

ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ПОЛУЧЕНИЯ НА СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТИ СТРУКТУР Мо/СТЕКЛО ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ФОТОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

¹Барайшук, С.М., ²Туравец А.И.*, ³Бобрович О.Г., ⁴Вертель М., ⁴Будзинский М.

¹ БГАТУ. Пр. Независимости, 99. Минск, Беларусь. 220023.

² БГПУ им. М. Танка. Ул. Советская, 18. Минск, Беларусь. 220050

³ БГТУ. Ул. Свердлова, 13а, Минск, Беларусь. 220006.

⁴ Институт физики, Университет М. Кюри-Склодовской. Пл М. Кюри-Склодовской 5, Люблин, Польша 20-031

*bear_s@rambler.ru

Тонкопленочные солнечные элементы являются привлекательными ввиду их малого веса, высокой удельной мощности и гибкости в случае осаждения на фольговые подложки [1]. Кроме того гибкие солнечные элементы позволяют использовать рулонную технологию, что значительно снижает издержки производства и может увеличить пропускную способность. Однако эффективность солнечных элементов зависит как от состава так и от шероховатости тыльных контактов [2-3]. Исследование структуры поверхности пленок Мо нанесенных на стекло методом ионно – асистируемого осаждения представляет интерес, ввиду возможного повышения эффективности солнечных элементов за счет управления свойствами поверхности тыльных контактов перед нанесением функциональных слоев.

Методом электронно-зондовой микроскопии (EDX Oxford Instruments AZtecEnergy-Advanced) и атомно-силовой микроскопии (NT 206 (Microtestmachines Co., Беларусь) в контактном режиме, исследовано влияние режимов нанесения Мо покрытия, на свойства поверхности подложек Мо/стекло для тонкопленочных медьсодержащих халькогенидных полупроводниковых материалов, используемых для создания солнечных фотопреобразователей.

Топография исходной поверхности стекла и пример топографии поверхности Мо/стекло для представлена на рисунке 1, а её характеристики представлены в таблице 1.

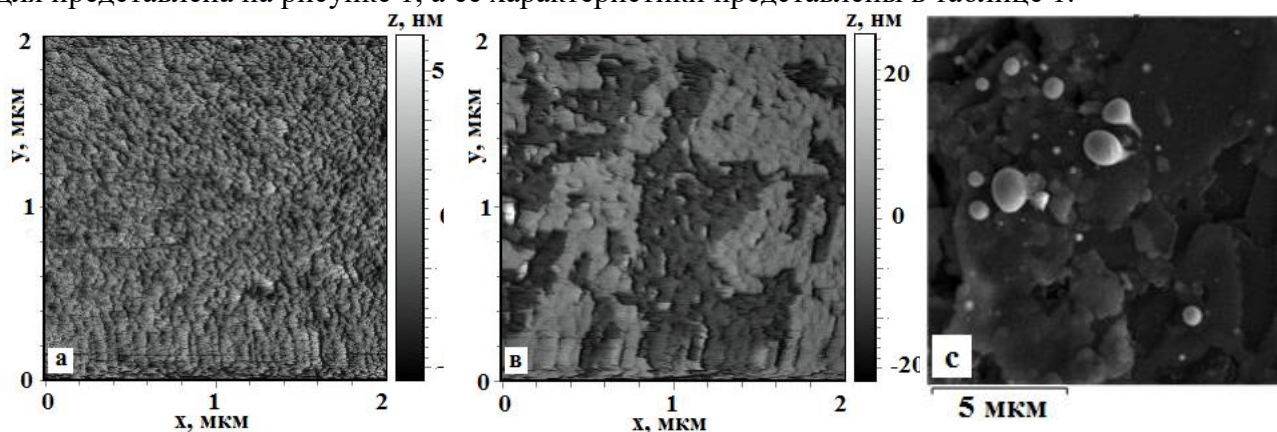


Рисунок 1. АСМ изображения топографии поверхности исходного стекла (А) и АСМ (В) и СЭМ (С) изображения поверхности стекла модифицированного ионно-асистируемым нанесением Мо с интегральным потоком ионов $1,2 \cdot 10^{16}$

Наблюдаемая при этом картина поверхности чистого стекла представляет собой ансамбль «холмов» схожей высоты. Средняя арифметическая шероховатость (Ra) поверхности стекла незначительна и составляет 2,2 нм.

