

**ФОТОАССИСТИРОВАННАЯ СКАНИРУЮЩАЯ ЗОНДОВАЯ
ЭЛЕКТРОСИЛОВАЯ МИКРОСКОПИЯ КЕЛЬВИНА
ПЛЁНОЧНЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУР ФТАЛОЦИАНИН МЕДИ –
ДИМЕТИЛДИИМИД ПЕРИЛЕНТЕТРАКАРБОНОВОЙ
КИСЛОТЫ**

В настоящее время для органической электроники перспективны пленочные структуры на основе органических полупроводников, в частности, производных фталоцианинов и производных диметилдимида перилентетракарбонической кислоты (PTCDI). На их основе разрабатываются солнечные батареи, светоизлучающие диоды, химические сенсоры, полевые транзисторы и диоды Шоттки [1–6].

Метод Кельвина в электросиловой микроскопии (ЭСМ) используется для измерения контактной разности потенциалов между зондом и образцом. Целью данной работы является разработка метода фотоассистированной ЭСМ Кельвина, то есть метода ЭСМ Кельвина, дополненного тем, что в сканирующем электросиловом микроскопе исследуемый образец и зазор между кончиком проводящего зонда и поверхностью образца освещается внешним оптическим излучением, а также применение разработанного метода для определения знака заряда основных носителей в исследуемых органических полупроводниках и гетероструктурах на их основе.

Пленки PTCDI и фталоцианина меди (CuPc) были получены в вакуумной камере универсального вакуумного поста ВУП-5 термическим распылением в вакууме 10^{-2} Па порошкообразной мишени с последующим осаждением продуктов распыления на подложки из стекла с предварительно нанесенным слоем окисла индия и олова (ITO). Тонкопленочные структуры (гетероструктуры) были получены последовательным нанесением слоев органических компонентов на подложку из стекла с ITO. Были изготовлены однокомпонентные пленки на проводящем покрытии ITO и гетероструктуры с чередованием двух органических слоев – ITO / CuPc / PTCDI и ITO / PTCDI / CuPc.

Исследования поверхности образцов проводилось на сканирующем зондовом микроскопе Solver PRO (ЗАО “НТ-МДТ”, Россия) с использованием зонда, имеющего проводящее покрытие. Метод исследования основывался на двухпроходной методике [3, 4]. Для этого определялся рельеф поверхности образца с использованием прерыви-

сто-контактного метода атомно-силовой микроскопии. Затем зондовый датчик отводился от поверхности на одинаковое в каждой точке расстояние, исключая влияние сил межатомного взаимодействия, между зондом и образцом подавалось напряжение смещения и измерялось распределение поверхностного потенциала по поверхности образца. Метод Кельвина был дополнен системой освещения образца полупроводниковым диодом с длиной волны 523 нм, подключенного импульсному генератору, для измерения распределения поверхностного потенциала в условиях фотовозбуждения.

Ранее установлено, что CuPc имеет максимум поглощения в видимой области спектра в окрестности 690 нм, а PtCdi имеет максимум поглощения в видимой области спектра в окрестности 500 нм [5].

На рис. 1 показан профиль поверхностного потенциала пленки PtCdi при включении и выключении светодиода. Освещение поверхности пленки PtCdi светодиодом с длиной волны излучения 523 нм приводит к увеличению поверхностного потенциала пленки, то есть к увеличению работы выхода материала этой пленки. Такое поведение эквивалентно уменьшению энергии Ферми в равновесном случае и свидетельствует о том, что основными носителями заряда в пленке PtCdi являются электроны. Освещение пленки светодиодом с длиной волны излучения 618 нм не изменяет поверхностный потенциал пленки PtCdi.

