

КРЕМНИЕВЫЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ МОДУЛЕЙ С КОНЦЕНТРАТОРОМ

З. Я. САДЫГОВ, Э.А.ДЖАФАРОВА, Э.С.ТАПТЫГОВ, Н.А.САФАРОВ

*Институт Физики НАН Азербайджана
AZ 1143, Баку, пр. Г.Джавида, 33.*

З.А.ИСКЕНДЕРЗАДЕ

*Азербайджанский Технический Университет
AZ1073, Баку, пр.Г.Джавида, 29.*

Göstərilmişdir ki, sənayedə istehsal olunan silisium günəş çeviricilərinin konsentrə olunmuş işıqla işləyən modullarda istifadəsi əlverişsiz olmuşdur. Cəryan keçirən kontaktların konstruksiyası və ölçülərinin, həmçinin işıqlandırıcı örtüyün xüsusiyyətlərinin düzgün seçilməsi elementin daxili ardıcıl müqavimətinin qiymətinin minimuma endirilməsinə və işıqlanmanın böyük tərtiblərində yüksək işçi xarakteristikaları almağa imkan vermişdir.

Показано, что использование серийно выпускаемых промышленностью кремниевых солнечных преобразователей в модулях с концентрированным освещением оказалось неэффективным. Правильный подбор конструкции и размеров токопроводящих контактов, а также характеристик просветляющего покрытия позволили свести к минимуму величину последовательного внутреннего сопротивления элемента и обеспечить высокие значения рабочих характеристик при повышенных кратностях освещения.

It is shown, that the application of silicon solar converters serially produced by the industry in modules with the concentrated illumination is inefficient. Correct selection of a design and the sizes of current-carrying contacts, and also characteristics of antireflection layer have allowed to reduce to a minimum value of consecutive internal resistance of an element and to provide high values of performance capabilities at the heightened multiplicity of illumination.

ВВЕДЕНИЕ.

Солнечные фотоэлектрические модули, использующие при работе преобразование концентрированного излучения, во многих отношениях выгодно отличаются от традиционных планарных конструкций с однократным освещением [1, 2]. Применение относительно небольшой кратности концентрирования ($K=10$), приводящее к соответствующему уменьшению расхода материала активного элемента, а также использование простых конструктивных решений и дешевых комплектующих материалов могут дать значительное уменьшение стоимости солнечного модуля. Предметом исследования в данной работе является собственно активный элемент солнечного модуля – полупроводниковый фотопреобразователь, условия работы которого с увеличением плотности излучения значительно ужесточаются [3]. При увеличении плотности потока концентрированного излучения почти во столько же раз растет эффективность преобразования энергии солнечным элементом. В связи с этим, система сбора носителей тока должна обладать такими параметрами, которые обеспечивали бы протекание последних в нагрузку без существенных омических потерь. Указанные потери учитываются с помощью так называемого последовательного сопротивления преобразователя - R_s . Одна из главных составляющих R_s связана с растеканием фототока в верхнем светопоглощающем слое элемента между полосками контактной сетки, а также конструкцией и параметрами последней. При некотором конечном значении распределенного сопротивления поверхностного слоя, определяемого его электрофизическими свойствами, составляющая последовательного сопротивления, обусловленная растеканием тока, прямо пропорциональна квадрату расстояния

между контактными полосками. Из вышесказанного следует, что правильное изготовление контактных сеток имеет важное значение при создании солнечных элементов, работающих на концентрированном излучении.

Нами были изготовлены и исследовались два вида преобразователей на основе кремния, отличающиеся в основном конструкцией и размерами фронтального и тыльного токопроводящего контакта. В основу первого вида преобразователя была взята конструкция серийно изготавливаемого кремниевого фотоэлемента, использующегося обычно в плоских панельных конструкциях солнечных установок. Изготовление таких преобразователей хорошо освоено и представлялось экономически выгодным непосредственное применение их в модуле с концентратором. Второй вид преобразователей был изготовлен с учетом требований новых условий, но без существенных технологических изменений.

