

p-Si/MƏSAMƏLİ-Si/NANOQURULUŞLU-CdS HETEROKEÇİDLƏRİNİN ELEKTRİK VƏ FOTOELEKTRİK XASSƏLƏRİ

H.M. MƏMMƏDOV, X.M. ƏHMƏDOVA, V.C.MƏMMƏDOVA,
S.A. MƏMMƏDOVA, S.N. SƏRMƏSOV

Bakı Dövlət Universiteti, Az1148, Z.Xəlilov küç. 23, Bakı

E-mail: mhhuseyng@gmail.com

İşdə elektrokimyəvi çökdürülmə (CdS) və elektrolitik aşılama (*məsaməli*-Si) metodları əsasında *p*-Si/*məsaməli*-Si/nanoquruluşlu-CdS heteroqeçidləri hazırlanmışdır. Heteroqeçidlərin elektrik və fotoelektrik xassələri məsamələrin və kristal dənə-ciklərin ölçüsündən və katod çökdürülmə potensialından asılı olaraq tədqiq edilmişdir. Heteroqeçidlərdə maksimal effektivlik üçün (5.8%) məsamələrin optimal ölçüsü (10 nm) müəyyənləşdirilmişdir.

Açar sözlər: məsaməli, nanoquruluşlu, heteroqeçid, günəş elementləri, effektivlik

PACS: 62.23.St; 82.33.Ln; 81.05.Rm; 73.40.-c; 88.40.H-

GİRİŞ

Məlumdur ki, günəş elementləri üçün ideal material qadağan olunmuş zolağının eni 1.1-1.7 eV, düzzolaqlı, asan əldə edilə bilən zəhərsiz material olmalı, habelə, yaxşı çevirmə effektivliyinə və uzunmüddətli stabilliyinə malik olmalıdır. Bu baxımdan, hazırda belə effektiv və texnoloji fotoçeviricilərin hazırlanması üzrə müxtəlif istiqamətlərdə elmi-tədqiqat işləri aparılır: monokristallik silisium əsasında [1-3]; GaAs və InP əsasında [4-5]; CdTe, CuInSe₂, CuInGaSe₂ halkogenid yarımqeçiriciləri əsasında [6-8] günəş elementləri xüsusi yer tutur. Maya dəyərinin aşağı olmasına görə üzvi polimerlər əsasında fotoçeviricilər daha perspektiv görünmələrinə baxmayaraq, bu sistemlərin effektivliyi hələ ki, aşağıdır (3,5% - 8,5%) [9]. Uducu layların bu cür çoxluğunun olmasına baxmayaraq, hazırda dünyada istehsal olunan günəş elementlərinin 95%-dən çoxu silisium (monokristallik, polikristallik, amorf və s.) əsasında. Dünya bazarında silisium əsaslı günəş elementlərinin belə üstünlük təşkil etmələri, silisiumun mikroelektronika sənayesində yüksək keyfiyyətli və böyük miqdarda istehsal olunması ilə əlaqədardır. Bununla yanaşı, silisium əsaslı günəş elementləri ətraf mühitdə çətinliklər yaratmır. Həmçinin, oksigendən sonra silisium yer qabığında ikinci ən çox yayılmış element hesab olunur (35%). Silisium, günəş şüalanmasının ultrabənövşəyi oblastdan yaxın infraqırmızı oblastına qədər olan geniş bir hissəsinin fotoelektrik çevrilməsi üçün əsas material sayılsa da, o, günəş şüalanmasının yalnız kiçik bir hissəsini udur (1.4-1.5 eV). Hesablamalara görə, ideal silisium günəş elementlərinin effektivliyi 30% ola bilər (AM1.5 üçün). Lakin kristallik silisiumun yüksək sındırma əmsalına (~3.5) malik olması, günəş spektrinin 300-1100nm oblastında böyük optik itkilərin yaranmasına səbəb olur. Bu cür çatışmazlıqlar isə yekunda *p-n*-Si/A^{II}B^{VI} (CdS, CdSSe, CdZnS, CdZnSSe, CdZnSTe) heteroqeçidləri əsasında günəş elementlərinin effektivliyinin kiçik qiymətinə gətirir. Məsaməli silisiumda otaq temperaturunda görünən fotoluminenssiyanın müşahidə edilməsi [13], onun fotoelektronikada geniş spektrdə tətbiq olunma imkanlarını yaradır. Hazırda məsaməli silisium günəş elementlərində universal material kimi tətbiq edilir (həm uducu, həm də antisəpici material kimi). Məsaməlilik, qadağan olunmuş zolağın eni (məsaməlilikdən asılı olaraq 1.1-1.9eV intervalında dəyişir), qalınlıq, sındırma əmsali

