxma spektri təqdim edilir. Göstərilmişdir ki, AOA təbəqəsi günəş işığı üçün yetərli dərəcədə şəffafdır ( $T=60-70\%$ ). Həmçinin anodda oksidləşdirilmiş AOA təbəqəsinin SEM vasitəsilə alınan EDS spektri və element tərkibi təqdim edilərək təbəqənin kimyəvi element tərkibinin stexiometrik olduğu göstərilmişdir.

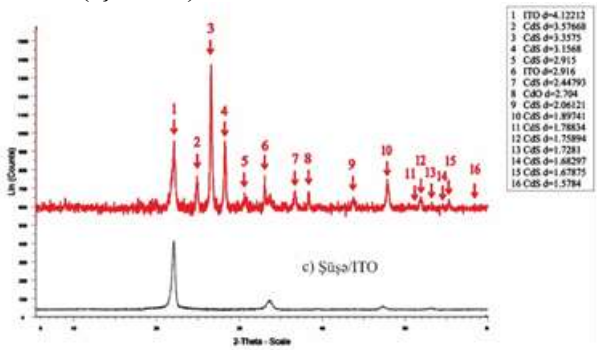


**Şəkil 4. AAO təbəqəsinin SEM təsviri (X50,000) (solda) və şüşə üzərində sintez olunan  $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}/\text{AOA}$  strukturun fotosəkli (ortada və sağda)**

Növbəti bölmədə strukturun 3-cü təbəqəsi olan planar nazik təbəqəli və AOA-nın məsələlərində yetişdirilmiş nanoquruluşlu CdS-in alınma üsulu, kristallik quruluş, element tərkibi və optik xassələrinin öyrənilməsi nəticələri təqdim edilir. CdS təbəqələrinin

müxtəlif materialların üzərinə elektrokimyəvi çökdürülmə prosesinin mexanizmlərinin müəyənləşdirməsi məqsədilə ilkin mərhələdə çökdürmə IVIUMSTAT markalı elektrokimyəvi analaziator potensiostatından istifadə etməklə Ni elektrodlarının üzərində aparılmışdır. Bu nisbətən ucuz başa gələn prosesin öyrənilməsindən alınan nəticələr CdS nanotellərinin şüşə/ $\text{In}_2\text{O}_3$ :Sn/AAO strukturundakı AOA məsələlərinin daxilinə çökdürülmə proseslərin mexanizmlərinin müəyyən etməsi üçün bir model kimi istifadə olunmuşdur. CdS-in çökdürülməsi üçün polyar üzvi elektrolit olaraq tərkibində Cd ionları və kolloid hissəciklər şəklində həll olmuş S molekulları olan etilen qlikol elektroliti götürülmüşdür. Qeyri-üzvi elektrolit olaraq tərkibində Cd ionları olan sulfid elektrolitlərdən istifadə olunmuşdur. Seçilmiş elektrolitin tərkibinə daxil olan əsas komponentləri olan Cd və S-in ayrı-ayrılıqda elektrolitik çökmə potensial sahəsi təyin edilmiş və prosesin kinetika və mexanizmi aydınlaşdırılmışdır.

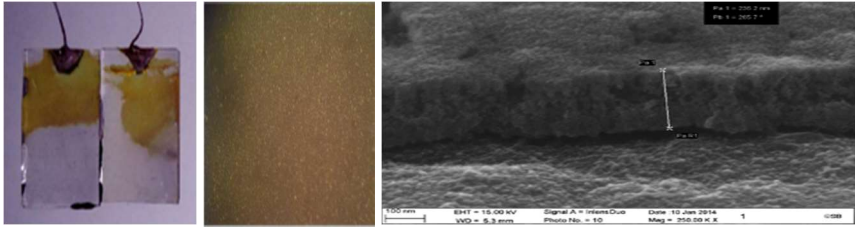
Daha sonra Şüşə/ $\text{In}_2\text{O}_3$ :Sn/CdS strukturun rentgen difraktoramması ( Şəkil 5) təhlil edilir.



