

Процесс формирования легированных металлами слоев путем их ионно-ассистируемого осаждения из плазмы вакуумного дугового разряда осуществляется при комнатной температуре, обеспечивает формирование наноразмерных (~100 нм) многокомпонентных слоев с небольшим содержанием осаждаемого металла и отличается одностадийностью. Ионно-плазменное осаждение хромсодержащих слоев кроме предварительной подготовки подложек осуществляется в несколько этапов, включающих ионное травление, нанесение подслоя хрома и осаждение металлсодержащего слоя в соответствующей атмосфере. Толщина исследуемых слоев составляла ~2 мкм. Проводятся исследования механических и коррозионных свойств титанового сплава с полученными слоями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Илларионов А.Г., Попов А.А. Технологические и эксплуатационные свойства титановых сплавов. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. 137 с.
2. Якименко Л.М. Электродные материалы в прикладной электрохимии. М: Химия, 1977. 264 с.
3. Plasma Nitrated Titanium as a Bipolar Plate for Proton Exchange Membrane Fuel Cell / J. Liu [at all.] // J. Power Sources. 2009. Vol. 187. P. 500–504.
4. <https://www.nafion.com/en/products/sulfonic-membranes>.
5. Doyle M., Choi S., Proulx G. High-Temperature Proton Conducting Membranes Based on Perfluorinated Ionomer Membrane-Ionic Liquid Composites // J. Electrochem. Soc. 2000. Vol. 147. P. 34–37.

УДК 537.534:539.23

О.Г. Бобрович, доц., канд. физ.-мат. наук
(БГТУ, г. Минск)

АНАЛИЗ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ГРАФИТА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ИОННО- АССИСТИРУЕМЫМ ОСАЖДЕНИЕМ МОЛИБДЕНА

В работе приведены результаты изучения элементного состава покрытия, распределение элементов в покрытии и их химические связи при формировании структур Мо – графит, создаваемых нанесением Мо в условиях ассистирования ионами Mo^+ . Анализ выполнен с применением методов резерфордовского обратного рассеяния ионов гелия и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Покрытия Мо осаждались на образцы графита с использованием импульсного ион-

ного источника вакуумной электродуговой плазмы, который генерирует как нейтральный поток J_a , так и ионный поток J_i частиц наносимого металла из материала электродов источника ионов, в качестве которого использовался чистый молибден 99,9%. Ионно-ассистированное нанесение молибдена осуществлялось при ускоряющем напряжении $U = 15$ кВ для ассистирующих ионов Mo^+ и интегральных потоках ионов $5 \cdot 10^{16} Mo^+/cm^2$ на образцы графита и на структуры Мо – графит, полученные осаждением соответствующего металла в течение 1 часа в безпотенциальном ($U = 0$ кВ) режиме работы ионного источника. В рабочей камере в процессе создания металлических покрытий поддерживался вакуум $\sim 10^{-2}$ Па. Отношение J_i / J_a в эксперименте составляло 0,52, что соответствовало условию роста покрытия на подложке [1, 2]. Композиционный состав исходного образца графита, полученный компьютерным моделированием спектра РОР, соответствует формуле $C_{97.4}O_{2.0}Si_{0.6}$.

Анализ энергетических спектров (рис. 1) ионов гелия от обработанных образцов Мо – графит позволяет предполагать наличие в них кроме атомов металла также и присутствие атомов кислорода и кремния. Стрелками отмечены номера каналов, которые связаны с энергиями рассеяния ионов гелия на атомах соответствующих элементов, локализованных на поверхности образцов. Анализ спектров ОР ионов гелия показывает наличие характерной ступеньки в области 45–60 каналов (рис. 1, спектр 1), говорящей о росте тонкой пленки и одновременном нарастании углеродного слоя на поверхности образцов структур Мо – графит. В числе элементов, находящихся в поверхностном слое исследуемых образцов кроме наносимого металла, также наблюдаются сигналы от С, О, Si. Идентификация в покрытии углерода и кислорода обусловлена конструктивными особенностями используемого ионного источника вакуумной электродуговой плазмы. В плазме присутствуют ионы газов, которые адсорбированы на поверхности электродов, а также в остаточной атмосфере паромасляного диффузионного насоса [3]. В процессе осаждения тонкой пленки металла в ее состав, таким образом, неизбежно входят кислород и углерод.

Методом РФЭС подтверждены сведения об элементном составе поверхностных слоев структур Мо – графит, полученные с помощью метода РОР. Этот метод использован в качестве дополнительного для изучения элементного состава, так как метод РФЭС позволяет надежно различить близкие по порядковому номеру элементы такие, как в нашем случае, Al и Si.

