

Ўзбекистон

Kompozitsion **M**ateriallar

Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali



Ўзбекский научно-технический и производственный журнал
Композиционные материалы

bu asosan tizimning qovushqoqligining pasayishi tufayli yuz beradi, chunki polimer makromolekulalarining harakat tezligi oshadi. Ehtimol, diffuziya jarayonlari sababli, gidrolizlovchi moddalar va reaksiyaga kirishmagan amid guruhlari o'rtasidagi to'qnashish imkoniyati oshadi.

Xulosa. AA va malein kislotasi asosida yangi polimer struktura hosil qiluvchi reagentni sintez qilish jarayonlari o'rganildi. AA va MA ning 7:1 mol nisbatida 70-80°C haroratda makromolekulaning yuqori unumiga erishilishi

aniqlandi. Hosil bo'lgan polimerni gidrolizlash kamida 60°C haroratda 2,5-3 soat davomida amalga oshirilishi kerakligi aniqlandi. Olingan polimer namunasi, PAA, gidrolizlangan poliakrilonitril va KMS kabi an'anaviy barqarorlashtiruvchilarga nisbatan, gilli suspenziyalarni yaxshiroq barqarorlashtiruvchi xususiyatlarni namoyish etdi. Bu xususiyatlar qovushqoqlik ko'rsatkichlarining yuqori qiymatlari va tizim suyuqligining yo'qolishini maksimal darajada kamaytirish orqali namoyon bo'ldi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Kh. M. Islamov, Scientific Works of the Nakhchivan State Universiti **3**, 30-33 (2014).
2. Yu.M. Basarygin, A.I. Bulatov, Yu.M. Proselkov, Well completion (NedraBusinesscenter, M. 2002), 454-455
3. J. Gray, G. Darley, Composition and properties of drilling agents (flushing fluids) (Nedra, M., 1985), (509)
4. V. Ovchinnikov, N. Aksenova, L. Kamenski, V. Fedorovskaya, Drilling and oil 12, 24-29 (2014)
5. K. C. Taylor, H. A. Nasr-El-Din, J. Pet. Sci. Eng. 19, 265-280 (1998)
6. Yu. A. Shashkina, Yu. D. Zaroslov, V. A. Smirnov, Polymer 44(8), 2289-2293 (2003)

УДК 541.135

СИНТЕЗ И СВОЙСТВА БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ФОСФИДА Ni-Fe-P КАК ЭФФЕКТИВНЫЕ ЭЛЕКТРОКАТАЛИЗАТОР ДЛЯ РАСЩЕПЛЕНИЯ ВОДЫ

Рашидова Камила Хамидовна¹, Акбаров Хамдам Икрамович², Тургунов Анвар Исроилович¹,
Абдирахмонова Угиллой Хамракуловна¹, Умарова Ноила Азимовна¹,
Тайланова Зохира Рахматуллаевна¹

¹Джизакский государственный педагогический университет

²Национальный университет Узбекистана

Аннотация. Одностадийным гидротермальным способом был получен электрокатализатор Ni-Fe-P. Были изучены электронный спектр диффузного отражения биметаллического фосфида и зависимость плотности тока от потенциала для процесса HER современных физико-химических методов анализа. Проведённое исследование подтвердило перспективность использования Ni-Fe-P в качестве электрокатализатора в реакции расщепления воды.

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

Введение. В последние годы водород, получаемый из возобновляемых источников, рассматривается как одно из ключевых направлений развития энергетики в условиях истощения традиционных ресурсов и ужесточения контроля над выбросами CO₂. Электролиз воды считается экологически чистым способом получения H₂ без углеродного следа. Тем не менее, высокая стоимость процесса сохраняется, что связано с необходимостью использования эффективных и одновременно доступных катализаторов для ускорения реакций выделения водорода и кислорода (HER и OER).

Соединения переходных металлов проявляют значительную активность в реакции OER и привлекают внимание как недорогие и нетоксичные материалы, не содержащие благородных элементов. Однако их ограниченная активность в HER и низкая

электропроводность препятствуют их широкому внедрению в технологии водородной энергетики. В этой связи, в данной работе синтезирован полифункциональный электрокатализатор на основе фосфида никеля металлов смешанного состава (Ni-Fe-P) [1, 2].

