

## Подвижность носителей заряда в OLED структурах с излучающими слоями ЯК-203 и Alq3

*Дзядух С.М.*

*Войцеховский А.В., Несмелов С.Н., Коханенко А.П., Копылова Т.Н., Дегтяренко К.М.*

*Томский государственный университет*

*E-mail: vav43@mail.tsu.ru*

Изучение электрических свойств новых типов многослойных систем актуально в связи с возможностями улучшения характеристик органических светоизлучающих диодов (OLED). Результаты таких исследований могут быть использованы при разработках дисплеев, а также систем освещения большой площади [1]. Представляют интерес OLED структуры, использующие в качестве эмиссионных слоев такие вещества, как ЯК-203 (2-N,2-N,8-N-тетракис(4-метоксифенил)-(добензотиофен-5,5-диоксид)-2,8-диамин) или Alq3 (трис(8-гидроксихинолин) алюминия). Так, в слое ЯК-203 происходит термоактивированная люминесценция, замедляющая электролюминесценцию, если скорость интерконверсии близка к скорости излучательных процессов. Несмотря на то, что измерения вольт-фарадных характеристик (ВФХ) или адмиттанса весьма информативны [2], известно ограниченное число работ, посвященных изучению электрофизических свойств многослойных систем на основе органических пленок (например, [3-5]). Из-за ограничений методов регистрации времени пролета и переходной электролюминесценции возникает интерес к исследованиям подвижности носителей заряда в органических пленках при помощи электрофизических измерений [6-8]. В докладе представлены результаты исследований при помощи методов адмиттанса и переходной электролюминесценции подвижности носителей заряда в OLED структурах с различными эмиссионными слоями (ЯК-203 или Alq3).

Образцы для исследований представляли собой многослойную систему ITO/PEDOT:PSS (30 нм)/ $\alpha$ -NPD (20 нм)/ЯК-203 (50 нм)/BCP (15 нм)/LiF (1 нм)/Al (структура № 1), а также систему, в которой вместо слоев ЯК-203 (50 нм)/BCP (15 нм) добавлен слой Alq3 толщиной 35 нм (структура № 2). Многослойные системы были предназначены для использования в OLED. На ячейки с профилированным ITO в качестве инжектирующего дырки слоя наносился полимер PEDOT:PSS путем центрифугирования и последующей сушки в условиях вакуума. Дырочный транспортный слой создавался из распространенного материала  $\alpha$ -NPD. Эмиссионный (излучающий) слой был сформирован из ЯК-203 (структура № 1) или Alq3 (структура № 2). В структуре № 1 для создания электронтранспортного и холл-блокирующего слоя использовался материал BCP (2,9 -диметил(4,7-дифенил)-1,10 фенантролин). Слои (кроме PEDOT:PSS) создавались при помощи метода термовакуумного напыления. Алюминий толщиной 100 нм напылялся при помощи вольфрамового испарителя. Ячейки капсулировались стеклянной крышкой с помощью эпоксидного компаунда E131 (OSSILA). Измерения проводились при помощи автоматизированной установки для спектроскопии адмиттанса наногетероструктур, в состав которой входили измеритель иммитанса Agilent E4980A и неоптический криостат Janis.

При различных частотах и температурах измерены ВФХ и зависимости приведенной проводимости от напряжения OLED структуры. Для структуры № 1 зависимости хорошо согласуются с результатами [3]. Емкость снижается в режиме инжекции носителей заряда двух знаков и рекомбинации этих носителей (рис.1). Наиболее вероятно, что в OLED структуре № 1 одновременно происходит инжекция в излучательную область носителей заряда обоих типов и отсутствует область напряжения, в которой доминируют носители заряда одного типа. Для структуры № 2 вид ВФХ и зависимости приведенной проводимости от напряжения несколько необычен – наблюдается уменьшение емкости при подаче напряжения обеих полярностей (рис.2). Для структуры № 2 значения емкости на ВФХ начинают уменьшаться при более высоких частотах, чем для структуры № 1. Исследованы зависимости емкости и приведенной проводимости OLED структур от частоты при различных напряжениях. Частотные зависимости адмиттанса хорошо согласуются с литературными данными [5], а также удовлетворительно совпадают с результатами расчета при помощи метода эквивалентных схем [9]. Установлено, что изменения частотных зависимостей адмиттанса при охлаждении более выражены в диапазоне температур 200-300 К при низких частотах (<1 кГц), чем в более низкотемпературном диапазоне.

