

Низкотемпературное исследование тонких пленок CZTSe

Станчик А.В.¹, Чумак В.А.¹, Гременок В.Ф.¹, Шёлковая Т.В.¹, Барайшук С.М.²

¹ГНПО «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по материаловедению»

²УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

e-mail: alena.stanchik@bk.ru

DOI: 10.37795/RCEM.2020.76.18.073

Тонкие пленки $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ (CZTSe) являются перспективными в качестве светопоглощающего материала для гибких солнечных элементов (СЭ). Поскольку CZTSe состоит из широко распространенных, дешевых и малотоксичных элементов. Рекордная эффективность гибких СЭ на основе пленок CZTSe составляет 6,48 % [1]. Целью работы является исследование элементного состава пленок CZTSe, нанесенных на фольгу из Mo, а также исследование кристаллической структуры CZTSe в интервале 100–300 К.

Тонкие пленки CZTSe были получены путем селенизации последовательно электроосажденных прекурсоров Cu/Sn/Zn на подложку из фольги Mo [2]. Данные элементного состава получены с помощью электронного микроскопа HELIOS Nanolab 650 (FEI). Исследование пленок CZTSe в интервале температур 100–250 К изучали на рентгеновском дифрактометре TUR-62M ($\lambda = 0,1541$ нм), оборудованном низкотемпературной камерой Rigaku. Анализ фазового состава и определение параметров элементарной ячейки осуществлялись с помощью программ «Match» и «MAUD» соответственно.

Полученные данные элементного состава пленок CZTSe (табл. 1) указывают на дефицит меди и избыток цинка в их составе, что соответствует оптимальному составу для получения высокоэффективных СЭ [3].

Табл. 1. Элементный состав и атомные соотношения тонких пленок CZTSe

Элементный состав, ат. %				Соотношение	
Cu	Zn	Sn	Se	Cu/(Zn+Sn)	Zn/Sn
25,07	15,39	10,14	49,40	0,98	1,51

Рентгенограммы пленок CZTSe (рис.1), полученные в интервале температур 100–250 К, демонстрируют пики характерные для тетрагональной структуры CZTSe (COD №96-722-0527). На рентгенограммах также присутствуют пики от Mo (COD №96-900-8544) и MoSe_2 (COD №00-077-1715). Полученные результаты хорошо согласуются с рентгенофазовым анализом тонких пленок CZTSe, нанесенных на подложку из Mo-фольги, при комнатной температуре [2].

Из рис. 2 видно, что параметры элементарной ячейки CZTSe линейно уменьшаются с изменением температуры от 300 до 100 К. Коэффициенты термического уширения пленок CZTSe, рассчитанные по формулам (1) и (2), составляют $1,32 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ и $6,59 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ соответственно. Среднее значение коэффициента α составляет $9,87 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, что примерно в два раза больше, чем

для монокристаллов CZTSe ($5,4 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) [4] и практически близко к значению для тонких пленок CZTSe, нанесенных на фольгу из Ti ($8,4\text{--}8,6 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) [5].

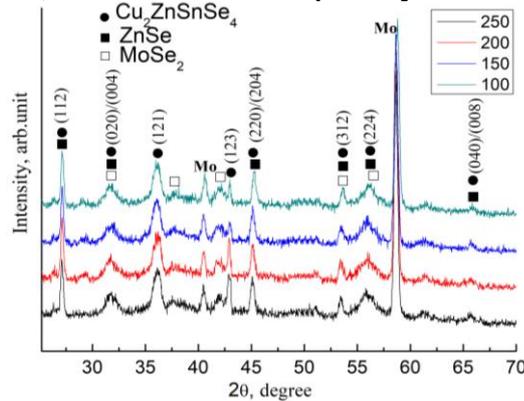


Рис. 1. Рентгенограммы тонких пленок CZTSe в интервале температур 100–250 К

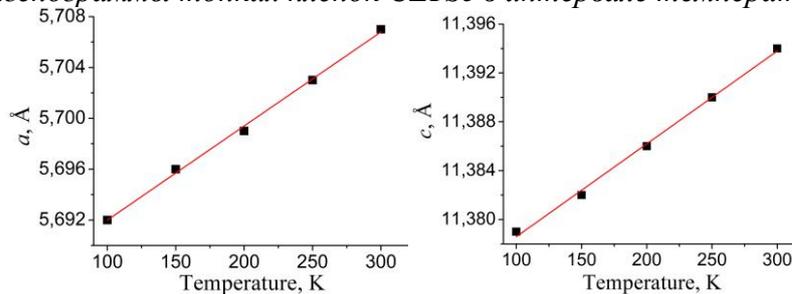


Рис. 2. Температурные зависимости параметров элементарной ячейки пленок CZTSe

$$\alpha_a = (a_T - a_{300})/a_{300}(T - 300) \quad (1)$$

$$\alpha_c = (c_T - c_{300})/c_{300}(T - 300) \quad (2)$$

где a_T и c_T – параметры элементарной ячейки при 100 К, a_{300} и c_{300} – параметр элементарной ячейки при 300 К.

Таким образом, исследование элементного состава пленок CZTSe показало обеднение медью и обогащение цинком их состава, что соответствует критерию получения высокой эффективности СЭ на их основе. С помощью рентгеноструктурного анализа установлено, что пленки CZTSe, осажденные на подложку из фольги Мо, обладают тетрагональной кристаллической структурой устойчивой в широком интервале температур (100–300 К).

Данная работа была поддержана Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований (проект № Т19М-022 и Ф20М-096).

Список литературы:

1. A.V. Stanchik, S.M. Baraishuk, M. Wiertel and M. Budzynski, *Международная научно-техническая конференция «Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК»*, 19-20 декабря 2019 г., Минск, Беларусь, 291–294 (2019).
2. А.В. Станчик, В.Ф. Гременок, С.А. Башкиров, М.С. Тиванов, Р.Л. Юшкенас, Г.Ф. Новиков, Р. Герайтис и А.М. Саад, *Физика и техника полупроводников*, 52(2), 227–232 (2018).
3. S. Das, K.C. Mandal and R.N. Bhattacharya, *Semiconductor Materials for Solar Photovoltaic Cells*, Switzerland (2016).
4. A.U. Sheleg, V.G. Hurtavy and V.A. Chumak, *Crystallography reports*, 60(5), 758–762 (2015).
5. S. Yazici, M.A. Olgar, F.G. Akca, A. Cantas, M. Kurt, G. Aygun, E. Tarhan, E. Yanmaz and L. Ozyuzer, *Thin Solid Films*, 589, 563–573 (2015).