ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА



RENEWABLE ENERGY



СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

SOLAR ENERGY

СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Статья поступила в редакцию 02.04.15. Ред. рег. № 2220

SOLAR POWER PLANTS The article has entered in publishing office 02.04.15. Ed. reg. No. 2220

УДК 53.082.75

International Publishing House for scientific periodicals "Space

ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ РАСТЕКАНИЯ КРЕМНИЕВЫХ ФОТОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПРОИЗВОДСТВА ВИЭСХ С КОНТАКТНОЙ СЕТКОЙ НА ЛИЦЕВОЙ СТОРОНЕ

Б.А. Никитин, В.А. Гусаров, В.В. Харченко

Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ) 109456 Москва, 1-й Вешняковский пр., д. 2 Тел.: 8-905-549-01-21, 8-499-171-19-20, e-mail: cosinys50@mail.ru

Заключение совета рецензентов: 06.04.15 Заключение совета экспертов: 10.04.15 Принято к публикации: 14.04.15

Работа посвящена экспериментальной оценке сопротивления растекания, основной составной части последовательного сопротивления планарных фотопреобразователей, величина которой существенно влияет на эффективность солнечного элемента. В процессе экспериментальных работ рассмотрены несколько подходов к решению поставленной задачи. В основном подходы основаны на исследованиях фрагмента кремниевой структуры, вырезанной из готового серийного преобразователя, позволяющего измерять сопротивление легированного слоя в продольном направлении.

Ключевые слова: легированный слой, контактная сетка, растекания кремниевой структуры.

ESTIMATION OF SIZE OF RESISTANCE OF SPREADING OF SILICIC PHOTOCONVERTERS OF PRODUCTION OF VIESH WITH THE CONTACT GRID ON A FRONT SIDE

B.A. Nikitin, V.A. Gusarov, V.V. Kharchenko

The All-Russian Research Institute for Electrification of Agriculture (VIESH) 2, 1st Veshnyakovskii str., Moscow, 129128, Russia Tel.: 8-905-549-01-21, e-mail: cosinys50@mail.ru

Referred: 06.04.15 Expertise: 10.04.15 Accepted: 14.04.15

Work is devoted to experimental evaluation of resistance spread, the main part of the serial resistance planar photoconverters, which has a significant impact on the efficiency of the solar cell. In the process of experimental works considered several approaches to the solution of the task. The main approaches are based on the research portion of the silicon structures, carved from the finished serial converter, which allows you to measure the resistance of the doped layer in the longitudinal direction.

Keywords: doped layer, the contact grid, spreading of silicon structure.

International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology © Scientific Technical Centre «TATA», 2015



Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» © Научно-технический центр «ТАТА», 2015

Б.А. Никитин, В.А. Гусаров, В.В. Харченко. Оценка величины сопротивления растекания кремниевых фотопреобразователей...



Борис Андреевич Никитин Boris A. Nikitin



Валентин Александрович Гусаров Valentin A. Gusarov



International Publishing House for scientific periodicals "Space"

Валерий Владимирович Харченко Valeri V. Kharchenko

Сведения об авторе: канд. техн. наук., старший научный сотрудник ВИЭСХ. Образование: Всесоюзный заочный Политехнический институт (1966), инженер-электрик. Область научных интересов: возобновляемые источники энергии, энергоснабжение, энергоэффективность.

Публикации: 186.

Information about the author: PhD, senior researcher, VIESH. Education: All-union in Absentia Polytechnic Institute, 1966, electricial engineer. Research area: renewable energy sources, energy supply, energy ef ficiency. Publications: 186.

Сведения об авторе: канд. техн. наук, зав. лабораторией ВИЭСХ. Образование: Московский инженерно-строительный институт (1981), инженер-строитель. Область научных интересов: возобновляемые источники энергии, энергоснабжение, энерэффективность.

Публикации: 76.

Information about the author: PhD, head of laboratory, VIESH. Education: Moscow Engineering Building Institute, 1981, builder engineer. Research area: renewable energy sources, energy supply, energy efficiency. Publications: 76.

Сведения об авторе: д-р техн. наук, главный научный сотрудник ВИЭСХ. Образование: Ташкентский Политехнический институт (1961), инженер технолог. Область научных интересов: возобновляемые источники энергии, энергоснабжение, энергоэффективность.

Публикации: 244.

