



Лисичкин Г.В., Оленин А.Ю., Кулакова И.И.

**МОДИФИЦИРОВАНИЕ
ПОВЕРХНОСТИ НЕОРГАНИЧЕСКИХ
НАНОЧАСТИЦ**

Г.В. Лисичкин, А.Ю. Оленин, И.И. Кулакова

**Модифицирование поверхности
неорганических наночастиц**

ТЕХНОСФЕРА
Москва
2020



*Издание осуществлено при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований
по проекту № 20-13-00007, не подлежит продаже*

УДК 546.3
ББК 24.1
Л63

Л63 Лисичкин Г.В., Оленин А.Ю., Кулакова И.И.
Модифицирование поверхности неорганических наночастиц
М.: ТЕХНОСФЕРА, 2020. – 394 с. ISBN 978-5-94836-602-9

Книга посвящена систематическому изложению методов синтеза, особенностям строения, исследованию и применению поверхностно модифицированных неорганических наночастиц – металлов, оксидов, галогенидов, квантовых точек, углеродных нанотрубок, графена и детонационного наноалмаза. Химически модифицированные неорганические наночастицы представляют собой гибридные материалы, физические свойства которых определяются в основном природой наночастицы, а химические – составом и строением привитого слоя.

Изложены основные направления практического применения модифицированных наночастиц и их конъюгатов с биологически активными и лекарственными веществами: химический анализ, селективная сорбция, катализ, флотация, магнитно-резонансная томография и биовизуализация, фармакология и др.

Цитируемый библиографический материал охватывает преимущественно публикации последних 10–15 лет.

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.

Книга адресована широкому кругу научных работников, занимающихся применением и исследованием наночастиц при решении физико-химических, биомедицинских, технологических и материаловедческих задач. Она представляет интерес и для студентов и аспирантов, обучающихся по специальностям, связанным с нанотехнологиями.

УДК 546.3
ББК 24.1

© Лисичкин Г.В., Оленин А.Ю., Кулакова И.И., 2020
© АО «РИЦ «ТЕХНОСФЕРА», оригинал-макет, оформление, 2020

ISBN 978-5-94836-602-9

Содержание

Предисловие	6
Глава 1. Металлические наночастицы	10
1.1. О модифицировании поверхности наночастиц неблагородных переходных металлов.....	10
1.2. Химическое модифицирование поверхности наночастиц благородных металлов.....	12
1.3. Модифицированные наночастицы металлов в неводных средах.....	23
1.4. Применение химически модифицированных наночастиц золота и серебра.....	27
1.4.1. Фармакология и смежные области.....	27
1.4.2. Применение в неорганическом анализе.....	31
1.4.3. Определение органических соединений.....	39
1.4.4. Определение биоорганических соединений.....	48
1.5. Наночастицы металлов в ионных жидкостях.....	53
1.5.1. Получение и стабилизация зольей металлов в ионных жидкостях.....	54
1.5.2. Строение зольей металлов в ионных жидкостях.....	61
1.5.3. Каталитические свойства зольей металлов в ионных жидкостях.....	64
1.5.4. Другие направления применения.....	70
Заключение.....	72
Литература к главе 1.....	73
Глава 2. Наночастицы оксидов	102
2.1. Методы получения наночастиц оксидов из растворов.....	103
2.2. Поверхностные функциональные группы — реакционные центры для химического модифицирования наночастиц оксидов.....	108
2.3. Метод иммобилизации. Одностадийное химическое модифицирование поверхности наночастиц оксидов.....	109

2.4. Метод сборки на поверхности. Последовательное химическое модифицирование поверхности наночастиц оксидов	120
2.5. Методы исследования химически модифицированных наночастиц оксидов	129
2.6. Применение химически модифицированных наночастиц оксидов	131
Заключение	141
Литература к главе 2	142
Глава 3. Наночастицы галогенидов металлов	159
3.1. Фторид кальция	160
3.2. Фториды лантаноидов	163
3.2.1. Модифицирование поверхности сформированных наночастиц LnF_3	164
3.2.2. Модифицирование наночастиц LnF_3 <i>in situ</i>	172
3.2.3. Гидрофобизация наночастиц фторидов лантаноидов	177
3.3. Хлорид натрия	180
3.3.1. Синтез высокодисперсного хлорида натрия	182
3.3.2. Модифицирование поверхности наночастиц хлорида натрия	191
Литература к главе 3	196
Глава 4. Наночастицы полупроводников	208
4.1. Физические основы эффектов, реализующихся в квантовых точках полупроводников	208
4.2. Получение наночастиц полупроводников	210
4.2.1. Кремний	211
4.2.2. Полупроводниковые наночастицы $\text{A}^{\text{II}}\text{B}^{\text{VI}}$ и $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$	213
4.3. Модифицирование поверхности наночастиц полупроводников	215
4.4. Применение модифицированных квантовых точек и их конъюгатов	222
Литература к главе 4	224

Глава 5. Высокодисперсные соли кислородных кислот	230
5.1. Модифицирование поверхности — основа процесса флотации.....	231
5.2. Методы модифицирования поверхности наночастиц солей кислородных кислот.....	236
5.2.1. Модифицирование сформированной поверхности.....	236
5.2.2. Модифицирование <i>in situ</i>	243
5.2.3. Химические превращения привитого слоя.....	246
Литература к главе 5.....	248
Глава 6. Углеродные наночастицы	255
6.1. Углеродные материалы.....	255
6.1.1. Аллотропные формы углерода.....	259
6.1.2. Получение углеродных наночастиц.....	262
6.1.3. Строение поверхности углеродных наночастиц.....	278
6.1.4. Функционализация поверхности углеродных наночастиц.....	282
6.2. Химическое модифицирование углеродных наночастиц.....	286
6.2.1. Детонационный наноалмаз.....	286
6.2.2. Углеродные нанотрубки.....	305
6.2.3. Графен.....	328
6.3. Конъюгаты биологически активных и лекарственных веществ с углеродными наночастицами.....	338
6.3.1. Иммобилизация биологически активных веществ на поверхности детонационного наноалмаза.....	338
6.3.2. Иммобилизация биомолекул и БАВ на углеродных нанотрубках.....	353
Применение модифицированных УНТ в биомедицине.....	356
Литература к главе 6.....	360