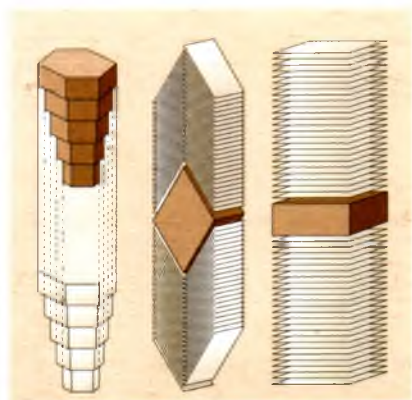


материалов и технологий

Справочник
Шпрингера по
нанотехнологиям
(в 3-х томах)

ПОД РЕД. Б. БХУШАНА
ТОМ I



ТЕХНОСФЕРА

Содержание

Предисловие к изданию на русском языке	13
Предисловие Neal Lane.....	15
Предисловие James R. Heath.....	17
Предисловие ко второму изданию	19
Список сокращений	22
1. Введение в нанотехнологию	32
1.1. Нанотехнология — определения и примеры.....	32
1.2. Предпосылки и финансирование нанотехнологий	35
1.3. Уроки природы (бионика)	38
1.4. Применение нанотехнологии в различных областях.....	40
1.5. Проблемы в области нанотехнологий	41
1.6. Подготовка кадров для нанотехнологии	43
1.7. Построение справочника	43
Литература	44
 Часть А. Наноструктуры, Микро/Нанотехнологии и материалы	
2. Синтез и приложения наноматериалов:	
молекулярные приборы	47
2.1. Химические подходы в технологии наноструктурированных материалов	48
2.1.1. От молекулярных строительных блоков к наноструктурам	48
2.1.2. Наноразмерные биомолекулы: нуклеиновые кислоты и белки	48
2.1.3. Химические синтезы искусственных наноструктур	50
2.1.4. От структурного регулирования к планированию свойств и функций ...	53
2.2. Молекулярные ключи и логические элементы	55
2.2.1. От макроскопического к молекулярному коммутатору	55
2.2.2. Цифровая обработка и молекулярные логические элементы	56
2.2.3. Молекулярные логические элементы И, НЕ и ИЛИ.....	56
2.2.4. Комбинационные логические схемы на молекулярном уровне	58
2.2.5. Межмолекулярная связь	60
2.3. Твердотельные приборы.....	65
2.3.1. От функциональных растворов к твердым материалам, чувстви- тельным к световым и электрическим воздействиям	66
2.3.2. Пленки Ленгмюра – Блоджета	67
2.3.3. Самосборочные монослои	72
2.3.4. Нанозазоры и нанопроволоки	77
2.4. Заключение и перспективы развития	82
Литература	84
3. Углеродные нанотрубки. Введение	88
3.1. Структура углеродных нанотрубок	89
3.1.1. Однослойные нанотрубки	89

