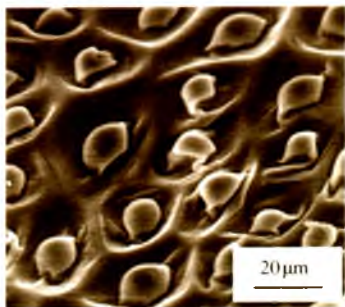


# материалов и технологий

Справочник  
Шпрингера по  
нанотехнологиям  
(в 3-х томах)

ПОД РЕД. Б. БХУШАНА  
ТОМ III



ТЕХНОСФЕРА

# Содержание

## Часть Е. Молекулярно толстые пленки для смазки

<b>42. Нанотрибология ультратонких пленок и пленок из твердого аморфного углерода</b>	<b>10</b>
42.1. Общепринятые технологии нанесения покрытий	16
42.1.1. Фильтрованное напыление катодной дугой	18
42.1.2. Напыление пучком ионов	19
42.1.3. Химическое осаждение из паровой фазы с помощью электронно-циклотронного резонанса (ХОПФ-ЭЦР)	21
42.1.4. Нанесение покрытия распылением (НПР)	21
42.1.5. Плазменное химическое осаждение из паровой фазы	22
42.2. Химические и физические характеристики покрытий	22
42.2.1. Спектроскопия потерь энергии электронов и Рамановская спектроскопия	24
42.2.2. Концентрация водорода	26
42.2.3. Физические свойства	30
42.2.4. Выводы	31
42.3. Микромеханические и трибологические характеристики покрытий	31
42.3.1. Определение микромеханических характеристик	31
42.3.2. Исследование микроцарапин и микроизноса	44
42.3.3. Макромасштабные трибологические характеристики	54
42.3.4. Анализ нецелостности покрытий	60
42.4. Заключение	62
<b>Литература</b>	<b>63</b>
<b>43. Использование самособранных монослоев (ССМ) для контроля адгезии, трения и износа в микро/нанопустройствах</b>	<b>70</b>
43.1. Краткий обзор основ органической химии	75
43.1.1. Электроотрицательность/полярность	76
43.1.2. Классификация и структуры органических соединений	77
43.1.3. Полярные и неполярные группы	82
43.2. ССМ: субстраты, промежуточные (спейсерные) цепочки; концевые группы в молекулярных цепочках	83
43.3. Трибологические свойства ССМ	87
43.3.1. Методики измерения	92
43.3.2. Гексадекан-тиоловые и бифенил-тиоловые ССМ на Au(111)	93
43.3.3. Алкилсилановые и перфторалкилсилановые ССМ на Si(100) и алкилфосфонатные ССМ на Al	103
43.3.4. Исследование процессов деградации ССМ и воздействия на них окружающей среды	113
43.4. Заключение	117
<b>Литература</b>	<b>120</b>
<b>44. Изучение граничной смазки в наномасштабе</b>	<b>126</b>
44.1. Детализация процесса смазки	127
44.2. Нанодетформация, молекулярные превращения и растекание смазки	129
44.3. Изучение граничной смазки	133

44.3.1. Трение и адгезия.....	133
44.3.2. Влияние времени покоя.....	138
44.3.3. Влияние скорости.....	141
44.3.4. Влияние относительной влажности и температуры.....	144
44.3.5. Влияние радиуса наконечника.....	147
44.3.6. Исследование износа.....	151
44.4. Заключение.....	152
<b>Литература.....</b>	<b>154</b>
<b>45. Кинетические и энергетические процессы при наносмазке.....</b>	<b>157</b>
45.1. Общая информация: от смазки в макроскопических объемах к смазке на молекулярном уровне.....	159
45.1.1. Гидродинамическая смазка и релаксация.....	159
45.1.2. Граничная смазка.....	160
45.1.3. Прилипание-скольжение и групповые явления скольжения.....	161
45.2. Модель термоактивации трения при смазке.....	163
45.3. Функциональное поведение трения при смазке.....	166
45.4. Термодинамические модели, основанные на малых и несогласованных контактах.....	168
45.5. Ограничение гауссовской статистики — фрактальное пространство.....	171
45.6. Фрактальная мобильность при реактивной смазке.....	172
45.7. Метастабильные системы смазки при больших согласованных контактах.....	175
45.8. Заключение.....	177
<b>Литература.....</b>	<b>177</b>
<b>Часть F. Промышленные применения</b>	
<b>46. «Многоножка» — система хранения данных на основе нанотехнологии с использованием АСМ (атомно-силовой микроскопии).....</b>	<b>181</b>
46.1. Концепция «многоножки».....	184
46.2. Устройства хранения данных с термомеханическим принципом записи на основе использования АСМ-технологии.....	186
46.3. Конструирование, технология и изготовление матрицы.....	189
46.4. Характеристики матрицы.....	192
46.5. Трехмерный (x/y/z) микросканер поверхности.....	195
46.6. Первые результаты записи/считывания кантилеверной матрицы 32×32.....	200
46.7. Полимерный носитель данных.....	202
46.7.1. Механизм записи.....	202
46.7.2. Механизм стирания.....	208
46.7.3. Механизм перезаписи.....	211
46.8. Модель канала считывания.....	212
46.9. Системные аспекты.....	218
46.9.1. Формирование сигнала ошибки позиционирования (PES) для сервоконтуров.....	219
46.9.2. Восстановление синхронизации.....	223
46.9.3. Соображения относительно плотности размещения и скорости передачи данных.....	225
46.10. Выводы.....	228
<b>Литература.....</b>	<b>228</b>

