

УДК 620.3

Синтез нанодисперсных оксидных материалов и исследование их пероксидазоподобной активности на примере наночастиц диоксида церия

Хрусталеv Андрей Николаевич¹ andrew.hrustalev@mail.ru

Тесник Юлия Валерьевна² dtesnik@yandex.ru

¹ МБОУ «СОШ № 21», Калуга, Россия

² ГАУ КО «Центр Развитие» (СП «Региональный центр одаренных детей» Калужской области), Калуга, Россия

Рассмотрена возможность синтеза наночастиц диоксида церия по семи методикам. Установлены оптимальные варианты синтеза и стабилизации частиц. Получены золи диоксида церия с размером частиц от 3 до 530 нм, полученные золи охарактеризованы методами ТГА, РФА, ДСР, РЭМ, ИК-спектроскопии, выявлено, что для стабилизации золь наночастиц диоксида церия можно успешно применять электростатическую стабилизацию, а также применять органические кислоты, установлено, что наибольшую каталитическую активность проявил золь, стабилизированный цитратом аммония.

Ключевые слова: наночастицы диоксида церия, стабилизация наночастиц, пероксидазоподобная активность

Нанотехнология — одно из перспективных направлений в современной науке и технике. В последние годы наблюдается огромный интерес к изучению свойств наночастиц, а также поиску областей их применения. Цель исследования: сравнение физико-химических характеристик и пероксидазоподобной активности наночастиц диоксида церия, полученных различными методами синтеза. Для достижения цели нами поставлены следующие задачи: 1) синтезировать золи CeO_2 различными способами и определить их концентрации; 2) охарактеризовать полученные золи методами: динамического светорассеивания (ДСР), рентгенфазового анализа (РФА), инфракрасной-спектроскопии (ИК-спектроскопии) и ультрафиолетовой спектроскопии (УФ-спектроскопии); 3) оценить пероксидазоподобную активность наночастиц CeO_2 на примере окисления 3,3',5,5'-тетраметилбензидина (ТМБ); 4) выявить методику синтеза, которая позволяет получить наночастицы с наиболее выраженной пероксидазоподобной активностью. Объект исследования: наночастицы диоксида церия. Предмет исследования: физико-химические свойства и пероксидазоподобная активность наночастиц диоксида церия. Гипотеза исследования: пероксидазоподобная активность наночастиц диоксида церия зависит от метода стабилизации.

Практическая часть работа была проведена на Образовательной программе в рамках XXII Менделеевского съезда по общей и прикладной химии в Сириусе г. Сочи.

Для синтеза и стабилизации наночастиц были применены следующие методы [1, 2]: синтез наночастиц CeO_2 , стабилизированных цитратом аммония; синтез золя CeO_2 , стабилизированного полиакриловой кислотой; синтез золя CeO_2 , допированного европием, гадолинием, неодимом; синтез наночастиц, стабилизированных цитратом аммония и электростатически; синтез золя CeO_2 , стабилизированного электростатически. На втором этапе исследования были изучены физико-химические свойства наночастиц и золя: концентрация, размер частиц, стабильность золя, морфология частиц, состав дисперсной фазы, связь со стабилизатором методами ДРС, РФА, ИК- и УФ-видимой спектроскопии. На третьем этапе исследования была установлена пероксидазоподобная активность наночастиц синтезированных разными методами [3]. Методика оценки пероксидазоподобной активности включала использование спектрофотометра для измерения оптической плотности раствора при окислении субстрата 3,3',5,5'-тетраметилбензидином (ТМБ) [2, 4]. Качественное доказательство наличия частиц диоксида церия проводилось на ИК-спектрах при $420\text{--}442\text{ см}^{-1}$. Форму наночастиц установили с помощью микроскопирования. Частицы не сферические. Допированные частицы качественно проверяли методом рентгеноспектрального микроанализа. По результатам анализа подтвердили успешное допирование только Nd. С помощью метода РФА доказали, что самые высокие и узкие пики у наночастиц диоксида церия, стабилизированных электростатически и цитратом аммония. Золи с наименьшим размером были получены гидротермальным методом. Кинетические исследования основывались на получении и исследовании кривых зависимости изменения оптической плотности от времени каталитической реакции при длине волны 652 нм на спектрофотометре. Для определения каталитической активности золь рассчитывали константу Михаэлиса (K_m) и K_{cat} (кинетический параметр, который измеряет максимальное количество молекул субстрата, превращаемых ферментом в продукт за единицу времени, когда фермент полностью насыщен субстратом) по графику в программе Origin Pro. Каталитическую активность золь рассчитывали как отношение K_{cat} к K_m . Исходя из расчетов, полученных по графикам после окисления 3,3',5,5'-тетраметилбензидина, выявлено, что наибольшей пероксидазоподобной активностью обладает золь, частицы которого были стабилизированы цитратом аммония.

В ходе работы получены золи диоксида церия с размером частиц от 3 до 530 нм, полученные золи охарактеризованы методами ТГА, РФА, ДСР, РЭМ, ИК-спектроскопии, выявлено, что для стабилизации золя наночастиц диоксида церия можно успешно применять электростатическую стабилизацию, а также применять органические кислоты, установлено, что наибольшую каталитическую активность проявил золь, стабилизированный цитратом аммония.

Цели и задачи исследования достигнуты. Гипотеза подтвердилась: пероксидазоподобная активность наночастиц диоксида церия зависит от метода стабилизации. Несмотря на достаточную достоверность и проработку исследования, проект требует дальнейшего развития.

Литература

- [1] *Наночастицы оксида церия: свойства, биосинтез и биомедицинское применение*. URL: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2020/ra/d0ra04736h> (дата обращения 01.10.2024).
- [2] Маслова С.А., Бажукова И.Н., Мышкина А.В. и др. Физико-химические свойства и антиоксидантная активность наночастиц оксида церия, стабилизированных мальтодекстрино. *Физика твердого тела*, 2021, т. 63, вып. 12, с. 2020–2027.
- [3] Емельянов В.В., Максимова Н.Е., Мочульская Н.Н. *Биохимия*. Екатеринбург, Изд-во Урал. ун-та, 2016, 132 с.
- [4] Ремпель А.А., Валеева А.А. *Материалы и методы нанотехнологий*. Екатеринбург, Изд-во Урал. ун-та, 2015, 136 с.

Synthesis of nanodisperse oxide materials and investigation of their peroxidase-like activity using the example of cerium dioxide nanoparticles

Khrustalev Andrey Nikolaevich¹

andrew.hrustalev@mail.ru

Tesnick Julia Valeryevna²

dtesnik@yandex.ru

¹ MBOU Secondary School No. 21, Kaluga, Russia

² GAU CO Center for Development (Regional Center for Gifted Children of Kaluga region), Kaluga, Russia

The possibility of synthesizing cerium dioxide nanoparticles using seven methods is considered. Optimal options for particle synthesis and stabilization have been established. Cerium dioxide sols with a particle size from 3 nm to 530 nm were obtained, the obtained sols were characterized by the methods of TGA, XFA, DSR, SEM, and IR spectroscopy, it was found that electrostatic stabilization can be successfully applied to stabilize the sol of cerium dioxide nanoparticles, as well as organic acids, and it was found that sol showed the greatest catalytic activity stabilized with ammonium citrate.

Keywords: cerium dioxide nanoparticles, nanoparticle stabilization, peroxidase-like activity