

**ÇOXLAYLI VƏ SƏTHİ TEKSTURƏ EDİLMİŞ SİLİSIUM
GÜNƏŞ ELEMENTLƏRİNİN FOTOHƏSSASLIĞI****Y.Y.HÜSEYNOV*, V.D.ŞÜKÜROVA*, N.Ə.SƏFƏROV*******Sumqayıt Dövlət Universiteti******Azərbaycan MEA Fizika İnstitutu**

Bu işdə çoxlaylı günəş elementlərinin polyarizasiya spektroskopiyası tətbiq edilməklə fotoelektrik xassəsi tədqiq edilmişdir. Göstərilmişdir ki, çoxlaylı günəş elementləri fotonlarının enerjisi 1,2-2,5eV diapazonda olan qeyri-polyar süalanmaya nisbətən yüksək intensivliyə malikdir. Fotopleoxroizm əmsali şüanın düşmə bucağının artması ilə kvadratik artır. Bu nəticələr optik şəffaflaşma nəzərə alınmaqla müzakirə edilir. Əldə olunan nəticələr belə günəş elementlərindən xətti-polyarizasiya şüalanmasının geniş zolaqlı sensoru timsalında istifadəsinə imkan yaradır.

Günəş enerjisi – alternativ enerji növlərindən biri olaraq külək enerjisi ilə yanaşı daima inkişaf etməkdədir. Fotoelektrik metodla günəş enerjisindən elektroenerji hasilatı üçün yüksək təmizlik dərəcəsi (99,99%) olan silisiumun əldə olunması zəruridir. Bir çox cəhətdən bu xammalın keyfiyyətindən asılıdır. Xammal kimi ən yaxşı nümunələrdən biri təbii-təmiz kvarsitlərdir.

Fotoelektrik metodla elektroenerji hasilatı hələ 1887-ci ildən məlumdur, lakin bunun praktikada geniş yayılmasına alınan elektroenerjinin çox bahalı (6-9 dəfə çox) olması mane olurdu. Fotoelektrik prinsipi ilə işləyən günəş elektrik qurğularının bahalıqı yarımkeçirici fotoelektrik çeviricilərin aşağı faydalı iş əmsalına malik olması, fotoelektrik çevirici qurğular üçün işlədilən yarımkeçirici materialın yüksək qiymətə malik olması və fotoelektrik prinsipi ilə işləyən günəş elektrik qurğularının sənaye üsulu ilə alınmasının zəif olması ilə səciyyələnir. Başqa sözlə desək, günəş elektrik qurğularının istehsalı eksperimental mərhələdən çıxmadı, halbuki, artıq 300-6500kVt-a qədər gücə malik günəş elektrik qurğuları təsir göstərir. Dünya üzrə onların verdiyi hasilat ildə 50 MVt-dan çox təşkil edir. Günəş elektrik qurğularının bazar qiymətinin aşağı salınmasında əsas məsələlərdən biri də yarımkeçirici silisiumun hasilatının maya dəyərini aşağı salınmasıdır. Məsələn, ABŞ-da bu 1kq silisiumun qiyməti 40-100\$ (USA) təşkil edir. Hər halda bu gün müəyyən müvəffəqiyyətlər əldə edilmişdir. Belə ki,

dünyada sənaye üsulu ilə alınan günəş elektrik qurğularının faydalı iş əmsalı 14–15% təşkil edir, bəzi modellərdə isə faydalı iş əmsalı 23%-ə çatır. Son illər sənayesi inkişaf etmiş ölkələrdə günəş elektrik qurğularının sənaye üsulu ilə alınmasının güclənməsi onların maya dəyərini 1kVt üçün 2500-3000\$(USA) qədər aşağı salmışdır. Buna baxmayaraq, günəş elektrik qurğularının elektroenerji hasilatı hələ də yüksək olaraq qalır (1kVtxsaat üçün 0,25-0,56\$(USA) tərtibində).

Çoxlaylı yarımkeçirici günəş elementləri əsasında faydalı iş əmsalını laboratoriya şəraitində eksperimental qurğularda hətta 37%-ə çatdırmaq mümkün olmuşdur. Hesab olunur ki, energetikanın müasir bir qolu kimi günəş elektrik qurğularının istehsalının inkişafı üçün əldə olunan hər 1Vatt gücün maya dəyərini 5-10 dəfə azaltmaq lazımdır/1-5/.

