

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ СКАНИРУЮЩЕЙ ЗОНДОВОЙ
МИКРОСКОПИИ В ХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

УДК 538.911

АТОМНО-СИЛОВАЯ МИКРОСКОПИЯ
ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ТОНКИХ ПЛЕНОК SnS,
ПОЛУЧАЕМЫХ МЕТОДОМ «ГОРЯЧЕЙ СТЕНКИ»

С. М. Барайшук¹, С. А. Башкиров²

¹Белорусский государственный педагогический университет им. Максима Танка,
Минск, Беларусь

²Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению, Минск, Беларусь

Аннотация. Сульфид олова SnS представляет интерес для оптоэлектроники и рассматривается как перспективный поглощающий материал для тонкопленочных солнечных элементов. В работе методом атомно-силовой микроскопии исследована поверхность пленок SnS, полученных методом «горячей стенки». Установлено влияние параметров режима получения пленок на структуру их поверхности. Определена средняя шероховатость поверхности.

Ключевые слова: сульфид олова, тонкие пленки, атомно-силовая микроскопия.

Введение. Полупроводник класса A^{IV}B^{IV} сульфид олова (SnS) в настоящее время привлекает внимание как один из наиболее перспективных поглощающих материалов для тонкопленочных солнечных элементов. В ряде работ показана возможность получения фоточувствительных тонкопленочных структур на основе гетеропереходов SnS/CdS и SnS/SnS₂ [1–5]. В числе достоинств SnS по сравнению с существующими материалами выделяют его низкую стоимость, нетоксичность и химическую стабильность. SnS характеризуется оптическим коэффициентом поглощения до 10⁴ см⁻¹ и шириной запрещенной зоны до 1,1–1,5 эВ, что является близким к оптимальным значениям данных параметров для солнечных элементов.

При проектировании тонкопленочных солнечных элементов требуется наличие детальной информации о поверхности каждого из наносимых слоев, поскольку морфология поверхности определяющим образом влияет на адгезию слоев, барьерные характеристики структуры, и в конечном счете определяет эффективность преобразования света. Основным инструментом диагно-

стики и исследования поверхности является метод атомно-силовой микроскопии (АСМ).

Ранее были представлены результаты изучения структуры, оптических и электрических свойств пленок SnS, полученных термическим вакуумным методом «горячей стенки» [6–8]. В настоящей работе методом АСМ исследованы особенности морфологии поверхности пленок SnS в зависимости от параметров их получения при использовании данного метода.

Методика эксперимента. Методика получения пленок SnS подробно описана в работах [6, 7]. Параметры режимов получения пленок, обозначенных S1, S2, S3 и S4, которые наносились на стеклянную подложку и исследовались в настоящей работе, представлены в таблице.

Условия получения образцов

Обозначение в работе	Температура стенок T_w , °C	Температура подложки T_s , °C	Время напыления t_d , мин
S1	600	220	50
S2	600	290	30
S3	600	330	15
S4	600	270	15

Морфологические особенности поверхности пленок изучали методом АСМ с использованием многофункционального сканирующего атомно-силового микроскопа NT-206. Участки поверхности 10×10 мкм исследовали в двухпроходном контактном режиме сканирования. Значения шероховатости определяли по данным, усредненным по 10 различным площадкам, выбранным произвольным образом.

Результаты и их обсуждение. Трехмерные изображения поверхности образцов S1 и S2 представлены на рис. 1. На изображениях поверхности образца S1 можно заметить наличие трех типов структур.

Пологие зерна 20–40 нм в высоту и 50–200 нм в диаметре являются основой пленки и формируются, по-видимому, на первых этапах нанесения материала. Наряду с пологими зернами наблюдаются более высокие – конусной формы с округлыми вершинами. Кроме того, на поверхности полученной пленки заметны мелкие разрозненные включения иного материала эллипсоидной формы длиной 10–30 нм шириной 5–15 нм. Перечисленные особенности поверхности сопровождаются ростом средней шероховатости поверхности по сравнению с исходной подложкой до 60–90 нм для области площадью 100 мкм².

