

ВЛИЯНИЕ ОКСИДА ГРАФЕНА НА ПРОЦЕССЫ ФАЗОВОГО РАЗДЕЛЕНИЯ В СЛОЯХ FTO, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ СПРЕЙ-ПИРОЛИЗА

П. Б. Парчинский¹, А. А. Насиров¹, Р. А. Нусретов², С. А. Хахомов³, А. В. Семченко³,
В. В. Сидский³, В. Е. Гайшун³, К. Д. Данильченко³, А. А. Маевский³

¹Национальный университет Узбекистана,
Республика Узбекистан, *ravelhys@mail.ru*;

²Узбекско-Японский молодежный центр инноваций,
Республика Узбекистан, *rnusretov@yandex.ru*;

³Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,
Республика Беларусь, *alina@gsu.by*

Оксид олова легированный фтором (F doped SnO₂ или FTO) широко применяется при разработке и проектировании солнечных элементов второго и третьего поколения [1–3]. Среди его достоинств высокая прозрачность в видимой области спектра и достаточно высокая удельная проводимость, что позволяет использовать его в качестве фронтального собирающего электрода. Кроме того, данный материал термически стабилен до 300 °С и обладает высокой устойчивостью к активным химическим средам, что позволяет использовать его как подложку для синтеза поглощающих слоев в перовскитных солнечных элементах. К настоящему времени установлено, что введение в объем проводящих оксидов частиц оксида графена может существенным образом модифицировать его структурные и электрофизические свойства [4, 5]. В связи с вышесказанным нами было изучено влияние легирования оксидом графена на структурные характеристики слоев FTO, полученных методом ультразвукового спрей-пиролиза.

Исследуемые слои выращивались на подложке кремния р-типа проводимости с удельным сопротивлением 4 Ом×см. Для формирования слоев FTO был приготовлен водно-спиртовой золь. Гидролиз растворов для получения образцов проводили в водно-спиртовой среде, в качестве растворителей использовали этиловый спирт. В качестве элементов выбран хлорид олова и аммоний фтористый не ниже ОСЧ. В полученный золь вводили наноразмерный порошок оксида графена. Концентрация нанографена в исходном золе составляла от 6 до 10 молярных процентов. Структура поверхности получаемых слоев изучалась при помощи электронного микроскопа JEOL JSM IT 200.

На рисунке 1 представлены данные электронной микроскопии слоев FTO содержащих 6 и 10 молярных процента оксида нанографена.

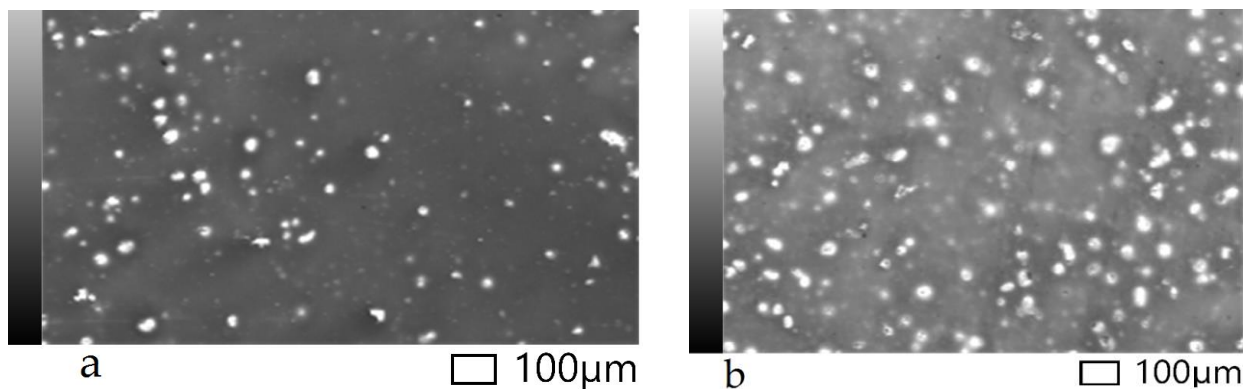


Рисунок 1 – Фотографии рельефа поверхности слоев FTO, содержащих наночастицы оксида графена: а – 6 молярных процента, б – 10 молярных процента

На представленных зависимостях видно, что на поверхности исследуемых образцов наблюдается неоднородности рельефа в виде точек, диаметром от 5 до 40 мкм. Причем концентрация таких неоднородностей и их диаметр увеличивается с увеличением содержания графена в слое FTO. Более того обнаружено, что в контрольных образцах, не содержащих нанографен, такой рельеф практически отсутствует. Исследования, проведенные методом EDS, показали, что данные неоднородности представляют собой конгломераты оксида олова, образующиеся на поверхности исследуемого слоя. Обнаруженная при этом корреляция между концентрацией частиц оксида нанографена в исследуемых слоях и величиной и размером фазовых неоднородностей позволяет сделать вывод о том, что введение наночастиц оксида графена стимулирует процессы фазового разделения в объеме пленок FTO с образованием на его поверхности конгломератов оксида олова.

Работа выполнена при поддержке БРФФИ (грант T25УЗБ-111).

Список литературы

1. C.C. Pla Cid, E.R. Spada, M.L. Sartorelli. Effect of the cathodic polarization on structural and morphological proprieties of FTO and ITO thin films // *Applied Surface Science* 2013. v. 273., C. 603-606. DOI:10.1016/j.apsusc.2013.02.085.
2. E. Ching-Prad, A. Watson, H. Miranda. Optical and electrical properties of fluorine doped tin oxide thin film // *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 2018 v. 29, p. 15299–15306. DOI: 10.1007/s10854-018-8795-8.
3. Kue-Ho Kim, Bon-Ryul Koo, Hyo-Jin Ahn. Sheet resistance dependence of fluorine-doped tin oxide films for high performance electrochromic devices // *Ceramics International* v.44, №8, p. 8408 -8412 DOI:10.1016/j.ceramint.2018.02.157.
4. R. Raja, M. Govindaraj, M. D. Antony, K. Krishnan, E. Velusamy, A. Sambandam, M. Subbaiah, V. W. Rayar. Effect of TiO₂/reduced graphene oxide composite thin film as a blocking layer on the efficiency of dye-sensitized solar cells // *J. Solid State Electrochem.* 2017, v.21, p. 891 DOI: 10.1007/s10008-016-3437-7.
5. M. J. Alsultani, H. H. Abed, R. A. Ghazi, M. A. Mohammed. Electrical Characterization of Thin Films (TiO₂: ZnO)_{1-x} (GO)_x / FTO Heterojunction Prepared by Spray Pyrolysis Technique // *Journal of Physics: Conference Series* 2020 v.591 p. 012002 DOI: 10.1088/1742-6596/1591/1/012002.

MAGNETIC FLUID-ASSISTED CoFeNi-MF/NF ELECTROCATALYST FOR EFFICIENT WATER SPLITTING

F. Hoshimov ^{1,2}, Kh. Butanov ¹, Sh. Mamatkulov ¹, O. Ruzimuradov ^{1,3}

¹*Institute of Material Sciences, Academy of Sciences,
Republic of Uzbekistan, farhod272@gmail.com;*

²*National Research Institute of Renewable Energy Sources;*

³*Turin Polytechnic University in Tashkent*

Hydrogen production via electrochemical water splitting is a key pathway toward sustainable and carbon-free energy systems. However, the commercialization of this technology relies heavily on the development of highly efficient, stable, and economically viable electrocatalysts. In this study, we report the design and synthesis of a novel trimetallic nanocomposite, CoFeNi-MF/NF, fabricated