

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕХОДНОГО СЛОЯ МЕЖДУ ПРОСВЕТЛЯЮЩИМ ПОКРЫТИЕМ И p-n-СТРУКТУРОЙ НА ОСНОВЕ a-Si:H НА ПАРАМЕТРЫ СОЛНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА

В.О. Абрамов, Л.А. Балагуров, А.Н. Белоконов, Ю.А. Дроздов, Н.Ю. Карпова,
О.Е. Коробов, А.Н. Лупачева, В.А. Миляев, А.В. Ширков

Исследовано влияние состава прозрачного просветляющего окисла (ППО) на формирование переходного слоя между ППО и p-n-структурой на основе аморфного гидрированного кремния. Показано, что образование SiO₂ на границе раздела существенно изменяет параметры солнечного элемента.

Эффективность работы солнечных батарей на основе аморфного гидрированного кремния (a-Si:H) в значительной степени зависит от структуры, состава, оптических и электрических свойств прозрачного просветляющего окисла (ППО), являющегося фронтальным электродом p-n-структуры, а также от границы раздела между ними. В качестве ППО обычно используют оксиды олова, индия, олова-индия (ITO) и многослойные пленки на их основе [1/.

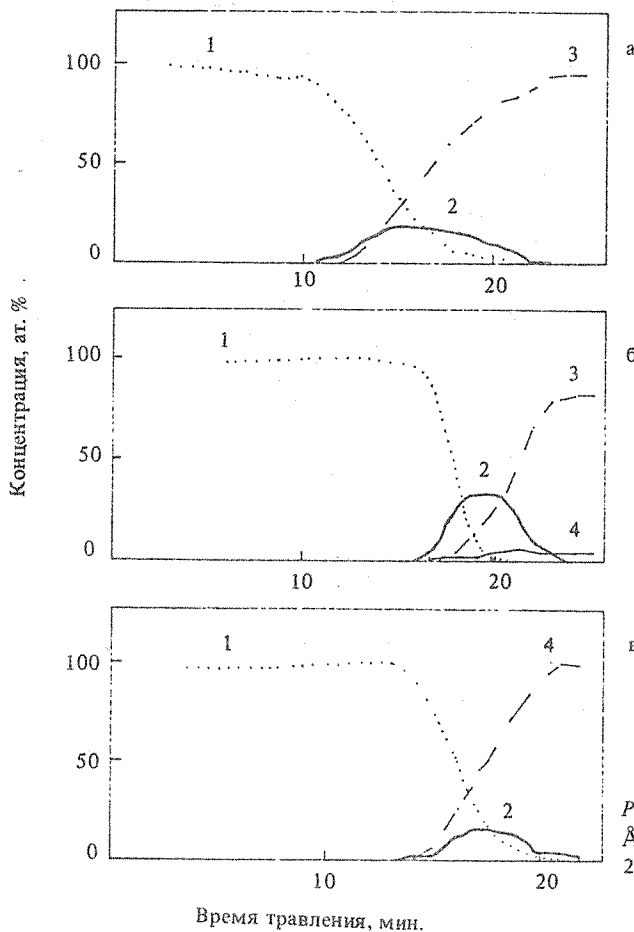


Рис. 1. Результаты профильного анализа пленок a-Si:H (1000 Å) на подложках: а) In₂O₃; б) ITO; в) SnO₂.1-Si; 2 - SiO₂; 3 - In₂O₃; 4 - SnO₂.

В настоящей работе исследовано влияние состава ППО на формирование переходного слоя (ПС) на границе раздела ППО/pin. Солнечные элементы с pin-структурой изготавливались на основе a-Si : H, полученного разложением моносилана в тлеющем ВЧ разряде с добавлением B_2H_6 и PH_3 для получения легированных p- и n-слоев.

Исследование границы раздела ППО/pin проводилось на двух сериях образцов a-Si : H (1000 Å), осажденных на различные ППО в условиях, идентичных получению pin-структур. Различие между сериями состояло в том, что во втором случае осаждение проводилось при экранировании подложки от зоны горения тлеющего разряда в период неустановившегося режима, что предохраняло поверхность ППО от неконтролируемого осаждения a-Si : H.

Для изучения границы раздела применялся метод анализа составляющих компонентов в оже-электронной спектроскопии, преимущество которого по сравнению с обычным оже-анализом состоит в том, что удается установить наличие химических соединений в исследуемых образцах и их количественное распределение по глубине /2/. Регистрация спектров проводилась в дифференциальной форме на установке LAS-2200 с разрешением по энергии 0,3 % и амплитудой модуляции 1 эВ. Первичная энергия электронов 3 кВ, ток пучка 1 мкА. Распыление поверхности осуществлялось ионами аргона при 3 кВ сканирующим пучком. Скорость распыления составляла ~ 60 Å/мин.

