

**Д. Ким
В. К. Воронов
А. С. Янющкин**

ОСНОВЫ ФИЗИКИ НАНОМАТЕРИАЛОВ



**ТОНКИЕ
НАУКОЕМКИЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

Оглавление

Введение	7
Глава 1. ВВЕДЕНИЕ В НАНОТЕХНОЛОГИИ	14
1.1. Наноразмеры и кластеры	14
1.2. История возникновения нанотехнологий	18
1.3. Создание объектов по принципам «сверху-вниз» и «снизу-вверх»	20
<i>Контрольные вопросы</i>	22
Глава 2. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УГЛЕРОДНЫХ ФУЛЛЕРЕНОВ, ГРАФЕНОВ, НАНОТРУБОК И МАТЕРИАЛОВ НА ИХ ОСНОВЕ	23
2.1. Фуллерены и их свойства	23
2.2. Графены и их свойства	28
2.3. Электронный транспорт в графене	33
2.3.1. Графеновый полевой транзистор, графеновые наноленты ...	39
2.4. Структура и свойства нанотрубок	41
2.4.1. Структура однослойных нанотрубок	41
2.4.2. Электронные свойства нанотрубок	45
2.4.3. Автоэлектронная эмиссия углеродных нанотрубок ...	48
2.4.4. Упругие свойства углеродных нанотрубок	50
2.4.5. Электромеханические свойства углеродных нанотрубок	57
2.5. Материалы и композиты на основе углеродных нанотрубок ...	58
2.5.1. Материалы из нанотрубок	58
2.5.2. Полимеры и композитные материалы на основе углеродных наноструктур	62
2.5.3. Нанотехнологическое применение углеродных нанотрубок	68
2.5.4. Нанотехнология и проблема записи информации ...	76
<i>Контрольные вопросы</i>	80
Глава 3. ЭФФЕКТЫ РАЗМЕРНОГО КВАНТОВАНИЯ В НАНОСТРУКТУРАХ	81
3.1. Закономерности формирования поверхностных наноструктур германия и кремния	81
3.1.1. Образование островков германия на окисленной поверхности кремния	83
3.1.2. Рост кремния на окисленной поверхности кремния ...	90

3.1.3. Излучательные свойства наноструктур германия и кремния	97
3.2. Теплопередача и бесконтактное трение между наноструктурами	100
3.2.1. Радиационная передача тепла	101
3.2.2. Бесконтактное трение	110
3.3 Особенности электронного строения металлических нанокластеров	115
3.3.1. Энергетические оболочки нанокластеров	116
3.3.2. Парная корреляция и свойства кластеров	121
3.4 Наноструктуры на основе атомной оптики	124
3.4.1. Атомная фабрикация наноструктур на основе бегущих и стоячих световых волн	125
3.4.2. Атомная фабрикация наноструктур на основе лазерных нанополей	127
3.5. Структура и свойства нанокompозитных покрытий	133
3.5.1. Нанокompозитные покрытия с повышенной твёрдостью	136
3.5.2. Сверхтвёрдые нанокompозиты	141
3.5.3. Перспективы применения нанокompозитных покрытий	144
<i>Контрольные вопросы</i>	145
Глава 4. ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОМАТЕРИАЛОВ	146
4.1. Оптические свойства нанокompозитов	146
4.1.1. Модели эффективной среды	147
4.1.2. Формирование нанокompозитных сред	152
4.1.3. Двулучепреломление в наноструктурированных полупроводниках и диэлектриках	159
4.2. Оптические свойства микроструктурированных световодов	164
4.2.1. Свойства микроструктурированных световодов	165
4.2.2. Оптические устройства на основе микроструктурированных световодов	169
<i>Контрольные вопросы</i>	176
Глава 5. МЕТОДЫ НАНОДИАГНОСТИКИ	177
5.1. Основной метод диагностики наноструктур	177
5.2. Принципы работы сканирующих зондовых микроскопов ...	178
5.3. Сканирующие элементы (сканеры) зондовых микроскопов	180

5.4. Сканирующая туннельная микроскопия	184
5.5. Атомно-силовая микроскопия	189
5.6. Контактная атомно-силовая микроскопия	192
5.7. Наномодификация поверхности с помощью сканирующего зондового микроскопа	194
5.8. Ближнепольная оптическая микроскопия	195
5.9. Сканирующий позитронный микроскоп	198
5.9.1. Назначение и устройство сканирующего позитронного микроскопа	198
5.9.2. Источник позитронов и замедлитель	202
5.9.3. Принцип получения позитронных пучков	205
<i>Контрольные вопросы</i>	209

Глава 6. ПРИМЕНЕНИЕ НАНОЧАСТИЦ

И НАНОСТРУКТУРНЫХ МАТЕРИАЛОВ	210
6.1. Преобразователи энергии	210
6.2. Наноструктуры на основе графена — нового материала для технологических приложений	213
6.3. Физические основы оптических метаматериалов	217
6.3.1. Метод волнового обтекания	218
6.3.2. Некоторые приложения трансформационной оптики	225
6.4. Функциональные свойства многокомпонентных нанокомпозитных покрытий	230
6.4.1. Принципы формирования нанокомпозитных покрытий	231
6.4.2. Физические закономерности формирования наноструктурного состояния	235
6.4.3. Комплексные исследования триботехнических покрытий	240
6.5. Наноструктурирование и микроструктурирование материалов в процессе образования треков быстрыми ионами ...	245
6.5.1. Эволюция треков быстрых ионов	246
6.5.2. Наноструктурирование твёрдых тел быстрыми тяжёлыми ионами с последующим травлением треков	252
6.6. Печатные технологии в современной электронной технике ...	259
6.9. Металлические наностёкла и микростёкла	268
6.9.1. Наностёкла, Методы получения	268
6.9.2. Свойства и аттестация наностёкол	275
6.9.3. Деформация металлических стёкол. Влияние размерных эффектов	278

6.9.4. Влияние температуры и ионного облучения на свойства наностёкол	283
6.10. Аддитивные или 3D-технологии послойного нанесения материалов	288
6.10.1. Микро- и наностереолитография	289
6.10.2. Струйная 3D-печать	299
6.10.3. Прямой лазерный перенос материала	303
6.10.4. Методы с субнанометровым разрешением. Гибридные методы 3D-печати	307
<i>Контрольные вопросы</i>	311
Глава 7. МАТЕРИАЛЫ, ПОЛУЧАЕМЫЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ СРЕД	313
7.1. Свойства и применение 2D-материалов на основе дихалькогенидов переходных металлов	313
7.1.1. Структура дихалькогенидов переходных металлов ...	315
7.1.2. Методы получения монослойных и многослойных материалов	318
7.1.3. Свойства дихалькогенидов переходных металлов ...	325
7.1.4. Применение дихалькогенидов переходных металлов	332
7.2. Материалы, получаемые с использованием методов интенсивной пластической деформации	337
7.2.1. Состояния обрабатываемых образцов при интенсивной пластической деформации	339
7.2.2. Типы фазовых превращений при интенсивной пластической информации	347
7.3. Гибридная нанофотоника	352
7.3.1. Гибридные наноструктуры для управления характеристиками излучения	354
7.3.2. Гибридные наноструктуры для управления характеристиками ближнего поля	358
7.3.3. Нелинейные и перестраиваемые гибридные наноантенны	363
<i>Контрольные вопросы</i>	368
Заключение	370
Словарь терминов	378
Библиографический список	402