

**ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И СОСТАВА СЛОЕВ,
ФОРМИРУЕМЫХ В ПРОЦЕССЕ ИОННО-АССИСТИРУЕМОГО
ОСАЖДЕНИЯ МЕТАЛЛОВ НА ПОВЕРХНОСТИ ГРАФИТА**

В последние десятилетия активно разрабатываются процессы модифицирования поверхности с применением ионно-плазменных технологий, что обусловлено возможностью существенного повышения эксплуатационных качеств конструкционных и функциональных материалов без изменения структуры и свойств объема. В частности, легирование поверхности ускоренными ионами металлов представляет несомненный интерес при формировании активных и коррозионно-устойчивых слоев электрокатализаторов [1]. Углеродные материалы, в т.ч. графит, удовлетворяют требованиям, предъявляемым к носителям электрокатализаторов, таким как электропроводность, достаточная химическая и электрохимическая стабильность, и др. В состав электрокатализаторов реакций окисления метанола и этанола вводят платину в качестве основного каталитического металла и такие активирующие добавки как олово и редкоземельные металлы [1].

Целью данной работы явилось исследование микроструктуры и состава слоев, формируемых в процессе ионно-ассистируемого осаждения металлов на поверхности графита, и распределения в них атомов легирующих элементов.

В качестве основы для формирования легированных поверхностных слоев использован графит марки МГ-1 (MG) (ФГУП НИИГрафит). Отличительной особенностью режима ионно-ассистируемого осаждения металлов является использование ионов осаждаемого металла в качестве ассистирующих процессу осаждения [1]. Осаждение металла и перемешивание осаждаемого слоя с поверхностным слоем подложки ускоренными напряжением 5 кВ ионами того же металла проводили в экспериментальной установке, соответственно, из нейтральной фракции пара и плазмы вакуумного ($p \sim 10^{-2}$ Па) дугового разряда импульсного электродугового ионного источника.

Микроструктура и состав слоев исследованы с применением сканирующей электронной микроскопии и электронно-зондового рентгеновского микроанализа (микроскоп JSM-5610LV и спектрометр EDX JED-2201 (JEOL Ltd); микроскоп LEO 1455 VP (Cambridge Instruments) в сочетании со спектрометром AZtec Energy Advanced X-Max80 (Oxford Instruments)), а также методом спектрометрии резерфордовского

обратного рассеяния (ускорительный комплекс AN-2500 (High Voltage Engineering Europe)).

Результаты исследований микроструктуры, состава и распределения атомов легирующих элементов в сформированных поверхностных слоях графита, иллюстрируют возможности используемого режима осаждения. Анализ электронно-микроскопических изображений (рисунок 1) позволяет заключить, что структура формируемых слоев практически повторяет структуру подложки и не изменяется в процессе ионно-лучевого легирования.

