

## МОРФОЛОГИЯ И СМАЧИВАЕМОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ СТРУКТУР ПЛЕНКА Mo, Al, Al+1 ат.%Cr/СТЕКЛО, СФОРМИРОВАННЫХ ИОННО-АССИСТИРОВАННЫМ ОСАЖДЕНИЕМ

О.М. Михалкович<sup>1)</sup>, И.И. Ташлыкова-Бушкевич<sup>2)</sup>, Ю.С. Яковенко<sup>1)</sup>,  
В.С. Куликаускас<sup>3)</sup>, С.М. Барайшук<sup>4)</sup>, О.Г. Бобрович<sup>5)</sup>, И.С. Ташлыков<sup>1)</sup>,

<sup>1)</sup>Белорусский государственный педагогический университет,  
ул. Советская 18, Минск, 220050, Беларусь, *tashl@bspu.unibel.by*

<sup>2)</sup>Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
ул. П. Бровки 6, Минск, 220013, Беларусь

<sup>3)</sup>НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

<sup>4)</sup>Белорусский государственный аграрный технический университет,  
пр. Независимости, 99, Минск, 220023, Беларусь

<sup>5)</sup>Белорусский государственный технологический университет  
ул. Свердлова, 13а, Минск, 220006, Беларусь

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 асси- стировании 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 морфоло- гия поверхности.

### Введение

Осаждение тонких металлических плёнок на стеклянные пластины представляет как научный, так и практический интерес. Оно позволяет форми- ровать тыльные и лицевые контакты погло- щающих слоев солнечных элементов [1]. Солнеч- ные элементы с наилучшими характеристиками получают на подложках из натрийсодержащего стекла, боросиликатного стекла и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- подложках [2]. Для управления свойствами плен- ок при их осаждении на подложку необходима диагностика поверхности конструкции плен- ка/подложка. В настоящей работе обсуждаются результаты изучения топографии и смачиваемости дистиллированной водой поверхности струк- тур пленка Mo, Al, Al+1 ат.% Cr/стеклянная под- ложка, полученных методом осаждения пленок при асси- стировании собственными ионами.

### Методы исследования

Для осаждения пленок на стекло использова- ли резонансный источник вакуумной дуговой плазмы (вакуум 10<sup>-2</sup> Па) [3]. Металлические плен- ки молибдена осаждались на стекло при уско- ряющем потенциале на мишени в 10 кВ, а пленки алюминия и его сплава – при ускоряющем потен- циале 3 кВ. Скорость осаждения покрытий со- ставляла 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 (Θ), формиру- ющихся при торможении асси- стирующих ионов в осаждаемой пленке, выполнены в соответствии с методикой Sigmund [4]. Получено, что Θ=0.25 – 0.42 эВ/ат. Такие значения Θ соответствуют тем- пературному эквиваленту ~ 10<sup>3</sup> К. Учитывая вре- мя развития каскада атомных столкновений при торможении асси- стирующих ионов, получаем

гипервысокие скорости «кристаллизации» (охла- ждения каскадов) ~ 10<sup>12</sup>-10<sup>13</sup> 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 ~ 0.6°.

### Результаты и их обсуждение

На рис. 1 представлено 3D - изображение то- пографии поверхности стеклянной подложки до нанесения пленок.

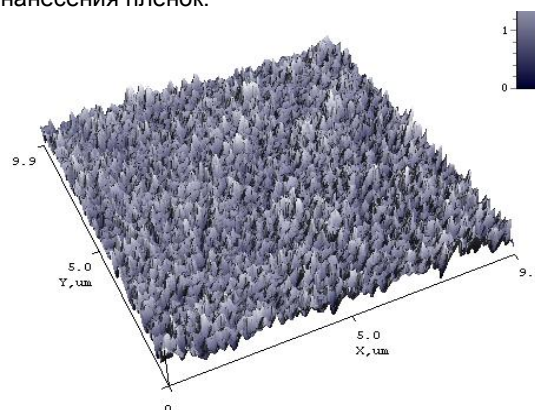


Рис. 1. 3D - изображение топографии поверхности стеклянной подложки.

Поверхность стекла представляет собой мелко-элементную морфологию со средней шероховатостью ( $R_a$ ) 2.537 нм.

3D - изображение топографии поверхности молибденовой пленки (рис. 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.

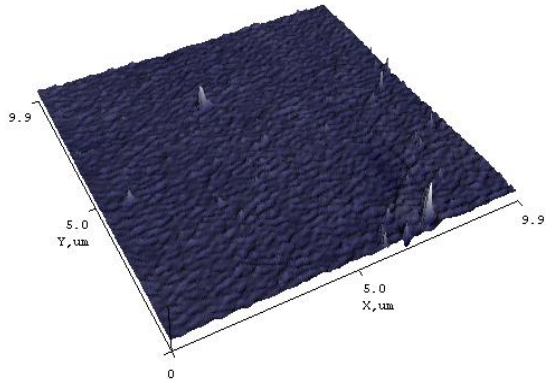


Рис. 2. 3D - изображение топографии поверхности Mo пленки, нанесенной на стекло методом ОПАСИ при ускоряющем напряжении 10 кВ при силе ионного тока в 100 мкА за 5 часов.

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

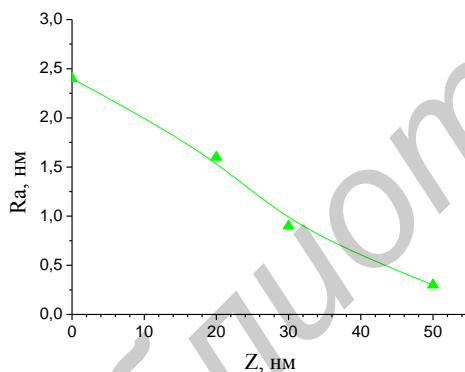


Рис. 3. Зависимость шероховатости поверхности Mo пленки от толщины осажденной пленки.