В использованном диапазоне частот отсутствует высокочастотное насыщение емкости OLED структур, не наблюдаются частотные диапазоны, в которых емкость возрастает при увеличении частоты, что может быть связано с большими значениями дисперсионных параметров. Определены значения подвижности носителей заряда из частотных зависимостей мнимой части импеданса [8], измеренных при разных напряжениях и температурах (рис.3). Зависимость подвижности от корня квадратного из напряженности электрического поля лучше спрямляется при линейном масштабе оси подвижностей (рис.4), чем в координатах Пула-Френкеля. Для структуры № 1 значения подвижности уменьшаются в несколько раз при охлаждении образца от 300 до 220 К, для структуры № 2 изменения значений подвижности при охлаждении менее выражены. Для структуры № 1 с эмиссионным слоем ЯК-203 найденное из измерений импеданса значение подвижности при 300 К и  $E^{0.5}=950$  (В/см)<sup>0.5</sup> близко к  $1.2 \times 10^{-7}$  см<sup>2</sup>/(В×с).

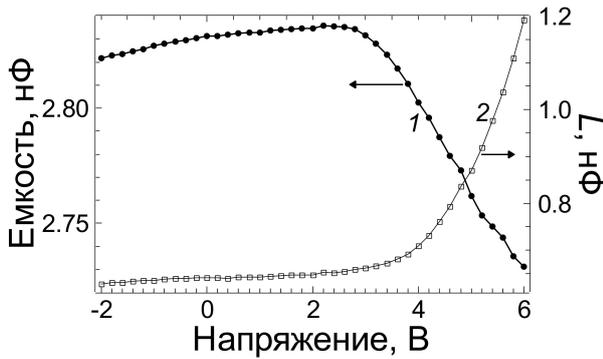


Рис.1 ВФХ (кр.1) и зависимость от напряжения приведенной проводимости (кр.2) OLED структуры №1 с ЯК-203, измеренные при 300 К на частоте 5 кГц

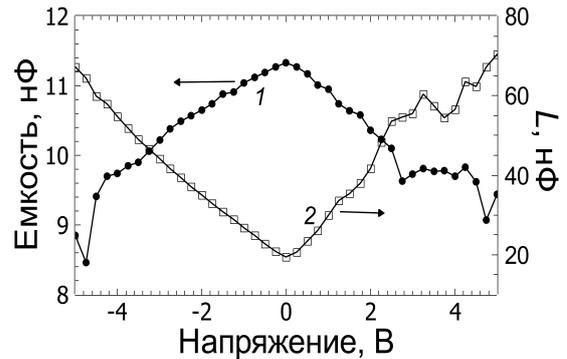


Рис.2 ВФХ (кр.1) и зависимость от напряжения приведенной проводимости (кр.2) OLED структуры №2 с Alq3, измеренные при 275 К на частоте 5 кГц

Для структуры № 2 со слоем Alq3 значение подвижности, определенное из электрофизических измерений, при температуре 275 К и  $E^{0.5}=950 \text{ (В/см)}^{0.5}$  немного превышает  $1.35 \times 10^{-6} \text{ см}^2/(\text{В} \times \text{с})$ . Значение подвижности, определенное методом переходной электролюминесценции для структуры № 1 в аналогичных условиях, больше примерно на порядок, что согласуется с результатами [8]. Согласно литературным данным, для образцов со слоем Alq3 определяют значения подвижности, близкие к значению, определенному из измерений частотной зависимости мнимой части импеданса для структуры № 2.

