

О.Г. Бобрович^{1,*}, С.М. Барайшук²

¹Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь, *) e-mail: olegbobrovich@yandex.ru

²Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск, Беларусь

В работе приведены результаты изучения поверхностного слоя, используемого в качестве тыльного проводящего контакта тонкопленочного солнечного элемента, на стеклянной подложке.

Для формирования слоя использовали импульсный ионный источник вакуумной электродуговой плазмы при ускоряющем напряжении $U = 10$ кВ для ассистирующего осаждение ионов Mo^+ и интегральных потоках $1,2 \cdot 10^{16} - 1,1 \cdot 10^{17} \text{ Mo}^+/\text{cm}^2$, а также при отсутствии ускоряющего напряжения ($U = 0$ кВ) и времени модифицирования 3, 6, 9 ч. В электродуговой плазме ионного источника одновременно генерируются положительные ионы и нейтральная фракция из материала электродов источника ионов. В качестве материала электродов использовался чистый молибден 99,9%. В рабочей камере в процессе создания металлических покрытий поддерживался вакуум $\sim 10^{-2}$ Па.

Морфология поверхности исходных и модифицированных образцов изучалась, используя атомно-силовую микроскопию в контактном режиме (атомно-силовой микроскоп NT-206, зонды CSC21), а смачивание дистиллированной водой определяли по равновесному краевому углу θ смачивания (РКУС). Краевой угол определяли по основным размерам капель воды, наносимой на исследуемые образцы: высоте и диаметру ее основания. Для получения воспроизводимых результатов капли воды, наносимые на образцы, имели объем $V = (47,6 \pm 0,3) \cdot 10^{-3}$ мл. Погрешность в измерении РКУС составляла не более 2%.

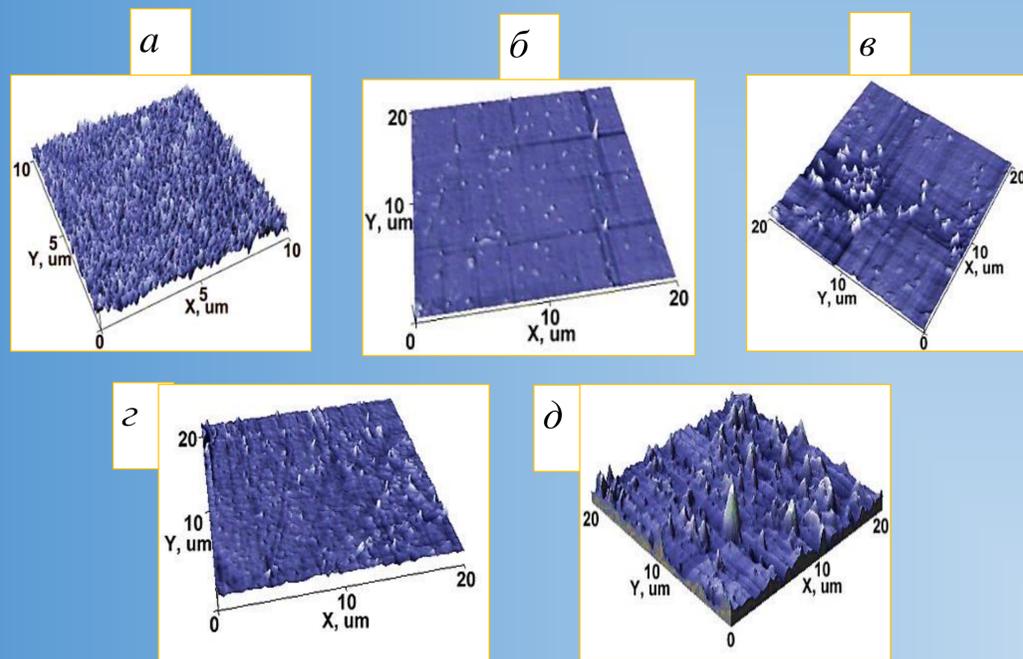


Рис. 1. АСМ-изображения поверхности: а – исходной стеклянной подложки; поверхности стекла с осажденным Мо-покрытием при отсутствии ускоряющего напряжения за время: б – 3 ч, в – 6 ч, г – 9 ч и д – после осаждения Мо в условиях ионного Mo^+ ассистирования при ускоряющем напряжении 10 кВ

Для образцов, полученных осаждением молибдена при отсутствии ускоряющего напряжения, установлено, что осаждение пленки в течение 3 ч приводит к уменьшению значения средней шероховатости поверхности в 2,2 раза по сравнению с шероховатостью исходной стеклянной подложки, а при осаждении Мо в течение 6 и 9 ч – в 1,3 раза. При этом следует отметить, что значение РКУС возрастает с увеличением времени осаждения покрытия (табл.). В случае использования ускоряющего напряжения 10 кВ при ионно-ассистируемом нанесении Мо покрытия средняя шероховатость при малом времени модифицирования также уменьшается в сравнение с шероховатостью ($R_a = 2,2$ нм) исходного стекла, как и в случае режима осаждения Мо покрытия при $U = 0$ кВ. Однако, при увеличении времени модифицирования стекла до 75 мин и выше, шероховатость увеличивается ($R_a = 2,7$ нм) и уже превышает шероховатость исходного стекла. Следовательно, образцы Мо-покрытие/стекло, полученные при наличии ускоряющего потенциала, отличаются от пленок молибдена, нанесенных на стекло в безпотенциальном режиме тем, что сформированная в отсутствие потенциала поверхность пленки Мо обладает меньшей шероховатостью.