Экспериментальная часть. Синтез катализатора Ni-Fe-P также осуществлялся гидротермальным методом. Для этого 1,19 г никель (II) хлорида гексагидрата (NiCl₂·6H₂O), 0,74 г железо (II) хлорида гексагидрата (FeCl₂·6H₂O) и 0,77 г красного фосфора растворяли отдельно в деонизированной воде (по 40 мл для растворов солей и 50 мл для раствора фосфора). После полного растворения все компоненты объединяли в реакционном сосуде из политетрафторэтилена (PTFE) объёмом 90 мл, который затем герметично помещали в гидротермальный автоклав.

Реакционную смесь выдерживали при температуре 200 °С в течение 24 часов. По завершении реакции автоклав охлаждали до комнатной температуры, после чего осадок отделяли путём фильтрации. Полученный продукт многократно промывали деионизированной водой и этанолом с целью удаления не вступивших в реакцию примесей. Далее осадок сушили в сушильном шкафу при температуре 70 °С в течение 5 часов [3-5].

Полученный порошок катализатора Ni-Fe-P сохраняли в герметичной ёмкости для последующего анализа. Массовое соотношение компонентов в ходе синтеза составляло 1:1:5 (Ni: Fe: P). Для изучения влияния состава на морфологию и каталитические свойства также проводились эксперименты с варьированием этого соотношения.

Обсуждение результатов. Электронный спектр диффузного отражения биметаллических фосфидов. С целью оценки ширины

запрещённой зоны биметаллофосфидов с общей формулой Ni-Me-P (где Me = Co, Cu, Fe), были проанализированы диффузные отражательные спектры и построены графики Таусса, позволяющие определить энергетический зазор E_g. Для расчётов использована формула:

$$(F(R) hv)^2 = A(hv - E_g)$$

где F(R) – функция отражения, hv – энергия фотона. На основе полученных экспериментальных данных были построены зависимости (F(R)hv)² от hv, позволяющие определить E_g путём экстраполяции линейного участка на ось энергии [6].

График зависимости функции Кубелка–Мунка F(R) от длины волны λ (в диапазоне 300–800 нм) для трёх биметаллических фосфидов – Ni-Co-P, Ni-Cu-P и Ni-Fe-P – демонстрирует особенности светопоглощения, отражающие ширину их запрещённой зоны и фотоэлектронные характеристики (рис.1).

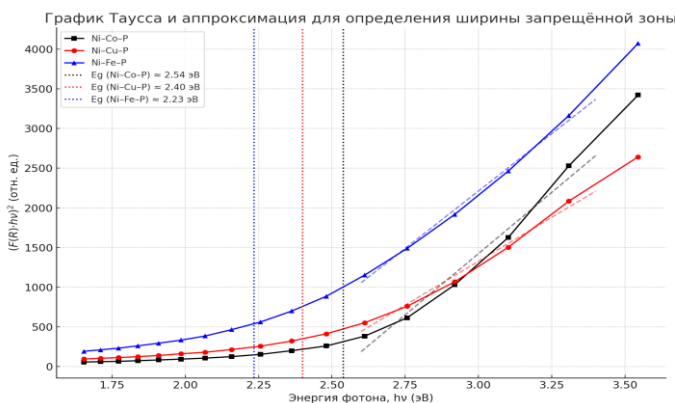
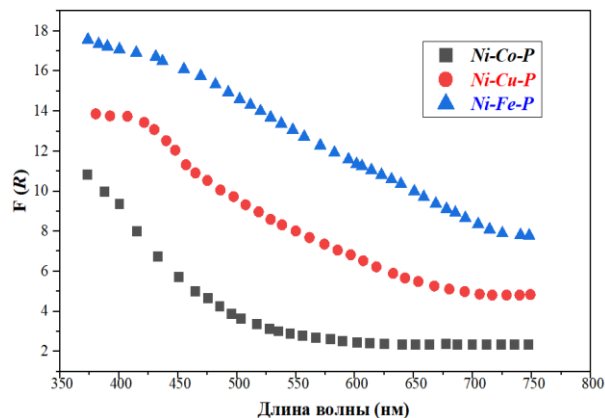


Рис. 1. Диффузные отражательные спектры (а) и графики Таусса (б) биметаллических фосфидов Ni-Me-P

Построенные графики демонстрируют типичное поведение поглощения для полупроводников с прямозонным переходом. Аппроксимация линейных участков позволила определить следующие значения ширины запрещённой зоны: Ni-Fe-P – 2.23 эВ, Ni-Cu-P – 2.40 эВ, Ni-Co-P – 2.54 эВ. Наименьшее значение ширины запрещённой зоны получено для соединения Ni-Fe-P. Это может быть связано с вкладом железа, обладающего более высокой плотностью d-орбиталей, в

формирование валентной и проводящей зон, что способствует снижению E_g и расширению области поглощения в видимом диапазоне. Такие материалы потенциально пригодны для применения в фотокатализе, водородной энергетике и других фотоэлектрохимических системах.