<b>47. Применение нанотехнологии в устройствах хранения данных</b>	<b>232</b>
47.1. Современное состояние промышленных устройств хранения данных	235
47.1.1. Энергонезависимая оперативная память	241
47.2. Возможности, предлагаемые нанотехнологией в области хранения данных	245
47.2.1. Приводы	246
47.2.2. Датчики	250
47.2.3. Носители данных и экспериментальные результаты	256
47.3. Главный вывод	265
<b>Литература</b>	<b>266</b>
<b>48. Микроактюаторы для двухступенчатых сервосистем магнитных дисков</b>	<b>269</b>
48.1. Конструкция электростатического микроактюатора	272
48.1.1. Конструкционные требования дискового накопителя	272
48.1.2. Конфигурации двухступенчатых сервосистем	273
48.1.3. Электростатические микроактюаторы: сравнение гребенчатых и плоскопараллельных приводов	275
48.1.4. Детектирование местоположения	279
48.1.5. Пьезоэлектрическое детектирование	282
48.1.6. Конструкции электростатических микроактюаторов дисковых накопителей	283
48.2. Производство	289
48.2.1. Главные требования	289
48.2.2. Пример № 1 изготовления электростатического микроактюатора	290
48.2.3. Пример № 2 изготовления электростатического микроактюатора	292
48.2.4. Прочие процессы изготовления	296
48.2.5. Техпроцессы изготовления подвески	298
48.2.6. Изготовление активируемой головки	301
48.3. Проектирование двухступенчатых сервосистем управления на основе МЭМС микроактюаторов	302
48.3.1. Введение в сервоуправление дисковых накопителей	302
48.3.2. Обзор методик построения двухступенчатых сервосистем управления	304
48.3.3. Сервоуправление и снижение уровня вибрации МЭМС микроактюатора двухступенчатой сервосистемы с приборной подвеской	308
48.3.4. Многоскоростное помехоустойчивое управление слежением за дорожкой: прямое решение	320
48.3.5. Схема управления поиском двухступенчатой системы	324
48.4. Выводы и перспективы на будущее	325
<b>Литература</b>	<b>327</b>
<b>49. Наноробототехника</b>	<b>331</b>
49.1. Обзор нанороботехники	332
49.2. Активация в нанометровом диапазоне	334
49.2.1. Электростатика	335
49.2.2. Электромагнетизм	336
49.2.3. Пьезоэлектричество	336
49.3. Наноробототехнические системы манипулирования	337
49.3.1. Обзор	337
49.3.2. Наноробототехнические системы манипулирования	342
49.4. Наноробототехническая сборка	346
49.4.1. Обзор	346

