

ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

8.3. Солнечные электростанции и системы теплоснабжения

8.3.1. Фотоэлектрические преобразователи и энергоустановки на их основе

8.3.1.1. Кремниевые фотоэлектрические преобразователи и модули

В.А. Васильев, Б.В. Тарнижевский, ОАО «ЭНИН»

В настоящее время более 90 % всего объема производства солнечных элементов (СЭ) составляют плоскоструктурные модули из кристаллического кремния, и прогноз показывает, что в среднесрочной перспективе альтернативы кремнию нет.

Рассматривая современное состояние дел с КПД кремниевых СЭ, необходимо отметить, что в лабораторных условиях достигнут КПД СЭ 24,7 % [1], что является абсолютным рекордом для кремниевых СЭ. В то время как КПД промышленных СЭ составляет 12...16 %, что во многом связано с технологическими возможностями разработчиков.

В основе любой технологии, используемой в настоящее время, стоит технология изготовления кремниевой подложки, будь то наиболее эффективный и стабильный монокристаллический кремний, более дешевый поликристаллический, ленточный кремний или наиболее дешевый, но и менее стабильный тонкопленочный аморфный α -Si.

Определяющими факторами при производстве СЭ являются [2]:

- создание бездефектной поверхности (химическая или химико-механическая полировка и текстурирующее травление);
- формирование потенциального барьера (p - n переход);
- пассивация фронтальной поверхности (термообработка);
- нанесение контактов, как правило, определяющее «лицо» СЭ. В настоящее время в промышленности доминирует технология на основе трафаретной печати и впрессовки металлосодержащих паст. Однако, несмотря на простоту, она ограничивает КПД промышленных СЭ, особенно когда это касается тонких СЭ. Рекордные КПД получаются при использовании технологии ЕСО (evaporated contacts) — нанесении контактов в вакууме. В этом случае потери на затенение от контактов не превышают 4 %, а омические потери — 1 %;
- нанесение просветляющих покрытий.

Эти основные операции, используемые в различных фирмах в зависимости от их технологических возможностей и задач, и определяют направления работ по созданию перспективных технологий изготовления СЭ.

Технология СЭ со скрытым контактом с лазерным скрайбированием канавок позволяет повысить эффективность на 10...20 % за счет селективного легирования и уменьшения затенения фронтальной поверхности контактными полосами, а также формировать контакты на тыльной стороне СЭ. Однако при этом пропорционально возрастает и стоимость его производства. Данную технологию более 10 лет успешно развивает компания BP Solar, увеличив за последние пять лет в 5 раз объем производства фотоэлектрических модулей (ФЭМ) с ожидаемой эффективностью СЭ до 20 % [3, 4].

Технология изготовления НТ элементов объединяет

преимущества аморфного и кристаллического кремния в одной структуре. НТ элемент представляет собой тонкую кристаллическую подложку n -типа со сформированными на ней аморфными кремниевыми слоями i -типа и аморфными кремниевыми слоями p -типа и n -типа. Использование НТ технологии в производстве фотоэлектрических преобразователей позволило фирме SANYO увеличить их эффективность в среднем до 19,7 %, при максимально достигнутом КПД 21,3 % [5]. Модули, изготовленные из НТ элементов, имеют эффективность 17 % и превосходные температурные характеристики, обеспечивающие более высокий выход энергии при высоких температурах.

Наивысший КПД для СЭ из монокристаллического кремния, более 24 %, достигнут в University of New South Wales группой профессора Мартина Грина у так называемых PERL СЭ из монокристаллического кремния, выращенного методом зонной плавки, с фронтальной поверхностью, имеющей рельеф в виде перевернутых пирамид, пассивированных легированным слоем, с контактами на тыльной поверхности, созданными локальной диффузией. В конструкции этих СЭ объединены лучшие технические решения. Максимум fotocувствительности в конструкции PERL сдвинут в область больших длин волн и имеет более высокое значение по сравнению с другими СЭ.

Разработка высокоэффективных фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) одновременно проводилась и в Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (ISE), где были получены LBSF-элементы с эффективностью 20...24 %. Элементы получили общее название LBSF/PERL. Чтобы минимизировать потери при затенении и рекомбинации на металлических контактах, необходимы очень тонкие контакты, под которыми находятся сильнолегированные области. Эти тонкие структуры можно получить только с помощью фотолитографии. Несмотря на высокую эффективность ФЭП, технология их изготовления трудоемка и не может пока использоваться в массовом производстве [2].