(məsaməlilikdən asılı olaraq 30%-dən 3%-ə qədər dəyişdirilə bilər), məsamələrin ölçüləri və s. təbəqənin parametrlərindən (elektrolitin miqdarından, cərəyan sıxlığından, temperaturdan, kristallik oriyentasiyadan, aşqarların tip və konsentrasiyasından, aşılama müddətindən və s.) asılıdır. Hazırlanma texnologiyasından asılı olaraq məsamələrin ölçüləri 5-10 nm-dən 100 mikrometərə qədər dəyişdirilə bilər. Əksolmanın minimuma endirilməsi (ışığın məsamələrdə tutulması), məsaməliliyin dəyişdirilməsi ilə qadağan olunmuş zolağın eninin artırılması bilinməsi (yükərin mikrokristallitlərdə kvantlanması ilə əlaqədar olaraq) məsaməli silisiumdan uducu lay kimi istifadə etməyə imkan verir. Məsaməli silisiumun kristallik quruluşu, kimyəvi, elektrik, fotoluminenssiya və optik xassələri müxtəlif eksperimental metodlarla köməyi ilə geniş tədqiq edilmişdir [14]. Dünya elmi ədəbiyyatında məsaməli silisiumun müxtəlif metodlarla: kimyəvi, elektrokimyəvi, fotoelektrokimyəvi aşılama metodları ilə otaq temperaturunda alınmasına rast gəlinir [15-21].

Nanoquruluşlu kadmium sulfid (CdS) alınmasında isə əsasən "yüksək temperaturlu" və bahalı metodlardan istifadə edilir [22-25]. Digər tərəfdən, fotoelektronikanın inkişafı, əsasən, fotodiodların parametrlərinin stabillik dərəcəsinin artırılması və maya dəyərinin azaldılmasına istiqamətləndirilir. Bu nöqtəyi nəzərdən, fotodiodların hazırlanmasında istifadə edilən "yüksək temperaturlu" bahalı metodlar çətin idarə olunmaları və texnoloji prosesin səmərəsiz olmaları səbəbindən öz aktuallığını tədricən itirir. Heteroqeçidlərin hazırlanması zamanı yüksək temperaturlu texnologiyadan istifadə bütün struktur boyu, həmçinin nazik təbəqədə idarə olunmayan aşqarların konsentrasiyasının artmasına səbəb olur. Ona görə də, idarə olunmayan defektləri az və qalınlığı kiçik olan nazik təbəqələrin alınması qarşıya qoyulmuş əsas məsələdir. Bu baxımdan, nanoquruluşlu CdS nazik təbəqələrinin məsaməli silisiumun səthində alınması üçün, özünün sadəliyi və maya dəyərinin ucuz olmasına görə sulu məhluldan elektrokimyəvi çökdürmə və ion laylı hemosorbsiya metodları istifadə oluna bilər.

Göstərilən faktları nəzərə alaraq, işdə yeni nəsil sayıla biləcək optimal və dayanıqlı parametrlərə malik *p*-Si/*məsaməli*-Si/nanoquruluşlu-CdS günəş elementləri elektrokimyəvi çökdürülmə və elektrolitik aşılama metodları ilə hazırlanmışdır.

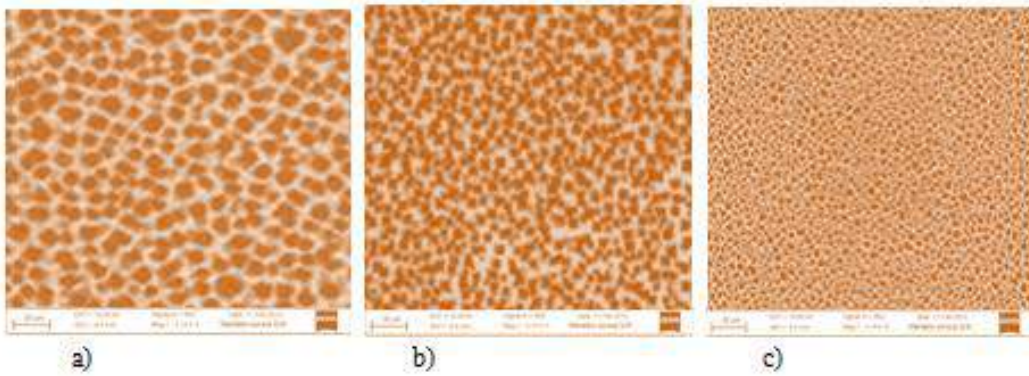
EKSPERİMENT VƏ NƏTİCƏLƏR

Elektrolitik aşılama zamanı altlıq olaraq (111) orientasiyalı və $\sim 0.2 \div 0.6$ mm qalınlıqlı monokristal *p*-Si müstəvi paralel lövhələri istifadə olunmuşdur. Altlığın səthindəki fiziki və kimyəvi çirklənmələri, habelə oksid qatını (otaq temperaturunda *p*-Si kristal lövhələrinin səthində, adətən 30-120 Å qalınlıqlı oksid təbəqəsi olur) təmizləmək məqsədilə, məhlula salınmazdan əvvəl həmin altlıqlar otaq temperaturunda KOH+KNO₃ (1:4) məhlulunda 48 saat ərzində saxlanılmış, sonra isə ardıcıl olaraq 10%-li HCl turşusunda (3 dəq), təmiz spirtdə və bidistillə olunmuş suda yuyulmuşdur. Bəzi hallarda isə altlıqların yuyulması yüksək temperaturda ($\geq 300^{\circ}\text{C}$ -də) HCl məhlulunda qısa müddət ərzində aparılmışdır. Yuyulma prosesindən sonra, altlıqlar bidistillə olunmuş suyun içərisindən çıxarılmadan soyuducuya yerləşdirilmişdir. Bundan sonra, təmizlənmiş *p*-Si lövhələri 50% durulaşdırılmış HF məhlulunun içərisinə salınmışdır. Anod materialı kimi platin məftildən istifadə olunmuşdur. Məhlula 30V gərginlik tətbiq olunmuşdur. Çökdürülmə 60-70mA cərəyanda aparılmışdır. Aşılamanın davam etmə müddətindən (12-30 dəqiqə) və məhluldakı cərəyandan asılı olaraq, monokristal *p*-Si lövhələrinin səthində 5-30nm məsamələrə malik məsaməli-Si alınmışdır. Nəticələr AFM fotosəkilləri ilə yoxlanılmışdır (şəkil 1).