Совершенно иная картина поверхности формируется у образца S2. На поверхности наблюдается большое количество острых конических зерен высотой 50–70 нм, пологие участки представлены в основном конгломерациями основных форм. Также наблюдается наличие областей, имеющих значительно меньшую шероховатость по сравнению с остальной поверхностью материала, что может свидетельствовать о неравномерном нанесении или о высокой

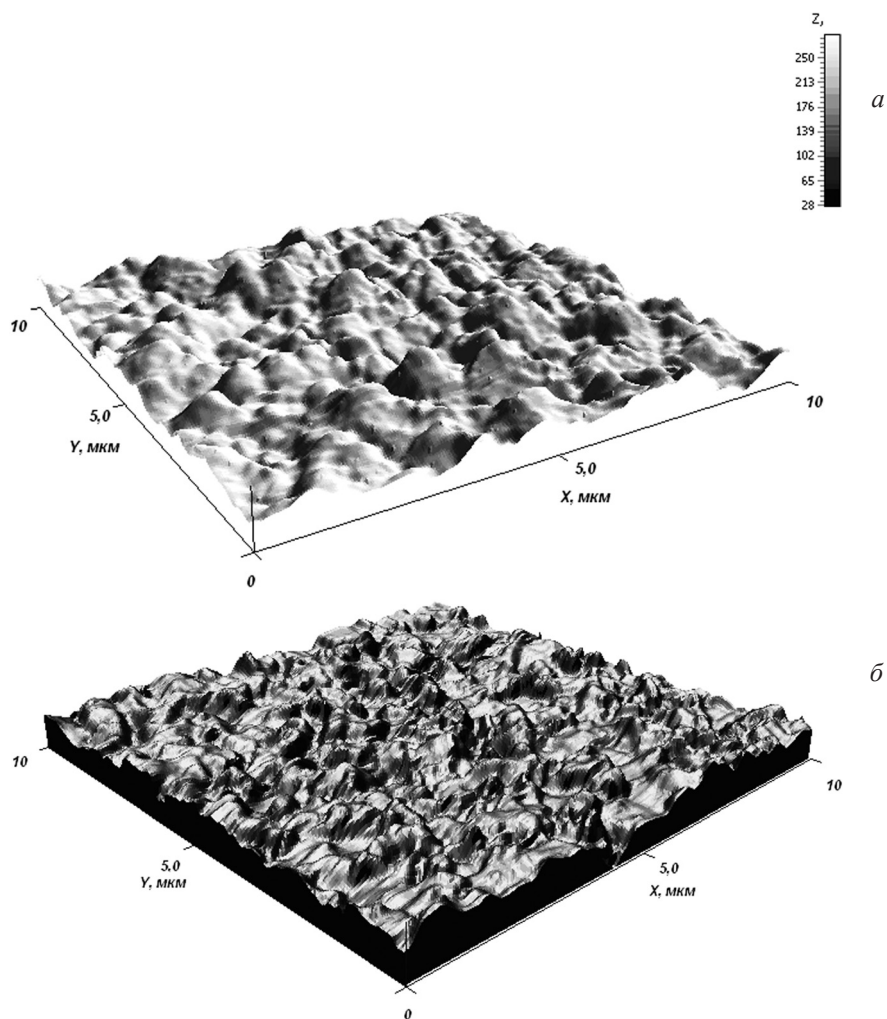


Рис. 1. Трехмерные изображения поверхности образцов: *a* – *S1*; *б* – *S2*

температуре во время нанесения, в результате чего на поверхности образуются выровненные площадки расплавов.

В отличие от *S1* и *S2*, образец *S3* обладает низкой шероховатостью поверхности. На ней практически отсутствуют участки с выраженной неоднородностью, малое количество включений материала при нанесении покрытия, что обусловлено хорошей адгезией наносимого слоя к подложке. Структура поверхности при этом однородна (рис. 2, *a*).

При изучении поверхности образца *S4* просматривается зерненная структура. Зерна можно условно разделить на малые – до 0,5 мкм в диаметре и большие – порядка 1 мкм в диаметре, при этом сформированная пленка имеет неоднородность по толщине порядка 20 %. Зерна большего диаметра имеют остро очерченную границу с толщиной 10–40 нм.

