

**Министерство образования Республики Беларусь**

**Учреждение образования**

**«Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина»**

# **НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКИ**

Сборник материалов

Республиканской научной конференции,

посвященной 90-летию со дня рождения академика Н.А. Борисевича

Брест, 26–27 сентября 2013 года

**Брест**

**БрГУ имени А.С. Пушкина**

**2013**

УДК 538.911

**С.М. БАРАЙШУК<sup>1</sup>, С.А. БАШКИРОВ<sup>2</sup>**Минск, <sup>1</sup>БГПУ; <sup>2</sup>НПЦ НАНБ по материаловедению**МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ ТОНКИХ ПЛЕНОК SnS,  
ПОЛУЧАЕМЫХ МЕТОДОМ «ГОРЯЧЕЙ СТЕНКИ»****1 Введение**

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. Мощным инструментом диагностики 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» [1–3]. В настоящей работе методом АСМ исследованы особенности морфологии поверхности пленок SnS в зависимости от параметров их получения при использовании данного метода.

**2 Методика эксперимента**

Для изучения морфологических особенностей поверхности пленок применен метод АСМ с использованием многофункционального сканирующего атомно-силового микроскопа NT 206. Участки поверхности  $10 \times 10 \text{ мкм}^2$  исследовались в двухпроходном контактном статическом режиме.

Трёхмерное изображение поверхности, а также данные о шероховатости исследуемых образцов получаются после математической обработки трехмерных массивов целых чисел, характеризующих положение кантилевера и его отклонение от положения равновесия. Значения шероховатости определяются по данным, усредненным по 10 различным площадкам, выбранным произвольным образом.

В процессе сканирования возникает необходимость сглаживать флуктуационные выбросы, которые могут весьма существенно, особенно при значительном радиусе кривизны кончика зондирующего острия, исказить морфологию поверхности при ее визуализации методом АСМ. В настоящей работе для устранения данных эффектов была применена оригинальная методика описанная в [4], включающая в себя сканирование в два прохода. Направления быстрого сканирования в обоих случаях были взаимно перпендикулярны, а переход от предыдущего прохода к следующему происхо-

дил без разрыва контакта зонда с поверхностью. Таким образом, вместо одной матрицы значений для положения зонда при стандартных способах снятия и обработки АСМ снимков, получали две матрицы с одной площадки, которые при отсутствии флуктуаций должны совпадать. Отклонение зонда по высоте определялось усреднением координат по всем проходам. При этом исключались точки с явно выпадающими значениям высоты, вызванными грубыми ошибками. Именно группы таких точек при однопроходном сканировании формируют на изображениях поверхности не существующий рельеф (артефакты). Устранение этого дефекта невозможно при применении классических многопроходных методик, а обработка специальными фильтрами может исказить реальную топографию поверхности. Тем не менее, при наложении групп точек с использованием описанного метода становится очевидным наличие артефактов, их положение и направление сканирования при котором они получены. Это позволяет исключить области с недостоверными данными.

### 3 Экспериментальные результаты и обсуждение

Трехмерные изображения поверхности образцов S1 и S2 представлены на рисунке 1. На снимках поверхности образца S1 можно заметить наличие трех типов структур. Пологие образования (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 образованиями наблюдаются более высокие формирования конусной формы с округлыми вершинами. Кроме того, на поверхности полученной пленки заметны мелкие разрозненные вкрапления более твердого материала эллипсоидной фор-

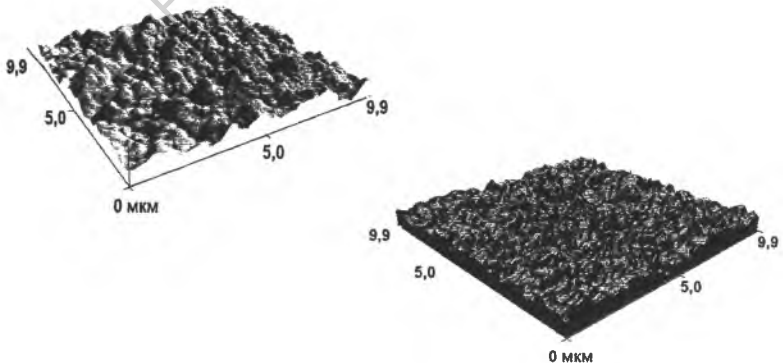


Рисунок 1 – Трехмерные снимки поверхности образцов S1 (слева) и S2 (справа)

мы 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 площадок 100 мкм<sup>2</sup>.

