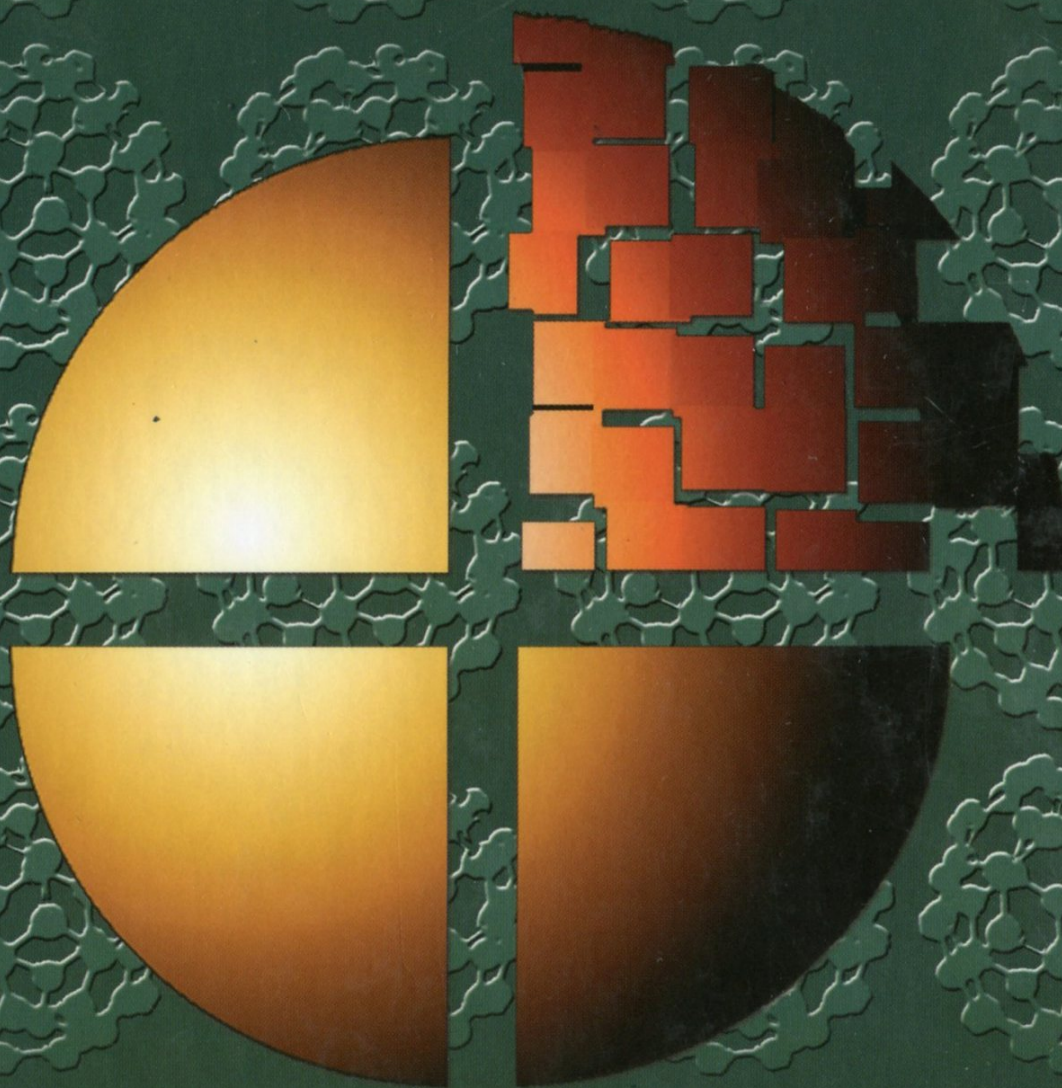


● ● ● Н А Н О Т Е Х Н О Л О Г И И ● ● ●

В.В. Старостин

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ НАНОТЕХНОЛОГИЙ



ИЗДАТЕЛЬСТВО

БИНОМ

НАНОТЕХНОЛОГИИ

В.В. Старостин

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

Учебное пособие

2-е издание

Под общей редакцией
проф. Л. Н. Патрикеева

Тверской государственный университет



Научная библиотека 00322067



Москва

БИНОМ. Лаборатория знаний

Оглавление

Предисловие	3
1. Предмет изучения	11
1.1. Понятие о нанотехнологии	13
1.2. Классификация нанобъектов	13
1.3. Размерные эффекты и свойства нанобъектов	14
1.4. Определение наночастицы	16
1.5. Характерные особенности нанобъектов	19
1.5.1. Кристаллическая решетка и магические числа	19
1.5.2. Геометрическая структура	20
1.5.3. Химическая активность и пассивация наночастиц	20
1.5.4. Электронная структура	21
1.5.5. Оптические свойства полупроводниковых наночастиц	22
1.5.6. Размерные эффекты и особенности наноструктур	23
1.5.7. Размерность объекта и электроны проводимости	26
1.5.8. Ферми-газ и плотность состояний	27
1.5.9. Свойства, зависящие от плотности состояний	30
1.6. Что сулит нам развитие нанотехнологии?	31
2. Функциональные и конструкционные наноматериалы неорганической и органической природы	46
2.1. Углеродные наноструктуры	46
2.1.1. Фуллерены — новые перспективные материалы широкого применения в наноэлектронике	46
2.1.1.1. Методы получения и разделения фуллеренов	49
2.1.1.2. Применение фуллеренов	50
2.1.2. Углеродные нанотрубки	57
2.1.2.1. Общие сведения	57
2.1.2.2. Методы получения нанотрубок	61
2.1.2.3. Электрические свойства	69
