

УДК 621.383

А.П. Литвинов

## Особенности технологии производства фотоэлектрических преобразователей со сквозным эмиттером

Концепция фотоэлектрического преобразователя (ФЭП) со сквозным эмиттером включает в себя собирающий носители заряда и покрывающий всю лицевую поверхность р-п переход, который контактирует через многочисленные отверстия с тыльной металлизацией. Технология изготовления ФЭП со сквозным эмиттером была адаптирована к существующему оборудованию производства стандартных кремниевых солнечных элементов. Визуализация работоспособности ФЭП была осуществлена методом электролюминесценции.

The concept of Emitter Wrap-Through (EWT) solar cells comprises a carrier collecting p-n junction covering the whole front surface which is wrapped through a large number of via-holes to the rear side where it is then contacted by the cell metallization. The technology of production EWT solar cells was adapted to the existing equipment of production conventional solar cells. The EWT solar cell workability visualization was made by electroluminescence.

**Ключевые слова:** ФЭП со сквозным эмиттером, тыльный контакт, лазер, электролюминесценция, трафаретная печать.

### Введение

Развитие технологии производства кремниевых ФЭП является основным инструментом для снижения себестоимости солнечных модулей. Поэтому, ведется активный поиск технологии производства кремниевых ФЭП с КПД более 18%. Одним из таких направлений является технология производства ФЭП со сквозным эмиттером, основной особенностью которой является конструкция ФЭП со сплошным эмиттером на лицевой поверхности электрически соединенным с тыльным эмиттером через многочисленные отверстия в пластине, сделанные при помощи лазера [1,2]. Главным достоинством такой конструкции является отсутствие лицевой металлизации, а вместе с ней и отсутствие потерь, связанных с затмением лицевой поверхности, а так же упрощается технология сборки модуля, так как пайка в этом случае осуществляется только с тыльной стороны ФЭП. Основной проблемой данной конструкции является сложная технология изготовления и

высокие требования по точности совмещения. В данной работе рассматривается возможность создания ФЭП со сквозным эмиттером на оборудовании серийного производства стандартных кремниевых ФЭП.

### Описание технологии

Основными этапами производства ФЭП со сквозным эмиттером (рис. 1), является: создание, с помощью лазера, отверстий в кремниевой пластине, удаление нарушений кристаллической решетки, текстурирование и очистка, создание маски для определения р- и n-типа областей, диффузия фосфора, пассивация, нанесение антиотражающего покрытия (АОП), трафаретная печать контактов и вжигание.



Рис. 1. Упрощенная структура ФЭП со сквозным эмиттером.

Для создания маски с целью защиты р-типа областей от диффузии можно использовать технологию трафаретной печати диффузионного барьера или наносить нитрид кремния, а затем, при помощи трафаретной печати, наносить травящую нитрид кремния пасту [3], либо удалять локально нитрид кремния при помощи лазера [2].

В данной работе использовались стандартные монокристаллические кремниевые пластины р-типа с удельным объемным сопротивлением  $1,5 - 3 \text{ Ом}\cdot\text{см}$  и временем жизни неосновных носителей заряда  $10 - 20 \text{ мкс}$ . Толщина пластин составляла  $200 \text{ мкм}$ , а сторона квадрата  $125 \text{ мм}$ .

С пластин в горячем растворе щелочи был стравлен нарушенный слой, после чего на тыльную поверхность пластин был нанесен слой нитрида кремния на стандартном оборудовании нанесения АОП методом PECVD.

Для создания отверстий и локального удаления нитрида кремния с целью создания диффузионной маски использовалась лазерная система фирмы Rofin. Длина волны лазерного излучения составляет  $1064 \text{ нм}$ . Система позволяет варьировать мощностью ( $0 - 25 \text{ Вт}$ ), частотой пульсации излучения ( $10 - 40 \text{ кГц}$ ), а также скоростью сканирования в широких пределах ( $1 -$

1000 мм/с). Сквозные отверстия диаметром 50 мкм создавались путем многократного облучения одного и того же участка поверхности пластины. А локальное снятие нитрида кремния - путем сканирования лазерным пучком по поверхности.

Травление нарушений кристаллической решетки после лазерной обработки было осуществлено одновременно с созданием текстурированной поверхности стандартным процессом щелочного текстурирования с последующей химической очисткой.

После диффузии фосфора, сопротивление эмиттера составляло 45-50 Ом/□. Снятие ФСС проводилось в концентрированном растворе HF до снятия маскирующего нитрида кремния. После чего, на лицевую сторону в качестве АОП методом PECVD был нанесен нитрид кремния.

