

UOT 621.315.592

**Cd_{1-x}Zn_xO NAZİK TƏBƏQƏLƏRİNİN ELEKTROKİMYƏVİ
ÇÖKDÜRÜLMƏ ÜSULU İLƏ ALINMASI,
KRİSTAL QƏFƏS QURULUŞU VƏ SƏTH MÖRFOLOGİYASI**

V.C.MƏMMƏDOVA
Bakı Dövlət Universiteti
mvusala@yandex.ru

Sulu məhluldan elektrokimyəvi çökdürmə üsulu ilə Cd_{1-x}Zn_xO (0.2 ≤ x ≤ 0.9) nazik təbəqələri alınmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, Cd_{1-x}Zn_xO nazik təbəqələrinin kubik və ya vüürsit kristal quruluşu, habelə, nano- və ya mikro- teksturalı səthə malik olması elektrokimyəvi çökdürülmənin optimal rejimi (məhlulun temperaturu və çökdürülmə potensialı) ilə müəyyənləşir.

Açar sözlər: elektrokimyəvi çökdürmə, texnoloji rejim, tsiklik voltampermetriya, kristal quruluş

Ümumiyyətlə, ZnO və CdO nazik təbəqələrinin ayrılıqda hər birinin üstün cəhətlərinin artırılması və çatışmayan cəhətlərinin azaldılması üçün elmi ədəbiyyatda son dövrlər ZnO-CdO sistemi bərk məhlullarının nazik təbəqələri tətbiq olunmağa başlanmışdır. Belə ki, tərkibin dəyişməsi ilə Cd_{1-x}Zn_xO nazik təbəqələrinin şəffafıq oblastını, müqavimətini və həm də sındırma əmsalını idarə etmək mümkündür. Elmi ədəbiyyatda Cd_{1-x}Zn_xO bərk məhlullarının nazik təbəqələri əsasən molekulyar şüa epitaksiyası, sol-gel metodu və piroliz kimi metodlarla alınmışdır. Lakin sulu məhluldan elektrokimyəvi çökdürmə metodu bu metodlardan fərqli olaraq daha asan idarə edilə bilən və geniş sahəyə malik nazik təbəqələr almağa imkan verir. Elektrokimyəvi çökdürmə üsulunun digər üsullardan əsas fərqi onun vakuumsuz mühitdə - kvazineytral maye mühitində aparılmasıdır. Belə ki, bu cür mühit ionların və neytral atomların qarışığından ibarətdir və nazik təbəqə atomar laylardan ibarət olmaqla alınır. Məhz bu xüsusiyyət elektrokimyəvi çökdürülmə metodunun optimal rejimini seçməklə tələb olunan kristal quruluşlu, səth morfolojiyalı, habelə, qalınlıqlı nazik təbəqə almağa imkan verir [1-17].

Sulu məhlulda sulu məhluldan katod elektrokimyəvi çökdürmə üsulu ilə müxtəlif tərkibli Cd_{1-x}Zn_xO bərk məhlullarının nazik təbəqələrini almaq, onların struktur və morfoloji xassələrinin texnoloji rejimdən və təbəqələrin tərkibindən asılı olaraq tədqiq etmək işinin əsas məqsədidir.

Eksperiment

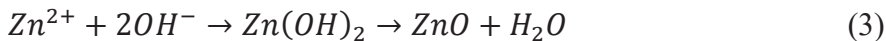
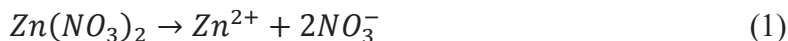
$Cd_{1-x}Zn_xO$ nazik təbəqələrinin elektrokimyəvi çökdürülməsi üçün üç-elektrodlu sistemdən istifadə edilmişdir. Belə ki, anod materialı kimi qrafit çubuqlar, köməkçi elektrod kimi $Ag/AgCl_3$ və katod materialı kimi, Mo , $şüşə/SnO_2$, 0.8 mm qalınlıqlı 1-1.3 Om-sm xüsusi müqavimətə malik p-Si lövhələri və ya vakuumda buxarlanma üsulu ilə hazırlanmış $şüşə/Al$ altlıqları üzərində alınmış 200 mkm qalınlıqlı və 2.5 Om-sm xüsusi müqavimətə malik p-Si nazik təbəqələri istifadə edilmişdir.

