

GÜNƏŞ BATAREYALARINDA İSTİFADƏ OLUNAN İFRAT NAZİK SİLİSIUM TƏBƏQƏLƏRİNİN PARAMETRLƏRİ

E.Ə. KƏRİMOV

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti,

Azadlıq pros. 16/21, AZ 1010

E-mail: E.Kerimov.fizik@mail.ru

Günəş elementinin uducu xüsusiyyətə malik olan məsaməli təbəqəsinin optimal qalınlığının olması nəzəri və eksperimental cəhətdən göstərilmişdir. Fotovoltaikada geniş istifadə olunan günəş elementlərinin səthinin uduculuğu, yükdaşıyıcıların rekombinasiyasını təmin etmək məqsədi ilə teksturalaşdırma texnologiyası nəzəri cəhətdən əsaslandırılma tələb edir.

Açar sözlər: Günəş enerjisi, spektr, günəş elementi, məsaməli səth, məsamə, fotoelektrik hərəkət qüvvəsi.

UOT: 666.9-129

PACS: 73.40.Ns, 73.40.Sx, 72.10.-d

Silisiyumun məsaməli səthi elektrokimyəvi aşındırma üsulu ilə alınır. Slanedic elektron mikroskopiyaya, qısa qapanma cərəyanının ölçülməsi, aşındırma müddəti göstərir ki, elektronun diffuziya uzunluğu $2/3$ -ə bərabər qalınlığa malik məsaməli səth olduqda, günəş elementinin effektivliyi teksturalaşma olmadığı hala nisbətən 30% artır.

Günəş enerjisinin elektrik enerjisinə çevrilməsi gələcəyin energetikasının perspektiv istiqaməti ilə bağlı mühüm elmi-texniki problemdir. Keçən əsrin ortalarından başlayaraq aşqarlanmış yarımkeçiricilərdə, müxtəlif kimyəvi birləşmələrin heterostrukturlarında fotonların təsiri ilə yaranan elektron və deşiklərin ayrılması metodları bu gün də intensiv olaraq tədqiq olunur [1-3].

Günəş elementlərinin (GE) effektivliyinin artırılması rəngarəngliyi arasında işığın əks olunmasının azaldılması məqsədi ilə onların səthinin teksturalaşdırılmasına xüsusi nəzər salmaq [4-6]. Belə tip tədqiqatlarda elektrokimyəvi aşındırma üsulu ilə məsaməli səthə malik – məsələn, məsaməli silisiyum səthli (məsamə - Si) GE alınır. Məsamələrin ölçüsü 10-103 nm təşkil edir. Silisiyum təbəqələrinin morfoloqiyasının teksturalaşma ilə dəyişməsi 10% tərtibində udulma effekti verir – elə bu qədər də GE-nin faydalı iş əmsalının artması müşahidə olunur. Aydındır ki, bu göstəricilər orta statistik göstəricilərdir. Təbəqələrin yekun fotoelektrik hərəkət qüvvəsi bir çox fiziki və həndəsi faktorların qarşılıqlı təsirindən asılıdır: elektron və deşiklərin generasiya və rekombinasiya mexanizmləri, günəş şüalanması spektrinin effektiv hissəsinin dalğa uzunluğu, məsaməli təbəqənin topoloji və metrik xarakteristikaları. Təbiidir ki, göstərilən faktorları xarakterizə edən parametrlərin optimal dəstinin olması mümkünlüyünü gözləmək olar. Tam şəkildə belə bir tədqiqatların aparılması haqqında ədəbiyyatda elə bir məlumat olmasa da, ayrı-ayrı parametrlərin rolu barədə çoxlu sayda eksperimental faktlar mövcuddur. Parametrlərin optimal dəstinin seçilməsi haqqında universal təlimatlar yalnız nəzəriyyənin eksperimentlə vəhdətində alınabilir.