**Şəkil 5. Şüşə/ $\text{In}_2\text{O}_3$ :Sn/CdS təbəqələrin difraktoqramması**

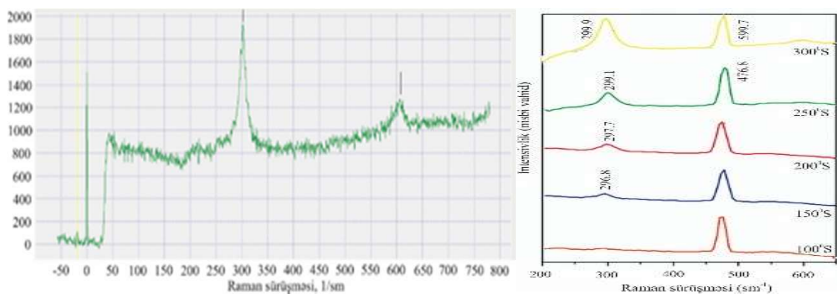
Müəyyən edilmişdir ki, bu difraktoqrammada mövcud olan 16-müxtəlif intensivlikli piklərdən 2- si  $\text{In}_2\text{O}_3$ :Sn ya aiddir (Qrafikin aşağısında  $\text{In}_2\text{O}_3$ :Sn difraktoqramması göstərilib). Geriyə qalan 14 pik isə, əsas etibarilə stexiometrik tərkibli heksaqonal modifikasiyalı

kristallik quruluşa malik olan CdS nanokristallarından və cüzi miqdarda CdO və kubik modifikasiyalı CdS aşqarlarından ibarətdir. Ən intesiv (3 sayılı) pikin Debay-Şerer düsturu əsasında təhlili CdS zərrəciklərin ortalama ölçülərinin  $\sim 23$  nm olduğu təsbit edilmişdir. Təbəqələr n-tip keçiriciləyə malikdir və xüsusi keçiriciliyi 16–20  $\text{Om}\cdot\text{sm}$ -dir. Nümunələrin EDS spektri və kimyəvi element tərkibi, habelə SEM mikro təsvirləri və fotosəkillər (şəkil 6) bu təbəqələrin stexiometrik tərkibə malik olaraq, sıx qablaşdırılmış iri zərrəciklərdən təşkil olunduğunu, altlıq boyunca eyni qalınlıqda (çökdürmə müddətindən asılı olaraq, 200–500 nm) çökdürüldüyünü nümayiş etdirir. Təbəqələr işıqın 400-800 nm dalğa diapazonunda yüksək optik buraxılmaya ( $T\sim 70\%$ ) malikdir.



**Şəkil 6. Şüşə/ $\text{In}_2\text{O}_3$ :Sn/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  qəliblərinə çökdürülmüş CdS-in fotosəkli (sol və orta şəkil) və SEM təsviri (sağda).**

Daha sonra hava mühitində  $500^\circ\text{S}$ -də termiki işlənən CdS nazik təbəqəsinin və  $100\text{-}300^\circ\text{S}$  temperaturlarında termiki işlənmiş  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CdS}$  strukturların Raman sürüşməsi spektrləri təhlil edilir (Şəkil 7). Spektrlərdə dalğa ədədinin  $\sim 300\text{sm}^{-1}$  qiymətində heksaqonal modifikasiyalı quruluşlu, CdS-ə xas olan birinci tərtib uzununa optik fonon (1LO) modasına uyğun gələn,  $\sim 605\text{sm}^{-1}$  qiymətində isə kubik (sfalerit) modifikasiyasız CdS-ə uyğun olan ikinci tərtib uzununa (2LO) optik fonon modasına uyğun gələn piklər müşahidə olunur.

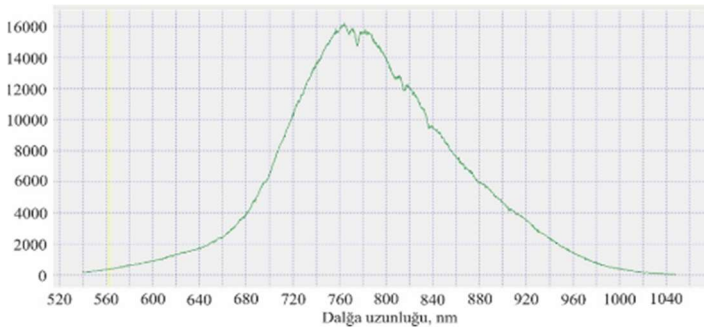


**Şəkil 7. 500<sup>0</sup>S də (saldə) və 100, 200 və 300<sup>0</sup>S də termiki işlənmiş nümunələrin (sağda) Raman spektrləri .**