Nazik təbəqələrin çökdürülməsində otaq temperaturu və 50-80°C temperaturu sulu məhlullardan istifadə edilmişdir. Katod üzərində bərpa olunacaq ionların diffuziya yolunun uzunluğunu kiçiltmək məqsədilə həm elektrodlar arasındakı məsafə kiçik götürülmüş (2-3 sm), həm də reaksiya zamanı məhlul maqnit qarışdırıcı ilə müəyyən sürətlə qarışdırılmışdır [18-25]. İstifadə olunmuş altlıqlar reaksiya məhluluna salınmazdan əvvəl fiziki və kimyəvi çirklənmələrdən təmizlənmişdir. Belə ki, standart ölçülərə malik ($1 \times 1 \text{ sm}^2$) $şüşə/SnO_2$ altlıqları asetonda saxlanılmış və daha sonra bidistillə olunmuş su ilə yuyulmuşdur. Mo folqa altlıqlar isə əvvəlcə 10%-li HCl turşusunda (24 saat) saxlanılmış, sonra VUP-5 vakuum postunda arqon qazında ion aşılama üsulu ilə səthi təmizlənmiş və daha sonra isə spirtlə və bidistillə olunmuş su ilə yuyularaq $Cd_{1-x}Zn_xO$ nazik təbəqələrinin alınması üçün istifadə olunmuş məhlula salınmışdır.

$Cd_{1-x}Zn_xO$ nazik təbəqələrinin alınmasında reaksiya maddəsi olaraq yüksək kimyəvi təmizliyə malik (99.95 %) kadmium ($Cd(NO_3)_2$) və sink ($Zn(NO_3)_2$) nitrat duzlarının sulu məhlulundan istifadə edilmişdir. Nazik təbəqələrin elektrokimyəvi üsulla çökdürülməsi mexanizmini öyrənmək və çökdürülmə rejiminə nəzarət etmək məqsədilə $Cd(NO_3)_2 + Zn(NO_3)_2 + KNO_3 + H_2O$ otaq temperaturunda və 80°C temperaturda sulu məhlullarındakı duzların əvvəlcə ayrı-ayrılıqda, daha sonra isə əvvəlki konsentrasiya və pH-turşuluqda qarışığının tsiklik volt-ampere xarakteristikaları (voltamperometriya) tədqiq edilmişdir.

Şəkil 1-də $Cd_{1-x}Zn_xO$ nazik təbəqələrinin alınması üçün istifadə olunan məhlulların komponentlərinin tsiklik voltamper xarakteristikaları təsvir edilmişdir. Tsiklik voltamperqramlar xarici gərginliyin $-1.6 \div +1.1 \text{ V}$ intervalında çəkilmişdir. Xarakteristikaların ölçülməsi əvvəlcə katoda tətbiq edilən xarici gərginliyin mənfi, sonra isə müsbət qiymətlərində xarici gərginliyin iki müxtəlif istiqamətlərində aparılmışdır. Tsiklik volt-ampere tədqiqatları sulu məhluldan katod çökdürmə metodu ilə $şüşə/SnO_2$ altlıqları üzərində alınmış $Cd_{1-x}Zn_xO$ nazik təbəqələr üzərində aparılmışdır. Anod materialı kimi reaksiyada qrafit elektrodlardan istifadə edilmişdir. Reaksiya məhlulunun turşuluğu azot turşusunun əlavə edilməsi ilə idarə edilmişdir ($pH = 3-5$).

Şəkil 1a- dan göründüyü kimi $Zn(NO_3)_2$ məhlulunda cərəyan xarici gərginliyin $U_k = -0.95$ V qiymətində artmağa başlayır və katod gərginliyinin $-1.2 \div -1.55$ V- da altlıq üzərinə Zn ionlarının reduksiyası və nəticə etibarilə ZnO nazik təbəqələrinin alınması aşağıdakı ardıcıl reaksiya əsasında baş verir:



Belə ki, suya daxil edilmiş sink nitrat suda həll olduqda suda NO_2^- və OH^- tipli anion qrupları əmələ gəlir. Məhluldakı Zn^{2+} kationlarının OH^- anionları ilə birləşməsi sink hidrokسيدinin yaranmasına səbəb olur. Elektrokimyəvi bərpa olunma prosesi nəticəsində isə sink hidrokسيد yekunda ZnO və suya parçalanır. Onu da qeyd edək ki, sink hidrokسيدin ZnO-ə çevrilməsi prosesi otaq temperaturu sulu məhlulda yuxarı temperaturu məhlulda nisbətən daha zəif sürətlə baş verir. Lakin açıq havada və oksigen temperaturunda qısamüddətli termik işlənmə sink hidrokسيدin ZnO-ə çevrilməsi problemini həll etməyə imkan vermişdir.

