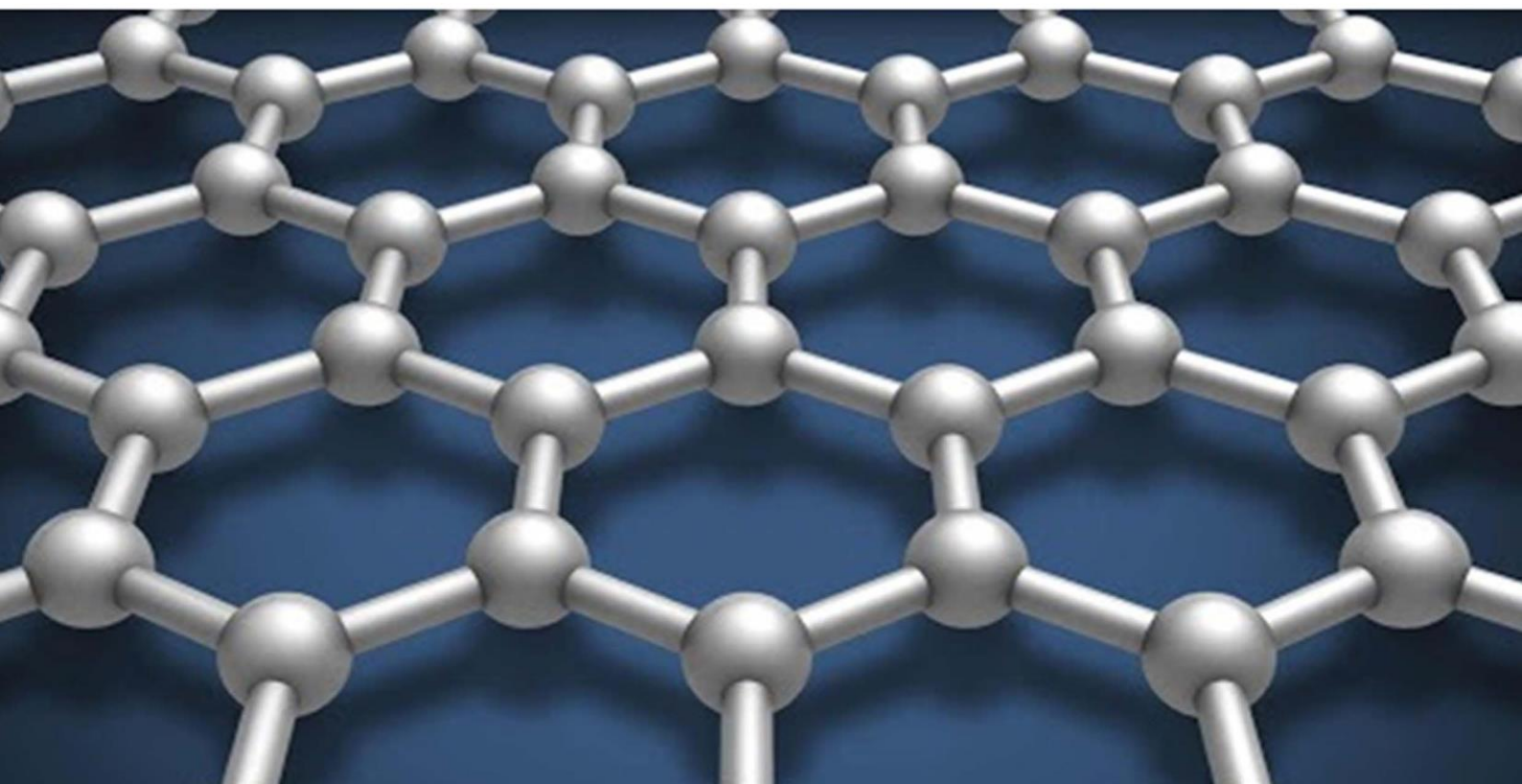


O'zbekiston

Kompozitsion **M**ateriallar

Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali



Узбекский научно-технический и производственный журнал
Композиционные материалы

УДК 541.135

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОКАТАЛИЗАТОРА НА ОСНОВЕ
БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ФОСФИДА

Рашидова К.Х., Каттаев Н.Т., Акбаров Х.И., Абдирахмонова Ў., Қаххорова Н.

*Джизакский государственный педагогический университет
Национальный университет Узбекистана, E-mail: komila.rashidova@mail.ru*

Аннотация. Синтезирован одностадийным гидротермальным методом электрокатализатор Ni-Cu-P. Современными физико-химическими методами анализа исследованы структурно-морфологические особенности полученного Ni-Cu-P. Изучением оптическим методом электронной структуры. Для расщепления воды показана перспектива применения Ni-Cu-P в качестве электрокатализатора.

