

UOT 621.315.592

**Mo/p-CuInSe₂/n-Cd_{0.5}Zn_{0.5}S_{0.3}Se_{0.7}/ZnO:Al ELASTİK GÜNƏŞ
ELEMENTLƏRİNİN FOTOELEKTRİK XASSƏLƏRİ****H.M.MƏMMƏDOV, V.C.MƏMMƏDOVA, X.M.ƏHMƏDOVA,
V.H.SƏFƏROV, Q.İ.QƏRİBOV, S.A.MƏMMƏDOVA***Bakı Dövlət Universiteti**mhhuseyng@gmail.com; mhhuseyng@yahoo.co.uk*

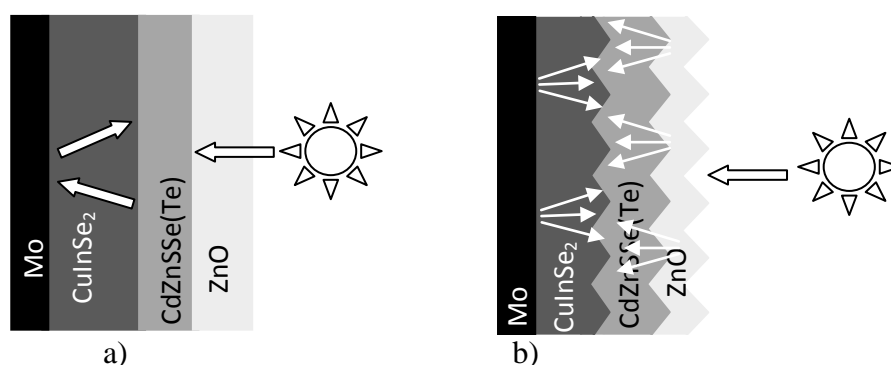
İşdə elastik althıqlar (Mo) üzərində alınmış Mo/p-CuInSe₂/n-Cd_{0.5}Zn_{0.5}S_{0.3}Se_{0.7}/ZnO:Al günəş elementlərinin fotoelektrik xassələri sulu məhluldan elektrokimyəvi üsulla çökdürülmüş ZnO:Al nazik təbəqələrinin səth morfolojiyasından və arqon mühitində termik işlənmədən asılı olaraq tədqiq edilmişdir. Müəyyən olunmuşdur ki, nano-teksturlu səthə malik heteroqəçidlər arqon mühitində 200°C temperaturda 10 dəq müddətində termik işlənmədən sonra ≈ 10 % effektivlik nümayiş etdirir.

Açar sözlər: nazik təbəqə, günəş elementi, heteroqəçid, termik işləmə, nanotekstur

Məlumdur ki, p-CuInSe₂/CdS heteroqəçidlərində pəncərə (*window layer*) təbəqəsi kimi əsasən ZnO və ZnS nazik təbəqələri tətbiq edilir [1-7]. Belə ki, ZnO nazik təbəqələri pəncərə təbəqəsi kimi tətbiq edilən nazik təbəqə mütləq spektrin görünən oblastında şəffaf olmalı və kifayət qədər keçiriciliyə malik olmalıdır. Düzdür bu şərtləri ödəyən bir çox materiallar (In₂O₃, SnO₂, ZnS, ITO(InSnO)) mövcuddur və Günəş enerjisi çeviricilərində geniş tətbiq edilir. Lakin ZnO birləşmələrinin daha geniş qadağan olunmuş zolağa malik olması, maya dəyərini ucuz başa gəlməsi və ən başlıcası zəhərli olmaması onların digərlərinə nisbətən üstünlüyünü artırır. Digər tərəfdən ZnO nazik təbəqələrinin səth morfolojiyasını asanlıqla idarə etmək mümkündür. Elmi ədəbiyyatda da göstərilirdi ki [8-11] ZnO nazik təbəqələrinin səthinin teksturlu formada hazırlanması düşən işığın optik yolunun artmasına, əksolma əmsalının azalmasına və beləliklə də günəş elementlərinin effektivliyinin artmasına səbəb olur. Şəkil 1-də hamar və kələkötür səthli nazik təbəqələr əsasında struktur-larda işığın optik yolu sxematik olaraq təsvir edilmişdir. Belə ki, səthi hamar olan nazik təbəqələrdə işığın qısa dalğa uzunluqlu hissəsi (400-550 nm) uducu təbəqəyə (CuInSe₂) çatmamış hamar səthli pəncərə təbəqəsində (ZnO), qırmızı hissəsinin əksər hissəsi isə (550-1100 nm) uducu lay tərəfindən əks olunur.

Lakin teksturlu nazik təbəqələrdə işığın optik yolu süni şəkildə artırıldığına görə əksolunan işıq şüalarının maksimum udulması baş verir. İşığın optik yolunun uzunluğu isə aydındır ki, kələkötürlüyün dərəcəsindən asılıdır. Belə ki, teksturun ölçüsünü azaltmaqla (nanometrik ölçülərə) işığın optik yolunu və nəticə etibarilə nazik təbəqədə udma əmsalını artırmaq mümkündür.