Результаты анализа пленок, выращенных на ППО различного состава, представлены на рис. 1. Для ППО всех исследуемых составов на границе раздела обнаружена фаза SiO_2 . Наибольший размер переходной области ~ 600 Å наблюдался для In_2O_3 с концентрацией SiO_2 ~ 18 ат. % в максимуме (рис. 1а). Для ИТО ПС составлял ~ 300 Å, однако содержание SiO_2 достигало 35 % (рис. 1б). Сравнительно узкий ПС ~ 350 Å с содержанием SiO_2 ~ 15 % наблюдался в случае SnO_2 (рис. 1в).

Необходимо отметить, что для первой серии образцов, без устранения неконтролируемого роста a-Si : H, суммарная концентрация фаз на границе раздела была существенно меньше 100 %. Так как оже-анализ не выявил присутствия каких-либо других фаз, этот факт свидетельствовал о наличии дефектной области a-Si:H с пониженной плотностью у границы раздела. Термообработка таких образцов в течение 4 часов при температуре выше 200 °С приводила к восстановлению концентрационного равновесия, однако при этом количество фазы SiO_2 на границе раздела увеличивалось до 65 % при 450 °С.

Анализ ВАХ и спектральных характеристик, а также зависимости ВАХ от мощности падающего излучения для pin-структур, сформированных на различных ППО, проведен на серии из 50 образцов, содержащих по 10–25 элементов, полученных при различных режимах. Для измерений использовался солнечный имитатор с несколько зауженным спектром по сравнению со спектром АМ1, поэтому приведенные в работе ВАХ отличаются от ВАХ этих же элементов при АМ1 (АМ1 – освещенность при плотности энергии падающего света, равной 1 кВт/м² для Солнца, расположенного в зените в ясный день). Так, например, ток короткого замыкания I_{sc} завышен примерно на 20–40 %, а коэффициент заполнения FF на 10–20 %, что приводит, по-видимому, к завышению КПД на 15–30 %.

Минимальные величины барьеров ($U_{xx} = 0,65$ В) получены на структурах In_2O_3 /pin и на всех ППО/pin первой серии. На структуры In_2O_3 /pin приходилось максимальное число (более 30 %) закороченных элементов, что вызвано диффузией материала ППО в pin. На других ППО таких элементов было меньше 10 %.

Таблица 1

Параметры ВАХ исследованных pin-структур

ППО	SnO_2	ИТО	SnO_2 /ИТО
КПД, %	3,5	2,6	5,9
U_{xx} , В	0,79	0,80	0,84
I_{sc} , мА/см ²	13	10	19
FF	0,34	0,32	0,34

Присутствие SiO_2 в ПС увеличивает последовательное сопротивление элемента, что заметно снижает его FF. Максимальное значение $\text{FF} = 0,42$, и лучший коэффициент собирания в коротковолновой области получен на структуре SnO_2/pin с площадью элемента $S = 0,032 \text{ см}^2$. Однако увеличение S таких элементов до $0,2 \text{ см}^2$ приводило к снижению КПД, что вызвано низкой проводимостью SnO_2 . Выход может быть найден в применении в качестве ППО многослойных пленок. В табл. 1 приведены параметры ВАХ трех типов pin-структур с площадью $S = 0,2 \text{ см}^2$, полученных на различных ППО в одном технологическом процессе. Видно, что наилучшие параметры имеет элемент, в котором на pin-структуру наносится тонкий слой SnO_2 для формирования оптимального ПС, а затем осаждается слой ITO, обладающий большей чем SnO_2 проводимостью.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы. В pin-структурах на основе a-Si : H в качестве ППО необходимо использовать материалы, образующие ПС минимальной протяженности с наименьшим количеством SiO_2 на границе раздела. Этими качествами обладает SnO_2 . Для увеличения проводимости ППО можно использовать многослойные покрытия из SnO_2 и материалов, имеющих более высокую проводимость (In_2O_3 , ITO).

ЛИТЕРАТУРА

1. Аморфные полупроводники и приборы на их основе. Под ред. Хамакавы Й. М. Металлургия, 1986.
2. Белоконев А. Н. и др. Тезисы докладов Первой Всесоюзной конференции "Физические и физико-химические основы микроэлектроники". Вильнюс, 1987, с. 233.

Институт общей физики АН СССР

Поступила в редакцию 22 июня 1988 г.