49.4.2. Углеродные нанотрубки	348
49.4.3. Нанокатюшки	355
49.5. Применение	358
49.5.1. Роботехническое биоманипулирование	359
49.5.2. Нанороботехнические устройства	361
<b>Литература</b>	<b>363</b>
<b>50. Нанотрибология и описание свойств материалов МЭМС/НЭМС и БиоМЭМС/БиоНЭМС материалов и устройств</b>	<b>373</b>
50.1. Вступление	373
50.1.1. Введение в МЭМС	376
50.1.2. Введение в НЭМС	378
50.1.3. БиоМЭМС/БиоНЭМС	379
50.1.4. Трибологические вопросы МЭМС/НЭМС и БиоМЭМС/БиоНЭМС	380
50.2. Трибологические исследования кремния и связанных с ним материалов	401
50.2.1. Исходные и обработанные/покрытые кремниевые образцы	402
50.2.2. Трибологические свойства поликремниевых пленок и SiC-пленок	408
50.3. Исследование смазочных материалов, использующихся в МЭМС/НЭМС	412
50.3.1. Перфлюорополиэфирные смазки	412
50.3.2. Самособирающиеся монослои (СМ)	417
50.3.3. Твердые покрытия из углерода со структурой алмаза (DLC)	421
50.4. Трибологические исследования биологических молекул на кремниевых поверхностях и поверхностях с полимерным покрытием	421
50.4.1. Адгезия, трение и износ биомолекул на кремниевых поверхностях	421
50.4.2. Адгезия поверхностей с нанесенным полимерным покрытием	427
50.5. Наноструктурированные поверхности	428
50.5.1. Аналитическая модель и оптимизация шероховатости	428
50.5.2. Экспериментальная проверка	431
50.6. Исследования на компонентном уровне	436
50.6.1. Исследование шероховатости поверхности компонентов микродвигателей	436
50.6.2. Измерение адгезии микроструктур	437
50.6.3. Микротрибоаппаратура, используемая для изучения процессов адгезии, трения и изнашивания микрокомпонентов	440
50.6.4. Измерения статической силы трения в МЭМС	446
50.6.5. Механизмы, связанные с наблюдаемыми явлениями статического трения в цифровых микрозеркальных устройствах (ЦМЗУ), и описание наномеханических свойств	450
50.7. Вывод	455
50.А. Приложение. Методы микро/наноизготовления	456
50.А.1. Нисходящие методы (Top – Down)	456
50.А.2. Восходящий метод изготовления (нанохимия) (Bottom–Up)	461
<b>Литература</b>	<b>462</b>
<b>51. Экспериментальные методы получения характеристик микро/наноразмерных устройств</b>	<b>474</b>
51.1. Обоснование	474
51.2. Области применения динамических МЭМС/НЭМС	475
51.3. Методики тестирования и описания характеристик	476
51.3.1. Оптические методы динамической характеристики	476

51.3.2. Методы статического и квазистатического измерения при описании характеристик МЭМС/НЭМС	483
51.3.3. Тестирование с помощью СЭМ	493
51.3.4. Методы активации	495
51.4. Пример: описание свойств МЭМС актюатора в плоскости	500
51.4.1. Определение коэффициента добротности	500
51.4.2. Определение величины жесткости пружин	502
51.4.3. Анализ ошибок	505
51.5. Учет контролепригодности при проектировании	508
<b>Литература</b>	<b>508</b>
<b>52. Механизмы отказа в МЭМС/НЭМС устройствах</b>	<b>514</b>
52.1. Типы и механизмы отказа	515
52.2. Статическое трение и механизм отказа, обусловленный эффектом заряда	516
52.2.1. Статическое трение, обусловленное наличием поверхностных сил	516
52.2.2. Влияние электростатического притяжения на силу трения	522
52.3. Возникновение отказов, связанных с ползучестью, усталостью, износом и корпусированием	527
52.3.1. Ползучесть	527
52.3.2. Усталость	534
52.3.3. Износ	537
52.3.4. Корпусирование	539
52.4. Общие выводы	543
<b>Литература</b>	<b>544</b>
<b>53. Механические свойства структур, полученных с помощью микромеханической обработки</b>	<b>551</b>
53.1. Определение механических свойств наносимых на подложки пленок	551
53.1.1. Измерение величины остаточных напряжений	551
53.1.2. Механические измерения с помощью наноиндентора	553
53.2. Структуры, полученные с помощью микромеханической обработки, для определения механических свойств	553
53.2.1. Пассивные структуры	553
53.2.2. Активные структуры	558
53.3. Измерение механических свойств	569
53.3.1. Механические свойства поликремния	569
53.3.2. Механические свойства прочих материалов	573
<b>Литература</b>	<b>575</b>
<b>54. Термо- и электромеханическое поведение тонкопленочных микро- и наноструктур</b>	<b>579</b>
54.1. Термомеханика многослойных тонкопленочных структур	582
54.1.1. Основные явления	582
54.1.2. Общие принципы термомеханики многослойных пленок	591
54.1.3. Нелинейная геометрия	606
54.1.4. Поверхностное напряжение: переход от микро- к наноразмерности	614
54.1.5. Нелинейная характеристика материала	615
54.1.6. Прочие вопросы	620
54.2. Электромеханика тонкопленочных структур	621
54.2.1. Вопросы прикладной электромеханики	621
54.2.2. Анализ электромеханических систем	624



