

Влияние времени селенизации на формирование морфологии тонких пленок $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$, осажденных на гибкой металлической подложке

А.В. Станчик¹, В.Ф. Гременок¹, С.М. Барайшук²

¹ ГНПО «Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению», 220072 Беларусь, г. Минск, ул. П. Бровки 19

² Белорусский государственный аграрный технический университет, 220023 Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, 99

Гибкие солнечные элементы (СЭ) на основе тонких пленок $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ (CZTSe) являются привлекательными из-за их потенциально низкой стоимости и различных возможностей применения [1]. На сегодняшний день эффективность таких СЭ составляет 6,1 % [2], что пока ниже теоретической и полученной эффективности СЭ на стеклянной подложке на основе пленок CZTSe. Одной из возможных причин низкой эффективности гибких СЭ является шероховатость металлических подложек, которая влияет на качество формирования морфологии активных слоев СЭ [3]. Поэтому исследование шероховатости поверхности пленок CZTSe полученных на металлических подложках играет важную роль в повышении эффективности СЭ на их основе. Целью данной работы является исследование влияния времени селенизации на морфологию пленок CZTSe, полученных на подложке из фольги тантала (Ta).

Для получения тонких пленок CZTSe использовалась методика, включающая электрохимическое осаждение металлических прекурсоров на фольгу из Ta, предварительный отжиг и селенизацию [4]. Температура селенизации составляла 560°C, а время изменяли от 10 до 30 мин. Исследование структуры и шероховатости поверхности пленок CZTSe осуществляли с помощью атомно-силового микроскопа NT206 (Microtestmachines Co) в контактном режиме.

На рисунке 1 представлены характерные АСМ-изображения поверхности пленок CZTSe на фольге из Ta, селенированных в течении различного интервала времени. Поверхность пленок CZTSe селенированных в течении 10 мин характеризуется зернистой структурой. Зерна имеют продолговатую форму, размером $(0,6-1) \times (1,4-2,2)$ мкм высотой 0,6–1 мкм. Аналогичная картина наблюдается для пленок CZTSe, селенированных в течение 20 мин, однако размеры зерен несколько иные. При ширине 0,5–0,8 мкм средняя длина зерен незначительно уменьшилась до 1–1,8 мкм, при этом зерна имеют гораздо более выраженную ориентацию вдоль одного направления. При увеличении времени селенизации пленок CZTSe до 30 мин происходит объединение зерен в кластеры и уменьшение межзеренных границ. Наблюдается уменьшение высоты зерен и формирование округлой формы зерен размером 2 мкм высотой до 0,5 мкм.

Из результатов, представленных в табл. 1, видно, что значения шероховатости поверхности пленок CZTSe, селенированных в течении 10 и 20 мин, незначительно отличаются, что можно объяснить незначительными изменениями размеров зерен и структуры поверхности пленок в целом. Шероховатость поверхности пленок CZTSe, селенированных в течение 30 мин, уменьшилась по сравнению с пленками CZTSe, селенированными в течение 10

и 20 мин, что обусловлено формированием крупных зерен на поверхности.

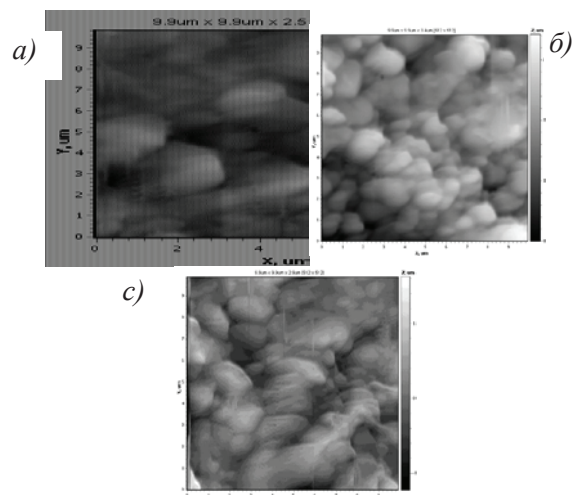


Рис. 1. АСМ-изображения тонких пленок CZTSe селенированных в течении 10 (а), 20 (б) и 30 (в) мин при 560°C

Табл. 1. Усредненные значения средней арифметической (R_a) и средней квадратичной (R_q) шероховатости поверхности тонких пленок CZTSe на Ta-фольге

Время селенизации, мин	R_a , нм	R_q , нм
10	320,2	413,8
20	332,5	417,9
30	256,2	322,6

Таким образом, из полученных результатов исследования следует, что время селенизации тонких пленок CZTSe оказывает влияние на их морфологию и шероховатость. Кроме того, полученные результаты позволяют говорить о том, что при использовании Ta-фольги в качестве подложки возможно получение пленок со структурными свойствами, аналогичными свойствам пленок CZTSe, нанесенных на стеклянные подложки с подслоем молибдена [1].

Работа выполнена при поддержке БРФФИ (№ T19M-022).

- С.М. Барайшук, Т.М. Ткаченко, А.В. Станчик, В.Ф. Гременок, С.А. Башкиров, М. Вертель, М. Будзинский, А.И. Туровец, Ю.С. Яковенко. Поверхность. рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2018, 11, С. 35–40.
- S. López-Marino, Y. Sánchez, M. Espindola-Rodríguez, X. Alcobé, H. Xie, M. Neuschitzer, I. Becerril, S. Giraldo, M. Dimitrievska, M. Placidi, L. Fourdrinier, V. Izquierdo-Roca, E. Saucedo. J. Mater. Chem. A., 2016, 1–16.
- W.K. Batchelor. Proc. of the 29th IEEE Photovoltaics Specialist's Conference, 2002, 719.
- V.F. Gremenok, R. Juskenas, T.V. Petlitskaya, A.V. Stanichik, S.A. Bashkirov, R. Giraitis, A. Selskis, A.N. Pyatlitski, V.A. Solodukha, C. Berthold, K. Nickel. Proceedings of the 33rd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 2017, 1081–1084.