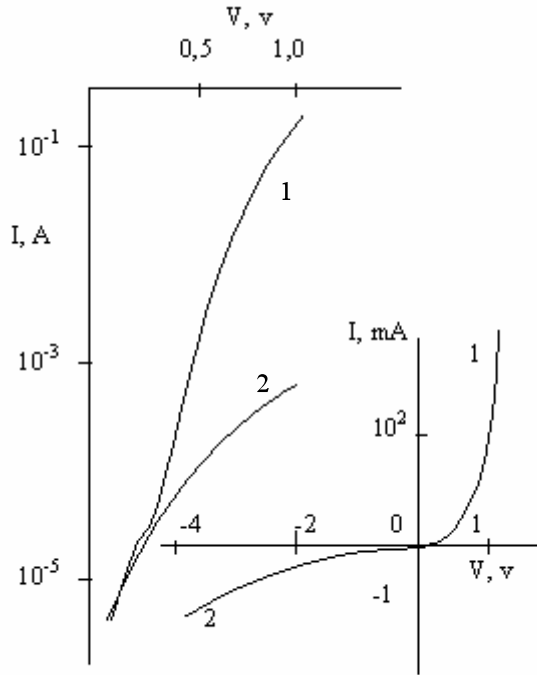
Çoxlaylı günəş elementləri artıq günəş şüasının yüksək effektivli fotovoltaiq çeviriciləri yaradılması yolunda öz tətbiqini tapmışdır. Əsas səbəb budur ki, onların optik və elektrik xassələri belə qurğular üçün optimaldır/6/. Bu işdə tədqiq olunan günəş elementləri günəş şüasının 18% fotoçevrilmə effektivliyinə malikdir. Çoxlaylı günəş elementlərinin alınma proseslərinin optimallaşması və effektivliyinin artması onların fotoelektrik parametrlərinin çoxlaylı strukturun formalaşmasının texnoloji şərtləri ilə qarşılıqlı əlaqəsinin dərinədən öyrənilməsinə tələb edir. Bu işdə polyarizasiya spektroskopiyası metodikası cəlb edilməklə çoxlaylı günəş elementlərinin fotoelektrik xassələrinin kompleks tədqiqinin nəticələri verilmişdir.

Tədqiqatlar səthi teksturə edilmiş və üzərinə SiO₂ – şəffaflaşdırıcı təbəqə çəkilmiş çoxlaylı günəş elementləri üzərində aparılmışdır. 5sm² fəal səth sahəli olan alınmış nümunələrdə atmosfer kütləsi(AK) - 1,5 işıqlanma şəraitində (100mVt/sm²) fotoçevrilmə effektivliyi təxminən 18% səviyyəsində olmuşdur.

Şəkil 1-də belə struktur üçün tipik olan stasionar volt – amper xarakteristika təsvir edilmişdir. Çoxlaylı günəş elementlərində cərəyan buraxma istiqaməti SiO₂-da xarici gərginlik düşgüsünün mənfi polyarlığına cavab verir, hansı ki, bu da heterostrukturun energetik diaqramına uyğundur/3/.

Səkil 1-dən göründüyü kimi (əyri 1), 0,4V-dan yuxarı gərginliklərdə düzünə cərəyan eksponensial olaraq qalxır:

$$I = I_0 (\exp eU / \beta kT - 1)$$



Şəkil 1. Çoxlaylı silisium günəş elementinin stasionar volt-ampere xarakteristikası (1 - düzünə, 2 - əks qoşulma).

Tədqiq olunan elementlər üçün $\beta=2,1$ olmuşdur. β -nın yüksək qiyməti həm də nazik təbəqə əsaslı günəş elementlərinin digər növlərində də məlumdur /3,4/ və fotogenerasiya olunmuş cütlərin fəza yükləri oblastında rekombinasiyası ilə bağlıdır. 0,7V-dan yuxarı gərginliklərdə eksponensial qanundan kənar çıxma günəş elementinin ardıcıl müqavimətinin düzünə volt – amper xarakteristikaya təsiri ilə səciyyələnir. Şəkildən görüldüyü kimi, 0,7V-dan yuxarı oblastda cərəyan şiddəti və gərginlik arasında xətti asılılıq mövcuddur:

$$U = U_0 + R_0 - I,$$

burada U_0 -gərginliyi müxtəlif strukturlarda 0,6-0,7V, R_0 - qalıq müqaviməti 6-160m təşkil edir.

