

# СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТИ ТЫЛЬНЫХ КОНТАКТОВ ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ Al, МОДИФИЦИРОВАННОГО ОСАЖДЕНИЕМ Mo В УСЛОВИЯХ ИОННОГО АССИСТИРОВАНИЯ

<sup>1</sup>Бобрович О.Г., <sup>2</sup>Барайшук С.М.\*, <sup>3</sup>Туравец А.И., <sup>3</sup>Михалкович О.М.

<sup>1</sup>БГТУ. Ул. Свердлова, 13а, Минск, Беларусь. 220006.

<sup>2</sup> БГАТУ. Пр. Независимости, 99. Минск, Беларусь. 220023.

<sup>3</sup> БГПУ им. М. Танка. Ул. Советская, 18. Минск, Беларусь. 220050

\*bear\_s@rambler.ru

Возможность использования гибких металлических подложек для осаждения солнечных фотопреобразователей на ограничены тем, что эффективность таких конструкций на несколько процентов ниже, чем на стеклянных подложках с предварительно осажденным проводящим тыльным слоем, что связано с диффузией примесей из металлических подложек [1–3] и их шероховатостью [4]. Поэтому исследование шероховатости поверхности материалов применимых для промышленной технологии производства фотоэлементов играет важную роль в повышении их эффективности и себестоимости.

Ранее было изучено влияние типа подложки (стеклянная подложка с подслоем молибдена, фольги из Mo и Ta) на морфологию поверхности тонких пленок  $Cu_2ZnSnSe_4$ , полученных электрохимическим осаждением с последующей селенизацией [5–6]. В данной работе изучали закономерности влияния подложки и режимов нанесения Mo покрытия на смачивание поверхности алюминиевого сплава АМг2М и морфологию его поверхности. Модифицирование поверхности осуществлялось осаждением молибдена в условиях ионного ассистирования при ускоряющем напряжении  $U = 3, 6, 9, 12$  и  $15$  кВ для ассистирующих ионов  $Mo^+$  и интегральных потоках ионов  $1,1 \cdot 10^{17} - 2,1 \cdot 10^{17} Mo^+/cm^2$ . В рабочей камере в процессе создания покрытий поддерживался вакуум при давлении  $\sim 1 \cdot 10^{-2}$  Па. Морфология поверхности исходных и модифицированных образцов изучалась, используя атомно-силовую микроскопию в контактном режиме (атомно-силовой микроскоп NT-206, зонды CSC21) обработка полученных изображений проводилась в соответствии с методикой описанной в [7]. Смачивание исходных и модифицированных образцов сплава АМг2М дистиллированной водой определяли по равновесному краевому углу  $\Theta$  смачивания.

Покрытия Mo наносились на сплав АМг2М с использованием резонансного ионного источника вакуумной электродуговой плазмы. Данный источник создает плазму вакуумного электродугового разряда, в которой одновременно генерируются положительные ионы и нейтральная фракция из материала электродов источника ионов. Выбранные значения ускоряющего напряжения для ассистирующих ионов  $Mo^+$  позволяют получить различие в плотности выделяющейся энергии в каскаде атомных столкновений в сплаве АМг2М при его модифицировании. Расчетные значения плотности выделенной энергии для выбранной системы Mo/сплав АМг2М приведены в таблице 1.

Таблица 1. Плотность энергии, выделяющейся в каскаде атомных столкновений

U, кВ	3	6	9	12	15
ПВЭ, эВ/атом	1,58	0,79	0,53	0,40	0,32

Характеристики поверхности исходного сплава АМг2М и сплава с нанесенным Mo покрытием представлены в таблице, а изображения топографии поверхности приведены на рисунок 1. Средняя шероховатость исходного образца сплава АМг2М составляла 34,3 нм и снижалась при увеличении ускоряющего напряжения для ассистирующих ионов  $Mo^+$  до 7,8

нм при  $U=12$  кВ и 9,9 нм при  $U=15$  кВ. При внедрении сравнимых доз ионов молибдена в образцы сплава с увеличением ускоряющего напряжения значения равновесного краевого угла смачивания также увеличиваются (таблица 2).