Təqdim olunan məqalənin əsas məqsədi $p-n$ keçidi üzərində məsaməli silisiyum təbəqəsinin, düşən fotonların təsiri altında elektronların deşiklərlə rekombina-

siyası nəzərə alınmaqla, maksimum generasiyasını təmin edən qalınlığının nəzəri qiymətləndirilməsi və nəticələrin eksperimentlə müqayisə edilməsidir.

n - tip yarımkeçiricinin aşqarlanmış qatında $\hbar\omega$ enerjili, λ dalğa uzunluqlu fotonların əks olunmasını azaldan nanoölçü tərtibində məsamələr mövcuddur. Üst səthdən hesablanan diametr (d), məsamələrin hündürlüyü (x) və məsamələr arasında olan məsafə (l) λ ilə eyni tərtibdə olduğundan, anti əksolunma (udulma) effekti reallaşır. Məsaməli təbəqənin L qalınlığı təxminən yük daşıyıcıların L_D diffuziya uzunluğuna yəni, onların konsentrasiyasının nəzərəcarpacaq dərəcədə azaldığı (e dəfə) məsafəyə bərabər götürülməlidir. Əgər $L > L_D$ olarsa, fotonlar tərəfindən çıxarılan elektronların sayı az, yox əgər $L < L_D$ olarsa, deşiklərlə rekombinasiya edən elektronların sayı çox olacaqdır. Qarşıya qoyulan məsələ hər iki effektin balanslaşdığı x/L_D – nisbi məsafəsinə təyin etməkdir. L_D – diffuziya uzunluğu fiziki parametrlər olaraq, aşağıdakı şəkildə qiymətləndirilir:

$$L_D = \sqrt{Dt} \quad (1)$$

burada, D – konkret yarımkeçiricidə yük daşıyıcıların diffuziya əmsalı; t – yaşama müddətidir. L_D -nin daha əlverişli standart qiymətləndirilməsi Debay radiusu şəklində qiymətləndirilmədir:

$$L_D = \frac{V_t}{\omega_0} = \sqrt{\frac{kT\varepsilon}{Ne^2}} = 4,9 \sqrt{\frac{\varepsilon T(K)}{N(\text{sm}^{-3})}} \text{sm}, \quad (2)$$

burada, V_t – yük daşıyıcıların istilik sürəti; ω_0 – elektronun məxsusi rəqslərinin tezliyi; N – artıq yük daşıyıcıların konsentrasiyası; e – elektronun yükü; ε – mühitin nisbi dielektrik nüfuzluğu; $T(K)$ – mütləq temperaturdur.

Məsamələrin daxilində hava üçün $\varepsilon=1$, silisiyum üçün isə $\varepsilon=11,8$ qiymətlərini alır. Yarımkeçiricinin vahid həcmində $\hbar\omega$ enerjili fotonla hər saniyədə generasiya edən artıq elektron və deşiklərin sayı

$$N = \frac{\beta W}{\hbar\omega}, \quad \hbar\omega \geq E_g, \quad (3)$$

kimi təyin olunur. Burada, W – fotonun $\lambda = \frac{\omega c}{2\pi\sqrt{\epsilon}}$ - dalğa uzunluğunun maksimal udulmanı təmin edən $\lambda/4$ -i qalınlığına malik həcm təbəqəsində günəş şüalanmasının gücü; E_g – yarımkeçiricinin energetik qadağan zonasının eni; β - kvant çıxışıdır.

Yerləşdiyi ərazi və sutka müddəti üçün GE-nin istismarı zamanı günəş şüalanmasının $I(Vt/m^2)$ intensivliyi ölçülür. $W(Vt/sm^3)$ kəmiyyəti I vasitəsi ilə ifadə olunur:

$$W\left(\frac{Vt}{sm^3}\right) = 10^6 I\left(\frac{Vt}{sm^3}\right) \frac{\lambda(m)}{4} \quad (4)$$

Adi şəraitdə: $T=3\cdot 10^2K$, $\epsilon=11,8$, $\beta=1$, $\lambda/4=10^{-7}m$, $I=0,7kVt/m^2$, $\hbar\omega \geq E_g = 2\cdot 10^{-19}C$, $W = 0,7\cdot 10^2 Vt/sm^3$.