Günəş elementinin əks cərəyan şiddəti 5V –a qədər gərginliyə mütənəsib olaraq artır ki, bu da geriye sürüşmüş strukturlarda yükdaşıyıcıların köçürülməsində əsas təyinedici rol oynayır. Cədvəldə çoxlaylı günəş elementlərinin bəzi parametrlərinin qiymətləri verilmişdir.

Cədvəl 1

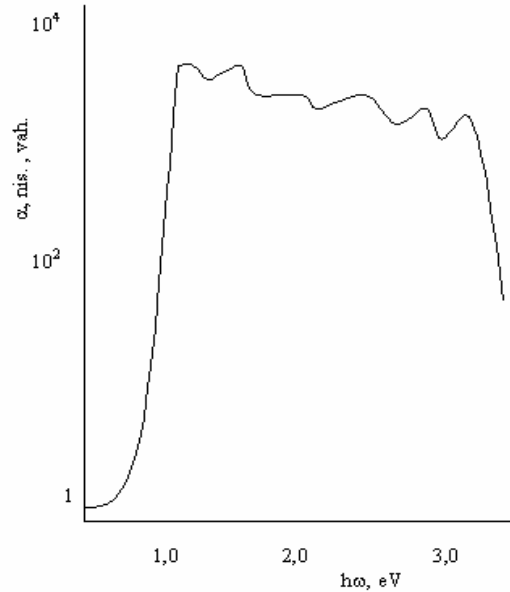
Çoxlaylı günəş elementinin 300K - də fotoelektrik xassəsi

V_0 , volt	R_0 , Om	I , mA(V=1v)	S , eV ⁻¹	$\delta_{1/2}$, eV	V_∞ , volt	I_s ,	U_i ,
						mA/sm ²	volt
0,6	16	0,7	48	1,6	0,62	35	0,62

Çoxlaylı günəş elementlərini işıqlandıran zaman fotovoltaiq effekt baş verir və fotogərginliyin işarəsi SiO₂ – a düşən mənfi pol-yarlıqla cavab verir. Belə elementlərin doldurulma əmsalı tipik yük xarakteristikasına görə təyin edilmiş və 0,75 təşkil etmişdir. Cədvəldə həmçinin AK-1,5 işıqlanma şəraitində sərbəst gediş gərginliyinin və qısa qapanma cərəyanının qiymətləri verilmişdir. Yaxşı elementlərdə $I_{qq} - 35 \text{ mA/sm}^2$ təşkil edir.

Şəkil 2-də qısa qapanma fotocərəyanının düşən fotonların sayına nisbəti kimi hesablanan fotoçevrilmənin α - nisbi kvant effektivliyinin spektral asılılığı verilmişdir. Eksperiment 300K-də fotoqəbuledici səthə normal istiqamətdə qeyri-polyar işıqlanma şəraiti daxilində aparılmışdır.

Göründüyü kimi, çoxlaylı günəş elementlərinin 0,5-3,5eV geniş spektral oblastda fotonəssaslığı müşahidə edilir. α - nın uzundalğalı eksponensial sonluğu yüksək krutizna $S=50\text{eV}^{-1}$ ilə xarakterizə edilir.



Şəkil 2. Çoxlaylı günəş elementinin fotoçevrilmədə nisbi kvant effektivliyinin spektral asılılığı.

Çoxlaylı struktur üçün fotonəssaslığın aydın qısdalğalı sərhədi ilk layda zonalararası keçidlə və fotogenerasiya olunmuş cüt-

lərin elementin aktiv oblastından alt laylarda dəşiklərin diffuzion sürüşmə uzunluğundan çox məsafə qət etməsi ilə bağlıdır. Spektral kontur $I(\hbar\omega)$ tədqiq olunan elementlər üçün yaxşı təkrar olunandır. Müxtəlif elementlər üçün onların spektral xarakteristikasının yarımhündürlükdə tam eni $\delta_{1/2}=1,6\text{eV}$ təşkil edir və təbii şüalanmada genişzolaqlı fotoçevirici kimi xarakterizə edilir. Qeyd etmək lazımdır ki, elementlərin spektral asılılığında ekvidistant piklər sistemi mövcuddur. Bu strukturların ən yaxşısında α – spektrdə 6 pik seçilir. Əgər bunların əmələ gəlməsini şüalanmanın SiO_2 -də interferensiyası ilə əlaqələndirsək, onda qiymətləndirmə ölçülən qiymətlə üst-üstə düşən qalınlığı verir.