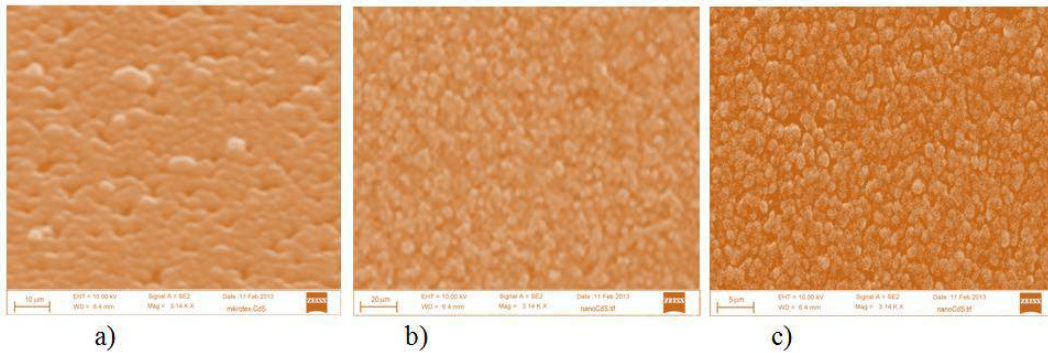
Hazırlanmış heteroqəçidlərdə silisiuma cərəyan kontaktı kimi alüminiumdan (Al), CdS təbəqələrinə isə In-dan (və ya Al-dan) tor şəkilli (III və ya II formalı kontaktlar) cərəyan kontaktları istifadə edilmişdir. Hazırlanmış heteroqəçidlərin elektrik və fotoelektrik xassələri məsamələrin və CdS nazik təbəqələrində nanodənəciklərin ölçüsündən

asılı olaraq tədqiq edilmişdir. Heteroqəçidlərin elektrik və fotoelektrik parametrlərinin optimal qiymətləri üçün məsamə və dənəciklərin effektiv ölçüləri seçilmişdir ki, bu da Al/*p*-Si/məsaməli-Si/nanoquruluşlu-CdS/In heteroqəçidləri əsasındakı çeviricilərin maksimal effektivliyini təmin etmişdir.

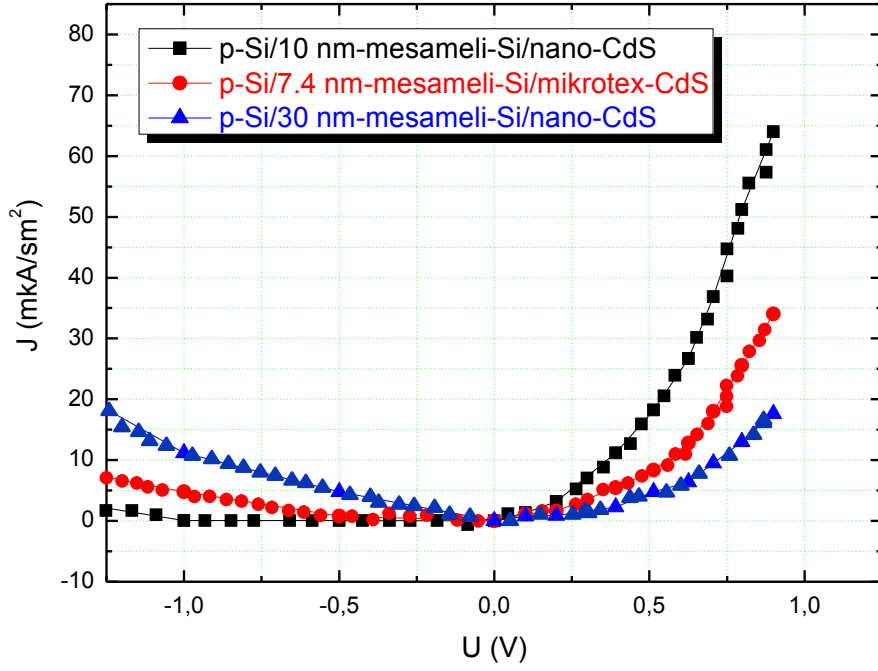
Bilavasitə çökdürmədən sonra *p*-Si/məsaməli-Si/nanoquruluşlu-CdS heteroqəçidləri düzləndirmə xassəsinə malik olmuşdur (şəkil 3). Düzləndirmə istiqaməti *p*-Si-a müsbət potensial tətbiq olunduğu hala uyğundur. Şəkil 3-dən görüldüyü kimi, Si-un CdS-lə elektrik kontaktında düzünə cərəyanın qiyməti məsamələrin ölçüsündən asılı olaraq dəyişir. Məsamələrin ölçüsü 7 nm-dən 10 nm-ə qədər artdıqca düzünə cərəyanın qiyməti artır, əksinə cərəyan isə kəskin olaraq azalır. Ən yaxşı düzləndirmə məsamələrinin ölçüsü 10 nm olan təbəqələr əsasındakı heteroqəçidlərdə müşahidə olunur (şəkil 3). Məsamələrin ölçüsünün artması ilə düzləndirmə əmsalının artması keçid oblastında nanoölçülü heteroqəçidlərin formalaşması ilə izah oluna bilər. Belə ki, məsamələrin ölçüsünün artması ilə məsamələr arasında yükdaşıyıcıların tunel keçidi hesabına daşınmasının kontaktı yaranan nano-heteroqəçidlərdə daha çox ehtimalı olması, elektron-deşik cütünün kifayət qədər ayrılı bilməməsinə səbəb olur. Lakin məsamələrin ölçüsünün azalması ilə eninə istiqamətdə tunel keçidlərinin ehtimalının azalması nəticəsində düzünə cərəyanın qiyməti də azalır. Onu da qeyd edək ki, məsamələrin ölçüsünün 10 nm-dən böyük qiymətlərində məsamələr əsasındakı sərhəddin ölçüsünün daha da azalması xarici sahənin hər iki istiqamətində tunel cərəyanlarının ehtimalının kəskin olaraq artmasına və nəticədə, düzləndirilmənin azalmasına səbəb olur.



