

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

УДК 544.478; 544.72

ГЕТЕРОГЕННЫЕ ФЕНТОН КАТАЛИЗАТОРЫ НА ОСНОВЕ $MgFe_2O_4$, $MgL_nFe_{(2-x)}O_4$, $MgFe_2O_4@g-C_3N_4$ ДЛЯ ДЕСТРУКЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ПОЛЛЮТАНТОВ
Иванец А.И., Прозорович В.Г.

*Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси
 Минск, Республика Беларусь*

Гетерогенный Фентон процесс является одним из наиболее эффективных и широко используемых разновидностей *Advanced Oxidation Processes* (AOPs) используемых для очистки промышленных стоков от устойчивых органических поллютантов. Разработка гетерогенных Фентон катализаторов позволяет избежать недостатков гомогенного катализа и обеспечить необходимые параметры для их промышленного использования в технологиях водоочистки. Среди перспективных гетерогенных Фентон катализаторов, в настоящее время, особое место занимают ферриты металлов и композиты на их основе с узкозонными полупроводниками. Данные материалы характеризуются высокой стабильностью, развитой поверхностью, малым размером частиц, а также высокой каталитической активностью при облучении в видимом диапазоне [1].

В настоящей работе предложены высокоэффективные гетерогенные Фентон катализаторы на основе $MgFe_2O_4$, $MgL_nFe_{(2-x)}O_4$, $MgFe_2O_4@g-C_3N_4$, установлены закономерности их синтеза, а также изучены каталитические свойства в процессах деструкции органических поллютантов на примере органических красителей и нестероидных противовоспалительных препаратов [2–4].

Ибупрофен – нестероидный противовоспалительный препарат, который широко используется как обезболивающее и жаропонижающее средство для взрослых и детей. Высокий годовой расход (~200 тонн в год) и низкая метаболическая конверсия ибупрофена в организме человека приводит к присутствию его производных в очистных сооружениях сточных вод, в поверхностных водах и даже в питьевой воде. Традиционные процессы очистки воды (коагуляция/флокуляция, фильтрация и биологическая очистка) не позволяют удалять фармацевтические препараты, что обуславливает важность разработки новых методов удаления этих продуктов из водных объектов.

Фентон-подобный катализатор на основе наночастиц $MgFe_2O_4$ синтезирован глициннитратным методом. Образец феррита магния характеризуется низкой кристалличностью (па-

раметр решетки a 5,961 Å, размер кристаллитов 2,2 нм) и мезопористой структурой (удельная поверхность 14 м²/г, сорбционный объем 0,030 см³/г и средний размер пор 11 нм) и согласно СЭМ представлен в виде сферических агломератов размером около 1 мкм.

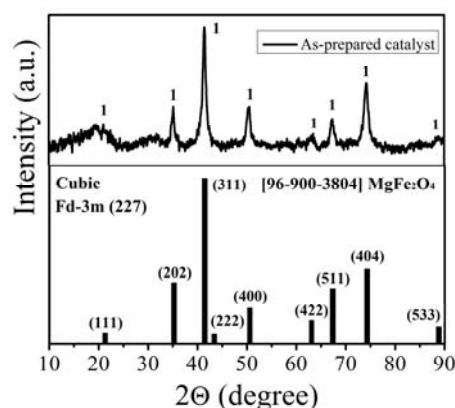


Рисунок 1 – Рентгенограмма наночастиц $MgFe_2O_4$

Изучены каталитические свойства наночастиц $MgFe_2O_4$ в процессе окислительной деструкции нестероидного противовоспалительного препарата ибупрофена. Установлено влияние условий проведения каталитического процесса на эффективность разложения ибупрофена. Показано, что при содержании катализатора 0,5 г/л, концентрации H_2O_2 20,0 ммоль/л и pH 6,0 в течение 40 мин достигается снижение концентрации ибупрофена с 10,0 мг/л до концентрации ниже предела обнаружения (рисунок 2).

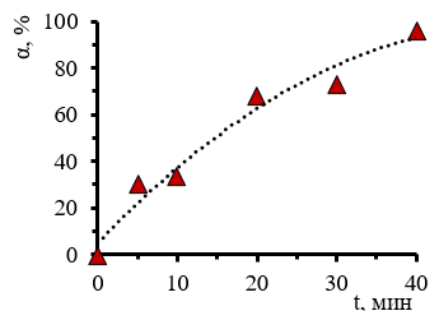


Рисунок 2 – Зависимость степени деструкции ибупрофена от времени контакта

Выявлено, что в процессе каталитической деструкции степень минерализации ибупрофена достигает 100 %. Проведенные исследования свидетельствуют о перспективности практического применения разработанного Фентон-подобного гетерогенного катализатора для очистки сточных вод от фармацевтически активных соединений.

