

Предисловие

Нестихающий интерес научного сообщества к нанотехнологиям обусловил появление обширного пласта литературы, посвященной синтезу и применению наночастиц. За последнее десятилетие по этой тематике во всем мире опубликованы десятки тысяч статей, сотни обзоров и монографий. Только на русском языке за период 2009—2019 гг. издано не менее тридцати книг, включая учебные пособия (см., например¹). Предлагаемая читателю монография дополняет это множество. Специфика книги состоит в том, что в ней подробно рассмотрены вопросы химического модифицирования поверхности наночастиц, синтеза ассоциатов и конъюгатов, обладающих комплексом полезных физических, физико-химических или биологических свойств.

Химически модифицированные неорганические наночастицы представляют собой гибридные материалы, физические свойства которых определяются природой наночастицы, а химические — составом и строением привитого слоя. Основное содержание книги как раз и посвящено методам синтеза привитого слоя на поверхности металлических, оксидных, полупроводниковых, галогенидных, солевых и углеродных наночастиц.

¹ Физико-химия наночастиц обстоятельно рассмотрена в следующих монографиях и учебных пособиях, изданных в последнее десятилетие:

Суздалев И. П. Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. — М.: URSS, 2019. — 592 с.

Елисеев А. А., Лукашин А. В. Функциональные наноматериалы. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. — 456 с.

Воротынцева В. М. Наночастицы в двухфазных системах. — М.: Известия, 2010. — 320 с.;

Цивадзе А. Ю., Ионова Г. В., Ионов С. П., Михалко В. К., Герасимова Г. А. Химия акти-нидных наночастиц. — М.: Граница, 2015. — 524 с.

Долматов В. Ю. Детонационный наноалмаз. Получение, свойства, применение. — СПб.: НПО «Профессионал», 2011. — 536 с.

Детонационные наноалмазы. Технология, структура, свойства и применения. Сборник статей под ред. *А. Я. Вуля и О. А. Шендеровича*. СПб.: ФТИ им. А. Ф. Иоффе, 2016. — 380 с.

Заводинский В. Г. Компьютерное моделирование наночастиц и наносистем: спецкурс. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013. — 174 с.

Ситникова В. Е., Успенская М. В., Олехнович Р. О. Наночастицы в медицине и биотехнологии: Учебное пособие. — Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2018. — 164 с.

Раков Э. Г. Неорганические наноматериалы: учебное пособие. — М.: БИНОМ, 2015. — 480 с.



Заметим, что коллоидные растворы, иными словами дисперсии наночастиц, металлов, многих оксидов и некоторых солей, химики научились получать задолго до нынешнего «нанотехнологического бума» — еще столетия тому назад, однако методы синтеза конъюгатов наночастиц с биологически активными и лекарственными веществами, методы направленного изменения свойств поверхности были разработаны лишь в последние десятилетия. Произошло это главным образом в связи с запросами практики.

Примерно 40 лет тому назад было зафиксировано значительное увеличение сигнала комбинационного рассеяния органических молекул вблизи поверхности серебряных или золотых наночастиц. Этот эффект позже получил название гигантского комбинационного рассеяния (ГКР). Коэффициент усиления сигнала ГКР может достигать 10^9 – 10^{10} раз, т. е. возникает реальная возможность детектировать ничтожно малые количества вещества.

Наночастицы соединений редкоземельных элементов вызывают все больший интерес, в первую очередь благодаря их возможному использованию в качестве лекарственных препаратов, контрастных агентов для магнитно-резонансной томографии и биовизуализации, а также медикаментов в нейтронозахватной терапии рака. Эти материалы используются как люминофоры и компоненты оптических устройств, в частности в приборах ночного видения и тепловизорах.

Наночастицы благородных металлов с химически привитыми к их поверхности олигонуклеотидами (аптамерами) представляют собой исключительно селективные сорбенты. Их активно используют для определения различных биоорганических соединений.

