

YÜKSƏK EFFEKTİVLİ GÜNƏŞ ENERJİSİ ÇEVRİLMƏSİNDƏ SİLİSİUM FOTOELEMENTLƏRİNİN TEMPERATUR XASSƏLƏRİ

V.D. ŞÜKÜROVA

Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan

Müəyyən olunmuşdur ki, şüalanma konsentratorunun tətbiqi zamanı elementlərin FİƏ və doldurma əmsalı üçün maksimumlar vardır. Elementlərin gücünün günəş şüalanmasının intensivliyindən asılı olaraq ölçülməsi nəticəsində göstərilmişdir ki, səthi tekstura olunmuş elementlərdə optimal sel konsentrasiyası mövcuddur ki, bu zaman FİƏ maksimaldır. Müəyyən olunmuşdur ki, xüsusi konstruksiya üzərində yerləşən fotoelementlər sistemini su ilə təbii soyutmaqla günəş batareyalarının effektivliyinin kəskin artmasına nail olmaq mümkündür. Aparılmış tədqiqatlar nəticəsində baxılan materialların termodözümlülüyünün nisbi qiymətləndirilməsi alınmışdır, istilik selinin işçi diapazonu təyin olunmuşdur.

İdeal fotoçeviricilərin nəzəriyyəsinə görə işıq selinin konsentrasiyasının artması ilə maksimal FİƏ sərbəst gediş gərginliyi kimi loqarifmik artır. Real fotoçeviricilərin FİƏ-nin artımını məhdudlaşdıran əsas faktor aşqarlanmış təbəqə, baza və kontaktların müqavimətləri kimi təyin olunan daxili ardıcıl müqavimətdə gərginlik düşgüsüdür. Buna görə FİƏ-nin işığın intensivliyindən asılılığı maksimuma malikdir və müqavimətin azalması ilə böyük intensivliklər tərəfə sürüşür. Bu o deməkdir ki, hər bir konkret konstruksiyada optimal konsentrasiyanı hesablamak lazımdır. Bu səbəbdən konsentrə olunmuş şüalanma altında fotoçeviricilərin tədqiqi məsələsi fiksə olunmuş daxili müqavimətdə optimal konsentrasiya dərəcəsini və hər bir şüalanma konsentrasiyasının qiyməti üçün optimal müqavimətin qiymətini təyin etməyə yönəlib. O elementlərdə ki, fotocərəyan əsas tövheni baza oblast verir, burada materialın seçimi FİƏ-na güclü təsir edir [1]. Yükdaşıyıcıların toplanma əmsalı və sərbəst gediş gərginliyi ilə bağlı olan müəyyən bir optimal aşqarlanma səviyyəsi vardır. Bir tərəfdən aşqarlanma səviyyəsinin artması ilə əks doyma cərəyanı və ardıcıl müqavimət azalır ki, bu da çevrilmənin effektivliyinin artmasına gətirir. Digər tərəfdən, aşqarlanma səviyyəsinin artması ilə qeyri-əsas yükdaşıyıcıların yüüklüklüyü və yaşama müddəti kəskin azalır. Real fotoçeviricilərin volt-ampere xarakteristikası üçün aşağıdakı doğrudur.

$$U = \frac{AkT}{q} \ln \left(\frac{J_F - J}{J_0} + 1 \right) - JR \quad (1)$$

Maksimal gücün əldə olunma şərti

$$\partial(UJ)/\partial J = 0 \quad (2)$$

olduğundan, şüalanmanın nisbətən aşağı selində $J_F R \ll AkT/q$, maksimal güc təxminən belə artır:

$$P = \frac{AkT}{q} J_F \ln \frac{J_F}{J_0} \quad (3)$$

və faydalı iş əmsalı $\ln K$ ilə mütənəsis artır.

Böyük intensivliklərdə ($J_F R \gg AkT/q$) maksimal güc zəif artır, FİƏ konsentrasiyadan asılı aşağı düşür:

$$\eta = \eta_0 Q \frac{(AkT)^2}{4E_g R J_F} \ln^2 \frac{J_F}{J_0} \quad (4)$$

Optimal fotocərəyan və işçi cərəyan şiddəti FİƏ-nin maksimum şərti ilə təyin olunur:

$$\partial(JU/J_F)/\partial J_F = 0 \quad (5)$$

yəni

$$J_{fopt} = \frac{AkT}{qR} \left(1 + \frac{1}{\ln \frac{AkT}{e^2 q R J_0}} \right) \quad (6)$$