Bu məqsədlə elastik (molibden, polimer) və şüşə altlıqlar üzərində sulu məhluldan elektrokimyəvi çökdürmə metodu ilə əvvəlcə p-CuInSe₂ nazik təbəqələri, sonra A₂B₆ tip bərk məhlulların nazik təbəqələri alınmışdır.

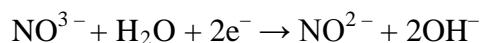


Şək. 1. Hamar (a) və teksturlu (b) nazik təbəqələr əsasında düşən işığın optik yolu

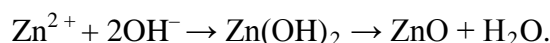
Ekspərimental hissə

ZnO nazik təbəqələrinin alınmasında da elektrokimyəvi çökdürmə metodu tətbiq edilmişdir. Elmi ədəbiyyatdan da məlum olduğu kimi ZnO nazik təbəqələrinin müqavimətini azaltmaq məqsədilə onları Al aşqarlanması daha məqsədəuyğundur [12-15]. Bu məqsədlə biz işdə Al-la aşqarlanmış ZnO nazik təbəqələrindən istifadə etmişik.

Qeyd edək ki, ZnO:Al nazik təbəqələrinin elektrik və optik parametrlərini test etmək məqsədilə onlar ayrıca olaraq Mo və şüşə/SnO₂ keçirici altlıqları üzərində alınmışdır. Çökdürülmə otaq temperaturunda aparılmışdır. İon mənbəyi kimi, 0.1 M Zn(NO₃)₂+1M KNO₃+(aşqarlanmadan asılı olaraq 0.05-5 mM) Al(NO₃)₃+H₂O sulu məhlulundan istifadə edilmişdir. Belə ki, azot turşusunun NO³⁻ ionları,



reaksiyasının köməyiylə hidrokسيد ionlarını yaradır ki, onlar da sink kationları ilə reaksiyaya girərək əvvəlcə sink hidrokسيدin və daha sonra isə ZnO-in yaranması ilə nəticələnir:



Anoloji qaydada

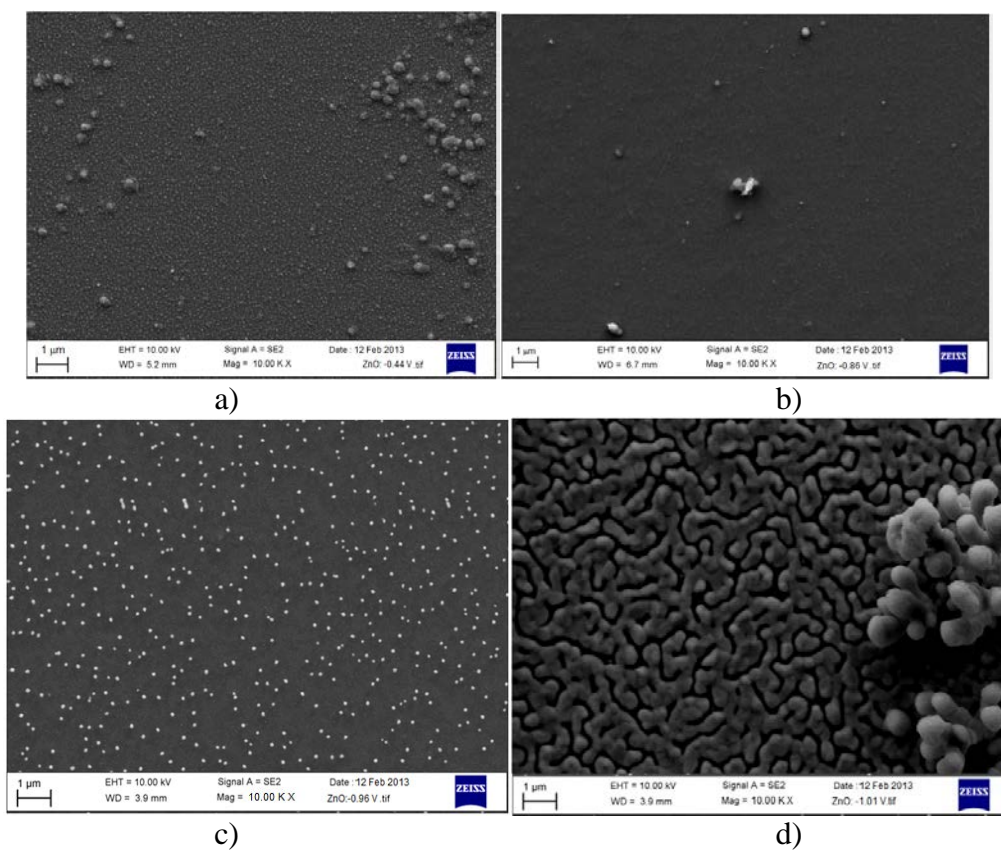


Reaksiya turşu mühitində pH-ın artırılması (adətən pH 4-7 intervalında dəyişdirilmişdir) yolu ilə həyata keçirilir. Məhlul 70°C temperatúra qədər qızdırılır. Turşuluğa, temperatúra və reaksiyanın davam etmə müddətinə nəzarət etməklə 100-1400 nm qalınlıqlı ZnO nazik təbəqələri alınmışdır.

