

Конденсирленген күй
физикасы және
материалтану
проблемалары

Физика
конденсированного
состояния и проблемы
материаловедения

Condensed Matter
Physics and Materials
Science Problems

УДК 620.91:662.97

В.С. Антощенко, Ю.В. Францев*, О.А. Лаврищев, Е.В. Антощенко

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Казахстан, г. Алматы

*E-mail: Yuriy.Francev@kaznu.kz

Одноэлементный C-PV/T модуль на основе кремниевого солнечного элемента большой площади

Аннотация. В работе предложен новый тип концентраторного теплофотоэлектрического модуля (с-PV/T) на основе кремниевого солнечного элемента с тыльно-контактной структурой, который может эффективно работать в области средних уровней концентрации 8^x-12^x . Конструкция фотоэлемента аналогична тыльно-контактной структуре MWT (Metallization Wrap Thru) [1], в которой фронтальные токосъемные шины перенесены на тыльную сторону элемента и электрически соединены с фронтальной сеткой через отверстия, выполненные по всей площади солнечного элемента. Исследованы фотоэлектрические характеристики в зависимости от концентрации светового потока и температуры.

Ключевые слова: солнечный элемент, кремний, концентраторный теплофотоэлектрический модуль, фотоэлектрические характеристики.

Введение

Несомненным преимуществом с-PV/T систем является их более высокая эффективность по сравнению с обычными концентраторными солнечными установками. Использование солнечной энергии для получения тепла и электричества в едином, монолитно изготовленном устройстве, на основе солнечных элементов (СЭ) большой площади позволяет достичь дополнительного снижения потерь, удешевить конструкцию, и, кроме того, снизить стоимость системы слежения за солнцем, поскольку устройства, использующие большие элементы для работы при средних уровнях концентрации менее критичны к отклонению от точного направления на солнце по сравнению с высококонцентрированными системами с СЭ малой площади. В данной работе предложена конструкция и приведены результаты исследования работы монолитного теплофо-

тоэлектрического модуля и изготовленной на его основе концентраторной системы для работы в условиях 8-микратной интенсивности светового потока.

Конструкция модуля

Дальнейшее усовершенствование конструкции, предлагаемое нами,- перенос относительно толстых токосъемных шин с тела солнечного элемента на токосъемную плату, как это показано на рис.1. Такой дизайн, с одной стороны, упрощает технологию изготовления самого элемента и снижает механические напряжения, возникающие в СЭ при формировании токосъемных шин, и, с другой стороны, позволяет реализовать эффективный отвод тепла от солнечного элемента в условия концентрированного освещения. В нашей конструкции это достигается благодаря использованию для соединения как с фронтальной

сеткой так и с тыльным контактом контактных столбиков, выполненных на токосъемной плате. Важно отметить, что тыльный контакт в данном случае может быть локализован в виде контактных пятчиков, пространственно совмещенных с соответствующими контактными столбиками. Таким дизайном достигается простота сборки модуля как это имеет место в других тыльно-контактных структурах.

Использование в конструкции СЭ распределенных по площади токоотводов снимает

ограничение на максимальный размер концентратора СЭ, который в нашем случае может быть сколь угодно большим без снижения эффективности преобразования. С другой стороны, возможность формирования зазора между СЭ и токосъемной платой позволяет осуществить непосредственный контакт жидкого теплоносителя с тыльной стороной СЭ и т.о. увеличить эффективность охлаждения. Такая конструкция хорошо подходит для использования в с-PV/T системах.

