

# ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОКАТАЛИТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ВОДОРОДА И ВТОРОГО ТОВАРНОГО ПРОДУКТА ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

Богомазова Н.В., Шишкин Н.Я., Згурская А.А., Мирончик Е.В., Остапенко Е.В.

УО "Белорусский Государственный Технологический Университет". Минск, 220050,  
Свердлова 13А, e-mail: [n1@tut.by](mailto:n1@tut.by)

Развитие мирового экономического кризиса приводит к обострению проблем, связанных с совершенствованием систем энергоснабжения как в масштабах крупнейших электростанций, питающих мегаполисы, так и для обеспечения функционирования отдельных автономных устройств, например, автомобилей. Поиски альтернативных источников энергии приводят ученых по новому витку спирали к водороду, который в условиях истощения запасов органического ископаемого топлива вновь вызывает интерес как источник экологически чистого энергоносителя. Однако давно разработанные методы получения молекулярного водорода из молекул воды с помощью электролиза водных растворов или пиролиза водяных паров характеризуются высокой энергоемкостью, что делает полученный этими методами водород экономически нерентабельным, например, при использовании в качестве энергоносителя.

В настоящее время ученые предлагают решать проблему снижения стоимости электрохимически получаемого водорода за счет использования дешевых видов электрической энергии (атомные станции, солнечная энергия, энергия ветров, энергия талой воды и др.). Менее радикальным, но более универсальным представляется путь совершенствования отдельных элементов электрохимических генераторов водорода (электродов, мембран, электролитов и т.д.), а также конструкции электролизеров.

Хорошо известно, что наиболее низкими перенапряжениями катодного выделения водорода характеризуются платиновые металлы, а также металлы подгруппы железа. Среди последних высокую активность проявляет никель. Предложено много способов повышения активности никелевых катодов. Среди них модифицирование никеля активирующими компонентами, использование специальных методов обработки, увеличивающих шероховатость активной поверхности, создание поверхностных скелетных структур и другие. Активно изучаются материалы на основе никеля с различными легирующими компонентами (Co, Cd, Mo), а также композиционные материалы ( $Ni + S$ ,  $Ni + Ni_xS_y$ ) и многослойные структуры (Fe/NiS, Ni/S/Co/Mo).

Наши исследования катодного процесса были направлены на электрохимическое получение никелевых электрокаталитических покрытий с содержанием серы и молибдена, а также на изучение их электрокаталитических свойств с целью повышения эффективности процесса выделения водорода. Полученные научные результаты содержат важную информацию об условиях электрохимического синтеза сложных электрокаталитических электродных покрытий на основе композитов  $Ni+Mo_4O_{11}$ ,  $Ni+Ni_3S_2$ ,  $Ni+Ni_3S_2+Mo_4O_{11}$  и электрохимической активности этих электродов в процессе выделения водорода из щелочных водных растворов. По нашим данным совместное присутствие сульфидной и молибденсодержащей фазы (в данном случае, вероятно, оксидной природы) в никелевом покрытии повышает активность последнего, снижая перенапряжение выделения водорода на 10-30% в зависимости от плотности тока.

При получении водорода электролизом водных растворов щелочей анодным процессом наиболее часто является выделение кислорода, который может быть получен

целым рядом других менее затратных методов. Представляется, что в локальных установках получения водорода с невысокой производительностью в качестве анодного процесса вместо выделения кислорода можно осуществлять целый ряд альтернативных анодных электрохимических синтезов неорганических и органических продуктов. В нашей работе в качестве такого анодного продукта предложено получать гипохлорит натрия, имеющий важное значение для решения проблемы обеззараживания водных ресурсов, используемых как в бытовых, так и в медицинских целях.

Известно, что для хлоробразующих анодных реакций эффективными являются оксидные электроды, содержащие благородные металлы, например, оксидный рутениево-титановый анод (ОРТА). Из оксидов неблагородных металлов высокую активность и селективность в получении гипохлорит ионов проявляет  $\text{Co}_3\text{O}_4$ . Целью наших экспериментов было получение анодных материалов на основе  $\text{Co}_3\text{O}_4$  различными методами, в том числе при введении оксидов благородных металлов в анодное активное покрытие или имплантации платины в титановую подложку, а также изучение электрокаталитической активности полученных электродов в процессе образования гипохлорита натрия из водных растворов хлорида натрия. Полученные данные свидетельствуют о повышенной селективности оксидно-кобальтовых анодов в процессах окисления хлорид-ионов до гипохлорит-ионов в сравнении с ОРТА. При этом хороших результатов удалось достичь при синтезе достаточно толстых (порядка 15 слоев, до 0,5 мм) активных покрытий методом пиролитического разложения раствора  $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Co}$  и  $\text{RuOHCl}_3$ , то есть при введении в  $\text{Co}_3\text{O}_4$  незначительных количеств оксида благородного металла  $\text{RuO}_2$  (около 3 мол. %).

Приведенные в таблице экспериментальные данные указывают на возможность достаточно эффективного получения водорода и гипохлорита натрия в едином электрохимическом процессе при использовании в качестве катодного электрокаталитического покрытия композита  $\text{Ni}+\text{Ni}_3\text{S}_2+\text{Mo}_4\text{O}_{11}$ , а анодного -  $\text{Co}_3\text{O}_4+\text{RuO}_2$ .

Таблица

Основные показатели процесса электролиза раствора хлорида натрия (50 г/л) с катодным выделением водорода и анодным получением гипохлорита натрия при использовании различных анодов

Природа анодного покрытия	Концентрация $\text{NaClO}$ , г/л	Выход по току $\text{NaClO}$ , %	Удельный расход электро-энергии, Вт ч/кг	Напряжение на электролизере, В
$\text{Co}_3\text{O}_4$	1,35	47,63	7,14	5,8
$\text{Co}_3\text{O}_4$ на титане, имплантированном Pt	1,63	50,24	7	5,8
70% $\text{TiO}_2$ +30% $\text{RuO}_2$ (ОРТА)	1,24	54,91	3,04	3,3
97% $\text{Co}_3\text{O}_4$ +3% $\text{RuO}_2$ (7 слоев)	2,9	93,4	1,72	3,4
97% $\text{Co}_3\text{O}_4$ +3% $\text{RuO}_2$ (15 слоев)	2,96	92,00	1,68	3,6

Данные представленные в таблице позволяют констатировать, что наибольшее количество гипохлорита натрия с наименьшими энергозатратами по экспериментальным значениям характерны для 15 слойного электрода 97% $\text{Co}_3\text{O}_4$ +3%  $\text{RuO}_2$ .