

О.Г. Бобрович, А.В. Касперович, В.В. Тульев // Низкоразмерные системы / Под ред. В.Ф. Стельмаха и А.К. Федотова. – Минск: БГУ, 1999. – С. 86–89.

10. Тульев В.В., Поплавский В.В., Ташлыков И.С. Состав и распределение компонентов по глубине в Fe–Pd структурах, сформированный методом ионного перемешивания // ФХОМ. – 2002. – № 6. – С. 5–7.

11. Структурно-фазовые изменения в алюминии при последовательной имплантации ионов углерода и азота / В.В. Углов, Н.Н. Черенда, А.Л. Данилюк, В.В. Ходасевич // ФХОМ. – 2000. – № 2. – С. 12–16.

12. Ohira S., Iwaki M. Formation of AlN by nitrogen molecule ion implantation // Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. – 1987. – Vol. B19/20. – P. 162–166.

УДК 539.213.2

А.Н. Лаппо, аспирантка; А.В. Мисевич, ассистент;

А.Е. Почтенный, ст. научный сотрудник; О.М. Стукалов, мл. научный сотрудник

МОРФОЛОГИЯ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ЛАЗЕРНО-НАПЫЛЕННЫХ ПЛЕНОК ДИАНГИДРИДА ПЕРИЛЕНТЕТРАКАРБОНОВОЙ КИСЛОТЫ

The structural and electrical condition properties of perylenetetracarboxylic dianhydride based thin films were investigated depending on the substrate temperature. It is shown that in the perylenetetracarboxylic dianhydride is realized the hopping conduction. The SPM measurements show that the substrate temperature at the deposition process defines the film morphology. The optical absorption spectra show that the crystalline structure of the perylenetetracarboxylic dianhydride not depends on the substrate temperature.

1. Введение

Поликристаллические пленки органических красителей применяются при разработке таких элементов органической электроники, как газовые сенсоры, солнечные элементы и светоизлучающие диоды [1, 2]. На функционирование всех этих устройств, а именно на процессы переноса электронов в них, существенное влияние оказывает адсорбированный из атмосферы кислород, концентрация которого зависит от морфологии пленок, причем связь между морфологией пленок, концентрацией адсорбированного кислорода и электрофизическими свойствами в настоящее время не установлена. В связи с этим целью работы было получение тонких пленок органических полупроводников на основе диангидрида перилентетракарбонической кислоты (ДПТК) и исследование структуры и электрофизических свойств пленок.

2. Методика эксперимента

Пленки ДПТК были получены методом лазерного распыления в вакууме порошкообразной мишени с последующим осаждением газообразных продуктов распыления на подложки. При этом одна серия образцов была напылена на подложки с температурой 20 °С, а другая серия – на подложки с температурой 150 °С.

Спектры поглощения в видимой области были получены на спектрофотометре SPECORD M40. Морфология поверхности пленок изучалась на атомно-силовом микроскопе Фемтоскан-001. Проводимость на постоянном токе и температурная зависимость проводимости в вакууме 10^{-2} Па измерялась электрометром В7Э-42. При этом исполь-

зовался метод циклической термодесорбции [3, 4]. Этот метод позволяет получить набор температурных зависимостей проводимости, соответствующих различным концентрациям адсорбированного кислорода. Поскольку зависимость проводимости образца G от температуры T описывается как

$$G = G_0 \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{kT}\right), \quad (1)$$

где G_0 – предэкспоненциальный множитель; E_a – энергия активации; k – постоянная Больцмана, измеренный набор температурных зависимостей позволяет определить набор значений G (при определенной температуре, например, 300 К), G_0 и E_a , соответствующих различным концентрациям адсорбированных молекул кислорода.

3. Результаты и их обсуждение

На рис. 1 приведены изображения поверхности пленок ДПТК толщиной 100 нм, осажденных на подложки с различной температурой, полученные методом АСМ в контактном режиме. Пленка ДПТК, напыленная на подложку при комнатной температуре, представляет собой аморфную структуру с шероховатостью 1,8 нм; на горячей подложке пленка образует зернистую структуру с характерным размером зерна 100 – 300 нм и шероховатостью 21,2 нм. Изображения показывают, что пленки, осажденные на горячую подложку, имеют более развитую поверхность, то есть больший размах высот и большую шероховатость.

