

СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТИ ТОНКИХ  
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК, ПРИМЕНЯЕМЫХ  
ДЛЯ ЛИЦЕВЫХ И ТЫЛЬНЫХ КОНТАКТОВ  
ФОТОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

*И. С. Ташлыкоч, О. М. Михалкович,  
И. И. Ташлыкоча-Бушкевич, Ю. С. Яковенко,  
А. И. Туровец, В. С. Куликаускас,  
С. М. Барайшук, О. Г. Бобрович*

*I. Tashlykov, O. Michalkovich,  
I. Tashlykova-Bushkevich,  
Y. Yakovenko, A. Turovets,  
V. Kulikauskas, S. Baraishuk,  
O. Bobrovich*

В работе представлены результаты изучения морфологии и краевого угла смачивания дистиллированной водой поверхности систем пленка Mo, Al, Al+1 ат % Cr/стеклянная подложка, полученных осаждением на стекло металлических пленок в условиях ассистирования собственными ионами, ускоренными при ускоряющем потенциале 3 и 10 кВ. Обнаружено, что нанесение пленок изученных материалов на стекло приводит к увеличению равновесного краевого угла смачивания (РКУС) поверхности, то есть к снижению гидрофильности поверхности. На смачиваемость поверхности полученных структур влияют следующие факторы: химический состав материала и морфология поверхности.

In this article a topography and wettability of a surface of structures thin metallic (Me) film/glass (Me = Mo, Al or Al+1 at. % Cr) prepared by using a technique of ion-assisted deposition of films in conditions of an own ion – irradiation are discussed. Atomic force microscopy surface observations were used to investigate the topography of modified surfaces. Wettability was measured by means of the contact angle measurement technique. The average roughness of surfaces depends on thickness of thin film and on its composition. Contact angle measurements showed that the deposition of used metal thin films on glass makes the surface more hydrophobic.

В настоящей работе обсуждаются результаты изучения топографии и смачиваемости дистиллированной водой поверхности систем пленка Mo, Al, Al+1 ат % Cr/стеклянная подложка, полученных методом осаждения покрытий при ассистировании собственными ионами (ОПАСИ). Обнаружено, что нанесение металлической пленки на стекло приводит к увеличению равновесного краевого угла смачивания (РКУС), то есть к снижению гидрофильности поверхности. На смачиваемость поверхности полученных структур влияют следующие факторы: химический состав материала и морфология поверхности.

**Введение** Осаждение тонких металлических пленок на стеклянные пластины представляет как научный, так и практический интерес. Оно позволяет формировать тыльные и лицевые контакты поглощающих слоев

солнечных элементов [1]. Солнечные элементы с наилучшими характеристиками получают на подложках из натрийсодержащего стекла, боросиликатного стекла и  $Al_2O_3$ -подложках [2]. Для управления свойствами пленок при их осаждении на подложку необходима диагностика поверхности конструкции пленка/подложка. В настоящей работе обсуждаются результаты изучения топографии и смачиваемости дистиллированной водой поверхности структур пленка Mo, Al, Al+1 ат. % Cr/стеклянная подложка, полученных методом осаждения пленок при ассистировании собственными ионами.

**Методы исследования** Для осаждения пленок на стекло использовали резонансный источник вакуумной дуговой плазмы (вакуум  $10^{-2}$  Па) [3]. Металлические пленки молибдена осаждались на стекло при ускоряющем потенциале на мишени в 10 кВ, а пленки алюминия и его сплава – при ускоряющем потенциале 3 кВ. Скорость осаждения покрытий составляла 0,1–0,2 нм/мин. В ионном источнике в качестве электродов установки использовали материалы: Mo, Al и сплав Al-1,0 ат. % Cr.

Расчеты плотности энергии, выделенной в каскадах атомных столкновений ( $\Theta$ ), формирующихся при торможении ассистирующих ионов в осаждаемой пленке, выполнены в соответствии с методикой Sigmund [4]. Получено, что  $\Theta = 0,25\text{--}0,42$  эВ/ат. Такие значения  $\Theta$  соответствуют температурному эквиваленту  $\sim 10^3$  К. Учитывая время развития каскада атомных столкновений при торможении ассистирующих ионов, получаем гипервысокие скорости «кристаллизации» (охлаждения каскадов)  $\sim 10^{12}\text{--}10^{13}$  К/с.

Изучение топографии поверхности образцов и определение ее шероховатости было выполнено с применением сканирующей зондовой микроскопии на атомно-силовом микроскопе NT-206. Значение шероховатости определялось по усредненным данным, полученным с 7 площадок, выбранных произвольным образом. Для обработки данных, полученных на атомно-силовом микроскопе, использовалась программа Surface Explorer [5].