Bu spektr, bir tərəfdən, rentgen difraktoqrammaların təhlili əsasında CdS-n kristallik quruluşu barəsində alınan nəticələri bir daha təsdiq edir, digər tərəfdən isə, piklərin intensivliklərinin müqayisəsi əsasında heksaqonal fazanın nisbi miqdarın kubik fazaya nisbətən dəfələrlə çox olmasını göstərir. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/CdS spektrlərində 299 sm<sup>-1</sup> pikindən əlavə 476.8 sm<sup>-1</sup>-də Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ə aid olan pik də mövcuddur. Spektrlərdən görüldüyü kimi termiki işlənmə temperaturu CdS –in kristallik mükəmməliyinə güclü təsir edir. 100<sup>0</sup>S temperaturunda termiki işlənmiş quruluşun spektrində yalnız Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ə xas olan 476.8 sm<sup>-1</sup> –lik pik mövcuddur, CdS-ə aid olan pik isə yoxdur. CdS-ə xas olan 1LO pikləri yalnız 150<sup>0</sup>S-dən yuxarı temperaturlara aid spektrlərdə görünür. Termiki işlənməmiş CdS-də pikinin mövcud olmaması və ya intensivliyinin zəif olması onun amorf və ya kristallığının mükəmməl olmaması ilə bağlıdır. İşlənmə temperaturun artmasıyla 1LO pikin intensivliyinin artması və daha böyük dalğa ədədlərə tərəf bir qədər sürüşməsi (150<sup>0</sup>S-də 296.8 sm<sup>-1</sup>, 300<sup>0</sup>S-də isə 299.9 sm<sup>-1</sup>) müşahidə olunur. Bunlar temperaturun təsirindən Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> məsələlərində yerləşən CdS-nanozərrəciklərin böyüməsi və kristal mükəmməliyin artması ilə habelə Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> matrisi tərəfindən CdS-in kristallik qəfəsinə təzyiqlik göstərməsinin və ölçü effektinin birgə təsiri nəticəsidir.

Daha sonra dalğa uzunluğu 532 nm olan lazerlə həyəcanlandırılmış nanoquruluşlu CdS təbəqələrin fotoluminissensiya spektri təhlil edilir ( Şəkil 8). Spekrtdə 500-1000

nm diapazonunu əhatə edən və maksimumu təqribən 760 nm-də yerləşən emissiya zolağı müşahidə olunur. Tərəfimizdən sintez olunan CdS nanotellərinin diametri (40-60 nm).



**Şəkil 8. CdS təbəqəsinin fotolumenissensiya spektri**

Göstərilmişdir ki, sintez olunmuş CdS nanotellərində, böyük uzunluq/diametr nisbətləri böyükdür və onlarda səthi və səthaltı defektlərin sayı yüksəkdir. Digər tədqiqatçıların da aldığı nəticələrə uyğun olaraq aldığımız nəticədəki piklər də bu defektlərdən qaynaqlanan tələ emissiyası ilə bağlıdır.

Növbəti bölmədə bu strukturun sonuncu təbəqəsi olan elektrokimyəvi çökdürmə və yaxın məsafədən sublimesiya üsulları ilə alınan CdTe-un rentgenoqramması, AQM və SEM şəkilləri təqdim edilib. CdTe nanostrukturlarını elektrokimyəvi yolla çökdürmək üçün sulfat-tartarat elektroliti seçilmişdir. Elektrokimyəvi çökdürmə sırasında katod polyarizasiya ayrıləri çəkilməş və CdTe-un müxtəlif (InSn:O və CdS) altlıqlara çökmə potensialları təyin edilmişdir. Rentgenoqramma əsasında göstərilmişdir ki, CdTe nazik təbəqələri qəfəs parametrinin  $a=6485 \text{ \AA}$  olmaqda sfalerit tipli kubik quruluşla (fəza qrupu F43m) kristallaşır. CdTe təbəqələri (111) istiqaməti boyunca üstün oriyentasiyaya malikdir. Onun dənəcikləri six qablaşdırılmış haldadır və ölçüləri ortalama 300 nm-dir.