3.1.2.	Многослойные нанотрубки	93
3.2.	Синтез углеродных нанотрубок	96
3.2.1.	Методы синтеза углеродных нанотрубок из твердого углерода	96
3.2.2.	Методы синтеза углеродных нанотрубок из газообразного углеродного источника	108
3.2.3.	Прочие методы	116
3.3.	Механизмы роста углеродных трубок	120
3.3.1.	Рост без катализатора	120
3.3.2.	Каталитический рост	120
3.4.	Свойства углеродных нанотрубок	125
3.4.1.	Краткий обзор	126
3.4.2.	Общие свойства SWNTs	126
3.4.3.	Адсорбционные свойства SWNT	126
3.4.4.	Электрические и оптические свойства	130
3.4.5.	Механические свойства	132
3.4.6.	Химическая активность	132
3.5.	Нанообъекты на основе углеродных нанотрубок	134
3.5.1.	Гетеронанотрубки	134
3.5.2.	Гибридные углеродные нанотрубки	134
3.5.3.	Функцилизованные нанотрубки	139
3.6.	Применение углеродных нанотрубок	142
3.6.1.	Текущие приложения	142
3.6.2.	Ожидаемые применения нанотрубок, связанные с их абсорбционными свойствами	148
3.6.3.	Ожидаемые приложения нанотрубок, связанные с композитными системами	155
3.7.	Заключительные замечания	166
	Литература	166
4.	Нанопроволоки	192
4.1.	Синтез	194
4.1.1.	Синтез с использованием опорного трафарета	194
4.1.2.	Метод VLS синтеза нанопроволок	200
4.1.3.	Другие методы синтеза	203
4.1.4.	Иерархические структуры и сверхструктуры нанопроволок	205
4.2.	Структурные и физические свойства нанопроволок	208
4.2.1.	Структурные свойства	208
4.2.2.	Механические свойства	214
4.2.3.	Свойства явлений переноса	216
4.2.4.	Оптические свойства	231
4.3.	Приложения	237
4.3.1.	Приложения в электронике	237
4.3.2.	Термоэлектрические приложения	239
4.3.3.	Оптические приложения	242
4.3.4.	Химические и биохимические датчики	245
4.3.5.	Магнитные приложения	247
4.4.	Заключительные замечания	248
	Литература	248

5. Методы синтеза массивов наностержней и нанопроволок с использованием опорного трафарета	261
5.1. Метод, основанный на опорном трафарете	262
5.2. Электрохимическое осаждение	263
5.2.1. Металлы	265
5.2.2. Полупроводники	267
5.2.3. Проводящие полимеры	267
5.2.4. Оксиды	268
5.3. Электрофорезное осаждение	269
5.3.1. Поликристаллические оксиды	271
5.3.2. Монокристаллические массивы наностержней из оксидов, полученные изменением показателя pH	273
5.3.3. Массивы монокристаллических наностержней из оксидов, полученные агрегированием на основе гомогенной эпитаксии	274
5.3.4. Нанопроволоки и нанотрубки фуллеренов и метафуллеренов	275
5.4. Заполнение пор трафаретной пластины	276
5.4.1. Заполнение коллоидной дисперсией (золев)	276
5.4.2. Заполнение расплавом и раствором	277
5.4.3. Центрифугирование	278
5.5. Синтез путем реакции с опорными элементами	278
5.6. Резюме и заключительные комментарии	279
Литература	280
6. Формирование трехмерных наноструктур ионно-лучевым химическим осаждением из газовой фазы	286
6.1. Формирование трехмерных наноструктур	287
6.1.1. Технология формирования	287
6.1.2. Системы генерации трехмерного изображения	289
6.2. Нанoeлектромеханика	291
6.2.1. Измерение модуля Юнга	291
6.2.2. Формирование подвешенных нанопроволок	293
6.2.3. Наномеханический переключатель	297
6.2.4. Электростатический наноактюатор	298
6.3. Нанooптика: бриллиантово-синий цвет квазиструктуры чешуек крыла бабочки Morpho	300
6.4. Нанобиология	302
6.4.1. Наноинжектор	302
6.4.2. Наноманипулятор	303
6.4.3. Наносачок	305
6.5. Заключение	306
Литература	306
7. Введение в микро- и нанообработку	308
7.1. Основные методы микрообработки	308
7.1.1. Литография	309
7.1.2. Осаждение тонких пленок и легирование	311
7.1.3. Травление пленок и подложки	318
7.1.4. Сращивание подложек	324