İşıqlanma intensivliyi 400 W/sm^2 olduqda doldurma əmsalı maksimuma malikdir və 75% təşkil edir. Maksimal FİƏ müqavimətdən asılıdır və $Q(R)$ toplama əmsalı ilə $J_0(R)$ əks cərəyan şiddətlərinin asılılıqları ilə bağlıdır.

$$\eta_{max} = \eta_0 Q(R) \frac{(AkT)}{E_g} \left(\ln \frac{AkT}{e^2 q R J_0 R} - \ln \ln \frac{AkT}{e^2 q R J_0 R} \right) \quad (7)$$

Ardıcıl müqavimətin dəyişməsi zamanı günəş selinin konsentrasiyasının optimal qiyməti $K_{opt} \approx 1/R$ təxmini qanunauyğunluğu ilə dəyişir. Burada R - $\text{Om}\cdot\text{sm}^2$ ilə ifadə olunmuşdur. Müasir dövrdə aşağıomlu baza yarımkeçiricilərin, həcmi kontaktların və optimal kontakt torunun istifadəsi hesabına çox kiçik ardıcıl müqavimətli xüsusi konstruksiyalar yaradılmışdır.

Dünyanın bir çox elmi – texnoloji mərkəzlərində alınmış eksperimental nəticələr ona dəlalat edir ki, qaz və günəş yaxın gələcəkdə əsas və ekoloji təmiz enerji mənbələridir. Yaxın dövrlərə qədər günəş batareyaları nisbətən bahalı monokristallik silisium əsasında hazırlanırdı. İlk silisiumun dəyərinin azalması, günəş elementlərinin hazırlanmasında proqresiv texnologiyalar müasir günəş batareyalarının dəyərinin bir neçə dəfə azalmasına imkan verdi. Günəş elektroenerjisinin dəyərinin azalmasında ikinci istiqamət konsentrə olunmuş günəş şüalanmasının çevrilməsindədir. Bununla bağlı olaraq konsentrə olunmuş günəş radiasiyasında işləyə bilən günəş çeviricilərinə olan tələblər artır. Bu işdə konsentrə olunmuş günəş şüalanması altında işləyən silisium əsaslı fotoelektrik çeviricilərin xarakteristikalarının tədqiqinin nəticələri verilmişdir.

Günəş şüalanması 90% şəffaflığa malik alüminium tor tərəfdən daxil olur. Əksolmanın azalması üçün fotoelementin səthində $\sim 0,05 \text{ mkm}$ qalınlığa malik SiO_2 optik təbəqə

çəkilməmişdir. Hazırlanmış fotoelement nümunəsi məlum olan analoqlar səviyyəsində kvant çıxışa malikdir.

Elementin işçi səthi teksturə olunmuşdur, işçi səthdə kontakt – tor formasındadır və kontakt üçün metal pastanın trafaret çap üsulu ilə çökdürülmüşdür.

Düşən şüalanmanın müxtəlif konsentrasiyalarında fotoelementlərin volt-ampere xarakteristikası çıxarılmışdır. Ölçmələr plastina-radiator sisteminin müxtəlif temperaturunda və ümumi qəbul olunmuş AK1,5(atmosfer kütləsi) spektrində aparılmışdır. Radiator stabil temperaturun saxlanması ilə maksimal istilik ayrılmasına görə seçilmişdir. Günəş radiyasyonunun konsentrasiyasının artması elementin temperaturunun artmasına gətirir. 1400Vt/sm² olduqda temperatur təxminən 52°C təşkil etmişdir. Böyük cərəyan şiddətləri ilə işləməni nəzərə alaraq və aktiv elementin xarakteristikasına cərəyan gətirilən kollektorların müqavimətlərinin mümkün təsirini azaltmaq üçün böyük en kəsiyə malik müqaviməti 0,01Om olan mis naqillərdən istifadə olunmuşdur.

Yeni tip günəş elementləri və batareyaları bir çox industrial məqsədlə tətbiq oluna bilər, məsələn, müxtəlif naqilsiz sensorların qidalanmasında və ya portativ yoxlama-ölçü cihazlarında, idarəetmə pultlarında. 17% effektivliyə malik olaraq, bu günəş elementləri batareyaların xidmət müddətinin kifayət qədər artırılmasına qadirdir, və bu zaman avadanlıqların korpusunda böyük yer tutmayırlar [2].

