

# СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТИ ТОНКИХ ПЛЕНОК СПЛАВА Al - 1.0 ат.% Cr, СФОРМИРОВАННЫХ МЕТОДОМ ИОННО-АССИСТИРОВАННОГО ОСАЖДЕНИЯ

<sup>1</sup>Ташлыкова-Бушкевич И.И., <sup>2</sup>Яковенко Ю.С., <sup>3</sup>Бушкевич И.А.,  
<sup>2</sup>Михалкович О.М., <sup>4</sup>Бобрович О.Г., <sup>2</sup>Ташлыков И.С.

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники 220013, РБ,  
г. Минск, ул. П. Бровки, 6, e-mail: iya.itb@bsuir.by

<sup>2</sup>Белорусский государственный педагогический университет 220050, РБ, г. Минск,  
ул. Советская, 18, e-mail: panta\_07@mail.ru

<sup>3</sup>Белорусский государственный университет 220030, РБ, г. Минск, пр. Независимости, 4

<sup>4</sup>Белорусский государственный технологический университет 220006, РБ, г. Минск,  
ул. Свердлова, 13а

## Введение

Сплавы алюминия с хромом, благодаря их высокой термической стабильности, позволяют решать целый ряд технологических задач при разработке и эксплуатации изделий в области высоких температур [1]. Расширение границ применения сплавов Al-Cr может быть достигнуто путем изменения физических характеристик их поверхностей, используя вакуумные методы модификации поверхностей металлов. Для изучения потенциала свойств тонких пленок на основе алюминия, получаемых при гиперскоростной кристаллизации, применяя разные режимы физического вакуумного напыления, необходимо глубокое понимание влияния многочисленных факторов на физические свойства пленок с целью управления ими.

В данной работе исследовались особенности морфологии и свойств поверхности тонких пленок сплава Al-1.0 ат. % Cr, сформированных вакуумным методом ионно-ассистированного осаждения покрытий в условиях самооблучения (ОПАСИ).

## Методика эксперимента

Эксперименты по ионно-ассистированному осаждению металлических пленок на стекло проводились с использованием вакуумного резонансного плазменно-дугового источника при отсутствии ускоряющего напряжения (вакуум  $10^{-2}$  Па) [2]. В качестве электродов установки использовался сплав Al-1.0 ат.% Cr. Время осаждения покрытий составляло 3, 6 и 9ч, при скорости «кристаллизации» (охлаждения каскадов)  $10^{12}$ - $10^{13}$  К/с [3].

Изучение топографии поверхности образцов и определение ее шероховатости было выполнено с применением сканирующей зондовой микроскопии на атомно-силовом микроскопе NT-206 с использованием зондов CSC-38. Смачиваемость поверхности структур пленка/стеклянная подложка, полученных методом ОПАСИ, определялась по величине равновесного краевого угла смачивания (РКУС) методом покоящейся капли (погрешность измерения РКУС составила  $\sim 1^\circ$ ) [4].

## Результаты и их обсуждение

В результате исследования морфологии поверхности тонких пленок сплава Al-1.0 ат.% Cr, полученных методом ОПАСИ в безпотенциальном режиме (рис. 1), нами было установлено, что нанесение пленки указанного состава в течение трех часов ведет к увеличению шероховатости ( $R_a$ ) исходной стеклянной подложки в 3.5 раза. При этом, как и для образцов состава Mo/стекло и Al-1.5 ат.% Fe/стекло, полученных ранее методом ОПАСИ [5], для изучаемой пленки Al-1.0 ат.% Cr наблюдается островковый механизм роста покрытия. При таком механизме роста на поверхности исходной подложки образуются многослойные конгломераты атомов [6]. При времени нанесения покрытия  $t=3$ ч островки

наиболее ярко выражены и имеют средние линейные размеры  $2.4 \times 1.2$  мкм (рис. 1д). Установлено, что увеличение времени нанесения покрытия приводит к дальнейшему увеличению шероховатости его поверхности (см. табл.1). Среди особенностей формируемого рельефа можно выделить наличие у всех образцов конусообразных выступов. Средняя высота конусообразных структур при времени нанесения  $t=3$ ч составляет  $\sim 50$  нм, при  $t=6$ ч и  $t=9$ ч  $\sim 110$  нм; их средний диаметр при  $t=3$ ч достигает  $\sim 0.6$  мкм, при  $t=6$ ч и  $t=9$ ч  $\sim 0.9$  мкм.