**Dördüncü fəsil**də AAO məsamələrində yetişdirilən nanotelli CdS əsasında, Şüşə/In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Sn/CdS (CdTe) nano quruluşlu günəş elementinin və elektrik enerjisi akkumulytorunun hibridi olan yeni

cihazın konstruksiyası və onun təfərrüatlı hazırlanma metodikası təqdim edilmişdir. Burada həmçinin nano-CdS/CdTe təbəqələri heteroqəçid əsasında günəş elementinin elektrofiziki və fotoelektrik xassələrindən bəhs edilir.

Yeni hibrid cihaz hər iki üzünün  $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$  təbəqəsi ilə örtülmüş vahid şəffaf şüşə lövhəsinin ön və arxa səthləri üzərində qurulmuş nanoquruluşlu PV-günəş çeviricisindən və nanokondensatordan ibarətdir.

CdS/CdTe heteroqəçidli günəş elementlərinin nəzəri modeli əsasında pəncərə qatı ənənəvi CdS nazik təbəqəli və AAO matrisində yetişdirilən nanotelləri əsasında CdS/CdTe heteroqəçidli günəş elementlərinin effektivlikləri qiymətləndirilmişdir. Göstərilmişdir ki, CdS-in ənənəvi nazik təbəqələlərində optik udulma kənarı 512 nm dalğa uzunluğuna, AAO məsamələrində yetişdirilmiş CdS nanotellərindən udulma kənarı isə 480 nm-ə uyğun gəlir. Buna görə məsaməlik dərəcəsi 50% dən çox olan AAO matrisasının CdS-tellərindən azad olan və şəffaf sahəsindən nüfuz edərək CdS/CdTe heteroqəçidin tükənmiş oblastına çatan və istifadə olunan fotonların enerjisi ənənəvi CdS pəncərə qatına nisbətən çox olduğundan fotocərəyanın nisbi artımı ( $22.4 \text{ mA}/\text{sm}^2$ -dən  $26.1 \text{ mA}/\text{sm}^2$ ) 17% daha yüksək olur.

Daha sonra şüşə/ $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CdS}/\text{CdTe}$  quruluşunun qaranlıqda və AM1.5 (air mass 1.5) ( $\sim 150 \text{ mV}/\text{sm}^2$ ) işıqlandırma şəraitində ölçülmüş Volt-ampere xarakteristikaları təhlil edilir. Günəş elementinin parametrləri olan açıq dövrə gərginliyi, qısa qapanma cərəyan sıxlığı və dolma faktorun qiymətlərinin müvafiq olaraq, 705mV,  $25.3 \text{ mA}/\text{sm}^2$  və 36.4%-ə çatmasına nail olunmuşdur. Bu elementlər eyni şərtlər daxilində ənənəvi nazik təbəqəli CdS/CdTe günəş elementləri ilə də müqayisə edilmişdir.

## ƏSAS NƏTİCƏLƏR

1. Maqnetron tozlanması üsulu ilə oksigen/arqon qaz qarışığı (0, 5 və 10%) mühitində alınmış və 200–500°C temperatur intervalında termiki işlənmiş  $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$  nazik təbəqələrində müşahidə olunan,



oksigen payının artması ilə keçiriciliyin azalmasının səbəbi,  $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$ -da akseptor tipli Sn vakansiyalarının formalaşması nəticəsində yük daşıyıcıların konsentrasiyasının və yürüklüyün azalması ilə əlaqədardır.

2.  $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$  nazik təbəqə ilə örtülmüş şüşə altlıqlarının üzərinə çökdürülmüş nazik alüminium təbəqəsinin anodda oksidləşmə üsulu ilə optik səffaf və dielektrik xassəli, öz-özünə nizamlanmış quruluşlu, alınma şəraitindən asılı olaraq diametri (5–100) nm olan məsamələrə malik və qalınlığı isə  $300 \text{ nm} \div 1 \text{ mkm}$  intervallarında dəyişdirilə bilən,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (AOA) təbəqələrinin yetişdirilmə texnologiyası işlənmiş, oksidlənmə prosesinin mexanizmi müəyyənləşdirilmiş, onların səth morfoloqiyası, quruluş, optik xassələri (buraxılma və raman sürüşməsi spektri) və element tərkibləri müxtəlif üsullarla xarakterizə edilmişdir.