Information about the author: DSc, main research worker, VIESH. Education: Tashkent Polytechnic Institute, 1961, process engineer. Research area: renewable energy sources, energy supply, energy efficiency. Publications: 244.

electrical engineer, civil engineer, engineermoscow institute of civil engineering

Эффективность работы кремниевого фотоэлектрического преобразователя (солнечного элемента) в значительной мере определяется величиной его последовательного сопротивления. Как показано в работе [1], последовательное сопротивление фотопреобразователя в основном определяется сопротивлением базового слоя и сопротивлением растекания вдоль легированного слоя.

Основной задачей экспериментальных и теоретических исследований является поиск путей снижения этих компонент последовательного сопротивления фотопреобразователя. Сопротивление базового слоя преобразователя можно уменьшить, либо увеличивая в нем уровень легирования (не снижая времени жизни носителей заряда), либо уменьшая его толщину до размеров глубины проникновения в нее фотонов, длина волны которых определена границей поглощения данного полупроводника.

В той же работе [1] отмечено, что единственной величиной, которую в обычных конструкциях преобразователей нельзя принципиально устранить, является сопротивление растекания легированного слоя полупроводниковой структуры.

С целью увеличения эффективности преобразователя легированный слой (он же мертвый слой для поглотившейся в нем значительной коротковолновой

International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology © Scientific Technical Centre «TATA», 2015



Международный издательский дом научной периодики "Спейс

части фотонного потока солнечного излучения) делается предельно тонким (около 1 мкм). По этому тонкому легированному слою, вдоль него, протекает генерированный в преобразователе рабочий ток. Его заметное (из-за тонкости слоя) сопротивление при достаточно больших рабочих токах до 40 мА/см² приводит к существенному падению напряжения преобразователя.

В указанной выше работе приведена оценка сопротивления легированного слоя полупроводника для современного уровня промышленной технологии, которая составила величину 3 Ом для фрагмента квадратной формы слоя и которая не зависит от длины выбранного квадрата.

Целью настоящей работы является попытка оценки величины сопротивления растекания кремниевых фотоэлектрических преобразователей, серийно выпускаемых в ВИЭСХ с восьмидесятых годов прошлого века.

Для этого из готового фотопреобразователя ФЭП-100 была вырезана центральная часть длиной 90 мм и шириной 30 мм, содержащая поперечные тонкие контактные полосы. К концам вырезанной структуры были припаяны луженые шинки с целью измерения токов и напряжений. Виды этой структуры показаны на рис. 1.



Рис. 1. Структура кремниевой пластины, вырезанной из преобразователя ФЭП-100 и подготовленной к плановым экспериментам:
1 – поперечные контактные полоски (металл);
2 – лицевые (2 шт.) шинки (металл); 3 – легированный слой полупроводника (*n*-тип); 4 – обедненная область – область *p*-*n*-перехода; 5 – базовый слой полупроводника (*p*-тип); 6 – тыльная продольная шинка (металл)
Fig. 1. Structure of silicon wafer, carved from a ФЭП-100 and prepared for the planned experiments:
1 – transverse contact strips (metal); 2 – two facial splints (metal); 3 – the doped semiconductor layer (*n*-type); 4 – depletion region – the region of *p*-*n*-junction; 5 – the base semiconductor layer (*p*-type); 6 – the rear longitudinal splint (metal)

Первый подход к оценке величины сопротивления растекания подготовленной кремниевой структуры заключался в непосредственном измерении величины сопротивления легированного слоя с помощью мультиметра между двумя лицевыми шинками. Сопротивление всего легированного слоя, заключенного между двумя лицевыми шинками, составило: 35 Ом – в темновом режиме; 3,5 Ом – в условиях засветки на уровне АМ-1,5.

В связи с тем, что опорное напряжение мультиметра в режиме измерения сопротивлений 2К составляет величину 3,0 В, что существенно превышает потенциал на *p*-*n*-переходе кремниевого фотопреобразователя, то полученные результаты измерений сопротивления следует рассматривать как результирующие трех параллельно соединенных ветвей в соответствии с оговоренной выше структурой преобразователя согласно рис. 2.