Coxlaylı silisium günəş elementlərini SiO_2 - səthinə normal istiqamətdə xətti-polyar şüalanma ilə işıqlandırdıqda qısa qapanma cərəyanı şüalanmanın polyarizasiya müstəvisinin vəziyyətindən asılı deyil. Bu hal isə hazırlanmış heterostrukturlarda təbii fotopleoxroizmin (P) olmamasına dəlalət edir. Belə situasiya səthin teksturə quruluşlu olması nəticəsində ola bilər/7-10/.

Xətti-polyar şüalanmanın düşmə θ - bucağı 0° -dən fərqlənən kimi tədqiq olunan bütün elementlərdə və fotohəssaslığın $0,5-3,5\text{eV}$ – bütün diapazonunda qısa qapanma cərəyanı E işıq dalğasının elektrik vektorunun istiqamətindən (şüalanmanın SiO_2 – fotoqəbuledici səthinə düşmə müstəvisinə nisbətən) asılı olmuşdur.

Tədqiq olunan günəş elementlərin bütün həssaslıq diapazonunda $\theta=\text{const}$ zamanı fotocərəyanın E - ilə düşmə müstəvisi arasındakı φ – azimutal bucaqdan periodik asılılığı aşağıdakı qanunla baş verir:

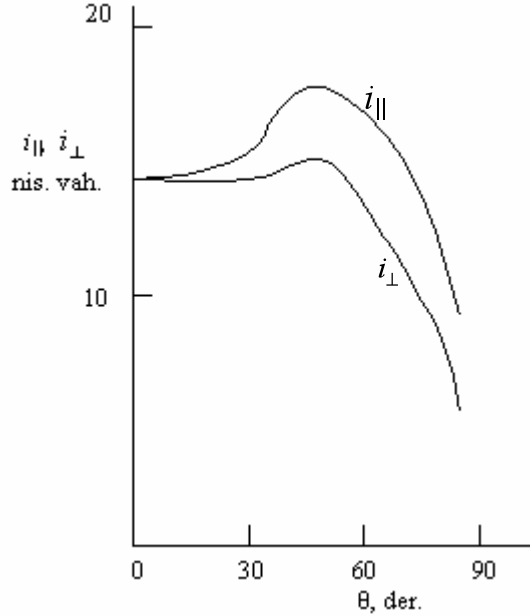
$$i_\varphi = i_\parallel \cos^2 \varphi + i_\perp \sin^2 \varphi$$

burada i_\parallel və i_\perp uyğun olaraq işıq dalğasının elektrik vektorunun istiqaməti E - ilə düşmə müstəviləri bir-birinə paralel və perpendikulyar olduğu hallara uyğun gəlir.

i_\parallel və i_\perp - fotocərəyanlarının xətti-polyar şüalanmanın düşmə θ - bucağından tipik asılılığı şəkil 3-də göstərilmişdir.

Göründüyü kimi, $\theta=0^\circ$ qiymətində i_\parallel və i_\perp - fotocərəyanlarının qiyməti üst-üstə düşür, onlar arası fərq isə $\theta>0^\circ$ olduqda başlayır. Element üçün alınmış bucaq asılılıqları fotopleoxroizm tədqiqinin nəticələri ilə bağlı yeni xüsusiyyətlər aşkar etmişdir/11-15/. Doğrudan da, səkindən göründüyü kimi, i_\parallel və i_\perp - fotocərəyanlarının xarakteri oxşardır. Əvvəlcə onlar θ artdıqca artırlar, verilməmiş hər bir polyarizasiyanın düşmə bucağında öz maksimal qiymətinə çatır və yalnız bundan sonra əyrilər sürətlə düşür. İki mühit hava-keçirici sərhədindən keçən işıq dalğasının amplitud əmsalları üçün Frenel tənəsüblərinə uyğun olaraq, belə xarakter yalnız i_\parallel - üçün olmalı idi. Eyni zamanda, i_\perp - isə $\theta>0^\circ$ olduqda mo-

noton olaraq azalmalı idi/16/. Yarımkəçirici səthinin keyfiyyətinin pisləməsi adətən ona gətirib çıxarırdı ki, hər iki $i_{\parallel}(\theta)$ və $i_{\perp}(\theta)$ asılılığı oxşar olurdu və $\theta > 0^\circ$ olduqca monoton olaraq azalırdılar/17/.