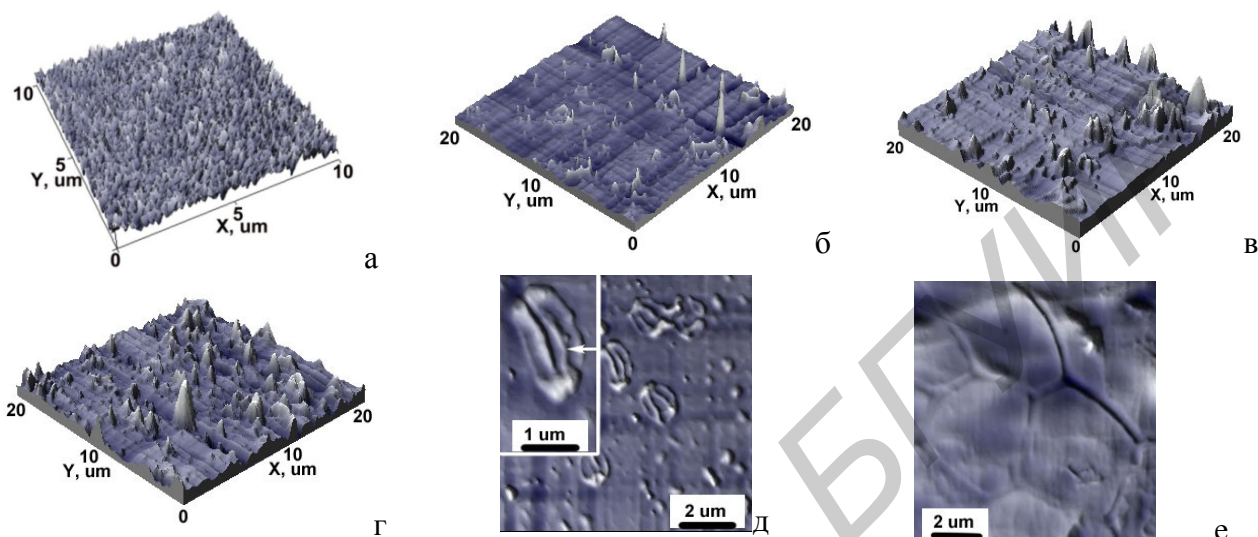


Рисунок 1—3DACM-изображения топографии поверхности исходной стеклянной подложки (а), пленки Al-1.0 ат.% Cr/стекло (б), (в) и (г) (время нанесения 3,6 и 9ч соответственно); 2DACM-изображения рельефа поверхности пленки Al-1.0 ат.% Cr/стекло (время нанесения 3ч) (д) и быстрозатвердевшей (БЗ) фольги сплава Al-1.0 ат.% Cr (е)

Шероховатость поверхности является ключевым фактором, определяющим качество поверхности изделия, и влияет на характер смачивания покрытия. В ходе проведенных исследований мы установили, что нанесение пленки сплава Al-1.0 ат.% Cr на стекло и увеличение шероховатости ее поверхности от 8.9 нм до 21.6 нм при изменении времени нанесения покрытия от 3 до 9 ч сопровождается увеличением значения краевого угла  $\theta$  от  $22.0^\circ$  для чистого стекла до  $79.8^\circ$  для пленки сплава Al-Cr после 9 часов нанесения покрытия (см. табл.1).

Таблица 1—Равновесные краевые углы смачивания водой и шероховатость поверхностей пленок и БЗ фольг сплава Al-1.0 ат.% Cr

	Исследуемая поверхность				
	стекло	Al-1.0 ат.% Cr/стекло	6	9	БЗ фольга сплава Al-1.0 ат.% Cr
Время нанесения, ч	—	3	6	9	—
$R_a$ , нм	2.5	8.9	18.5	21.6	22.7
РКУС, град	22.0	60.9	74.4	79.8	85.2

Таким образом, обнаружено, что все исследованные поверхности проявляют гидрофильные свойства. Такое поведение капли воды на поверхности образца указанного состава характеризуется гетерогенным режимом смачивания, когда смачиваемая поверхность имеет дефекты в виде впадин, пор и т.п. частично или полностью заполненные воздухом (рис.2), и может быть объяснено в рамках модели Касси-Бакстера [7].