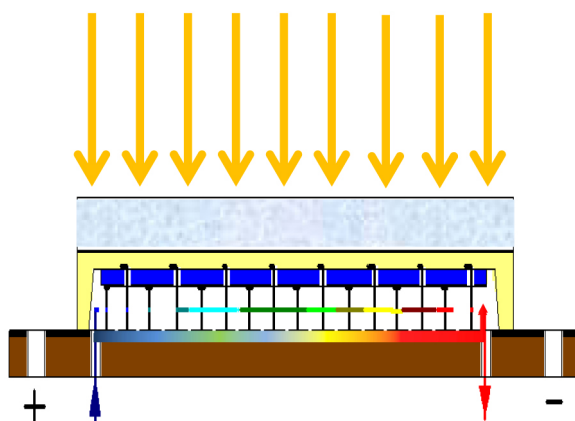


Рисунок 1 – Устройство с-PV/T модуля (поперечный разрез)

Характеристики

Прототип одноэлементного модуля был изготовлен на основе кремниевого СЭ размером $125 \times 125 \text{ мм}^2$. Семьдесят (7×10) отверстий были выполнены в СЭ для соединения с фронтальной сеткой и такое же число контактных пятчиков диаметром 2 мм были сформированы на его тыльной стороне гальваническим осаждением меди. Были измерены вольтамперные характеристики модуля на имитаторе солнца в диапазоне концентраций от 1^x до 12^x . Охлаждение модуля осуществлялось антифризом. Температура жидкости составляла 27°C . Для лучшего образца при концентрации 12 на имитаторе была получена мощность равная 23,3 Вт ($I_{sc} = 58 \text{ A}$, $U_{oc} = 0,67 \text{ V}$, $I_L = 47 \text{ A}$, $U_L = 0,496 \text{ V}$, $FF = 0,60$).

На рисунке 2 показаны вольтамперные характеристики теплофотоэлектрической батареи, составленной из 3-х последовательно соединенных с-PV/T модулей, полученные в натуральных условиях при различных уровнях облучения. Видно, что ток короткого замыкания практически пропорционален концентрации, и слабо откло-

няется от линейной зависимости при концентрациях выше 8^x . В то же время коэффициент заполнения нагрузочной характеристики заметно понижается при высоких уровнях облучения. Такое поведение обусловлено, по-видимому, довольно большим расстоянием между полосками фронтальной сетки (около 3 мм), которое является конструктивной особенностью СЭ, предназначенного для работы с однократным облучением. Это расстояние не могло быть уменьшено нами в процессе изготовления с-PV/T модуля. Таким образом, проведенная нами оптимизация СЭ для работы в системе с концентратором с целью снижения последовательного электрического сопротивления СЭ сводилась лишь к созданию дополнительно 7 тонких токосъемных шин, расположенных на равных расстояниях, на поверхности СЭ, которые были электрически связаны с полосками контактной сетки, и через сквозные отверстия выведены на тыльную сторону СЭ, где соединены с отрицательным электродом токосъемной платы. Такая оптимизация позволила получить дополнительный вклад в

выходную мощность до 30 % при концентрациях 10^x - 12^x по сравнению с обычным СЭ при прочих равных условиях. Результаты температурных из-

мерений, проведенных на имитаторе солнца при неизменной кратности облучения равной 8^x приведены на рис.3 в диапазоне от 5 до 55 °С.

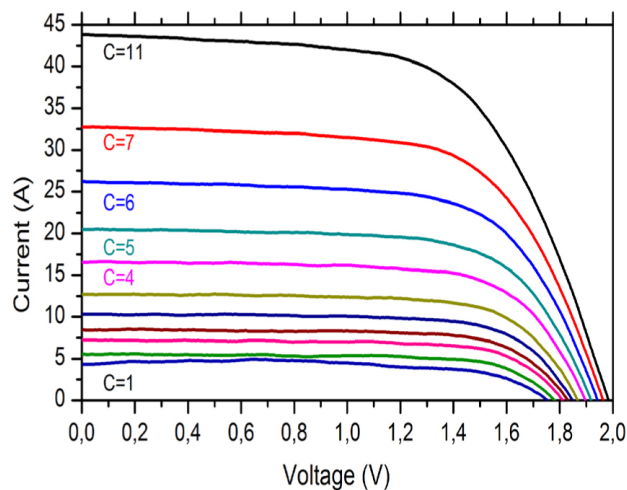


Рисунок 2 – Вольтамперные характеристики с-P/VT модуля, полученные при различных уровнях освещения при 27°С

Рассчитанные из этих характеристик температурные зависимости напряжения холостого хода (V_{oc}), тока короткого замыкания (I_{sc}), ко-

эффициента заполнения нагрузочной характеристики (FF) и выходной мощности (P_M) приведены в таблице 1.