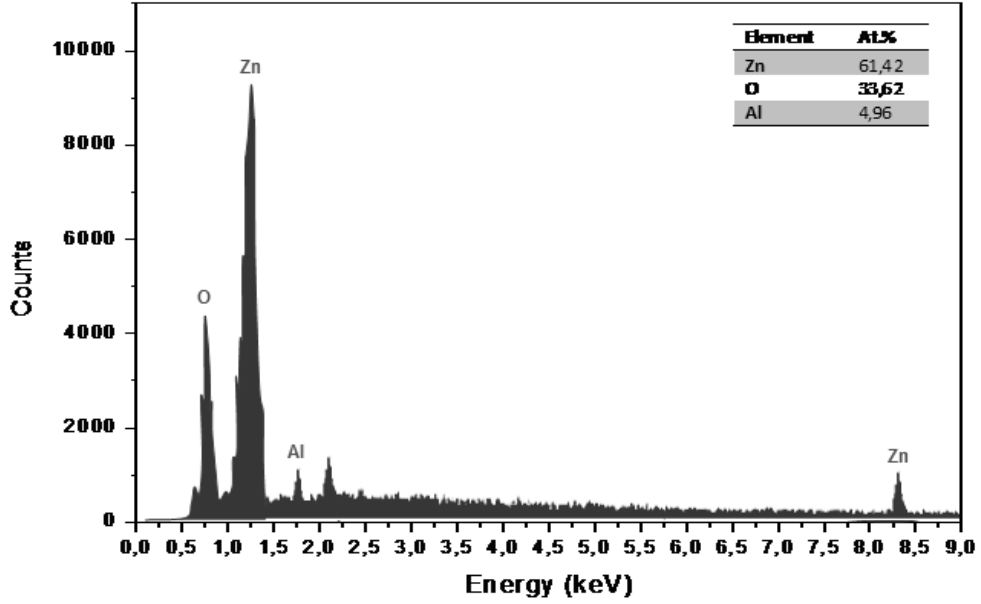
Nazik təbəqələrin quruluşu, səth morfoloqiyası və bütün elektrik və optik parametrləri katod çökdürmə potensialından kəskin asılı olmuşdur. Belə ki, nazik təbəqələrin səthinin morfoloqiyası, dənəciklərin ölçüsü və kristallaşma dərəcəsi katod çökdürülmə potensialından asılı olaraq asanlıqla idarə edilə bilər. Şəkil 2-də katod çökdürmə potensialının -0.4 V ; -0.86 V ; -0.97 V və -1.04 V qiymətlərində çökdürülmüş ZnO:Al nazik təbəqələrinin səthinin SEM fotosəkilləri təsvir edilmişdir. Aparılmış tədqiqatlar nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, katod potensialının $U \leq -0.8\text{ V}$ qiymətlərində çökdürülmüş nazik təbəqələrin səthi çox nahamar olub, ölçüləri 10 nm – 700 nm intervalında dəyişən polikristallik dənəciklərdən təşkil olunmuşdur. Hamar və bircins səthə malik nazik təbəqələr katod potensialının $-0.8\text{ V} \leq U \leq -0.92\text{ V}$ qiymətlərində çökdürülə bilər. $-0.94\text{ V} \leq U \leq -0.97\text{ V}$ gərginliklərdə hazırlanmış nazik təbəqələr isə bircins və nanodənəvari səthə malikdir. Altlığın materialından və quruluşundan asılı olaraq dənəciklərin ölçüsü 10 – 40 nm intervalında dəyişir. Daha böyük gərginliklərdə məhlulda termodinamik tarazlıq pozulduğuna görə nazik təbəqələrdə Zn matrisində kiçik konsentrasiyalarda ZnO-dən ibarət sistem nümayiş etdirilir. Bəzi nümunələrdə, hətta dislokasiyalardan ibarət olan sistem müşahidə olunur.

Məhluldan elektrokimyəvi çökdürmə üsulu ilə alınmış ZnO:Al nazik təbəqələrinin tərkibindəki kimyəvi elementlərin miqdarı ARL QUANTX (Thermo Scientific, ABŞ) enerjidişpers rentgenfluoresent spektrometrində (EDX) təyin edilmişdir (şəkil 3). EDX spektrində müşahidə edilən 1.01 keV, 1,48 keV və 0,56 keV maksimumları uyğun olaraq Zn, Al və O elementlərinə uyğundur və ədəbiyyatdakı nəticələrlə üst-üstə düşür [16-19].

