

**Михалкович О.М.<sup>1</sup>, Барайшук С.М.<sup>2</sup>, к.ф.-м.н., доцент,  
Куликаускас В.С.<sup>3</sup>, к.ф.-м.н., ВНС.**

**<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный педагогический  
университет имени Максима Танка»,  
Минск, Республика Беларусь**

**<sup>2</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь**

**<sup>3</sup>УО «Московский государственный университет  
им. М.В. Ломоносова, НИИ ядерной физики  
им. Д.В. Скобельцына», Москва, Россия**

## **КОМПОЗИЦИОННЫЙ СОСТАВ И МОРФОЛОГИЯ СИСТЕМ Mo ПЛЕНКА/СТЕКЛО, СФОРМИРОВАННЫХ МЕТОДОМ ОПАСИ**

К перспективным методам модифицирования свойств поверхности относится осаждение пленок при ассистировании собственными ионами (ОПАСИ), т.е. ассистирование осуществляется ионами наносимого элемента. Пленка молибдена, нанесенная на стекло методом ОПАСИ, используется в качестве тыльного контакта в структуре солнечных элементов [1].

В работе проводилось осаждение молибдена на стеклянную подложку при различных условиях (ускоряющий потенциал: 5 и 10 кВ, плотность ионного тока: 50–100 мкА/см<sup>2</sup>, время нанесения: 4 и 5 часов). В качестве подложки использовали нитриново-кальциевое стекло от фотопластинок СП-1, очищенное от эмульсии. Таким образом, варьируя параметрами нанесения, осаждали пленки различной толщины. В результате получались пленки толщиной 20–50 нм.

Композиционный состав систем пленка/стекло устанавливали, используя резерфордовское обратное рассеяние (РОР) ионов He<sup>+</sup> с энергией 1,7 МэВ ( $\Delta E=25$  кэВ) и геометрией рассеяния  $\theta_1=0^\circ$ ,  $\theta_2=20^\circ$ ,  $\theta_3=160^\circ$ , и компьютерное моделирование экспериментальных спектров РОР по программе RUMP. Результаты послойного анализа состава сформированной методом ОПАСИ структуры молибденовая пленка/стекло представлены на рис. 1.

Анализируя полученные результаты, отметим, что на поверхности стекла формируется тонкая пленка молибдена толщиной 50 нм. В состав пленок кроме атомов самого наносимого металла входят

атомы О, С и Н, а также атомы Si, Na и Ca, появившиеся в пленке в процессе восходящей диффузии. Средняя концентрация атомов молибдена пленке составляет 6 ат %, и вблизи границы раздела пленка/стекло 0,2 ат %. На глубине максимального проникновения в подложку, составляющей порядка 160 нм молибден определяется с концентрацией 0,03 ат %. Концентрация атомов О в покрытии составляет 11 ат %, углерода – 20 ат %, водорода – 60 ат %. Атомы Na и Ca входят в состав покрытия лишь вблизи (~ 20 нм) границы раздела покрытие/подложка с концентрациями 1 ат % и 0,1 ат % соответственно. Кремний же входит в покрытие с концентрацией ~ 2 ат % по всей толщине. Аналогичные по составу покрытия были получены также при осаждении пленок различных металлов на кремний методом ОПАСИ [2]. Таким образом, этот метод позволяет получать пленки с хорошо воспроизводимым составом.

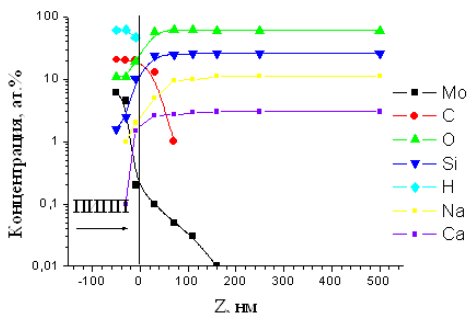


Рисунок 1 – Распределение элементов по глубине в структуре молибденовая пленка/стекло полученной методом ОПАСИ

Изучение морфологии поверхности образцов и определение ее шероховатости было выполнено на атомно-силовом микроскопе NT-206. Для исследования были выбраны площадки размером  $10 \times 10 \text{ мкм}^2$ . На рис. 2. представлены 3D-изображения морфологии поверхности исходного стекла и молибденовой пленки толщиной 50 нм, нанесенной на стекло методом ОПАСИ.

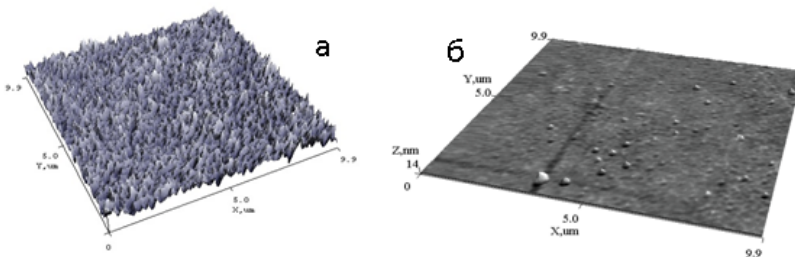


Рисунок 2 – 3D-изображение морфологии поверхности стекла (а) и Мо пленки (б) толщиной 50 нм, нанесенной на стекло методом ОПАСИ

Поверхность стекла представляет собой мелко-элементную морфологию со средней арифметической шероховатостью ( $R_a$ ) порядка 2,5 нм. Поверхность пленки высокого качества. Значение  $R_a$  при этом составляет 0,4 нм. Зависимость  $R_a$  поверхности систем пленка/подложка от толщины осажденной пленки, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Значение  $R_a$  поверхности стекла и кремния, модифицированных осаждением молибденовой пленки методом ОПАСИ

	Стекло	Стекло с Мо пленкой			Si с Мо пленкой $Z=120$ нм
		$Z=20$ нм	$Z=30$ нм	$Z=50$ нм	
$R_a$ , нм	2,54	1,57	0,89	0,42	0,28

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования Республики Беларусь (№ГР 20211394).

#### Список использованных источников

1. Ташлыков, И.С. Свойства поверхности системы Мо/подложка, формируемой при ионном ассистировании / И.С. Ташлыков, А.И. Туровец // ВИТТ-2013. – Минск, 2013. – С. 314–316.
2. Михалкович, О.М. Дефектообразование в кремнии при ионно-ассистированном нанесении тонких пленок / О.М. Михалкович, И.С. Ташлыков, С.М. Барайшук / ФТТ-2007. – Минск, 2007. – С. 80–82.