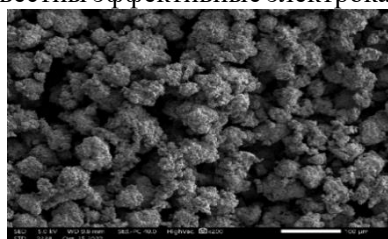
Ключевые слова: смешанные фосфиды металлов, электрокатализатор, расщепление воды, генерация водорода.

Введение. Для реакции выделения кислорода фосфиды переходных металлов вызывают всё больший интерес в качестве перспективных электрокатализаторов. Однако, многообещающий безуглеродный метод производства H_2 электролизом воды, по-прежнему, остается дорогим методом и требует недорогих эффективных катализаторов для облегчения реакций выделения водорода/кислорода (HER/OER) при расщеплении воды. Эффективная реализация производства H_2 топлива путем электролитического расщепления воды требует использования высокоэффективных катализаторов как в катодной реакции выделения H_2 (HER: $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$), так и в анодной реакции выделения O_2 (OER: $4OH^- \rightarrow O_2 + 2H_2O + 4e^-$) [4-5]. При этом важную роль сыграет наличие электрокатализатора с соответствующей электронной структурой, адаптированной с применением различных методов, таких как допирование гетероатомами, контроль граней и образование анионных вакансий в катализаторах на основе соединений переходных металлов. Выявлено, что легирование фосфором также изменяет электронные состояния катализаторов, особенно обеспечивая правильную модификацию HER [1,2]. Некоторые фосфиды переходных металлов, как Co, Ni, Cu, Mo, Fe, W известны эффективные электрокатализаторы для

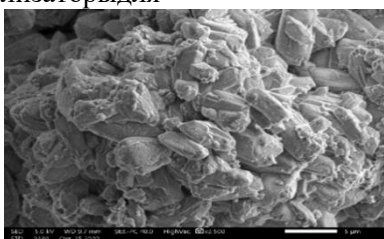
расщепления воды. В этой связи, в данной работе синтезирован полифункциональный электрокатализатор на основе фосфида никеля металлов смешанного состава (Ni-Cu-P) [3-4].

Методы и материалы. Ni-Cu-P был синтезирован одностадийным гидротермальным методом. Исходными материалами были реагенты: $NiCl_2 \cdot 6H_2O$, $CuCl_2 \cdot 2H_2O$ и красный фосфор. Сначала в дистиллированную воду добавляли необходимое количество $NiCl_2 \cdot 6H_2O$ и $CuCl_2 \cdot 2H_2O$, чтобы получить смешанный водный раствор Ni^{2+} и Cu^{2+} , затем в раствор при интенсивном перемешивании добавляли красный фосфор, чтобы получить исходную смесь. В течение 1 часа перемешивали. Затем всю реакционную смесь перенесли в автоклав из нержавеющей стали с тефлоновым покрытием и поместили в муфельную печь для проведения процесса при $200^\circ C$ в течение 24 часов. После остывания весь осадок собирали, несколько раз промывали деионизированной водой, а также этанолом, затем высушивали в сушильном шкафу при температуре $70^\circ C$ и сохраняли для дальнейшего использования [5,6].

Результаты и обсуждение. Синтезированный Ni-Cu-P был исследован методами сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), энерго-дисперсионной спектроскопии (ЭДС) [7,8].



x200



x3500



x16000

Рис.1. СЭМ-микрофотографии Ni-Cu-P

Как видно из представленных на рис.1 микроснимках, при небольших увеличениях (x200, рис.1a) структурная морфология биметаллического фосфида представляет собой аморфную гранулярную структуру.

Однако при заметных увеличениях (x3500 и x16000, рис.1б-в) обнаруживается наличие минеральных агрегатов, образованных незакономерным скоплением отдельных кристаллов, имеющих правильные формы

многогранников. Значение запрещенной зоны (~ 1,3 эВ), найденное по результатам исследования электронного строения оптическим методом в интервале длины волн 380-730 нм, дает основание полагать, что синтезированный биметаллический фосфид Ni-Cu-P можно использовать в качестве эффективного электрокатализатора для расщепления воды.

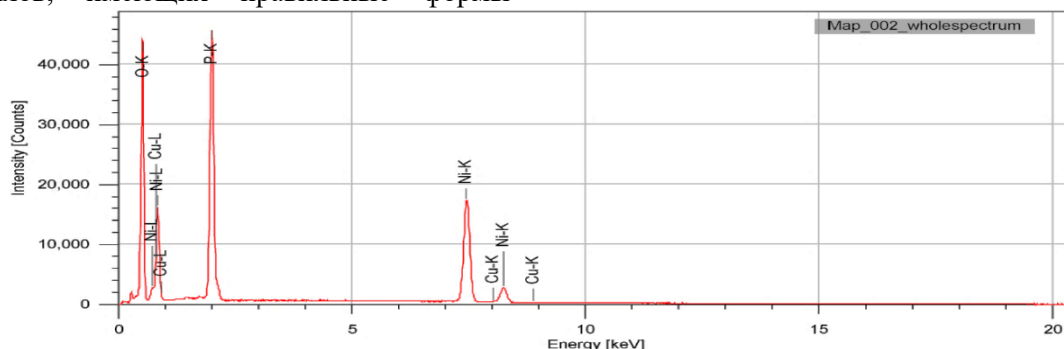


Рис.2. Энерго-дисперсионный спектр электрокатализатора Ni-Cu-P.