Перспективное направление практического применения модифицированных наночастиц — биомедицина. На основе этих материалов уже разработаны и проходят доклинические испытания средства направленного транспорта лекарственных веществ, а также связывания токсинов в целях их последующего выведения. В качестве носителей преимущественно используются ферромагнитные материалы — наночастицы магнетита, но все большее внимание исследователей привлекают углеродные наночастицы — нанотрубки, графен и детонационный наноалмаз.

Обширные и постоянно расширяющиеся сферы применения находят магнитные жидкости — золи ферромагнитных наночастиц, прежде всего магнетита.

Химически модифицированные наночастицы благородных металлов находят применение в аналитической химии для определения неорганических, органических и биологических соединений.

Нанокристаллы гидроксилapatита, поверхностно модифицированные биологически активными веществами, представляют интерес как материалы для остеопластики.

Модификаторы поверхности позволяют регулировать размер и форму наночастиц, их свойства (устойчивость к агрегации, биосовместимость, лиофильность), что крайне важно, например, для изучения распределения частиц по организму и их проникновения в клетки.

Специфическое взаимодействие некоторых органических соединений с поверхностью дисперсных минералов лежит в основе действия собирателей — ключевых реагентов процессов флотации.

Приведенный краткий перечень не исчерпывает всех реальных и потенциальных направлений практического применения поверхностно-модифицированных наночастиц.

Модифицирование поверхности высокодисперсных неорганических веществ представляет собой часть химии привитых поверхностных соединений — раздела физической химии, который систематически разрабатывается в нашей лаборатории на химическом факультете МГУ имени М. В. Ломоносова в течение последних 40 лет. Настоящая книга завершает цикл из четырех монографий, посвященных разным классам модификаторов и носителей².

Цитируемый библиографический материал охватывает преимущественно публикации последних 10—15 лет. В связи со все возрастающим

² Лисичкин Г. В., Юффа А. Я. Гетерогенные металлокомплексные катализаторы. — М.: Химия, 1980. — 160 с.

Модифицированные кремнеземы в сорбции, катализе и хроматографии. Под ред. Г. В. Лисичкина. — М.: Химия, 1986. — 248 с.

Химия привитых поверхностных соединений. Под ред. Г. В. Лисичкина. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. — 592 с.

потоком информации и ограниченным объемом книги нами приведены главным образом ключевые оригинальные работы.

Следует иметь в виду, что авторы, будучи активно работающими исследователями, имеют собственные предпочтения и даже пристрастия в рассматриваемой области. Поэтому глава об углеродных наночастицах содержит явно выраженный уклон в сторону детонационного наноалмаза, изучению которого авторы посвятили много времени и сил. Не все аспекты физикохимии неорганических наночастиц охвачены, почти не отражена тематика, связанная с математическим моделированием поверхности и квантово-химическими расчетами. В книге намеренно не рассмотрен такой важный класс наночастиц, как фуллерены. Это обусловлено тем, что произошло становление целой области химии — химия органических и неорганических производных фуллеренов (см. фундаментальную коллективную монографию³). По-видимому, имеются и другие пробелы. Мы будем благодарны читателям за любые замечания и рекомендации.

В книге обобщены научные результаты, полученные при выполнении грантов РФФИ 08-03-00511, 11-03-00543, 13-08-00647, 14-03-00423, 16-08-1156.

Благодарим сотрудников и аспирантов лаборатории химии поверхности Алексея Владимировича Карпухина, Владимира Владимировича Королькова, Тимура Радиковича Низамова, Анатолия Викторовича Сафронихина, Татьяну Николаевну Щербу, Руслана Юрьевича Яковлева, материалы диссертаций которых были использованы при написании этой книги.

Считаем своим долгом поблагодарить сотрудников лаборатории химии поверхности доктора химических наук Г. В. Эрлиха и кандидата химических наук П. Г. Мингалёва за полезные обсуждения и замечания.

Профессор Г. В. Лисичкин
химический факультет МГУ, июнь 2020 г.

³ Сидоров Л. Н., Юровская М. А., Борщевский А. Я., Трушков И. В., Иоффе И. Н. Фуллерены. — М.: Экзамен, 2004. — 688 с.