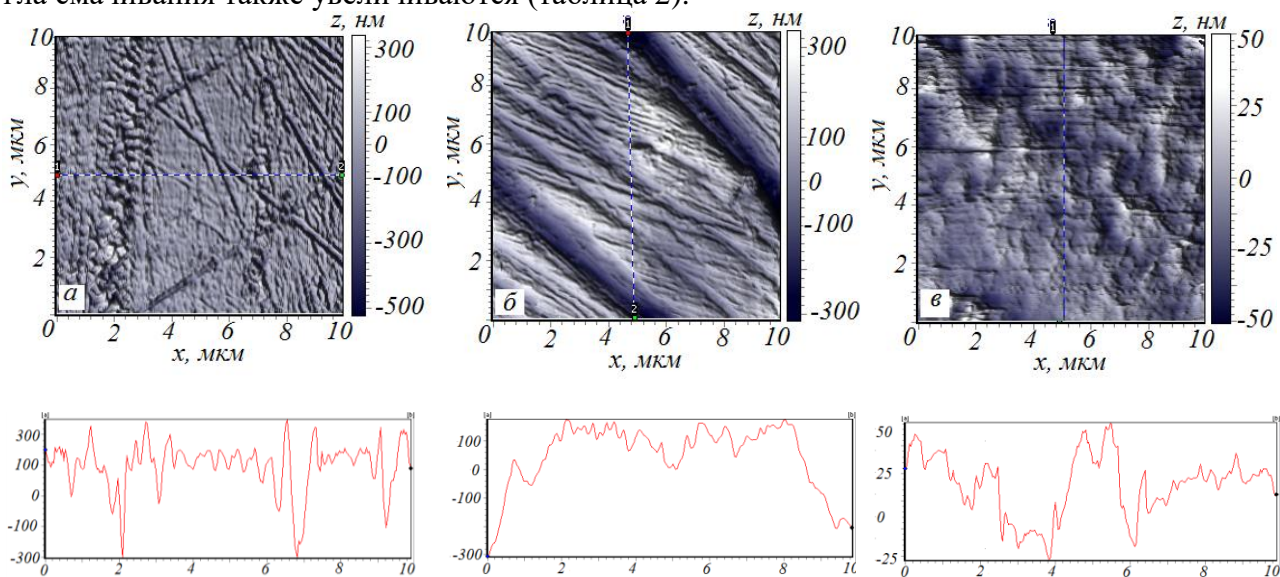


Рисунок 1. Топография и профиль сечения поверхности сплава АМг2М: а – исходный и модифицированной осаждением Мо в условиях ионного асситирования б – при  $U=3$  кВ; в – при  $U=15$  кВ.

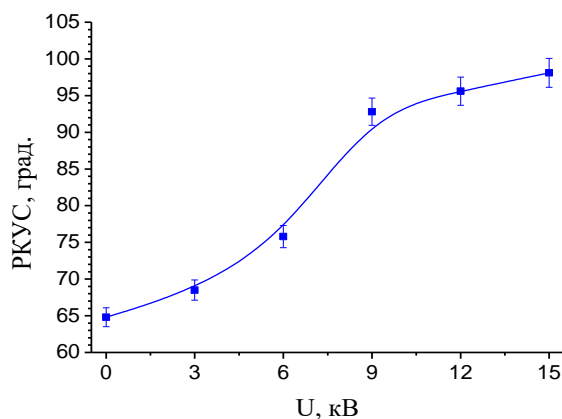


Рисунок 2. Зависимость краевого угла смачивания дистиллированной водой поверхности сплава АМг2М от ускоряющего напряжения для асситирующих ионов  $Mo^+$ .