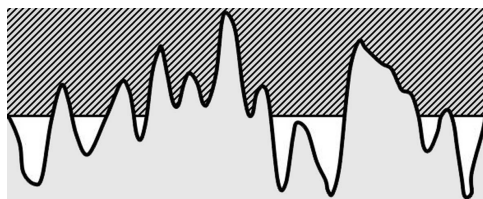


Рисунок 2–Схема, поясняющая гетерогенный тип смачивания шероховатой поверхности тонкой пленки системы Al-1.0 ат.% Cr/стекло, описываемый моделью Касси-Бакстера

Ранее авторами были проведены исследования морфологии и смачивающих свойств поверхностей фольг сплава Al-1.0 ат.% Cr [8], полученных методом центробежной закалки из расплава. Скорость охлаждения расплава составляла  $\sim 10^6$  К/с, что на 6 порядков меньше, чем скорость кристаллизации при формировании материалов методом ОПАСИ. Сравнительный анализ показал, что рельеф поверхности БЗ образцов фольги существенно отличается от рельефа пленки, описанного выше, наличием микрокристаллической зеренной структуры (рис. 1е). Шероховатость поверхности БЗ фольги, контактирующей с поверхностью медного цилиндра, в 2.4 раза превосходит среднее значение шероховатости тонкой пленки Al-1.0 ат.% Cr после 3ч нанесения покрытия и сравнима с ее шероховатостью только после 9 ч нанесения покрытия (см. табл.1). Было установлено, что поверхности БЗ фольг сплава Al-1.0 ат.% Cr, в отличие от тонких пленок аналогичного состава, полученных методом ОПАСИ, обладают большими значениями краевых углов смачивания ( $\sim 85^\circ$ ) и проявляют свойства близкие к гидрофобным.

Полученные зависимости значений шероховатости и смачиваемости от характера морфологии поверхности образцов сплава Al-1.0 ат.% Cr, сформированных при гиперскоростной и высокоскоростной кристаллизации, позволяют исследовать как скорость кристаллизации влияет на структуру и свойства модифицируемой поверхности материала.

#### **Заключение**

Изучены особенности морфологии поверхности металлических пленок Al-1.0 ат. % Cr на стекле, сформированных при гиперскоростном затвердевании методом осаждения покрытий при ассистировании собственными ионами. Нанесение пленки Al-1.0 ат. % Cr в течение 3 ч приводит к увеличению шероховатости исходной стеклянной подложки (2.5 нм) в 3.5 раза. С увеличением времени нанесения покрытия с 3 до 9 ч шероховатость поверхности увеличивается от 8.9 до 21.6 нм. Получено, что исследуемые пленки Al-1.0 ат. % Cr обладают гидрофильными свойствами.

#### **Литература**

- [1] Y. Xiao, J. Zhong, W. Li, Z. Ma. J.Mater.Sci **43**, 324 (2008).
- [2] И.С. Ташлыков, И.М. Белый. Патент РФ №2324. 1С1 ВУ, С23 С4/12. С4/18, С14/16. Офиц. бюл. гос. пат. ведом. **1**, 30 (1999).
- [3] P. Sigmund. Appl. Phys. Lett. **25**, 169 (1974).
- [4] И.С. Ташлыков, С.М. Барайшук. Известия ВУЗов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия **1**, 30 (2008).
- [5] О.М. Михалкович, И.С. Ташлыков, И.И. Ташлыкова-Бушкевич, Ю.С. Яковенко, В.С. Куликаускас, С.М. Барайшук, О.Г. Бобрович. ВИТТ **11**, 248 (2015).
- [6] Л. Фельдман, Д. Майер. Основы анализа поверхности тонких пленок. Мир, М. (1989). 344 с.
- [7] D. Muracami, H. Jinnai, A. Takahara. Langmuir **30**, 2061 (2014).
- [8] И.И. Ташлыкова – Бушкевич, И.С. Ташлыков, С.М. Барайшук, Ю.С. Яковенко, В.Г. Шепелевич. Вести БГПУ **2**, 14 (2012).