

А.К. АЙМУХАНОВ, А.К. ЗЕЙНИДЕНОВ, Г.И. ОМАРБЕКОВА
КарУ имени Е.А.Букегова (Караганда, Казахстан)

ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИТНЫХ ПЛЕНОК NiO/PEDOT:PSS

Получения пленок оксида никеля на поверхности ITO осуществлялась следующим образом [1]: гексагидрат нитрата никеля $[\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ массой $m=145\text{мг}$ (ООО «Полихром») растворяли в объеме этиленгликоле $V=1$ мл. в полученный раствор добавляли моноэтаноламин (5 мкл). Раствор перемешивали при комнатной температуре в течение 16 ч после выдерживали в течение 24 ч при комнатной температуре. Пленки NiO получали методом центрифугирования (на центрифуге SPIN150i производства компании Semiconductor Production System). Для изменения толщины пленки скорость вращения подложки изменялось от 1500 об/мин до 2500 об/мин. После пленки отжигали в течение 10 мин при 100°C , после со скоростью изменения температуры $10^\circ\text{C}/\text{мин}$ отжигали до температуры 350°C . Подготовка подложек на основе ITO осуществлялась согласно методике [2].

Для получения композитной пленки NiO/PEDOT:PSS использовали раствор PEDOT:PSS (1%, Ossila A14083). Перед нанесением раствор PEDOT:PSS фильтровали через 0,45 микрометровый фильтр. Пленки PEDOT:PSS получали на пленке NiO методом центрифугирования при скорости вращения 4000 об/мин. После пленки PEDOT:PSS на поверхности NiO отжигали в атмосфере воздуха при температуре 120°C в течение 15 мин.

Измерения спектров импеданса проводились при помощи потенциостата-гальваностата P45X в режиме импеданс на установке, подробно описанной в работе [3].

Анализ результатов импедансометрии проводился согласно диффузионно-рекомбинационной модели и для фитинга использовалась эквивалентная цепь, представленная на рисунке 1. На рисунке показаны следующие параметры для получения годографа полупроводниковых пленок: R1 и R2 – это сопротивления, соответствующие R_h и R_{ext} ; CPE1 – элемент с постоянной фазой, является эквивалентным компонентом электрической цепи, который моделирует поведение двойного слоя, но является несовершенным конденсатором.

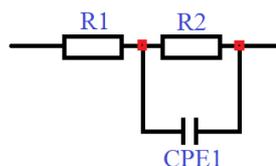
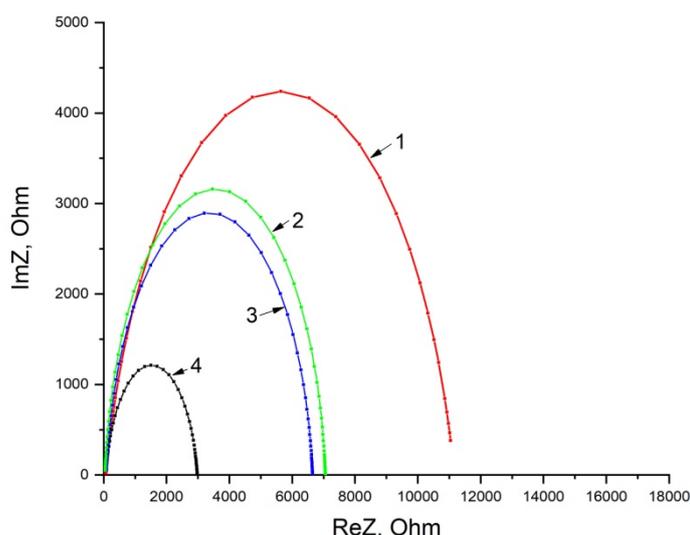


Рисунок 1. Эквивалентная электрическая схема

Световые импеданс спектры ячеек структуры ITO/PEDOT:PSS/Al и ITO/NiO/PEDOT:PSS/Al при параметрах напряжения -500 мВ и частоты от 100 кГц

до 0,5 Гц представлены на рисунке 2. Фитинг спектров импеданса проводился с помощью программного пакета EIS-analyzer, при этом рассчитывались основные электротранспортные свойства пленок (таблица 1), где: k_{eff} – эффективная скорость извлечения носителей заряда с PEDOT:PSS или NiO/PEDOT:PSS, τ_{eff} – эффективное время пролета носителей заряда через PEDOT:PSS или NiO/PEDOT:PSS, R_h – сопротивление пленки PEDOT:PSS или NiO/PEDOT:PSS, R_{ext} – сопротивление переноса носителей заряда на границе PEDOT:PSS/электрод или NiO/PEDOT:PSS/электрод, связанное с извлечением носителей заряда с PEDOT:PSS или NiO/PEDOT:PSS.



- 1 – PEDOT:PSS;
 2 – NiO - 1500об/мин/ PEDOT:PSS;
 3 – NiO – 2000об/мин/PEDOT:PSS;
 4 – NiO – 2500об/мин/PEDOT:PSS.