2.1.2.4. Механические свойства	72
2.1.2.5. Применение углеродных нанотрубок	74

2.2. Ленгмюровские молекулярные пленки	83
2.2.1. Общие сведения	83
2.2.2. Перенос монослоев на твердые тела. Наращивание мультислоев	86
2.2.3. Вещества, используемые для нанесения мультислоев	92
2.2.4. Некоторые свойства ленгмюровских пленок	93
3. Гетерогенные процессы формирования наноструктур и наноматериалов	95
3.1. Методы получения наночастиц из паровой фазы	95
3.2. Получение наночастиц в жидких средах	99
3.2.1. Поверхностно активные вещества	99
3.2.2. Методы восстановления и разложения в растворах	104
3.2.3. Восстановление в микроэмульсиях	109
3.2.4. Образование твердых частиц в микроэмульсиях	110
3.3. Получение упорядоченных структур наночастиц.	113
3.3.1. Самособранные монослои и мультислои.	113
3.3.2. Упорядоченные решетки наночастиц в коллоидных суспензиях	117
3.3.3. Самоорганизованные коллоидные структуры	120
3.4. Получение гибридных полимер-неорганических нанокомпозитов.	125
3.4.1. Получение гибридных нанокомпозитов золь-гель методом	126
3.4.2. Получение наногибридных материалов мультиметаллического типа золь-гель методом	128
3.4.3. Интеркаляция полимеров в пористые и слоистые наноструктуры	129
3.4.4. Металлополимерные пленки Ленгмюра– Блоджетт — самоорганизованные гибридные нанокомпозиты	134
3.4.5. Электропроводящие свойства гибридных нанокомпозитов	136
3.4.6. Оптические и полупроводниковые свойства гибридных нанокомпозитов	138
3.4.7. Основные области применения гибридных нанокомпозитов	139
3.5. Наноструктурированные материалы	140
3.5.1. Разупорядоченные твердотельные наноструктуры.	140