Рис. 2. Схема параллельного соединения трех токопроводящих ветвей в кремниевой структуре при измерении сопротивления между лицевыми шинками A и Б Fig. 2. The scheme of parallel connection of three conducting branches in silicon structure at measurement of resistance between front splints A and Б

Международный издательский дом научной периодики "Спейс

На рисунке: R_{ner} – искомая величина сопротивления легированного слоя; $R_{базы}$ – сопротивление базового слоя с возможным влиянием *p*-*n*-перехода (продольное); R_{n-p} и R_{p-n} – сопротивления базового слоя (поперечного с учетом влияния *p*-*n*-перехода относительно тыльного контакта (шинки).

Измеренные значения сопротивлений между тыльной шинкой и лицевыми А и Б составили: *R*_{прям} = 346 Ом; *R*_{обр} = 1700 Ом.

Если принять, что сопротивление легированного слоя равно сопротивлению базового слоя (поскольку концентрации легированного слоя и базового слоя отличаются на два порядка, на столько же в обратную сторону могут отличаться и толщины этих слоев), то искомая величина *R*_{лег} будет близка к 70 Ом.

Более тонкую корректную оценку сопротивления легированного слоя фотопреобразователя первый подход дать не может.

Второй подход к оценке сопротивления легированного слоя кремниевой структуры с *p-n*-переходом заключался в пошаговом измерении падения напряжения при подаче на шинку А относительно тыльной шинки С небольшого (до 0,5 В) напряжения согласно схеме рис. 3.

International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology © Scientific Technical Centre «TATA», 2015





Рис. 3. Схема подачи на кремниевую структуру напряжения от внешнего источника питания и измерения падений напряжений на тонких контактных полосках лицевой стороны Fig. 3. The scheme of giving on silicon structure of tension from the external power supply and measurement of falling of tension on thin contact strips of the face

На рисунке: 1 – кремниевая структура с *p-n*переходом; А и Б – лицевые шинки; С – тыльная шинка; ХИ – химический источник тока (батарейка); ~ R – переменный резистор; Атр – измеритель тока; V₀ – измеритель напряжения на контактах A и C; V_i – измеритель напряжения на *i*-й полоске структуры. Результаты пошаговых измерений падения напряжения на исследуемой кремниевой структуре с р*п*-переходом представлены на рис. 4.



Рис. 4. Экспериментальная зависимость падения напряжения по длине легированного слоя кремниевой структуры с p-n-переходом при подаче на нее базового напряжения 0,347 мВ между тыльным контактом и лицевым контактом А. Размер шага 2,7 мм. Интегральный ток 87 мкА Fig. 4. Experimental dependence of power failure on length of the alloyed layer of silicon structure with *p*-*n*-transition when giving to it the basic tension of 0,347 mV between back contact and front contact A. The step size 2.7 mm. Integral current 87 µA

Как следует из анализа рис. 4, падение напряжения между шинкой А и контактными поперечными полосками с увеличением длины легированного слоя структуры заметно увеличивается нелинейно.

Исследование характера этого возрастания показало, что пошаговый прирост наблюдаемого падения напряжения (практически производная) близок к линейному.

На рис. 5 показано изменение этого приращения по длине легированного слоя исследуемой структуры.



Рис. 5. Характер изменения пошагового прироста падения напряжения в зависимости от номера контактной поперечной полоски исследуемой кремниевой структуры с р-п-переходом

Fig. 5. Nature of change of a step-by-step gain of power failure in dependence of number of a contact cross strip of the studied silicon structure with p-n-transition

Из анализа рис. 5 следует, что величина тока в *i*-м интервале полос с уменьшением расстояния до контакта А монотонно возрастает.

Следует учесть, что через ближайшую область легированного слоя структуры к контакту А должен протекать практически весь ток, измеренный прибором А₀.

Монотонная величина прироста тока $\Delta I_{\text{мок}}$ определится выражением

$$I_0 = 0,5n^2 \Delta I_{\text{MOK}},\tag{1}$$

Международный издательский дом научной периодики "Спейс

где I_0 – полный ток, протекающий по структуре; n – число легированных площадок, включая и площадки, затененные шинками А и Б, т.е. 30 шт.

Из чего следует, что $\Delta I_{\text{мок}}$ составит:

$$\Delta I_{\text{MOK}} = 2I_0/30^2 = 2 \cdot 87/900 = 0,193 \text{ MKA}$$
. (2)

Величина тока, проходящего по легированному слою первой площадки от контакта А, оценится практически полным током $I_0 = 87$ мкА.

