

**ՍԱՐՔԱՇԻՆՈՒԹՅՈՒՆ, ՉԱՓԱԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆ ԵՎ  
ԻՆՖՈՐՄԱՑԻՈՆ ՉԱՓԻՉ ՍԱՐՔԵՐ**

ՀՏԴ 621.384.3

**Ռ.Ռ. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ, Դ.Գ. ԱՌՍՏԱՄՅԱՆ, Ս.Ե. ԱՎԵՏՅԱՆ  
ԵՐԿԿՈՂՄԱՆԻ ԱՐԵՎԱՅԻՆ ՄԱՐՏԿՈՑՆԵՐԻ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ  
ՉԱՓՄԱՆ ՄԵԹՈԴ**

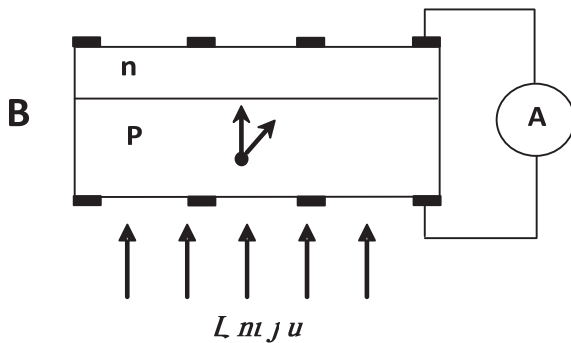
Ներկայումս երկկողմանի արևային մարտկոցների մշակումները և կիրառությունը մեծ զարգացում է ապրում: Այդ տիպի մարտկոցների արդյունավետությունը համեմատաբար մեծ է և հիմնականում որոշվում է մարտկոցների ոչ հիմնական լիցքակիրների ռեկոմբինացիոն պարամետրերով, որոնց չափումները խիստ կարևոր նշանակություն ունեն թե մշակումների և թե արտադրության գործընթացներում: Աշխատանքում նկարագրված է ռեկոմբինացիոն պարամետրերի չափման մշակված նոր արդյունավետ մեթոդ:

**Առանցքային բաներ.** արևային մարտկոց, երկկողմանի, պարամետրեր, լիցքակիրներ, չափումներ:

**Ներածություն:** Երկկողմանի արևային մարտկոցները հանդիսանում են արդյունավետ սարքեր, քանի որ դրանք հնարավորություն ունեն կլանելու արևային ճառագայթների էներգիան երկու կողմերից, ինչը հնարավորություն է տալիս բարձրացնել արևային էներգիայի փոխակերպման արդյունավետությունը [1]: Երկկողմանի արևային մարտկոցները հաճախ նպատակահարմար է օգտագործել նաև արևային կոնցենտրատորային համակարգերում, որտեղ արևի ճառագայթները լուսավորում են մարտկոցի երկու կողմերը [2 - 4]: Արևային մարտկոցների հիմնական բնութագրիչ պարամետրերն են նրանց, այսպես կոչված, ռեկոմբինացիոն պարամետրերը, որոնց թվին են պատկանում ոչ հիմնական լիցքակիրների կյանքի տևողությունը, դիֆուզիոն երկարությունը, դրեյֆային շարժման և մակերեսային ռեկոմբինացիայի արագությունները:

Ներկայումս գոյություն ունեն տարբեր մեթոդներ արևային մարտկոցների նշված պարամետրերը չափելու համար: Սակայն այդ մեթոդները սովորաբար բավականին բարդ են, պահանջում են հատուկ պատրաստված նմուշներ և թույլ են տալիս որոշելու նշված ռեկոմբինացիոն պարամետրերից միայն մեկը: Աշխատանքում ներկայացվում է մեթոդ, որը հնարավորություն է տալիս որոշելու երկկողմանի արևային մարտկոցների բազային տիրույթի ոչ հիմնական լիցքակիրների բոլոր ռեկոմբինացիոն, ինչպես նաև լիցքակիրների տեղափոխման պարամետրերը, այսինքն՝ լիցքակիրների կյանքի տևողությունը, մակերեսային ռեկոմբինացիայի արագությունը, շարժունակությունը, դիֆուզիայի երկարությունը և դիֆուզիայի գործակիցը (հաշվարկվող):