Смачиваемость поверхности структур пленка/стеклянная подложка, полученных методом ОПАСИ, определяли по величине равновесного краевого угла смачивания, который измеряли методом сидячей капли [6]. Объем капли составлял 9,3 мкл. Погрешность измерения РКУС составляла  $\sim 0,6^\circ$ .

**Результаты и их обсуждение** На рисунке 1 представлено 3D-изображение топографии поверхности стеклянной подложки до нанесения пленок.

Поверхность стекла представляет собой мелко-элементную морфологию со средней шероховатостью ( $R_a$ ) 2,537 нм.

3D-изображение топографии поверхности молибденовой пленки (рисунок 2), позволяет сделать вывод о том, что на подложке из стекла методом

ОПАСИ формируется пленка молибдена с поверхностью высокого качества. Значение средней шероховатости поверхности пленки толщиной ~ 50 нм при этом составляет 0,216 нм.

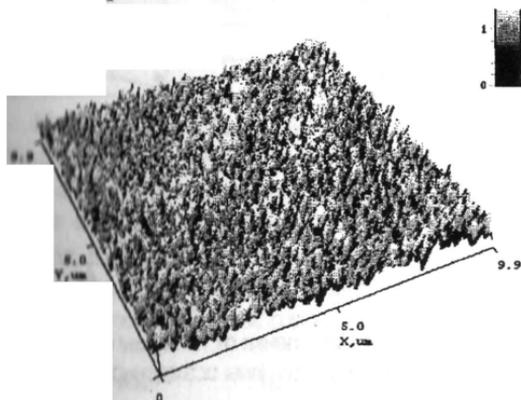


Рисунок 1 – 3D-изображение топографии поверхности стеклянной подложки

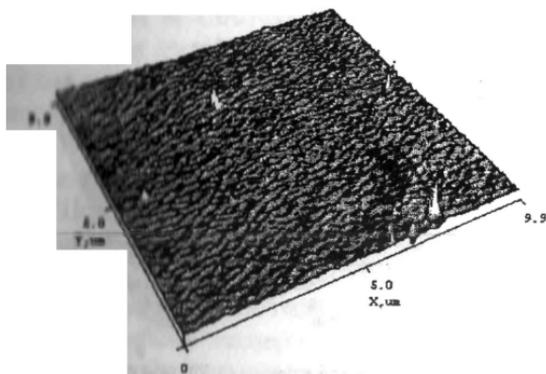


Рисунок 2 – 3D-изображение топографии поверхности Мо пленки, нанесенной на стекло методом ОПАСИ при ускоряющем напряжении 10 кВ при силе ионного тока в 100 мкА за 5 часов

Изменяя условия нанесения молибдена (время нанесения), получали пленки различной толщины и, как оказалось, с разными значениями шероховатости и РКУС.

Как видно из представленных зависимостей, изменяя условия нанесения пленки, то есть варьируя толщиной пленки, можно управлять шероховатостью поверхности и ее смачиваемостью (РКУС в пределах от 22° до 65°).

Поверхность пленок алюминия и сплава алюминия с хромом (1 ат. % Cr) имеет качественно другой вид. 3D-изображение их топографий представлены на рисунке 4 (а и б соответственно).

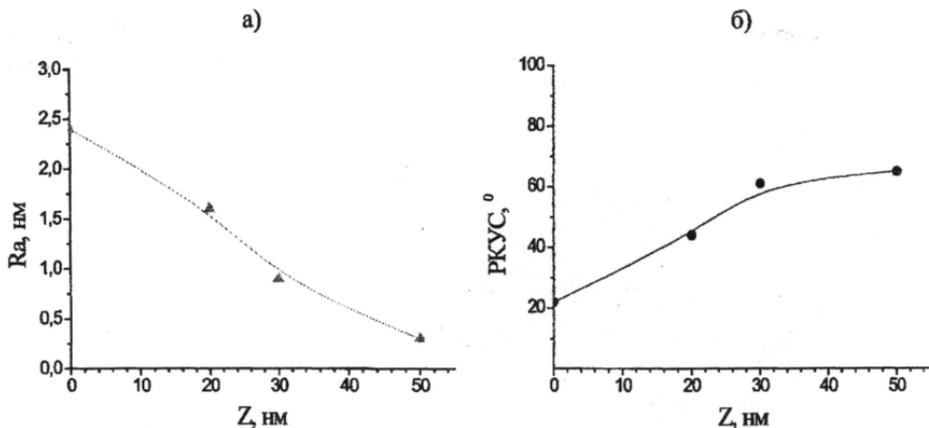


Рисунок 3 – а) Зависимость шероховатости поверхности Мо пленки от толщины осажденной пленки; б) Зависимость РКУС поверхности Мо пленки от толщины осажденной пленки