54.2.3. Электромеханика — плоский конденсатор.....	627
54.2.4. Электромеханика балок и пластин.....	631
54.2.5. Электромеханика торсионных пластин.....	634
54.2.6. Рычажный изгиб.....	636
54.2.7. Электромеханика актюаторов.....	637
54.2.8. Электромеханика тестовых структур.....	641
54.2.9. Динамика электромеханики: время переключений (коммутации).....	645
54.2.10. Вопросы электромеханики: заряд диэлектрика.....	647
54.2.11. Вопросы электромеханики: электрический разряд в газе.....	650
54.3. Итоги и вопросы, которые не были рассмотрены.....	654
<b>Литература</b> .....	654
<b>55. Массовое производство и стабильность сферы МЭМС изделий</b> .....	661
55.1. Стратегия производства.....	665
55.1.1. Объем.....	665
55.1.2. Стандартизация.....	666
55.1.3. Средства производства.....	666
55.1.4. Качество.....	667
55.1.5. Защита от воздействия окружающей среды.....	668
55.2. Устойчивое производство.....	668
55.2.1. Конструирование для устойчивого производства.....	668
55.2.2. Технологический процесс и его взаимосвязь с архитектурой изделия.....	669
55.2.3. Освобождение микроструктур.....	681
55.2.4. Соединение пластин.....	682
55.2.5. Разделение пластины.....	685
55.2.6. Частицы.....	686
55.2.7. Электростатический разряд и статические заряды.....	687
55.2.8. Корпусирование и тестирование.....	687
55.2.9. Системы качества.....	693
55.3. Стабильные эксплуатационные характеристики.....	695
55.3.1. Пассивация поверхности.....	695
55.3.2. Системный интерфейс.....	700
<b>Литература</b> .....	700
<b>56. Проблемы надежности и корпусирования в микро/наносистемах</b> .....	707
56.1. Введение в корпусирование микро./нано.электромеханических устройств (МЭМС)/(НЭМС).....	707
56.1.1. Основы корпусирования МЭМС/НЭМС.....	708
56.1.2. Современные методы корпусирования МЭМС/НЭМС.....	711
56.1.3. Процессы присоединения при корпусировании МЭМС/НЭМС.....	712
56.2. Герметичное и вакуумное корпусирование и их применения.....	718
56.2.1. Интегрированные процессы микромеханической обработки.....	718
56.2.2. Процессы посткорпусирования.....	721
56.2.3. Локализованный нагрев и термокомпрессия.....	726
56.3. Тепловые проблемы и надежность корпусирования.....	730
56.3.1. Тепловые проблемы при корпусировании.....	730
56.3.2. Надежность корпусирования.....	734
56.3.3. Длительное и ускоренное тестирование МЭМС.....	736
56.4. Будущие тенденции и резюме.....	743

<b>Литература</b> .....	744
<b>57. Слияние технологий при переходе в нанометровый диапазон</b> .....	752
57.1. Синергетика в нанонауке.....	752
57.1.1. Организационный план.....	753
57.1.2. Улучшение функциональных возможностей человека.....	754
57.2. Динамика слияния в нанодиапазоне.....	757
57.3. Этические, юридические и социальные последствия.....	759
57.3.1. Принципы мотивации.....	759
57.3.2. Методы научных исследований.....	761
57.3.3. Задачи нормативно-правового регулирования.....	762
57.4. Синтез преобразований.....	763
57.4.1. Использование общих языков и средств коммуникации.....	764
57.4.2. Пример статистической изменчивости.....	765
57.4.3. Предлагаемые концепции более высокого уровня.....	766
57.5. Культурные последствия слияния технологий.....	768
57.5.1. Образование.....	768
57.5.2. Мировоззрение.....	769
57.5.3. Политические последствия.....	770
57.6. Заключение.....	773
<b>Литература</b> .....	773
<b>58. Регулирование нанотехнологии: социальные, этические и общечеловеческие вопросы</b> .....	779
58.1. Роль общественных наук.....	779
58.1.1. Границы исследований социальных последствий.....	779
58.1.2. Теория технологического детерминизма.....	782
58.1.3. Теория организаций.....	785
58.2. Влияние нанотехнологии на человека.....	787
58.2.1. Влияние на экономику.....	787
58.2.2. Здоровье и окружающая среда.....	788
58.2.3. Варианты развития событий общественного характера.....	790
58.3. Регулирование нанотехнологии.....	791
58.3.1. Этика.....	791
58.3.2. Власть и законы.....	792
58.4. Культурный контекст нанотехнологии.....	794
58.4.1. Научная фантастика.....	795
58.4.2. Общественное восприятие.....	798
58.4.3. Образование.....	800
58.5. Выводы.....	800
<b>Литература</b> .....	801
<b>Предметный указатель</b> .....	807