

**А.К. АЙМУХАНОВ, К.С. РОЖКОВА, А.К. ЗЕЙНИДЕНОВ**

КарУ им. Е.А. Букетова (Караганда, Казахстан)

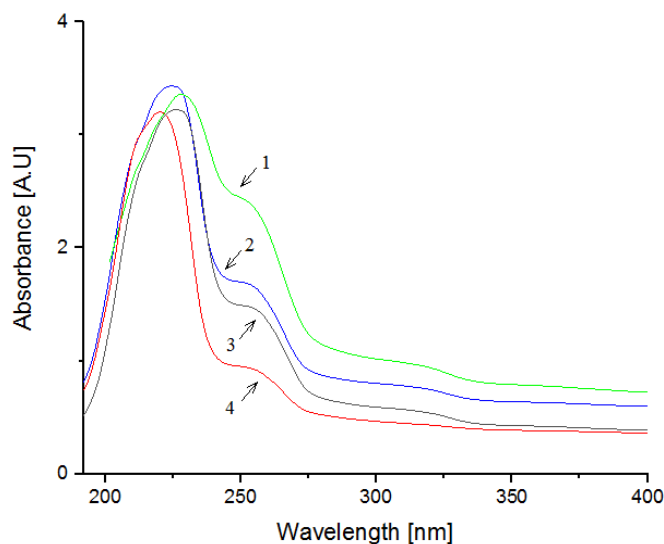
## **ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ПРОВОДЯЩЕГО СЛОЯ НА ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИМЕРНОЙ ЯЧЕЙКИ PEDOT:PSS/P3HT:PC60BM/Al**

В настоящее время разработка фотопреобразователей солнечной энергии на основе фоточувствительных органических и полимерных полупроводников является перспективным и быстроразвивающимся направлением. В тоже время задачи, связанные с влиянием структурной особенности компонентов ячейки на фундаментальные параметры, такие как эффективность транспорта носителей заряда и КПД полимерного солнечного элемента, до сих пор являются полностью не решенными [1,2].

В настоящей работе проведены исследования по влиянию структурных изменений полимера PEDOT:PSS на фотовольтаические характеристики полимерной ячейки PEDOT:PSS/P3HT:PC60BM/Al. При проведении экспериментов использовали PEDOT:PSS (1%, Ossila Al4083), Izopropanol (pure 99,9% Sigma Aldrich). Перед началом экспериментов раствор PEDOT:PSS фильтровали через 0,45 микронный фильтр. Пленки PEDOT:PSS получали на поверхности ITO методом центрифугирования (на центрифуге SPIN150i производства компании Semiconductor Production System) при скорости вращения 5000 об/мин. После пленки отжигали в атмосфере воздуха при температуре 120°C в течение 30 мин. Для получения органических солнечных ячеек на поверхность проводящего слоя PEDOT:PSS методом spin-coating наносился фотоактивный слой P3HT:PC60BM (Borun New Material Technology Ltd.) в концентрации 15,6:9,4 мг. После этого образцы отжигались в атмосфере воздуха при температуре 110°C в течение 10 мин, затем на поверхность напыляли алюминиевый электрод. Регистрация спектров поглощения исследуемых образцов осуществлялась на спектрометре AvaSpec-ULS2048CL-EVO. ВАХ фоточувствительных ячеек определяли прибором Sol3A Class AAA Solar Simulators (Newport) with PVIV-1A I-V Test Station.

На рисунке 1 приведены спектры поглощения пленок PEDOT:PSS полученных по стандартной методике с отжигом и без отжига, а также пленок PEDOT:PSS с добавками изопропанола с последующим отжигом (модифицированного PEDOT:PSS). Из рисунка видно, что пленка исходного PEDOT:PSS имеет максимум на длине волны  $\lambda_1 = 228,7$  нм с полушириной спектра 46 нм (рисунок 1, кривая 1). В спектрах поглощения всех пленок наблюдается плечо  $\lambda_2$  максимумом на 252,5 нм, связанное с поглощением ароматического фрагмента PSS [3]. После проведения отжига максимум поглощения пленки  $\lambda_1$  сместился на 224,7 нм, а полуширина уменьшилась и составила 37 нм, при этом наблюдается уменьшение поглощения ароматического фрагмента PSS (рисунок 1, кривая 2). При добавлении изопропилового спирта в пленку PEDOT:PSS максимум поглощения пленки  $\lambda_1$

практически не изменяется и составляет 224,6 нм, полуширина спектра равна 35 нм, также уменьшается плотность ароматического фрагмента PSS (рисунок 1, кривая 3). При последующем отжиге пленки модифицированного PEDOT:PSS наблюдается дополнительное смещение максимума  $\lambda_1$  в коротковолновую область на 220,3 нм, полуширина спектра уменьшилась до 33 нм, оптическая плотность PSS также уменьшается (рисунок 1, кривая 4).