3. Şüşə/ $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$ /AAO strukturu üzərində alınmış CdS təbəqələrin elektrokimyəvi çökdürmə üsulu ilə yetişdirilmə texnologiyası işlənmişdir. Bu təbəqələrin səth morfoloqiyası (SEM təsvirləri), element tərkibi (EDS spektrləri), quruluş (XRD) və optik xassələrinin (Optik buraxma, Raman sürüşməsi və fotolumenissensiya spektrləri) öyrənilməsi nəticəsində bu strukturun AOA məsamələrində stexiometrik tərkibli heksaqonal modifikasiyalı kristallik quruluşa malik olan CdS nanotellərinin yetişdiyi və onların optik və elektrik xassələrinə malik olaraq günəş elementlərində tətbiqi üçün yararlı olduğu müəyyən edilmişdir.

4. CdS təbəqələrinin elektrokimyəvi yolla alınması üçün lazım olan elektrolitin tərkibi və elektrolizin şəraiti müəyyən olunmuş, habelə birgə çökmə potensial sahəsi təyin edilmişdir. Seçilmiş elektrolit məhlullarında kadmium ionlarının çökmə potensial sahəsi müəyyənləşdirilmiş, kükürd ionlarının çökmə potensial sahəsi ilə yanaşı, onların sulfid ionlarına qədər dərin reduksiya potensial sahəsi də təyin edilmişdir.

5. Nanoməsaməli  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (AOA) təbəqələrin alınmasının üsulları işlənmiş, onların səthini SEM, müxtəlif üsullarla xarakterizə edilmişdir.

6. Şüşə/ $\text{In}_2\text{O}_3$ : $\text{Sn}/\text{Al}$  strukturların “Leybold Hereaus Z550” markalı vakuum tozlandırılması qurğusunda radio-tezlikli maqnetron tozlandırma üsulu ilə bir neçə mərhələdən ibarət proseslə alınması metodikası işlənmişdir.

7. İlk dəfə olaraq Nikel lövhə elektrodlarında və şüşə/ $\text{In}_2\text{O}_3$ : $\text{Sn}$  altlıqlarında elektrokimyəvi çökdürülmə üsulu ilə müxtəlif elektrolitlərdə CdTe və CdS nazik təbəqələrin və nanoquruluşlu strukturlarının alınma metodları işlənmiş və onların elektrofiziki, quruluş və optik xassələri öyrənilmişdir.

8. Şüşə/ $\text{In}_2\text{O}_3$ : $\text{Sn}/\text{CdS}/\text{CdTe}$  quruluşlu günəş elementinin və elektrik enerjisi akkumulytorunun hibridi olan yeni cihazın konstruksiyası və onun təfərrüatlı hazırlanma metodikası işlənilib hazırlanmışdır.

9. CdS/CdTe nanostrukturunun AM-1.5 ( $\sim 150 \text{ mV}/\text{sm}^2$ ) işıqlandırma şəraitində ölçülmüş V-A xarakteristikaları əsasında müəyyən olmuşdur ki, günəş elementlərində enerji çevirmə effektivliyi 6.5%-ə, açıq dövrə gərginliyi 705mV qısa qapanma cərəyan sıxlığı 25.3mA/ $\text{sm}^2$  və dolma faktorunun isə 36.4% səviyyəsindədir.

### **Dissertasiyanın əsas nəticələri aşağıdakı əsərlərdə çap olunmuşdur.**

1. Aliyev A.Sh., Tagiyev D.B., Guliyev J.A., et al. Structural, electrical and optical properties of Indium Tin Oxide (ITO) and CdS thin films within Glass/ITO/AAO/CdS system // Intern. Conference “Modern researches and prospects of their use in Chemistry Chemical Engineering and related fields” – Ureki, – Georgia, – 21 – 23 September, – 2016, – p. 34.
2. Aliyev A.Sh., Tagiyev D.B., Guliyev J.A., et. al., Properties of electrodeposited cadmium sulfide films and Glass /ITO/ AAO/CdS system for photovoltaic applications // Int. Conference on Chemical Sciences & Applications ICCSA-2016, – Alexandria – Egypt, – 6 – 9 August, – 2016, – p. 164-165.
3. Aliyev A.Sh. Electrochemical deposition of thin films of cadmium chalcogenides / A.Sh. Aliyev, V.A. Majidzade, J.A.

