

MİKROELEKTRON ELEMENT VƏ QURĞULAR МИКРОЭЛЕКТРОННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И УСТРОЙСТВА

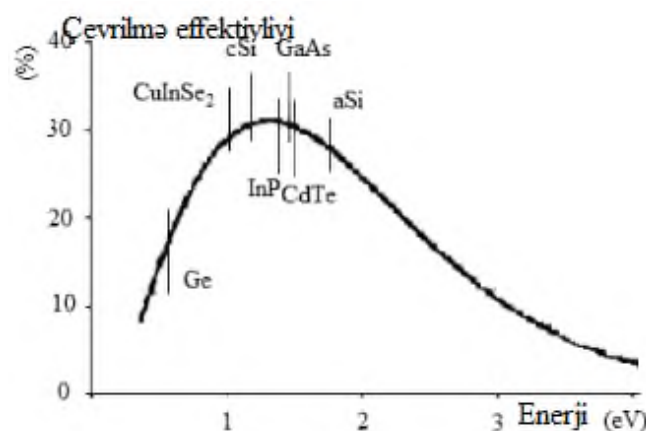
N.M.Muradov, X.S.Talbova (MAKA-nın Kosmik Cihazqayırma
Məxsusi Konstruktor Bürosu)

SİLİSIUM MİKROKRİSTALLARINDAN GÜNƏŞ BATAREYALARINDA İSTİFADƏ İMKANLARININ TƏDQIQI

Giriş. Müasir dövrümüzdə günəş panelləri binaları enerji ilə təmin etmək üçün geniş tətbiq olunur. Dünyada istehsal olunan bütün günəş batareyalarının 95%-dən çoxu silisiumdan (tək kristal, polikristal, amorf, lent və s.) ibarətdir və silisium əsaslı günəş batareyaları yəqin ki, yaxın gələcəkdə bu bazarda lider olacaqdır. Mikroelektronika sənayesi üçün böyük miqdarda istehsal olunan silisiumun günəş elementlərinin dominant rolunun əsas səbəbi yüksək keyfiyyətli olmasıdır. Bundan əlavə, silisium günəş batareyasının istifadə ətraf mühitə o qədər də zərər vurmur.

Silisium mikrokristalları ultrabənövşəyidən yaxın infraqırmızıya qədər dəyişən günəş spektri radiasiyasının fotovoltaiq çevrilməsi üçün əsas materialdır, lakin günəş radiasiyasının kiçik bir hissəsini udur, yəni silisium elementinin iştirakı ilə fotonlara çevirə bilir. Günəş batareyalarında çevrilmənin səmərəliliyinin nəzəri əyrisindən (şəkil 1) görüldüyü kimi səmərəliliyə silisiumun (1,1 eV) əyrisinin maksimumunda (təxminən 1,4-1,5 eV) deyil, ona nisbətən yaxın olduqda nail olunur. İdeal silisium günəş batareyası üçün səmərəlilik təxminən 30%-ə çata bilər.

Silisium mikrokristallarının xüsusiyyətləri. Silisiumun kristalının yüksək əksətdirmə qabiliyyəti ilə yanaşı fotoelektron xüsusiyyətləri (təxminən 30-35%) yüksək konversiya səmərəliliyi ilə günəş batareyalarının hazırlanmasına imkan verir. 300-1100 nm günəş spektri intervalında kristal silisiumun yüksək sındırma indeksi (təxminən 3,5) əksətdirmə örtüyündən (ƏEÖ) istifadə etməklə azaldıla bilən böyük optik itkilər yaradır. Yüksək effektivli ikiqat və üçqat əks etdirən örtüklərin mövcud olmasına baxmayaraq, əksər istehsal edilmiş kristal silisium günəş batareyalarında nisbətən zəif əks-refleks xüsusiyyətlərinə malik sadə və ucuz birqat ƏEÖ-dən istifadə edilir.



