

УДК 544.77+66.049

Влияние условий криохимического синтеза частиц магнетита и маггемита на их размер и структуру

Шумилкин Алексей Сергеевич^{1,2}

alexpard99@gmail.com

SPIN-код: 4957-1719

Верная Ольга Ивановна^{1,2(*)}

vernayaoi@my.msu.ru

SPIN-код: 1805-3623

Кравченко Анна Станиславовна¹

anna.kravchenko@chemistry.msu.ru

Панкратов Денис Александрович¹

pankratov@radio.chem.msu.ru

SPIN-код: 3688-5969

Шабатина Татьяна Игоревна^{1,2}

tatyana-shabatina@yandex.ru

SPIN-код: 3678-9242

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия² МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Аннотация. Магнитные и суперпарамагнитные наночастицы в последние десятилетия находят широкое применение в медицине и фармакологии для диагностики и лечения различных заболеваний. В настоящей работе показано, что варьирование условий (природы предшественника) и методики (термическое разложение криомодифицированных солей, криохимическое осаждение или соосаждение) криохимического синтеза приводит к формированию частиц оксидов железа различного состава, с различным размером и морфологией.

Ключевые слова: суперпарамагнитные наночастицы, криохимия, оксиды железа, магнетит, маггемит, криохимический синтез

The influence of cryochemical synthesis conditions on the size and structure of magnetite and maghemite

Shumilkin Alexey Sergeevich^{1,2}

alexpard99@gmail.com

SPIN-code: 4957-1719

Vernaya Olga Ivanovna^{1,2(*)}

vernayaoi@my.msu.ru

SPIN-code: 1805-3623

Kravchenko Anna Stanislavovna¹

anna.kravchenko@chemistry.msu.ru

Pankratov Denis Alexandrovich¹

pankratov@radio.chem.msu.ru

SPIN-code: 3688-5969

Shabatina Tatyana Igorevna^{1,2}

tatyana-shabatina@yandex.ru

SPIN-code: 3678-9242

¹ BMSTU, Moscow, Russia² Lomonosov MSU, Moscow, Russia

Abstract. Magnetic and superparamagnetic nanoparticles have been widely used in medicine and pharmacology for the diagnosis and treatment of various diseases over the past

decade. In this work, it is shown that varying the conditions (the nature of the precursor) and the technique (thermal decomposition of cryomodified salts, cryochemical precipitation, or co-precipitation) of cryochemical synthesis leads to the formation of iron oxide particles of various compositions, with different sizes and morphologies.

Keywords: superparamagnetic nanoparticles, cryochemistry, iron oxides, magnetite, maghemite, cryochemical synthesis

Введение. Наночастицы магнетита, маггемита, обладают уникальными магнитными свойствами, низкой токсичностью и высокой биосовместимостью. Они имеют высокий потенциал в качестве магнитных векторов для направленной доставки лекарств, магнитных агентов для МРТ и магнитной гипертермии. Их используют для разделения и отслеживания магнитной маркировки клеток в тканевой инженерии и клинической диагностике.

При снижении размера ниже размера магнитного домена, они переходят в суперпарамагнитное состояние. Суперпарамагнитные наночастицы характеризуются высоким значением намагниченности насыщения, отсутствием остаточного магнетизма. Суперпарамагнитные частицы размером менее 10 нм являются оптимальными агентами для МРТ [1]. Криохимические технологии при получении наноматериалов позволяют повысить эффективность и экологичность синтеза, получать материалы с различными размерными и структурными характеристиками.

Методы и материалы; результаты. В настоящей работе путем варьирования условий криохимического синтеза получены магнитные оксиды железа различного размера и структуры. Методы распылительной сублимационной сушки, примененные к водным растворам солей железа с последующим термическим разложением полученных прекурсоров, позволяют получать частицы маггемита ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) размером от десятков нанометров (в случае формиата железа II и ацетилацетоната железа III), до микронных пластинчатых (в случае аммоний цитрата железа III) и пористых структур (в случае глюконата железа II) [2]. Криохимическое соосаждение солей двух- и трехвалентного железа позволяет снизить средний размер наночастиц оксида железа до 6 нм. Однако полученный нанопорошок содержит помимо суперпарамагнитных частиц магнетита (Fe_3O_4) игольчатые частицы гетита ($\alpha\text{-FeOOH}$) с нежелательными антиферромагнитными свойствами. Осаждение сульфата железа II аммиаком с поверхности криогранул на воздухе позволяет получать нанопорошок магнитного оксида железа, свободный от примеси частиц гетита со средним размером 10 нм.

Заключение. Показано, что, варьируя условия криохимического синтеза можно получать магнитные оксиды железа различной структуры (пористые материалы, микронные пластинка, наночастицы со средним размером в десятки нм или размером менее 10 нм).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 25-43-01023).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] Shabatina T., Vernaya O., Shumilkin A. et al. Nanoparticles of bioactive metals/metal oxides and their nanocomposites with antibacterial drugs for biomedical applications. *Materials*, 2022, vol. 15, no. 10, art. no. 3602.
- [2] Верная О.И., Шумилкин А.С., Шабатин А.В. и др. Синтез наночастиц оксидов железа термическим разложением криохимически модифицированных прекурсоров. *Вестник Московского университета. Серия 2: Химия*, 2023, т. 64, № 1, с. 3–10.