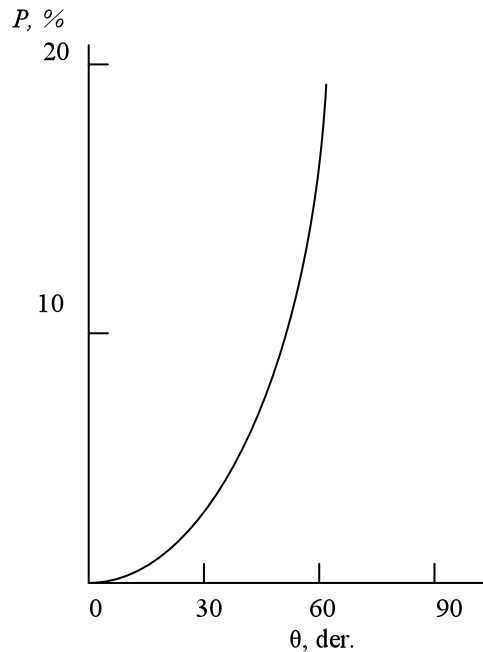
Şəkil 3. i_{\parallel} və i_{\perp} - qısa qapanma fotocərəyanlarının xətti-polyar şüalanmanın elementin fotoqəbuledici müstəvisinə düşmə θ - bucağından asılılığı.

Keyfiyyətli səthə malik yüksək effektivli çoxlaylı silisium günəş elementlərində hər iki polyarizasiya üçün düşmə bucağı artdıqca fotocərəyan da artır (şəkil 3, əyri 1 və 2). Bu hal əks olma zamanı itkilərin qarşısı alınması səbəbindən ehtimal olunur. İşıqlanmanın hər iki polyarizasiyası üçün şəffaflaşma effekti baş verir. Əvvəlki tədqiqatlarda bu effekt özünü göstərməmişdir və buna görə optik proseslər Frenel tənəsübləri ilə nəzarətdə saxlanılırdı/15/.

Xətti-polyar şüalanmanın mail düşməsi ilə səciyyələnən və

$$P_I = \frac{i_{\parallel} - i_{\perp}}{i_{\parallel} + i_{\perp}}$$

nisbəti ilə təyin olunan fotopleoxroizm əmsalı θ - düşmə bucağı artdıqca elementin bütün fotohəssas oblastında axımlı olaraq kvadratik qanunla artır (şəkil 4).



Şəkil 4. Fotopleoxroizm əmsalının xətti-polyar şüalanmanın elementin fotoqəbuledici müstəvisinə düşmə θ - bucağından asılılığı.

Qeyd etmək lazımdır ki, yuxarıda baxılan hər iki $i_{\parallel}(\theta)$ və $i_{\perp}(\theta)$ asılılıqların xüsusiyyətlərindən istifadə etməklə çoxlaylı silisium günəş elementlərində optik örtüklər çəkərkən səffaflaşma effektivinə nəzarət etmək olar. Aydınır ki, tam şəffaflaşmaya o şərt cavab verir ki, bu zaman $\Delta i = i_{\parallel} - i_{\perp}$ - polarizasiya cərəyan şiddətləri fərqi və uyğun olaraq fotopleoxroizm əmsalı sıfıra yaxınlaşır.

Beləliklə, çoxlaylı silisium günəş elementlərinə polarizasiya spektroskopiyası metodu tətbiq etməklə bu elementlərdən xətti-polyar şüalanmada geniş zolaqlı analizator timsalında istifadə etmək mümkünlüyü müəyyən edilmişdir. Çoxlaylı silisium günəş elementlərdə fotoçevrilmənin yüksək effektivliyinə nail olmaq üçün işlədilən optik örtükdəki səffaflaşma prosesi fotopleoxroizm əmsalını zəiflədir ki, bu da yüksək effektivli günəş elementlərinin texnologiyasının inkişafında öz tətbiqini tapa bilər.

ƏDƏBİYYAT

1. Клюй Н.И., Литовченко В.Г., Лукьянов А.Н., Неселевская Л.В., Сариков А.В., Дыскин В.Г., Газиев У.Х., Сеттарова З.С., Турсунов М.Н. Влияние условий осаждения на просветляющие свойства алмазоподобных углеродных пленок для солнечных элементов на основе кремния. Журнал технической физики, 2006, том 76, вып.5. стр.122-126