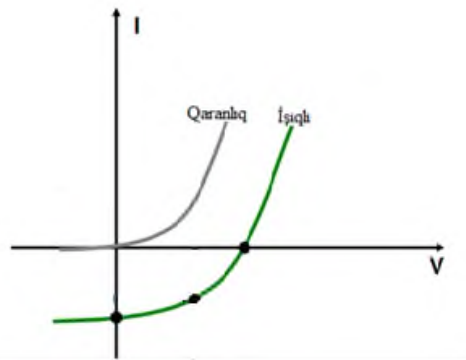
Şəkil 1. Yarımkəçirici band boşluğundan asılı olaraq günəş batareyalarında çevrilmənin səmərəlilik əyrisi (AM1.5, 300K)

Məsaməli silisiumda otaq temperaturunda görünən fotolüminisensiyanın ilk müşahidəsi tənzimlənən sınıma indeksi, böyük səth/həcm nisbəti və məsaməli silisiumun biouyğunluğu səbəbindən geniş spektrli fotonik və bioloji tətbiqlər imkanı yaratmışdır. Bu gün məsaməli silisium günəş batareyası texnologiyası üçün çox idxal olunan və çox yönlü materiala çevrilmişdir. Məsaməli silisiumun kristal quruluşu, kimyəvi, elektrik, fotolüminisens və optik xassələri müxtəlif eksperimental üsullarla geniş şəkildə öyrənilmişdir [1]. Məsaməli silisium otaq temperaturunda məhlullarda silisiumun kimyəvi aşındırma, elektrokimyəvi aşındırma və fotoelektrokimyəvi aşındırması yolu ilə əmələ gələ bilər. Buna görə də kimyəvi texnologiya sadəliyinə və ucuz qiymətinə görə günəş batareyalarının sənaye istehsalına daha çox uyğunlaşdırıla bilər. Qatın məsaməliliyi, qalınlığı, sınıma əmsalı, məsamə ölçüsü və s. formalaşma parametrlərindən (elektrolitlərin tərkibi, cərəyanın sıxlığı, temperatur, kristal oriyentasiyası, qatqı növü və konsentrasiyası və s.) asılıdır. Məsamə və məsamə divarlarının ölçüləri istehsal parametrlərindən asılı olaraq 5-10 nm-dən yüzrlə mikrometrə qədər dəyişə bilər. Məsaməliliyin dəyişdirilməsi ilə əksətdirmənin minimuma endirilməsi (məsamələrdə işığın tutulması hesabına), məsaməli silisium təbəqəsinin zolaq boşluğunun artırılması (PS mikrokristallitlərində yüklərin kvant məhdudlaşdırılması hesabına) imkanları PS təbəqəsinə ƏOÖ kimi istifadə etməyə imkan verir. Son illərdə məsaməli silisium təbəqələri günəş batareyası tətbiqlərində geniş istifadə olunur.

Günəş elementlərinin fotovoltaiq xüsusiyyətləri. Ardıcıl müqavimət R_s və şunt (və ya paralel) müqaviməti R_{sh} olan günəş elementi üçün cərəyan-gərginlik xarakteristikası I aşağıdakı kimi təyin edilir [2]:

$$I = I_0 \{ \exp(qV - I R_s) / A k T - 1 \} + (V - I R_{sh}) / R_{sh} - I_1.$$

Burada I_0 - əks doyma cərəyanı, I_{R_s} - ardıcıl müqavimətdəki cərəyan şiddəti, $I_{R_{sh}}$ - şunt müqavimətindəki cərəyan şiddəti, A - diod ideallıq əmsalı, q - elementar yük, k - Boltsman sabiti, T - mütləq temperatur, I_1 - fotogenerasiya cərəyanı, V - p-n keçidin volt-ampere xarakteristikasıdır. Şəkil 2-də p-n keçidin xüsusiyyətləri göstərilmişdir.



