

А.Н. Лаппо, ассист.;
А.В. Мисевич, канд. физ.-мат. наук, доц. (БГТУ, г. Минск);
А.Е. Почтенный, канд. физ.-мат. наук

ИЗУЧЕНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК МЕХ-PPV МЕТОДАМИ СКАНИРУЮЩЕЙ ТУННЕЛЬНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ И ФОТОАССИСТИРОВАННОЙ СКАНИРУЮЩЕЙ ТУННЕЛЬНОЙ МИКРОСКОПИИ

Сканирующая зондовая микроскопия (СЗМ) является одним из мощных современных методов исследования морфологии и локальных свойств поверхности твердого тела, нашедшим широкое применение в различных областях науки и технологии [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. 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 [3].

Целью данной работы является исследование органического полупроводника поли[2-метокси-5-(2-этилгексилокси)-1,4-фениленвинилена] (МЕН-PPV) методами сканирующей туннельной спектроскопии и фотоассистированной сканирующей туннельной микроскопии, и их применение для исследования локальных (на нанометровых масштабах) свойств поверхности твердых тел, а также твердотельных тонкопленочных структур и наноструктур на основе полупроводников.

Пленки МЕН-PPV толщиной 100 нм были осаждены методом центрифугирования из раствора на подложку из стекла с предварительно нанесенным прозрачным полупроводниковым слоем оксидов индия и олова (ИТО) (лаборатория физики твердого тела, Потсдамский университет, Германия). Для изучения полученных пленок методами СТС и фото-СТМ применялся сканирующий туннельный микроскоп ("Explorer™", TopoMetrix Co., USA) с использованием механически заточенных игл из платино-иридиевой проволоки диаметром 0,2 мкм.

Для регистрации вольтамперной характеристики (ВАХ) методом СТС на предварительно полученном СТМ-изображении поверхности образца выбирается область, в которой предполагается провести измерения. Зонд СТМ подводится сканером в соответствующую точку поверхности. Для получения ВАХ контакта обратная связь на время отключалась, и к туннельному промежутку прикладывается напряжение. При этом при изменении напряжения регистрируется ток, который протекает через туннельный контакт. В каждой точке производится снятие нескольких ВАХ. Итоговая вольтамперная характеристика получается путем усреднения набора ВАХ, снятых в одной точке. Усреднение позволяет существенно минимизировать влияние шумов туннельного промежутка.

По усредненной ВАХ для МЕН-PPV рассчитывалась дифференциальная проводимость dI/dU . Согласно [2], зависимость dI/dU от напряжения смещения U 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 зависимости (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.

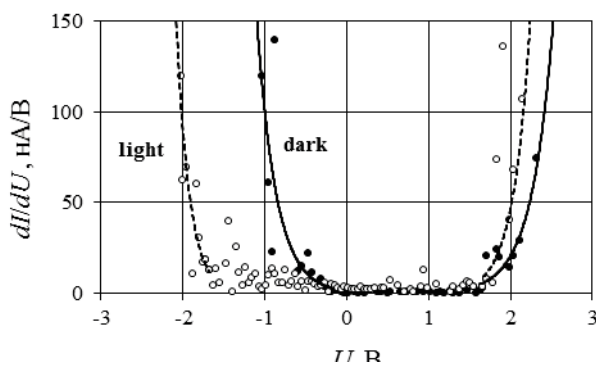


Рисунок 1

Освещение исследуемых пленок МЕН-PPV излучением зеленого лазера с длиной волны 532 нм и выходной мощностью 6 мВт приводит к симметричности ВАХ. При освещении происходит выравнивание 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.

Изучение пленок МЕН-PPV методом фото-СТМ выполнялось при включении и выключении в процессе сканирования поочередно красного гелий-неонового лазера с длиной волны 633 нм и выходной мощностью 5 мВт и зеленого лазера с длиной волны 532 нм и вы-

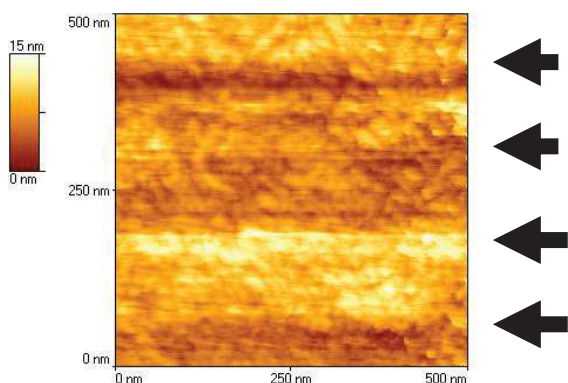


Рисунок 2

ходной мощностью 6 мВт. На рис. 2 показано двумерное фото-СТМ-изображение поверхности пленки МЕН-PPV. Красный лазер включается в точке 1 и выключается в точке 2, зеленый лазер включается в точке 3 и выключается в точке 4. На фото-СТМ-изображении

при освещении пленки зеленым лазером, длина волны которого соответствует полосе поглощения МЕН-PPV, образуется ступенька.

Таким образом, обнаружено влияние освещения на СТМ-изображения поверхности пленок МЕН-PPV. Это влияние проявляется в виде увеличения вертикальной координаты точек на участках изображения, полученных при освещении пленок светом с длиной волны, поглощаемой материалом пленки. Селективность фотоотклика СТМ-изображения к длине световой волны обеспечивается тем, что поверхность пленки освещается под предельным углом полного внутреннего отражения. Наличие указанной селективности создает принципиальную возможность применения фото-СТМ для наномасштабного фазового анализа композитных пленок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Giessibl F. Advances in Atomic Force Microscopy // Reviews of Modern Physics. 2003. Vol. 75 (3). P. 949–983.
2. Pavlov A. Ihantola H. A New Method of Scanning Tunneling Spectroscopy for Study of the Energy Structure of Semiconductors and Free Electron Gas in Metals // Scanning. 1997. Vol. 19. P. 459–465.
3. Grafström S. Photoassisted scanning tunneling microscopy // J. Appl. Phys. 2002. Vol. 91. P. 1717–1753.