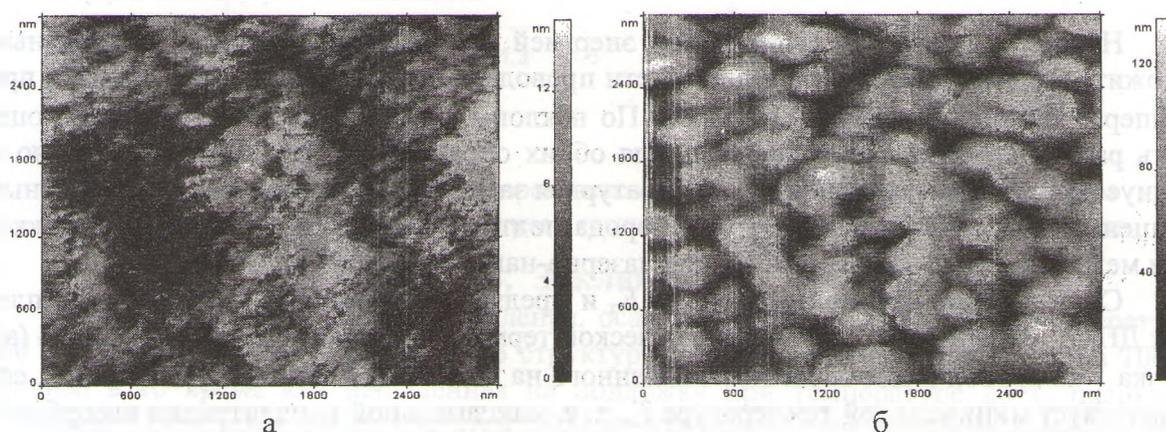


Рис. 1. АСМ-изображение поверхности пленки ДПТК толщиной 100 нм:
а) пленка, напыленная на подложку с температурой 20 °С;
б) пленка, напыленная на подложку с температурой 150 °С

Спектроскопические исследования показали (рис. 2), что у обоих образцов совпадают пики поглощения, которые проявляются при длинах волн 475 нм и 554 нм. Это свидетельствует об одинаковой структуре пленок ДПТК.

По результатам измерения температурной зависимости проводимости в вакууме были рассчитаны энергии активации и предэкспоненциальные множители. Основой для систематизации этих данных может служить связь между величинами E_a и G_0 , которая отражает компенсационный эффект, или правило Мейера–Нелдела. Правило Мейера–Нелдела заключается в том, что логарифм предэкспоненциального множителя G_0 в зависимости удельной проводимости G от температуры T (1) линейно увеличивается с ростом энергии активации:

$$\ln \sigma_0 = A + BE_a, \quad (2)$$

где A и B – константы.

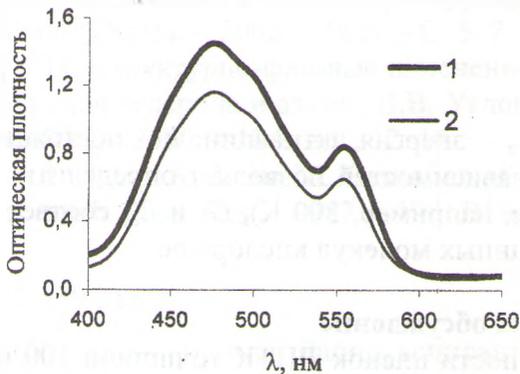


Рис. 2. Спектры поглощения пленок ДПТК, осажденных на подложки при температуре 20 °С (1) и 150 °С (2)

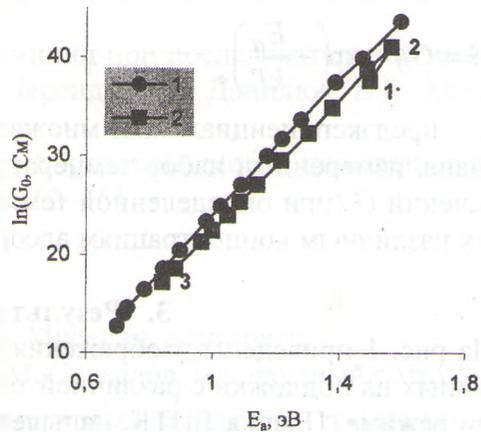


Рис. 3. Связь между энергией активации и предэкспоненциальным множителем в температурной зависимости проводимости для пленок, напыленных при температуре подложки 20 °С (1) и 150 °С (2)

На рис. 3 приведена связь между энергией активации и предэкспоненциальным множителем в температурной зависимости проводимости для пленок, напыленных при температуре подложки 20 °С и 150 °С. По наклону данных зависимостей можно оценить радиус локализации электрона. Для обоих образцов наклон, а соответственно и радиус локализации, одинаковы. Температурная зависимость проводимости при разных концентрациях адсорбированного кислорода подтверждает предположение о прыжковом механизме проводимости в тонких лазерно-напыленных пленках ДПТК.

Связь между энергией активации E_a и предэкспоненциальным множителем пленок ДПТК, измеренных методом циклической термодесорбции, приведена на рис. 4 (а). Точка 1 на кривой 2 для образца, напыленного на подложку с температурой 150 °С, соответствует минимальной температуре T_a , т. е. максимальной концентрации адсорбированного кислорода. На кривой можно выделить две области. Для области 1–2 увеличиваются энергия активации и предэкспоненциальный множитель G_0 , в области 2–3 обе эти величины уменьшаются. Отметим, что для кривой, полученной для образца, напыленного на подложку при комнатной температуре, наблюдается одна область уменьшения энергии активации и предэкспоненциального множителя.