По изображениям АСМ (рисунок 1 В) видно, что интегральные потоки $1,2-5,2 \cdot 10^{16}$ ат/см² не позволяют получить равномерное и сплошное покрытие, это подтверждается и микрофотографией полученной на сканирующем электронном микроскопе (рисунок 1 С). Наблюдаемое изменение топографии поверхности в процессе роста пленки: появление островков роста, столкновение и слияние островков, развитие непрерывной структуры хорошо согласуется с ранее данным качественным описанием эволюции тонких пленок синтезированных на аморфных и поликристаллических подложках [4]. Проведенный при помощи программы Surfacer Explorer анализ гистограмм распределения высот и сечения топографии поверхности изученных систем на наиболее часто встречаемых высотах, позволил выполнить численную оценку процента образования покрытия по поверхности (таблица 1) и его толщину.

Таблица 1 – Параметры морфологии и смачиваемости исходного стекла и стекла, модифицированного ионно-ассистированным нанесением Мо

Параметры	Исходное стекло	Интегральный поток F, $\cdot 10^{16}$ ат/см ²		
		1,2	3,2	5,2
R _a , нм	2.2	1.8	2.0	2.7
% образования покрытия		56.9	33.6	34.5
Разность высот, нм		7.2	6.0	4.6
Θ _ш , °	25.1	62.8	67.4	69.7

Оценивая процент образования покрытия на поверхности, мы видим его снижение с 56,9% до 33,6% на начальном этапе формирования покрытия. Это возможно лишь в случае, когда на наблюдаемая разноуровневая поверхность на АСМ снимках отображает не поверхность покрытия и подложки, а только поверхность покрытия, осаждаемого неравномерно на различных участках поверхности на начальном этап формирования покрытия. Следовательно, на АСМ снимках мы видим не поверхность подложки (более низкий уровень), а поверхность ранее осажденного покрытия. Об этом свидетельствует, в частности, снижение разности высот с 7,2 нм до 3 нм при увеличении интегрального потока и соответственно времени нанесения покрытия.

Кроме того из полученных в режиме Torsion снимков видно, что наносимое покрытие более твердое, чем подложка (рисунок 2).

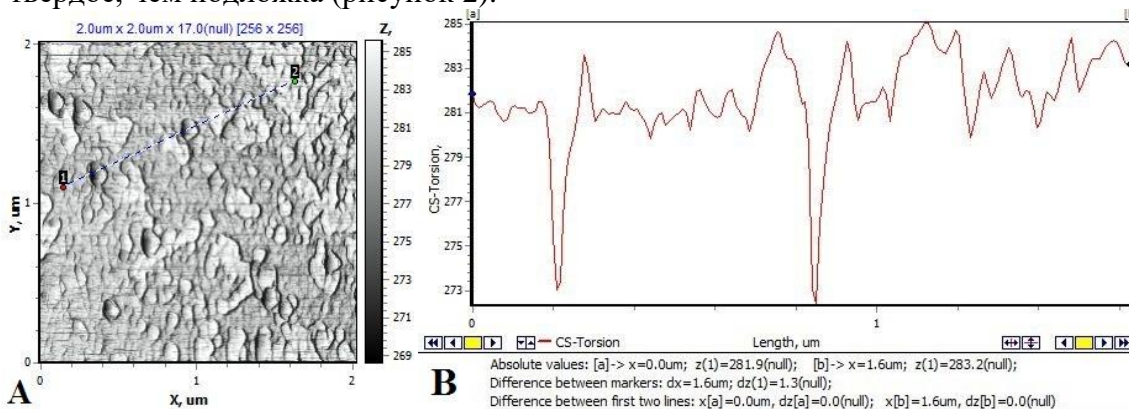


Рисунок 2. АСМ изображение в режиме «Torsion» (А) и профиль поперечного сечения (В) стекла, модифицированного ионно-ассистированным нанесением Мо с интегральным потоком ионов $8,1 \cdot 10^{16}$ ион/см²

Зависимость средней арифметической шероховатости поверхности от величины интегрального потока (рисунок 3) имеет вид, схожий с ранее полученными результатами исследования влияние облучения графита ионами Хе⁺ на структуру, элементный состав, топографию поверхности образцов, их смачиваемость [5].