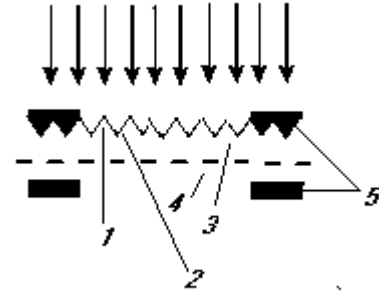
Konsentration olunmuş günəş şüalanmasının çevrilmə perspektivlərinin realizasiyası xüsusi konstruksiyalı, birinci növbədə kiçik ardıcıl müqavimətə və ya yüksək fotokeçiriciliyə malik fotoçeviricilərin yaradılması ilə bağlıdır. Günəş elementlərinin işində mühüm moment onların temperatur rejimidir. Elementin 25°C –dən yuxarı halda bir dərəcə qızması ilə o gərginlikdə 0,002V, yəni 0,4%/°C itirir. Günəş şüasının təsiri ilə fotoelektrik qurğuların işçi hissəsi qızır, nəticədə qurğuların faydalı iş əmsali aşağı düşür. Bu səbəbdən praktikada ikinci ciddi problem – konsentrationlu fotoçeviricilərin yaradılmasında ondan istilik selinin daşınma zərurətidir. Fotoçeviricinin işçi temperaturunun 50-60°C səviyyəsində saxlanması üçün tələb olunan radiator sahəsi konsentrationun midelinin sahəsinə bərabərdir. Buna görə istilikdaşıyıcı sistem ağır və enerjitetumlu ola bilər. Bununla bağlı işıqlanma intensivliyinin artması ilə fotoçeviricilərin temperatur sabilliyinin artması mühüm məsələdir. Çox böyük intensivliklərdə $n - p$ strukturun sərbəst gediş gərginliyinin temperatur qradienti yarımkeçiricinin N_c, N_v icazə olunan zonalarda elektron halının sıxlığı ilə təyin olunur:

$$\frac{dU_{sg}}{dT} = -\frac{k}{q} \ln \frac{N_c N_v}{N_D N_A} \quad (8)$$

Konsentrationlu fotoçeviricilərin tədqiqi zamanı əsas maraq həmişə sərbəst gediş gərginliyinin temperaturdan asılılığı olmuşdur. Belə ki, qısa qapanma cərəyanı yalnız işıq selinin intensivliyindən asılıdır. O yükdaşıyıcıların yaşama müddətinin və kontaktların müqavimətinin dəyişməsi ilə bağlı olan nəzərə alınmaz zəif effektlər nəzərə alınmazsa, praktik olaraq temperaturdan asılı deyil. Amma sərbəst gediş gərginliyi temperaturdan asılıdır və silisium üçün bu dəyişmə təxminən -0,002V/dər təşkil edir. Çıxış gücü sərbəst gediş gərginliyi ilə xətti asılı olduğundan, o uyğun olaraq

temperaturdan asılı 1°C –yə 0,05% dəyişir. Buna görə günəş elementlərinin soyudulması zərurəti yaranır [3].

Bizim eksperiment üçün bu standart şərtlər istifadə olunmuşdur: işıqlanma 1000 Vt/m², başlanğıc temperatur 25°C, AM 1,5 spektri (45° –də günəş spektri)



Şək. 1. Fotoçeviricilərin quruluşu (nümunələr bazası n -tip silisium olmaqla $p^+ - n - n^+$ - quruluşa malikdir. 1- teksturə formalı əksedici örtük; 2 - p^+ - Si; 3 - n -Si; 4 - n^+ -Si; 5 – metal.

Müasir dövrdə praktik tətbiq olunan adi günəş elementlərinin FİƏ 10-19% tərtibdə dəyişirlər. İstifadə olunan hava və maye ilə soyutma metodları qurğuların FİƏ-in artırılmasında qanəedicidir. Bu işdə maye ilə soyutma üsulunu seçərək, təbii konveksiya istifadə olunmaqla su ilə soyutma tətbiq olunmuşdur.

Günəş batareyalarının soyutma kanallarında mayenin konvektiv istilikdaşımına məsələsinə baxaq. Məsələ bu cür modelləşir. İki müstəvi plastin arasında müstəvi maye axınına tədqiq edək. Mayenin axma istiqaməti x oxu ilə üst-üstə düşür. Günəş batareyasının qızan elementləri ilə maye arasında istilik mübadiləsi prosesini şərh edən aşağıdakı istilikkeçirmə tənliyini yazı bilərik:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + v_y \frac{\partial T}{\partial y} = \beta [T - T_0(t)] e^{-i\omega t} \quad (9)$$

Sağ tərəfdəki ifadə maye ilə günəş batareyasının qızan səthi arasında istilik mübadiləsini əks etdirir. (β - istilik mübadiləsi dərəcəsinə xarakterizə edən və həndəsi ölçülərdən asılı əmsəldir).