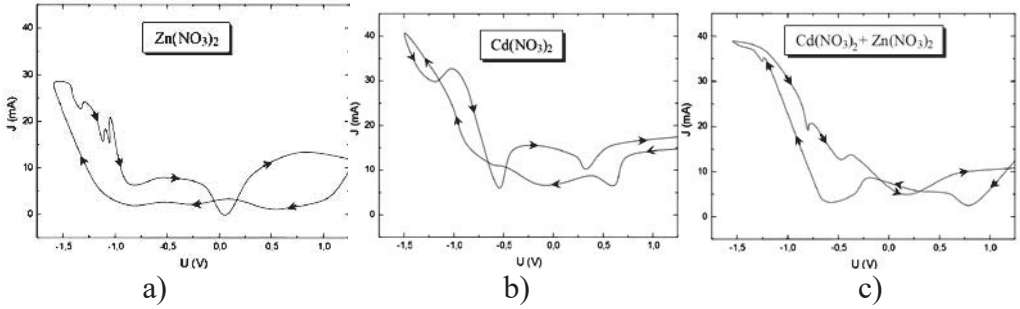
Şəkil 1b-də şüşə/ SnO_2 altlığına çökən $Cd(NO_3)_2$ duzunun sulu məhlulu üçün voltamoqram göstərilmişdir. Şəkildən göründüyü kimi xarici sahənin mənfi istiqamətlərində CdO nazik təbəqələrinin işçi elektrod (altlıq) üzərinə reduksiyası gərginliyin -0.25 V qiymətlərindən başlayaraq ZnO nazik təbəqələri kimi aşağıdakı ardıcılıqla baş verir:



Şəkil 1c-dən göründüyü kimi müxtəlif tərkibli $Cd_{1-x}Zn_xO$ nazik təbəqələrinin formalaşması üçün katod gərginliyinin qiyməti $-0.8 \div -1.46$ V intervallında dəyişdirilməlidir. Voltamperogramların tədqiqi üsulu ilə işdə $Cd_{1-x}Zn_xO$ nazik təbəqələrinin müxtəlif tərkiblərdə alınması üçün reaksiya duzlarının mol miqdarı və çökdürmə cərəyanı və gərginliyinin optimal qiymətləri müəyyən edilmişdir (cədvəl 1).

Cədvəl 1

| x | Duzların mol miqdarı (mM) | | Katod çökdürülmə cərəyanı və potensialı | |
|-----|---------------------------|--------------|-----------------------------------------|---------------|
| | $Zn(NO_3)_2$ | $Cd(NO_3)_2$ | $J, \text{mA}/\text{sm}^2$ | U_c (V) |
| 0.2 | 1.22 | 4.88 | 5.6 | -0.96 – -1.21 |
| 0.4 | 4.13 | 6.21 | 5.1 | -0.96 – -1.24 |
| 0.5 | 4.91 | 4.94 | 4.2 | -0.93 – -1.26 |
| 0.6 | 5.92 | 3.95 | 3.4 | -0.88 – -1.37 |
| 0.7 | 6.34 | 2.73 | 3.2 | -0.89 – -1.38 |
| 0.8 | 6.5 | 1.63 | 2.7 | -0.9 – -1.37 |
| 0.9 | 6.85 | 0.76 | 2.4 | -0.91 – -1.38 |



Şək. 1. 0.67M $Zn(NO_3)_2$ (a), 0.26M $Cd(NO_3)_2$ (b) və (a), (b) məhlulları qarışığının (c) otaq temperaturunda tsiklik volt-ampere xarakteristikaları