3.5.2. Методы наноструктурирования с использованием компактирования	143
3.5.3. Другие методы наноструктурирования	150
3.5.4. Осаждение наноструктурированных слоев на подложку	152
3.5.5. Причины разрушения и упрочнение поликристаллических материалов	155
3.5.6. Проблемы обработки наноматериалов	157
3.5.7. Влияние наноструктурирования объемного материала на магнитные свойства	158
3.5.8. Наноструктурированные многослойные материалы	165
4. Методы получения упорядоченных наноструктур	171
4.1. Эпитаксия металлоорганических соединений из газовой фазы	172
4.2. Молекулярно-лучевая эпитаксия	176
4.3. Самоорганизация при эпитаксиальном росте	187
4.4. МЛЭ и реализация идей сверхрешетки для устройств наноэлектроники	191
4.5. Возможности методов МЛЭ и ГФЭ МОС в наноэлектронике	197
4.6. Создание упорядоченных квантовых наноструктур.	213
4.6.1. Концепция «сверху-вниз»	213
4.6.2. Получение квантовых точек самосборкой атомов (концепция «снизу-вверх»).	215
4.6.3. Происхождение и величина напряжения решетки с рассогласованными параметрами	217
4.6.4. Механизмы аккомодации и ослабления напряжения	218
4.6.5. Получение квантовых точек Ge самосборкой атомов («германиевая пирамида»)	222
4.7. Формирование квантовых точек и проволок при ионном синтезе	227
4.7.1. Ионный синтез квантовых CoSi_2 проволок	228
4.7.2. Самоорганизованные квантовые точки $\text{Si}_{0,7}\text{Ge}_{0,3}$, полученные методом ионного синтеза	231
4.8. Примеры приборов на квантовых точках	236
4.9. Сборка наноструктур под влиянием механического напряжения	244

4.10. Автоматическая сборка наноструктур	245
4.11. Управляемая ДНК-сборка наноструктур	246
5. Искусственное наноформообразование	248
5.1. Напряженные полупроводниковые гетероструктуры и изготовление из них нанотрубок	248
5.1.1. Метод изготовления нанотрубок сворачиванием полупроводниковых гетерослоев	250
5.1.2. Формирование полупроводниковых и металлических нановолокон и спиралей	254
5.1.3. Периодические квантовые твердотельные наноструктуры, сверхрешетки из квантовых точек	257
5.1.4. Свойства микро- и наноболочек	260
5.2. Репликация наноструктур «формированием» полимеров	261
6. Методы зондовой нанотехнологии	263
6.1. Технологическое оборудование для исследования поверхности твердых тел и создания наноструктур	263
6.1.1. Общие принципы работы сканирующих зондовых микроскопов	264
6.1.2. Нанотехнологический комплекс	267
6.1.3. Сканирующий туннельный микроскоп	278
6.1.4. Атомно-силовой микроскоп	284
6.1.5. Другие сканирующие микроскопы	294
6.2. Методы создания наноструктур с помощью сканирующих зондовых микроскопов	303
6.2.1. Физические эффекты, используемые в туннельно-зондовой нанотехнологии	303
6.2.2. Методы зондовой нанотехнологии	306
6.3. Методы записи информации	309
6.3.1. Методы записи, основанные на изменении геометрического рельефа поверхности	310
6.3.1.1. Прямая модификация рельефа поверхности (механический метод)	310
6.3.1.2. Электронно-стимулированное осаждение или травление	311
6.3.1.3. Массоперенос с помощью острия	312
6.3.1.4. Термополевой способ записи	316
6.3.1.5. Атомная сборка	317
6.3.1.6. Квантовый «загон»	322

6.3.2. Методы записи, основанные на изменении магнитной структуры поверхности	323
6.3.3. Оценка методов записи и считывания информации с использованием сканирующего туннельного микроскопа	324
6.3.4. Наностёкла — новая запоминающая среда	327
6.4. Электрохимический массоперенос	328
7. Пучковые и другие методы нанолитографии	333
7.1. Общие сведения	333
7.2. Рентгеновская литография	338
7.3. Электронная литография	352
7.4. Ионная литография	373
7.5. Возможности пучковых методов литографии	374
7.6. Зондовые методы нанолитографии (СЗМ-литография)	382
7.6.1. Силовая СЗМ-литография	383
7.6.2. Токовая СЗМ-литография	384
7.6.3. Прямое нанесение рисунка с помощью СТМ (автоэмиссионный метод).	386
7.6.4. Формирование рисунка в слое металла, полученного разложением металлоорганического соединения	387
7.6.5. Литография с использованием резиста	388
7.6.6. Совместное использование лазера и СТМ в нанолитографии.	389
7.6.7. Ленгмюровские пленки — перспективный резистивный материал для нанолитографии	390
7.6.8. Термомеханическая нанолитография	391
7.6.9. Перьевая нанолитография	393
7.6.10. Локальное анодное окисление зондом АСМ как метод нанолитографии	394
7.7. Литография наносферами	404
7.8. Нанопечатная литография	405
7.9. Литографически индуцированная самосборка наноструктур	419
Заключение	421
Литература	424