Şəkil 2. p-n keçidin qaranlıq və işıqlı mühitdə cərəyan gərginliyi xarakteristikası

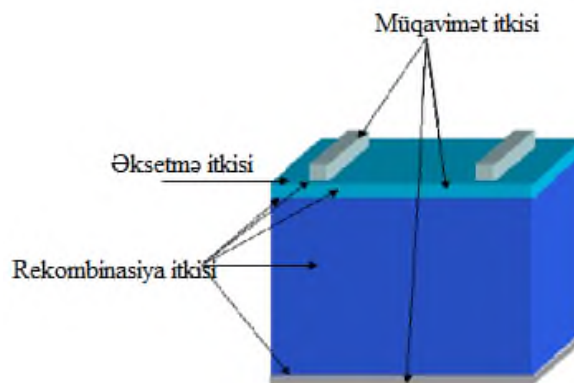
Silisium kristallı günəş batareyaları üçün laboratoriyada təxminən 25% və komməriya baxımından 14% səmərəlilik əldə edilir. Silisium kristallı günəş batareyasının nəzəri səmərəliliyinin həddi təxminən 30% təşkil edir. Sənayedə istehsal edilən silisium günəş batareyalarının səmərəliliyinin nəzəri səmərəliliklə müqayisəsi göstərir ki, komməriya batareyalarında təxminən 85% enerji itkisi baş verir.

Adi enerji mənbələri ilə müqayisədə silisium günəş batareyasının hazırkı səmərəliliyi və qiyməti onlardan daha geniş istifadəni məhdudlaşdırır. Günəş batareyalarının işini yaxşılaşdırmaq üçün enerji itkiləri azaldılmalıdır. Maksimum udma (yəni minimum əks etdirmə), minimum rekombinasiya və ardıcıl müqavimət yüksək effektivlikli günəş batareyasına nail olmaq üçün əsas şərtidir. Silisium kristallı günəş batareyalarında müxtəlif enerji itkilərinin azaldılması ən böyük problem hesab edilir.

Günəş batareyalarında itkilər. Silisium günəş elementlərindəki itkilər aşağıdakılarla əlaqələndirilə bilər:

- (a) rekombinasiya itkiləri;
- (b) ardıcıl müqavimət itkiləri;
- (c) istilik itkiləri;
- (d) metal/yarımkeçirici kontakt itkiləri;
- (e) əksətmə itkiləri.

Rekombinasiya itkiləri səth və kütləvi rekombinasiya, tükənmə bölgəsində rekombinasiya və metal/yarımkeçirici kontaktında rekombinasiya nəticəsində yaranır (şəkil 3).



Şəkil 3. Günəş batareyasında enerji itkilərinin sxematik təsviri

Rekombinasiya itkiləri əsasən açıq dövrə gərginliyinə təsir edir. Yarımkeçiricinin səthində meydana çıxan natamam kimyəvi bağlar fotohəyəcanlı daşıyıcılar üçün tələ rolunu oynayır və buna görə də tələlərdə rekombinasiya fotocərəyanda azalma ilə nəticələnə bilər. Səthin rekombinasiya sürəti S aşağıdakı kimi ifadə edilir.

