

УДК 621.362

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ КОНЦЕНТРИРОВАННОГО СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В МНОГОСЛОЙНЫХ ФОТОЭЛЕМЕНТАХ

ГУСЕЙНОВ Я.Ю., ШУКУРОВА В.Д.

Сумгаитский Государственный Университет

Обсуждаются проблемы увеличения эффективности солнечных фотоэлектрических установок. Предлагается метод их охлаждения при помощи естественной водяной конвекции. Показано, что, используя водяное охлаждение, можно добиться увеличения КПД элементов приблизительно на 1%. При соответствующей охлаждающей конструкции можно добиться того, чтобы течение жидкости в охлаждающих каналах было наиболее благоприятным для решения задачи охлаждения фотопреобразователей.

Реализация перспектив преобразования концентрированного солнечного излучения связана с созданием специальных конструкций фотопреобразователей, в первую очередь, обладающих малым последовательным сопротивлением или высокой фотопроводимостью. Важным моментом работы солнечных элементов является их температурный режим. При нагреве элемента на один градус свыше 25°C он теряет в напряжении 0,002В, т.е. 0,4%/°С. Под действием солнечных лучей рабочая часть фотоэлектрических установок нагревается, в результате чего к.п.д. установок уменьшается. Поэтому второй серьезной проблемой практики при создании концентрированного фотопреобразователя является необходимость отвода от фотопреобразователя больших удельных тепловых потоков. Для обеспечения рабочей температуры фотопреобразователя на уровне 50-60 ° С требуемая площадь радиатора – холодильника равна площади миделя концентратора, так что система теплоотвода может оказаться тяжелой и энергоемкой. В этой связи важно повышение температурной стабильности фотопреобразователя с ростом интенсивности освещения [1]. При очень больших интенсивностях температурный градиент напряжения холостого хода $n - p$ структуры определяется плотностью электронных состояний в разрешенных зонах полупроводника N_c, N_v

$$\frac{dU_{xx}}{dT} = -\frac{k}{q} \ln \frac{N_c N_v}{N_D N_A} \quad (1)$$

При исследовании концентрированных фотопреобразователей значительный интерес всегда представляет температурная зависимость напряжения холостого хода. Так как ток короткого замыкания зависит только от интенсивности светового потока, то он не зависит от температуры, если пренебречь незначительным эффектом, вызванным изменениями времени жизни носителей и сопротивления контактов. Но напряжение холостого хода зависит от температуры и можно показать, что для кремния эти температурные изменения представляются в виде

$$\frac{dU_{xx}}{dT} \approx -0,002 \text{ В/град} \quad (2)$$

Поскольку выходная мощность изменяется линейно с напряжением холостого хода, то, следовательно, она падает с температурой более чем на 0,05 % на 1°. Поэтому возникает необходимость охлаждения солнечных элементов.

Для кремниевых фотопреобразователей с уровнями легирования слоев $N_D=10^{19}$, $N_A=10^{16} \text{ см}^{-3}$ температурный градиент $-0,67 \text{ мВ/К}$, т.е. в несколько раз меньше по

величине, чем при однократном солнечном освещении. Еще меньше теоретический предел температурного градиента у $n-p-p^+$ - структуры. В эксперименте достигнут градиент для кремниевых фотопреобразователя $-1,1 мВ/К$, чем устанавливается их работоспособность вплоть до $250^{\circ}С$ и практически решается проблема теплоотвода. Для нашего эксперимента были использованы следующие стандартные условия: освещенность $1000 Вт/м^2$, начальная температура $25^{\circ}С$, спектр АМ 1,5 (солнечный спектр на широте 45°)