Рисунок 2. Световые импеданс спектры пленок NiO/PEDOT:PSS при параметрах напряжения -500 мВ и частоты от 100 кГц до 0,5 Гц

Значения электрофизических параметров пленок показаны в таблице 5. Как видно из данных таблицы 1, толщина пленки NiO существенно влияют на сопротивление пленки NiO/PEDOT:PSS (R_h) и на сопротивление переноса носителей заряда на границе раздела NiO/PEDOT:PSS/электрод (R_{ext}). Сопротивление пленки NiO-1500об/мин/PEDOT:PSS обладает наибольшим сопротивлением, а сопротивление пленки NiO-2000об/мин/PEDOT:PSS меньше сопротивлению пленки PEDOT:PSS примерно на 30%. Сопротивление пленки NiO-2500об/PEDOT:PSS показывает наилучшее значение. Более низкое сопротивление пленки должно улучшить фактор заполнения солнечных ячеек и в целом увеличить фотовольтаические показатели.

Динамика наблюдается в изменении сопротивления переноса носителей заряда на границе раздела PEDOT:PSS/электрод и NiO/PEDOT:PSS/электрод

(R_{ext}). Значение сопротивления R_{ext} пленки PEDOT:PSS имеет наибольшее значение. Сопротивление пленок NiO-1500об/мин/PEDOT:PSS и NiO-2000об/мин/PEDOT:PSS значительно меньше сопротивлению R_{ext} пленки PEDOT:PSS. Сопротивление R_{ext} пленки NiO-2500об/мин/PEDOT:PSS показывает наименьшее значение. Величина R_{ext} определяет эффективность извлечения носителей заряда с пленок PEDOT:PSS и NiO/PEDOT:PSS, и чем меньше значение R_{ext} тем больше эффективность накопления носителей заряда и фототок ячейки.

Величины k_{eff} и τ_{eff} характеризуют эффективность извлечения носителей заряда с PEDOT:PSS, NiO/PEDOT:PSS и эффективное время пролета носителей заряда в PEDOT:PSS, NiO/PEDOT:PSS. Как видно с таблицы 5, пленка NiO значительно влияет на пленку PEDOT:PSS, в коэффициентах k_{eff} и τ_{eff} наблюдается положительная динамика. Эффективность извлечения носителей заряда с пленок NiO – 2500об/мин/PEDOT:PSS увеличилась приблизительно в два раза по сравнению с пленкой PEDOT:PSS, а эффективное время пролета носителей заряда уменьшилось обратно пропорционально. Дырки, инжектированные в NiO/PEDOT:PSS, диффундируют к электроду, где рекомбинируют с электронами. Быстрый транспорт инжектированных дырок к внешнему электроду очень важен, так как это уменьшает вероятность их обратной рекомбинации.

Таблица 1 – Значение электрофизических параметров пленки PEDOT:PSS и композитных пленок NiO/PEDOT:PSS

Sample	R_h, Ω	R_{ext}, Ω	k_{eff}, s^{-1}	τ_{eff}, ms
PEDOT:PSS	95,5	11097	46,8	21,36
NiO - 1500об/мин/ PEDOT:PSS	81,41	6571,2	56,37	17,13
NiO – 2000об/мин/PEDOT:PSS	44,17	7016	79,83	12,52
NiO – 2500об/мин/PEDOT:PSS	35,49	2917,2	118,12	8,46

Величины k_{eff} и τ_{eff} характеризуют эффективность извлечения носителей заряда с PEDOT:PSS, NiO/PEDOT:PSS и эффективное время пролета носителей заряда в PEDOT:PSS, NiO/PEDOT:PSS. Как видно с таблицы 5, пленка NiO значительно влияет на пленку PEDOT:PSS, в коэффициентах k_{eff} и τ_{eff} наблюдается положительная динамика. Эффективность извлечения носителей заряда с пленок NiO – 2500об/мин/PEDOT:PSS увеличилась приблизительно в два раза по сравнению с пленкой PEDOT:PSS, а эффективное время пролета носителей заряда уменьшилось обратно пропорционально. Дырки, инжектированные в NiO/PEDOT:PSS, диффундируют к электроду, где рекомбинируют с электронами. Быстрый транспорт инжектированных дырок к внешнему электроду очень важен, так как это уменьшает вероятность их обратной рекомбинации.

В результате исследований установлено, что структурные особенности композитных пленок NiO/PEDOT:PSS оказывают влияние на электрофизические параметры пленок.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. J. Jung, Dong Lim Kim, Sang Hoon Oh, Hyun Jae Kim. Stability enhancement of organic solar cells with solution-processed nickel oxide thin films as hole transport layers, *Solar Energy Materials & Solar Cells* 102 (2012) 103–108.

2. K. Kim, K. Ihm, B. Kim. Surface Property of Indium Tin Oxide (ITO) After Various Methods of Cleaning. *ACTA PHYSICA POLONICA A*, Proceedings of the 4th International Congress APMAS2014, April 24-27, 2014, Fethiye, Turkey, Vol. 127 (2015) No. 4

3. Bisquert J., Mora-Sero I., Fabregat-Santiago F. Diffusion–Recombination Impedance Model for Solar Cells with Disorder and Nonlinear Recombination, 2014, Vol. 1, Issue 1, pp. 289-296.

Международная
научно-практическая
интернет-конференция
ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ
26-27 ноября 2020 года