С данными энерго-дисперсионной спектроскопии, представленной на рис.2. Как видно из ЭДС-спектра, в спектре обнаруживаются пики, относящиеся атомам Ni, Cu, P, а также кислорода. Массовая доля атомов Ni в образце заметно превосходит долю атомов Cu, которые составляют 45,65 % и 0,07 %, соответственно. Самый интенсивный пик в спектре относится к атомам P, массовая доля которых составляет 29,76 %. Также в спектре имеется заметный пик в интервале энергий 0-1,0 кэВ, относящийся к атомам кислорода. Массовая доля атомов кислорода составляет 24,52 %. Следует отметить, присутствие атомов кислорода и его высокая доля в составе биметаллического фосфида Ni-Cu-P соответствует литературным данным [9].

Список использованной литературы

1. MinWang1 et. al. A highly efficient Fe-doped Ni₃S₂ electrocatalyst for overall water splitting // Nano Res. 2021, 14 (12) 4740–4747.
2. A. Grimaud, K.J. May, C.E. Carlton, Y.-L. Lee, M. Risch, W.T. Hong, J. Zhou, Y. Shao-Horn, Double perovskites as a family of highly active catalysts for oxygen evolution in alkaline solution, Nat. Commun. 4 (2013) 1–7.
3. HyogyunRoh et. al. Various metal (Fe, Mo, V, Co)-doped Ni₂P nanowire arrays as overall water splitting electrocatalysts and their applications in unassisted solar hydrogen production with STH 14 %. Applied Catalysis B: Environmental 297 (2021) 120434.
4. Li Wei at. al. A Hierarchically Porous Nickel-Copper Phosphide Nano-Foam for Efficient Electrochemical Splitting of Water // Nanoscale, 2017,9, 4401-4408.
5. H. Dau, C. Limberg, T. Reier, M. Risch, S. Roggan and P. Strasser. The Mechanism of Water Oxidation: From Electrolysis via Homogeneous to Biological Catalysis // Chemcatchem, 2010, Vol. 2, p. 724-761.
6. C. C. L. McCrory, S. Jung, J. C. Peters and T. F. Jaramillo. Benchmarking Heterogeneous Electrocatalysts for the Oxygen Evolution Reaction // J.Am. Chem. Soc., 2013, Vol. 135, p, 16977-16987.
7. P. Du and R. Eisenberg. Catalysts made of earth-abundant elements (Co, Ni, Fe) for water splitting: Recent progress and future challenges // Energy Environ. Sci., 2012, Vol. 5, p. 6012-6021.
8. W. T. Hong, M. Risch, K. A. Stoerzinger, A. Grimaud, J. Suntivich and Y. Shao-Horn. Toward the rational design of non-precious transition metal oxides for oxygen electrocatalysis // Energy Environ. Sci., 2015, Vol. 8, p. 1404-1427.
9. Qijie Mo, Wenbiao Zhang, LiuqingHeXiang Yu, QingshengGao. Bimetallic Ni_{2-x}Co_xP/N-doped carbon nanofibers: Solid-solution-alloy engineering toward efficient hydrogen evolution // Applied Catalysis B: Environmental, 2019, vol. 244, p. 620-627.