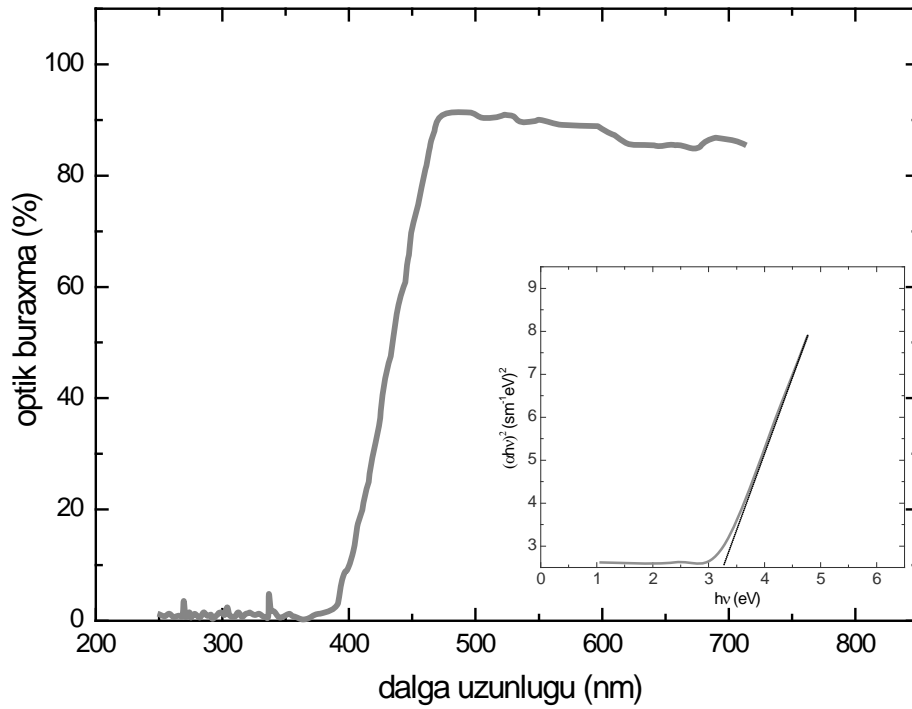
Şəkil 4-də optimal çökdürmə rejimində alınmış 500 nm qalınlıqlı ZnO:Al nazik təbəqələrinin otaq temperaturunda və 300-800 nm dalğa uzunluğu oblastında optik buraxma spektrləri təsvir olunmuşdur. Şəkildən görüldüyü kimi nazik təbəqələr spektrin görünən oblastında aydın udma sərhədinə malikdir ki, bu da sulu məhluldan elektrokimyəvi çökdürülmə metodu ilə alınmış ZnO:Al nazik təbəqələrinin yüksək keyfiyyətə malik olmasına dəlalət edir. Al-la aşqarlanmış nazik təbəqələr spektrin görünən oblastında 85-93% şəffaflıq nümayiş etdirir ki, bu da onlarda Günəş enerjisi çeviricilərində şəffaf lay kimi istifadə etməyə imkan verir. Nazik təbəqələrin optik qadağan olunmuş zolağının eni $(\alpha \cdot hv)^2$ -nin fotonun enerjisindən $(hv-dən)$ asılılıq qrafiki əsasında, qrafiklərin hv oxuna ekstrapolyasiyası üsulu ilə hesablanmışdır (şəkil 4, əlavə). Şəkildən görüldüyü kimi qrafik udma sərhədində xətti qanuna tabedir ki, bu da öz növbəsində tədqiq etdiyimiz nazik təbəqələrin düz zolaqlı olduğunu göstərir.



Şək. 2. Katod çökdürmə potensialının -0.4 V (a); -0.86 V (b); -0.97 V (c) və -1.04 V (d) qiymətlərində çökdürülmüş ZnO:Al (5 at.%) nazik təbəqələrinin səthinin SEM fotosəkilləri



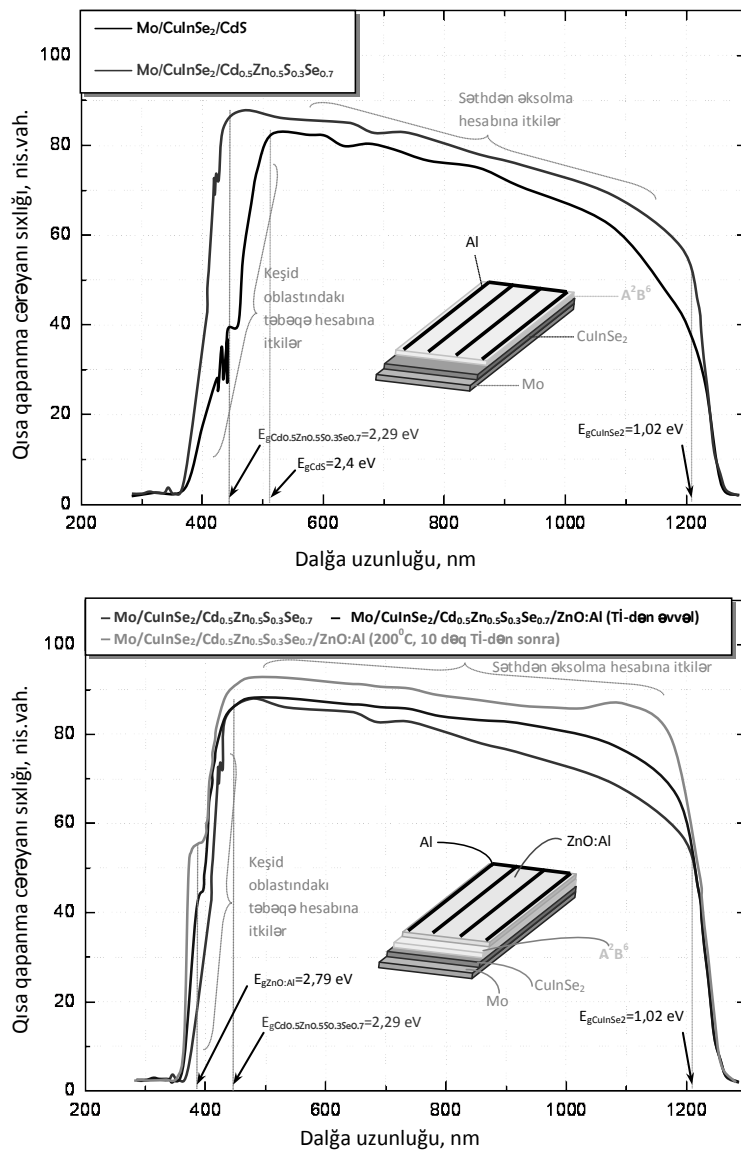
Şək. 3. Məhluldan elektrokimyəvi çökdürmə üsulu ilə alınmış ZnO:Al nazik təbəqələrinin tərkibinin element analizi üçün enerjidispers rentgenfluoresent spektri