$$S = \sigma v N_t.$$

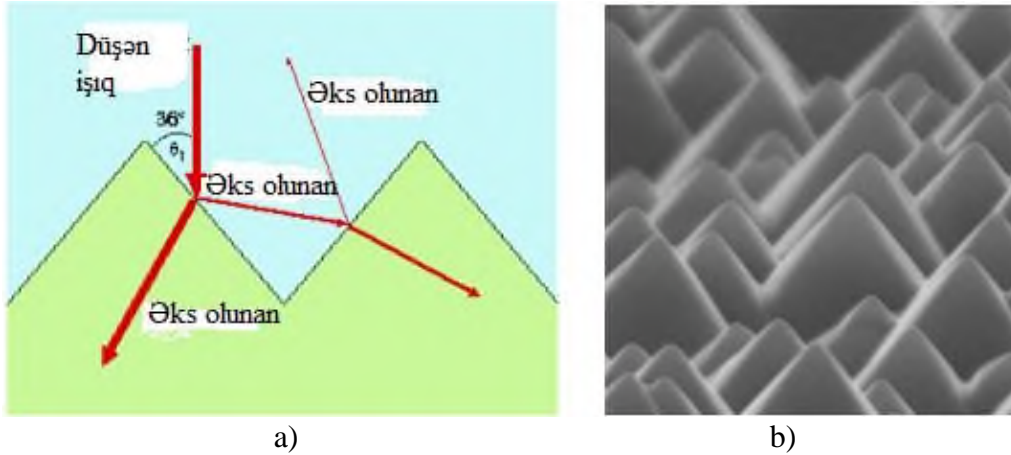
Burada σ və v müvafiq olaraq daşıyıcılar üçün istilik sürəti, N_t - səth tələlərinin sayıdır. Silisiumun səth vəziyyətinin sıxlığının azaldılması üçün standart üsul quru oksigəndə 15 dəqiqə ərzində 800°C -də termal oksidləşmə hesab edilir. Silisiumun səthinin passivləşməsi səthin rekombinasiya sürətinin əhəmiyyətli dərəcədə azalması ilə nəticələnir (8×10^4 -dən $1,6 \times 10^2$ sm/s-ə qədər).

Günəş elementinin ardıcıl müqaviməti bir neçə komponentdən ibarət olduğundan, günəş batareyasının səmərəliliyinin optimallaşdırılması diqqətlə yerinə yetirilməlidir (şəkil 4). Yarımkeçiricinin müqaviməti yüksək keçiriciliyə görə aşağı olduğundan, aşağı şunt müqaviməti dizayn parametridən daha çox emal qüsuru ilə əlaqədardır.

Emitent təbəqənin müqavimətinin azalmasına qatın qatqı konsentrasiyasının və p-n keçidin dərinliyinin optimallaşdırılması ilə nail olunur. (n^+ -p) silisium günəş elementi

üçün keçid qalınlığının və dopinq konsentrasiyasının optimal qiymətləri müvafiq olaraq təxminən $d_{pn} \approx 0,8 \mu\text{m}$ və $n^+ \approx 2 \times 10^{19} \text{ sm}^{-3}$ təşkil edir.

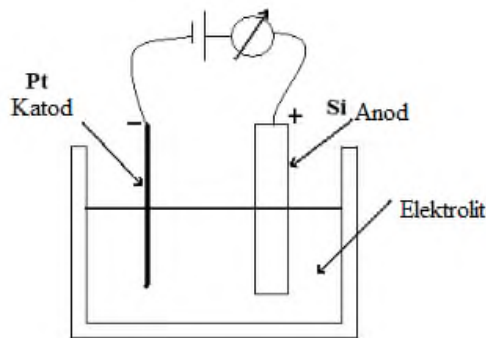
Günəş batareyasının işləməsi zamanı enerji itkilərinin böyük bir hissəsi silisiumun işığa həssas olduğu spektral diapazonda böyük əks etdirmə qiymətinin (təxminən 35%) səbəb olduğu optik itkilərə aid edilə bilər.



Şəkil 4. İşığın əks olunmasının sxematik təsviri (a); teksturalı silisium səthin optik mikroskop şəkli (b)

Məsaməli silisiumun istehsalı və xassələri. Silisiumun elektrokimyəvi aşındırılması sadəcə qatqı səviyyəsini və aşındırma şərtlərini seçməklə məsamə ölçüsünü bir neçə nanometrdən bir neçə on mikrometrə qədər tənzimləmək imkanı verir. Bundan əlavə aşındırma şəraitindən asılı olaraq geniş məsaməli təbəqə qalınlığı, məsaməliliklər, səth sahələri və morfolojiyalar formalaşa bilər.