- Guliyev [et al.] // Azərbaycan kimya jurnalı, – 2016. №3, – p. 140-154.
4. Eminov Sh.O. Creating of ordered porous anodic alumina templates on glass substrates / Sh.O. Eminov, Kh.D. Jalilova, J.A. Guliyev [et. al.] // Azerbaijan Journal of Physics, – 2013. vol. XIX, №1, – p. 46-49.
  5. Eminov Sh. O., Jalilova Kh. D., Guliyev J.A., et al., Structural and optical properties of electrochemically deposited CdS nanowires / “Metallurgiya və materialşünaslığın problemləri” mövzusunda 2-ci Beynəlxalq Elmi-texniki konfrans, – Bakı, – Azərbaycan, – 28 – 30 noyabr, – 2017, – s. 152-157.
  6. Eminov Sh.O. Nanostructured hybrid of photovoltaic solar cell with supercapacitor and its realization. / Sh.O. Eminov, A.Sh. Aliyev, J.A. Guliyev [et. al.] // Azerbaijan Journal of Physics, – 2015. vol. XXI, №3, – p. 43-47.
  7. Eminov Sh.O., Huseynov E.K., Guliyev J.A., et al. CdS-CdTe nanowire array within nanoporous anodic alumina oxide template // Evro Intelligent Materials, – Kiel, – Germany, – 25 – 27 September, – 2013, – p. 43.
  8. Eminov Sh.O. The features of electrochemically deposited CdS thin films / Sh.O. Eminov, E.K. Huseynov, J.A. Guliyev [et al.] // Azerbaijan Journal of Physics, – 2014. №4, – p. 9-14.
  9. Eminov Sh.O. Photo and electrical peculiarities of the nanostructured glass/ITO/AAO and glass/ITO/CdS systems / Sh.O. Eminov, D.B. Tagiyev, J.A. Guliyev [et. al.] // Journal of Material Science: Materials in Electronics, – 2016, – p. 9853-9860.
  10. Eminov Sh.O., Tagiyev D.B., Guliyev J.A., et al., Nanostructured hybrid of photovoltaic solar cell and supercapacitor // 31st European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Conference Proceed. of the EU PVSEC, – Hamburg, – Germany, – 2015, – p. 1235-1237.
  11. Əliyev A.Ş. Nikel elektrodlarda CdS nazik təbəqələrinin elektrokimyəvi yolla alınması və morfoloqiyasının tədqiqi /

- A.Ş. Əliyev, Ş.O. Eminov, C.A. Quliyev [və b.] // Azərb. MEA Kimya Problemləri, – 2016. №2, – s.139-145.
12. Guliyev J.A., Creating of ordered porous anodic alumina templates on glass substrates // Abstracts collection on new challenges in the european area: international Baku forum of young scientists, – Baku, – Azerbaijan, – 20 – 25 May, – 2013, – p. 61-65.
  13. Guliyev J.A., Eminov Sh.O., Jalilova Kh.D., et al., The features of electrochemically deposited CdS thin films // 1st inter. Sci. Conf. of young scientists and specialists “The role of multidisciplinary approach in solution of actual problems of fundamental and applied sciences”, – Baku, – Azerbaijan, – 15 – 16 October, – 2014, – p. 231-233.
  14. Guliyev J.A., Mamedova G.Kh., Eminov Sh. O., et al., Physical properties of R-F sputtered ITO and electrochemically deposited ITO/CdS thin films // IV international scientific conference of young researchers, – Baku, – Azerbaijan, – 29 – 30 april, – 2016, – p.82.
  15. Quliyev C.A., Abdullayeva S.H., Eminov Ş.O., Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> və TiO<sub>2</sub> metal oksidlərin alınması və tətbiq sahələri // Magistrantların və gənc tədqiqatçıların “Fizika və Astronomiya problemləri” beynəlxalq elmi konfransının materialları, – Bakı, – Azərbaycan, – 24 – 25 may, – 2018, – s. 237-241.
  16. Quliyev C.A. Məsələli Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> matrisində yetişdirilən nanoquruluşlu CdS-in Raman spektri / C.A. Quliyev // Azerbaijan Journal of Physics, – 2019. vol. XXV, №3, – p. 34-36.
  17. Алиев А.Ш., Эминов Ш.О., Гулиев Дж.А., и др., Структурные и оптические свойства пленок CdS, полученных электрохимическим осаждением из безводного раствора на основе этиленгликоля // VI Международной Научно-технической Конференции «АИСТ-2017», – Минск, – Беларусь, – 30 мая – 1 июня, – 2017, – с. 49.