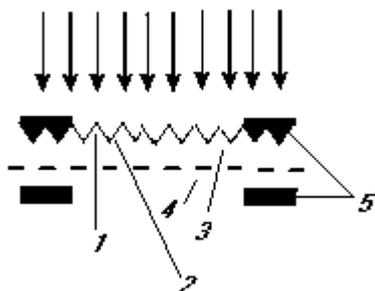


Рис.1 Структура фотопреобразователя

Образцы имели структуры: p^+-n-p^+ - с использованием базового кремния n-типа 1- текстура с антиотражающим покрытием; 2 - $p^+ - Si$; 3 - $n - Si$; 4 - $n^+ - Si$; 5 - металл. Рабочая поверхность элементов текстурирована, ориентация пластин кремния $\langle 100 \rangle$, тыльная поверхность гладкая, контакты на рабочей поверхности - сетчатые, полученные осаждением металлических паст методом трафаретной печати. В яркий солнечный день элементы нагреваются до $60-70^{\circ}С$ теряя $0,07-0,09В$ каждый. Это и является основной причиной снижения КПД солнечных элементов, приводящего к падению напряжения, генерируемого элементом. На рисунке приведено семейство кривых ВАХ для температур $25^{\circ}С$ и $60^{\circ}С$.

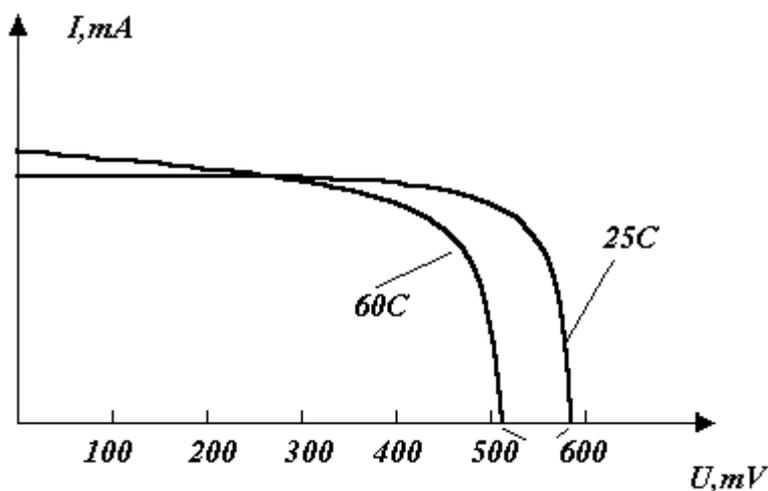


Рис.2 Нагрузочные ВАХ фотопреобразователя при температурах 25° и $60^{\circ}С$

КПД обычного солнечного элемента в настоящее время колеблется в пределах 10-19%. Используемые в настоящее время методы воздушного и жидкостного охлаждения дают удовлетворительные значения для увеличения к.п.д. установок. В настоящей работе для интенсификации жидкостного охлаждения предлагается водяное охлаждение с использованием естественной конвекции. Ниже мы рассмотрим задачу конвективной теплопроводности жидкости в охлаждающих каналах солнечных батарей. Задача моделируется следующим образом.

Будем исследовать плоское течение жидкости между двумя плоскими пластинами. Направление течения жидкости совпадает с осью x . Можем записать следующее уравнение теплопроводности, описывающее данный процесс теплообмена жидкости с нагретыми элементами солнечной батареи

$$\frac{\partial T}{\partial t} + v_y \frac{\partial T}{\partial y} = \beta [T - T_0(t)] e^{-i\omega t} \quad (3)$$

В записи (3) предполагается, что температура охлаждающей жидкости меняется лишь в направлении y , что обусловлено действием конвекции в соответствующем направлении. К уравнению (3) следует добавить уравнение неразрывности вида

$$\frac{dv_x}{dx} + \frac{dv_y}{dy} = 0 \quad (4)$$

Слагаемое в правой части (3) описывает теплообмен жидкости с нагретой поверхностью солнечной батареи (β -коэффициент, характеризующий, степень теплообмена и геометрию задачи). Экспоненциальный множитель описывает циркуляцию охлаждающей жидкости; здесь ω - частота циркуляции. В представляющем практический интерес устоявшемся тепловом режиме между жидкостью и рабочими поверхностями солнечных батарей температура жидкости определяется по формуле

$$T(y, t) = T_0(t) + \tilde{\Phi} e^{-i\varpi t}, \quad (5)$$

что означает периодические изменения температуры с частотой ϖ , равной

$$\varpi = \arcsin \left(\frac{\gamma_2}{\sqrt{\gamma_1^2 + \gamma_2^2}} \right), \quad (6)$$

где введены следующие обозначения

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

ΔT – величина максимального уменьшения температуры рабочей поверхности солнечных батарей.