Примером удачной коммерциализации технологии производства высокоэффективных СЭ с КПД 20 % является линия фирмы Sun Power мощностью 40 МВт/год, выпускающая ФЭМ с эффективностью 17...18 %, что на четверть лучше, чем у обычных модулей. Стоимость фотоэлектрических систем из таких модулей будет составлять 6,5...6,75 долл. США/Вт [6].

В Австралии в 2004 г. введена в действие линия мощностью 20 МВт/год по производству ФЭМ на основе солнечных элементов SLIVER, позволяющая экономить до 90 % кремния. При этом СЭ SLIVER обладают двусторонней чувствительностью с КПД до 19,4 % и могут работать и в концентрированном потоке солнечной радиации. По предварительным расчетам стоимость модуля не будет превышать 1 долл. США/Вт, а стоимость электроэнергии 10 цент/(кВт · ч) [7, 8].

Европейская ассоциация производителей фотоэлектрических установок делает ставку на плоскостельный ФЭМ и планирует [9]:

- увеличить КПД СЭ в производстве с 12...16 % до 20 % (особенно за счет эффективных контактов);
- снизить расход кремния с 16 г/Вт (сегодня) до 8 г/Вт, поскольку около половины стоимости составляет цена кремния;
- использовать двусторонние (bifacial) и концентраторные СЭ.

В России крупнейшим производителем ФЭМ и систем является фирма «Солнечный ветер». Фирме удалось разработать собственную уникальную технологию производства высокоэффективных СЭ с КПД до 17 % и увеличить объем производства до 5 МВт/год, который сейчас является самым большим в России. Выпускаемая продукция соответствует по техническим и экономическим параметрам требованиям мирового рынка [10].

Компания «Солнечный ветер» одна из первых в мире освоила выпуск ФЭМ с двусторонней чувствительностью, что позволило повысить энерговыработку модулей и производить широкий спектр каркасных модулей в диапазоне от 6 до 240 Вт с КПД 12...14 % одно- и двусторонней чувствительности и фотоэлектрических систем на их основе. В России в НПФ «Кварк» созданы двусторонние СЭ с лицевым КПД выше 17 % и тыльным выше 14 %, что является рекордным для СЭ такого класса. Для создания СЭ были использованы структуры на основе монокристаллического кремния, а в состав токопроводящей системы входят проводящий оксид, электрические шины, находящиеся рядом со структурой, и проволоочная контактная сетка. Это позволяет снизить электрические потери и потери на затенение, упрощает процесс сборки ФЭМ и применимо к различным материалам [9].

Научно-производственная фирма ЗАО «Телеком-СТВ» [11] разработала собственную технологию производства эффективных СЭ размером 100×100 мм и 103×103 мм (КПД 14...16 %) и ФЭМ мощностью

0,75...110 Вт с КПД 12...13 %, годового объема производства которых составляет 1,5 МВт.

Солнечные элементы (круглые с диаметром 100 мм и на основе псевдоквадрата 100×100 мм) с КПД выше 12 % и ФЭМ с КПД 10...12 % производит Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ).

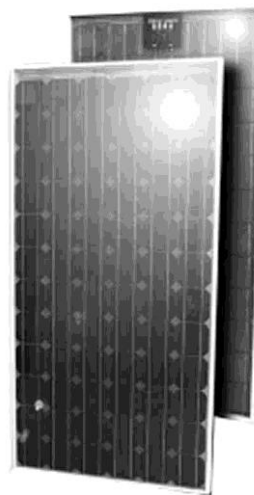


Рис. 8.9. Плоские каркасные фотоэлектрические модули производства РЗМКП

Рязанский завод металлокерамических приборов (РЗМКП) производит псевдоквадратные монокристаллические кремниевые ФЭП размером 102,8×102,8 мм и 125×125 мм с КПД 12...15 % и ФЭМ (рис. 8.9) мощностью 4...150 Вт с КПД 11...13 % [12]. С 2006 г. РЗМКП планирует увеличить выпуск фотоэнергетических установок в несколько раз.