18. Мамедова Г.Х. Синтез нанопористых пленок оксида алюминия / Г.Х. Мамедова, Дж.А. Гулиев, Ш.О. Эминов [и др.] // АМЕА хəбərləri Fizika-texnika və riyaziyyat elmlər seriyası, fizika və aстранomiya, – 2013. №2, – s.75-83.
19. Эминов Ш.О., Джалилова Х.Д., Гулиев Дж.А., и др., Формирование наноструктурированных оксидов алюминия на системе стекло-ITO-Ti-Al // The v international conference perspectives of peaceful use of nuclear energy, – Baku, – Azerbaijan, – 21 – 23 November, – 2012, – p. 52.
20. Эминов Ш.О. Структурные, электрические и оптические свойства тонких пленок ITO, полученных магнетронным напылением на стекле / Ш.О. Эминов, Х.Д. Джалилова, Дж.А. Гулиев [и др.] // Azərb. MEA Xəbərləri Fizika-Texnika və Riyaziyyat elmləri Seriyası, – 2016. cild XXXVI, № 5, – s. 19-27.
21. Эминов Ш.О. Свойства тонких пленок CdS, осажденных электрохимическим способом / Ш.О. Эминов, Э.К. Гусейнов, Дж.А. Гулиев [и др.] // АМЕА хəбərləri Fizika-texnika və riyaziyyat elmləri seriyası, fizika və aстранomiya, – 2015. №2, – s. 72-76.
22. Эминов Ш.О. Анодное оксидирование титана во вторидсодержащих электролитах на основе этиленгликоля / Ш.О. Эминов, Х.Д. Джалилова, Дж.А. Гулиев [и др.] // Azərb. MEA Xəbərləri Fizika-Texnika və Riyaziyyat elmləri Seriyası, fizika və aстранomiya, – 2019. № 5, – s. 74-80.
23. Эминов Ш.О., Джалилова Х.Д., Гулиев Дж.А., и др., Гибрид солнечной ячейки на основе наноструктурированного гетероперехода CdS/CdTe с NiO суперконденсатором // XXV Межд. конф. по фотоэлектронике и приборам ночного видения. Сб. докл., – Москва, – 23 – 26 мая, – 2018, – с. 560-563.
24. Эминов Ш.О., Джалилова Х.Д., Гулиев Дж.А., и др., Особенности электрохимического синтеза пористых структур на основе наноструктурированного анодного

оксида алюминия для солнечных ячеек // Academician G.B.Abdullayev centenary international conference and school, МТСМР-2018, – Baku, – 24 – 26 September, – 2018, – p. 48.

25. Эминов Ш.О. Синтез, рентгеноструктурный анализ и рамановский спектр электрохимически осажденных тонких пленок CdS / Ш.О. Эминов, Х.Д. Джалилова, Дж.А. Гулиев [и др.] // Azərb. MEA Xəbərləri Fizika-Texnika və Riyaziyyat elmləri Seriyası, fizika və astronomiya, – 2018. № 2, – s. 74-80.
26. Эминов Ш.О. Особенности электрохимического синтеза пористых структур на основе наноструктурированного анодного оксида алюминия для солнечных ячеек / Ш.О. Эминов, Х.Д. Джалилова, Дж.А. Гулиев [и др.] // Azerbaijan Journal of Physics, – 2018. vol. XXIV, №3, – p. 26-28.

Dissertasiyanın müdafiəsi "18" İyun 2021 il tarixində saat  
(gün) (ay) (il)  
14:00-da Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Fizika İnstitutunun  
nəzdində fəaliyyət göstərən ED 1.14 Dissertasiya şurasının iclasında  
keçiriləcək.

Ünvan: Bakı ş., H.Cavid pr., 131

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

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları [physics.gov.az](http://physics.gov.az) rəsmi  
internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat «17» may 2021 il tarixində zəruri ünvanlara  
(gün) (ay) (il)  
göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: \_\_\_\_\_  
(gün, ay, il)

Kağızın formatı: A5

Həcm: 45889 işarə.

Tiraj: 100