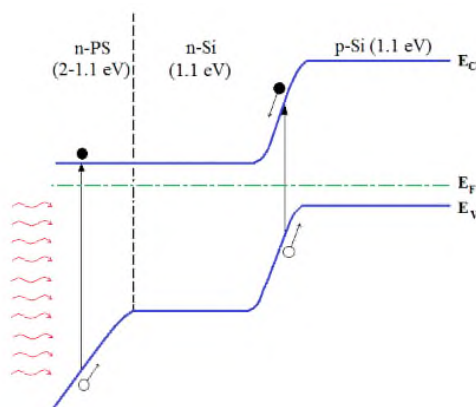
Ən sadə elektrokimyəvi element şəkil 5-də göstərilmişdir. Burada *Si* anod rolunu, platin isə katod rolunu oynayır. *Si* substratında məsaməli silisium təbəqəsinin qalınlığı aşındırma müddəti ilə müəyyən edilir. Məsaməlilik, yəni məsaməli təbəqədəki boşluq hissəsi cərəyan sıxlığı (təxminən 10 - 100 mA/sm²), elektrolitin tərkibi, müqaviməti və *Si* substratının qatqı sıxlığı ilə müəyyən edilir.



Şəkil 5. Anod hüceyrəsinin en kəsiyi görünüşü

Silisium günəş elementində nanoməsaməli silisiumun istifadəsinə dair araşdırmaların icmalı göstərir ki, PS təbəqəsi olmayan batareya ilə müqayisədə PS/Si günəş elementi üçün çevrilmə səmərəliliyində artım (təxminən 25-30%) əldə edilir.

Eyni zamanda PS təbəqəsi olan silisium günəş elementlərinin keyfiyyəti adi günəş batareyalarından daha yüksəkdir. Optik itkiləri əhəmiyyətli dərəcədə azaldan nanoməsəmli silisium təbəqəsi üçün effektiv əksedirmə qiymətinin aşağı olması (3%-ə qədər) PS/Si günəş elementinin fəaliyyətinin yaxşılaşdırılmasının əsas səbəblərindən biridir. Dəyişən zolaq boşluğuna malik məsəmli silisium təbəqəsinin daxili elektrik sahəsi (dərində məsəmliliyin azalması səbəbindən) qısaqapanma cərəyanının artmasına təkan verə bilər (şəkil 6).



Şəkil 6. nPS/(n⁺-p) Si günəş elementinin enerji diaqramı

Nəzərə almaq lazımdır ki, PS təbəqəsinin xassələri və bununla da günəş elementinin fotovoltaiq xüsusiyyətləri işıqlandırma, qızdırma və s. altında işləyəndə dəyişə bilər. Hal hazırda məlum olduğu kimi PS əsaslı günəş elementlərinin müvəqqəti sabitliyinə dair nəşrlərə demək olar ki, az təsadüf edilir. PS/Si günəş elementlərində degradasiya hadisələri ilə bağlı işlər gələcək tədqiqatlar üçün aktual mövzu ola bilər. Bununla da təqdim olunan nəticələrə əsasən belə bir qənaətə gəlmək olar ki, silisium mikrokristallı batareyalar yüksək effektivliyə malik aşağı qiymətli silisium günəş batareyalarının hazırlanmasında istifadə edilə bilər.

Ədəbiyyat siyahısı

1. F. Finger, R. Carius, T. Dylla, S. Klein, S. Okura, M. Günesa "INSTABILITY PHENOMENA IN MICROCRYSTALLINE SILICON FILMS" Journal of Optoelectronics and Advanced Materials. Vol. 7, No. 1, February 2005, p. 83 – 90.

2. <https://www.solarhome.ru/basics/solar/pv/techpveffect.htm>

Н.М.Мурадов, Х.С.Талыбова

Исследование возможностей использования кремниевых микрокристаллов в солнечных элементах

Резюме

Данная статья посвящена обзору исследований по использованию слоев пористого кремния в солнечных элементах, характеристикам структуры и свойств пористых слоев.

N.M.Muradov, X.S.Talibova

Study of the possibilities of using silicon microcrystals in solar cells

Abstract

This article is devoted to a review of research on the use of porous silicon layers in solar cells, the characteristics of the structure and properties of the porous layers.