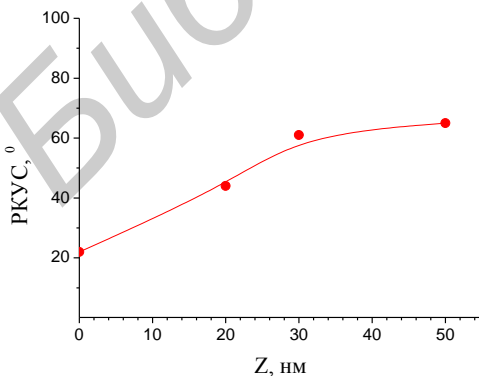


Рис. 4. Зависимость РКУС поверхности Mo пленки от толщины осажденной пленки.

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 рис. 5 (а и б соответственно).

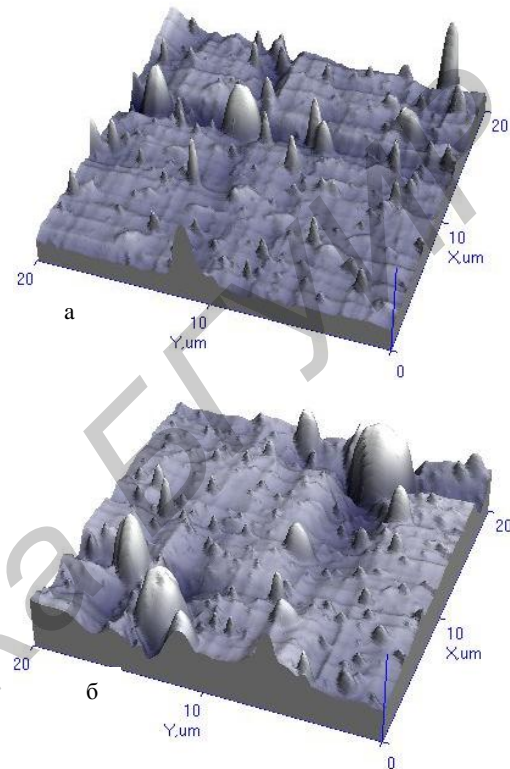


Рис. 5. 3D - изображения топографии поверхностей пленки Al (99.995%) (а), пленки сплава Al-1.0 ат.% Cr (б), нанесенной на стекло методом ОПАСИ при ускоряющем напряжении 3 кВ при силе ионного тока ~ 100 мкА за 10 часов.

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 (таблица).

Таблица. Значения РКУС поверхности пленок дистиллированной водой и параметры шероховатости поверхности систем пленка Mo, Al, Al+1 ат% Cr/стеклянная подложка

	Металл пленки			
	стекло без пленки	Mo (50нм)	Al	Al+Cr (1 ат.%)
РКУС, град.	22.0	65.0	76.2	83.5
$R_a$ , 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 ее 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 смачи-

вания, т.е. 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. Гременок В.Ф., Тиванов М.С., Залесский В.Б. Солнечные элементы на основе полупроводниковых материалов. Минск: БГУ, 2007. 221 с.
2. Rau U., Schock H.W. // Series on Photo-conversion of Solar Energy. 2001. V. 1. P. 277-345.
3. Ташлыков И.С., Белый И.М. Патент РБ №2324. 1С1 ВУ, С23 С4/12. С4/18, С14/16. Оpubл. 1999. офиц. бюл. гос. пат. ведом. 1999. № 1. С. 30.
4. Sigmund P. // Appl. Phys. Lett. 1974. V. 25. № 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., Барайшук С.М. // Известия ВУЗов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2008. № 1. С. 30-35.
7. Прибытков Г.А., Коржова В.В., Богомолов В.А., Гринберг П.Б. // ФХОМ. 2014. № 1. С. 37-44.

## MORPHOLOGY AND WETTABILITY OF A SURFACE OF STRUCTURES FILM Mo, Al, Al+1at. %Cr/GLASS, PRODUCED BY ION-ASSISTED DEPOSITION

O.M. Mikhalkovich<sup>1</sup>, I.I. Tashlykova-Bushkevich<sup>2</sup>, V.S. Kulikauskas<sup>3</sup>, Y.S. Yakovenko<sup>1</sup>, S.M. Baraishuk<sup>4</sup>, O.G. Bobrovich<sup>5</sup>, I.S. Tashlykov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Belarusian State Pedagogical University,

Sovetskaja str. 18, 220050 Minsk, Belarus, tashl@bspu.unibel.by

<sup>2</sup>Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics,

P. Brovki str. 6, Minsk, 220013, Republic of Belarus, iya\_tb@mail.ru

<sup>3</sup>Institute of nuclear physics. The Moscow state university, Moscow, Russia

<sup>4</sup>Belarusian State Agrarian Technical University, 99 Nezavisimosti Avenue, 220023 Minsk, Belarus

<sup>5</sup>Belarusian State Technological University, Sverdlova str. 13a, Minsk, 220050, Belarus

In this paper a composite topography and wettability of a surface of structures thin Me film/glass (Me = Mo, Al or Al+1 at.%Cr) prepared by means of ion-assisted deposition of coatings in conditions of a self-irradiation are discussed. Atomic Force Microscopy surface observations were used to investigate the topography of modified surfaces. Hydrophilicity was measured by means of the contact angle measurement technique. The average roughness of surfaces depends on thickness of thin film and on ingredients. Contact angle measurements showed that the deposition of Me thin films on glass makes the surface more hydrophobic.