Равновесные краевые углы смачивания дистиллированной водой и шероховатость поверхности модифицированного стекла

Параметры	Стекло исходное	Стекло, модифицированное осаждением покрытия							
		U = 0 кВ			U = 10 кВ				
Время осаждения, мин	–	180	360	540	15	50	75	110	145
R_a , нм	2,2	1,0	1,7	1,7	1,8	2,0	2,7	2,3	2,3
РКУС, град	18,9	35,5	52,3	61,7	90,8	80,8	86,8	88,2	93,9

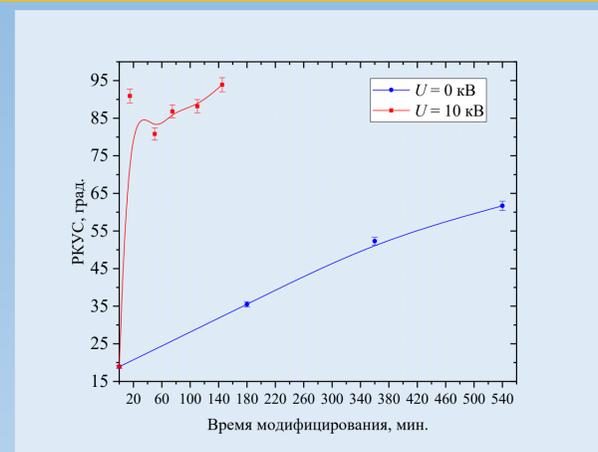


Рис. 2. Зависимость РКУС от времени модифицирования стеклянной подложки в условиях ионного Mo^+ ассистирования при $U = 10$ кВ и без – при $U = 0$ кВ

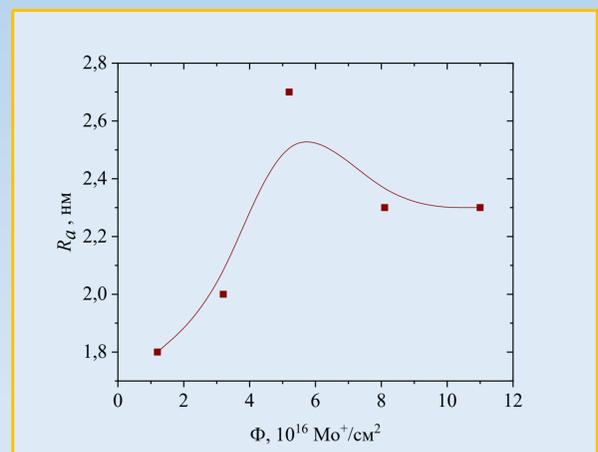


Рис. 3. Зависимость среднearифметической шероховатости R_a , модифицированной стеклянной подложки, от интегрального потока Φ ассистирующего осаждение покрытия ионов Mo^+ при $U = 10$ кВ

Анализ значений РКУС поверхности стекла с осажденным Мо-покрытием обнаруживает уменьшение степени гидрофильности поверхности с увеличением времени нанесения покрытия и соответственно толщины пленок молибдена (рис. 2). При этом, используя осаждение Мо-покрытия в отсутствие ускоряющего напряжения ($U = 0$ кВ) значение РКУС изменяется от $\theta = 35,5^\circ$ (при $t = 180$ мин) до $\theta = 61,7^\circ$ (при $t = 540$ мин), что существенно превышает РКУС поверхности исходного стекла ($\theta = 18,9^\circ$). Увеличение интегрального потока, ассистируемых осаждение покрытия ионов, с $3,2 \cdot 10^{16}$ до $8,1 \cdot 10^{16} \text{ Mo}^+/\text{cm}^2$ также приводит к росту степени гидрофильности поверхности, но в большей степени, чем в безпотенциальном режиме осаждения покрытия. Достижение интегрального потока ионов величины $11,0 \cdot 10^{16} \text{ Mo}^+/\text{cm}^2$, приводит к тому, что поверхность системы Мо-покрытие/стекло становится гидрофобной и РКУС увеличивается до значения $\theta = 93,9^\circ$.

В результате проведенных исследований установлено, что на смачиваемость поверхности влияют условия осаждения покрытия, морфология поверхности (шероховатость поверхности), а также химический состав модифицированной поверхности. Полученные результаты демонстрируют возможность управления шероховатостью и смачиваемостью поверхности структур пленка/стеклянная подложка путем осаждения Мо-покрытия на стекло разными интегральными потоками ионов, формируя покрытия состав, которых перспективен в качестве создания тыльных контактов поглощающих слоев солнечных элементов.