(2) və (3) ifadələrindən diffuziya uzunluğunun qiymətləndirilməsi $L_D \approx 10^3$ nm olacaqdır. Göründüyü kimi, diffuziya uzunluğu mikron tərtibindədir, ölçülən fiziki parametrdir və qarşımızda duran sonrakı məsələ x_0/L_D - nin təyin olunmasıdır. Burada x_0 – məsaməli təbəqənin optimal qalınlığıdır.

(3) ifadəsi $\lambda/4$ qalınlığına malik üst təbəqədə elektronların N sayını təyin edir.

$N(x)$ -in $p-n$ keçidi istiqamətində dəyişməsinə nəzərdən keçirək. Fotonların təsiri altında generasiya

edən elektronların sayı məsamələrin x – hündürlüklərinə mütənasibdir:

$$N_g = gp\hbar\omega, \quad 0 \leq p \leq 1, \quad (5)$$

burada, $g-x$ üzrə elektronların generasiyası, p – təbəqənin məsaməlilik əmsalındır.

Rekombinasiya olunmuş elektron – dəşik cütlərinin sayı p və x - kəmiyyətlərinin həm artma və həm də azalmasına mütənasibdir:

$$N_z = zp(1-p)x(L_D - x), \quad (6)$$

burada, z – rekombinasiya əmsalındır.

İki asılı olmayan generasiya və rekombinasiya statistik proseslərinin reallaşmasının birlikdə ehtimalı aşağıdakı kimi hesablanır:

$$P(N_g, N_z) = \frac{gzp^2(1-p)}{N^2} \hbar\omega x^2 (L_D - x) \quad (7)$$

p və x üzrə $P(N_g, N_z)$ -in maksimumlar şərti:

$$\left. \frac{\partial P(N_g, N_z)}{\partial x} \right|_{x=x_0} = 2x_0(L_D - x_0) - x^2 = 0, \quad x_0 = \frac{2}{3}L_D \quad (8)$$

$$\left. \frac{\partial P(N_g, N_z)}{\partial p} \right|_{p=p_0} = 2p_0(1-p_0) - p_0^2 = 0, \quad p_0 = \frac{2}{3}. \quad (9)$$

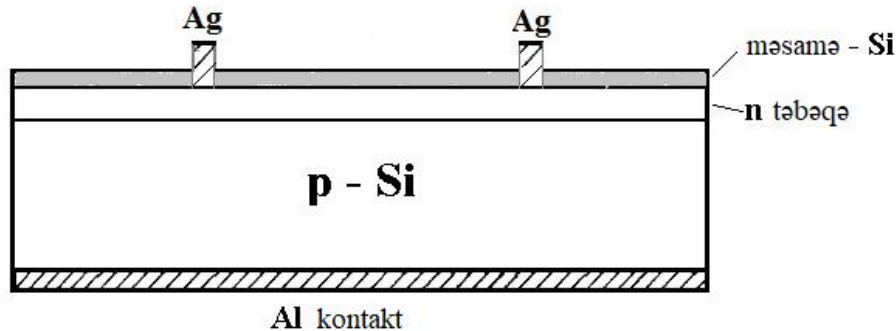
Məsaməlilik əmsalı $p=p_0=2/3$ olduqda məsaməli təbəqənin optimal qalınlığı elektronların diffuziya uzunluğunun $2/3$ -ni təşkil edir.

(8) ifadəsi ilə təsvir olunan qanunauyğunluğun eksperiment zamanı müşahidə olunması mümkünlüyünü aşağıda nəzərdən keçirəcəyik. Nanostrukturlanmış təbəqələrin məsaməliliyinin ölçülməsi və (9) ifadəsinin yoxlanılması isə ayrıca eksperimentin mövzudur.

