

06;11;12

## Увеличение эффективности органических солнечных элементов с помощью просветляющих покрытий на основе фторидных композиций

© С.Х. Сулейманов<sup>1</sup>, Р. Berger<sup>2</sup>, В.Г. Дыскин<sup>1,¶</sup>, М.У. Джанклич<sup>1</sup>,  
Н.А. Кулагина<sup>1</sup>, М. Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт материаловедения НПО „Физика-Солнце“ АН Узбекистана,  
Ташкент, Узбекистан

<sup>2</sup> The Ohio State University, Columbus, Ohio, USA

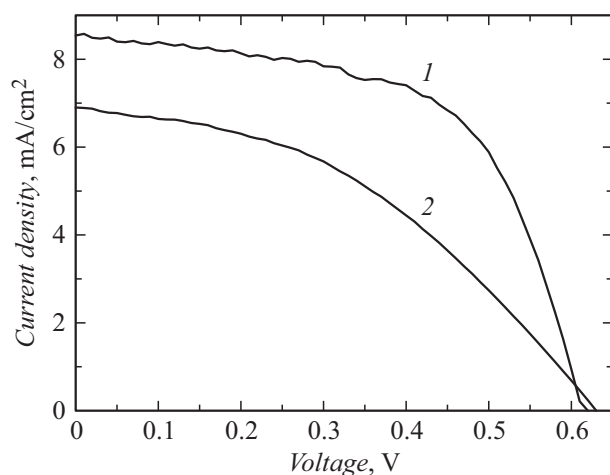
¶ E-mail: dyskin@uzsci.net

Поступило в Редакцию 2 февраля 2017 г.

Приведены результаты измерений вольт-амперных характеристик органических солнечных элементов как без, так и с антиотражающими покрытиями, материалы которых получены плавлением на солнечной печи смеси фторидов  $MgF_2$  и  $CaF_2$  двух концентраций 95:5 и 55:45 (wt.%). Относительное увеличение коэффициента полезного действия органических солнечных элементов в первом случае составило 3.2%, а во втором — 3.3%.

DOI: 10.21883/PJTF.2018.07.45884.16730

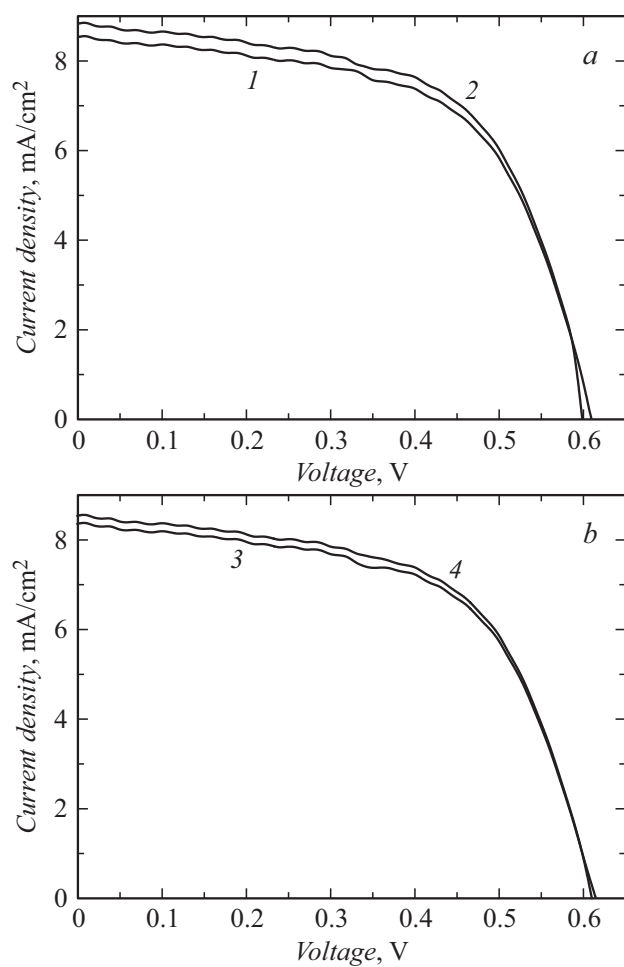
Благодаря низкой стоимости и простой технологии производства органические солнечные элементы (ОСЭ) могут стать реальной альтернативой как планарным, так и каскадным солнечным элементам на основе кремния и других полупроводниковых материалов [1–4]. Лучшие лабораторные образцы ОСЭ имеют эффективность  $\sim 13.2\%$ , что пока меньше, чем у кремниевых солнечных элементов, выпускаемых промышленно. Если удастся повысить эффективность ОСЭ, нанесенных только на стеклянные подложки, то это будет значительным достижением солнечной энергетики, поскольку гораздо экономичнее производить ОСЭ на больших (до  $5\text{ m}^2$ ) стеклянных листах, чем на панелях той же площади, собранных из кремниевых солнечных элементов. Для успешной коммерциализации ОСЭ необходимо увеличить эффективность и время их эксплуатации. Увеличить поток солнечного



**Рис. 1.** Вольт-амперные характеристики ОСЭ, нанесенных при температурах подложки, равных 23 (1) и 30°C (2).

излучения через стекло и тем самым повысить коэффициент полезного действия фотоэлектрических батарей можно нанесением на стекло антиотражающего покрытия (АП). Так, в [5,6] эффект просветления стеклянных пластинок (чистых и с пленкой ИТО) был получен с помощью АП, материал которого был синтезирован в солнечной печи плавлением смеси фторидов. Показано, что за счет нанесения АП коэффициент полезного действия увеличился на 2.0–3.0%.

