

**Мисевич А.В., к.ф.-м.н., Лаппо А.Н., ассистент; доцент;  
Почтенный А.Е., к.ф.-м.н., доцент;**

**УО «Белорусский государственный технологический  
университет», Минск, Республика Беларусь**

**Долгий В.К., к.ф.-м.н., зав. кафедрой,**

**УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь**

**ПРИМЕНЕНИЕ СКАНИРУЮЩЕЙ ТУННЕЛЬНОЙ  
СПЕКТРОСКОПИИ И ФОТОАССИСТИРОВАННОЙ  
СКАНИРУЮЩЕЙ ТУННЕЛЬНОЙ МИКРОСКОПИИ  
ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК МЕН-PPV**

Фотоассистированная сканирующая туннельная микроскопия (фото-СТМ) представляет собой сканирующую туннельную микроскопию в условиях внешнего освещения исследуемой поверхности и сочетает высокое пространственное разрешение сканирующей туннельной микроскопии с энергетической селективностью оптической спектроскопии, благодаря чему может быть использована для наномасштабного фазового анализа [1]. Сканирующая туннельная спектроскопия (СТС) заключается в измерении функции  $dI/dU(U)$ , т.е. производной вольтамперной характеристики туннельного зазора, которая отражает локальную плотность электронных состояний вблизи уровня Ферми [2]. Обладая рекордным латеральным разрешением в несколько ангстрем, СТС позволяет получать информацию об электронной структуре.

Цель данной работы – изучить возможность применения методов сканирующей туннельной спектроскопии и фотоассистированной сканирующей туннельной микроскопии для исследования локальных (на нанометровых масштабах) свойств поверхности тонкопленочных структур и наноструктур на основе органического полупроводника поли[2-метокси-5-(2-этилгексилокси)-1,4-фениленвинилена] (МЕН-PPV).

Пленки МЕН-PPV толщиной 100 нм были осаждены методом центрифугирования из раствора на подложку из стекла с предварительно нанесенным прозрачным полупроводниковым слоем окислов индия и олова (ИТО) (лаборатория физики твердого тела, Потсдамский университет, Германия). Для изучения полученных пленок методами фото-СТМ и СТС применялся сканирующий туннельный

микроскоп (“Explorer™”, TopoMetrix Co., USA) с использованием механически заточенных игл из платино-иридиевой проволоки диаметром 0,2 мм.

При исследовании методом СТС для регистрации вольтамперной характеристики (ВАХ) туннельного контакта зонд СТМ подводится сканером в предварительно выбранную точку поверхности, затем производилось снятие нескольких ВАХ и их усреднение. Аналогично проводились измерения ВАХ при освещении полупроводниковым лазером с длиной волны 532 нм и выходной мощностью 6 мВт («зеленый лазер») и гелий-неонового лазера с длиной волны 633 нм и выходной мощностью 5 мВт («красный лазер»).

По усредненной ВАХ рассчитывалась дифференциальная проводимость  $dI/dU$ . Зависимость  $dI/dU$  от напряжения смещения отражает распределение плотности электронных состояний по энергии, при этом  $U=0$  соответствует уровню Ферми ( $E_F$ ), отрицательные смещения – заполненным состояниям ( $E < E_F$ ), положительные – свободным ( $E > E_F$ ). На характеристике (рис. 1) отчетливо наблюдаются край заполненных состояний и край свободных состояний (валентной зоны и зоны проводимости). Отсечки на оси напряжений позволяют определить ширину запрещенной зоны, которая для пленок МЕН-PPV примерно 2 эВ и сделать вывод, что в пленках МЕН-PPV реализуется  $p$ -тип проводимости.

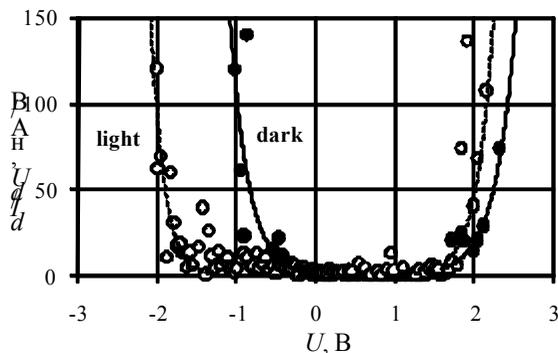


Рисунок 1. – Темновые (dark) и световые (light) зависимости дифференциальной проводимости от напряжения для пленок МЕН-PPV

Освещение исследуемых пленок излучением зеленого лазера приводит к симметричности ВАХ (рис. 1). Это связано с выравни-

ванием концентрации электронов и дырок в валентной зоне и зоне проводимости, что в условиях равновесия могло бы быть объяснено, как смещение уровня Ферми на середину запрещенной зоны.

Были проведены СТМ-измерения пленки МЕН-PPV, полученные при включении и выключении поочередно красного и зеленого лазера в процессе сканирования. На рис. 2 показано, что ступенька на СТМ-изображении образуется при освещении зеленым лазером, на длине волны, поглощаемой пленкой.

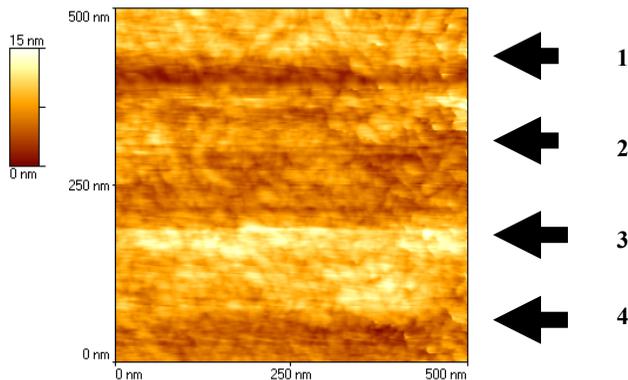


Рисунок 2. – Двумерные СТМ-изображения поверхности МЕН-PPV.

Красный лазер включается в точках 1 и выключается в точках 2, зеленый лазер включается в точках 3 и выключается в точках 4.

Таким образом, обнаружено влияние освещения на СТМ-изображения поверхности пленок МЕН-PPV, что создает принципиальную возможность применения фото-СТМ для наномасштабного фазового анализа композитных пленок, имеющих в составе фазы, поглощающие свет разных спектральных диапазонов.

#### Список использованных источников

1. Лаппо А.Н., Мисевич А.В., Почтенный А.Е. Фотоэлектрические свойства гетероструктуры фталоцианин-периленовый пигмент // Физико-математические науки: материалы 83-й науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 1–14 февр. 2019 г. БГТУ. Минск, 2019. С. 7.

2. Grafström, S. Photoassisted scanning tunneling microscopy / S. Grafström // J. Appl. Phys. – 2002. – Vol. 91. – P. 1717–1753.