7.2.	Технологии производства МЭМС	326
7.2.1.	Объемная микромеханика	326
7.2.2.	Поверхностная микромеханика	331
7.2.3.	Технологии микромеханических структур с высоким аспектным отношением	337
7.3.	Технологии нанообработки	342
7.3.1.	Электронно-лучевые и наноимпринтные методы в нанообработке...	344
7.3.2.	Сканирующие зондовые методы	348
7.3.3.	Самосборка и формирование наноструктур с использованием трафарета.....	351
7.4.	Выводы и заключение.....	357
Литература		358
8.	Наноимпринтная литография	365
8.1.	Новые методы нанолитографии.....	367
8.1.1.	Литографии следующих поколений	368
8.1.2.	Формование резиста для литографии.....	369
8.2.	Наноимпринтный процесс	372
8.2.1.	Пределы технологии формования	373
8.2.2.	Деформация тонких пленок под давлением	375
8.2.3.	Однородность остаточной толщины пленки	378
8.2.4.	Выемка штампа	381
8.2.5.	Дублирование резиста	382
8.2.6.	Перенос рисунка	383
8.2.7.	Методы «чередования-и-сочетания»	386
8.2.8.	Многослойные и многоуровневые системы.....	387
8.2.9.	Реверсивный импринт.....	389
8.3.	Инструментальные средства и материалы технологии наноимпринта	389
8.3.1.	Резисты для наноимпринтной литографии.....	390
8.3.2.	Материалы штампа	391
8.3.3.	Изготовление штампа	392
8.3.4.	Антиадгезионные покрытия	394
8.3.5.	Установки для импринтной литографии	395
8.4.	Приложения.....	399
8.4.1.	Различные приложения наноимпринтного процесса.....	399
8.4.2.	Формирование рисунка в магнитном материале для накопителей на жестких дисках	400
8.4.3.	Решетка на основе металлических полосок с шагом меньше длины световой волны	403
8.4.4.	Полимерная оптика	405
8.4.5.	Приложения в биологии.....	407
8.5.	Заключение и перспективы развития	408
Литература		410
9.	Методы печатания в технологиях микро- и нанообработки	425
9.1.	Штампы с высоким разрешением	426
9.2.	Микроконтактное печатание	429

9.3. Нанотрансферное печатание	432
9.4. Применения	437
9.4.1. Нетрадиционные электронные системы	438
9.4.2. Лазеры и волноводные структуры	444
9.5. Заключение	447
Литература	447
10. Материаловедческие аспекты микро- и наноэлектромеханических систем	451
10.1. Кремний	451
10.1.1. Монокристаллический кремний	451
10.1.2. Поликристаллический и аморфный кремний	454
10.1.3. Пористый кремний	458
10.1.4. Диоксид кремния	459
10.1.5. Нитрид кремния	461
10.2. Материалы на основе германия	462
10.2.1. Поликристаллический германий	462
10.2.2. Поликристаллический SiGe	462
10.3. Металлы	463
10.4. Полупроводники для экстремальных сред	466
10.4.1. Карбид кремния	466
10.4.2. Алмаз	470
10.5. GaAs, InP и другие III-V материалы	474
10.6. Сегнетоэлектрики	476
10.7. Полимерные материалы	477
10.7.1. Полиимид	477
10.7.2. SU-8	478
10.7.3. Парилен	479
10.7.4. Жидкокристаллический полимер	479
10.8. Направления дальнейшего развития	480
Литература	480
11. Сложность и эмергенция как принципы разработки децентрализованных наноразмерных систем	487
11.1. Определения	487
11.1.1. Правила	489
11.1.2. Принципы разработки	491
11.2. Примеры и эмпирический анализ децентрализованных систем в природе	498
11.2.1. Термитник как макроскопическая децентрализованная система	498
11.2.2. Миксомицеты как децентрализованные системы	499
11.2.3. Сложная адаптация на примере поведения клетки	501
11.2.4. Фолдинг белка как эмергенционный процесс	502
11.3. Проектирование эмергенционного поведения в наноразмерных системах: примеры синтеза децентрализованных наноструктур	502
11.4. Заключение	512
Литература	513
12. Наноструктурные термоэлектрические материалы	516
12.1. Перспективы термоэлектричества	518