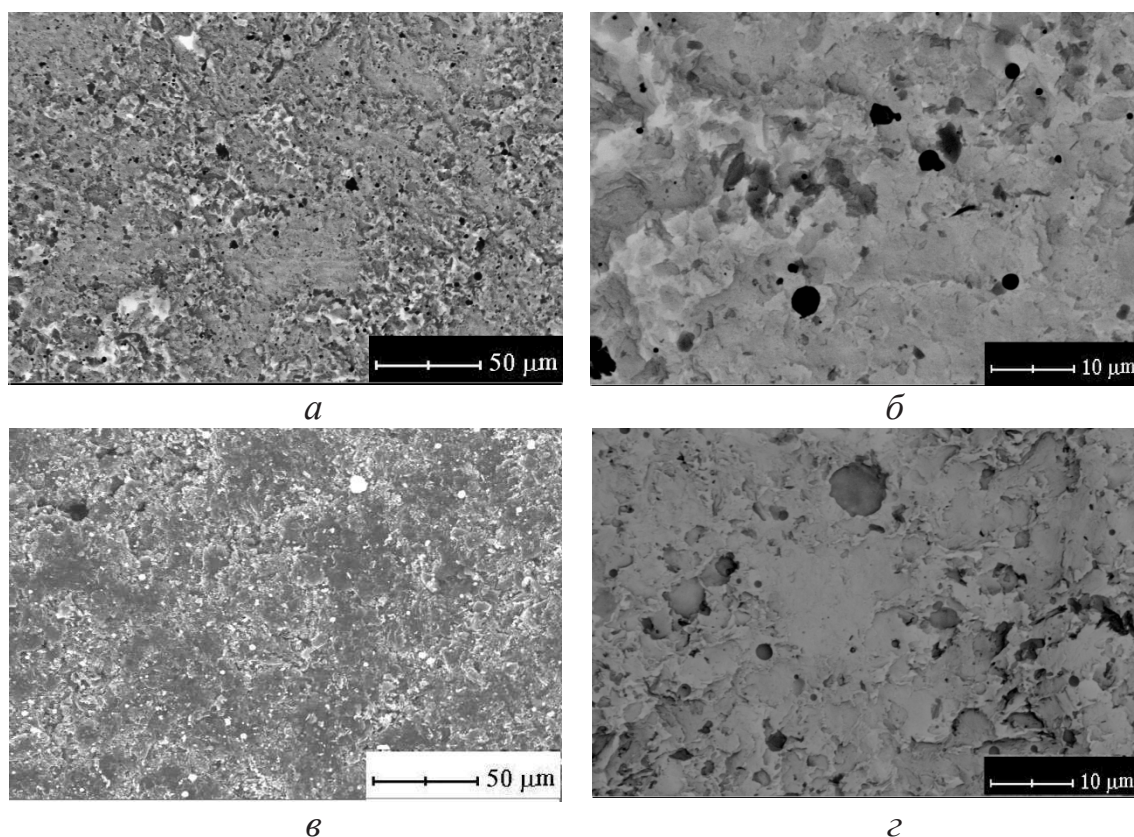


Рисунок 1 - Электронно-микроскопические изображения слоев, сформированных на графите осаждением церия (а, б) и церия и платины (в, г)

В состав формируемых слоев входят атомы осаждаемых металлов, материала носителя – углерода, а также примеси кислорода, поступающего из остаточной атмосферы рабочей камеры. Содержание осаждаемых металлов в формируемых слоях составляет несколько массовых процентов. На поверхности имеются включения осаждаемых металлов размером порядка нескольких микрометров (рисунок 1), что обусловлено осаждением капель металла из дугового разряда ионного источника. Атомы легирующих металлов распределены по поверхности, за исключением капельной фазы, практически равномерно.

По данным спектрометрии резерфордского рассеяния (рисунок 2) распределение атомов осажденных металлов по толщине слоев, составляющей ~30 нм, характеризуется максимумом концентрации, расположенным вблизи поверхности или на небольшой глубине. Концентрация атомов металлов в максимуме распределения достигает ~10 ат.%. Наличие капельной фазы отображается в спектрах сравнительно интенсивным фоновым сигналом в интервале каналов анализатора ~160–380.

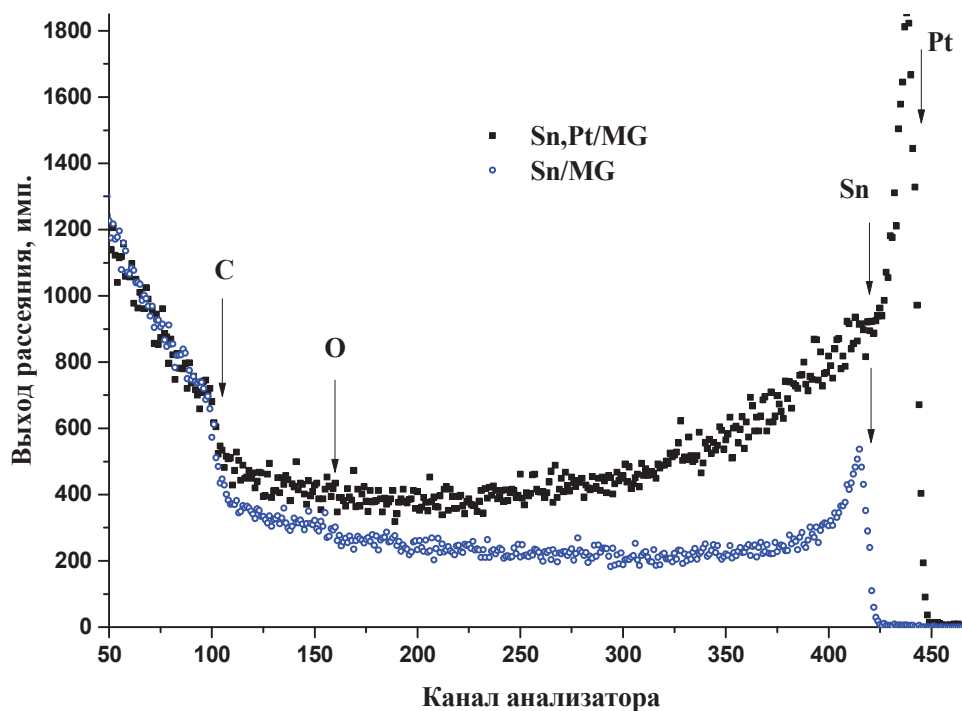


Рисунок 2 – Спектры резерфордского рассеяния ионов ^4He на ядрах атомов элементов, входящих в состав слоев, сформированных на графите осаждением олова (Sn/MG) и олова и платины (Sn, Pt/MG)

Таким образом, установлено, что при ионно-ассистированном осаждении металлов вследствие ионного перемешивания атомов осаждаемых металлов с атомами материала носителя на поверхности графита формируются наноразмерные многокомпонентные слои, включающие атомы осаждаемых металлов, материала носителя – углерода, а также примеси кислорода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Poplavsky, V. V. On the Formation of Electrocatalysts for Methanol and Ethanol Oxidation by the Ion Beam-Assisted Deposition of Rare-Earth Metals and Platinum on Carbon Carriers / V. V. Poplavsky, A. V. Dorozhko, V. G. Matys // J. Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques. – 2019. – Vol. 13, No. 6. – P. 1314–1322.