Совершенно иная картина поверхности формируется у образца S2. На поверхности наблюдается большое количество острых конических образований высотой (5–70) нм, пологие участки представлены, в основном, конгломерациями основных форм. Вкрапления, как и другие мелкодисперсные включения, отсутствуют. Модуль упругости по работе зонда равномерен по всей поверхности новообразований. Также наблюдается наличие «пустот», т.е. областей, имеющих значительно меньшую шероховатость по сравнению с остальной поверхностью материала, что может свидетельствовать о неравномерном нанесении или о высокой 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 неоднородности, малое количество вкраплений материала при нанесении покрытия, что обусловлено хорошей адгезией наносимого олея к подложке. Структура поверхности при этом однородна и по упругим свойствам.

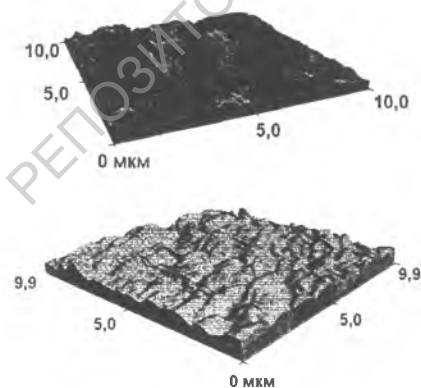


Рисунок 2 – Трехмерные снимки поверхности образцов S3 (слева) и S4 (справа)

При изучении поверхности образца S4 просматривается ячеистая структура. Ячейки 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 %. Ячейки большего диаметра имеют остро очерченную границу с толщиной (10–40) нм. Модуль упругости данного покрытия примерно в 2 раз выше, чем у покрытия на образце

S2. Твердость пленки составляет 80 % от твердости поверхности образцов S1, S2 и (40–60) % в сравнении с образцом S3.

#### 4 Выводы

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 минут, в то время как при температуре подложек  $220\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $270\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $290\text{ }^{\circ}\text{C}$  шероховатость поверхности пленок составила 65, 80 и 50 нм соответственно.

Выявлено существенное различие характера изображений поверхности структур, формирующихся при разных условиях нанесения пленок.

При проведении экспериментов установлено влияние температуры подложки и времени нанесения пленок на механические свойства их поверхности. Наибольшей твердостью обладает поверхность пленки, полученной при  $T = 330\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Твердость поверхности пленок, наносимых на подложку при температурах  $220\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $270\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $290\text{ }^{\circ}\text{C}$ , снижается на (15–50) %.

Результаты работы могут быть полезны для подбора режимов получения пленок с требуемой морфологией и механическими свойствами поверхности при проектировании тонкопленочных приборов на основе SnS.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Башкиров, Физические свойства тонких пленок SnS, полученных методом «горячей стенки» / С.А. Башкиров, В.Ф. Гременок, В.А. Иванов // ФТП. – 2011. – Т. 45, № 6. – С. 765–769.
2. 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. – V. 6, No. 2. – P. 153–158.
3. Башкиров, С.А. Микроструктура и электрические свойства тонких пленок SnS / С.А. Башкиров, В.Ф. Гременок, В.А. Иванов, В.В. Шевцова // ФТП. – 2012. – Т. 54, № 12. – С. 2180–2185.
4. Ташлыков, И.С. Элементный состав, топография и смачиваемость поверхности графита, модифицированного ионно-ассистированным осаждением хромовых покрытий / И.С. Ташлыков, С.М. Барайшук // Известия вузов. Сер. ПМФП. – 2008. – № 1. – С. 30–35.