12.1.1. Приложения для охлаждения.....	518
12.1.2. Электрические генераторы.....	520
12.2. Теория термоэлектрических явлений переноса в низкоразмерных твердых телах	521
12.2.1. Плотность состояний и зонная энергетическая структура в трехмерных, двухмерных, одномерных системах и системах нулевой размерности	523
12.2.2. Электронный перенос в приближении времени релаксации.....	525
12.2.3. Внезонная проводимость: слабая локализация	530
12.2.4. Фононные явления переноса в низкоразмерных системах.....	533
12.3. Двумерные термоэлектрические явления переноса в квантовых ямах	536
12.4. Одномерные термоэлектрические явления переноса в квантовых проволоках.....	537
12.4.1. Висмутовые нанопроволоки	537
12.4.2. Углеродные нанотрубки	542
12.5. Системы квазиулевой размерности	547
12.5.1. Сверхрешетки на основе квантовых точек из солей свинца	547
12.5.2. $\text{AgPb}_m\text{SbTe}_{2+m}$	549
12.5.3. Наноразмерные включения в объемном материале	549
12.6. Заключение	551
Литература	551
13. Нано- и микроструктурированные полупроводниковые материалы для макроэлектроники.....	559
13.1. Классы полупроводниковых наноматериалов и их подготовка	561
13.1.1. Наночастицы	561
13.1.2. Нанопроволоки/наноленты	562
13.1.3. Однослойные углеродные нанотрубки	570
13.2. Формирование тонких пленок упорядоченных наноструктур на пластиковых подложках	572
13.2.1. Сборка нанопроволок/нанолент из суспензии с использованием внешних сил	572
13.2.2. «Сухое переносное печатание» массивов проволок и лент с пластин	574
13.2.3. Переносное печатание тонких пленок однослойных углеродных нанотрубок.....	578
13.3. Приложения для макроэлектроники	579
13.3.1. TFT структуры с «затвором вниз»	579
13.3.2. MESFET структуры с «затвором вверх» на основе массивов GaAs проволок	584
13.3.3. Полупроводниковые схемы на комплементарных транзисторах металл – оксид – полупроводник (КМОП).....	586
13.4. Перспективы	587
Литература	588

Часть Б. МЭМС/НЭМС и БиМЭМС/НЭМС

14. Наноиндустриальные устройства нового поколения для гибридизации ДНК и самоформирования наносборок	593
14.1. Электронная микроматричная технология	597
14.1.1. КМОП микроматрица с 400 тестовыми ячейками	598
14.1.2. Описание технологии электрического поля	600
14.1.3. Разработка электронной гибридизации и анализа ДНК	602
14.1.4. Применения генотипирования ДНК	603
14.1.5. Амплификация замещением цепочек ДНК, реализованная на чипе	604
14.1.6. Клеточное разделение на микроэлектронной матрице	604
14.2. Наноиндустриальные процессы под воздействием электрического поля	605
14.2.1. Наноиндустриальная самосборка под воздействием электрического поля	605
14.3. Заключение	608
Литература	608
15. МЭМС/НЭМС устройства и их применение	612
15.1. МЭМС-устройства и их применение	614
15.1.1. Датчики давления	614
15.1.2. Инерциальный датчик	619
15.1.3. Оптические МЭМС	626
15.1.4. Радиочастотные (РЧ) МЭМС	633
15.2. Наноэлектромеханические системы (НЭМС)	642
15.2.1. Материалы и технологии изготовления	643
15.2.2. Методы создания актюаторов	646
15.2.3. Области применения	646
15.3. Текущие проблемы и будущие тенденции	647
Литература	648
16. Наномеханические матричные кантилеверные датчики	653
16.1. Техника	653
16.1.1. Кантилеверы	654
16.1.2. История кантилеверных датчиков	654
16.2. Матричные кантилеверные датчики	655
16.2.1. Концепция	655
16.2.2. Напряжения сжатия и растяжения	656
16.2.3. Недостатки отдельных микрокантилеверов	656
16.2.4. Контрольные и чувствительные кантилеверы в матрице	656
16.3. Режимы работы	657
16.3.1. Статический режим	658
16.3.2. Динамический режим	659
16.3.3. Режим нагрева	661
16.3.4. Другие режимы работы	662
16.4. Микрообработка	663
16.5. Измерительный комплекс	663
16.5.1. Измерения в газообразных или жидких средах	663
16.5.2. Принципы считывания	665
16.6. Технологии функционализации	668