Nazik təbəqələrin kütləsi ilə elektrokimyəvi çökdürülmənin elektrik və kinetik parametrləri arasındakı əlaqəni Faradey qanunları ilə ifadə etmək olar. Əgər vahid səthə düşən kütləni (m/S) bu qanunlar əsasında ifadə etsək:

$$m / S = J \cdot t \cdot k \cdot \alpha \quad (7)$$

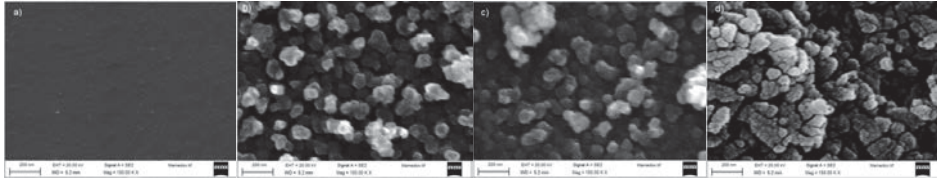
Burada, J - məhluldan keçən cərəyanın sıxlığı, t -cərəyanın dəyişməz saxlanıldığı zaman müddəti, k - katod üzərində çökdürülən maddələrin elektrokimyəvi ekvivalentidir. α - kəmiyyəti 0.5-lə 1 arasında qiymətlər ala bilər və cərəyanın effektivlik əmsalı adlanır. Bu kəmiyyət məhluldan keçən yükün həqiqi qiymətinin, yükün nəzəri olaraq hesablanmış qiymətinə olan nisbəti ilə təyin olunur. Müəyyən sadə riyazi çevirmələrlə (7) ifadəsindən qalınlığı l olan nazik təbəqənin çökdürülmə sürəti l/t üçün aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$l / t = (Jk\alpha) / \rho \quad (8)$$

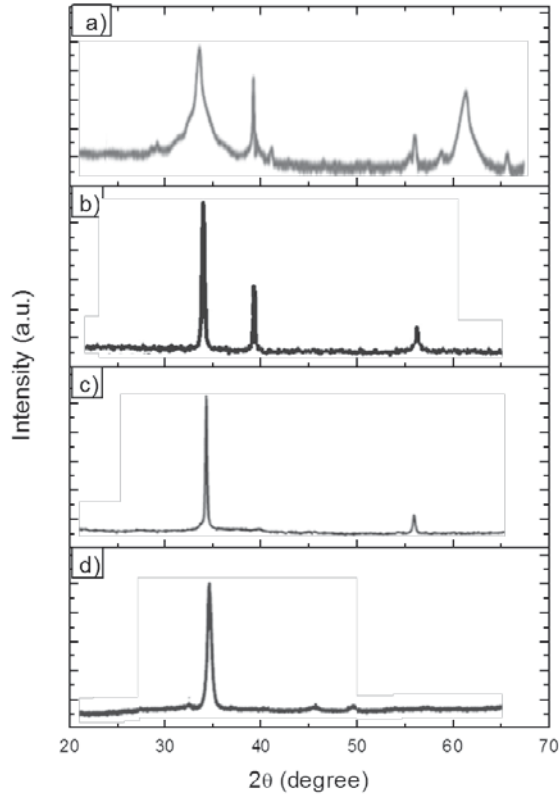
Burada ρ – çökdürülən nazik təbəqənin sıxlığıdır.