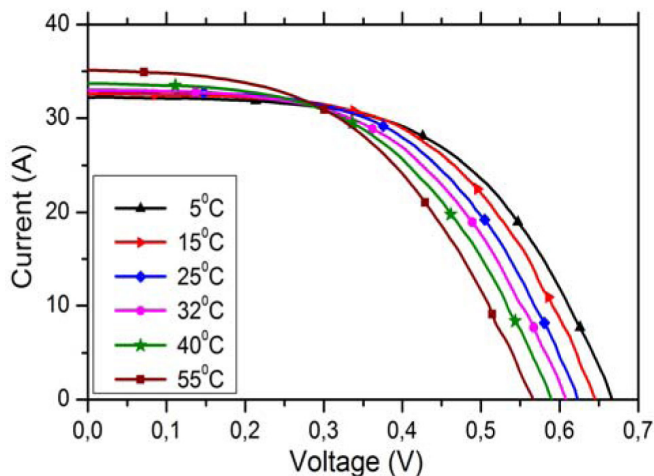


Рисунок 3 – Температурные зависимости вольтамперных характеристик с-P/VT модуля, полученные при кратности освещения 8^x

В правой колонке для сравнения даны теоретические значения некоторых из этих параметров. Видно, что температурный коэффициент напряжения холостого хода концентраторного модуля практически совпадает с рассчитанной величиной. В то же время, температурный коэффициент тока короткого замыкания почти в 3

раза выше теоретического значения, а для коэффициента заполнения эти значения отличаются примерно в 2 раза. При этом температурный коэффициент выходной мощности почти совпадает с теоретической величиной для кремния. Влияние температуры на максимальную выходную мощность P_M определяется выражением:

$$(1/P_M)(dP_M/dT)=(1/Voc)(dVoc/dT)+(1/Isc)(dIsc/dT)+(1/FF)(dFF/dT) \quad (1)$$

Таблица 1 – Температурная зависимость параметров вольтамперной характеристики с-PV/T батареи в диапазоне 5-55 °С.

Параметр	Ед. изм.	Эксперим. значение	Теоретич. величина для Si
Voc	V	0.672	-
dVoc / dt	V /°C	-0.0021	-0.0022
(1/Voc)(dVoc/dT)	1/°C	-0.0031	-
Isc	A	35.0	-
dIsc / dt	A/°C	0.0577	-
(1/Isc)(dIsc/dT)	1 /°C	0.0016	0.0006
FF	%	58.8	-
dFF / dt	% /°C	-0.0016	-
(1/FF)(dFF/dT)	1 /°C	-0.0027	-0.0015
P _M	W	12.7	-
dP _M / dt	W /°C	-0.051	-
(1/P _M)(dP _M /dT)	1/°C	-0.0041	-(0.004-0.005)

Подстановка соответствующих величин из таблицы 1 в формулу (1) приводит к величине $(1/P_M)(dP_M/dT)$ равной 0,0041, которая хорошо согласуется с расчетным значением для Si. Таким образом, взаимная компенсация температурных зависимостей тока короткого замыкания и коэффициента заполнения нагрузочной характеристики приводит к снижению влияния температуры на выходную мощность с-PV/T модуля.

Прототип энергетической установки

Прототип энергетической установки, показанной на рис.4 содержал планарный концентратор с 12 плоскими отражателями создающий световое пятно 13,5 см x45 см с оптической концентрацией 8х. В фокусе были размещены 3 последовательно соединенных тепло-фотоэлектрических модуля, принудительно охлаждаемых антифризом. Слежение по двум координатам осуществлялось с использованием трекера фирмы SatControl модели SM44M1V2P.