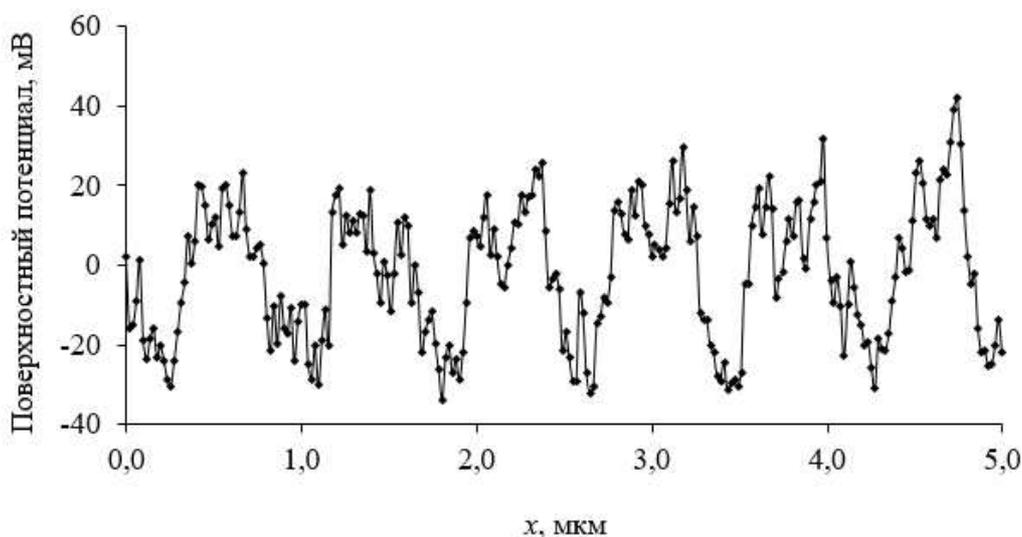


Рисунок 1 – Профиль поверхностного потенциала пленки PtCdi при включении и выключении светодиода

На рис. 2 изображены профили поверхностного потенциала гетероструктур ITO / CuPc / PtCdi и ITO / PtCdi / CuPc в условиях фотовозбуждения при освещении полупроводниковым светодиодом. Установлено, что фотовозбуждение на длине волны 523 нм приводит

к образованию выступов на изображении распределения поверхностного потенциала при включении/выключении источника освещения.

При исследовании гетероструктуры ITO / CuPc / PTCDI установлено, что включение полупроводникового диода приводит к увеличению поверхностного потенциала на величину приблизительно 40 мВ. Включение фотовозбуждения на длине волны 523 нм для гетероструктуры ITO / PTCDI / CuPc вызывает уменьшение поверхностного потенциала на величину приблизительно 50 мВ.

