

## СИНТЕЗ, СТРУКТУРА И СВОЙСТВА АЭРОГЕЛЯ МАГНЕТИТА

Беляева А.А., Анастасова Е.Я.

(Университет ИТМО, Санкт-Петербург)

Научный руководитель – д.х.н, доцент Виноградов В.В.

(Университет ИТМО, Санкт-Петербург)

### Аннотация

В этой работе был получен аэрогель магнетита без использования дополнительных гелирующих агентов (ПАВ, пропиленоксид). Это было достигнуто путем концентрирования исходного золя магнетита (2%) до концентраций 20-25%, что приводило к образованию гелей. Полученный магнетитовый аэрогель обладает высокими магнитными свойствами, развитыми поверхностными характеристиками и низкой плотностью. Все вышеперечисленные свойства позволяют применять материал в биомедицине, например, для остановки кровотечений.

### Введение.

Несмотря на то, что аэрогели являются распространенными материалами, их потенциал не полностью раскрыт. Есть несколько проблем с получением однокомпонентного магнитного аэрогеля. Во-первых, гелеобразование исходного золя затруднено, в следствие, магнитные частицы агрегируют из-за слабых взаимодействий (диполь-дипольные, ван-дер-ваальсовы, электростатические). Образующийся аэрогель характеризуется повышенной хрупкостью. Во-вторых, на прочность структуры (механические свойства) геля влияет выбор растворителя при пробоподготовке перед сверхкритической сушки. В большинстве литературных источников решением обозначенной проблемы является введение в золь. В данном исследовании был получен однокомпонентный аэрогель на основе золя магнетита без использования таких добавок, как ПАВ, полимеры, пропиленоксид. Дополнительным преимуществом выбранного материала является его биосовместимость и способность к отклику при воздействии магнитного поля. Магнетит имеет сертификацию FDA для парентерального введения, что определяет его потенциальные применения для биомедицины. Высокопористая структура полученного материала открывает широкие возможности для его дальнейшей модификации, например, в поры аэрогеля инкопорировать (поры аэрогеля можно функционализировать) различные гемостатические или антибактериальные агенты. Подобный многофункциональный материал является перспективным для контролируемой доставки физиологических активных компонентов и лекарственных средств под действием магнитного поля.

### Основная часть.

Классический синтез аэрогеля состоит из нескольких этапов: получение гидрозоль из раствора прекурсоров, перевод золя в гель и дальнейшая сверхкритическая сушка геля в жидком углекислом газе. Стабильный гидрозоль магнетита был получен методом соосаждения хлоридов железа II и III с последующей ультразвуковой обработкой. Чтобы получить стабильный гидрогель, из которого можно получить аэрогель, исследовали механизм физического гелеобразования гидрозоль магнетита. Было обнаружено, что путем выпаривания исходного 2%-ного гидрозоль были получены высококонцентрированные гели (до 30%). Образование геля происходит путем концентрирования гидрозоль магнетита, то есть уменьшением количества растворителя, что приводит к образованию монолитов геля высокой плотности (до 6 г / см<sup>3</sup>).

Следующим этапом была сверхкритическая сушка. Основным параметром, который варьировался в камере, было время выдержки в жидком углекислом газе. Чтобы получить аэрогель с минимальной деформацией используют легколетучие растворители в качестве растворителя-наполнителя пор. Поэтому важно было выбрать растворитель, при высыхании которого структура материала не будет разрушена. В качестве растворителя использовали

ацетон, этанол, метанол, изопропанол. Стоит отметить, что плотные монолиты можно было получить только с использованием ацетона, так как углекислый газ медленнее смешивается с ацетоном, находящимся в реакторе, за счет чего не происходит увеличения объема жидкой фазы и в результате конструкция не разрушается.

Анализ поверхностных свойств полученного аэрогеля магнетита показал, что объем и диаметр пор почти в 5 раз больше, чем у ксерогеля такого же состава. При этом плотность аэрогеля в 17 раз ниже значения плотности ксерогеля. Это доказывает получение именно аэрогеля. Исследование магнитных свойств материалов показало, что синтезируемые объекты суперпарамагнитны с высокими значениями намагниченности насыщения до  $75 \text{ A} \cdot \text{m}^2/\text{кг}$ .

Исследование свертывания цельной крови выявило гемостатический потенциал чистого аэрогеля магнетита, аэрогеля с добавкой аминокaproновой кислоты и аэрогеля с добавкой гентамицина натрия. В качестве эталона использовали значение абсорбции пустой группы. Магнетитовый аэрогель и композитные аэрогели показали значительно улучшенные гемостатические свойства по сравнению с одной кровью, антикоагулянтная кровь полностью абсорбировалась аэрогелем. Это было связано с правильно ориентированной губчатой структурой чистого аэрогеля и композитного аэрогеля, которая позволяла крови быстро абсорбироваться за счет полного контакта.

### **Выводы.**

В итоге мы представляем аэрогель, полностью состоящий из наночастиц магнетита. Ключевыми факторами для успешного получения этого материала являются концентрирование исходного гидрозоля до необходимой концентрации. Полученные материалы демонстрируют развитые поверхностные свойства наряду с высокой намагниченностью и низкой плотностью, что позволяет использовать этот материал в медицине, например, для остановки кровотечений.

Беляева А.А. (автор)

Подпись

Виноградов В.В. (научный руководитель)

Подпись