Eksperimental nəticələr və onların izahı

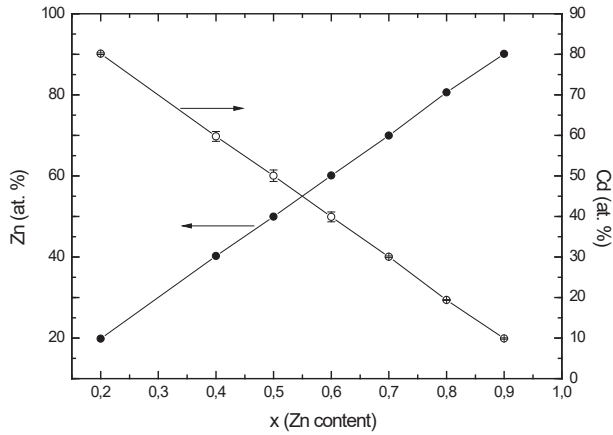
Müəyyən edilmişdir ki, $Cd_{1-x}Zn_xO$ nazik təbəqələrin səthinin morfoloqiyası və kristal quruluşu çökdürmə potensialından asılıdır. Şəkil 3-də çökdürülmə katod potensialının -0.9 V (şəkil 3a), - 1.2 V (şəkil 3b), -1.28 V (şəkil 3c) və -1.35 V (şəkil 3d) qiymətlərində alınmış $Cd_{0.4}Zn_{0.6}O$ nazik təbəqələrinin səthinin SEM fotoşəkilləri təsvir edilmişdir. SEM tədqiqatlar əsasında müəyyən edilmişdir ki, katod potensialının -0.9 V qiymətlərində alınmış $Cd_{0.4}Zn_{0.6}O$ nazik təbəqələrinin səthi hamar quruluşa malik olub, bircins səth nümayiş etdirir. Katod potensialının -0.9V qiymətində çökdürülmüş nazik təbəqələrin rentgenoqramlarında zəif intensivlikli və eni böyük olan xətlər müşahidə edilir ki, bu da onların polikristal və əksər hallarda, hətta amorf olmasına dəlalət edir (şəkil 3a).



Şək. 2. Katod potensialının -0.9 V (a), - 1.2 V (b), -1.28 V(c) və -1.35 V (d) qiymətlərində alınmış $\text{Cd}_{0.4}\text{Zn}_{0.6}\text{O}$ nazik təbəqələrinin səthinin SEM fotoşəkilləri.



Şək. 3. Çökdürmə potensialının müxtəlif qiymətlərində otaq temperaturunda (a,b,c), və 80°C -də (d) alınmış $\text{Cd}_{0.4}\text{Zn}_{0.6}\text{O}$ nazik təbəqələrinin rentgen difraksiya spektrləri: -0.9 V (a); -1.2 V (b); -1.28 V (c); -1.34 V (d)



Şək. 4. Katod potensialının -1.28 V qiymətində çökdürülmüş 500 nm qalınlıqlı $Cd_{1-x}Zn_xO$ nazik təbəqələrində Zn və Cd atomlarının EDS spektrləri əsasında hesablanmış faizlə miqdarı.

Katod potensialının qiymətinin cüzi olaraq artması ($-1.22 < U \leq -1.25$ V) nazik təbəqələrin səth quruluşunu kəskin olaraq dəyişir. Belə ki, səthdəki məsamələrin konsentrasiyası kəskin olaraq azalır, kristallitlərin ölçüsü kiçilir ($5 \div 7$ nm) və nazik təbəqələr bircins nanoquruluşlu səth nümayiş etdirir. Çökdürmə gərginliyinin bu qiymətində alınmış nazik təbəqələrin rentgenoqramlarında xətlərin intensivliyi artsa da, onların eni çox da kiçilmir (şəkil 3b). Bu da öz növbəsində həmin təbəqələrin nanoölçülü kristallitlərdən ibarət olduğunu göstərir. Katod çökdürmə potensialının $-1.28 \div -1.32$ V qiymətlərinə qədər artması ilə, nazik təbəqələrin səthindəki kristallitlərin ölçüsünün artması ilə bərabər səthdəki defektlərin konsentrasiyası da kəskin olaraq azalır. Bu zaman rentgenoqramlarda piklərin intensivliyi böyüyr, eni isə kiçilir ki, bu da onların polikristallıq dərəcəsinin artdığını göstərir (şəkil 3c). Qeyd etmək lazımdır ki, otaq temperaturunda həyata keçirilmiş çökdürülmə prosesi nəticəsində alınmış $Cd_{0.4}Zn_{0.6}O$ nazik təbəqələrinin əksəriyyətinin diffraktoqramlarında bütün xətlər ya cüt, ya da tək indekslər nümayiş etdirir. Bu da onların vyürsit qəfəs quruluşuna malik olduqlarını göstərir. Demək olar ki, bütün nümunələrin rentgenoqramlarında çox zəif difraksiya pikləri müşahidə edilir. Bu piklərin metal hidrokسيدlərə aid olduğu fərz olunur. Lakin məhlulu otaq temperaturundan $80^{\circ}C$ -yə qədər qızdırmaqla və məhlulun pH-turşuluğuna nəzarət etməklə, kubik (sfalerit) quruluşlu nazik təbəqələr də alınır və bu nümunələrin rentgenoqramlarında hidrokسيد artıqlığına aid difraksiya, demək olar ki, müşahidə olunmur (şəkil 3d).