**Չափման մեթոդի նկարագիրը:** Ենթադրենք երկկողմանի արևային մարտկոցի  $p$  բազային տիրույթի կողմը լուսավորվում է մոնոքրոմատիկ լույսով, որի ալիքի երկարությունը ընտրված է այնպես, որ լույսի կլանումը տեղի է ունենում միայն  $p$  տիրույթում (նկ. 1): Ենթադրենք նաև, որ լուսավորվում է նմուշի կենտրոնական տարածքը, որը հեռու է տեղաբաշխված արևային մարտկոցի եզրերից, և որի հետևանքով լույսով գեներացված լիցքակիրները չեն հասնում  $p$ - $n$  անցման եզրային մասերին: Արևային մարտկոցով կլանված լույսի քվանտի էներգիան գեներացնում է ոչ հավասարակշռված լիցքակիրներ, որոնցից ոչ հիմնականները, այսինքն էլեկտրոնները,  $p$  տիրույթից դիֆուզիայի միջոցով տեղաշարժվում են դեպի  $p$ - $n$  անցման սահման, և ստեղծվում է էլեկտրական հոսանք արտաքին շղթայում: Եթե կիրառենք մագնիսական դաշտ, որի լարվածության վեկտորը ուղղահայաց է էլեկտրոնների շարժան ուղղությանը (նկ. 1), ապա էլեկտրոնները կտեղաշարժվեն նախկինի նկատմամբ որոշակի անկյան տակ: Դրա հետևանքով կնվազի դեպի  $p$ - $n$  անցման էլեկտրոնների դիֆուզիոն երկարությունը, և կստեղծվի մի նոր, ավելի փոքր արդյունավետ դիֆուզիոն երկարություն:



Նկ. 1. Երկկողմանի արևային մարտկոցի կառուցվածքը մագնիսական դաշտում

Լուծելով անընդհատության հավասարումը  $p$  տիրույթում էլեկտրոնների համար, հաշվի առնելով, որ ներդրված էլեկտրական դաշտը  $p$ -ում բացակայում է, ինչպես նաև հաշվի առնելով մագնիսական դաշտի ազդեցությունը, ֆոտոհոսանքի էլեկտրոնային բաղադրիչի համար կստանանք հետևյալ արտահայտությունը

$$I_n = \frac{2AqG(1-R)}{N_B} \left( 1 + \frac{S\tau_n}{L_{nB}^2 K} \right), \quad (1)$$

որտեղից՝

$$N_B = \left( I + \frac{S\tau_n}{L_{nB}} \right) \exp\left( \frac{\omega}{L_{nB}} \right) - \left( -I + \frac{S\tau_n}{L_{nB}} \right) \exp\left( -\frac{\omega}{L_{nB}} \right),$$

$$L_{nB} = L_n / \left[ 1 + (\mu_n^* B)^2 \right]^{1/2},$$

որտեղ A-ն լուսավորված մակերեսի մեծությունն է, q-ն՝ էլեկտրոնի լիցքը, G-ն՝ լույսի ինտենսիվությունը՝ արտահայտված ֆոտոնների թվով, որոնք ընկնում են միավոր մակերեսի վրա, R-ը՝ մակերեսի անդրադարձման գործակիցը, S-ը՝ էլեկտրոնների ռեկոմբինացիայի արագությունը մակերեսի վրա,  $\tau_n$ -ը՝ էլեկտրոնների կյանքի տևողությունը,  $L_n$ -ը՝ էլեկտրոնների դիֆուզիոն երկարությունը, k-ն՝ լույսի կլանման գործակիցը,  $\omega$ -ն՝ արևային մարտկոցի p տիրույթի հաստությունը,  $\mu_n^*$ -ը՝ էլեկտրոնների Հոլլի շարժունակությունը, B-ն՝ մագնիսական դաշտի ինդուկցիան:

Մագնիսական դաշտի ազդեցության տակ, փոխելով լույսի ալիքի երկարությունը և կառուցելով  $I_n = f(k-1)$  կախվածությունը, կստանանք ուղիղ գիծ:

Այդ ուղիղ գծի արտարկումը տալիս է՝

$$\alpha_B = \frac{L_{nB}^2}{S\tau_n} \quad (2)$$

հատվածը, որը ներկայացնում է  $k^{-1}$  հորիզոնական առանցքի հետ հատման կետի կոորդինատը, ինչպես նաև

$$\beta_B = \frac{1}{N_B} \quad (3)$$

հատվածը, որը ներկայացնում է  $I_n$  - ի դրական կիսաառանցքի հետ հատման կետը:

Կառուցելով նույն կախվածությունը, երբ արտաքին մագնիսական դաշտ կիրառված չէ ( $B=0$ ), կստանանք  $\alpha$ -ի և  $\beta$ -ի նոր արժեքներ, որոնք ներկայացնում են  $k^{-1}$  -ի և  $I_n$ -ի առանցքների հետ համապատասխանաբար հետևյալ հատման կետերը.

$$\alpha = \frac{L_n^2}{S\tau_n}, \quad (4)$$

$$\beta = \frac{1}{N}: \quad (5)$$

Ոչ հիմնական լիցքակիրների դրեյֆային շարժունակությունը կարող ենք ստանալ (2) և (4) արտահայտությունների հարաբերությունների միջոցով՝

$$\mu_n = \frac{\mu_n^*}{r} = \frac{1}{rB} \left( \frac{\alpha}{\alpha_B} - 1 \right)^{1/2}, \quad (6)$$

որտեղ  $r$  -ը կոչվում է Հոլլի գործոն և բնութագրվում է լիցքակիրների ցրման մեխանիզմով:

Էլեկտրոնների դիֆուզիայի գործակիցը կորոշվի հետևյալ հայտնի արտահայտության միջոցով.

$$D_n = \frac{kT}{q} \mu_n, \quad (7)$$

որտեղ  $k$ -ն Բոլցմանի հաստատունն է, իսկ  $T$ -ն՝ բացարձակ ջերմաստիճանը:

Հաշվի առնելով, որ  $L_n^2 = D_n \tau_n$ , արտահայտություն (4)-ից կարող ենք ստանալ մակերևութային ռեկոմբինացիայի արագությունը հետևյալ տեսքով.

$$S = D_n / \alpha : \quad (8)$$

Էլեկտրոնների դիֆուզիոն երկարությունը, ինչպես նաև  $p$  տիրույթի  $\omega$  լայնությունը կարող ենք որոշել՝ լուծելով (3)-րդ և (5)-րդ հավասարումների համակարգը: Նշենք, որ այս դեպքում (3)-րդ և (5)-րդ արտահայտությունների համարիչներում բերված մեծությունների արժեքները անհրաժեշտ է չափել: Եթե  $\omega$ -ն ընդունենք որպես հայտնի մեծություն, էլեկտրոնների դիֆուզիոն երկարությունը կարող ենք որոշել՝ լուծելով հետևյալ տրասցենդենտ հավասարումը.