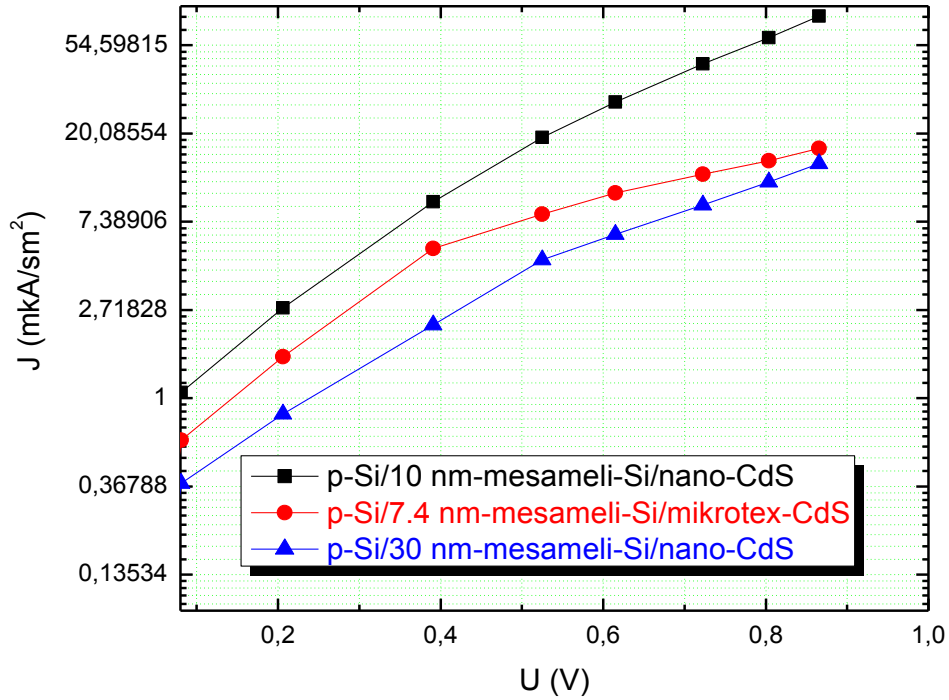
Şəkil 1. Elektrolitik aşılama metodu ilə alınmış məsaməli-Si-un SEM fotosəkilləri: a- ~ 30 nm; b- ~ 10 nm; c- ~ 7.4 nm.



Şəkil 2. Elektrokimyəvi çökdürmə metodu ilə CdS nazik təbəqələrinin səthinin SEM fotosəkilləri. a) *p*-Si/7.4 nm məsaməli-Si/CdS; b) *p*-Si/10 nm-məsaməli-Si/CdS; c) *p*-Si/30 nm-məsaməli-Si/CdS.



Şəkil 3. Müxtəlif ölçülü məsamələrə malik Al/*p*-Si/məsaməli-Si/ CdS/In heterokeçidlərinin bilavasitə çökdürmədən sonra otaq temperaturunda qaranlıq VAX-1.



Şəkil 4. Müxtəlif ölçülü məsamələrə malik Al/*p*-Si/məsaməli-Si/nanoquruluşlu-CdS/In heterokeçidlərinin yarımlöqarifmik miqyasda VAX-1.

Şəkil 4-dən görüldüyü kimi $U \leq 0.6V$ gərginliklərə qədər düzünə cərəyan məlum

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{qU}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (1)$$

Ifadəsinə tabe olan eksponensial qanunla artır. Burada, I_0 dioddan axan doyma cərəyanı, q – elektronun yükü, k –

Bolsman sabiti, T - temperatur, n - öyrənilən struktura məxsus VAX-nın qeyri-ideallıq əmsalıdır.