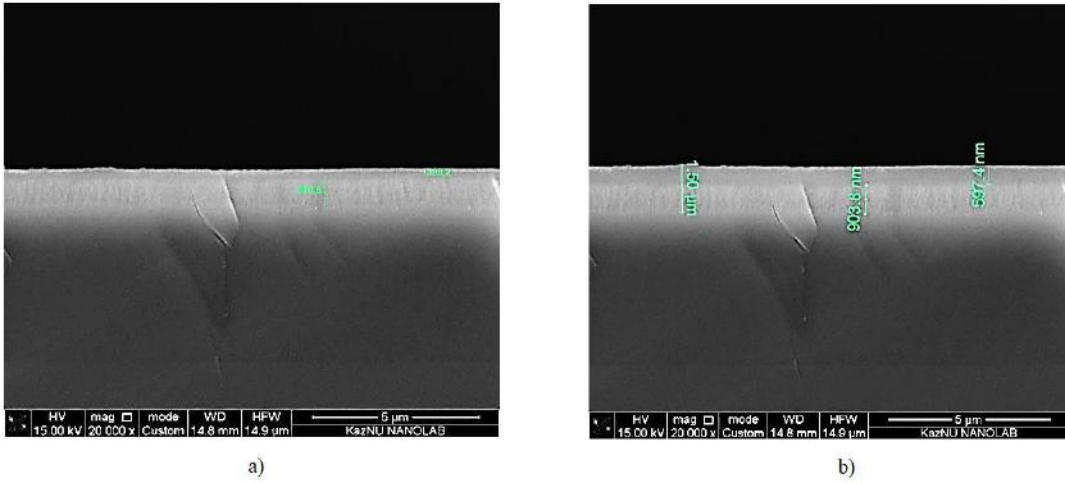
İlkin silisium kimi p -tip keçiriciliyə malik 350mkm qalınlıqlı, 12 Om·sm xüsusi müqavimətli monokristallik silisium istifadə edilmişdir. $p-n$ keçidi fosforun termodiffuziyasının köməkliyi ilə formalaşır. n^+ təbəqənin qalınlığı elektronun diffuziya 700–1500 nm

qalınlığındadır ki, bu da səthin aşındırmasından sonra yaranan məsamələrin $p-n$ keçidinə qədər olan məsafədən az olan hündürlüyünü seçməyə imkan yaradır. Şəkil 1-də məsaməli silisiumlu günəş elementinin konstruksiyası göstərilmişdir.

Gümüş – alüminium kontaktı metal Ag tozlandırılması yolu ilə alınmışdır. Məsaməli silisium n^+ təbəqəsinin səthinin cərəyanın müxtəlif sıxlıqlarında və aşındırmanın müxtəlif müddətlərində elektrokimyəvi anodlamaqla alınır. Elektrokimyəvi anodlama HF elektrolitində həyata keçirilir: anodlama cərəyanının sıxlığı 20 mA/sm² olmaqla 1:1 nisbətində etanol.



Şəkil 1. Məsaməli silisiumlu günəş elementinin konstruksiyası.



Şəkil 2. a) n – təbəqəsinin qısa müddətli aşındırılması zamanı məsaməli silisiumun en kəsiyinin, b) uzun müddətli aşındırma zamanı SEM təsvirləri.

Anodlama cərəyanının sıxlığı və aşındırma müddəti artdıqca, məsaməli örtüyün daxil olma dərinliyi p - n keçidi müstəvisi istiqamətində artır. Günəş elementinin qısa qapanma cərəyanının maksimal qiymət aldığı məsaməli silisiumun effektiv x_0 qalınlığını tapmaq üçün, GE-nin diffuziya n -təbəqəsinin müxtəlif zaman müddətlərində aşındırılması həyata keçirilir.