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И КОНСТРУКЦИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Дальнейшее описание относится в основном ко второму виду преобразователей, поскольку первый вид достаточно исследован. Исследуемые солнечные преобразователи изготавливались на пластине “солнечного кремния” р-типа проводимости с $\rho = 1$ Ом·см. Площадь преобразователя составила 5см^2 ($2,5 \times 2,0$ см²) при толщине 300 мкм. На исходной, предварительно текстурированной поверхности пластины диффузией фосфора был создан n+ слой. Далее, с целью уменьшения токов утечки и увеличения прозрачности, на n+ слой было нанесено просветляющее покрытие ИТО (n-типа). Слой ИТО, создавая хороший омический контакт с n+ областью, способен также залечивать дефекты этой

области, возникающие в процессе предыдущих технологических операций. В качестве омических контактов с фронтальной и тыльной стороны был нанесен слой InAl. Лицевой контакт, нанесенный трафаретным способом, имел вид параллельных полосок и конструктивно (для второго вида преобразователей) был рассчитан с учетом условий работы при концентрированном световом потоке. Нагрузочные вольт-амперные характеристики (ВАХ) снимались с помощью установки, имеющей возможность увеличения интенсивности светового потока от 1 до 10 крат. В качестве источника света использовалась вольфрамовая лампа накаливания мощностью 400 Вт. Кратность 1 была эквивалентна мощности солнечного излучения спектра AM 1, равной 925 Вт/м².

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.

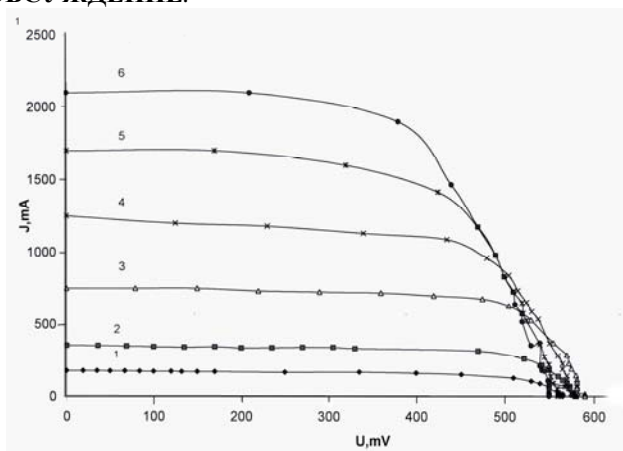


Рис.1 Нагрузочные ВАХ для Si солнечного преобразователя I вида при различных кратностях облучения: K=1(кривая.1); 2(кр.2); 4(кр.3); 6(кр.4);8(кр.5);10(кр.6).

На рис. 1 и 2 приведены нагрузочные ВАХ солнечных элементов первого и второго видов при различных значениях кратности облучения.

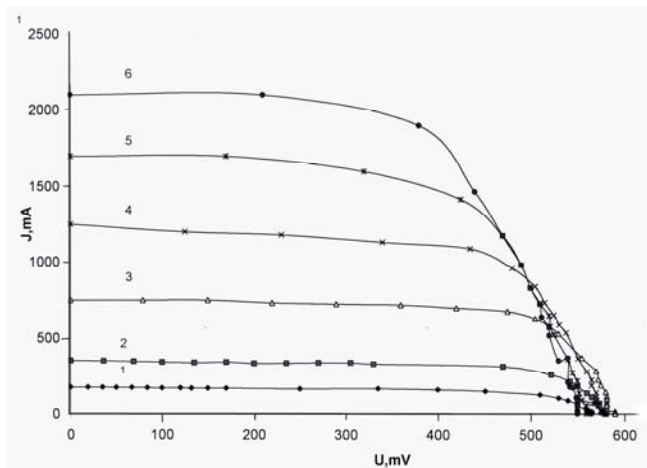


Рис.2 Нагрузочные ВАХ для Si солнечного преобразователя II вида при различных кратностях облучения: K=1(кр.1); 2(кр.2); 4(кр.3); 6(кр.4); 8(кр.5); 10(кр.6).