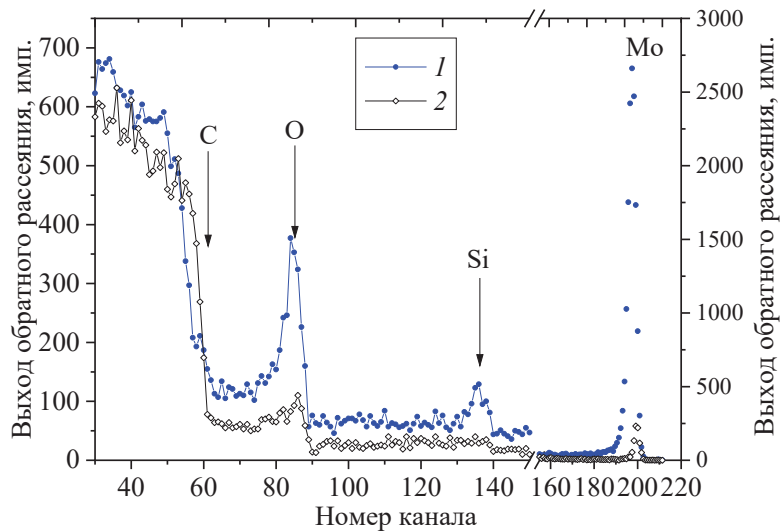


Рисунок 1 – Спектры РОР ионов гелия с $E_0 = 1,5$ МэВ от структуры Мо – графит: 1 – модифицированной ионно-ассистированным нанесением Мо при ускоряющем напряжении 15 кВ; 2 – не модифицированный исходный образец Мо – графит

По спектрам РФЭС, снятым на различных глубинах модифицированных образцов при послойном их травлении ионами Ag^+ , определили элементный состав модифицированных поверхностных слоев образцов графита и структуры Мо – графит. С увеличением времени травления происходит изменение интенсивности сигнала от элементов, который определяется их концентрациями, значения которых приведены в таблице. Следует отметить, что глубина травления имеет ориентировочный характер и может быть завышена в 1,5–2,0 раза. Установлено, применяя метод РФЭС, что глубина распределения компонентов в модифицированном графите и структуре Мо – графит качественно согласуется с данными, полученными в независимых опытах с применением резерфордского обратного рассеяния ионов гелия.

Таблица – Элементный состав поверхностных слоев образцов графита и структуры Мо – графит модифицированных нанесением Мо в условиях ассистирования ионами Mo^+ при ускоряющем напряжении 15 кВ

Образец	Глубина, нм	Состав образца, ат. %			
		C	O	Mo	Si
Графит	0	81,3	13,1	0,6	5,0
	~2,5	86,5	9,0	1,3	3,2
	~12,5	86,5	8,4	1,9	3,2
	~42,5	88,3	7,2	1,3	3,2
Мо – графит	0	79,9	14,9	0,7	4,5
	~2,5	88,3	7,0	1,6	3,1
	~12,5	85,5	7,3	4,2	3,0
	~42,5	86,9	6,7	3,4	3,0

Для идентификации химических связей изучалась тонкая структура спектров РФЭС в области энергетических уровней C_{1s} , Mo_{3d} снятых на глубинах $\sim 12,5$ нм, $\sim 22,5$ нм, $\sim 42,5$ нм. Послойное ионное травление модифицированных образцов графита нанесением Mo в условиях ассистирования ионами Mo^+ позволило на разных глубинах оценить количественное соотношение между Mo и MoO_2 , которое изменяется по всей исследуемой глубине. Наличие оксида Mo приводит к существенному затруднению при идентификации карбида из-за наложения спектральных линий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобрович О.Г., Ташлыков И.С., Тульев В.В. Влияние параметров ионно-ассистируемого осаждения на формирование Me/Si структур // Труды БГТУ. 2014. № 6: Физ.-мат. науки и информатика. С. 74–76.
2. Бобрович О.Г., Ташлыков И.С. Формирование на графите металлсодержащих покрытий в условиях ионного ассистирования // Взаимодействие излучений с твердым телом: материалы 5-й Междунар. конф., Минск, 6–9 окт. 2003 г., Минск, 2003. С. 326–328.
3. Deposition of metal layers on carbon assisted with the same metal's ion radiation / I. S. Tashlykov [at all.] // Surface and Coatings Technology. 1995. Vol. 74–75. P. 945–948.

УДК 519.6

С.А. Зайцев, асп. (ВГУИТ, Воронеж, Россия)

СПОСОБ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАДИОЛИЗА ПОЛИМЕРОВ

Одним из способов дальнейшего развития технологических процессов обработки и переработки полимеров является включение радиационного и комбинированного радиационно-термомеханического воздействий в производственные циклы. Однако реакции, протекающие в полимерных материалах при этих воздействиях, в настоящее время не достаточно теоретически обоснованы, что обуславливает необходимость их изучения в том числе и с помощью средств компьютерного моделирования. В рамках данной работы рассмотрена возможность решения данной задачи с использованием подхода имитационного моделирования, что позволяет следить за эндогенными параметрами процесса на различных этапах его функционирования. Построение пространственной модели молекулярной структуры полимеров описано авторами в работе [1].