Зная при этом падение напряжения на этой площадке (2,2 мВ) согласно рис. 4, можно найти и сопротивление каждого шага по 2,7 мм кремниевой структуры: $R_{\rm m} = \Delta U_1 / I_0 = 2,2$ мВ/87 мкА ≈ 25 Ом

Сопротивление растекания R_v для этой площадки исследуемой структуры, которая имеет длину 2,7 мм и ширину 30 мм, составит

$$R_{\Box} = 25 \text{ Om} \cdot 30/2, 7 = 255 \text{ Om}.$$
 (3)

Эквивалентное сопротивление множества квадратных участков легированного слоя исследуемой кремниевой структуры определится выражением

International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology © Scientific Technical Centre «TATA», 2015

$$R_{\rm _{5KB}} = 255 S_{\rm min} / S_{\rm _{cTPYK.}} \text{ Om}, \qquad (4)$$

где S_{\min} – площадь квадрата со стороной (0,5×2,7), т.е. полшага; $S_{\text{струк}}$ – площадь структуры между шин-ками А и Б.

Численное значение параметра всей структуры составит

$$R_{_{3K6}} = 255(1,35^2/30\cdot25) = 0,62 \text{ Om.}$$
(5)

Следует отметить, что экспериментально полученное темновое значение $R_{\rm np} = 255$ Ом во много раз превышает теоретическое согласно работе [1] значение $R_{\rm T} = 3$ Ом.

В связи с этим оценка этого параметра легированного слоя была проведена также в условиях засветки на уровне AM 1,5.

Третий подход к оценке сопротивления растекания легированного слоя кремниевой структуры с *p-n*переходом заключается в пошаговом измерении напряжения при освещении ее на уровне стандартного солнечного излучения в условиях закоротки шинки А с базовым слоем (шинкой С). Схема эксперимента приведена на рис. 6.



Рис. 6. Схема проведения эксперимента пошагового измерения напряжения на тонких контактных полосках кремниевой структуры с *p*-*n*-переходом в условиях ее засветки на уровне AM 1,5
 Fig. 6. Scheme of carrying out experiment of step-by-step voltage measurement on thin contact strips of silicon structure with *p*-*n*-transition in the conditions of its flare at the level of AM 1.5

На рисунке: 1 – легированный слой; 2 – обедненная носителями зарядов область; 3 – базовый слой; А и Б – металлические шинки лицевые; С – тыльная шинка; А_i – измеритель тока; V_i – измеритель напряжения.

Результаты измерений, проведенных согласно схеме рис. 6, представлены на рис. 7.

Из анализа данных рис. 7 следует, что на первой фоточувствительной полоске, размером 2,7×30 мм, падение напряжения составляет 178 мВ при протекании по ней 52 мкА.





Сопротивление этой полосы оценится:

$$R_{\rm n} = 178/52 = 3,4 \text{ kOm.}$$
(6)

При этом сопротивление квадратной площадки этого легированного слоя составит величину

$$R = 3,4.30/2,7 \approx 38 \text{ kOm.}$$
(7)

Международный издательский дом научной периодики "Спейс

Полученный результат оценки сопротивления растекания кремниевой структуры с *p-n*-переходом значительно превышает теоретический расчет работы [1].

В качестве четвертого подхода к вопросу оценки последовательного сопротивления фотопреобразователя рассмотрена ВАХ серийного ФЭП-100 с высоким коэффициентом полезного действия. Характеристика представлена на рис. 8.





International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology © Scientific Technical Centre «TATA», 2015



Полная площадь преобразователя 78,5 см²; коэффициент затенения сеткой рабочей поверхности 0,4; шаговое расстояние между тонкими контактными полосками 2,7 мм, ширина полосок 0,1 мм.

В режиме короткого замыкания через преобразователь протекает ток величиной 2,52 А, при этом разность потенциалов между лицевой контактной сеткой и тылом фотопреобразователя равна 0. Это означает, что ЭДС *р-п*-перехода преобразователя полностью компенсируется падением напряжения на сопротивлениях растекания легированного слоя и на сопротивлении базового слоя:

ЭДС_{*p-n*} =
$$I_{\kappa_3} \left(R_{\text{лег}} + R_{\text{баз}} \right)$$
. (8)

При этом режиме ЭДС фотопреобразователя будет меньше U_{xx} , но не будет равна 0. В работе [2] показано, что в темновом режиме преобразователя напряжение холостого хода $U_{xx0} = 0,53$ В. Можно предположить, что в условиях освещенности преобразователя и его работе в режиме короткого замыкания напряжение (ЭДС) *р-п*-перехода будет иметь значение U_{xx0} .