Şəkildən istifadə etməklə, qeyri-ideallıq əmsalı

$$n = \frac{q}{kT} \frac{\Delta U}{\Delta \ln J}$$

ifadəsi əsasında hesablanmışdır. Göründüyü kimi, məsamələrin ölçüsü $d < 10nm$ olan heterokeçidlərdə geniş gərginlik oblastında n -nin qiyməti çox böyük qiymət alır. Bu fakt gərginliyin artması ilə həcmi yüklər

oblastında defekt mərkəzlərinin pilləli boşalması nəticəsində tunel keçidlərinin üstünlük təşkil etməsini bir daha sübut edir. Məsələlərin ölçüsünün cüzi artımı ilə qeyri-ideallıq əmsalı xarici gərginliyin kiçik qiymətlərində ($U \leq 0,2V$) $n=1,8$ -ə qədər azalır. Si/CdS heteroqəçidlərinin ardıcıl müqavimətinin artması ilə xarici gərginliyin əsas hissəsinin həcmi yüklər oblastına deyil, CdS nazik təbəqələrinə düşməsi, heteroqəçidlərdə kiçik gərginliklərdə rekombinasiya cərəyanlarının üstünlük təşkil etməsinə səbəb olur. Belə ki, düzünə xarici gərginliyin artması ilə, Si-dan qəçid oblastına injeksiya olunan dəşiklərin rekombinasiya mərkəzlərini doldurması nəticəsində artıq çəpərustü qəçidlər üstünlük təşkil edir ki, bu da n -nin qiymətinin azalması ilə nəticələnir.

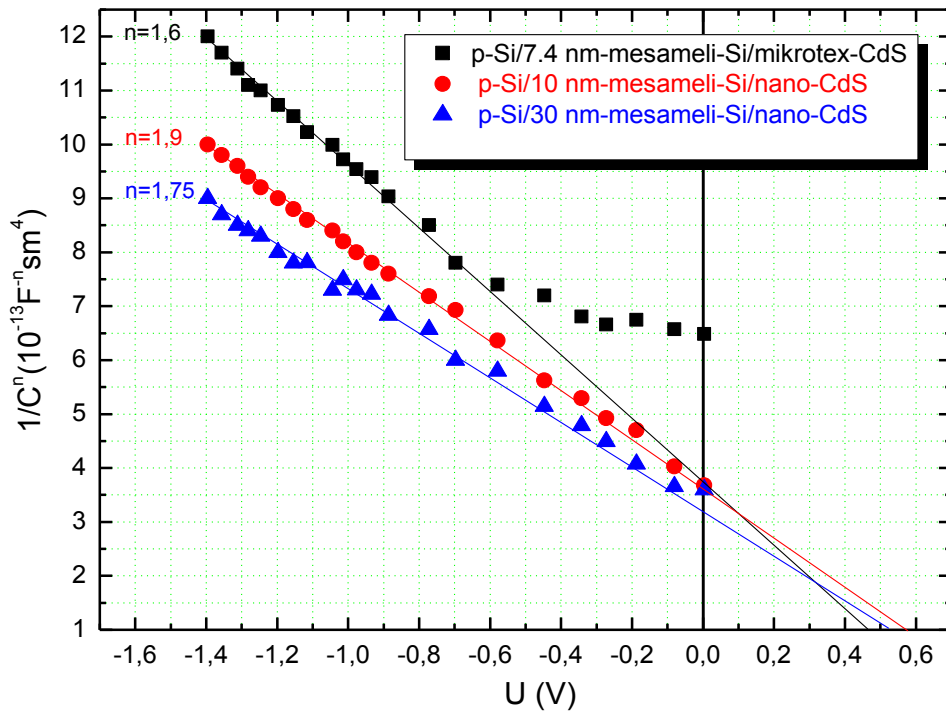
Tədqiq olunan heteroqəçidlərin qəçid oblastının daha ətraflı diaqnostikası üçün biz onlarda qəçidin tutum-gərginlik (VFX) və tutum-tezlik (VTX) xarakteristikalarını tədqiq etmişik. Müxtəlif ölçülü məsələlərə malik heteroqəçidlər üçün qəçid tutumunun xarici gərginlikdən asılılıq qrafikləri əsasında müəyyən olunmuşdur ki, məsələlərinin ölçüsü 10 nm olan p -Si əsasında heteroqəçidlərdə qəçid tutumu xarici gərginlikdən asılı olaraq daha kəskin dəyişir və $U=0$ qiymətində qəçid tutumunun qiyməti daha böyük olur. Qrafiklərdən istifadə edərək müxtəlif tərkibli heteroqəçidlər üçün $C^n=f(U)$ asılılıqları qurulmuşdur (şəkil 5). Qrafiklərdən görüldüyü kimi 7 nm ölçülü məsələyə malik p -Si əsasında heteroqəçidlər üçün $n=1.6$ olduqda, qrafik xətti qanuna yaxın olur ki, bu da həmin heteroqəçidlərdə həcmi yüklər oblastının sərhəddinin kəskin olmadığını və qəçid oblastında çəpərustü qəçidlər hesabına rekombinasiya aktlarının böyük olduğunu bir daha təsdiqləyir. Məsələlərinin ölçüsü 10nm olan