Зависимость плотности тока от потенциала для процесса HER на катализаторе Ni-Fe-P в растворах KOH (1 М и 3 М) показано в 1. таблицах.

Таблица 1.

Зависимость плотности тока от потенциала для процесса HER на катализаторе Ni-Fe-P в растворах KOH (1 М и 3 М)

Плотность тока (j, mA/cm ²)	1 М KOH (В)	3 М KOH (В)
0	0.00	0.00
-2	-0.239	-0.20
-4	-0.47	-0.41
-6	-0.67	-0.63
-8	-0.87	-0.82
-10	-0.94	-0.89

В таблице представлены значения потенциала при различных плотностях тока (j , mA/cm^2) в щелочных растворах 1 М и 3 М КОН.

По мере увеличения катодной плотности тока от -2 до $-10 \text{ mA}/\text{cm}^2$ наблюдается смещение потенциала в более отрицательную область в обоих электролитах. Это соответствует закономерностям протекания реакции выделения водорода (HER), для достижения большей скорости реакции требуется более высокий катодный потенциал.

Сравнение двух электролитов показывает, что в растворе 3 М КОН при одинаковых значениях плотности тока потенциал менее отрицателен, чем в 1 М КОН. Например, при $j = -10 \text{ mA}/\text{cm}^2$ потенциал составляет $-0,94 \text{ В}$ в 1 М

КОН и $-0,89 \text{ В}$ в 3 М КОН. Это свидетельствует о снижении перенапряжения в более концентрированном растворе, что связано с повышенной ионной проводимостью и улучшенной кинетикой электродного процесса.

Присутствие железа в структуре катализатора способствует увеличению плотности активных центров и может усиливать электронное взаимодействие с атомами никеля, за счёт чего оптимизируется адсорбция водородных интермедиатов ($*\text{H}_{\text{ads}}$). При этом фосфидная матрица играет важную роль, обеспечивая хорошую электронную проводимость и структурную стабильность в агрессивной среде.

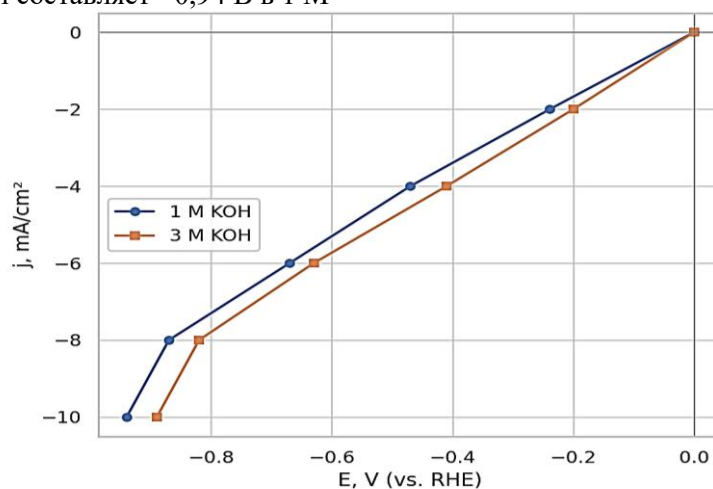


Рис. 2. График зависимости плотности тока от потенциала Ni-Fe-P в 1 М и 3 М КОН

Заключение. Полученные вольтамперные кривые характеризуются гладким ростом плотности тока без деградиционных явлений, что указывает на высокую стабильность Ni-Fe-P в условиях HER (рис.2). Показанная

активность и стабильность в обоих растворах подтверждают применимость катализатора в реальных условиях щелочного электролиза воды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zhang, T., Wu, M., Liu, Y., et al. (2022). Electroless deposition synthesis of Ni-Fe-P-WO₃ composite catalysts on nickel foam for water splitting applications. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(52).
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. Li, X., Zhang, Y., Wang, H., et al. (2023). Ternary nickel-iron-phosphorus (NiFeP) electrocatalysts prepared by electrodeposition for efficient water splitting. *ChemEngineering*, 6(3), 30.
4. Zhang, T., Wu, M., Liu, Y., et al. (2022). Electroless deposition synthesis of Ni-Fe-P-WO₃ composite catalysts on nickel foam for water splitting applications. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(52).
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. El-Sayed, S. A., Mostafa, M. R. Thermal analysis of the prepared lignin/graphene oxide composites // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. – 2020. – V. 141. – P. 1841–1855.