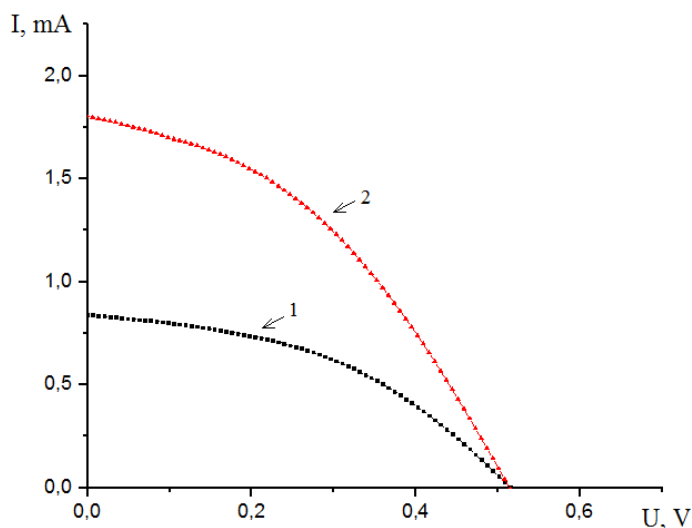


1 – пленка исходного PEDOT:PSS без отжига; 2 – отожженная пленка исходного PEDOT:PSS; 3 – пленка модифицированного PEDOT:PSS без отжига; 4 – отожженная пленка модифицированного PEDOT:PSS

Рисунок 1. Спектры поглощения пленок исходного и модифицированного PEDOT:PSS

Наблюдаемые изменения в спектрах поглощения пленок связаны со структурными особенностями PEDOT:PSS. Термическая обработка и добавление изопропилового спирта приводит к изменению оптических спектров поглощения, связанному со структурными особенностями пленки вследствие уменьшения части спектра поглощения ароматического фрагмента PSS.

Далее отожжённые пленки исходного и модифицированного PEDOT:PSS использовались как дырочные селективные электроды для органических солнечных ячеек на основе фотоактивного слоя P3HT:PC60BM. Вольтамперная кривая полученных органических ячеек показана на рисунке 2.



1 – ячейка с исходным PEDOT:PSS; 2 – ячейка с модифицированным PEDOT:PSS

Рисунок 2. Вольтамперная характеристика органических солнечных ячеек

В таблице 1 приведены фотовольтаические параметры органических солнечных ячеек. Значения фактора заполнения  $FF$  и КПД определяли согласно методике [4]. Как видно из таблицы 1, напряжение холостого хода ячеек, как с исходным PEDOT:PSS, так и с модифицированным, одинакова, так как напряжение холостого хода в большей степени определяется энергетикой P3HT и PC60BM.

Таблица 1 – Фотовольтаические характеристики полимерных солнечных ячеек

Sample	$U_{oc}(V)$	$J_{sc}$ ( $mA/cm^2$ )	$U_{max}$ ( $V$ )	$J_{max}$ ( $mA/cm^2$ )	FF	Eff (%)
PEDOT:PSS/P3HT:PC60BM/Al	0,51	6,5	0,3	4,69	0,42	1,42
PEDOT:PSS/Izopropanol/P3HT:PC60BM/Al	0,51	11,19	0,3	7,75	0,41	2,34

Плотность тока короткого замыкания, генерируемая ячейкой с модифицированным PEDOT:PSS, практически в 1,7 раз выше по сравнению с ячейкой на основе исходного PEDOT:PSS. Оба типа ячеек были получены при одинаковых условиях и, следовательно, значительная разница в токе объясняется структурными особенностями и свойствами PEDOT:PSS.

Структура модифицированного PEDOT:PSS обеспечивает более быструю инжекцию и транспорт дырок к внешнему электроду (ITO), что уменьшает вероятность рекомбинации дырок с PC60BM и эффективность накопления дырок на внешнем электроде. Все вышесказанное увеличивает фототок ячейки и в результате эффективность ячейки с модифицированным PEDOT:PSS выше ячейки с исходным PEDOT:PSS более чем в 1,6 раза.

В результате проведенных исследований установлено, что термический отжиг и добавление изопропилового спирта в раствор PEDOT:PSS при получении пленки приводят к изменению фотовольтаических характеристик ячейки.

В оптическом спектре поглощения модифицированного PEDOT:PSS наблюдается уменьшение поглощения, обусловленного ароматическим фрагментом PSS, что указывает на структурные изменения в пленке PEDOT:PSS. Установлено, что модификация структуры проводящего слоя PEDOT:PSS приводит к повышению значения плотности тока короткого замыкания тока в 1,7 раз, а КПД ячейки – в 1,6 раз.

Исследование финансируется Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант № AP08856176).

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Huang Y.F., Inigo A.R., Chang C.C., Li K.C., Liang C.F., Chang C.W., Lim T.S., Chen S.H., White J.D., Jeng U.S., Su A.C., Huang Y.S., Peng K.Y., Chen S.A., Pai W.W., Lin C.H., Tameev A.R., Novikov S.V., Vannikov A.V., Fann W. Nanostructure-dependent Vertical Charge Transport in MEH-PPV Films. // Adv. Funct. Mater. – 2007. – Vol.17, № 15. – P.2902-2910.

2. Sommeling P.M., Spath M., Roosmalen J.A.M., Meyer T.B., Meyer A.F., Kohle O. Dye-Sensitized Nanocrystalline TiO<sub>2</sub> Solar Cells on Flexible Substrates // Proc. of the 2nd World Conference and Exhibition on Photovoltaic Solar Energy Conversion.

3. Xia Y., Sun K. and Ouyang J. Highly conductive poly(3,4-ethylenedioxythiophene):poly(styrene sulfonate) films treated with an amphiphilic fluoro compound as the transparent electrode of polymer solar cells // Energy Environ. Sci. – 2012. Vol. 5. – P. 5325–5332.

4. Khanam J.J., Foo S.Y. Modeling of High-Efficiency Multi-Junction Polymer and Hybrid Solar Cells to Absorb Infrared Light // Polymers. – 2019. – Vol. 11, №2. – P. 383.