

Лазерный синтез электродов Fe и Fe-MXene для щелочного электролиза воды

Ян Сайхэ¹

Научный руководитель – Д.х.н., профессор Маньшина А. А.¹

¹Санкт-Петербургский государственный университет
st124095@student.spbu.ru

Работа выполнена в рамках темы №121071069 «Сверхбыстрое легирование поверхности и дизайн электродов с помощью лазерного синтеза для высокоэффективного производства "зеленого" водорода».

Введение

Щелочной электролиз воды требует недорогих и долговечных электродных материалов, способных сохранять активность при длительной работе. Железосодержащие катализаторы перспективны по стоимости и доступности, однако их практическое применение часто ограничивается быстрой деградацией каталитического слоя, потерей контакта с токоподводящей основой и ухудшением массопереноса. Технология лазерно-индуцированного осаждения (laser-induced deposition – LID) является привлекательным подходом для быстрого получения электрокаталитически активных покрытий непосредственно на токоподводящей подложке, что создает условия для ускоренного скрининга перспективных систем и оптимизации состава электрода [1, 2]. В качестве способа повышения проводимости и механической целостности слоя особый интерес представляют MXene ($Ti_3C_2T_x$) - двумерные карбиды/нитриды переходных металлов, характеризующиеся высокой электропроводностью и развитой поверхностью [3], которые активно исследуются как электрокаталитические платформы, в том числе для реакции выделения водорода [4, 5].

Основная часть

В работе методом лазерно-индуцированного осаждения была получена серия электродов Fe и Fe-MXene на углеродной бумаге. Их электрокаталитические свойства исследовали для реакции выделения водорода в 1 М КОН комплексом электрохимических методов. MXene ($Ti_3C_2T_x$) вводили как проводящий и структурно стабильный каркас, который должен улучшать электронный транспорт и повышать устойчивость пористой матрицы активного слоя.

Показано, что оптимальный композитный электрод (Fe 1.5 М, MXene 20 mg mL⁻¹) обеспечивает перенапряжение 308 mV при плотности тока -40 mA cm⁻² и демонстрирует более высокую электрохимически активную площадь поверхности по сравнению с Fe-электродом. Долговечность оценивали методом хроноамперометрии: через 20 000 s электрод Fe-MXene потерял лишь 11.68% активности, тогда как электрод Fe деградировал на 96.95%. Морфологический анализ методом СЭМ после электрохимических испытаний показал, что композитный слой Fe-MXene сохраняет более непрерывную пористую структуру и более целостную морфологию покрытия, что согласуется с ролью MXene как механически стабильного проводящего каркаса, поддерживающего эффективную каталитическую систему и подавляющего дестабилизацию каталитического слоя [4, 5].

Выводы

Полученные результаты демонстрируют, что введение MXene ($Ti_3C_2T_x$) в Fe-слой, сформированный методом LID, является эффективным способом повышения активности и особенно долговечности катодных электродов для щелочного электролиза воды [4, 5]. Композит Fe-MXene может быть использован как прототип катода для щелочных электролизеров, а сама стратегия LID получения покрытий на поверхностях разного типа подходит для быстрого подбора состава электродов и условий их синтеза [1, 2].

Литература

1. Shishov A., Gordeychuk D., Logunov L., Tumkin I. High rate laser deposition of conductive copper microstructures from deep eutectic solvents // *Chemical Communications*. 2019. Vol. 55, no. 65. P. 9626-9628. <https://doi.org/10.1039/C9CC05184H>.
2. Shishov A., Gordeychuk D., Logunov L., Levshakova A., Andrusenko E., Chernyshov I., Danilova E., Panov M., Khairullina E., Tumkin I. Laser-induced deposition of copper from deep eutectic solvents: optimization of chemical and physical parameters // *New Journal of Chemistry*. 2021. 45. P. 21896-21904. <https://doi.org/10.1039/D1NJ04158D>.
3. Naguib M., Kurtoglu M., Presser V., Lu J., Niu J., Heon M., Hultman L., Gogotsi Y., Barsoum M. W. Two-Dimensional Nanocrystals Produced by Exfoliation of Ti_3AlC_2 // *Advanced Materials*. 2011. Vol. 23, no. 37. P. 4248-4253. <https://doi.org/10.1002/adma.201102306>.
4. Bai S., Yang M., Jiang J., He X., Zou J., Xiong Z., Liao G., Liu S. Recent advances of MXenes as electrocatalysts for hydrogen evolution reaction // *npj 2D Materials and Applications*. 2021. Vol. 5. Art. 78. <https://doi.org/10.1038/s41699-021-00259-4>.
5. Liu X., Chen X., Huang C., Sun S., Yuan D., Dou Y. Cation Vacancies Anchored Transition Metal Dopants Based on a Few-Layer $Ti_3C_2T_x$ Catalyst for Enhanced Hydrogen Evolution // *Catalysts*. 2025. Vol. 15. Art. 663. <https://doi.org/10.3390/catal15070663>.