

УДК 544.478:537.533.9

В.В. Поплавский, доц., канд. физ.-мат. наук (БГТУ, г. Минск)

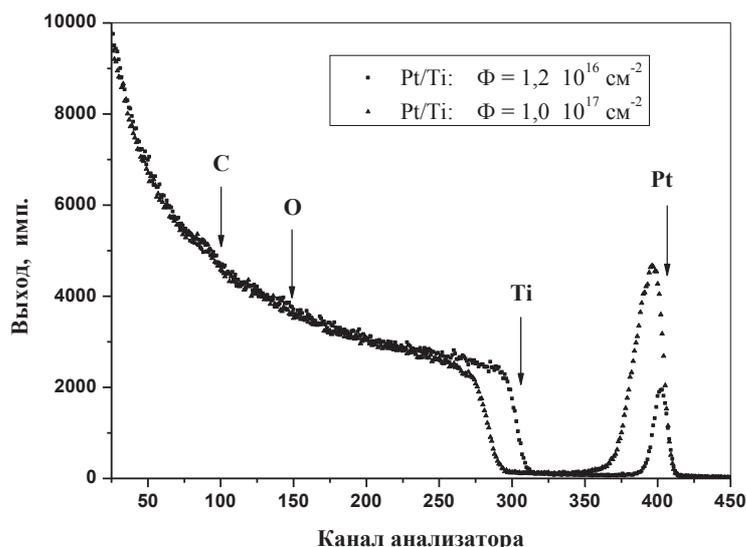
**СОСТАВ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  
ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ, ФОРМИРУЕМЫХ  
ИОННО-АССИСТИРУЕМЫМ ОСАЖДЕНИЕМ МЕТАЛЛОВ  
ИЗ ПЛАЗМЫ ИМПУЛЬСНОГО ДУГОВОГО РАЗРЯДА**

Модифицирование поверхности конструкционных и функциональных материалов с применением ионных пучков обеспечивает возможность введения в приповерхностный слой материала контролируемых количеств любой легирующей примеси на атомном уровне в неравновесных условиях. При этом наибольший интерес представляет ионно-лучевое модифицирование материалов, свойства которых определяются в основном составом поверхности, к числу которых относятся электрокатализаторы.

В докладе сделан обзор экспериментальных результатов, полученных при изучении состава и электрокаталитических свойств слоев, формируемых ионно-ассистируемым осаждением активных металлов на металлические (алюминий, титан, тантал) и углеродные (стеклоуглерод СУ-2000, углеродная бумага AVCarb<sup>®</sup> Carbon Fiber Paper P50) носители. Ионно-ассистируемое осаждение (IBAD – Ion Beam Assisted Deposition) металлов проведено в режиме, при котором в качестве ассистирующих процессу осаждения используются ионы осаждаемого металла. Осаждение металла и перемешивание осаждаемого слоя с атомами поверхности подложки ускоренными ионами того же металла осуществляются в экспериментальной установке, соответственно, из нейтральной фракции пара и плазмы вакуумного дугового разряда импульсного электродугового ионного источника.

Исследование микроструктуры, морфологии и состава слоев проведено методами сканирующей электронной микроскопии, электронно-зондового микроанализа, дифракции отраженных электронов, спектрометрии резерфордского обратного рассеяния и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Активность электрокатализаторов с осажденными слоями в реакциях окисления метанола и этанола исследована методом циклической вольтамперометрии.

Установлено, что при ионно-ассистируемом осаждении металлов в предложенном режиме формируются аморфные слои толщиной ~30–100 нм, в состав которых входят атомы осаждаемых металлов, материала подложки, а также кислорода, углерода и водорода в качестве примесей. Атомы элементов, входящих в состав слоев, распределены по поверхности практически равномерно. Содержание атомов металлов в формируемых слоях составляет  $\sim(1-10) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ ; их концентрация в максимуме распределения – несколько атомных процентов (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Спектры резерфордского рассеяния ионов гелия поверхности титана со слоями, сформированными осаждением платины**

При этом активность получаемых электрокатализаторов в реакциях электрохимического окисления метанола и этанола, лежащих в основе принципа действия топливных элементов, значительно (в десятки раз) выше активности платинового электрода.

Предлагаемая технология приготовления электрокатализаторов лишена всех недостатков, присущих химическим методам формирования нанесенных катализаторов, отличается воспроизводимостью результатов и сравнительной простотой. Приготовление электрокатализаторов осуществляется путем нанесения каталитического металла на наноразмерном атомном уровне в неравновесных условиях ионно-лучевой обработки. Формирование каталитического слоя осуществляется в вакуумных условиях при комнатной температуре носителя, и, как правило, в один технологический прием, что выгодно отличается от традиционных многостадийных химических методов приготовления нанесенных катализаторов. Обеспечивается возможность приготовления электрокатализаторов, активность которых в процессах окисления метанола и этанола в десятки раз превышает активность платинового электрода. Содержание платины в них составляет  $0,005\text{--}0,05 \text{ мг/см}^2$ , в то время как в аналогичных электрокатализаторах, применяемых в топливных элементах, содержание каталитического металла  $\sim 1\text{--}5 \text{ мг/см}^2$ . Уменьшение до одной-двух числа технологических операций приготовления электрокатализаторов в сравнении с их количеством (не менее десяти) при приготовлении катализаторов традиционными методами значительно сокращает длительность процесса и уменьшает его энергоемкость.