

Исследование локального транспорта заряда в фотоактивных смесях на основе полимера РТВ7

А.М. Алексеев^{1,2}, А.Т. Едрисов¹, Г. Хедли³, И. Самуэль³, Н.А. Дюжев², К.А. Байгарин¹

¹ *Национальная Лаборатория Астана, Назарбаев Университет, 010000, Астана, Казахстан
alexander.alekseev@nu.edu.kz*

² *Национальный Исследовательский Университет «МИЭТ», 124498, Москва, Россия*

³ *Университет г. Сент-Эндрюс, KY16 9AJ, Шотландия, Великобритания*

Изучены фотоактивные пленки на основе перспективного полупроводящего полимера РТВ7 методами СЗМ. Методом регистрации локального тока растекания изучен локальный транспорт заряда. Определены диапазоны подвижности дырок в различных смесях РТВ7.

Study of the local charge transport in photoactive blends based on polymer PTB7

A.M. Alekseev^{1,2}, A.T. Yedrissov¹, G.J. Hedley³, I.D.W. Samuel³,
N.A. Dyuzhev², K.A. Baigarin¹

¹ *National Laboratory Astana, Nazarbayev University, 010000 Astana, Kazakhstan*

² *National Research University "MIET", 124498 Moscow, Russia*

³ *School of Physics and Astronomy, University of St. Andrews, KY16 9AJ, Scotland, United Kingdom*

The photoactive films based on promising semiconducting polymer PTB7 are studied by SPM. Conductive-AFM is used for investigation of local charge transport in the films. The ranges of hole mobilities in various compounds are determined.

В последние годы в мире активно изучаются солнечные элементы на основе органических материалов. Одним из наиболее перспективных направлений является разработка полимерных солнечных батарей, эффективность преобразования энергии которых превысила 10% [1-2]. Нами исследовались образцы фотоактивной пленки на основе производной политиофена с общепринятой аббревиатурой РТВ7 (Poly({4,8-bis[(2-ethylhexyl)oxy]benzo[1,2-b:4,5-b']dithiophene-2,6-diyl}{3-fluoro-2-[(2-ethylhexyl)carbonyl]thieno[3,4-b]thiophenediyl})) и акцептора на основе фуллерена PC₇₁BM ([6,6]-phenyl-C71-butyric acid methyl ester). Именно для этой смеси с добавкой 3% дийодоктана (DIO) было получено рекордное значение эффективности преобразования энергии однослойного полимерного солнечного элемента равное 9.2% [3]. Данная смесь активно изучалась различными методами и в целом структура данного фотоактивного слоя достаточно хорошо изучена [4].

В данной работе использована микроскопия токов растекания для анализа транспорта дырок через фотоактивный слой, содержащий РТВ7 и PC₇₁BM. Использовался контактный режим атомно-силовой микроскопии с кантилевером, покрытым золотом. Образец представлял собой слоистую структуру стекло/оксид индия олова/полимер PEDOT:PSS/фотоактивный слой. При этом оксид индия олова заземлялся, и ток измерялся на поверхности фотоактивной пленки. Измеряемый ток преимущественно представлял собой дырочный ток через полимер.

Нами исследовались три типа пленок: РТВ7, РТВ7:DIO, РТВ7:PC₇₁BM:DIO. Результаты измерений тока выявили воспроизводимые наноразмерные неоднородности даже в чистом РТВ7 (рисунок 1). Измерение 400 локальных вольт-амперных характеристик (ВАХ) выявило заметный разброс электрических свойств на поверхности пленки РТВ7 (рисунок 2). На рисунке 2 показаны ВАХ с минимальными и максимальными значениями тока, а также усредненная ВАХ. Аналогичные результаты

были получены для двух других типов пленок. Анализ полученных ВАХ, построенных в двойных логарифмических координатах, показал наличие тока ограниченного объемным зарядом, т.е. приблизительно квадратичную зависимость тока от напряжения, для всех трех типов изученных пленок (рисунок 2). Степень в показателе превышающая 2 может быть объяснена эффектом Френкеля. Для чистого РТВ7 превышение степени 2 находилось в диапазоне 0.13-0.4. С помощью полуэмпирической модели, предложенной в [5], определены средние значения подвижности дырок в РТВ7, минимальное и максимальное значения подвижности, а также стандартное отклонение. Различие этих параметров для трех типов пленок объяснено на основе известных структурных данных для данных смесей. Проведено сравнение установленных значений подвижности дырок на наномасштабе с известными макроскопическими значениями, измеренными другими методами. Полученные данные могут быть использованы при установлении зависимости между структурой новейших органических солнечных батарей и их эффективностью.