Тогда полное последовательное, или внутреннее, сопротивление фотопреобразователя можно оценить величиной

$$R_{\rm rer} = U_{\rm xx0} / I_{\rm \kappa 3} . \tag{9}$$

В нашем случае для рассматриваемой ВАХ это сопротивление составит 0.21 Ом.

Поскольку последовательное сопротивление определяется суммой сопротивлений легированного слоя преобразователя и базового слоя полупроводника, а решающую роль нельзя отнести ни к тому, ни к другому фактору, положим, что их роли равновелики.

Тогда сопротивление легированного слоя в целом можно оценить величиной

$$R_{\rm ner} = 0,1 \,\,{\rm Om.}$$
 (10)

Рассчитать сопротивление фрагмента легированного слоя квадратной формы можно, определив число таких фрагментов, разместившихся на рабочей (голубой) поверхности всего фотопреобразователя.

Размеры такого фрагмента определяются полушаговым расстоянием между контактными полосками 2,7 мм и также шириной 0,1 мм.

Сторона квадрата составит 1,35 мм.

Количество таких фрагментов по всей голубой поверхности фотопреобразователя найдется согласно выражению

$$N_{\Box} = S_{\Phi \ni \Pi} \left(1 - K_{_{3\mathrm{a}\mathrm{T}}} \right) / S_i \quad . \tag{11}$$

где $S_{\Phi \ni \Pi}$ – площадь фотопреобразователя; K_{3ar} – коэффициент затенения рабочей поверхности фотопреобразователя контактной сеткой; S_i – площадь минимального фрагмента легированного слоя квадратной формы со стороной 1,35 мм.

Для рассматриваемого случая это число составит

$$N_{_{\Box}} = 78,5 \cdot 0,9 \cdot 10^2 / 1,35^2 = 3876.$$
 (12)

Искомая величина сопротивления квадратного фрагмента легированного слоя составит

$$R = R_{\text{ner}} N = 418 \text{ Om.}$$
 (13)

где *R*_{лег} = 0,1 Ом согласно (10).

Таким образом, во всех оговоренных выше подходах экспериментального определения параметра сопротивления легированного слоя получены результаты существенного превышения над теоретически предсказанной величиной 3 Ом.

В связи с этим обстоятельством возникает вопрос, не является ли величина последовательного сопротивления фотопреобразователя функцией координат ВАХ, т.е. не зависит ли R_n от величины отбираемого с преобразователя тока на внешнюю нагрузку. Проведенные выше расчеты соответствуют лишь крайне левой координате режима ВАХ.

В режиме крайне правой координаты ВАХ имеет I = 0, а $U_{xx} = 0,6$ В, т.е. максимум. В этих условиях возникает неопределенность в расчетах R_n , поскольку при отсутствии тока нет и падения напряжения на нем. Поставим задачу по определению R_n преобразователя в промежуточных режимах работы между коротким замыканием и холостым ходом.

Согласно исследованиям, описанным в работе [2], экспериментально показано, что ток короткого замыкания фотопреобразователя линейно связан с уровнем его освещенности, а напряжение холостого хода с уменьшением освещенности падает согласно экспоненциальной зависимости, эмпирически близкой к выражению

$$U_{xx} = \frac{1}{2} \Big(E_g - 3KT/2g \Big) \Big(2 - e^{-R_i/K_0 R_0} \Big), \qquad (14)$$

Международный издательский дом научной периодики "Спейс

где E_g – ширина запрещенной зоны полупроводника; К – постоянная Больцмана; Т – температура преобразователя; R₀ - стандартная мощность светового контакта; R_i – заданная мощность светового потока, падающего на преобразователь; Ко – коэффициент, учитывающий индивидуальные свойства преобразователя (в данном случае $K_0 = 6$).

Графически эта зависимость показана на рис. 9 (согласно работе [2]).