heteroqəçidlərdə isə $n \approx 2$ (1,96) və həmin heteroqəçidlərdə tutumun tezlikdən asılılığı (şəkil 6) daha zəifdir ki, bu da onların qəçid oblastının ideal hala yaxın olduğunu sübut edir. Şəkil 2.5-ə görə $f \approx 40kHs$ -ə qədər bütün heteroqəçidlər üçün qəçid tutumu demək olar ki, sabitdir. Daha yuxarı tezliklərdə tutumun azalması müşahidə edilir. Göründüyü kimi, qəçid hallarının konsentrasiyası az olan heteroqəçidlərdə ($d=10nm$) azalma daha zəifdir. Aydınır ki, tutumun tezlik xarakteristikalarındakı düşmə (enmə) hissəsinin kəskinliyi defekt səviyyəsinin qəçidin ümumi tutumuna verdiyi əlavəni müəyyənləşdirir. Elektrik tutumunun temperaturdan asılılığı əsasında müəyyən olunmuşdur ki, temperaturun yüksəlməsi ilə rekombinasiya səviyyələrinin boşalması ilə əlaqədar olaraq xarakteristikalarda müşahidə edilən enmə hissələrinin hündürlüyü kiçilir. Defekt səviyyələrinin enerji dərinliyini hesablamaq məqsədi ilə, əvvəlcə həmin səviyyələrin xarakteristik tezliyi (ω_t) təyin edilmişdir. Bunun üçün müxtəlif temperaturlardakı

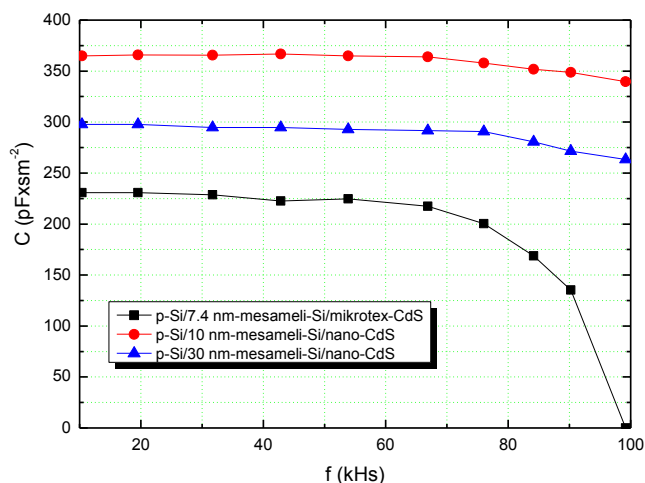
$\frac{dC}{d\omega} = f(\omega)$ qrafiklərindən istifadə olunmuşdur. Qrafiklərdən müəyyən edilmiş xarakteristik tezliklər əsasında

$$\ln\left(\frac{\omega_t}{T^2}\right) = f\left(\frac{1000}{T}\right)$$

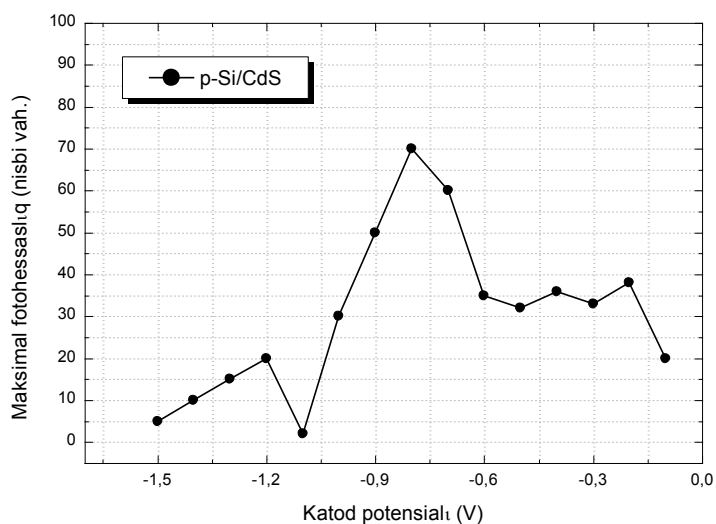
Arrenius ayrıləri qurulmuş və həmin ayrılərə əsasən defekt səviyyələrinin enerji dərinliyi hesablanmışdır $E=0.276$ eV (müxtəlif məsələli heteroqəçidlər üçün). Fikrimizcə, onlar akseptor səviyyələridir və reaksiya məhlulundan çıxarıldıqdan sonra nazik təbəqələrin səthinə hopmuş oksigenin yaratdığı $[V_{Cd,Zn} - O]^+ - (Zn)Cd_i^{++}$ vakansiyaları ilə əlaqədardır.



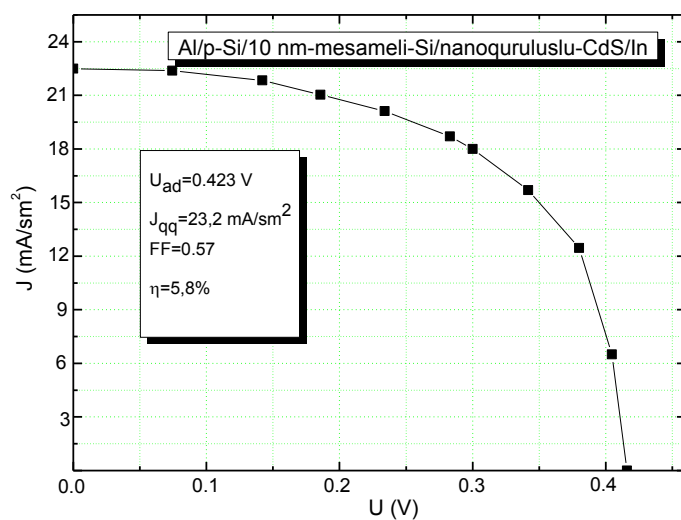
Şəkil 5. Bilavasitə çökdürülmədən sonra Al/ p -Si/məsaməli-Si/nanoquruluşlu-CdS/In heteroqəçidlərinin $C^n=f(U)$ miqyasında volt-farad xarakteristikaları