Şək. 4. Optimal çökdürmə rejimində alınmış 500 nm qalınlıqlı ZnO:Al nazik təbəqələrinin otaq temperaturunda optik buraxma spektrləri
 $\partial lavə - (\alpha \cdot hv)^2 = f(hv)$ asılılığı

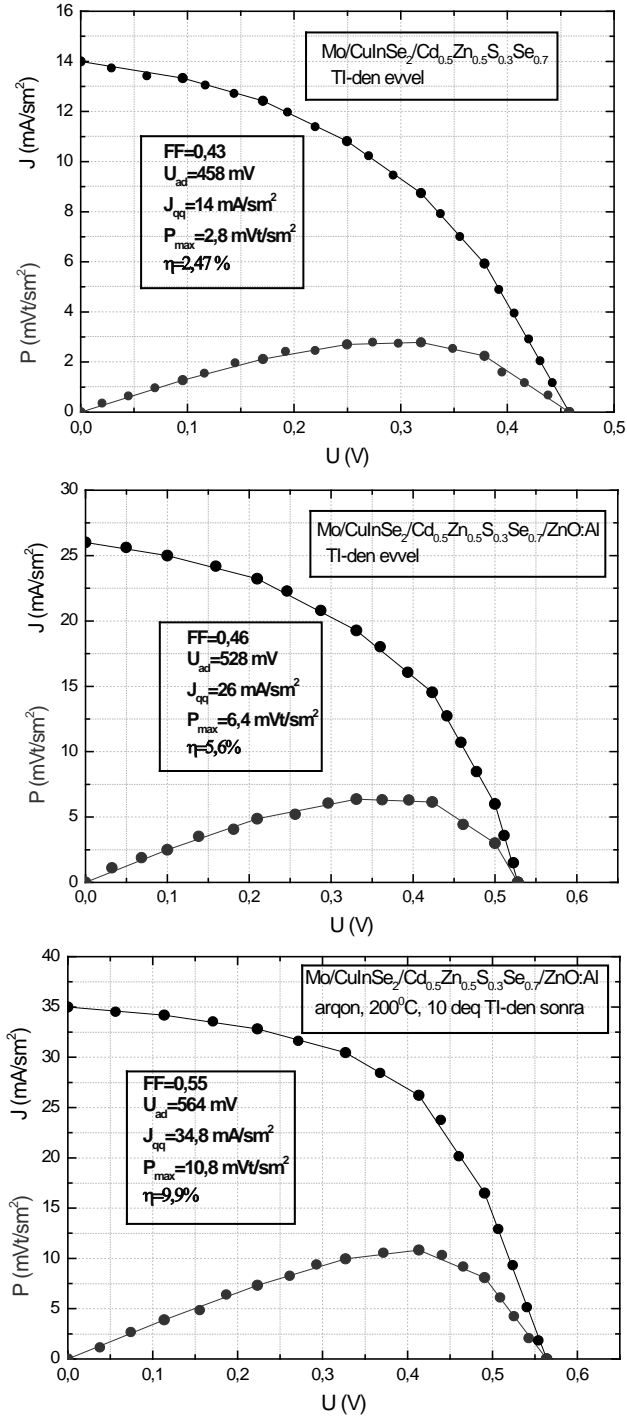
Şəkildən görüldüyü kimi, Al-la aşqarlanmış ZnO nazik təbəqələrinin eni 3.25 eV təşkil edir ki, bu da təmiz ZnO nazik təbəqələrin qadağan olunmuş zolağının enindən (təmiz ZnO nazik təbəqələrin qadağan olunmuş zolağının eni 3,22 eV-dur) böyük alınır. Bu onunla izah oluna bilər ki, Al atomları aşqarlanma zamanı Al_2O_3 birləşmələrinin yaranmasına səbəb olur. Bunu element analizlərindən Al-un atom faizinin hesablanmış qiymətdən kiçik qiymətlər alması da təsdiq edir. Yəni əslində qadağan olunmuş zolaq üçün alınmış 3.25 eV qiyməti ZnO- Al_2O_3 sisteminin qadağan olunmuş zolağına uyğundur. Ümumi halda Al-la aşqarlanma zamanı həm qadağan olunmuş zolağın eninin, həm də yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının artması Günəş elementlərində bilavasitə fəthəssaslıq spektrinin konturunun genişlənməsinə və effektivliyin artmasına səbəb olar. Cərəyan kontaktları kimi vakuumda termik buxarlanma metodu ilə alınmış II, T və III formalı əsasən Al və bəzi hallarda isə Ag və Cu-dən istifadə edilmişdir (şəkil 5, əlavə). Tədqiqatlar otaq temperaturunda dalğa uzunluğunun 360÷1100 nm diapazonunda aparılmışdır. Şəkil 5-də ZnO:Al şəffaf laya malik və şəffaf laysız p-CuInSe₂/Cd_{0,5}Zn_{0,5}S_{0,3}Se_{0,7} və p-CuInSe₂/CdS heteroqəçidlərində qısa qapanma cərəyanı sıxlığının spektral paylanma ayrılıqları təsvir edilmişdir. Şəkildən görüldüyü kimi, şəffaf laysız heteroqəçidlərdə spektrin qısa dalğa oblastı Cd_{0,5}Zn_{0,5}S_{0,3}Se_{0,7} ($E_g=2,79$ eV) və