Nazik təbəqələrdə kristallitlərin ölçüləri SEM fotosəkillərindən və rentgenoqramlardan Debay-Şerer ifadəsindən istifadə etməklə hesablanmışdır:

$$D = (m\lambda o)/(l\delta \cos \tau) \quad (9)$$

Burada, λ - rentgen dalğasının uzunluğu (1.54051 Å), D - kristallitlərin orta ölçüsü, l - rentgenoqramdakı pikin yarımhündürlüyünə uyğun gələn eni, θ - difraksiya bucağı, $k=0.9$.

Hər iki üsul əsasında hesablamalardan alınmış nəticələrə əsasən, kristallitlərin ölçüsü 5-7 nm intervalında dəyişir.

Lakin potensialın sonrakı artımı $U > -1.34$ V səthdə yenidən qeyri-bircinslik dərəcəsini artırır. Qeyd edək ki, katod potensialının $U > -1.34$ V qiymətlərində alınmış nazik təbəqələrin altlığa adgeziyası çox zəif olur. Belə ki, bu gərginliklər də yalnız 0.5 nm qalınlıqlara qədər zəruri adgeziyaya malik $Cd_{1-x}Zn_xO$ nazik təbəqələri almaq mümkündür. Katod potensialının qiymətindən asılı olaraq $Cd_{1-x}Zn_xO$ nazik təbəqələrinin optik buraxma əmsalının da qiyməti dəyişir.

$Cd_{1-x}Zn_xO$ nazik təbəqələrinin tərkibi MQA-915 tipli atom-absorbsion spektrometrində və ARL Quant'X tipli rentgen- flüorosensiya spektrometrində yoxlanılmışdır. Əvvəlcə nazik təbəqələr üçün hazırlanmış reaksiya məhlulunda Cd və Zn-in element miqdarı atom-absorbsion spektrometrində yoxlanılmışdır (cədvəl 2). Çökdürülmə başa çatdıqdan sonra isə altlıqlar üzərində alınmış nazik təbəqələrdən müəyyən olunmuş miqdarda ovuntu hazırlanmış və ovuntuda elementlərin miqdarı yenidən spektrometrdə yoxlanılmışdır (cədvəl 2.2). Məhlulda oksigenin miqdarı sonda alınmış ümumi kütləyə nəzərən hesablanmışdır. Bərk məhluldakı kimyəvi elementlərin miqdarı analizi, həmçinin rentgen-flüorosensiya spektrometrində (EDS) də həyata keçirilmişdir (şəkil 4).

Cədvəl 2

| x (mol) (hesablanmış qiymət) | Atom absorbsion spektrometrində n alınmış nəticələr (mol) | Rentgen flüorosensiya spektrometrindən alınmış nəticələr (mol) | Kubik modifikasiyalı nazik təbəqələrin qəfəs parametri (Å) |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| | x | x | |
| 0.2 | 0.203 | 0.201 | 3.541 |
| 0.4 | 0.401 | 0.406 | 3.828 |
| 0.6 | 0.604 | 0.608 | 4.115 |
| 0.7 | 0.701 | 0.702 | 4.258 |
| 0.9 | 0.903 | 0.904 | 4.545 |

ƏDƏBİYYAT

1. Al-Hardan N. H., Azman Jalar et al, Int. J. Electrochemi. Sci., v. 8, p. 6767-6774, 2013.
2. Anderson Janotti and Chris G Van de Walle, Rep. Prog. Phys., v. 72, 126501-126530, 2009.
3. Wellings J.S., Chaure N.B., Heavens S.N. and Dharmadasa I.M., Thin Solid Films, v. 516, p. 3893-3898, 2008.
4. Zhiyun Zhang, Chonggao Bao et al, Superlattices and Microstructures, v.49, p.644-653, 2011.
5. Berestok T.O., Kurbatov D.I. et al, Journal of nano- and electronic physics, v. 5, p. 01009-01013, 2013.
6. Kathalingam N., Ambika M. R. et al, Materials Science-Poland, v. 28, p.456-467, 2010.