Eksponensial ifadə soyudan mayenin sirkulyasiyasını göstərir; burada ω - sirkulyasiyanın tezliyidir. Praktik əhəmiyyət kəsb edən maye və günəş batareyalarının işçi səthləri arasında qararlaşmış istilik rejimi bu formula ilə təyin olunur:

$$T(y, t) = T_0(t) + \tilde{\Phi} e^{-i\omega t} \quad (10)$$

Bu düsturdan ω tezliyi ilə temperaturun periodik dəyişməsi görünür.

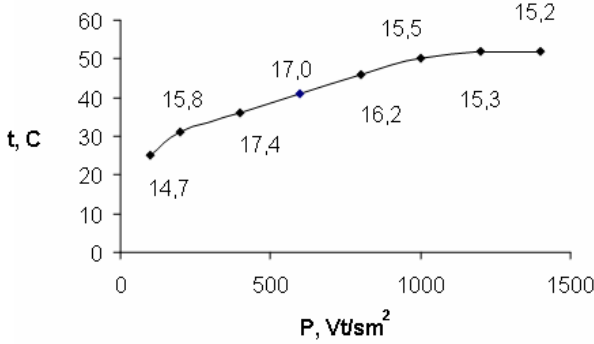
$$\omega = \arcsin \left(\frac{\gamma_2}{\sqrt{\gamma_1^2 + \gamma_2^2}} \right), \quad (11)$$

burada aşağıdakı işarələnmələr qəbul olunmuşdur:

$$\gamma_1 = \frac{\Delta T \omega}{\omega^2 + \beta^2}, \quad \gamma_2 = \frac{\Delta T \beta}{\omega^2 + \beta^2} \quad (12)$$

ΔT – günəş batareyalarının işçi səthinin temperaturunun maksimal azalma qiymətidir.

Başqa sözlə desək, maye işçi səth boyunca axaraq, onu periodik olaraq soyudur və istilik daşıyır. Aydındır ki, bu zaman günəş batareyalarının FİƏ artır. Batareyaların konkret həndəsi forması üçün elə optimal konfigurasiya və konveksiyada maye sürəti seçmək olar ki, bu zaman baxılan effekt maksimal olacaqdır.



Şək. 2. Günəş elementlərinin temperaturunun düşən işıqlanmanın intensivliyindən asılılığı (nöqtələrin yanındakı ədədlər elementlərin FİƏ-dir)

Şüalanmanın artması ilə FİƏ artır. Su ilə soyutma tətbiq olunmaqla elementlərin FİƏ-ni təxminən 1% artırmaq mümkündür. Bütün elementlər spektrin infraqırmızı oblastı üçün şəffafdır ki, bu hal da elementlərin günəş altında az qızmasına səbəb olur və uyğun olaraq onların effektivliyi artır. İntensiv qızma altında işləyən müxtəlif optik detalların hazırlanmasında materialın seçimi məsələsinin həlli zamanı müxtəlif temperaturlarda materialların möhkəmliyi və istilikdözümlülüyü haqqında məlumatlar zəruridir. Bir çox yeni optik materiallar üçün bu cür məlumatlar yoxdur. Buna səbəb materialların özlərinin, o cümlədən aşağı möhkəmlik və istiliyədözümlülük, sıxılmadan çox dartılmaya qarşı aydın nəzərə qarpan zəif müqavimətə malik olan spesifikliyidir. Bütün bunlar ənənəvi mexaniki metodların tətbiqini, məsələn, müxtəlif temperaturlarda dartılma, müəyyən xarakteristikaların təyin olunmasını kifayət qədər çətinləşdirir. Belə şəraitdə optik materialların istiliyə dözümlülüyünün sınağının birbaşa aparılması böyük əhəmiyyət kəsb edir.

