

## Магниточувствительные высокоэнтропийные сплавы для электрохимического восстановления CO<sub>2</sub>

Устинова А.И.<sup>1</sup>

Научный руководитель – профессор ПИШ ИТМО д.х.н. Кривошапкин П.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

ustinova@scamt-itmo.ru

### Введение

Начиная с эпохи промышленной революции, масштабное использование ископаемого топлива привело к существенному росту содержания углекислого газа в атмосфере. Повышенная концентрация CO<sub>2</sub> усиливает парниковый эффект и ускоряет климатические изменения. Для замедления глобального потепления необходимо радикально сократить антропогенные выбросы этого газа. Одно из решений — улавливание CO<sub>2</sub> с последующей переработкой. Наибольший интерес представляет его электрохимическое превращение в ценные продукты, например этилен или муравьиную кислоту. Это позволяет не только получать топливо и полезное сырье из CO<sub>2</sub>, но и аккумулировать энергию из возобновляемых источников, частично заменяя нефтяное производство химикатов и жидких топлив [1].

Главная задача — создание катализаторов, эффективно и избирательно превращающих CO<sub>2</sub> при высокой стабильности. Перспективными считаются высокоэнтропийные сплавы, включающие пять и более металлов [2]. Недавние исследования показывают, что внешнее магнитное поле способно заметно влиять на электрокаталитические свойства материалов, в частности изменяя скорость и селективность реакции [3]. Однако исследования в области электрохимического восстановления CO<sub>2</sub> пока находятся на ранней стадии развития. Поэтому введение в состав таких сплавов магнитных компонентов и исследование изменения их каталитического поведения под действием магнитного поля является актуальной научной задачей.

В данной работе рассматривается создание магниточувствительных катализаторов на основе высокоэнтропийных сплавов, сочетающих медь – металл, эффективно участвующий в формировании связей C–C, — с переходными металлами (Fe, Co, Ni, Mn), обеспечивающими магнитное поведение системы. Ключевая идея работы заключается в исследовании влияния магнитного поля на реакцию электрохимического восстановления CO<sub>2</sub>.

### Основная часть

Методом соосаждения из растворов солей были получены два сплава с различным содержанием меди. Восстановление проводили путем добавления раствора солей металлов к водному раствору NaBH<sub>4</sub>, взятому в двукратном избытке, при интенсивном перемешивании. Образующийся осадок отделяли центрифугированием, последовательно промывали дистиллированной водой и этиловым спиртом, после чего сушили в вакуумном эксикаторе.

Рентгенофазовый анализ показал образование нанокристаллических частиц с размером кристаллитов 6-8 нм, имеющих гранецентрированную кубическую решетку. Сканирующая электронная микроскопия выявила наличие крупных агломератов частиц, размером около 150 нм. Оба образца характеризуются сходной морфологией. Методом энергодисперсионной спектроскопии был проведен элементный анализ образцов. Итоговые составы: Cu<sub>0.41</sub>Fe<sub>0.14</sub>Ni<sub>0.14</sub>Co<sub>0.14</sub>Mn<sub>0.03</sub>, Cu<sub>0.5</sub>Fe<sub>0.13</sub>Ni<sub>0.13</sub>Co<sub>0.13</sub>Mn<sub>0.04</sub>.

Анализ петель магнитного гистерезиса показал уменьшение намагниченности насыщения при увеличении содержания меди. Оба образца демонстрируют поведение, характерное для магнитомягких материалов, что подтверждается узкими петлями гистерезиса.

Исследование вольтамперных характеристик в отсутствие магнитного поля выявило небольшое увеличение скорости реакции для образца с более высоким содержанием меди. Для обоих образцов в присутствии внешнего магнитного поля наблюдается снижение общей скорости реакции.

### **Выводы**

Синтезированы два магниточувствительных наноструктурных сплава с различным содержанием меди. Проведен комплексный анализ их структуры и свойств: фазовый состав исследован методом рентгенофазового анализа, морфология — с использованием сканирующей электронной микроскопии, а элементный состав — методом энергодисперсионной спектроскопии. Магнитные характеристики образцов изучены методом вибрационной магнитометрии. Кроме того, исследована их каталитическая активность в реакции электрохимического восстановления CO<sub>2</sub>, а также влияние внешнего магнитного поля на протекание этой реакции.

### **Литература**

1. Md Golam Kibria. Electrochemical CO<sub>2</sub> reduction into chemical feedstocks: from mechanistic electrocatalysis models to system design // *Advanced Materials*. 2019. Vol. 31, no. 31. P. 1807166. <https://doi.org/10.1002/adma.201807166>.
2. Yue Xin. High-entropy alloys as a platform for catalysis: progress, challenges, and opportunities // *ACS Catalysis*. 2020. Vol. 10, no. 10. P. 11280-11306. <https://doi.org/10.1021/acscatal.0c03617>
3. Yuanyuan Zhang. Recent advances in magnetic field-enhanced electrocatalysis // *ACS Applied Energy Materials*. 2020. Vol. 3, no. 11, P. 10303-10316. <https://doi.org/10.1021/acsaem.0c02104>