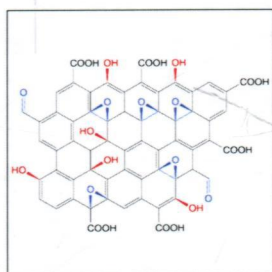


# Х И М И И

Г.В. ЛИСИЧКИН  
А.Ю. ОЛЕНИН  
И.И. КУЛАКОВА

## Химия поверхности неорганических наночастиц



ТЕХНОСФЕРА



# М И Р Х И М И И

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

**Химия поверхности  
неорганических наночастиц**

ТЕХНОСФЕРА  
Москва  
2021

**УДК 546.3**  
**ББК 24.1**  
**Л63**

**Л63 Лисичкин Г.В., Оленин А.Ю., Кулакова И.И.**

**Химия поверхности неорганических наночастиц**  
**М.: ТЕХНОСФЕРА, 2020. – 380 с. ISBN 978-5-94836-613-5**

В книге систематически изложены основные аспекты химии поверхности неорганических наночастиц – металлов, оксидов, галогенидов, полупроводников, наноалмаза, графена, углеродных нанотрубок. Описаны особенности строения поверхности наночастиц, их реакционная способность, синтез привитых поверхностных соединений. Рассмотрены как уже известные, так и перспективные области практического использования поверхностно-модифицированных наночастиц, ассоциатов и конъюгатов наночастиц с биологически активными и лекарственными веществами: селективная адсорбция, химический и биохимический анализ, фармакология, биовизуализация, магнитно-резонансная томография, катализ, флотация и др.

Обширные библиографические списки охватывают оригинальные и обзорные работы, выполненные в последние 10–15 лет.

Книга предназначена научным работникам и инженерам, занимающимся применением наночастиц при решении материаловедческих, биомедицинских, физико-химических, технологических и других подобных задач. Она может быть полезна студентам и аспирантам, обучающимся 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 978-5-94836-613-5**

# Содержание

<b>Предисловие</b> .....	<b>6</b>
<b>Глава 1. Металлические наночастицы</b> .....	<b>12</b>
1.1. О модифицировании поверхности наночастиц неблагородных переходных металлов.....	12
1.2. Химическое модифицирование поверхности наночастиц благородных металлов.....	14
1.3. Модифицированные наночастицы металлов в неводных средах.....	25
1.4. Применение химически модифицированных наночастиц золота и серебра.....	29
1.4.1. Фармакология и смежные области.....	29
1.4.2. Применение в неорганическом анализе.....	33
1.4.3. Определение органических соединений.....	41
1.4.4. Определение биоорганических соединений.....	50
1.5. Наночастицы металлов в ионных жидкостях.....	55
1.5.1. Получение и стабилизация зольей металлов в ионных жидкостях.....	56
1.5.2. Строение зольей металлов в ионных жидкостях.....	63
1.5.3. Каталитические свойства зольей металлов в ионных жидкостях.....	66
1.5.4. Другие направления применения.....	72
Заключение.....	74
Литература к главе 1.....	76
<b>Глава 2. Наночастицы оксидов</b> .....	<b>92</b>
2.1. Методы получения наночастиц оксидов из растворов.....	93
2.2. Поверхностные функциональные группы — реакционные центры для химического модифицирования наночастиц оксидов.....	98
2.3. Метод иммобилизации. Одностадийное химическое модифицирование поверхности наночастиц оксидов.....	99

2.4. Метод сборки на поверхности. Последовательное химическое модифицирование поверхности наночастиц оксидов.....	110
2.5. Методы исследования химически модифицированных наночастиц оксидов.....	119
2.6. Применение химически модифицированных наночастиц оксидов.....	121
Заключение.....	131
Литература к главе 2.....	132
<b>Глава 3. Наночастицы галогенидов металлов.....</b>	<b>142</b>
3.1. Фторид кальция.....	143
3.2. Фториды лантаноидов.....	146
3.2.1. Модифицирование поверхности сформированных наночастиц $\text{LnF}_3$ .....	147
3.2.2. Модифицирование наночастиц $\text{LnF}_3$ <i>in situ</i> .....	155
3.2.3. Гидрофобизация наночастиц фторидов лантаноидов.....	160
3.3. Хлорид натрия.....	163
3.3.1. Синтез высокодисперсного хлорида натрия.....	165
3.3.2. Модифицирование поверхности наночастиц хлорида натрия.....	175
Литература к главе 3.....	179
<b>Глава 4. Квантовые точки.....</b>	<b>187</b>
4.1. Модифицирование поверхности наночастиц полупроводников.....	189
4.1.1. Наночастицы кремния.....	189
4.1.2. Наночастицы $\text{A}^{\text{II}}\text{B}^{\text{VI}}$ и $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$ .....	193
4.2. Процессы преобразования привитого слоя.....	197
4.3. Стабилизация квантовых точек аминокислотами.....	199
Заключение.....	200
Литература к главе 4.....	201

<b>Глава 5. Высокодисперсные соли кислородных кислот</b> .....	<b>206</b>
5.1. Модифицирование поверхности — основа процесса флотации.....	207
5.2. Методы модифицирования поверхности наночастиц солей кислородных кислот.....	212
5.2.1. Модифицирование сформированной поверхности.....	212
5.2.2. Модифицирование <i>in situ</i> .....	219
5.2.3. Химические превращения привитого слоя.....	222
Литература к главе 5.....	224
<b>Глава 6. Углеродные наночастицы</b> .....	<b>228</b>
6.1. Углеродные материалы.....	228
6.1.1. Аллотропные формы углерода.....	232
6.1.2. Получение углеродных наночастиц.....	235
6.1.3. Строение поверхности углеродных наночастиц.....	251
6.1.4. Функционализация поверхности углеродных наночастиц.....	257
6.2. Химическое модифицирование углеродных наночастиц.....	261
6.2.1. Детонационный наноалмаз.....	261
6.2.2. Углеродные нанотрубки.....	281
6.2.3. Графен.....	303
6.3. Конъюгаты биологически активных и лекарственных веществ с углеродными наночастицами.....	324
6.3.1. Иммобилизация биологически активных веществ на поверхности детонационного наноалмаза.....	324
6.3.2. Иммобилизация биомолекул и биологически активных веществ на углеродных нанотрубках.....	339
6.3.3. Иммобилизация биомолекул и биологически активных веществ на поверхности графеновых наночастиц.....	345
Литература к главе 6.....	352