В немногочисленных научных работах было отмечено, что даже очень небольшая концентрация ионов лантаноидов Sm^{3+} и Gd^{3+} (0,964 Å и 0,938 Å), размер которых существенно больше иона Fe^{3+} (0,645 Å), сильно влияет на структурные параметры, а также на размер и морфологию частиц, магнитоэлектрические и каталитические свойства ферритов. Таким образом, допирование ионами лантаноидов предоставляет дополнительные возможности по получению ферритов, принципиальным образом отличающихся не только структурными характеристиками, но и каталитической активностью.

Выявлено, что температура отжига и природа допанта $\text{MgLn}_x\text{Fe}_{(2-x)}\text{O}_4$ (Ln: La^{3+} , Ce^{3+} , Sm^{3+} , Gd^{3+} и Dy^{3+}) является основным фактором, определяющим кристаллическую структуру получаемых ферритов магния. Модификация ионами лантаноидов сопровождалась уменьшением размера кристаллитов D и ростом параметра a кристаллической решетки (рисунок 3). Установлено, что наличие поверхностных -ОН групп критично для гетерогенных Фентон-катализаторов.

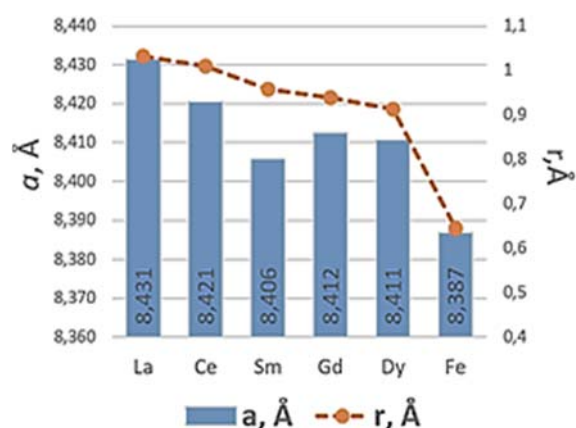


Рисунок 3 – Изменение параметра a кристаллической решетки от природы и радиуса r иона Ln^{3+}

Результатом допирования катионами редкоземельных элементов является снижение скорости разложения красителя метиленового голубого в присутствии H_2O_2 без облучения и при воздействии видимым диапазоном света. Однако при УФ-облучении образцы допированные ионами La^{3+} (1 ат.%), Ce^{3+} (10 ат.%), Dy^{3+} (10 ат.%), продемонстрировали большую активность по сравнению с недопированным MgFe_2O_4 . Соответствующие константы скорости реакции

псевдо первого порядка составили 0,56 мин^{-1} , 0,88 мин^{-1} , 0,683 мин^{-1} , в то время как для исходного MgFe_2O_4 это значение составило 0,328 мин^{-1} .

Графитоподобный нитрид углерода ($g\text{-C}_3\text{N}_4$) обычно получают простой термической конденсацией прекурсоров меламина ($\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6$), дициандиамида ($\text{C}_2\text{H}_4\text{N}_4$) или мочевины ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$). При этом $g\text{-C}_3\text{N}_4$ характеризуется дефектной структурой и малой удельной поверхностью, низкой подвижностью заряда и недостаточно высокой каталитической активностью.

В настоящей работе синтезированы композиты $\text{MgFe}_2\text{O}_4@g\text{-C}_3\text{N}_4$ тремя различными способами и исследованы их фазовый состав и кристаллическая структура. Установлено, что при смешении MgFe_2O_4 с меламином и последующей их термообработкой при 300 °C получен композит $\text{MgFe}_2\text{O}_4@g\text{-C}_3\text{N}_4$ с хорошо идентифицируемыми кристаллическими фазами MgFe_2O_4 и $g\text{-C}_3\text{N}_4$. При введении $g\text{-C}_3\text{N}_4$ в глицин-нитратный гель на стадии его нагрева образуется смесь триклинной модификации $g\text{-C}_3\text{N}_4$ и рентгеноаморфного феррита магния. Рентгеноаморфный композит $\text{MgFe}_2\text{O}_4@g\text{-C}_3\text{N}_4$ был получен при введении меламина в глицин-нитратный гель с последующими стандартными операциями получения MgFe_2O_4 , что, вероятно, может быть следствием интенсивного протекания экзотермического процесса горения глицин-нитратной смеси и поликонденсацией меламина в неравновесных условиях. Установленные закономерности синтеза композитов $\text{MgFe}_2\text{O}_4@g\text{-C}_3\text{N}_4$ важны для разработки эффективных Фентон катализаторов.