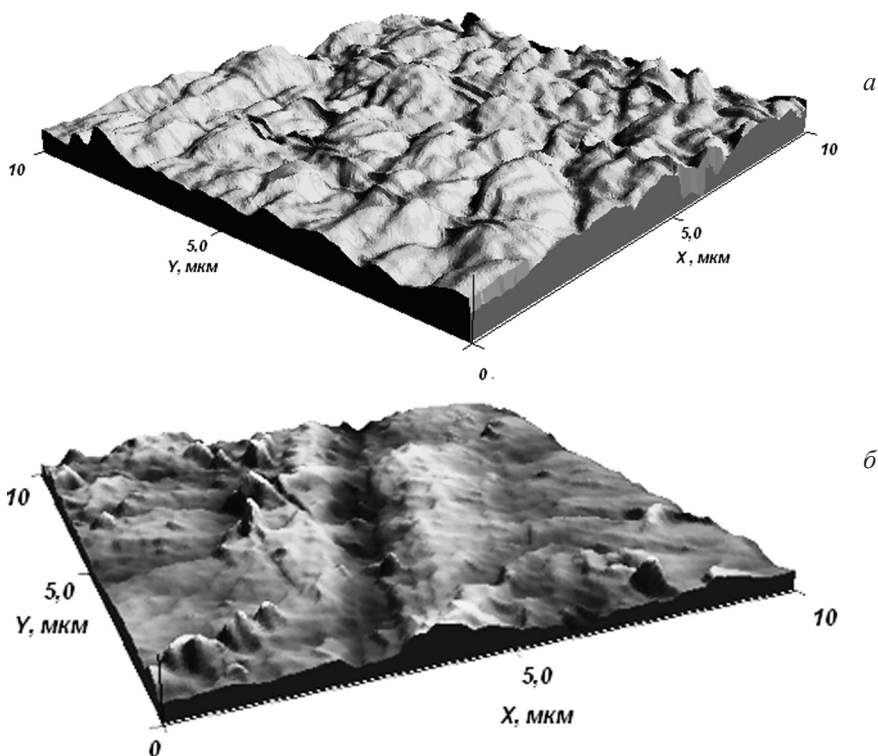


Рис. 2. Трехмерные изображения поверхности образцов: *a* – S3; *б* – S4

Заключение. В настоящей работе методом АСМ исследована поверхность пленок SnS, полученных методом «горячей стенки» на стеклянных подложках. Установлено, что параметры режимов получения пленок существенным образом влияют на морфологические особенности поверхности пленок. В частности, наименьшей шероховатостью (~15 нм) обладает поверхность пленок, которые были напылены на подложку при $T = 330\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 15 мин, в то время как при температуре подложек 220, 270 и 290 $^{\circ}\text{C}$ шероховатость поверхности пленок составила 65, 80 и 50 нм соответственно.

Выявлено существенное различие поверхностей, формирующихся при разных условиях нанесения пленок.

Список использованных источников

1. Ramakrishna Reddy, K. T. Photovoltaic properties of SnS based solar cells / K. T. Ramakrishna Reddy, N. Koteswara Reddy, R. W. Miles // Solar Energy Materials & Solar Cells. – 2006. – Vol. 90. – P. 3041–3046.
2. Avellaneda, D. Structural and chemical transformations in SnS thin films used in chemically deposited photovoltaic cells / D. Avellaneda, G. Delgado, M. T. S. Nair, P. K. Nair // Thin Solid Films. – 2007. – Vol. 515. – P. 5771–5776.
3. Ghosh, B. Fabrication of vacuum-evaporated SnS/CdS heterojunction for PV applications / B. Ghosh, M. Das, P. Banerjee, S. Das // Solar Energy Materials & Solar Cells. – 2008. – Vol. 92. – P. 1099–1104.

4. *Avellaneda, D.* Photovoltaic structures using chemically deposited tin sulfide thin films / D. Avellaneda, M. T. S. Nair, P. K. Nair // *Thin Solid Films*. – 2009. – Vol. 517. – P. 2500–2502.
5. *Ogah, O. E.* Thin films of tin sulphide for use in thin film solar cell devices / O. E. Ogah, G. Zoppi, I. Forbes, R. W. Miles // *Thin Solid Films*. – 2009. – Vol. 517. – P. 2485–2488.
6. *Башкиров, С. А.* Физические свойства тонких пленок SnS, полученных методом «горячей стенки» / С. А. Башкиров, В. Ф. Гременок, В. А. Иванов // *Физика и техника полупроводников*. – 2011. – Т. 45, № 6. – С. 765–769.
7. *Bashkirov, S. A.* Microstructure of SnS Thin Films Obtained by Hot Wall Vacuum Deposition Method / S. A. Bashkirov, V. V. Lazenka, V. F. Gremenok, K. Bente // *J. Adv. Microsc. Res.* – 2011. – Vol. 6, N 2. – P. 153–158.
8. *Башкиров, С. А.* Микроструктура и электрические свойства тонких пленок SnS / С. А. Башкиров, В. Ф. Гременок, В. А. Иванов, В. В. Шевцова // *Физика твердого тела*. – 2012. – Т. 54, № 12. – С. 2180–2185.
9. *Ташлыков, И. С.* Элементный состав, топография и смачиваемость поверхности графита, модифицированного ионно-ассистированным осаждением хромовых покрытий / И. С. Ташлыков, С. М. Барайшук // *Изв. вузов. Сер. ПМиФП*. – 2008. – № 1. – С. 30–35.