**Ионно-лучевое напыление плёнок оксида индия-олова для перовскитных солнечных элементов**

***Чувилева В.М., Судаков А.А.***

*Студент, 1 курс бакалавриата*

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
факультет наук о материалах, Москва, Россия*

*E-mail: varvara.chuvileva@gmail.com*

Потенциальной альтернативой кремниевым солнечным элементам (СЭ) признаны СЭ на основе гибридных перовскитов. Рекордное значение эффективности данных устройств составляет 26,1% для однопереходных и 33,9% для тандемных СЭ.

Важным компонентом всех СЭ являются прозрачные электроды, преимущественно изготавливаемые из пленок оксида индия-олова (ITO), благодаря их высоким прозрачности (>80%) и стабильности, а также низким удельному сопротивлению (~1ꞏ10‑4 Ом·см) и показателю преломления [1].

Самым распространенным методом получения тонких пленок ITO со стороны стеклянной подложки является магнетронное напыление. Однако, использование данного метода для нанесения прозрачного электрода на функциональные слои перовскитного СЭ требует предварительного нанесения защитных буферных слоев для минимизации повреждения транспортных и светопоглощающего слоя в процессе напыления. Повреждения обычно связывают с бомбардировкой подложки высокоэнергетическими частицами [2]. Одним из перспективных методов нанесения ITO в более мягких условиях, является вакуумное ионно-лучевое напыление. Данный метод позволяет получить плёнки материала с наиболее близкими характеристиками, что и для магнетронного напыления.

Таким образом, целью данной работы стала разработка методики вакуумного ионно-лучевого нанесения тонких пленок ITO в качестве прозрачных электродов для перовскитных солнечных элементов.

На данном этапе результатам серии экспериментов была выявлена зависимость свойств ITO от параметров напыления. При увеличении давления кислорода в камере с 1,1 до 3,98·10-4 мбар оптическая прозрачность пленки возрастает от 88% до 96% в ближнем ИК и от 75% до 88% в видимом диапазоне. Поверхностное сопротивление пленок толщиной 220 нм уменьшается с 67 Ом/кв, доходя до минимума 33 Ом/кв при расходе кислорода 0,2 л/ч, а затем снова увеличивается до 42 Ом/кв. При увеличении толщины пленки ITO от 245 до 565 нм ее поверхностное сопротивление уменьшается с 30,5 до 12,6 Ом/кв, а удельное сопротивление практически не изменяется и составляет около 7,1·10-4 Ом·см. Прозрачность пленки уменьшается с 96% до 88% в ближнем ИК и с 88% до 82% в видимом диапазоне. В ходе рентгенофазового анализа установлено, что вне зависимости от условий напыления плёнки полученного материала являются рентгенноаморфными.

На данном этапе исследования были подобраны условия для получения тонких, сплошных плёнок ITO с поверхностным сопротивлением 30,6 Ом/кв, удельным сопротивлением в 7,1·10-4 Ом·см и интегральной прозрачностью в видимом и ближнем ИК-диапазонах в 96% и 88% соответственно. Были собраны тестовые СЭ с архитектурой: Стекло/ITO/PTAA/Перовскит/C60/BCP:Cu/ITO/MgF2/Инкапсуляция с максимальным стабилизированным КПД 14,9%.

**Литература**

1. Chavan G.T. et al. A Brief Review of Transparent Conducting Oxides (TCO): The Influence of Different Deposition Techniques on the Efficiency of Solar Cells // Nanomaterials. 2023. Vol. 13, № 7. P. 1226.

2. Aydin E. et al. Sputtered transparent electrodes for optoelectronic devices: Induced damage and mitigation strategies // Matter. Elsevier Inc., 2021. Vol. 4, № 11. P. 3549–3584.