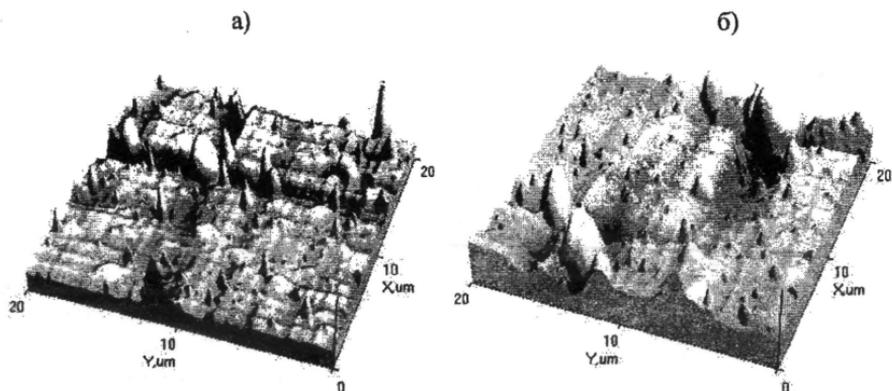


Рисунок 4 – 3D-изображения топографии поверхностей пленок Al (99,995 %) (а) и сплава Al-1,0 ат. % Cr (б), нанесенных на стекло методом ОПАСИ при ускоряющем напряжении 3 кВ при силе ионного тока ~ 100 мкА за 10 часов

Поверхность пленки из алюминия и сплава его с хромом представляет собой ансамбль из пирамид с округлыми вершинами (с характерными латеральными размерами порядка 0,5–2 мкм) и остроугольных пирамид. Шероховатость поверхности составляет 46,575 нм. В пленке сплава алюминия остроугольных пирамид меньше, меньше и шероховатость, которая составляет 9,550 нм. Смачиваемость поверхностей пленок из различных металлов, нанесенных на стекло методом ОПАСИ, также различна (см. таблицу)

Значения РКУС поверхности пленок дистиллированной водой и параметры шероховатости поверхности систем пленка Мо, Al, Al+1 ат. % Cr/стеклянная подложка, представлены в таблице.

Таблица

	Металл пленки			
	стекло без пленки	Mo (50nm)	Al	Al+Cr (1 ат. %)
РКУС, град.	22,0	65,0	76,2	83,5
R <sub>a</sub> , нм	2,537	0,216	46,575	9,550

Как следует из данных, представленных в таблице, на смачиваемость поверхности полученных структур влияет как химический состав, так и шероховатость и характер рельефа поверхности. Известно, что фазовый состав пленок, осажденных при вакуумно-дуговом испарении, зависит от состава и давления газовой среды [7], поэтому в дальнейшем необходимо выполнить исследование композиционного состава полученных молибденовых и алюминиевых пленок.

**Заключение** При выполнении измерений равновесного краевого угла смачивания дистиллированной водой поверхности систем пленка Mo, Al, Al+1 ат % Cr/стеклянная подложка, полученных методом осаждения пленок при ассистировании собственными ионами установлено, что нанесение металлических пленок ведет к увеличению гидрофобности поверхности. С увеличением толщины молибденовой пленки (до 50 нм) уменьшается шероховатость поверхности (от 2,537 нм до 0,216 нм) и смачиваемость в дистиллированной водой (РКУС увеличивается от 22° до 65°).

Шероховатость пленок алюминия и сплава алюминия с хромом выше, чем шероховатость молибденовых пленок, также выше и значения измеряемых равновесных краевых углов смачивания, то есть поверхность алюминиевых пленок менее гидрофильна.

Полученные экспериментальные результаты подтверждают возможность управления свойствами (шероховатость, смачиваемость) поверхности структур пленка/стеклянная подложка, изменением условий формирования пленок.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гремюнок, В. Ф. Солнечные элементы на основе полупроводниковых материалов / В. Ф. Гремюнок, М. С. Тиванов, В. Б. Залесский. – Минск : БГУ, 2007. – 221 с.
2. Rau U., Schock H. W. // Series on Photo-conversion of Solar Energy. – 2001. – Vol. 1. – P. 277–345.
3. Ташлыков И. С., Белый И. М. Патент РБ № 2324. 1C1 ВУ, C23 C4/12. C4/18, C14/16. Опубли. 1999. офиц. бюл. гос. пат. ведом. 1999. № 1. С. 30.
4. P. Bilmund // Appl. Phys. Lett. 1974. Vol. 25. No 3. P. 169–171.
5. Typical methods of assessment of software measurement tools and procedures for its implementation. State system for ensuring unity of measurements of RF. RECOMMENDATION MI 2955, 2005.
6. Ташлыков, И. С. // Известия ВУЗов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия / И. С. Ташлыков, С. М. Барайшук. – 2008. – № 1. – С. 30–35.
7. Прибытков Г. А., Коржова В. В., Богомолов В. А., Гринберг П. Б. // ФХОМ. – 2014. – № 1. – С. 37–44.