Şəkil 6. Bilavasitə çökdürülmədən sonra Al/*p*-Si/məsaməli-Si/nanoquruluşlu-CdS/In heterokeçidlərinin müxtəlif tərkibləri üçün tutumun tezlikdən asılılığı



Şəkil 7. Al/*p*-Si/10 nm-məsaməli-Si/nanoquruluşlu-CdS/In heterokeçidləri üçün nisbi fotohəssaslığın çökdürmə potensialından asılılığı.



Şəkil 8. Al/*p*-Si/10 nm-məsaməli-Si/nanoquruluşlu-CdS/In heterokeçidlərinin otaq temperaturunda 100 mVt/sm² işıqlanma-da yük xarakteristikaları

İşdə Al/p-Si/məsəməli-Si/nanoquruluşlu-CdS/In nazik təbəqəli heteroqəçidlərin dalğa uzunluğunun (0.3-1.4mkm) geniş diapazonunda fotoelektrik xassələrinin məsələlərin ölçüsündən asılılığı tədqiq edilmişdir. Bilavasitə çökdürülmədən sonra, bütün heteroqəçidlərdə fotovoltaiq effekt müşahidə edilir. Şəkil 7-də məsələlərinin ölçüsü 10 nm olan heteroqəçidlərdə nisbi fətohəssaslığın (1 sm^2 sahədə və 100 mVt/sm^2 işıqlanmada maksimal fətohəssaslığa uyğun dalğa uzunluğundakı qiymətlər) çökdürmə potensialından asılılıq qrafikləri təsvir edilmişdir. Şəkillərdən görüldüyü kimi, maksimal fətohəssaslıq katod potensialının konkret bir qiymətində müşahidə edilir. Nisbi fətohəssaslığın zəif olduğu katod potensiallarında fətohəssaslıq ossilyasiya xarakterlidir. Fikrimizcə, bu onunla əlaqədardır ki, katod potensialının bu qiymətlərində alınmış nazik təbəqələr tam formalaşmayıb. Fətoçərəyanın ossilyasiyası nazik təbəqələrin matrisində kiçik ölçülü CdS-də metal/halkogen artıqlığının olması ilə izah oluna bilər. Lakin, çökdürmə potensialının verilmiş tərkibli nazik təbəqə üçün konkret qiymətlərində alınmış

heteroqəçidlərin spektrin qısa dalğa uzunluğu oblastında fətohəssaslığı kəskin olaraq artır, fətoçərəyanın ossilyasiyaları itir və heteroqəçidlər maksimum fətohəssaslıq nümayiş etdirir. Katod potensialının optimal qiymətində bu heteroqəçidlər 1 sm^2 sahədə və 100 mVt/sm^2 işıqlanmada 5,8% effektivlik nümayiş etdirir (şəkil 8). Katod potensialının sonrakı artımında ($U \geq -1.0 \text{ V}$) heteroqəçidlərin spektrin qısa dalğa uzunluğu oblastında fətohəssaslığı yenidən pisləşir. Fətohəssaslığın çökdürmə potensialından asılı olaraq bu cür qeyri-monoton dəyişməsi, CdS nazik təbəqələrinin stexiometrik tərkibinin yalnız potensialın konkret qiymətində alınmasını bir daha sübut edir. Belə ki, katod potensialının optimal qiymətdən böyük və kiçik qiymətlərində katodun səthində termodinamik tarazlığın pozulması və ionların elektrokimyəvi aktivliyinin kəskin fərqlənməsi metal və ya halkogen artıqlığına, metal hidrəksidlərinin yaranmasına və bunun nəticəsində səthi çoxlu sayda qarışıqlardan ibarət olan bir sistemin əmələ gəlməsinə səbəb olur.