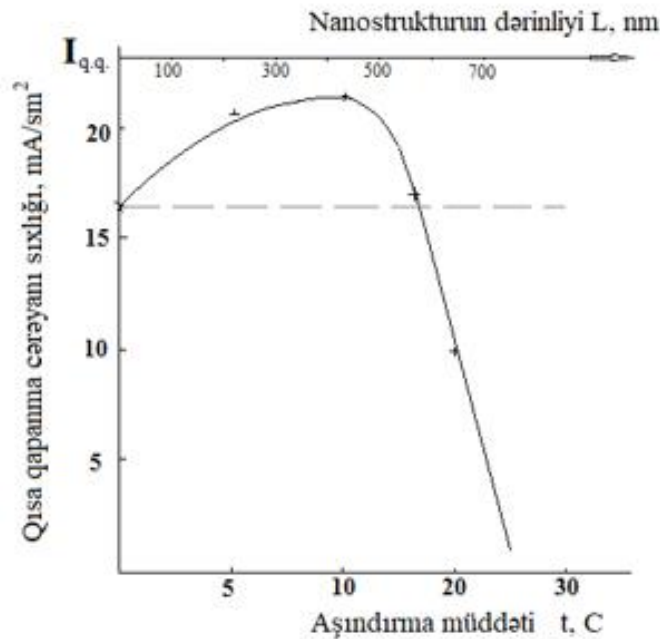
Məsaməli silisiumun p - n keçidini əhatə etməklə en kəsiyinin mikrostrukturunun skanedici elektron mikroskopu (SEM) vasitəsi ilə təsvirləri alınmışdır. p - n keçidin təbəqələrinin və məsaməli strukturun yaxşı görünməsi məqsədilə HF-in yüksək konsentrasiyası və nümunənin volfram lampa vasitəsilə işıqlandırılması istifadə olunur.

Şəkil 2-də a) n - təbəqəsinin qısa müddətli aşındırılması zamanı məsaməli silisiumun en kəsiyinin, b) uzun müddətli aşındırma zamanı SEM təsvirləri gös-

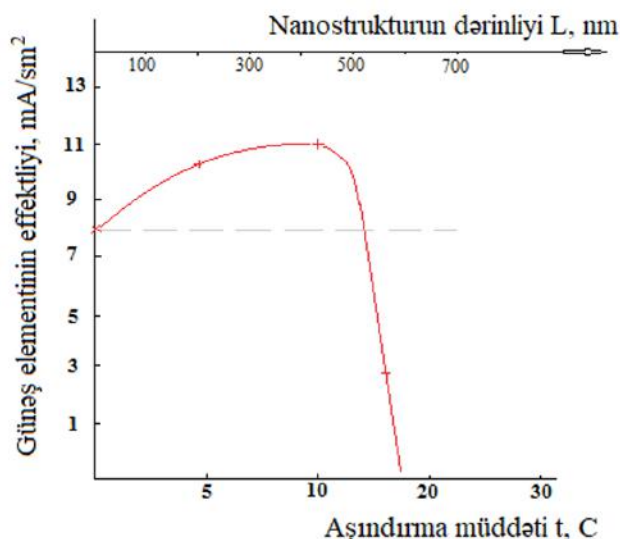
tərilmişdir. SEM təsvirlərdən GE-nin p - n keçidinin oblastları, n – təbəqənin (1,5 mkm) və məsaməli təbəqənin (903,8 nm) qalınlıqları görünür.

Məsaməli təbəqəyə malik GE-nin gücü 87mVt/sm² olan volfram lampa ilə işıqlandırıldıqda qısa qapanma cərəyanları və yüksüz iş rejimində gərginlik, GE-nin volt-ampere xarakteristikasına görə dolma əmsali ölçülmüşdür.

Şəkil 3 GE-nin qısa qapanma cərəyanının sıxlığının maksimal qiymət aldığı məsamələrin effektiv dərinliyinin mövcudluğunu göstərir. Nanoməsamələrin dərinliyi SEM təsvirlərdən təyin olunur (şəkil 2 a, b). Qısa qapanma cərəyanının 22,1 mA/sm² maksimum qiyməti 10 san. aşındırma müddəti və məsaməli silisiumun GE-nin n – təbəqəsinə 420 nm daxil olma dərinliyinə uyğun gəlir. Məsaməli silisium olmadıqda, GE-nin qısa qapanma cərəyanının qiyməti 30%-ə qədər artır.