CdS ($E_g=2,4$ eV) nazik təbəqələrinin qadağan olunmuş zolağının eninə, uzun dalğa hissəsi isə p-CuInSe₂ ($E_g=1,0$ eV) nazik təbəqələrinə uyğundur. Şəkildən görüldüyü kimi, CdS əsasında heteroqəçidlərdə qəçid oblastındakı aralıq layın yüksək müqavimətli olması və onlarda rekombinasiya aktlarının yüksək olması qısa dalğa uzunluğu oblastında fəthəssaslığın zəif olmasına gətirir. Lakin Cd_{0,5}Zn_{0,5}S_{0,3}Se_{0,7} əsasında heteroqəçidlərdə həm qadağan olunmuş zolağının eninin böyük olması, həm də onların qəçid oblastında rekombinasiya aktlarının zəif olması qısa dalğa uzunluğu oblastında fəthəssaslığın CdS-ə nisbətən böyük olmasına gətirir. Həmçinin Cd_{0,5}Zn_{0,5}S_{0,3}Se_{0,7} əsasında heteroqəçidlərin bütün dalğa uzunluğu oblastında fəthəssaslığı CdS-ə nisbətən yüksək olması dördqat birləşmələr əsasında günəş elementlərinin daha perspektiv olmasına dəlalət edir. ZnO:Al şəffaf laya malik heteroqəçidlərdə əksətmə azalır, spektr qısa dalğalar tərəfə daha da genişlənilir və qısa qapanma cərəyanı və açıq dövrə gərginliyi artır (şəkil 6). Bu da nəticədə effektivliyin ~3% artmasına səbəb olur (şəkil 6). Arqon mühitində termik işlənmə heteroqəçidlərin elektrik xassələrində olduğu kimi, fotoelektrik xassələrini də dəyişir. Belə ki, əvvəlki paraqrafda qeyd etdiyimiz kimi, arqon mühitində Tİ zamanı re-kristallaşma nəticəsində metal/yarımqəçirici vakansiyalarının yenedən formalaşması nəticəsində rekombinasiya mərkəzlərinin konsentrasiyası və nazik təbəqənin müqaviməti kəskin olaraq azalır. Bu isə öz növbəsində işığın təsiri ilə elektron-deşik cütlərinin yalnız qəçid oblastında effektiv ayrılmasına səbəb olur. Bunu, həmçinin açıq dövrə fotogərginliyinin işarəsinin heteroqəçid