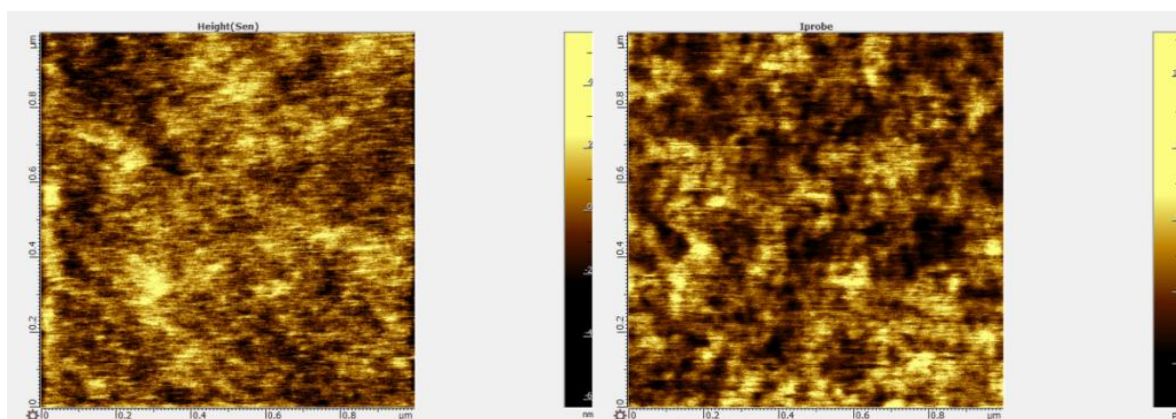


Рисунок 1. Пленка чистого РТВ7: рельеф поверхности (слева) и распределение тока при $U_{\text{tip}} = +0.5$ В (справа), полученные одновременно.

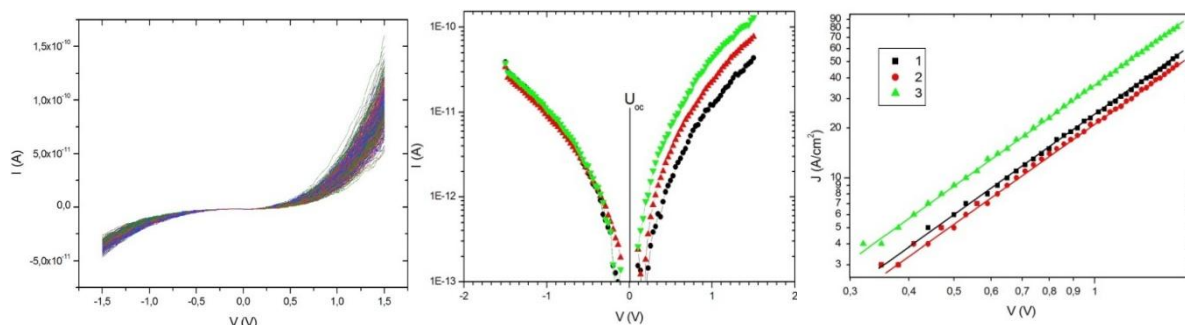


Рисунок 2. Пленка чистого РТВ7: 400 ВАХ (20 на 20 точек) (слева), максимальная, минимальная и средняя ВАХ (в центре). Справа: усредненные I-V кривые, полученные на площади 1×1 мкм (20x20 точек) для РТВ7 (3), РТВ7:DIO (2) и смеси РТВ7:PC₇₁BM:DIO (1).

Работа поддержана МОН Республики Казахстан (Программа НУ-Беркли 0115РК03029) и Минобрнауки РФ ГК № 14.578.21.0188 (Уникальный идентификатор соглашения RFMEFI57816X0188)

1. W. Zhao, D. Qian, S. Zhang, S. Li, O. Inganäs, F. Gao, J. Hou. *Adv. Mater.*, **28**, 4734 (2016).
2. S. Zhang, L. Ye, J. Hou. *Adv. Energy Mater.*, **6**, P1502529 (2016).
3. Z. He, C. Zhong, S. Su, M. Xu, H. Wu, Y. Cao, *Nat. Photon.* **6**, 591 (2012).
4. A. Alekseev, G.J. Hedley, A. Al-Afeef, O.A. Ageev, I.D.W. Samuel, *J. Mater Chem. A* **3**, 8706 (2015).
5. O.G. Reid, K. Munechika, D.S. Ginger, *Nano Lett.* **8**, 1602 (2008).