$$\frac{\beta_B}{\beta} = \frac{N}{N_B} : \quad (9)$$

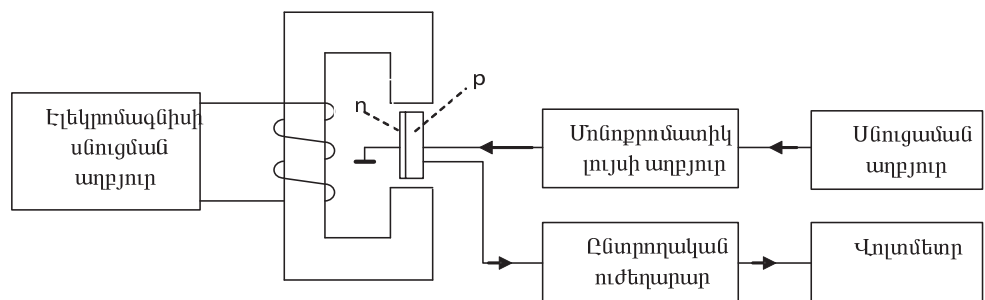
Ոչ հիմնական լիցքակիրների՝ էլեկտրոնների կյանքի տևողությունը կարող ենք որոշել՝ օգտվելով հետևյալ արտահայտությունից.

$$\tau_n = L_n^2 / D_n : \quad (10)$$

Այսպիսով՝ չափելով երկկողմանի արևային մարտկոցի ֆոտոհոսանքը մագնիսական դաշտի ազդեցության տակ և առանց մագնիսական դաշտի, որոշում ենք ոչ հիմնական լիցքակիրների բոլոր կարևորագույն պարամետրերը, այսինքն՝ շարժունակությունը ( $\mu$ ), դիֆուզիայի գործակիցը ( $D$ ), մակերեսային ռեկոմբինացիայի արագությունը ( $S$ ), դիֆուզիոն երկարությունը ( $L$ ) և կյանքի տևողությունը ( $\tau$ ):

Այսպիսով՝ չափելով երկկողմանի արևային մարտկոցի ֆոտոհոսանքը մագնիսական դաշտի ազդեցության տակ և առանց մագնիսական դաշտի, որոշում ենք ոչ հիմնական լիցքակիրների բոլոր կարևորագույն պարամետրերը, այսինքն՝ շարժունակությունը ( $\rho$ ), դիֆուզիայի գործակիցը ( $D$ ), մակերեսային ռեկոմբինացիայի արագությունը ( $S$ ), դիֆուզիոն երկարությունը ( $L$ ) և կյանքի տևողությունը ( $\tau$ ):

**Չափիչ սարքավորման նկարագիրը:** Վերը նկարագրված մեթոդով կատարվել են երկկողմանի արևային մարտկոցի պարամետրերի փորձնական չափումներ: Չափիչ սարքավորման բլոկ-սխեման պատկերված է նկ. 2-ում:



Նկ. 2. Փորձնական սարքավորման բլոկ-սխեման

Որպես մոնոքրոմատիկ լույսի աղբյուր օգտագործվել է  $\lambda 0.7 - 0.8$  տիպի մոնոքրոմատորը: Լույսի ալիքի երկարությունը ընտրվել է այնպես, որ կլանումը տեղի ունենա ամբողջապես արևային մարտկոցի  $p$  բազային տիրույթում: Արևային մարտկոցի նմուշը տեղադրվել է էլեկտրամագնիսի բացակի մեջ և լուսավորվել է  $p$  տիրույթի միջոցով: Լույսի ճառագայթը մոդուլացվել է պտտվող սկավառակի միջոցով, որի վրա արված են անցքեր: Նմուշից ստացված փոփոխական ազդանշանն ուժեղացվել է ընտրողական ուժեղարարով, որից հետո ազդանշանը տրվել է օսցիլագրի մուտքին և չափվել է մ4310 վոլտաչափի միջոցով: էլեկտրամագնիսը սնուցվել է հատուկ սնման աղբյուրից, որն ապահովել է բավարար հոսանք (մինչև 15A)՝ անհրաժեշտ մագնիսական դաշտ ստանալու համար:

Չափումները կատարվել են սենյակային ջերմաստիճանում: Լույսի ալիքի երկարությունը փոխվել է 0.7-ից 0.8 միկրոն: Մագնիսական դաշտի ինդուկցիան հավասար է եղել՝  $B=0.98$  Տլ: Լույսի կլանման գործակցի մեծությունը հաշվարկվել է հետևյալ բանաձևով [5]՝

$$K=0.51\left(\frac{1.2398}{\lambda} - 1.09\right)^2,$$

որտեղ  $\lambda$  – ն լույսի ալիքի երկարությունն է միկրոմետրով:

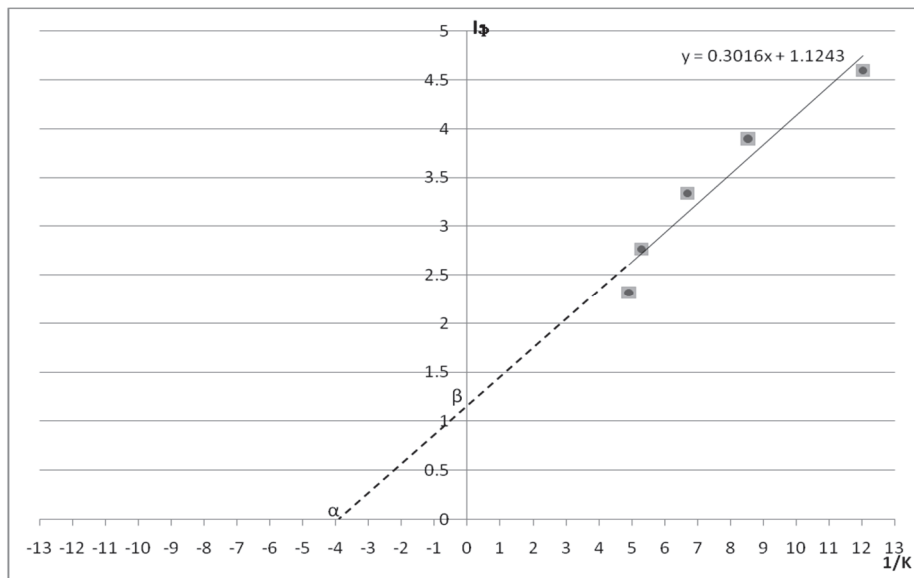
Լոյսի անդրադարձման գործակիցը որոշվել է ըստ [6] աշխատանքի տվյալների: Հոլլի գործոնի մեծությունն ընդունվել է հավասար 1,15 [7, 8]: Նմուշներից մեկի չափումների արդյունքները ներկայացված են աղ. 1 –ում:

Աղյուսակ 1

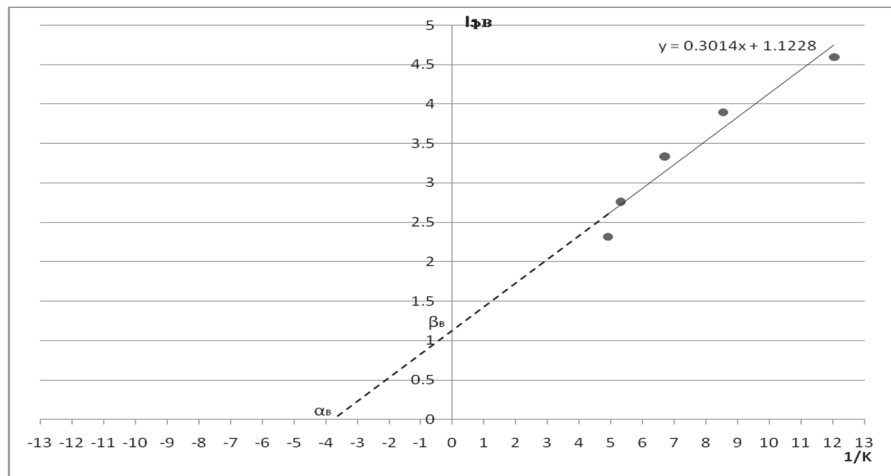
Չափումների արդյունքները

λ (մկմ)	K (մկմ)	1/K (մկմ <sup>-1</sup> )	I <sub>ֆ</sub> (մկԱ)	I <sub>ֆB</sub> (մկԱ) (B=0.98 S <sub>լ</sub> )
0.72	0.20367	4.909893	2.318	2.317
0.73	0.18875	5.298025	2.765	2.762
0.76	0.149442	6.691576	3.339	3.336
0.79	0.117194	8.532836	3.898	3.895
0.83	0.083131	12.02921	4.598	4.595

Ֆոտոհոսանքի կախվածությունը կլանման գործակցի հակադարձ մեծությունից, ինչպես նաև մագնիսական դաշտի ազդեցության տակ ֆոտոհոսանքի կախվածությունը կլանման գործակցի հակադարձ մեծությունից բերված են նկ.3-ում և 4-ում: Փորձնական արդյունքների տվյալների միջինացումը կատարվել է միջին քառակուսային շեղման մեթոդով, օգտագործելով Microsoft Office Excel ծրագրային միջոցը:



Նկ. 3. Ֆոտոհոսանքի կախվածությունը կլանման գործակցի հակադարձ մեծությունից



Նկ. 4. Ֆորտիոսանքի կախվածությունը կլանման գործակցի հակադարձ մեծությունից մագնիսական դաշտի ազդեցության փակ

Գրաֆիկներից ստանալով  $\alpha$ ,  $\alpha_0$ ,  $\beta$  և  $\beta_0$ -ի արժեքները, կարող ենք ստանալ մեզ անհրաժեշտ բոլոր պարամետրերը: Փորձնական նմուշներից մեկի արդյունքները ներկայացված են աղ.2 –ում:

Աղյուսակ 2

Նմուշներից մեկի չափման արդյունքները

	Նշանակումները	# Արտահայտություն	Հաշվարկված արդյունքները տվյալ մեթոդով
Դրեյֆային շարժունակությունը, մ <sup>2</sup> /վ*վ	$\mu_n$	2.4.6	0.0967
Դիֆուզիայի գործակից (եբբ $kT/q=0,026$ վ), մ <sup>2</sup> /վ	$D_n$	2.4.7	$2.4529 \cdot 10^{-3}$
Արտաքին ռեկոմբինացիայի արագությունը, մ/վ	$S$	2.4.8	698.366
Դիֆուզիոն երկարություն, մկմ	$L_n$	2.4.9	84
Կյանքի տևողություն, մկվ	$\tau_n$	2.4.10	2.8

**Եզրակացություն:** Երկկողմանի արևային մարտկոցների պարարամետրերի չափման մշակված մեթոդը հնարավորություն է տալիս որոշելու ոչ հիմնական լիցքակիրների բոլոր կարևորագույն պարամետրերը: Այն համեմատաբար պարզ է, քանի որ ներկայացնում է մարտկոցի ֆորտիոսանքի չափումները

մագնիսական դաշտի ազդեցության տակ և առանց մագնիսական դաշտի: Չափման մշակված մեթոդը կարող է օգտագործվել երկկողմանի արևային մարտկոցների մշակման և արտադրության գործընթացներում:

*Հեղադրությունն իրականացվել է ՀՀ ԿԳՆ ԳՊԿ-ի կողմից տրամադրվող ֆինանսական աջակցության շնորհիվ՝ № 18AA-012 գիտական թեմայի շրջանակներում:*