7. Shanmuganathan G., Shameem Banu I.B., Krishnan S. and Ranganathan B., Journal of Alloys and Compounds, v. 562, p.187-193, 2013.
8. Cevdet C., Harun G., Emre G. and Sebahattin T., Turk J Phys., v.33, p.49-56, 2009.
9. Junwei L., Zhifeng L., Lei E. and Zhichen Z., Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed., v26, p.54-61, 2011.
10. Elias J., Tena-Zaera R. and Lévy-Clément C., Thin Solid Films, v. 515, p. 8553-8557, 2007.
11. Goux A., Pauporte T., Chivot J. and Lincot D., Electrochimica Acta, v.50, p.2239-2248, 2005.
12. Mahalingama T., John V.S., Raja M., Su Y.K. and Sebastian P.J., Solar Energy Materials & Solar Cells, v.88, p. 227-235, 2005.
13. Guanglong Zou, Weixiang Chen, Run Liu and Zhude Xu, Materials Letters, v.61, p. 4305-4308, 2007.
14. Xiujuan Qin, Guangjie Shao and Lin Zhao, Materials Science and Engineering B, v.177, p.1678-1681, 2012.
15. Hamdane Chettah and Djamilia Abdi, Thin Solid Films, v. 537, p.119-123, 2013.
16. Belavalli E. Prasad, P. Vishnu Kamath and S. Ranganath, J Solid State Electrochem, v.16, p. 3715-3722, 2012.
17. Feng Xu, Yinong Lu, Yan Xie and Yunfei Liu, Vacuum, v. 83, p. 360-365, 2009.
18. Giribabu K., Suresh R., Manigandan R., Stephen A., J. Iran. Chem. Soc., v. 10, p. 771-776, 2013.
19. Yufanyi D. M., Tendo, J. F., Ondoh, A. M. and Mbadcam, J. K., J. Mater. Sci. Research, v. 3, p. 1-11, 2014.
20. Kondawar S., Mahore R., Dahegaonkar A. and Agrawal S., Adv. Appl. Sci. Research, v.2, p. 401-406, 2011.
21. Kalpanadevi K., Sinduja C. R. and Manimekalai R., ISRN Inorg. Chem., ID 823040, 5 pages, 2013.
22. Abdulridha W. M., International Journal of Nanomaterials and Chemistry, v.1, p.21-25, 2016.
23. Singh T., Pandya D.K. and Singh R., Mater. Chem. Phys., v.130, p.1366-1371, 2011.
24. Bhowmik R.N., Murty M.N. and Srinadhu, E.S., PMC Phys B, v.1, p.20-38, 2008.
25. Nwanya A.C., Chigbo C. et all, J. Assoc. Arab. Univ. Basic Appl. Sci., v.20, p.49-54, 2016.

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ОСАЖДЕНИЕ, КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПЛЕНОК Cd_{1-x}Zn_xO

В.Дж.МАМЕДОВА

РЕЗЮМЕ

Пленки Cd_{1-x}Zn_xO (0.2 ≤ x ≤ 0.9) были получены методом электрохимического осаждения из водного раствора. Установлено, что кубическая или вюрцитная кристаллическая структура, а также нано- или микроструктурированные поверхности пленок Cd_{1-x}Zn_xO определяются оптимальными режимами электрохимического осаждения (температура и потенциал осаждения).

Ключевые слова: электрохимическое осаждение, технологический режим, циклическая вольтамперометрия, кристаллическая структура.

ELECTROCHEMICAL DEPOSITION, CRYSTAL STRUCTURE AND SURFACE MORPHOLOGY OF FILMS $Cd_{1-x}Zn_xO$

V.J. MAMEDOVA

SUMMARY

Films of $Cd_{1-x}Zn_xO$ ($0.2 \leq x \leq 0.9$) were deposited by the method of electrochemical deposition from aqueous solution. It has been established that the cubic or wurtzite crystalline structure, as well as the nano- or microstructured surfaces of $Cd_{1-x}Zn_xO$ films are determined by the optimal regimes of electrochemical deposition (temperature and deposition potential).

Keywords: electrochemical deposition, technological regime, cyclic voltammetry, crystalline structure.

Redaksiyaya daxil oldu: 24.04.2019-cu il

Çapa imzalandı: 16.10.2019-cu il