Şəkil 3. Məsamələrin dərinliyi artdıqca GE-nin aşındırma müddətinə mütənasib olan qısa qapanma cərəyanının sıxlığının dəyişməsi.



Şəkil 4. $p-n$ keçidi istiqamətində n – təbəqəsində məsamələrin dərinliyinin artması ilə GE-nin effektivliyinin dəyişməsi.

Şəkil 4-də $p-n$ keçidi istiqamətində məsaməli n – təbəqəsinin qalınlığının artması ilə GE-nin effektivliyinin dəyişməsi göstərilmişdir. Məsaməli təbəqənin səthdən daxil olma dərinliyi 420 nm olduqda, GE-nin effektivliyi ilkin məsaməli təbəqə olmadığı hala nəzərən müqayisədə 35% təşkil edir.

3 və 4 şəkillərindən görünür ki, GE-nin məsaməli təbəqəsinin maksimal qısa qapanma cərəyanı təmin edən optimal hündürlüyü ($x_{0,l}$) və GE-nin faydalı iş əmsalı ($x_{0,w}$) uyğun olaraq, $x_{0,l} = 0,55$ və $x_{0,w} = 0,70$ olur

ki, bu qiymətlər də nəzəriyyəyə $x_{0,w} \approx (2/3)L_D$ çox yaxındır ($L_D \approx 600$ nm).

İşdə alınmış nəticələrdən günəş elementlərinin effektivliyinin artırılması (35%-ə qədər) üçün istifadə oluna bilər. Günəş elementlərinin parametrlərinin optimal dəstənin mövcudluğu faktının sübut olunması müxtəlif texnologiyaların (elektrokimyəvi tox texnologiyası, səthin lazer emalı texnologiyası, üzvi elementlərin istifadəsi texnologiyası və s.) mükəmməlləşməsinə universal əlavə ola bilər.

- [1] Ж.И. Алферов. Физика и техника полупроводников. 1998, том 32, № 1, с. 3-18.
- [2] П.А. Шилиев, Д.А. Павлов. Полупроводниковые гетероструктуры: гетеропереход. Учебнометодическое пособие. Н. Новгород. 2009, с. 1-18.
- [3] М.С. Нечаев, Д.Ю. Парацук. Квантово-химическое исследование новых редокс-медиаторов на основе комплексов меди и кобальта для фото-электрохимических

- солнечных батарей. Вестник Московского университета. (Серия 3), 2012, № 6, с. 67-70.
- [4] R. Loganathan et al. Journal of Alloys and Compounds, 2014, 616, p. 363- 371, (IF 2.726).
- [5] Л.Е. Воробьев, Л.Г. Голуб, С.Н. Данилов, Е.Л. Ивченко, Д.А. Фирсов, В.А. Шальгин. Оптические явления в полупроводниковых квантово-размерных структурах. Изд-во СПбГТУ. Санкт-Петербург. 2000.
- [6] H. Lindstrom, A. Holmberg, E. Magnusson et al. Nano Letters. 2001, 1 (2), p. 97-100.

Е.А. Керимов

PARAMETERS OF TOP THIN SILICON FILMS USED IN SUNNY BATTERIES

The existence of the optimal thickness of the porous of a solar cell which have an absorbing purpose, has been shown theoretically and experimentally. Among the variety of increasing the efficiency of solar cells, the presence of texturing of their surfaces has been established in order to reduce light reflection.

Э.А. Керимов

ПАРАМЕТРЫ СВЕРХ ТОНКИХ КРЕМНИЕВЫХ ПЛЕНОК, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЯХ

Теоретически и экспериментально показано существование оптимальной толщины пористого слоя солнечного элемента, имеющего поглощающее назначение. Среди многообразия повышения эффективности солнечных элементов установлено наличие текстурирования их поверхностей с целью уменьшения отражения света.

Qəbul olunma tarixi: 20.10.2021