Abdullayev F.K., Yuldoshev O.Ch., Chorshanbiyev Sh.M., To'rayev A.N., Kholmatov E.M., Abdusamadova O.A., Khojimukhamedova L.T, Suvonova M.Y. Analysis of the chemical composition of 300X28H2Л white cast iron	132
Xandamov D.A., Xoliqulov B.N., Eshqulov X.O'., Bekmirzayev A.Sh., Xonqulov Sh.B. Adsorbsiya experimental tajribalarining aniqligini turli xatolik funksiyalari yordamida tahlil qilish	136
Рўзиқулов Қ.М., Сайназаров А.М., Икромов М.Э. Рух кекини вельцлашда ҳосил бўладиган хомаки вельц оксиди таркибли маҳсулотларни ўрганиш	139
Драбкова Т.В., Абдугалипова Н.М., Рахматуллаев Ф.Н., Исанова Р.Р. Технология ионообменной очистки сточных вод и регенерации амфолита АКА-Т на пилотной установке ИОУ-4Ф	142
Kodirov O., Safarov T. Synthesis of corrosion inhibitor based on p-phenylenediamine, formalin, and alanine and its inhibition efficiency by electrochemical method	144

6. Проблемные обзоры

Абед Ф.Ж., Иногамов С.Е., Туреева Г.А. Полимерные лекарственные пленки: свойства, классификация и перспективы применения в медицине	149
Расулов А.Х., Умирзакова Ф.Б. Турдимуродов Ш.З. “Дехқонобод калий ўғитлар заводи” корхонаси учун конвейер роликларини ишлаб чиқариш технологиясини такомиллаштириш	153
Пхамов М.А., Munosibov Sh.M., Matkarimov S.T., Karimjonov B.R., Maksudov Sh.A. Tarkibida rux oksidi bo'lgan po'lat eritish changlarini koks yordamida tiklash jarayonining tadqiqoti	156
Umurova Sh.Sh. Mahalliy xom-ashyolardan sorbentlar olish jarayoniga haroratning ta'siri	158
Karabayeva G.B., Yaxshiyeva Z.Z., Shukurova N.R., Nurmamatova F.U. Nikel (II) ionining O-nitrozofenol bilan kompleks hosil bo'lishini elektrokimyoviy usulda aniqlash	161
Xalilov M.N., Mengpo'latov A.F. Burg'ilash eritmasining xususiyatlarini nazorat qilish uchun ko'p qatlamli polimer struktura hosil qiluvchi agentlarni o'rganish	164
Рашидова К.Х., Акбаров Х.И., Тургунов А.И., Абдирахмонова У.Х., Умарова Н.А., Тайланова З.Р. Синтез и свойства биметаллического фосфида NI-Fe-P как эффективные электрокатализатор для расщепления воды	166

7. Вести из лаборатории

Yakubov M.M., Yoqubov O.M., Maqsudxodjayeva M.S. Piro-metallurgik mis ishlab chiqarishida texnogen chiqindilar komponentlarining qayta ishlash jarayonida o'zaro ta'sir jarayonlarini tadqiq etish	169
Норхуджаев Ф.Р. Совуқ ҳолда штамплаш усулида олинган штамп деталларини пухталаш технологиясини ишлаб чиқиш	171
Панжиев О.Х., Салимова С.А., Негматов С.С., Талипов Н.Х. Изучения влияния добавок на сроки схватывания облегченных тампонажных цементов	174
Yakubov M.M., Samadova L.Sh., Karimova T.P., Maksudxodjayeva M.S. Rangli metallar ishlab chiqarishda texnogen chiqindilar	176
Сайдалиева У.Р. Анализ структурных характеристик текстильно-полимерных композитов, применяемых при формообразовании головных уборов	178
Умирзакова Ф.Б., Турдимуродов Ш.З. Инновацион вольфрам-кобальт қопламаси тузулиши, хоссалари ва ишлаш самарадорлиги	180
Saydumarov B.M. Prokatlash jo'valarining konstruksiyasi, ishlash sharoiti, ekspluatatsion xossalarini tahlili va ularning chidamliligini oshirish usullari	182
Исаходжаева Н.А. Исследование структурных характеристик современных полимерных композитов, применяемых при изготовлении цельномеховых головных уборов	184
Негматов С.С., Эрнйёзов Н.Б., Негматова К.С., Субанова З.А., Бозоров А.Н., Менгалиев Ф.А. Ишлаб чиқилган композицион ион алмашинувчи сорбентнинг физик-кимёвий ва механик хусусиятларини тадқиқ қилиш	186