

УДК 539.213.2

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

В. К. Долгий, канд. физ.-мат. наук, зав. кафедрой  
(БГАТУ, г. Минск)

## ИЗУЧЕНИЕ ФОТОПРОВОДИМОСТИ ПЛЕНОК ФТАЛОЦИАНИНА СВИНЦА МЕТОДОМ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ТЕРМОДЕСОРБЦИИ

Фталоцианины являются перспективными материалами при разработке газовых сенсоров, солнечных батарей и светоизлучающих диодов [1]. Целью данной работы является изучение влияния адсорбированного кислорода на фотопроводимость пленок фталоцианина свинца и определение вклада собственных и примесных состояний в процесс фотопроводимости.

Пленки фталоцианина свинца толщиной 100 нм были осаждены на подложки из поликора со встречно-штыревой системой электродов методом лазерного распыления в вакууме. Для измерения фотопроводимости поверхность пленок освещалась красным светодиодом ( $\lambda = 660$  нм), что соответствует области собственного поглощения материала. Температурные зависимости проводимости и фотопроводимости измерялись в вакууме при давлении  $10^{-2}$  Па с использованием метода циклической термодесорбции [2].

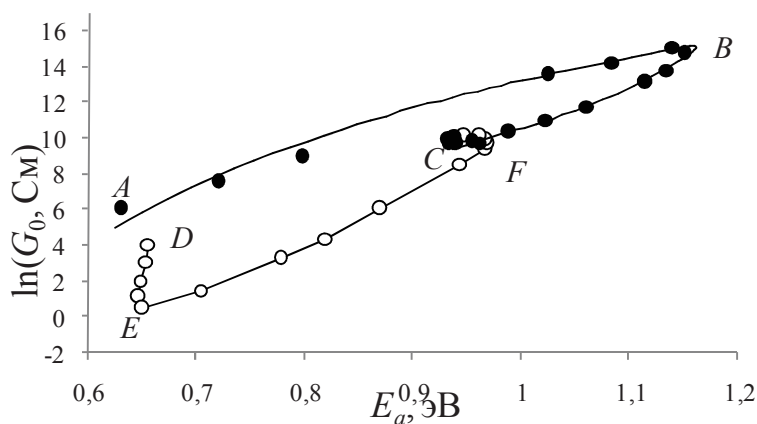
Удельная проводимость  $\sigma$  фталоцианинов зависит от температуры  $T$  в соответствии с выражением

$$\sigma = \sigma_0 \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{kT}\right), \quad (1)$$

где  $\sigma_0$  - предэкспоненциальный множитель, определяющий вероятность нерезонансного туннелирования электронов через потенциальные барьеры между центрами локализации;  $E_a$  - энергия активации проводимости,  $k$  - постоянная Больцмана. Повышение температуры при измерениях температурных зависимостей проводимости сопровождается десорбцией адсорбированного кислорода. Поэтому температурные зависимости проводимости, полученные при охлаждении образца от разных температур, позволяют определить набор значений  $\sigma_0$  и  $E_a$ , соответствующих различным концентрациям адсорбированного кислорода.

Полученные таким образом при постепенном увеличении температуры пленок PbPc от 40 до 140°C данные представлены на рисунке 1. Результаты, полученные для темновой проводимости,

показывают, что по мере десорбции кислорода вначале (интервал  $A-B$  на графике) наблюдается увеличение, как энергии активации проводимости, так и вероятности нерезонансного туннелирования электронов (предэкспоненциального множителя  $\sigma_0$ ), что соответствует увеличению концентрации центров локализации, обеспечивающих прыжковый электроперенос. Затем, по достижении некоторой критической концентрации адсорбированного кислорода (точка  $B$  на графике), дальнейшее уменьшение этой концентрации уменьшает значения  $E_a$  и  $\sigma_0$  (интервал  $B-C$ ), т. е. концентрация центров локализации уменьшается.



**Рисунок 1 - Взаимосвязь между предэкспоненциальным множителем  $\sigma_0$  и энергией активации проводимости  $E_a$  пленок PbPc**

Полученные результаты могут быть объяснены, если учесть, что в пленках PbPc перенос электронов может осуществляться как по собственным с радиусом локализации  $a_1$ , так и по примесным с радиусом локализации  $a_2$  состояниям, причем  $a_2 < a_1$ . Такое соотношение между радиусами локализации обусловлено тем, что примесное состояние образуется при связывании молекул кислорода молекулами фталоцианинов, в результате чего возникающее примесное состояние изымается из набора собственных электронных состояний и опускается ниже по шкале энергий.

Анализ полученных для темновой проводимости данных, проведенный на основе двухуровневой модели прыжковой проводимости [2], показывает, что в пленках фталоцианина свинца при высоких концентрациях адсорбированного кислорода проводимость осуществляется по собственным центрам локализации, а при десорбции кислорода происходит переход к проводимости по примесным центрам локализации.

Измерения фотопроводимости пленок PbPc, представленные на

рис 1, показывают иной характер взаимосвязи между энергией активации фотопроводимости  $E_a$  и предэкспоненциальным множителем  $\sigma_0$ . В ходе десорбции кислорода сначала на участке  $D-E$  происходит уменьшение предэкспоненциального множителя  $\sigma_0$ , но энергия активации фотопроводимости  $E_a$  при этом не изменяется. Затем на участке  $E-F$  при дальнейшем уменьшении концентрации адсорбированного кислорода предэкспоненциальный множитель  $\sigma_0$  и энергия активации фотопроводимости  $E_a$  начинают увеличиваться. Эти результаты находят свое объяснение, если считать, что фотопроводимость – процесс неактивационный, поэтому электроперенос обусловленный фотовозбуждением происходит по тем центрам локализации, концентрация которых больше, т. е. при высоких концентрациях адсорбированного кислорода проводимость – примесная, а при низких – собственная. По мере нагревания образца идет возрастание темновой проводимости, и вклад фотопроводимости в общую проводимость уменьшается. При некоторой достаточно высокой температуре близкой к 140°C темновая проводимость возрастает настолько, что энергия активации и предэкспоненциальный множитель в темноте и при освещении практически не отличаются.

Таким образом, метод циклической термодесорбции в сочетании с двухуровневой моделью прыжковой проводимости позволяет по виду, ходу и параметрам экспериментальной зависимости предэкспоненциального множителя  $\sigma_0$  в температурной зависимости проводимости и фотопроводимости от энергии активации  $E_a$  определять, по каким состояниям - собственным или примесным - осуществляется прыжковый перенос электронов.

Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации устройств органической электроники, в которых применяются тонкие пленки фталоцианинов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Симон, Ж. Молекулярные полупроводники / Ж. Симон, Ж.-Ж. Андре – М.: Мир, 1988. – 342 с.
2. Почтенный, А. Е. Влияние адсорбированного кислорода на проводимость пленок фталоцианина свинца / А. Е. Почтенный, А. В. Мисевич // Письма в ЖТФ. – 2003. – Т. 29, № 1. - С. 56–61.