-
- [1] J. Zhao, A. Wang, M.A. Green, F. Ferrazza. Applied Physics Letters, v. 73, 1991–1993, 1998.
- [2] O. Schultz, S.W. Glunz, G.P. Willeke. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, v. 12, 2004, p. 553-558.
- [3] R.B. Bergmann, T.J. Rinke, C. Berge, J. Schmidt, J.H. Werner JH. Advances in monocrystalline Si thin-film solar cells by layer transfer. Technical Digest, PVSEC-12, Cheju Island, Korea, 2001, p.11-15.
- [4] R. Venkatasubramanian, B.C. O'Quinn, J.S. Hills, P.R. Sharps, M.L. Timmons, J.A. Hutchby, H. Field, A. Ahrenkiel, B. Keyes. 18.2% (AM1.5) efficient GaAs solar cell on optical-grade polycrystalline Ge substrate. Conference Record, 25th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Washington, p. 31-36, 1997.
- [5] C.J. Keavney, V.E. Haven, S.M. Vernon. Emitter structures in MOCVD InP solar cells. Conference Record, 21st IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Kissimmee, p.141-144, 1990.
- [6] I. Repins, M. Contreras, Y. Romero, Y. Yan, W.Metzger, J. Li, S. Johnston, B. Egaas, C. De Hart, J. Scharf, B.E. McCandless, R. Noufi. Characterization of 19.9%-efficient CIGS absorbers. IEEE Photovoltaics Specialists Conference Record, p.33, 2008.
- [7] J. Kessler, M. Bodegard, J. Hedstrom, L. Stolt. New world record Cu (In,Ga) Se₂ based minimodule: 16.6%. Proceedings of the 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Glasgow, 2000, p. 2057-2060.
- [8] X.Wu, J.C.Keane, R.G. Dhere, C. DeHart, A.Duda, T.A. Gessert, S. Asher, D.H. Levi, P.Sheldon. 16.5% efficient CdS/CdTe polycrystalline thin-film solar cell. Proceedings of the 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Munich, 22-26 October 2001, 995–1000.
- [9] A. Martin, Green, Keith Emery, Yoshihiro Hishikawa and Wilhelm Warta. Progress in photovoltaics: research and applications Prog. Photovolt: Res. Appl., 2011, v. 19, p. 84-92
- [10] Г.М. Мамедов, Г.А. Гасанов, С.И. Аморова. Неорганические Материалы, 2005, т.41, №3, ст.276-280.
- [11] A.Sh. Abdinov, H.M. Mamedov, H.A. Hasanov, S.I. Amirova. Thin Solid Films, 2005, v.480-481, p. 388-391.
- [12] A. Abdinov, H.M. Mamedov, S.I. Amirova. Thin Solid Films, 2006, v.511-512, p.140-142.
- [13] L. Canham. editor. (1997). Properties of Porous Silicon. London: IEE-Inspection.
- [14] O. Bisi, S. Ossicini, L. Pavesi. Surface Science Reports, 38, 1-126, 2000.
- [15] D.H. Oha, T.W. Kim, W.J. Chob. J. Ceram. Process. Res. 9, 57, 2008.
- [16] G.Barillaro, A.Nannini, F. Pieri. J. Electrochem. Soc. C 180, 149, 2002.
- [17] J. Guobin, S. Winfried, A. Tzanimir, K. Martin. J. Mater. Sci. Mater. Electron. 19, 2008, S9.
- [18] F. Yan, X. Bao, T. Gao., Photovoltage spectra of silicon/porous silicon heterojunction, Solid State Commun. 91, 341, 1994.
- [19] M. Ben Rabha, B. Bessans. Enhancement of photovoltaic properties of multicrystalline silicon solar cells by combination of buried metallic contacts and thin porous silicon, Solar Energy 84, 486, 2010.
- [20] S. Yae, T.Kobayashi, T.Kawagishi, N.Fukumuro, H. Matsuda. Solar Energy, 2006, 80, 701.
- [21] A. Ramizy, Z. Hassan, K. Omar, J. Mater. Sci. Elect., 22, Issue 7, 717, 2011.
- [22] Y. Lei, W.K. Chim, H.P. Sun, G. Wilde. Applied physics letters, v.86, 103106-1-5, 2005.
- [23] S.J. Ikhmayies. Nanocrystalline CdS Thin Films Prepared by Vacuum Evaporation, in Characterization of Minerals, Metals, and Materials (eds J.Y.Hwang, S.N.Monteiro, C.G.Bai, J.Carpenter, M.Cai, D.Firrao and B.G. Kim), John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA., 2012.

- [24] *O. Toma, R. Pascu, M. Dinescu, C. Besleaga, T.L.Mitran, N.Scarisoreanu, S.Antohe.* Chalcogenide letters, v 8, no 9, p. 541-548, 2011.
- [25] *C.N.R. Rao, P. John Thomas, G.U. Kulkarni.* Nanocrystals:: Synthesis, Properties and Appl., Springer Science & Business Media, 2007, 188 p.

H.M. Mamedov, Kh.M. Ahmedova, V.J. Mammadova, S.A. Mammadova, S.N. Sarmasov

**ELECTRICAL AND PHOTOELEKTRICAL PROPERTIES OF HETEROJUNCTIONS
*p-Si/porous-Si/nanostructured-CdS***

In this paper heterojunctions of *p-Si/porous-Si/nanostructured-CdS* are manufactured by the methods of electrochemical deposition (CdS) and electrolytic etching (porous-Si). Electrical and photoelectrical properties of heterojunctions are studied depending on the crystallite and pore size, as well as the cathode deposition potential. The optimal size of pores (10 nm), at which the maximum efficiency (5.8%) of heterojunction is provided, is found

Г.М. Мамедов, К.М. Ахмедова, В.Дж.Мамедова, С.А. Мамедова, С.Р. Сармасов

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГЕТЕРОПЕРЕХОДОВ
*p-Si/пористый-Si/наноструктурный-CdS***

В работе методами электрохимического осаждения (CdS) и электролитического травления (пористый-Si) изготовлены гетеропереходы *p-Si/пористый-Si/наноструктурный-CdS*. Электрические и фотоэлектрические свойства гетеропереходов изучены в зависимости от размеров пор и кристаллитов, а также от катодного потенциала осаждения. Установлен оптимальный размер пор (10 нм), при котором обеспечивается максимальная эффективность (5.8%) гетеропереходов.

Qəbul olunma tarixi: 07.10.2016