2. Лебедев А.А., Рудь В.Ю., Рудь Ю.В. Создание и фоточувствительность гетероструктур на основе анодизированного карбида кремния. ФТП, 1998, том 32, №3, стр.326-328
3. Ch.Goradia, M.Ghalla-Goradia. [\(IUCr\) X-ray study of CuGaxIn1-xSe2 solid solutions](#) Solar Cells, 1986, 16, p. 611-630
4. R.R.Potter. Enhanced photocurrent ZnO/CdS/CuInSe2 solar cells. Solar Cells, 1986, vol. 16, p.521-527.
5. Ильчук Г.А., Климова Н.В., Коньков О.И., Никитин С.Е., Николаев Ю.А., Рудая Л.И., Рудь В.Ю., Рудь Ю.В., Теруков Е.И., Шаманин В.В., Юрре Т.А.. Фоточувствительные структуры на основе монокристаллического кремния и пленок фталоцианина CuPc. ФТП, 2004, том 38, №9, стр.1056-1060
6. Yu.V.Rud. Investigation of Donor-acceptor Pair Luminescence from ZnSe. Jpn.J. Appl.Phys., 1986, 32-3, 512
7. Ботнарюк В.М., Жилиев Ю.В., Рудь В.Ю., Рудь Ю.В. Осцилляции наведенного фотоплекроизма в тонкопленочных структурах In(Au)/Si. ФТП, 1999, том 33, №4, стр.425-428
8. Кесаманлы Ф.П., Рудь В.Ю., Рудь Ю.В. Наведенный фотоплекроизм в полупроводниках (Обзор). ФТП, 1999, том 33, №5, стр.513-536
9. Вальтер Т., Рудь В.Ю., Рудь Ю.В., Шок Г.В. Фоточувствительность тонкопленочных солнечных элементов ZnO/CdS/Cu(In, Ga)Se₂. ФТП, 1997, том 31, №7, стр.806-810
10. Андреев В.М. Гетероструктурные солнечные элементы. ФТП, 1999, том 33, №9, стр.1035-1038
11. Рудь Ю.В. [Создание и фоточувствительность гетероструктур.](#) Изв. вузов., Физика, 1986, 29, стр.68
12. Konnikov S.G., Rud' Yu.V., Melebaev D. Photopleochroism of GaP_xAs_{1-x} Surface-Barrier Structures Jpn. J. Appl. Phys., 1993, 32-3, p.515-517
13. Жилиев Ю.В., Назаров Н., Рудь Ю.В. и др. Наведенный фотоплекроизм в тонкопленочных полупроводниках ФТП, 1994, 28, стр.1820
14. Melebaev D., Rud' V. Yu., Rud' Yu. V.. Crystallography Res. Technol., 1981, 31, p.481
15. Medvedkin G.A., Rud' Yu. V.. Photosensitivity of InP/CdS heterostructures in linearly polarized light. Phys. St. Sol. (a), 1981, 67, p.333
16. Azzam R.H., Bashara N.M.. Ellipsometry and Polarized Light (North-Holland, Amsterdam, 1977).
17. Rud' V.Yu., Rud' Yu. V.. 3th Workshop, Expert evaluation and control of compound semiconductors. (Freiburg, Germany, 1996), p.31

ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ МНОГОСЛОЙНЫХ И ТЕКСТРИРОВАННЫХ КРЕМНИЕВЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Я.Ю.ГУСЕЙНОВ, В.Д.ШУКЮРОВА, Н.А.САФАРОВ

РЕЗЮМЕ

Изучены фотоэлектрические свойства многослойных кремниевых солнечных элементов с применением поляризационной спектроскопии. Показано, что солнечные элементы имеют высокую эффективность относительно интенсивности неполяризованного излучения в диапазоне энергий фотонов от 1,2 до 2,5эВ.

Коэффициент фотоплекроизма возрастает с увеличением угла падения падающего излучения. Эти результаты обсуждаются с учетом эффекта просветления. Полученные результаты открывают возможности использования таких солнечных элементов в качестве высококачественных сенсоров линейно-поляризованного излучения и контроля процессов получения высокоэффективных солнечных элементов.

PHOTOSENSITIVITY OF THE MULTIPLE LAYERED AND SURFACE SHADED SILICON SOLAR CELLS

Y.Y.QUSEYNOV, V.D.SHUKUROVA, N.A.SAFAROV

SUMMARY

Photoelectrical properties of multiple layered silicon solar cells are studied by the polarization spectroscopy. It was shown that the multiple layered silicon solar cells are highly efficient in relation to the intensity of nonpolarized radiation in the range of the photon energy from 1.2 to 2.5eV. The induced photopleochroism coefficient increased with the increase of the angle of the oblique in accordance. The results are discussed in terms of the antireflection effect. The results obtained open the possibility of using this heterostructures as broadband linearly polarized radiation photosensors and for controlling the obtaining of making multiple layered silicon solar cells on the basis of ternary semiconductors compounds.