

6. Конопляник А. Чистый водород из природного газа // Газпром : корпоративный журнал. 2020. № 9. URL: <https://www.gazprom.ru/press/news/reports/2020/pure-hydrogen/> (дата обращения: 29.03.2023).

.....

**Электрохимический темплатный синтез
электродных материалов для реакций выделения
водорода и кислорода из воды**

Д. С. Дмитриев

Физико-технический институт

им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук

.....

Разработка материалов, которые могут выступать в качестве электрокатализаторов для реакций разложения воды на водород и кислород, является одной из важных и актуальных тем в области источников энергии будущего. Современные тенденции в разработке усовершенствованных электрокатализаторов для реакции выделения водорода (HER) и кислорода (OER) направлены на синтез материалов с высокими значениями электрохимически активной площади поверхности (ECSA) и низкими значениями перенапряжения (DE). Данные параметры задаются путем изменения условий синтеза и фиксируются на некоторых оптимальных значениях.

Среди множества подходов к синтезу группа методов, основанная на использовании подложки (субстрата), является относительно простой и экономически выгодной. При этом материал наносится на пористую электропроводящую подложку (металлическая пена, углеродные волокна) химическим или электрохимическим путем. Эти методы включают гидротермальный синтез, последовательное ионное наслаивание (SILD/SILAR), нанесение гальванических покрытий и электроосаждение. Логическим продолжением этих методов является электрохимический темплатный синтез (ЭТС), при котором после формирования покрытия (или пленки) подложку удаляют отжигом или иным способом. При дальнейшей

модификации синтезированной поверхности или формировании на ней гетероатомных композитов на основе металлов подгруппы железа, меди, серебра, вольфрама и молибдена возможно получение электрокаталитических характеристик, близких к благородным металлам и равных им, а иногда и превосходящих их.

В выполненном цикле работ проведены синтез и исследования электрокаталитических свойств микротрубок меди (Cu-НТ), оксида никеля (Ni/NiO@CF) и бинарной системы «никель — медь» (NC-НТ) [1–3]. В качестве исходного материала использовали углеродный войлок (фетр), который одновременно является и электропроводящей подложкой, и может быть удален как темплат в ходе термической обработки. Принципиальная схема синтеза (на примере системы «никель — медь») представлена на рис. 1.

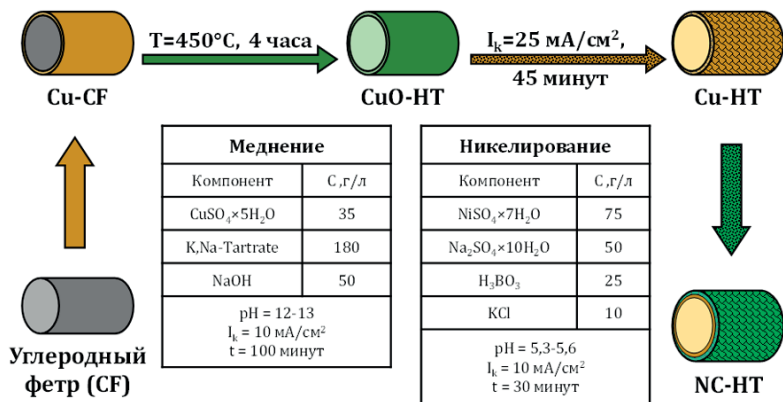


Рис. 1. Принципиальная схема электрохимического темплатного синтеза микротрубок никель — медь

В процессе исследования были определены наилучшие параметры как электроосаждения металла (электролит, плотность тока, время электролиза (t_e)), так и последующего отжига (температура (T) и время экспозиции (t_a)). В табл. 1 представлены электрокаталитические характеристики синтезированных материалов.

Таблица 1

**Электрокаталитические свойства
синтезированных материалов**

Электродный материал	DE при $j=10$ мА/см ² , мВ	ЕССА, см ² на 1 см ² габаритный
Cu-НТ	–215 (HER)	2850
Ni/NiO@CF ($T = 450$ °C, $t_a = 3$ ч)	–307 (HER) 205 (OER)	2908
Ni/NiO@CF ($T = 450$ °C, $t_a = 4$ ч)	–209 (HER) 159 (OER)	2015
Ni/NiO@CF ($T = 450$ °C, $t_a = 5$ ч)	–332 (HER) 195 (OER)	800
Ni/NiO@CF ($T = 500$ °C, $t_a = 3$ ч)	–366 (HER) 207 (OER)	266
Ni/NiO@CF ($T = 550$ °C, $t_a = 3$ ч)	–362 (HER) 200 (OER)	230
NC-НТ ($t_e = 15$ мин)	–61 (HER)	4188
NC-НТ ($t_e = 30$ мин)	–86 (HER)	4000
NC-НТ ($t_e = 60$ мин)	–132 (HER)	2250

Список источников

1. *Dmitriev D. S., Martinson K. D., Popkov V. I.* Electrochemical template synthesis of copper hollow microtubes with dendritic surface and advanced HER performance // *Materials Letters*. 2021. Vol. 305. 130808.
2. Coaxial structures based on NiO/Ni@Carbon felt: Synthesis features, electrochemical behavior and application perspectives / D. S. Dmitriev, M. I. Tenevich, A. A. Lobinsky et al. // *Journal of Electroanalytical Chemistry*. 2022. Vol. 911. P. 116216.
3. *Dmitriev D. S., Tenevich M. I., Popkov V. I.* Electrochemical template synthesis of Ni-Cu bilayer hollow microtubes for green hydrogen production through electrocatalytic reforming of ethanol // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2022. Vol. 47 (41). 17971–17981.