### **ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ**

1. **Vardanyan V., Vardanyan R., Martirosyan G., Ayvazyan G.** Determination of Parameters of Minority Charge Carriers in Si Solar Cells // 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference. - Paris, France, 7-11 June 2004. – P. 825-827.
2. <https://www.trace-software.com/blog/bifacial-solar-panels-characteristics-and-advantages/>
3. **Satpathy R.** Additional energy yield using bifacial solar PV modules & dependency on Albedo. – Jakson. - P. 12.  
[https://www.ises.org/sites/default/files/webinars/Presentation%20Rabi%20Satpathy\\_ISESWebinar\\_0.pdf](https://www.ises.org/sites/default/files/webinars/Presentation%20Rabi%20Satpathy_ISESWebinar_0.pdf)
4. [www.Solar-Concentrators.com](http://www.Solar-Concentrators.com).
5. **Васильев А.М., Ландсман А.П.** Полупроводниковые фотопреобразователи. - М.: Сов. радио, 1971. - 246с.
6. **Philip H.R., Taft E.A.** Optical constant of silicon in the region 1 to 10 V // Physical Review. - Oct. 1, 1960. - Vol.120. - P. 37-38.
7. **Landolt-Boznstein.** Numerical data and functional relationships in science and techn // Semiconductors. - W.Berlin: Springer-Verlag, 1982. – Vol. 111/17a. – P. 380-381.
8. **Norton P., Braggins T., Lesinstain H.** Impurity and lattice scattering parameters as determined from Hall and mobility analysis in n-tipe silicon // Physical Review,B. – 1973. - Vol. 8. – P. 5632-5653.

**Ր.Ր. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ, Դ.Գ. ԱՐՏԱՄՅԱՆ, Ս.Ե. ԱՎԵՏՅԱՆ**

### **МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДВУСТОРОННИХ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ**

В настоящее время получили широкое развитие разработка и применение двусторонних солнечных элементов. Эффективность этих типов элементов относительно высока и в основном определяется рекомбинационными параметрами неосновных носителей заряда элементов, измерения которых очень важны как в процессе разработки, так и в процессе производства. В работе описан новый эффективный метод измерения рекомбинационных параметров.

**Ключевые слова:** солнечный элемент, двусторонний, параметры, носители заряда, измерения.

**R.R. VARDANYAN, D.G. ARSTAMYAN, S.E. AVETYAN**  
**A METHOD FOR MEASURING THE PARAMETERS OF BIFACIAL  
SOLAR CELLS**

At present, the development and application of bifacial solar cells are in full swing. The efficiency of these types of cells is relatively high and is mainly determined by the recombination parameters of the minor charge carriers of the cells, the measurements of which are very important in both development and production processes. The work describes a new effective method for measuring the recombination parameters.

**Keywords:** solar cell, bifacial, parameters, charge carriers, measurements.

UDC 621.384.3

**R.R. VARDANYAN, T.M. DAVTYAN, D.G. ARSTAMYAN, S.E. AVETYAN**  
**A LOW - COST METHOD FOR MEASURING THE SOLAR RADIATION**

The measurement of solar radiation is an essential task. It is important to develop the solar energy system, as well as to assess the operation of those systems. At present, comparatively expensive devices are used for the solar radiation measurements. In this work, a simple and cost-effective method for the measurement of solar radiation is proposed.

**Keywords:** solar radiation, solar cell, measurement, current.

**Introduction**

In solar energy system design and assessment of their operation it is essential to know the amount of sunlight available at a particular location at a given time. The two common methods which characterize solar radiation are the solar radiance (or radiation) and solar insolation.

The solar radiance is an instantaneous power density in units of  $W/m^2$ . The solar radiance varies throughout the day from  $0 W/m^2$  at night to a maximum of about  $1 kW/m^2$ . The solar radiance is strongly dependent on location and local weather. Solar radiance measurements consist of global and/or direct radiation measurements taken periodically throughout the day. The measurements are taken using a pyranometer (measuring global radiation), a pyrhelimeter (measuring direct radiation) and/or other measuring equipment as the Survey 200R of Seaward. In well-established locations, this data has been collected for more than twenty years.

While solar irradiance is most commonly measured, a more common form of radiation data used in the system design is the solar insolation. The solar insolation is the total amount of solar energy received at a particular location during a