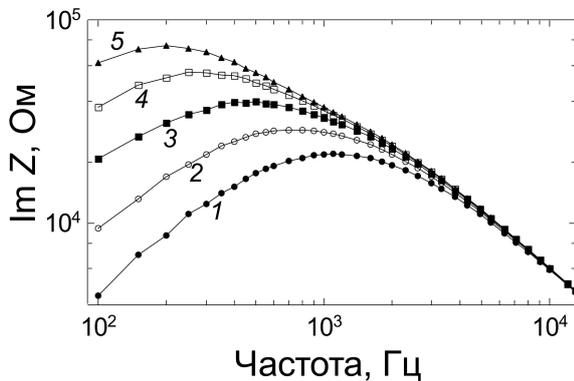


Рис.3 Экспериментальные зависимости мнимой части импеданса OLED структуры №1 с ЯК-203, измеренные при напряжении 6 В при различных температурах, К: кр.1 – 300, кр.2 – 280, кр.3 – 260, кр.4 – 240, кр.5 – 220

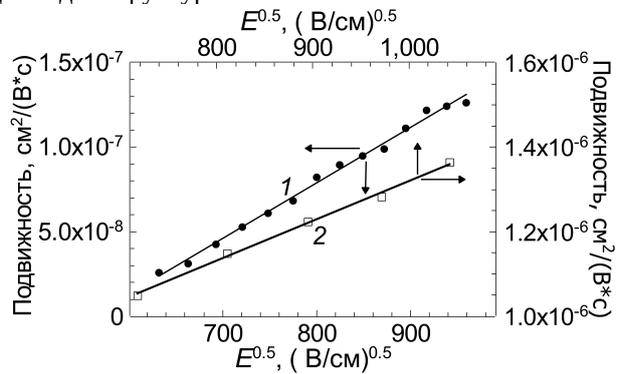


Рис.4 Зависимости подвижности носителей заряда от квадратного корня из напряженности электрического поля для OLED структур №1 с ЯК-203 (кр.1) и №2 с Alq3 (кр.2) при 300 К

Таким образом, измерения частотных зависимостей импеданса являются удобным методом для исследования подвижности носителей заряда в многослойных системах, предназначенных для использования в OLED. Для установления общего соотношения между значениями подвижностями, найденные из измерений импеданса и методом переходной электролюминесценции, необходимы дополнительные исследования.

Исследования проведены при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Томской области в рамках научного проекта р\_а № 18–43–700005.

Список публикаций:

[1] Sun S. S., Dalton L. R. *Introduction to organic electronic and optoelectronic materials and devices*. Boca Raton: Taylor & Francis, CRC Press. 2016. 963 p.  
 [2] Stallinga P. *Electrical characterization of organic electronic materials and devices*. Chichester: John Wiley & Sons. 2009. 316 p.  
 [3] Shrotriya V., Yang Y. // *J Appl Phys*. 2005. V. 97. No. 5. P. 054504.  
 [4] Zou D., Yahiro M., Tsutsui T. // *Jap J Appl Phys*. 1998. V. 37. No. 11B. P. L1406.  
 [5] Nguyen N. D., Schmeits M. // *Phys Stat Sol (a)*. 2006. V. 203. No. 8. P. 1901.  
 [6] Tsang S. W., So S. K., Xu J. B. // *J Appl Phys*. 2006. V. 99. No. 1. P. 013706.  
 [7] Züfle S., Altazin S., Hofmann A., et al. // *J Appl Phys*. 2017. V. 121. No. 17. P. 175501.  
 [8] Tripathi D. C., Tripathi A. K., Mohapatra Y. N. // *Appl Phys Lett*. 2011. V. 98. No. 3. P. 14.  
 [9] Войцеховский А. В., Несмелов С. Н., Дзядух С. М. и др. // *Известия вузов. Физика*. 2019. Т. 62. № 2. С. 107