Шаг металлических контактов был рассчитан исходя из удельных сопротивлений эмиттера и базы, а также точности позиционирования пластин и допусков трафаретной печати и составлял 2.44 мм. Так же была разработана топология металлизации с учетом оптимального расположения площадок для пайки.

Настройка позиционирования трафарета для печати серебряного контакта к эмиттеру, осуществлялась по заранее подготовленному шаблону, представляющего собой пластину с рисунком локально снятого, с помощью лазера, АОП, совпадающим с рисунком будущей металлизации.

Для печати металлических контактов применялись те же пасты, что и при серийном производстве, за исключением серебряно-алюминиевой пасты. Вместо нее, с целью сокращения количества операций, применялась серебряная паста. Сушка паст и вжигание производились на режимах, типичных для производства стандартных ФЭП.

## Результаты

При трафаретной печати ФЭП со сквозным эмиттером было замечено протекание серебряной пасты через отверстия, что с одной стороны снижает последовательное сопротивление, а с другой стороны чрезмерное протекание серебряной пасты ухудшает внешний вид ФЭП. Для снижения этого эффекта было отрегулировано давление прижимного вакуума, однако, исключить полностью этот эффект не удалось (рис. 2.).

После вжигания токопроводящих паст, на некоторых областях ФЭП было обнаружено локальное отслоение алюминиевой пасты, вызванные неоптимальными для такой структуры условиями сушки.

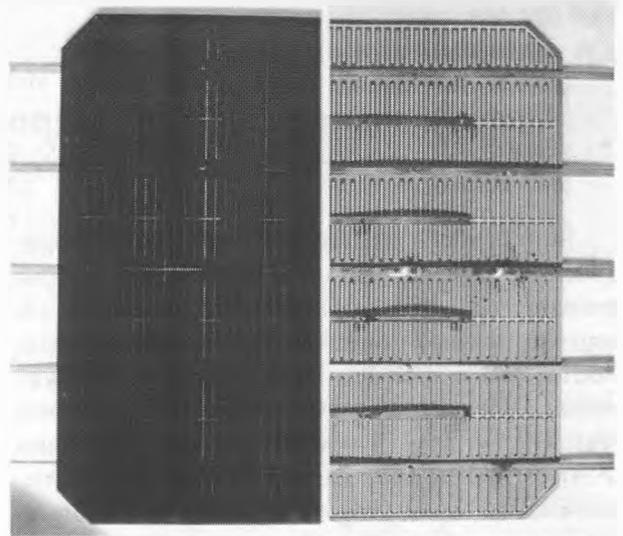


Рис. 2. Лицевая (слева) и тыльная (справа) стороны ФЭП со сквозным эмиттером.

Для измерения ВАХ, к контактным площадкам пластин были подпаяны двухмиллиметровые медные шинки, которые обычно используются при сборке серийных ФЭП в модули. Шинки соединяют все фрагменты ФЭП параллельно.

Вольтамперные характеристики сняты при мощности излучения  $1000 \text{ Вт/м}^2$  спектра AM1,5 (рис. 3.). Низкое значение эффективности 10,4% связано с пониженным значением напряжения холостого хода 540 мВ и малым коэффициентом заполнения ВАХ 54,6%.

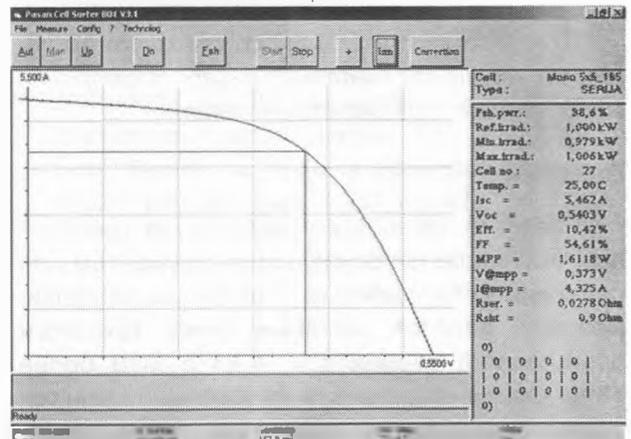


Рис. 3. Вольтамперная характеристика ФЭП со сквозным эмиттером площадью  $154,7 \text{ см}^2$ .

Для более детального анализа ФЭП был использован метод электролюминесценции. Данный метод позволил выявить фрагменты ФЭП с малой эффективностью, которые снижали общую эффективность элемента. На рис. 4. они видны как фрагменты, имеющие более слабое ИК излучение. А изменение направления тока во время экспозиции позволило локализовать места утечек находящихся вблизи поверхности полупроводника [4,5,6], которые видны как мелкие светящиеся точки.