16.6.1. Общая стратегия.....	668
16.6.2. Методы функционализации	668
16.7. Приложения.....	670
16.8. Выводы и перспективы	671
Литература	671
17. Терапевтические наноустройства.....	676
17.1. Определения и перечень рассматриваемых задач	676
17.1.1. Вопросы конструирования.....	679
17.1.2. Полезность и диапазон применения терапевтических наноустройств.....	685
17.2. Методы синтеза: сравнение нисходящего и восходящего подходов при создании компонентов нанотерапевтических устройств.....	685
17.2.1. Производство нанопористых мембран с помощью методов микроизготовления: метод нисходящего направления	685
17.2.2. Синтез поли(амидо)аминовых (ПАМАМ) дендримеров: метод восходящего направления.....	687
17.2.3. Пределы разграничения методов нисходящего и восходящего направлений при работе с наноматериалами и наноустройствами	688
17.3. Технологические и биологические возможности	689
17.3.1. Методы сборки	689
17.3.2. Целевая доставка препарата: установление границ нанотерапевтического действия в трехмерном пространстве	700
17.3.3. Эффект срабатывания: пространственно-временные рамки действия нанотерапии.....	703
17.3.4. Возможности детектирования.....	709
17.3.5. Получение изображений с помощью нанотерапевтических контрастных веществ	713
17.4. Области применения нанотерапевтических устройств	717
17.4.1. Использование нанотерапевтических устройств в онкологии.....	717
17.4.2. Применение нанотерапии при сердечно-сосудистых заболеваниях ...	722
17.4.3. Нанотерапия и хост-специфические (специфические по отношению к носителю) реакции иммунной системы	724
17.5. Заключительные замечания: барьеры практического осуществления и перспективы использования	730
17.5.1. Сложность биологии	730
17.5.2. Распространение информации о биологических системах	731
17.5.3. Культурные различия между техническими специалистами и биологами	733
Литература	734
18. G-протеинсвязанные рецепторы: общее представление и биосенсорные технологии	743
18.1. GPCR: белковый цикл активации	746
18.2. Подготовка рецепторов, сопряженных с G-белком, и G-белков	748
18.3. Измерение GPCR-отклика	748
18.3.1. Проточная цитометрия	749
18.3.2. Резонанс поверхностного плазмона.....	749
18.3.3. Плазмонная волновая резонансная спектроскопия	750