Другими словами, жидкость, протекающая между рабочими поверхностями, будет периодически их охлаждать, отводя тепло. Очевидно, в этом случае КПД солнечных батарей увеличивается. Для конкретной геометрии батарей можно подобрать оптимальную конфигурацию и скорость конвекции жидкости [2], при которых описанный здесь эффект будет максимальным. Ниже предлагается изменение температуры образцов при различных концентрациях солнечного излучения.

С увеличением кратности облучения повышается температура структуры. С целью исключения влияния температуры на характеристики фотопреобразователя, аналогичные измерения были проведены с принудительным водяным охлаждением системы.

Таблица 1. Характеристические данные солнечных элементов в обычных условиях (без принудительного охлаждения)

K	η , %	t, °C
1	14,7	25
2	15,8	31
4	17,4	36
6	17,0	41
8	16,2	46
10	15,5	50

В таб.2. приведены параметры того же фотоэлемента при различных кратностях концентрации падающего излучения измеренных при $T=15^{\circ}\text{C}$.

Таблица 2. Характеристические данные солнечных элементов при температуре 15°C (с охлаждением)

К	η , %	t, $^{\circ}\text{C}$
1	14,1	15
2	16,4	
4	18,3	
6	19,3	
8	19,1	
10	18,7	

Видно, что с увеличением кратности облучения наблюдается рост КПД. Используя водяное охлаждение, можно добиться увеличения КПД элементов приблизительно на 1%. Все элементы, как n-, так и p-типа, прозрачны для инфракрасной области спектра, что приводит к меньшей нагреваемости элементов на солнце и, соответственно, увеличению их эффективности.

Подводя итог сказанному, можно заключить, что естественная конвекция воды вполне достаточно для целей охлаждения жидкости, протекающей между рабочими поверхностями солнечных батарей. При соответствующей конструкции можно добиться того, чтобы течение жидкости в охлаждающих каналах было наиболее благоприятным для задачи охлаждения фотопреобразователей.

1. Арбузов Ю.Д., Евдокимов В.М. Принципы и перспективы фотоэлектрического преобразования энергии концентрированного солнечного излучения // Гелиотехника.- 1993.- №1.- с. 3-22.
2. Давидзон М.И. О действии магнитного поля на слабопроводящие системы // Изв. вузов МВ и ССО СССР, Физика.- 1985.- №4.- с. 89-94.

ÇOXTƏBƏQƏLİ FOTOELEMENTLƏRDƏ KONSENTRƏ EDİLMİŞ GÜNƏŞ ŞÜALANMASININ ÇEVRİLMƏSİ

HÜSEYNOV Y.Y., ŞÜKÜROVA V.D.

Günəş fotoelektrik qurğularının effektivliyinin artırılması problemi müzakirə edilir. Onların təbii su konveksiyası üsulu ilə soyudulması təklif edilir. Göstərilmişdir ki, su ilə soyuma istifadə edərək elementlərin FİƏ-nın 1% artmasına nail olmaq mümkündür. Münasib soyutma konstruksiyası seçərək, soyutma kanallarında mayenin axımını elə tənzimləmək olur ki, fotoçeviricilərin soyutma məsələsinin həlli yolunda ən əlverişli olur.

TRANSFORMATION OF THE CONCENTRATED SUNLIGHT TO MULTILAYERED PHOTOCELLS

QUSEYNOV Y. Y., SHUKUROVA V.D.

It is discussed the problems of increasing the efficiency of solar photoelectric sets. The method of their cooling is offered by means of natural water convection. It is shown, that, using water cooling it is possible to achieve to increase in efficiency of elements approximately on 1 %. At corresponding cooling designs can be achieved, that current of a liquid in cooling channels optimum the decision for a problem of cooling of photo converters.