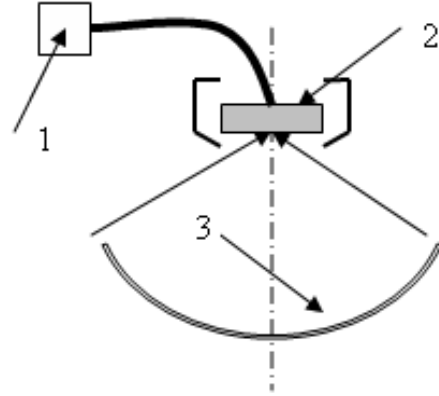
Optik materialların sınağı zamanı yuxarıda göstərilən xüsusiyyətlərini nəzərə alaraq isitmə üsulu və mənbəyinə, xüsusən, mənbənin stabilliyi, isitmədə bircinslilik, çirkləndirici aşqarların olmaması və sadə gərilmə-deformasiya halının olması baxımından yüksək tələblər irəli sürülür. Bu nöqtəyə nəzərdən konsentrasiya olunmuş günəş enerjisinin istifadəsi ilə bir tərəfli qızdırılma şərti ilə dairəvi formada olan təbəqələrin sınağı böyük əhəmiyyət kəsb edir.

Bu işdə prinsiplial sxemi ümumi formada aşağıdakı şəkil 3-də verilmiş qurğuda bəzi optik materialların qızdırılan zaman istiliyə dözümlülüyünün tədqiqinin bəzi nəticələri və metodikası verilmişdir.

Qurğu uzunluğu 40sm və fokus məsafəsi 30sm olan üzvi şüşədən ibarət paraboloid konsentrator əsasında yaradılmışdır. Termocütlü nümunə konsentratorun fokal zonasında yerləşmişdir. İstilik parametrlərinin dəyişməsi nümunənin fokusunun pozulması ilə, yəni onun güzgünün oxu boyunca yerdəyişməsi hesabına əldə olunur.

Şüalanmanın maksimal əldə oluna biləcək sıxlığı bu qurğuda $14kVt/m^2$ tərtibində olmuşdur. Bu tələblər bir çox

praktik hallar üçün təmamilə kifayət edir. Sınağa epoksid və optik yapışqanlı təbəqə ilə olan nümunələr məruz qalmışdır. Elementlər sərbəst olaraq metal çərçivəyə salınmış və xüsusi olaraq bütövlüyü və temperaturu müəyyənləşdirən sensorlarla təchiz olunmuşdur ki, onlar da öz növbəsində dağılma momentini və nümunənin daxili səthinin temperaturunu fiksə edir. Sərbəst yerləşmiş plastinanın səthinin qeyri-bircins qızdırılması zamanı onda təmiz əyilmə ilə səciyyələnən gərilmə-deformasiya halı baş verir. Onun daxili səthində dartılma gərginlikləri olur ki, bu da ən təhlükəli haldır.



Şək. 3. Optik materialların istiliyə dözümlülüyünün tədqiqi üçün qurğunun prinsiplial sxemi (1- termocüt, 2- nümunə, 3- güzgülü konsentrator)

Nazik təbəqələrin termoelastikliyi nəzəriyyəsinə müəyyən olunur ki, belə gərilmələr, həmçinin təbəqənin deformasiyası aşağıdakına bərabərdir:

$$\sigma = -\frac{\alpha E(t_U - t_i)}{1 - \nu}, \quad \varepsilon = \alpha t_U \quad (13)$$

$$t_U = \frac{1}{h} \int_0^h t(x) dx, \quad (14)$$

burada h – təbəqənin qalınlığı; $t(x)$ – qalınlığa görə temperaturun paylanması; E, α, ν – uyğun olaraq Yunq modulu, xətti genişlənmə əmsalı və təbəqə materialının Puasson əmsalıdır.

İstilik keçirmə tənliyindən qalınlığa görə orta inteqral temperaturun ifadəsini almaq çətin deyil:

$$t_U = \frac{q\tau}{hc\rho}, \quad q = \frac{1}{\tau} \int_0^\tau q(\tau) d\tau \quad (15)$$

q – xarici səthə istilik seli; c, ρ – uyğun olaraq materialın istilik tutumu və sıxlığıdır.