18.3.4. Атомно-силовая микроскопия.....	750
18.3.5. Флуоресценция полного внутреннего отражения (TIRF).....	751
18.4. Биодатчики на основе рецепторов, сопряженных с G-белком	752
18.4.1. Создание биодатчиков — 1-й уровень: соединение лиганда	752
18.4.2. Создание биодатчиков — 2-й уровень: конформационные изменения в рецепторах, сопряженных с G-белком	756
18.4.3. Создание биодатчиков — 3-й уровень: соединение GTP	757
18.4.4. Создание биодатчиков — 4-й уровень: диссоциация рецепторов, сопряженных с G-белком, и G-белка	758
18.5. Белковая инженерия в GPCR-измерениях	760
18.5.1. Понятие	760
18.5.2. Рецепторы, сопряженные с G-белком: гибридные белки $G\alpha$	761
18.5.3. Технология перспективных белков $G\alpha$	762
18.5.4. Системы экспрессии для рекомбинантных рецепторов, сопряженных с G-белком, и G-белков	763
18.5.5. Флуоресцентные белки	763
18.6. Будущее рецепторов, сопряженных с G-белком, в нанобиотехнологиях.....	763
Литература	765
19. Микрофлюидные устройства и их применение в лаборатории-на-чипе	769
19.1. Материалы для микрофлюидных приборов и технологии микро- и наноиндустрии	770
19.1.1. Кремний	770
19.1.2. Стекло.....	771
19.1.3. Полимер.....	772
19.2. Активные микрофлюидные приборы.....	774
19.2.1. Микроклапаны	775
19.2.2. Микронасосы.....	778
19.3. Интеллектуальные пассивные микрофлюидные приборы.....	781
19.3.1. Пассивные микроклапаны	782
19.3.2. Пассивные микромиксеры	785
19.3.3. Пассивные микродозаторы	787
19.3.4. Микрофлюидный мультиплексор в сочетании с пассивным микро-дозатором	788
19.3.5. Пассивные микронасосы	790
19.3.6. Преимущества и недостатки пассивного микрофлюидного подхода	791
19.4. Лаборатория-на-чипе для биохимического анализа.....	792
19.4.1. Биохимическая система обнаружения на основе магнитных микро- и наногранул	793
19.4.2. Разовая интеллектуальная лаборатория-на-чипе для анализа крови	797
Литература	800
20. Микроструйные платформы на принципе действия центрифуги	805
20.1. Зачем использовать центробежную силу для струйной прокачки жидкостей	806

20.2. Компакт-диск или струйная микроцентрифуга	810
20.2.1. Принцип действия	810
20.2.2. Реализация на компакт-диске некоторых простых струйных функций ...	811
20.3. Применение CD-технологии	816
20.3.1. Двухточечная калибровка оптодной системы детектирования	816
20.3.2. CD-платформа для твердофазного иммуноферментного анализа (ELISA, ИФА)	817
20.3.3. Многократный параллельный анализ	818
20.3.4. Клеточный анализ на CD-платформе	819
20.3.5. Интегрированная система приготовления аналита на основе нуклеиновой кислоты и ПЦР-амплификация	823
20.3.6. Приготовление образца для анализа с помощью масс-спектрометрии MALDI (ионизация лазерной десорбцией с использованием матрицы)	824
20.3.7. Модифицированные CD/DVD приводы (коммерческого типа) лабораторно-измерительного применения	826
20.3.8. Гибридизация микроматрицы для молекулярной диагностики инфекционных заболеваний	829
20.3.9. Клеточный лизис на CD	831
20.3.10. Автоматизация культивации штамма <i>C. Elegans</i> для изучения экспрессии генов с помощью CD-платформы	833
20.4. Заключение	834
Литература	836
21. Микро- и нанокapли в микрофлюидных устройствах	839
21.1. Активные или программируемые капельные системы	840
21.1.1. Капельные микрофлюидные устройства, построенные на электро-смачивании диэлектрика (ЭСД)	840
21.1.2. Принцип действия ЭСД	840
21.1.3. Смешивание реагентов при ЭСД	842
21.1.4. Усовершенствования ЭСД	842
21.1.5. Капельные манипуляции посредством диэлектрофореза (ДЭФ)	843
21.2. Пассивные технологии капельного контроля	845
21.2.1. Образование моно-дисперсных капель	845
21.2.2. Устройства на основе микрокапиллярных матриц	847
21.2.3. Двойные эмульсии	848
21.2.4. «Спутниковые» капли	853
21.3. Области применения	855
21.3.1. Капли как средство для инкапсуляции и создания микрошаблонов	856
21.3.2. Капли как химические процессоры в реальном времени и комбинаторные синтезаторы	856
21.3.3. Капли как микромеханические компоненты	857
21.4. Заключение	858
Литература	858