РАЗРАБОТКА СОЛНЕЧНОГО МОДУЛЯ С ДВУХСТОРОННЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫМИ СОЛНЕЧНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Р.Алиев, Х.Мансуров

Мақолада икки томонлама сезувчан қуёш элементлари вертикал ўрнатилган қуёш модулининг янги конструкцияси тақдим этилган. Қуёш элементининг фронтал юзасига тушувчи нур оқими 45º қияликда ўрнатилган текис қайтаргич, ички томонига тушувчи нур оқими эса сфероцилиндрик қайтрагич орқали йўналтирилади.

***Калит сўзлар**: қуёш модули, қуёш элементлари, фотоэлектрик энергетика, фотогенерация, фототок.*

В работе предложена новая конструкция солнечного модуля с установленными вертикально двухсторонне чувствительными солнечными элементами. Падающий на фронтальную поверхность поток излучения направляется плоским отражателем, установленным по наклону 45º. Поток излучения на тыльную сторону СЭ направляется сфероцилиндрическим отражателем.

***Ключевые слова**: солнечный модуль, солнечные элементы, фотоэлектрическая энергетика, фотогенерация, фототок*

This article offers the new design of the solar module with double-sided sensitive solar cells established vertically. The solar radiation falling on the front surface directed by flat reflector established with an inclination of 45°. On the inner side of the surface the stream of ray is directed through cylindrical reflector.

***Key words**: solar module, solar elements, photoelectric energy, photo-stream, photo-generation.*

С целью повышения фотоэлектрически преобразуемой энергии используются двухсторонне чувствительные (ДЧ) солнечные элементы СЭ [1]. Использование таких СЭ в фотоэлектрической энергетике считается и экономически выгодным ввиду получения большей энергии при эксплуатации минимального их количества. ДЧ СЭ в отличие от обычной конструкции имеют контактные сетки на фронтальной и тыльной поверхностях. Такая конструкция контактов позволяет прохождению инфракрасного излучения, не поглощаясь в СЭ, следовательно, их температура будет меньше, чем у обычных СЭ со сплошным тыльным контактом. Это способствует получению большей энергии при использовании СЭ с меньшей рабочей температурой.

При двухстороннем освещении фототок СЭ увеличивается за счет дополнительной фотогенерации из-за поглощения света, падающего с тыльной стороны. Следовательно, увеличение фототока СЭ пропорционально мощности дополнительно падающего с тыльной стороны света. При этом мощность тыльной стороны составит около 70 % относительно лицевой. В двухсторонних солнечных модулях (СМ) электроэнергия, вырабатываемая лицевой и тыльной сторонами, суммируется.

В традиционных конструкциях СМ фронтальная поверхность освещается световым потоком солнечного излучения, падающим перпендикулярно. Дополнительное освещение на тыльной стороне СМ достигается за счет: - рассеянного от земли или других объектов света [1]; - направленного специальными отражателями света [2].

В конструкции [1] рост фототока за счет дополнительного освещения рассеянного света может достигать до 55 %. Рост мощности ДЧ СЭ при направленном освещении тыльной стороны может составлять до 70 %. В устройстве [2] отражатели расположены в пространстве и в целом занимают большой объем, представляя собой сложную конструкцию.

Разработаны новые конструкции СМ, содержащие вертикально установленные СЭ, с двух сторон каждого из которых поставлены под углом 45° отражатели, обеспечивающие одинаковое освещение фронтальной и тыльной сторон [3].

В конструкции [3] можно использовать СЭ с односторонней и двухсторонней чувствительностью. Практика показывает, что при использовании двух СЭ с односторонней чувствительностью повышение эффективности СЭ не достигается.

Анализ научно-технической литературы показывает, что при использовании СЭ с ДЧ, ожидаемое двукратное увеличение фототока не достигается за счет некоторых негативных факторов, характерных при тыльном освещении. К ним относятся:

- большая по сравнению с фронтальной поверхностью рекомбинационная потеря фотогенерированных вблизи тыльной поверхности неравновесных носителей заряда из-за большого расстояния до области объемного заряда *p-n*-перехода, где они разделяются барьером и далее собираются омическими контактами;

- дополнительная потеря носителей заряда на большем, по сравнению с фронтальным поверхностным, сопротивлении базового слоя $R_2 = \square_2 t_2$, где $\square_2$ – удельное сопротивление «слаболегированного» базового слоя [4].

Эти факторы связаны со следующими физическими соображениями. Обратимся к упрощенной модели СЭ и качественному изображению графика распределения фотогенерированных носителей заряда по толщине СЭ при фронтальном и тыльном освещении (Рис.1).

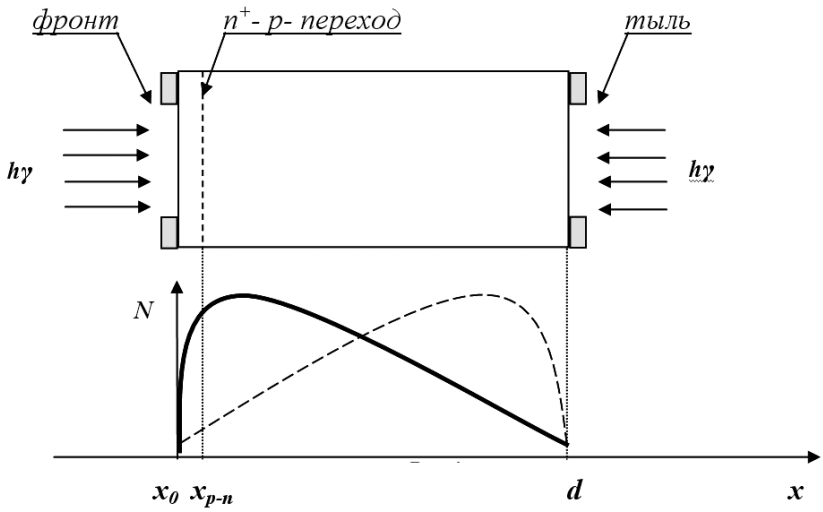

Рис.1.