Əgər sınağ zamanı nümunədə hər hansı bir anda gərilmə və ya deformasiya özünün limit qiymətinə çatarsa

$$\frac{\sigma_0(1 - \nu)}{E} = T_{kr} - \alpha t_i, \quad \varepsilon_0 = T_{kr} \quad (16)$$

burada σ_0, ε_0 – dartılmaya qarşı möhkəmlik limiti və dartılmaya qarşı deformasiya limitidir ki, bu da daxili səthin aşağıdakı temperaturunda olur

$$T_0 = \frac{\alpha q_0 \tau_0}{hc\rho} \quad (17)$$

$$(T_0 - t_i) / \alpha = \sigma_0 (1 - \nu) / E\alpha \quad (18)$$

Aşağıda $20\text{Vt}/\text{sm}^2$ istilik selində nümunələrin sınağının bəzi nəticələri verilmişdir:

1) Epoksid yapışqan, qalınlığı 3mm - 130°C (sınağ müddəti $\tau = 23\text{san}$)

2) Optik yapışqan, qalınlığı 3mm - 145°C (sınağ müddəti $\tau = 54\text{san}$)

Beləliklə, T_0 kəmiyyəti optik materialların termodözümlülük xarakteristikası kimi qulluq edə bilər. Sınaq zamanı

əgər istilik seli, dağılma müddəti və daxili səthin temperaturu ölçülsə digər xarakteristikalar kimi T_0 kəmiyyətini də təyin etmək mümkündür. Aparılmış tədqiqatlar nəticəsində baxılan materialların termodözümlülüğünün nisbi qiymətləndirilməsi alınmışdır, istilik selinin işçi diapazonu təyin olunmuşdur. Müəyyən olunmuşdur ki, şüalanma konsentratorunun tətbiqi zamanı elementlərin FİƏ və volt-ampere xarakteristikasının doldurma əmsalı üçün maksimumlar vardır. Elementlərin gücünün günəş şüalanmasının intensivliyindən asılı olaraq ölçülməsi nəticəsində göstərilmişdir ki, səthi tekstura olunmuş elementlərdə optimal sel konsentrasiyası mövcuddur ki, bu zaman FİƏ maksimaldır. Müəyyən olunmuşdur ki, xüsusi konstruksiya üzərində yerləşən fotoelementlər sistemini su ilə təbii soyutmaqla günəş batareyalarının effektivliyinin kəskin artmasına nail olmaq mümkündür.

[1] *J. I. Alferov, V.M. Andreev, V.D. Rumyanchev.* Tendenchii I perspektivi razvitiya solnechnoy fotoenergetiki. FTP, 38 (8), 2004, 937-947. (Rusca).

[2] *Y.Yu.Quseynov, V.D.Shukurova* Mnoqosloynie solnechnie elementi prednaznachennie dlya raboti v sistemax s konchentratorami izlucheniya. Vestnik Bakinskogo Universiteta, 2, 2005, 202-207. (Rusca).

[3] *Y.Yu.Quseynov, N.A.Safarov, V.D.Shukurova* Issledovanie kremnievix tekstruirovannix fotopreobrazovateley dlya optimizachii parametrov pri konchentrirrovannix potokax izlucheniya. Sumqait Devlet Universiteti "Elmi xeberler", 5 (3), 2005, 7-10. (in Rusca).

V.D. Shukurova

THE TEMPERATURE CHARACTERISTICS OF SILICON PHOTOCELLS WITH A HIGH PERFORMANCE OF CONVERSION OF A SOLAR ENERGY

It is established, that fill factor and efficiency of photocells have maximum values at the application of radiation concentrator. The measurements of element capacity in the dependence on ratio of solar irradiation show, that optimal flow concentration, at which the efficiency is maximal one, is observed in silicon photocells, passed surface texturing technique. On the basis of the carried work it is established that, one can achieve the essential increase of effectiveness of solar batteries by the way of natural system water cooling, consisting in photocells of special construction. As a result of the carried tests, the comparative estimation of heat resistance of the considered materials is obtained, the working ranges of heat flows are defined.

В.Д. Шукюрова

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРЕМНИЕВЫХ ФОТОЭЛЕМЕНТОВ С ВЫСОКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

Установлено, что при применении концентратора излучения коэффициент заполнения и КПД фотоэлементов принимают максимальные значения. Измерения мощности элемента в зависимости от кратности солнечного излучения показали, что в кремниевых фотоэлементах, прошедших технологию текстурирования поверхности, наблюдается оптимальная концентрация потока, при котором КПД максимально. На основе проделанной работы установлено, что путем естественного водяного охлаждения системы, состоящей из фотоэлементов специальной конструкции можно добиться значительного увеличения эффективности солнечных батарей. В результате проведенных испытаний получена сравнительная оценка термостойкости рассмотренных материалов, определены рабочие диапазоны тепловых потоков.

Received: 16.03.07