

УДК 620.91

В.В. Филиппов, В.А. Лабунов, И.А. Кашко, Д.В. Грапов, А.К. Тучковский

**ПАССИВАЦИЯ ГРАНИЦЫ ПЕРОВСКИТА И ТРАНСПОРТНЫМ СЛОЕМ  
ОКСИДА НИКЕЛЯ ГРАФИТОМ И КАРБИДОМ БОРА***БГУИР, Бровки, 6, 220013 Минск, Беларусь*[filippov@bsuir.by](mailto:filippov@bsuir.by)

Для повышения эффективности и стабильности фотоэлектрических ячеек на основе металлорганических перовскитов все шире применяются модифицирование границы перовскита с транспортными слоями (инженерия границ). С этой целью используются мономолекулярные слои ряда органических веществ. В практическом отношении представляют интерес неорганические материалы. В работе представлены результаты пассивации границы метиламмония иодида свинца и оксида никеля ( $\text{NiO}_x$ ) – зарядово-транспортного слоя  $p$ -типа проводимости, с помощью углеродных материалов – тонких слоев графита и карбида бора ( $\text{C}_4\text{B}$ ).

Инвертированные фотовольтаические ячейки для исследований имели структуру: стекло/ITO (200нм)/ $\text{NiO}_x$  (35-40нм)/ углеродный материал/перовскит(1.5 мкм)/ $\text{TiO}_2$ (30нм)/Ti(10нм)/Al (50мкм). Для уменьшения сопротивления слоя  $\text{NiO}_x$ , сформированным высокочастотным магнетронным распылением, он допировался ионами  $\text{Al}^{3+}$  (3вес%) по разработанной нами процедуре. Графит и  $\text{C}_4\text{B}$  толщиной до 10 нм методом вакуумного электронно-лучевого испарения наносились на поверхность  $\text{NiO}_x$ , граничащую с перовскитом. Она подвергалась очистке бомбардировкой ионами аргона, которые также разрывали поверхностные связи, которые позже сшивались с напыляемым материалом, что значительно улучшало их адгезию к поверхности. Затем нанесенные пленки отжигались в вакууме при  $420^\circ\text{C}$  в течении 1 ч. Гидрофобные поверхности углеродных материалов обрабатывались раствором йодистого азота в диэтиловом эфире. Такая обработка позволила получить поверхностные нанометровые слои с хорошими гидрофильными свойствами и хорошей адгезией. Толщина слоев оценивалась эллипсометрически.

Измеренные ВАХ ячеек при освещении на имитаторе солнечного света (солнечный спектр AM 1,5) мощностью  $50 \text{ мВт/см}^2$  показаны на рис.1. Во всех испытанных ячейках напряжение холостого хода находилось в интервале 600-650 мВ, что до 6.5% превышало напряжение холостого хода ячейки без пассивации границы. Плотность тока короткого замыкания для ячеек с пассивацией графитом и  $\text{C}_4\text{B}$  лежала в диапазоне 14–19  $\text{мА/см}^2$ , что на 10–40% превышало ее значение для ячеек без пассивирующих слоев. Наилучшие параметры показали ячейки с пассивацией поверхности  $\text{NiO}_x$  карбидом бора и графитом; они более детально исследовались далее.

Для оценки качества пассивации границы  $\text{NiO}_x$  – перовскит была использована спектроскопия электрохимического импеданса (в диапазоне частот 0.1Гц–100кГц) и

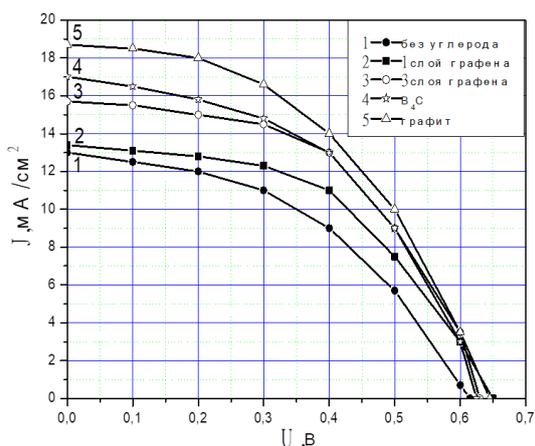


Рис.1. ВАХ солнечных ячеек с пассивацией границы оксид никеля-перовскит различными углеродными материалами

фотолюминесценция (ФЛ). В табл. 1 приведены электрические характеристики ячеек при моделировании импеданса элементами постоянной фазы (CPE) в условиях отсутствия освещения. При этом для ячейки с пассивацией границы  $\text{NiO}_x$  – перовскит карбидом бора импедансная диаграмма состояла из двух полуэллипсов, а эквивалентная электрическая схема включала два элемента CPE с рекомбинационными сопротивлениями  $R_{rec1}$  и  $R_{rec2}$  и показателями  $n$ .

Таблица 1. Параметры элементов CPE (рекомбинационное сопротивление  $R_{rec}$  и экспоненциальный показатель  $n$ ) и последовательное сопротивление  $R_s$  исследованных ячеек

Ячейка	$R_s$ , Ом	$R_{rec1}$ , Ом	$R_{rec2}$ , Ом	$n_1$	$n_2$
исходная	195,52	5896,7	-	0,62992	-
графит	52,279	1287,2	-	0,73899	-
С4В	51,226	344,43	654,95	0,71648	0,92618

Как видно из таблицы рекомбинационное сопротивление ячеек с пассивацией границы значительно уменьшилось. При этом возросли их емкостные свойства, о чем говорят высокие значения  $n$ .

Эффективная пассивация границы хорошо проявляется в уменьшении интенсивности ФЛ. Интенсивность свечения упала по сравнению с непассивированной границей раздела почти в 4 раза, при пассивации графитом и в 3 раза – при пассивации С4В. Это говорит о значительном усилении дрейфа заряда из перовскита на электрод. Известно, что эффективность ячеек на основе  $\text{NiO}_x$  ограничивается как раз медленной экстракцией дырок из-за плохой границы раздела перовскит –  $\text{NiO}_x$ . С улучшением пассивации границы спектр ФЛ смещается в длинноволновую область спектра (до 30 нм при пассивации С4В), что является следствием уменьшения ширины запрещенной зоны перовскита, частично вызванной его структурной перестройкой вблизи границы с  $\text{NiO}_x$ .