üzərinə salınan işıq zondunun təbəqənin səthinin hansı hissəsinə salınmasından asılı olmaması faktı da təsdiqləyir. Bundan başqa Tİ-dən sonra heteroqəçidlər p-CuInSe₂ və n-Cd_{1-x}Zn_xS_{1-y}Se_y nazik təbəqələrinin qadağan olunmuş zonaları arasındakı enerjilərdə, demək olar ki, sabit fotohəssaslıq nümayiş etdirir (şəkil 6). Termik işlənmədən asılı olaraq heteroqəçidlərin fotoelektrik parametrləri cədvəl 1-də göstərilmişdir. Cədvəldən və şəkil 6-dan görüldüyü kimi, arqon mühitində 200⁰C temperaturda 10 dəq. müddətində termik işlənmədən sonra heteroqəçidlər maksimal effektivlik nümayiş etdirir və effektivliyin ≈4% artmasına səbəb olur.



Şək. 5. Şəffaf laysız və ZnO:Al şəffaf laya malik p-CuInSe₂/Cd_{0.5}Zn_{0.5}S_{0.3}Se_{0.7} və p-CuInSe₂/CdS heteroqəçidlərində qısa qapanma cərəyanı sıxlığının otaq

temperaturunda spektral paylanması



Şəkl. 6. Şəffaf laysız və ZnO:Al şəffaf laya malik p-CuInSe₂/Cd_{0.5}Zn_{0.5}S_{0.3}Se_{0.7} heteroke-

çidlərinin $\Phi=100 \text{ mVt/sm}^2$ işıqlanmada yük xarakteristikaları

**p-CuInSe₂/Cd_{0.5}Zn_{0.5}S_{0.3}Se_{0.7}/ZnO:Al heteroqəçidlərinin
arqon mühitində Tİ-dən asılı olaraq fotoelektrik parametrləri**

Tİ-nin rejimi	İşıq parametrləri			
	J _{qq} (mA/sm ²)	U _{ad} (V)	FF	η (%)
Tİ-dən əvvəl	26	0.528	0.46	5.6
t = 150°C, τ = 10 dəq	26.8	0.531	0.5	6.4
t = 200°C, τ = 5 dəq	30.6	0.542	0.54	8.7
t = 200°C, τ = 10 dəq	34.8	0.564	0.55	9.9
t = 200°C, τ = 15 dəq	17.1	0.526	0.4	3.8

Beləliklə, n-Cd_{1-x}Zn_xS_{1-y}Se_y nazik təbəqələrinin tərkibinin optimal qiymətini, nazik təbəqələrin səthinin morfolojiyasına nəzarət etməklə və Tİ-nin rejimini seçməklə ucuz və sadə texnologiya ilə - sulu məhluldan elektrokimyəvi çökdürmə üsulu ilə optimal fotoelektrik parametrlərə malik heteroqəçidlər hazırlamaq mümkündür.

NƏTİCƏLƏR

Elektrokimyəvi çökdürmə metodu ilə alınmış ZnO:Al nazik təbəqələrinin səthinin morfolojiyası, dənəciklərin ölçüsü və kristallaşma dərəcəsi katod çökdürülmə potensialından asılı olaraq asanlıqla idarə edilə bilər. Cd_{0.5}Zn_{0.5}S_{0.3}Se_{0.7} əsasında heteroqəçidlərdə həm qadağan olunmuş zolağının eninin böyük olması, həm də onların keçid oblastında rekombinasiya aktlarının zəif olması qısa dalğa uzunluğu oblastında fəthəssaslığın CdS-ə nisbətən böyük olmasına gətirir. ZnO:Al şəffaf laya malik heteroqəçidlərdə effektivlik ≈3 % artır. Arqon mühitində Tİ zamanı re-kristallaşma nəticəsində metal/yarımkeçirici vakansiyalarının yenidən formalaşması nəticəsində rekombinasiya mərkəzlərinin konsentrasiyası və nazik təbəqənin müqaviməti kəskin olaraq azalır. Arqon mühitində 200⁰C temperaturda 10 dəq. müddətində termik işlənmədən sonra heteroqəçidlər maksimal effektivlik nümayiş etdirir (9,9 %) və effektivliyin ≈4% artmasına səbəb olur.

ƏDƏBİYYAT

1. Hassan G., Ramadan M., El-Labani H., Badawi M., Aboul-Enein S., Carter M. and Hill R. The Performance of CuInSe₂/CdS Solar Cells Fabricated by the Sandwich Structure Technique // *Semicond. Sci. Technol.*, 1994, v.9, p.1261-1264.
2. Aparna Y., Hussain O., Reddy P., Naidu B. and Reddy P. Characterization of Thin Film CuGa_{0.5}In_{0.5}Se₂ Heterojunctions // *Thin Solid Films*, 1992, v.209, No 1, p.104-108.
3. Bayhan H. and Kavasoglu A. Tunnelling Enhanced recombination in Polycrystalline CdS/CdTe and CdS/Cu(In,Ga)Se₂ Heterojunction Solar Cells // *Solid-State Electronics*, 2005, v.49, No 6, p.991-996.
4. Minemoto, T.; Abe, Y. Anegawa, T. Osada, S. & Takakura, H. (2010). Lift-Off Process for