Цель настоящей работы — изучить влияние АП на эффективность ОСЭ с объемным гетеропереходом. Для экспериментов были выбраны стеклянные пластинки — как чистые, так и с пленкой ИТО [7]. Для выбора оптимальной температуры на подложки с разной температурой были нанесены ОСЭ и на многопараметрическом анализаторе Keithley 4200 были измерены их вольт-амперные характеристики [8,9]. Оказалось (рис. 1), что уменьшение температуры нанесения активного слоя с 30 до 23°C ведет к увеличению эффективности с 1.81 до 3.06%. Так как АП наносятся при более высоких температурах, было решено сначала наносить АП, а затем формировать слои ОСЭ. Материалом для АП служили проплавленные на солнечной печи смеси фторидов  $MgF_2$  и



**Рис. 2.** Вольт-амперные характеристики ОСЭ на стеклянной подложке без антиотражающего покрытия (1,3) и с антиотражающим покрытием (2,4). Покрытия: *a* — MC554, *b* — MC955.

CaF<sub>2</sub> двух концентраций (wt.%): 95:5 (MC955) и 55:45 (MC554) [5,6]. Покрытия наносились с помощью вакуумного термического испарения

Приращение КПД за счет нанесения АП

Номер кривой	$P_{\max}$ , mW/cm <sup>2</sup>	$\Delta\eta$ , %
1 (ОСЭ без АП)	3.10	
2 (с АП МС554)	3.20	3.2
3 (ОСЭ без АП)	3.00	
4 (с АП МС955)	3.10	3.3

на установке УВН-71П-3. Затем в одном цикле на стеклянные пластинки с пленкой ИТО и АП наносились слои PEDOT:PSS, P3HT:PCBM, Ca, Al [5]. Результаты измерений вольт-амперных характеристик ОСЭ представлены на рис. 2. По измеренным кривым вольт-амперных характеристик определялась максимальная мощность полученных ОСЭ, и оценивался эффект просветления по формуле

$$\Delta\eta = \frac{P_1}{P_0} - 1,$$

где  $\Delta\eta$  — относительное изменение КПД,  $P_0$  — максимальная мощность ОСЭ без АП,  $P_1$  — максимальная мощность ОСЭ с АП. Результаты измерений максимальной мощности и расчета  $\Delta\eta$  занесены в таблицу. Из таблицы следует, что за счет эффекта просветления стеклянных подложек с нанесенными АП составов МС955 и МС554 коэффициент полезного действия ОСЭ увеличился на 3.3 и 3.2%.

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что исследованные наноконпозиционные покрытия являются антиотражающими, повышают эффективность и могут быть рекомендованы для использования в качестве однослойных просветляющих покрытий для ОСЭ.

Следует отметить, что поиск оптимального состава материала антиотражающего покрытия и оптимальной технологии нанесения ОСЭ требует дальнейших исследований.

Работа выполнена при поддержке американского фонда CRDF Global в рамках проекта N M/CRDF-37/2013.

## Список литературы

- [1] *Krebs F.C.* // Solar Energy Mater. Solar Cells. 2009. V. 93. P. 394–412.
- [2] *Трошин П.А., Любовская Р.Н., Разумов В.Ф.* // Рос. нанотехнологии. 2008. Т. 3. № 5-6. С. 56–77.
- [3] *Ихсанов Р.Ш., Проценко И.Е., Усков А.В.* // Письма в ЖТФ. 2013. Т. 39. В. 10. С. 1–8.
- [4] *Миличко В.А., Шалин А.С., Мухин И.С., Ковров А.Э., Красилин А.А., Виноградов А.В., Белов П.А., Симовский К.Р.* // УФН. 2016. Т. 186. № 8. С. 801–852.
- [5] *Сулейманов С.Х., Berger P., Дыскин В.Г., Джанклич М.У., Бугаков А.Г., Дудко О.А., Кулагина Н.А., Kim M.* // Письма в ЖТФ. 2016. Т. 42. В. 7. С. 47–52.
- [6] *Сулейманов С.Х., Berger P., Дыскин В.С., Джанклич М.У., Кулагина Н.А., Kim M.* // Гелиотехника. 2016. № 2. С. 71–72.
- [7] [www.delta-technologies.com](http://www.delta-technologies.com)
- [8] *Yoon W.J., Jung K.Y., Liu J., Duraisamy T., Revur R., Teixeira F.L., Sengupta S., Berger P.R.* // Solar Energy Mater. Solar Cells. 2010. V. 94. P. 128–132.
- [9] [www.tehcom.com](http://www.tehcom.com)