Для первого вида элементов (рис.1) с увеличением кратности облучения наблюдается монотонный рост тока короткого замыкания (J_{кз}). Напряжение холостого хода (U_{хх}) достигает значения ~580мВ независимо от кратности облучения. Однако, характер нагрузочных кривых солнечного элемента, подчиняющегося зависимости $J=J_s(e^{qU/kT}-1)-J_L$, где J_s – ток насыщения, J_L – фототок, сохранятся только до двукратного увеличения интенсивности облучения [4]. Фактор заполнения (FF), определенный из кривой 1 и 2, имел значение, соответственно 0,61 и 0,52. Дальнейшее возрастание интенсивности света приводит к ухудшению ВАХ, указывающее на существенные омические потери. Фактор заполнения (FF), определенный из указанных характеристик, оказался равным 0,3.

Иная картина наблюдается для преобразователей II вида. На рис.2 представлены нагрузочные ВАХ для таких преобразователей при различных кратностях освещения. В таб.1 приведены вычисленные значения основных параметров этих элементов.

Таблица 1.

Основные параметры преобразователей II вида при различных кратностях облучения.

Кратность	J _{кз} ,мА	U _{хх} , мВ	FF	η, %	T, °С	R _s , Ом
1	190	576	0.63	14,7	25	0,152
2	360	580	0.70	15,8	31	0,108
4	790	590	0.69	17,4	36	0,056
6	1250	579	0.65	17,0	41	0,040
8	1700	560	0.63	16,2	46	0,044
10	2100	550	0.62	15,5	50	0,036

Видно что, как и в предыдущем случае, наблюдается монотонный рост J_{кз} от кратности облучения. Напряжение холостого хода до кратности 4 имеет тенденцию к незначительному росту, однако затем уменьшается, становясь меньше значения U_{хх} для кратности 1. Такое поведение U_{хх} связано с влиянием повышения температуры системы радиатор – образец [4]. Анализ нагрузочных кривых показывает, что исследуемый солнечный элемент работает в полном соответствии с существующими представлениями о работе солнечных преобразователей на p-n переходе,

сохраняя свои характеристики и при отличных от 1 кратностях освещения [5]. Из таблицы видно, что увеличение кратности освещения приводит к линейному росту фототока с коэффициентом пропорциональности 1,1 при почти неизменном значении напряжения холостого хода. Неизменным остается также коэффициент заполнения FF. Надо отметить, что высокие значения коэффициента заполнения (FF = 0.70) свидетельствуют о малом значении внутреннего последовательного сопротивления структуры. Из таблицы 1 видно, что параметры исследуемого

преобразователя сохраняют свои значения и при повышении температуры элемента, вплоть до 50° С. Из литературы [5] известно, что работа под действием концентрированного излучения может приводить к осязательному увеличению к.п.д. преобразователя. В нашем случае, как видно из таблицы 1, с увеличением интенсивности облучения наблюдается рост коэффициента полезного действия примерно на 1,5 % .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, изменение конструкции фронтального и тыльного контактов кремниевых солнечных преобразователей в модулях с концентрированным излучением позволили свести к минимуму величину омических потерь активного элемента ($R_s = 0,152 \pm 0,036$ Ом) и обеспечить высокие значения рабочих характеристик при повышении кратности освещения от 1 до 10.

-
- [1]. *Ж.И. Алферов, В.М. Андреев, В.Д. Румянцев.* ФТП, 2004, т.38, в.8, с.937.
- [2]. *В.П. Хвостиков, М.Г.Растегаева, О.А.Хвостикова и др.,* ФТП, т.40, в.10, 2006, с.1275.
- [3]. *Современные проблемы полупроводниковой фотоэнергетики.* Под редакцией Т. Коутса, Дж. Микина. Москва, Мир,1988.
- [4]. *М. М.Колтун.* Оптика и метрология солнечных элементов. Москва, Наука ,1985.
- [5]. *С. Зи.* Физика полупроводниковых приборов. ч.2, Мир, Москва. 1984.

Daxil olunub: 01.07.2007