Таблица 2. Параметры морфологии и смачиваемости поверхности сплава АМг2М до и после модифицирования нанесением Мо пленки в условиях ионного асситирования

Ион	U, кВ	$\Theta$ , град	Ra, нм	Rq, нм	Z, нм
–		64,8	34,33	48,29	655,78
$Mo^+$	3	68,5	15,52	20,99	310,86
	6	75,8	–	–	–
	9	92,8	11,03	15,17	187,24
	12	95,6	7,77	10,35	138,24
	15	98,1	9,88	14,89	181,63

Исходная поверхность сплава была гидрофильной ( $\Theta = 64,8^\circ$ ) и оставалась гидрофильной после модифицирования при  $U = 3$  и 6 кВ. После модифицирования сплава при

ускоряющем потенциале  $U = 9, 12, 15$  кВ поверхность стала гидрофобной и значение краевого угла смачивания увеличилось до  $\Theta = 98,1^\circ$  при ускоряющем напряжении 15 кВ.

Установлено, что влияние плотности выделенной энергии на смачиваемость поверхности модифицированного образца сплава АМг2М противоположно зависимости равновесного краевого угла смачивания дистиллированной водой от ускоряющего напряжения. Так с увеличением плотности выделенной энергии значения равновесного краевого угла смачивания уменьшаются.

Для уменьшения шероховатости поверхности сплава АМг2М при нанесении Мо покрытия преобладающим является ускоряющее напряжение для ассистирующих ионов  $Mo^+$ . На рисунке 3 показана зависимость средней шероховатости модифицированного образца сплава АМг2М от ускоряющего напряжения для ассистирующих ионов  $Mo^+$ .

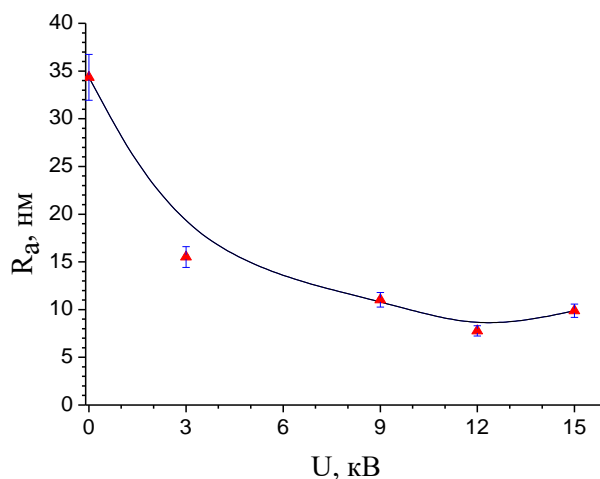


Рисунок 3. Зависимость средней шероховатости образца сплава АМг2М от ускоряющего напряжения для ассистирующих ионов  $Mo^+$

Из анализа полученных данных можно предположить, что на шероховатость модифицированных образцов сплава АМг2М существенное воздействие оказывает ускоряющее напряжение для ассистирующих ионов молибдена  $Mo^+$ . Начиная с ускоряющего напряжения 9 кВ средняя шероховатость поверхности модифицированного образца уменьшается более чем в три раза и приближается к значениям для подложек Мо/стекло и Мо-фольга изученным ранее [5–6]. Таким образом, показанная возможность управления шероховатостью поверхности позволяет использовать Al подложки с нанесенным покрытием как альтернативу подложкам Мо/стекло Мо-фольга для формирования солнечных элементов.

[1] W. K. Batchelor [et al.] // Solar En. Mat. and Solar Cells. – 2004. – Vol. 83. – P. 67–80.

[2] T. Satoh [et al.] // Proc. of the 28th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, – Anaheim, CA, 2000. – P. 567–570.

[3] G. San Vicente [et al.] // Proc. of the 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference, – London, UK, 2001. – P. 638–642.

[4] Batchelor, W. K. // Proc. of the 29th IEEE Photovoltaics Specialist's Conference, – New Orleans, LA, 2002. – P. 719–719.

[5] С.М. Барайшук, М. Вертель [и др.] // Весці Беларус. дзярж. пед. ун-та. Сер. 3, Фізіка. Матэматыка. Інфарматыка. – 2017. – №4(94). – С. 5–10

[6] А.В. Станчик, С.М. Барайшук [и др.] // Весці НАН Беларусі. Серыя фізіка-матэматычных навук». №4, 2016 P. 67–75

[7] Tashlykov I.S., Baraishuk S.M. // Russ. J. Non-Ferrous Metals. 2008. V. 49. № 4. P. 303.