- Flexible Cu(In,Ga)Se₂ Solar Cells // *Japanese Journal of Applied Physics*, 2010, v. 49, No. 4, p. 04DP06-1-04DP06-3
5. Hartmann, M.; Schmidt, M. Jasenek, A. Schock, H. W. Kessler, F. Herz, K. & Powalla, M. Flexible and Light Weight Substrates for Cu(In,Ga)Se₂ Solar Cells and Modules / Conference Record of the Twenty-Eighth IEEE Photovoltaic Specialists Conference 2000, p. 638-641
 6. Kessler, F.; Herrmann, D. & Powalla, M. Approaches to Flexible CIGS Thin-Film Solar Cells // *Thin Solid Films*, 2005, v. 480-481, p. 491-498
 7. Ishizuka, S.; Yamada, A. & Niki, S. Efficiency Enhancement of Flexible CIGS solar cells using Alkali-Silicate Glass Thin Layers as an Alkali Source Material / Conference Record of the Thirty-Forth IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 2009, p. 002349-002353
 8. Nakada T., Ohkubo Y., Kunioka A. Effect of Water Vapor on the Growth of Textured ZnO-Based Films for Solar Cells by DC-Magnetron Sputtering // *Japanese Journal of Applied Physics*, 1991, v.30, p. 3344-3349
 9. Kluth O., Schöpe G., Rech B., Menner R., Oertel M., Orgassa K., Schock H.W. Comparative Material Study on RF and DC Magnetron Sputtered ZnO:Al Films // *Thin Solid Films*, 2006, v.502, p. 311-316.
 10. Nunes P., Costa D., Fortunato E., Martins R. Performances Presented by Zinc Oxide Thin Films deposited by r.f. Magnetron Sputtering // *Vacuum*, 2002, v. 64, p.293297.
 11. Hao X.T., Ma J., Zhang D.H., Yang Y.G., Ma H.L., Cheng C.F., Liu X.D. Comparison of the Properties for ZnO:Al Films Deposited on Polyimide and Glass Substrates// *Material Science and Engineering B*, 2002, v.90, p. 50-54.
 12. Wolcott A., Smith W. A., Kuykendall T. R., Zhao Y., and Zhang J. Z. Photoelectrochemical Study of Nanostructured ZnO Thin Films for Hydrogen Generation from Water Splitting // *Adv. Funct. Mater.*, 2009, v.19, p.1849-1856.
 13. Mahajan V. K., Misra M., Raja K. S., and Mohapatra S. K., Self-organized TiO₂ Nanotubular arrays for Photoelectrochemical Hydrogen Generation: Effect of Crystallization and Defect Structures // *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 2008, v.41, p.125307-125311.
 14. Rousset J., Saucedo E., Lincot D.. Extrinsic Doping of Electrodeposited Zinc Oxide Films by Chlorine for Transparent Conductive Oxide Applications // *Chem Mater*, 2009, v.40, p.534-537
 15. Aragonès A. C., Palacios-Adrós A., Caballero-Briones F., Sanz F., Study and Improvement of Aluminium Doped ZnO Thin Films: Limits and Advantages // *Electrochim Acta*, 2013, v.109, p.117– 124.
 16. Mondal S., Bhattacharyya S. R. and MITRA P., Effect of Al Doping on Microstructure and Optical Band Gap of ZnO Thin Film Synthesized by Successive Ion Layer Adsorption and Reaction // *Pramana Journal of Physics*, 2013, v. 80, No. 2, p.315-326
 17. Adib A. Ch., Roman V., Mikhael B., ets. Evolution of Microstructure and Related Optical Properties of ZnO Grown by Atomic Layer Deposition// *Beilstein Journal of Nanotechnology*, 2013, v.4, p.690–698.
 18. Chatpong B., Krisana Ch., Wisanu P., WicharnT. Effect of Al and N Doping on Structural and Optical Properties of Sol-Gel Derived ZnO Thin Films // *Sains Malaysiana*, 2013, v. 42, N 2, p. 239–246
 19. Vasile E., Plugaru R., Mihaiu S., Toader A. Study of Microstructure and Elemental Micro-Composition of ZnO:Al Thin Films by Scanning and High Resolution Transmission Electron Microscopy and Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy // *Romanian Journal of Information Science and Technology*, 2011, v. 14, N 4, p. 346–355

**ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА Mo/p-CuInSe₂/n-Cd_{0.5}Zn_{0.5}S_{0.3}Se_{0.7}/ZnO:Al
ЭЛАСТИЧНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

**А.Ш.АБДИНОВ, Г.М.МАМЕДОВ, В.ДЖ.МАМЕДОВА, Х.М.АХМЕДОВА,
В.Г.САФАРОВ, Г.И.ГАРИБОВ, Н.А.РАГИМОВА, С.А.МАМЕДОВА**

РЕЗЮМЕ

В работе исследованы фотоэлектрические свойства солнечных элементов Mo/p-CuInSe₂/n-Cd_{0.5}Zn_{0.5}S_{0.3}Se_{0.7}/ZnO:Al, полученных на поверхности эластичных подложках (Mo) в зависимости от морфологии поверхности пленок ZnO:Al, осажденных электрохимическим способом и от режима термической обработки в атмосфере аргона. Установлено, что гетеропереходы с нано-текстурной поверхностью обладают эффективностью ≈10 %, после термической обработки в атмосфере аргона при 200⁰C в течение 10 мин.

Ключевые слова: пленка, солнечные элементы, гетеропереход, термическая обработка, нанотекстура

**PHOTOELECTRICAL PROPERTIES OF Mo/p-CuInSe₂/n-Cd_{0.5}Zn_{0.5}S_{0.3}Se_{0.7}/ZnO:Al
FLEXIBLE SOLAR CELLS**

**A.SH.ABDINOV, H.M.MAMMADOV, V.J.MAMMADOVA, Kh.M.AHMADOVA,
V.H.SAFAROV, G.I.GARIBOV, N.A.RAHIMOVA, S.A.MAMMADOVA**

SUMMARY

The photoelectrical properties of Mo/p-CuInSe₂/n-Cd_{0.5}Zn_{0.5}S_{0.3}Se_{0.7}/ZnO:Al solar cells deposited on the surface of flexible substrate (Mo) have been investigated depending on the morphology of the ZnO: Al surface, deposited by electrochemical way, and on the heat treatment regime in argon atmosphere. It is established that heterojunctions with nano-textured surface show an efficiency ≈10%, after heat treatment in argon at 200⁰C for 10 min.

Key words: film, solar cell, heterojunction, heat treatment, nanotexture

Redaksiyaya daxil oldu: 10.06.2015-ci il

Çapa imzalandı: 17.11.2015-ci il