Для лучшего восприятия границ пластины, во время экспозиции также была добавлена зеленая подсветка. Таким образом, так как минимум отражения АОП находится в районе 550 нм, то пластина кажется черной, а задний белый фон - светло-зеленым.

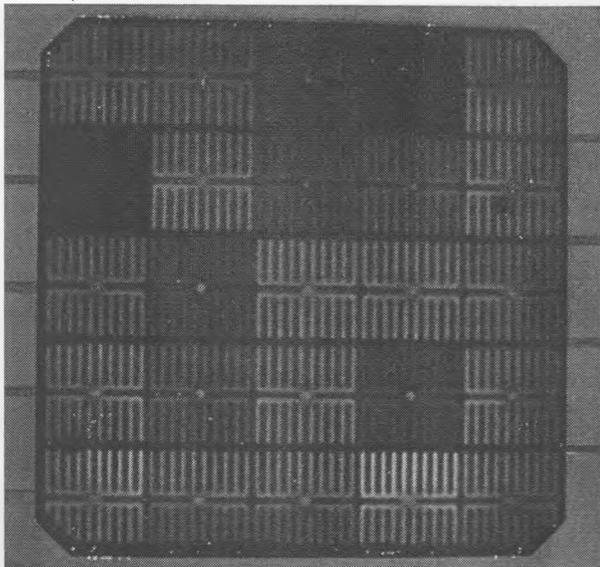


Рис. 4. Электролюминесценция и локализация утечек ФЭП со сквозным эмиттером.

Как видно из рис.4, места утечек по торцам и вблизи лицевой поверхности ФЭП не могли существенно снизить эффективность соответствующих областей. С тыльной стороны ФЭП так же были обнаружены излучающие свет точечные участки, которые не всегда совпадали с расположением фрагментов ФЭП низкой эффективности. Некоторые фрагменты ФЭП имеют на изображении электролюминесценции более светлые центральные области, по сравнению с остальной областью фрагмента, что указывает на повышенное сопротивление контакта центральной области (серебряная площадка) с остальной областью базового контакта (алюминиевая гребенка).

Следовательно, причинами низкой эффективности отдельных фрагментов ФЭП со сквозным эмиттером являются внутренние закоротки, находящиеся под металлическим контактом, а также повышенное контактное сопротивление между серебряной и алюминиевой площадками.

Внутренние закоротки могли быть вызваны случайным попаданием алюминиевой пасты на область эмиттера. А повышенное контактное

сопротивление площадок – локальным отслоением слоя алюминиевой пасты в некоторых местах нахлеста на серебряный слой.

## Выводы

Одним из перспективных направлений развития технологии производства кремниевых фотоэлектрических преобразователей является конструкция ФЭП со сквозным эмиттером. Основным достоинством, которой является возможность создания ФЭП без лицевой металлизации. Была разработана технология изготовления ФЭП со сквозным эмиттером, осуществляемая на оборудовании производства стандартных кремниевых солнечных элементов. Данная технология имеет повышенные требования позиционирования пластин при лазерной обработке и трафаретной печати. Для улучшения параметров ФЭП необходимо провести оптимизацию процессов сушки и вжигания токопроводящих паст.

## Литература

1. C. Peters at al. Alba-development of high-efficiency multi-crystalline Si EWT solar cells for industrial fabrication at Q-Cells // Proc. 23rd EU PVSEC - Valencia, Spain, - 2008, - p.1010-1013
2. S. Hermann at al. 21.4% -efficient emitter wrap-through RISE solar cell on large area and picoseconds laser processing of local contact openings // Proc. 22nd EU PVSEC, Milan, Italy, - 2007, - p. 970-975
3. H. Haverkamp at al. Screen printed EWT cells: limitation and alternative approaches to the manufacturing process // Proc. 23rd EU PVSEC - Valencia, Spain, - 2008, - p. 1945-1948
4. A. Kitiyanan at al. Complementary analysis of crystalline defects in Si solar cells by electroluminescence imaging combining forward and reverse bias condition// Proc. 23rd EU PVSEC - Valencia, Spain, - 2008, - p.1503-1505
5. J. Dolensky at al. Generation and behaviour microplasma in solar cell// Proc. 23rd EU PVSEC - Valencia, Spain, - 2008, - p.350-352
6. J. Vanek Micro-plasma noise signal used in solar cells diagnostic// Proc. 22nd EU PVSEC, Milan, Italy, - 2007, -p 242-245