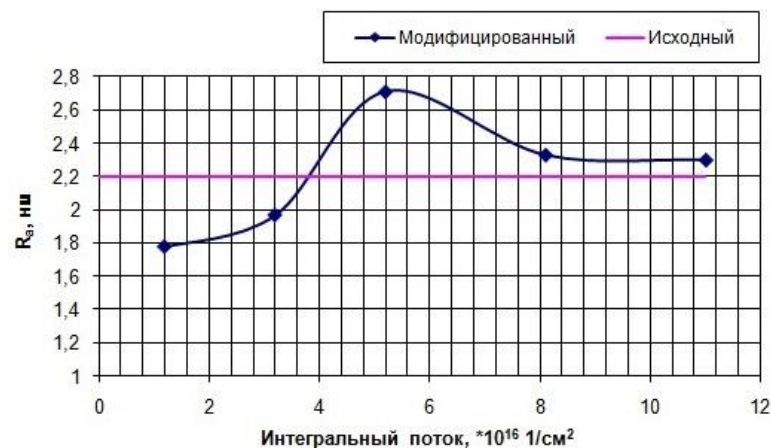


Рисунок 3. Зависимость средней шероховатости поверхности образцов от интегрального потока ионов

После нанесения покрытия характер топографии поверхности заметно меняется. В отличие от исходного образца значительно снижается количество небольших неоднородностей, поверхность подложки становится более гладкой. Рост шероховатости с увеличением интегрального потока обусловлен разностью высот покрытия и подложки, а также многочисленностью островков зарождения покрытия, достигая максимума в 2,71 нм при интегральном потоке ионов $5,2 \cdot 10^{16}$ ион/см². При дальнейшем увеличении времени нанесения, а значит, увеличении интегрального потока ионов, площадь покрытия растет, заполняя всю поверхность стекла, что приводит к снижению шероховатости до 2,3 нм.

Значения параметров шероховатости для структур CZTSe для тонкопленочных фотоэлементов, осажденных на подложки Мо/стекло и Мо фольг полученные в работе [7], имеют малое расхождение, если учесть, что подложки из фольг изначально имели более высокие значения шероховатости и дефекты в виде царапин по сравнению с подложкой из стекла с подслоем молибдена. Следовательно, шероховатость различных подложек оказывает незначительное влияние на морфологию полупроводниковых пленок аналогично тому, как это наблюдалось для других материалов [8 – 9] и позволяет использовать их как материала подложки для фотопреобразователей. А полученные зависимости шероховатости и смачиваемости поверхности структур Мо/стекло позволяют говорить о возможности управления этими параметрами варьруя режимами нанесения Мо покрытий.

- [1] M. Pagliaro, G. Palmisano, R. Ciriminna. Flexible Solar Cells. Italy, Wiley-VCH Verlag GmbH and Co.KgaA, 2008. – 203 p.
- [2] G. San Vicente [et al.]. Proc. of the 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference, – London, UK, 2001. – P. 638–642.
- [3] Batchelor, W. K. Proc. of the 29th IEEE Photovoltaics Specialist's Conference, – New Orleans, LA, 2002. – P. 719-719.
- [4] Petrov I., Barna P.B., Hultman L., Greene J. Microstructural evolution during film growth. J. Vac. Sci. Technol., 2003, A 21.5, p. 117- 128
- [5] Туровец А.И., [и др.] Сборник докладов IX Международной конференции БЕЛСЗМ. Минск, Ин-т тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, 2010. - С. 80 - 84
- [6] А.В. Станчик, С.М. Барайшук [и др.]. Весці НАН Беларусі. Серыя фізіка-матэматычных навук». №4, 2016 P. 67–75
- [7] Tashlykov I.S., Baraishuk S.M. Russian J. of Non-Ferrous Metals. 2008, V. 49. № 4, P. 303.
- [8] Tashlykov I., Baraishuk S., Mikkalkovich O., Antonovich I. Przegląd Elektrotechniczny. 2008. V. 84. № 3. P. 111.