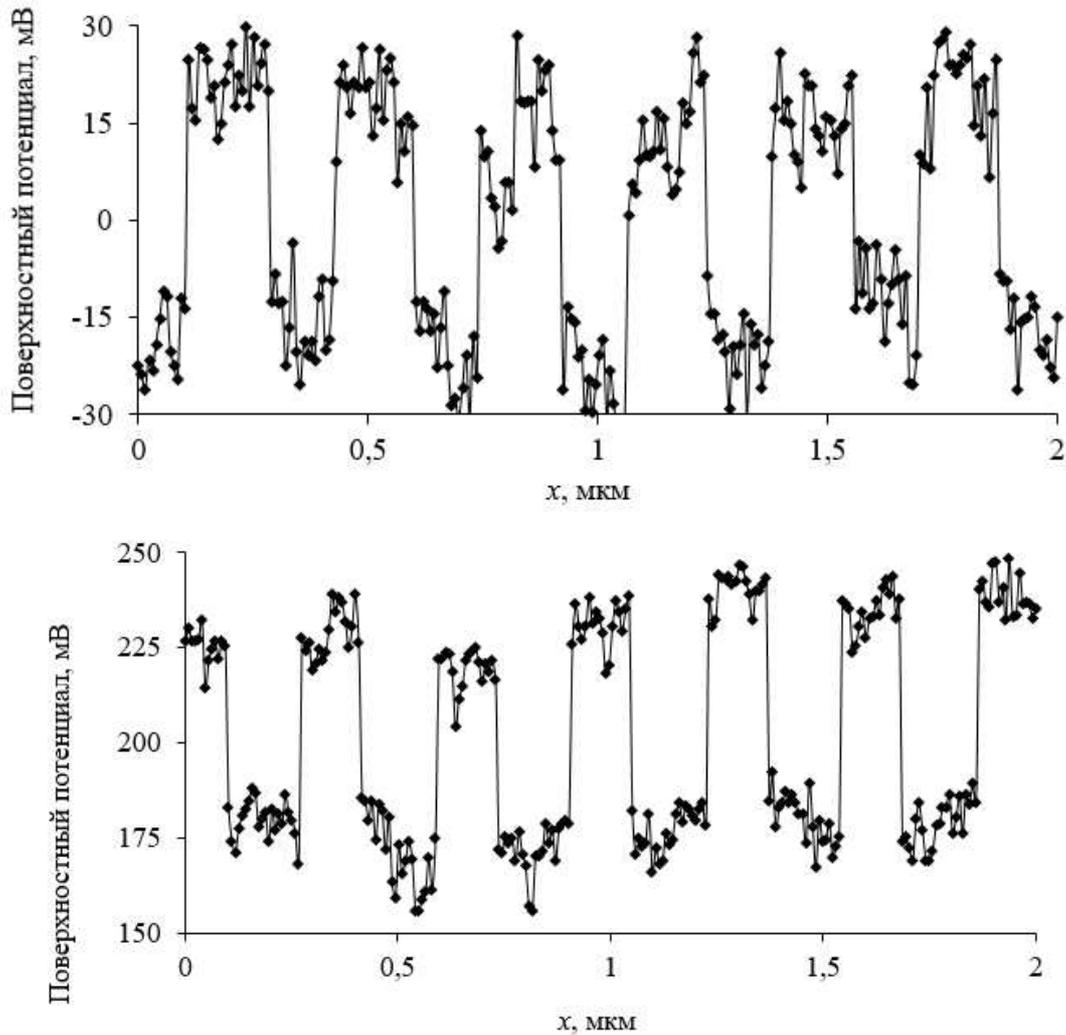


Рисунок 2 – Профили поверхностного потенциала гетероструктур ITO / PTCDI / CuPc (сверху) и ITO / CuPc / PTCDI (снизу) при включении и выключении светодиода

При освещении гетероструктуры ITO / PTCDI / CuPc поглощенные фотоны генерируют неравновесные электрон-дырочные пары. *p*-область (CuPc) заполняется неосновными носителями, генерируемыми в *n*-области (слой PTCDI). В результате *n*-слой приобретает дополнительный отрицательный заряд, а *p*-слой – положительный. Снижается первоначальная контактная разность потенциалов между *p*- и *n*-

слоями, и в условиях прикладываемого напряжения смещения поверхностный потенциал увеличивается. При той же полярности внешнего постоянного напряжения на поверхности CuPc потенциал уменьшается.

Следовательно, метод Кельвина по изменению поверхностного потенциала при освещении позволяет определить взаимное расположение проводящих слоев в гетероструктуре.

Методом фотоассистированной электросиловой микроскопии Кельвина при использовании внешнего излучения полупроводникового диода с длиной волны 523 нм для пленочных структур на основе одного или двух слоев органических полупроводников установлено, что изменение поверхностного потенциала при освещении зависит от знака носителей заряда в исследуемых материалах.

Показано, что основными носителями заряда в пленках фталоцианина меди являются дырки, а в пленках N,N-диметилдиимида перилентетракарбоновой кислоты – электроны.

Таким образом, метод фотоассистированной электросиловой микроскопии Кельвина может использоваться для определения знака заряда основных носителей в органических полупроводниках.

ЛИТЕРАТУРА

1. Shaw, J.M. Organic electronics: Introduction / J.M Shaw, P.F. Seidler // IBM J. Res. &Dev. – 2001. – Vol. 45, № 1. – P. 3–9.
2. Pandey, A.K. Pentacene/. perylene co-deposited solar cells / A.K. Pandey, K.N.N. Unni, J.-M. Nunzi // Thin Solid Films. – 2006. – 511-512. – P. 529–532.
3. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. – Нижний Новгород, 2004. – 114 с.
4. Nonnenmacher, M. Kelvin probe force microscopy / M. Nonnenmacher, M.P. O'Boyle, H.K. Wikramasinghe // Appl. Phys. Lett. – 1991. – 58 (25). – P. 2921–2923.
5. Simons, J.G. Molecular Semiconductors: Photoelectrical Properties and Solar Cells / J.G. Simons, J.-J. Andre // J. Appl. Phys. – 1963. – 34. – С. 2581.