Таким образом, представленные результаты демонстрируют принципиальную возможность осуществления контроля структурных и каталитических характеристик гетерогенных Фентон катализаторов на основе MgFe_2O_4 , $\text{MgLn}_x\text{Fe}_{(2-x)}\text{O}_4$, $\text{MgFe}_2\text{O}_4@g\text{-C}_3\text{N}_4$ посредством варьирования условий синтеза. Представляется перспективным экспериментальное обоснование практического использования данных каталитических систем для очистки реальных сточных вод.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ (проект №X19ЛИТГ-007).

Литература

- Gautam P. Advanced oxidation processes for treatment of leachate from hazardous waste landfill: A critical review / P. Gautam, S. Kumar, S. Lokhandwala // Journal of Cleaner Production. – 2019. – Vol. 237. – P. 117639.
- Иванец А.И. Окислительная деструкция ибупрофена в присутствии фентон-катализатора на основе наночастиц MgFe_2O_4 . / А.И. Иванец, М.Ю. Рошина, В.Г. Прозорович. – 2019. – Т. 55. – № 3. – С. 349–355.

3. Ivanets A. Effect of metal ions adsorption on the efficiency of methylene blue degradation onto $MgFe_2O_4$ as Fenton-like catalysts / A. Ivanets, M. Roshchina, V. Srivastava et al. // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects.* – 2019. – Vol. 571, no. 1. – P. 17–26.

4. Ivanets, A. Heterogeneous Fenton oxidation using magnesium ferrite nanoparticles for ibuprofen removal from wastewater: optimization and kinetics studies / A. Ivanets, V. Prozorovich, M. Roshchina et al. // *Journal of Nanomaterials.* – 2020. – Article ID 8159628.

УДК 621

РАЗРАБОТКИ ОАО «ПЕЛЕНГ» В ОБЛАСТИ КОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Поздняков П.Г.

ОАО «Пеленг»

Минск, Республика Беларусь

С 1976 года ОАО «Пеленг» создает съемочную аппаратуру для космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). За это время сделано немало.

С 1976 по 2005 г. предприятие поставило 21 комплект топографической фотоаппаратуры для космического картографического комплекса «Комета» и 10 многозональных фотокамер МК-4 для космического комплекса «Ресурс-Ф2». В этот же период выполнены контракты в интересах Иностранных заказчиков. Но все это была пленочная целевая аппаратура.

С начала 2000-х годов ОАО «Пеленг», в соответствии с мировыми тенденциями в сфере ДЗЗ, приступило к разработке оптико-электронной целевой аппаратуры.

В июле 2012 года на орбиту были выведены Белорусский КА и однотипный российский КА «Канопус-В» с нашей целевой аппаратурой (разрешение 2 метра). Проект оказался успешным, и в настоящее время на орбите Земли находятся 7 таких КА, причем первый аппарат продолжает штатно функционировать.

Собственный космический аппарат с оптико-электронной аппаратурой (ОЭА) ОАО «Пеленг» позволил Республике Беларусь выйти на новый этап развития в области космических и геоинформационных технологий.

Следующим значимым шагом для направления космической техники в ОАО «Пеленг» стало создание системы оптико-электронного наблюдения с пространственным разрешением 60–70 см. К настоящему моменту запущено на орбиту Земли два КА, продемонстрировавшие высокое качество снимков.

Параллельно в ОАО «Пеленг» проектируется и изготавливается другая технологичная аппаратура космического назначения.

Разработан уникальный гиперспектрометр, выполняющий одновременную съемку в 60-ти спектральных каналах для автоматической идентификации объектов и определения их свойств по спектральному составу отраженного излучения, в том числе обеспечивая возможность измерять параметры атмосферы с целью компенсации ее влияния на качество снимков.

Разработаны датчики ориентации по звездам, служащие для определения угловой ориентации КА в пространстве, а также система повышения точности определения угловой ориентации съемочной аппаратуры.

Созданы и лазерные высотомеры – оптико-электронные комплексы, предназначенные для измерения высоты рельефа местности с целью создания топографических карт, а также стереоскопические системы для создания 3D-модели рельефа поверхности Земли с пространственным разрешением менее 1 м и точностью определения высоты на уровне 1 м.

В настоящее время ОАО «Пеленг» осуществляет разработку съемочной аппаратуры следующего поколения с разрешением 0,3–0,4 м. Объектив ОЭА выполнен по зеркальной усовершенствованной схеме, оснащен удаленной подсистемой юстировки и фокусировки, диаметр главного зеркала – 1100 мм. Фотоприемники проектируются и изготавливаются белорусским предприятием. Также ОЭА сможет выполнять видеосъемку длительностью до 80 секунд.