Для интерпретации полученных результатов используем модель двухуровневого прыжкового переноса электронов [4], считая, что одна система уровней соответствует собственным состояниям электронов в межзеренных промежутках ДПТК, а вторая – состояниям адсорбированного кислорода.

На рис. 4 сопоставляются расчетные и экспериментальные данные для связи между энергией активации E_a и предэкспоненциальным множителем G_0 , экспериментальная зависимость рассчитана с использованием значений $n_1 + n_2 = 1,18 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$, $a_1 = 0,09 \text{ нм}$, $a_2 = 0,1 \text{ нм}$, $\epsilon = 1$. На кривой рис. 4 (б), полученной при использовании мо-

дели двухуровневого прыжкового переноса, область 1–2 соответствует преимущественному переносу электронов по собственным состояниям, а область 2–3 соответствует преимущественному переносу электронов по примесным состояниям. Те же области обозначены на рис. 4 (а), где изображены экспериментальные данные. Соответствие расчетных и экспериментальных зависимостей позволяет сделать вывод о том, что электропроводность поликристаллических пленок ДПТК обусловлена прыжковым переносом электронов по совместной системе собственных состояний и состояний адсорбированного кислорода. Две области на кривых, показанных на рис. 3 и 4, соответствуют двум типам проводимости.

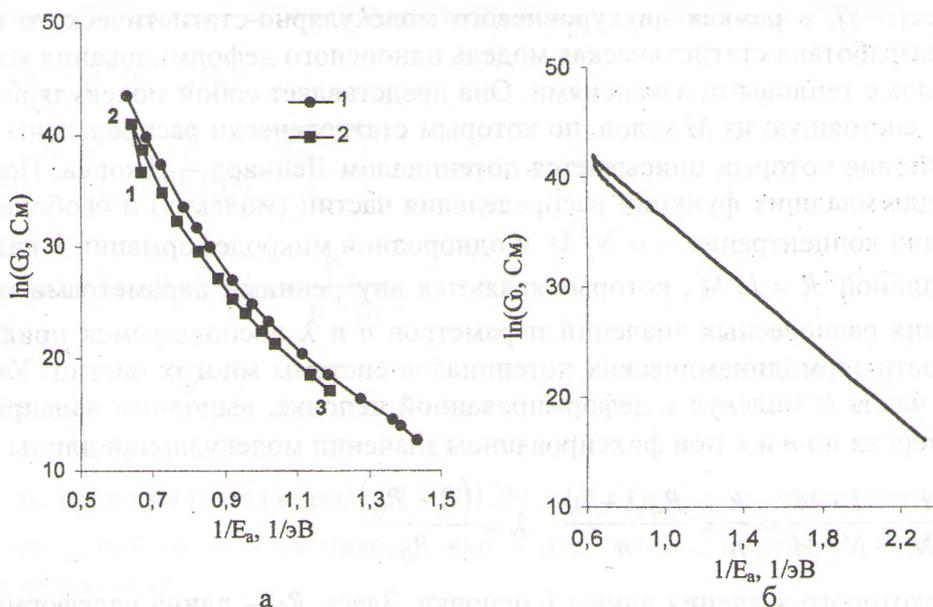


Рис. 4. Экспериментальная (а) и теоретическая (б) связь между энергией активации и предэкспоненциальным множителем в температурной зависимости проводимости

4. Заключение

Методом АСМ показано, что пленка, осажденная на подложку при температуре 150 °С, представляет собой зернистую структуру с характерным размером зерна 100 – 300 нм, в то время как напыленная на подложку при температуре 20 °С пленка – аморфная. Сопоставление результатов АСМ и оптической спектроскопии показало, что температура подложки при напылении ДПТК определяет морфологию пленки. Электрофизическими измерениями установлено, что проводимость пленок обусловлена прыжковым переносом электронов.

ЛИТЕРАТУРА

1. S.R. Forrest. Ultrathin organic films grown by organic molecular beam deposition and related techniques// Chem. Rev. – 1997. – Vol. 97. – P. 1793–1896.
2. Симон Ж., Анре Ж.-Ж. Молекулярные полупроводники. – М.: Мир, 1988.
3. Влияние адсорбированного кислорода на проводимость пленок фталоцианина свинца / А. Е. Почтенный, А. В. Мисевич // Письма в ЖТФ. – 2002. – Т. 29, Вып. 1. – С. 56–61.
4. Структура и электрофизические свойства тонких лазерно-напыленных пленок N, N'-диметилдимида перилентератракарбонической кислоты / А.Н. Лаппо, А.В. Мисевич, А. Е. Почтенный, О.М. Стукалов // Труды БГТУ. Вып. X. Сер. VI. Физ.-мат. науки. – Минск, 2002. – С. 85–90.