Следует иметь в виду, что напряжение холостого хода фотопреобразователя мы вправе отождествлять с его ЭДС. Поэтому вольт-амперная характеристика преобразователя укажет на величину ЭДС в крайней правой точке ее координаты. По мере увеличения токосъема с преобразователя при заданном уровне освещенности фотоЭДС должна снижаться в зависимости от степени снижения концентрации подвижных носителей зарядов (электронно-дырочных пар) в области, непосредственно прилегающей к р-ппереходу. ВАХ позволяет оценить напряжение на лицевом и тыльном контактах, что должно быть не-

International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology © Scientific Technical Centre «TATA», 2015



Международный научный журнал

сколько меньше, чем фотоЭДС, на величину падения напряжения на последовательном сопротивлении преобразователя.



Рис. 9. Характерные экспериментальные зависимости напряжения холостого хода U_{xx} (А) и тока короткого замыкания I_{K3} (В) кремниевого фотопреобразователя 125x125 мм от уровня освещенности относительно стандартного АМ 1,5; (Б) – теоретическое предельное значение U_{xx} кремниевого фотопреобразователя Fig. 9. Characteristic experimental dependences of tension of idling of U_{xx} (A) of current of short circuit of I_{K3} (B) of the silicon photoconverter 125x125 mm of level of illumination of rather standard AM 1.5; (Б) – the theoretical limit U_{xx} of silicon

photoconverter

Снижение концентрации электронно-дырочных пар в окрестностях *p-n*-перехода равносильно снижению уровня освещенности. В связи с этим расчетную освещенность *E_i* для любой точки ВАХ преоб-

Список литературы

1. Арбузов Ю.Д., Евдокимов В.М. Основы фотоэлектричества. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2007. С. 113.

2. Никитин Б.А., Гусаров В.А., Харченко В.В. Эмпирическое выражение зависимости напряжения холостого хода фотопреобразователя от мощности светового потока. Труды 7 Межд. конф. 18-19 мая 2010. М.: ГНУ ВИЭСХ, ч. 4: Возобновляемые источники энергии, местные ресурсы, экология, 2010. С. 42-46. разователя в силу линейной зависимости *I*_{кз} от уровня освещенности можно описать выражением

$$R_{i} = R_{0} \left(1 - I_{i} / I_{\kappa_{3}} \right), \tag{15}$$

где R_0 – освещенность на уровне стандартного излучения AM 1,5; I_{κ_3} – ток короткого замыкания при освещенности R_0 ; I_i – ток, снимаемый с фотопреобразователя, соответствующий *i*-й точке вольт-амперной характеристики.

Конкретное значение ЭДС, соответствующее конкретному значению токосъема с преобразователя, определяется выражением 14.

Для приведенной на рис. 8 ВАХ в ее оптимальной точке (U = 0,46 В, I = 2,34 А) последовательное сопротивление оценивается величиной

$$R_{\text{посл}} = (\Im \Box C_i - U_i)/I = (0, 6 - 0, 46)/2, 34 = 0,06 \text{ OM}$$
. (16)

Таким образом, последовательное сопротивление преобразователя, ВАХ которого представлена на рис. 8. в режиме короткого замыкания составляет 0.21 Ом. а в оптимальном режиме работы это сопротивление оценивается величиной 0,06 Ом, что в 3,5 раза меньше. Из этого обстоятельства вытекает, что последовательное сопротивление фотопреобразователя есть величина переменная. Максимальное его значение наблюдается для режима короткого замыкания. С ростом потенциала на преобразователе последовательное сопротивление уменьшается. Такое же заключение, можно предположить, будет справедливо и в отношении сопротивления растекания. Сопротивление квадратного фрагмента легированного слоя в этом случае оценится величиной $R_0 = 418/3, 5 \cong 120 \text{ Ом}$. Полученное значение так же существенно превышает теоретическую величину сопротивления растекания в 3 Ом.

References

1. Arbuzov Û.D., Evdokimov V.M. Osnovy fotoèlektričestva. M.: GNU VIÈSH, 2007. S. 113.

2. Nikitin B.A., Gusarov V.A., Harčenko V.V. Èmpiričeskoe vyraženie zavisimosti naprâženiâ holostogo hoda fotopreobrazovatelâ ot moŝnosti svetovogo potoka. Trudy 7 Mežd. konf. 18-19 maâ 2010. M.: GNU VIÈSH, č. 4: Vozobnovlâemye istočniki ènergii, mestnye resursy, èkologiâ, 2010. S. 42-46.

Транслитерация по ISO 9:1995

B