Рашидова Камила Хамидовна

- научный исследователь НУУз имени Мирзо Улутбека

Каттаев Нуритдин Тураевич

-д.х.н., доцент НУУз имени Мирзо Улугбека

Акбаров Хамдам Икратович

-д.х.н., проф., зав. кафедрой физической химии НУУз имени М.Улугбека

Абдурахмонова

-магистрант Джизакский государственный педагогический университет

Хамракуловна

Каххорова Ноила Азимжоновна

-магистрант Джизакский государственный педагогический университет

Majidov S.A. Indigoning temir (III), kadmiy (II) va marganes (II) ionlari bilan hosil qilgan komplekslarnin haqiqiy molyar so'ndirish koeffitsiyenti va muvozanat konstantasini tolmachyovning grafik usuli bilan aniqlash...	153
Рашидова К.Х., Каттаев Н.Т., Акбаров Х.И., Абдирахмонова Ў., Қаххорова Н. Синтез и исследование электрокатализатора на основе биметаллического фосфида	157
Туробов Ш.Н., Боймуродов Н.А., Хужакулов А.М. Направления переработки вольфрамового сырья в промышленных масштабах	159
Джураев А.Ж. Синтез производных глицирретовой кислоты и их мембранатропные свойства	162
Yusupov A.A., Yo'ldashev X.X. Murakkab shakldagi plastik detallarni ishlab chiqarishda qolipining sovutish samaradorligini oshirish	166
Панжиев А.Х., Зияев Р., Алланов А. Исследование состава полученного цианамида кальция	171
Марданова Ю.У., Камалова Д.И. Исследование колебательного спектра композиционного материала на основе полистирола и сажи (0,03; 0,04)	173
Умурова Ш.Ш., Амонова М.М., Амонов М.Р. Изучение адсорбционные свойства модифицированных бентонитов	175

6. Проблемные обзоры

Хасанова Э.И., Емельянычева Е.А., Башкирцева Н.Ю., Тешабаева Э.У. Современное состояние битумной отрасли Российской Федерации и ассортимент выпускаемых битумных материалов	179
Шодиев А.Н., Каршибоев Ш.Б., Ёрматов Д.А. Аналитический обзор извлечения германия из руд и отходов различных отраслей производства	185
Mardorov U., Xasanov O., Umarov E., Norxo'rozov D. Metallarga mexanik ishlov berishda moylovchi-sovituvchi suyuqliklardan foydalanish texnologiyalari (tahlil)	189
Мухамедбаева З.А., Эшмуратова Р., Алиева Р.А. Влияние вторичных отходов цветной металлургии на свойства цементного клинкера	192
Shonazarova Sh., Sharopova D., Karimov M., Samadov A. Investigation of cobalt recovery from mother liquor	196
Yakubov M.M., Karimova T.P., Maksudxo'jayeva M.S., Yoqubov O.M. Klinkerni kompleks qayta ishlash - rux keklarini quyish chiqindilari	199
Турабов Н.Т., Тоджиев Ж.Н., Тураев Х.Х., Раупова С.С., Усманова М.Д., Сманова З.А. Влияние ионов тяжелых металлов на загрязнение окружающей среды	204
Рахимов Х.Ю., Холматова Н.Г., Билалова Д.Ж. Исследование и разработка состава композиционных эмульгаторов на основе местного сырья и отходов производств и изучение их физико-химических и технологических свойств	207
Негматов С.С., Абед Н.С., Сергиенко В.П., Улмасов Т.У., Бухаров С.Н., Туляганова В.С., Рузиева Б.Ю. Звукопоглощающие композиционные материалы для шумопонижающих конструкций	209
Исроилов О.И., Мухиддинов Б.Ф., Ширинов Ш.Д., Джалилов А.Т. Маҳаллий хомашёлар асосида гидрогеллар синтези ва уларнинг хоссалари	212
Masidikov E.M., Abduraxmonov S.A., Axtamov F.E. Mis boyitish fabrikasi texnogen chiqindilarini qayta ishlasga jalb qilish imkoniyatlari	217
Abdurazakov M. Modern solutions for increasing the strength properties of asphalt concrete pavement	220
Рахимбаев Б.С., Пирматов Е.А., Хасанов А.С. Петрографические исследования руд бакенного рудного поля	224
Sultonov S.B., Kucharov A.A., Yusupov F.M. Nordon gazlardan oltingugurt ajratib olish uchun titan asosli seolit ishlab chiqishning ilmiy asoslari	227
Чулиев У.Х., Амонов М.Р., Шабарова У.Н. Изучение технологических свойств буровых растворов	231
Кудышкин В.О., Абрарова З.М., Бозоров Н.И., Жумартова У.У., Усманова М.М., Рашидова С.Ш. Особенности синтеза привитых сополимеров хитозана и акриламида	234
Abdurazakov M. Enhancing the strength of asphalt concrete through rheological properties	236
Негматов С.С., Исмаилов Р.И., Раупова Д.Н., Рахимов Х.Ю., Мусабеков Д.Х. Исследование жидкой пробы нефтеэмульсии и очищенной нефти с разработанным композиционным деэмульгатором методом ИК-спектроскопии	239
Муфтуллаева М.Б., Реймов М.А. Использование бентонитовых глин приаралья для получения стеновых материалов	242
Абдиназаров А.А., Ёдгоров Н.Н. Разработка состава стабилизированного облегченного тампонажного раствора по внедрению на месторождении алан в скважине №202	245
Губайдуллин Р.Ш., Йўлчиев А.Б., Алимухаммедов М.Г. Изучение физико-механических показателей новых композиций жёстких пенополиуретанов	248
Tashmatov R.K. Matematik modellash tirish asosida yuqori uglerodli po'latlarga termik ishlov berish orqali dislokatsiya zichligining o'zgarishi	251