

ЭФФЕКТИВНЫЕ СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ НА ОСНОВЕ КРЕМНИЯ

Турсунов М.Н., Дадамухамедов С., Якубова М.С., Ярбеков А
Физико-технический институт НПО «Физика-Солнце» АН РУз

Солнечные элементы (СЭ) из монокристаллического кремния с р-п переходом по-прежнему занимают ведущее положение в фотоэлектрической энергетике, так как эффективность преобразования в наземных условиях, по сравнению с элементами из других полупроводниковых материалов, выше и практически не подвержены деградации параметров.

В работе /1-2/ нами были приведены результаты исследования процесса диффузии примесей в монокристаллический кремний через окисных покрытий для оптимизации параметров фронтального слоя структуры и влияние их на характеристик структур СЭ.

В данной работе приводятся результаты исследования процесса получения диффузионных р-п структур, легированных бором (В) из твердотельных источников и влияния технологических условий формирования изотипного pn^+ -перехода на свойства СЭ из монокристаллического кремния КЭФ-2 толщиной 300 мкм. До настоящего времени нами структуры СЭ на основе кремния п-типа проводимости изготавливалась на однослойных эпитаксиальных структурах pn^+ -типа, где эпитаксиальный слой п-типа проводимости толщиной 35-50 мкм, а p^+ -подложка толщиной 380 мкм. В этом случае базой элемента является эпитаксиальный слой ограниченной толщины. Таким образом, в случае использования кремния КЭФ-2 с толщиной 300 мкм предполагается получение большей эффективности из-за большего объема поглощения солнечного излучения при формировании соответствующей эффективной структуры.

Маршрут изготовления эффективных СЭ включает в себя следующие последовательные этапы формирования структуры: подготовка поверхности пластин кремния (Si), диффузия бора для получения мелкозалегающего р-п перехода, изготовление токосъемных контактов, получение просветляющего покрытия, удаление шунтов с торцевых поверхностей структуры.

Изменения в технологии изготовления СЭ касается получения р-п перехода диффузией бора и формирования тыльного изотипного pn^+ -перехода. С учетом результатов исследований проведенных в /1-2/ процесс диффузии бора проводился через окисное покрытие SiO_x . Были максимально уменьшены расстояния пластина кремния – источник диффузии (нитрид бора) для изучения возможности уменьшения последовательного сопротивления фронтального слоя в условиях наличия защитного покрытия из SiO_x и увеличения производительности процесса в 2 раза. Этому способствовало наличие защитного покрытия.

Изготовлены две группы СЭ, различающиеся друг от друга наличием изотипного pn^+ -перехода. Изготовление pn^+ -перехода проводилось в следующей последовательности; после формирования мелкозалегающего р-п перехода диффузией бора, с тыльной стороны структуры удаляется встречный р-п переход. Затем формировали pn^+ -переход на тыльной стороне пластин диффузией фосфора из твердотельного источника диффузии.

Диффузия фосфора в пластины кремния проводились нами из твердотельных источников многократного пользования, в отличии от традиционно используемых пленкообразующих источников диффузии. Пленкообразующие источники диффузии фосфора сложного состава обычно заранее формируется на поверхности пластин Si методом центрифугирования, и затем закрепляется отжигом при небольших температурах 400-500 °С. Диффузия атомов фосфора происходит непосредственно из пленки в защищенную поверхность кремния. Однако, несмотря на высокую эффективность этих источников диффузии, технологический процесс является относительно малопродуктивным и трудоемким. Высокая производительность и доступность метода диффузии из твердотельных источников многократного пользования является неоспоримым фактом.

В литературы практически отсутствует информация о диффузии из твердотельных источников фосфора в технологии изготовления кремниевых СЭ. В связи с этим отработана технология проведения диффузии из пентооксида фосфора (P₂O₅) полученного на обеих сторонах пластин кремния р-типа проводимости. Были установлены, что в отличие от пленкообразующих источников диффузии фосфора в данном случае оптимальные параметры процесса другие, например температура отжига (T_{диф}) на 50-70 С выше, а расстояние между пластиной кремния - источником диффузии составляет 0,1-0,2 мм. Температура диффузии фосфора выбрана из условия

$$T_{\text{диф. боа}} > T_{\text{диф. фосфора}}$$

Причем, предполагается, что при выбранном режиме диффузии температура и время диффузии не влияют на распределение примеси бора во фронтальном слое структуры СЭ.

В качестве контактов к структуре использованы последовательно нанесенные слои титан-никель-мед с последующим лужением в припое ПОС-61. Просветляющий слой из SiO_x 1000 °А получен методом вакуумного напыления.

В таблице 1 приводится зависимость U_{xx} от T_{отж} фосфора в сравнении с образцами без np⁺- перехода на тыльной поверхности структур. Как видно, происходит заметное увеличение U_{xx} на 40-70 мВ и более, по сравнению со случаем структуры СЭ без np⁺- перехода. Отметим также, что разница роста U_{xx} для структур увеличивается с ростом T_{отж}.

Таблица 1

Р-п структура		Солнечные элементы на основе p ⁺ np ⁺ - структуры				
Без слоя SiO _x	С защитн. слоем SiO _x	температура отжига, 850 °С	температура отжига, 900 °С	температура отжига, 950 °С	температура отжига, 1000 °С	
U _x	0,46-0,5	0,5-0,54	0,54 - 0,56	0,54 - 0,57	0,54 - 0,59	0,55 - 0,59

Нагрузочная ВАХ СЭ снятая для случая без и с np⁺- переходом полученного при температуре 800 °С показывает, что происходит увеличение J_{кз} с 25-28 мА/см² до 33-35 мА/см² (в условиях AM 1,5 E = 900 Вт/м², T = 20 °С), причем максимальные параметры наблюдается для случая структуры с защитной пленкой SiO_x на фронтальной поверхности.

Для снижения температуры формирования np⁺- перехода рассмотрена возможность использования примеси Sb применением данного метода. Предварительные эксперименты показывают, что в этом случае возможно снижение температуры на 150-200 °С.

Таким образом, формирование np⁺- перехода на исходном материале из монокристаллического кремния применением диффузии фосфора из твердотельных источников диффузии позволяет увеличению U_x и J_{кз} и в целом эффективности преобразования на 15-20 % от первоначального.

Литература

- /1/ - Турсунов М.Н., Дадамухамедов С., Муродов М., Якубова М.С., Кремниевые солнечные элементы с тонкими фронтальными диффузионными слоями, Гелиотехника, 2003, № 2, с.
 /2/ - - Турсунов М.Н., Муродов М., Сеттарова З.С., Якубова М.С., Джанклыч М.У., Усманов Ш., Влияние свойств защитного покрытия на параметры СЭ с тонкими фронтальными диффузионными слоями», Научная конференция, посвященная 60-летию Физико-технического института НПО «Физика-Солнце» АН Руз. 27-28 ноября 2003 г., тезисы докладов, с.251-254