Важно отметить, что использование в системах с концентраторами солнечных элементов большой площади позволяет существенно снизить требования к точности механических узлов следящей системы и, соответственно, уменьшить ее себестоимость. Так в нашем случае использовался режим поминутного слежения по азимуту и почасовое слежение по альтитуде. Та-



Рисунок 4 – Трехэлементная концентраторная батарея с плоским концентратором

кой точности было вполне достаточно для фиксации светового пятна на активных элементах системы в течение светового дня. При испытаниях в летнее время года ($P=1000 \text{ Вт/м}^2$) установка дала 45 Вт электрической мощности и 225 Вт тепловой мощности. Для снижения себестоимости системы целесообразно использовать наиболее дорогостоящую компоненту теплофотоэлектрической системы – трекер с возможно большим числом модулей, которое ограничивается его механической нагрузочной способностью. Использование двухосевой системы слежения с 12 одноэлементными модулями позволяет получить 180 Вт электрической и 900 Вт тепловой энергии. Совместное использование относительно дорогой следящей системы для получения тепловой и электрической энергии позволяет распределить ее стоимость между тепловым и элект-

рическим преобразователями. То же относится и к концентрирующей системе. Таким образом, комбинированное использование энергии солнца дает возможность существенно снизить себестоимость каждого вида вырабатываемой энергии. Оценочный расчет показал, что в последнем случае себестоимость электрической энергии составит 1,5 US\$/Wp, а тепловой – 0,3 US\$/Wp, что определяет перспективность построения комбинированных концентрирующих систем.

Литература

1 Knauss H., MacCann M., Fath P. Large area metallization wrap through solar cells using electroless plating // Book abstr. 31st IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Lake Buena Vista, USA. – 2005, January 3–7. – P.76-92.

В.С. Антощенко, Ю.В. Францев, О.А. Лаврищев, Е.В. Антощенко

Үлкен аумақты кремний күн элементінің негізіндегі C-PV/T бір элементті модуль

Бұл жұмыста 8x-12x концентрациясының орташа деңгейінде тиімді жұмыс істей алатын сыртқы-жанасымды құрылымы бар кремний негізінде жасалған күн элементінің концентрленген жылу фото электрлік модулінің (с-PV/T) жаңа типі ұсынылған. Фотоэлементтің құрылысы фронталды тоқалмалы шиналары элементтің сыртқы жағына шығарлған және күн элементінің бүкіл ауданындағы сынаулар арқылы электрлік түрде беткі жағымен қосылған MWT (Metallization Wrap Throu) [1] сыртқы-контакттылы құрылымына ұқсас. Жарық ағыны мен температураның концентрациясына байланысты фотоэлектрлік сипаттамалар зерттелген.

Түйін сөздер: күн элементі, кремний, концентраторлық модуль, фотоэлектрлік жылу модуль, фотоэлектрлік сипаттамалар.

V.S. Antoschenko, Yu.V. Francev, O.A. Lavrishev, Yh.V. Antoschenko

Large area single-element si solar cells based C-PV/T module

A new type of the concentrator photovoltaic module based on the Si solar cell with back contact structure is proposed in the present study. This device works effectively in the region of low radiation concentrations ranging from 8^\times up to 12^\times . I-V characteristics of the module for the sun simulator in the range of the radiation concentrations between 1^\times to 12^\times and its temperature dependence at constant irradiance level (8^\times) have been measured. Solar cell design is similar to the back-contact structure MWT (Metallization Wrap Throu) [1], in which the current-collecting front tires moved to the back of the element and electrically connected to the grid through the front holes formed over the entire area of the solar cell. The photoelectric characteristics depending on the concentration of light and temperature.

Keywords: solar cells, silicon, concentrator teplofotoelektrichesky module, photovoltaic characteristics.