При освещении СЭ или кремния основная часть фотонов поглощается вблизи поверхности. Поэтому *p-n*-переход формируется вблизи поверхности, обычно на глубине ≤ 1 мкм, для достижения высокого коэффициента собирания фотогенерированных носителей заряда.

При освещении с тыльной стороны только те фотогенерированные носители заряда, имеющие достаточно большие диффузионные длины достигают до *p-n*-перехода. Вблизи тыльной поверхности действие электрического поля перехода слабое. Электронно-дырочные пары, не достигшие перехода, теряются на рекомбинацию на тыльной поверхности – это первое. И сопротивление базы больше, чем сопротивление эмиттерного слоя, т.е. имеются дополнительные потери в базе – это второе.

С целью повышения выходной мощности СМ путем наибольшего использования его возможности и достижения равновесного значения фототоков, генерируемых на фронтальной и тыльной сторонах, предложена новая конструкция СМ с ДЧ СЭ и отражателями. Отражатель, направляющий свет на фронтальную сторону СЭ, представляет собой наклоненную под углом 45° плоскую поверхность. Другой отражатель, направляющий свет на тыльную сторону СЭ, представляет собой сферо-цилиндрическую поверхность. Причем длина отражателя равна длине СЭ. Взаимоотношение радиуса кривизны отражателя *R,* высоты СЭ *h* и расстояния от СЭ до второго конца отражателя *b* определяется соответствующим выражением.

Для выведения этого выражения обратимся к рис.2, из треугольника *ABO* можно выявить:

$$\frac{\pi}{2} - \alpha + \gamma = \alpha + \frac{\pi}{4} \qquad (1)$$

А из треугольника *OO'A*:

$$\begin{cases} \beta+\gamma=\dfrac{\pi}{4} \\ 2\alpha-\gamma=\dfrac{\pi}{4} \end{cases} \tag{2}$$

Суммировав их, получаем:

$$2\alpha+\beta=\frac{\pi}{2} \tag{3}$$

Из треугольника *ABC* можно представить:

$$2\alpha+\beta=\frac{\pi}{2} \tag{4}$$

Применяя теоремы косинусов для треугольника OAB, отметим:

$$d^2=R^2+R^2-2R^2\cos\beta \tag{5}$$

Из рисунка следует:

$$d^2=b^2+h^2 \tag{6}$$

Отсюда:

$$1-\cos\beta=\frac{b^2+h^2}{2R^2} \tag{7}$$

Если учитывать

$$\beta=\frac{\pi}{2}-2\alpha\cos\beta=\cos\left(\frac{\pi}{2}-2\alpha\right)=\sin 2\alpha=\frac{2\mathrm{tg}\alpha}{1+\mathrm{tg}^2\alpha}$$

Уравнение (7) принимает вид:

$$1-\frac{2\dfrac{h}{b}}{1+\left(\dfrac{h}{b}\right)^2}=\frac{b^2+h^2}{2R^2} \tag{8}$$

Поставив (8) в (4) можно получить:

$$1-\frac{2\mathrm{tg}\alpha}{1+\mathrm{tg}^2\alpha}=\frac{b^2+h^2}{2R^2} \tag{9}$$

Отсюда можно определить радиус кривизны:

$$\frac{b^2+h^2-2bh}{b^2+h^2}=\frac{b^2+h^2}{2R^2}$$

$$2R^2=\frac{\left(b^2+h^2\right)^2}{\left(b-h\right)^2}$$

$$\sqrt{2}R=\frac{b^2+h^2}{b-h}$$

$$R=\frac{b^2+h^2}{\sqrt{2}\left(b-h\right)} \qquad (10)$$

Это и есть искомое выражение; если принять h = 1 и b = 1,24 h, можно увидеть: α = 38,68°, R = 7,4764 h. В случае принятия b = 1,3 h, можно увидеть: α = 36,9°, R = 12,6 h.

Предварительно проведенное испытание ДЧ кремниевого СЭ с диффузионным *р-п*-переходом свидетельствует о достоверности научно-технической гипотезы авторов. Экспериментально подтверждено увеличение фототока СЭ в 1, 96 раз при двухстороннем освещении со сфероцилиндрическим отражателем на тыльной стороне.

Литература:

1. Солнечные батареи - двухсторонние: серии ФСМ // http://www.solarroof.ru/products/5/116/
2. RU 2137258 C1, H01L31/042, публ. 10.09.1999. Фотоэлектрический модуль.
3. Солнечная батарея. Патент России. № 1598781.
4. Фаренбрух А., Бьюб Р. Солнечные элементы: Теория и эксперимент.- М.: Энергоатомиздат, 1987, с.128-134.

Андижон давлат университети,
2014 йил 2 июнда қабул қилинган
(Тақризчи: проф. И.Н.Каримов)