

## Топография поверхности прекурсоров Cu-Zn-Sn послойно электрохимически осажденных на подложки Мо/стекло и Мо-фольга

А.И. Туровец<sup>1</sup>, С.М. Барайшук<sup>2</sup>, А.В. Станчик<sup>1</sup>, В.Ф. Гременок<sup>1</sup>, С.А. Башкиров<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Государственное научно–производственное объединение « Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по материаловедению», 220072, Минск, Беларусь  
e-mail: bear\_s@tut.by

<sup>2</sup> Белорусский государственный аграрный технический университет, 220053, Минск, Беларусь

Рассмотрена возможность построения тонкопленочных фотопреобразователей на основе нетоксичных и доступных компонентов  $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$  на подложках из стекла и гибкой металлической фольги, которые открывают возможности применения гибких тонкопленочных фотопреобразователей. Полученные структуры исследованы методами атомно-силовой и сканирующей электронной микроскопии.

## Topography of the surface of precursors Cu-Zn-Sn layered electrochemically deposited on Mo / glass and Mo-foil

A.I. Turovets<sup>1</sup>, S.M. Baraishuk<sup>2</sup>, A.V. Stanchik<sup>1</sup>, V.F. Gremenok<sup>1</sup>, S.A. Bashkirov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> State Scientific and Production Association «Scientific-Practical Materials Research Centre of the National Academy of Sciences of Belarus», 220072, Minsk, Belarus

<sup>2</sup> Belarusian State Agrarian Technical University, 220053, Minsk, Belarus

We discuss the ability to construct thin-film solar cells based on non-toxic and available  $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$  components on glass substrates and flexible metal foil, which opens the possibility of application of flexible solar cells. The structures were studied by atomic force and scanning electron microscopy combined with energy dispersive spectrometry of secondary electrons.

В качестве альтернативы дорогостоящей технологии получения кремниевых солнечных батарей (СБ) может быть использован полупроводниковый материал  $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$  (CZTSe) [1-2], оптические и электрические свойства которого, а также доступные нетоксичные составляющие (медь, цинк, олово, селен) позволяют стать перспективным поглощающим слоем в тонкопленочных СБ. Использование в качестве подложки гибкой металлической фольги позволяет расширить спектр применения тонкопленочных СБ, а так же исключает необходимость осаждения проводящего тыльного слоя, что значительно снижает стоимость изготовления модулей СБ [3,4]. Поверхность пленки и подложки с большой шероховатостью улучшают поглощение падающего света на полупроводниковый слой за счет уменьшения отражения [5-7].

В работе представлены результаты исследования атомно-силовой микроскопии (АСМ) и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) в сочетании с энергодисперсионной спектрометрией влияния типа подложек (Мо/стекло) на структуру и шероховатость поверхности прекурсоров Cu-Zn-Sn пленок CZTSe.

На Рисунке 1 представлены типичные АСМ и СЭМ изображения поверхности подложек Мо/стекло с осажденным прекурсором Cu-Zn-Sn. На поверхности прекурсора наблюдается зернистая структура неправильной формы (рис. 1а). При детальном рассмотрении заметна определенная ориентация групп образований. Размер зерен отдельных элементов составляет 2–2,4 мкм в поперечнике при высоте 400–600 нм. Наличие значительного количества таких образований привело к увеличению шероховатости поверхности прекурсоров. Параметры шероховатости прекурсоров Cu-Zn-Sn и исходных стеклянных подложек приведены в таблице 1. Анализ трехмерных изображений поверхности прекурсоров показывает наличие эрозийных изменений поверхности между сформированными структурами.

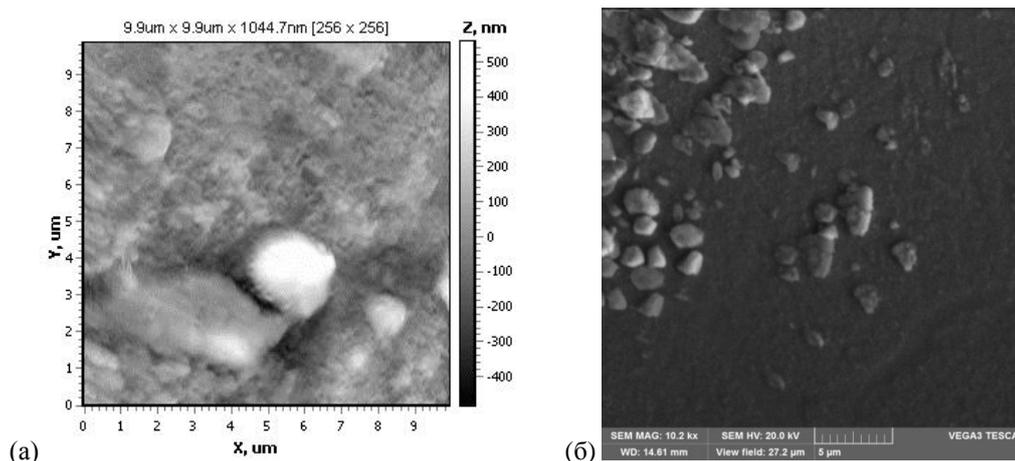


Рис. 1. Изображения прекурсоров Cu-Zn-Sn на подложках Мо/стекло: (а) АСМ и (б) СЭМ.

Таблица 1. Параметры топографии исследуемых образцов.

	Подложка		Cu-Zn-Sn	
	Мо/стекло	Мо-фольга	Мо/стекло	Мо-фольга
средне арифметическая шероховатость, нм	8,15	144,21	80,8	273,
средне квадратичная шероховатость, нм	9,95	178,36	109,6	335,2

«Засветка» поверхностных областей образований на СЭМ изображениях может свидетельствовать о наличии на поверхности металла, что косвенно подтверждается изменением обратной связи жесткости зонда в аналогичных областях, полученными в контактном режиме АСМ.

Шероховатости поверхностей пленок прекурсоров, осажденных на подложки Мо/стекло и Мо-фольги (табл.1), имеют незначительное различие. Более того, нанесение покрытия способствовало устранению царапин на подложке фольги по сравнению с подложкой из стекла с подслоем молибдена. Очевидно, что шероховатость металлических подложек незначительно влияет на шероховатость покрытий, то есть подложки такого качества могут быть использованы для создания тонкопленочных СБ.

1. M.P. Paranthaman, W. Wong-Ng, R.N. Bhattacharya, *Switzerland: Springer International Publishing.*, **218** (2016).
2. Fthenakis V.M., Moskowitz P.D. , *Prog. Photovoltaics Res. Appl.*, **3**, (1995).
3. K. Seifart, W. Göhler, T. Schmidt, R. John, S. Langlois., *Proceedings of the 7th ESPC. Italy*, (2005).
4. K. Otte, L. Makhova, A. Braun, I. Konovalov, *Thin Solid Films*, vol. 511–512 (2006).
5. J. Huang et al., *American Control Conference, San Francisco, CA, USA* (2011).
6. A. Poruba, A. Fejfar, *J.Appl. Phys.*, **88** (2000).
7. S.F. Rowlands, J. Livingstone, C.P. Lund, *Solar Energy*, **76**, (2004).