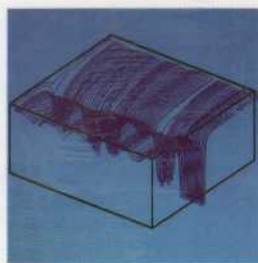


663592

материалов и технологий

ДЖ.М. МАРТИНЕС-ДУАРТ,
Р.ДЖ. МАРТИН-ПАЛМА,
Ф. АГУЛЛО-РУЕДА

Нанотехнологии
для микро- и
оптоэлектроники



ТЕХНОСФЕРА

Мартинес-Дуарт Дж.М., Мартин-Палма Р.Дж., Агулло-Руеда Ф.
Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники
Москва:
Техносфера, 2007. - 368с. ISBN 978-5-94836-126-0

В данной книге подробно описаны основные физические концепции, связанные с нанонаукой и нанотехнологиями, и возможности создания на их основе микроэлектронных и оптоэлектронных приборов нового поколения.

В настоящее время издается много книг по новейшим разделам нанонауки, но почти отсутствуют учебники и пособия для студентов-старшекурсников и аспирантов, связанных с нанонаукой. Предлагаемая книга восполняет этот пробел, так как представляет собой ценное учебное и справочное пособие для студентов, специализирующихся в физике, материаловедении и некоторых других технических дисциплинах. Кроме того, книга может представить интерес для ученых и инженеров-практиков, желающих глубже понять принципы нанонауки и нанотехнологии.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	11
Структура книги	15
Глава 1. Мезоскопическая физика и нанотехнологии	17
1.1. Содержание книги.....	17
1.2. Основные тенденции развития нано- и оптоэлектроники.....	18
1.3. Характеристические длины в мезоскопических системах.....	26
1.4. Квантово-механическая когерентность.....	31
1.5. Квантовые ямы, проволоки и точки.....	32
1.6. Плотность состояний и размерность системы.....	33
1.7. Полупроводниковые гетероструктуры	36
1.8. Квантовые процессы переноса.....	38
Литература.....	39
Дополнительная литература.....	39
Задачи и упражнения.....	40
Глава 2. Введение в физику твердого тела	43
2.1. Введение.....	43
2.2. Краткие сведения из квантовой механики.....	45
2.2.1. Корпускулярно-волновой дуализм и принцип Гейзенберга.....	45
2.2.2. Уравнение Шрёдингера.....	47
2.2.3. Распределения Ферми — Дирака и Бозе — Эйнштейна.....	50
2.2.4. Методы теории возмущений.....	52
2.3. Модель свободных электронов в твердых телах. Функция плотности состояний.....	54
2.4. Теорема Блоха.....	58
2.5. Электроны в кристаллических твердых телах.....	60
2.5.1. Модель почти свободных электронов.....	60
2.5.2. Приближение сильной связи.....	62
2.6. Динамика электронов в энергетических зонах.....	65
2.6.1. Уравнение движения.....	65
2.6.2. Эффективная масса.....	67
2.6.3. Дырки.....	70

Содержание

2.7. Колебания решетки.....	71
2.7.1. Одномерная решетка.....	72
2.7.2. Трехмерная решетка.....	77
2.8. Фононы.....	78
Литература.....	79
Дополнительная литература.....	80
Задачи и упражнения.....	80
Глава 3. Общие сведения из физики полупроводников.....	83
3.1. Введение.....	83
3.2. Энергетические зоны электронов в типичных полупроводниках.....	84
3.3. Собственные и примесные полупроводники.....	87
3.4. Концентрации электронов и дырок в полупроводниках.....	92
3.5. Элементарные процессы переноса в полупроводниках.....	98
3.5.1. Движение носителей заряда в электрическом поле. Подвижность зарядов.....	99
3.5.2. Диффузионная проводимость.....	101
3.5.3. Уравнения непрерывности. Время жизни носителей и длина диффузии.....	102
3.6. Вырожденные полупроводники.....	107
3.7. Оптические свойства полупроводников.....	108
3.7.1. Оптические процессы в полупроводниках.....	108
3.7.2. Межзонное поглощение.....	110
3.7.3. Экситонные эффекты.....	113
3.7.4. Спектр излучения.....	117
3.7.5. Стимулированное излучение.....	119
Литература.....	122
Дополнительная литература.....	122
Задачи и упражнения.....	123
Глава 4. Физика полупроводников	
спониженной размерностью.....	126
4.1. Введение.....	126
4.2. Основные характеристики двумерных полупроводниковых наноструктур.....	127
4.3. Прямоугольная потенциальная яма конечной глубины.....	134

4.4.	Параболическая и треугольная квантовые ямы.....	136
4.4.1.	Параболическая потенциальная яма.....	136
4.4.2.	Треугольная потенциальная яма.....	137
4.5.	Квантовые проволоки.....	139
4.6.	Квантовые точки.....	142
4.7.	Напряженные слои.....	144
4.8.	Влияние напряжений на валентную зону.....	146
4.9.	Зонная структура в квантовых ямах.....	150
4.10.	Экситонные эффекты в квантовых ямах.....	152
	Литература.....	156
	Дополнительная литература.....	156
	Задачи и упражнения.....	157

Глава 5. Полупроводниковые квантовые наноструктуры

и сверхрешетки.....	160	
5.1.	Введение.....	160
5.2.	Структуры полевых МОП-транзисторов (MOSFET)	161
5.3.	Гетеропереходы.....	166
5.3.1.	Гетеропереходы с модулированным легированием.....	166
5.3.2.	Напряженные гетероструктуры на основе SiGe.....	170
5.4.	Квантовые ямы.....	172
5.4.1.	Модулированно-легированные квантовые ямы.....	172
5.4.2.	Множественные квантовые ямы (MQW).....	174
5.5.	Сверхрешетки.....	177
5.5.1.	Концепция сверхрешеток.....	177
5.5.2.	Модель сверхрешетки Кронига — Пенни. Расщепление зон.....	178
5.5.3.	Приближение сильной связи в теории сверхрешеток.....	184
5.5.4.	Сверхрешетки типа <i>nipi</i>	187
	Литература.....	189
	Дополнительная литература.....	190
	Задачи и упражнения.....	190

Глава 6 Процессы переноса в наноструктурах

в электрических полях.....	192	
6.1.	Введение.....	192

6.2.	Продольный перенос	193
6.2.1.	Механизмы рассеяния электронов	193
6.2.2.	Экспериментальные данные по продольному переносу.....	197
6.2.3.	Продольный перенос горячих электронов	200
6.3.	Поперечный перенос.....	203
6.3.1.	Резонансное туннелирование	204
6.3.2.	Влияние поперечных электрических полей на свойства сверхрешеток.....	206
6.4.	Квантовый перенос в наноструктурах.....	212
6.4.1.	Квантовая проводимость. Формула Ландауэра.....	213
6.4.2.	Формула Ландауэра — Бюттикера для квантового переноса в многозондовых структурах.....	218
6.4.3.	Кулоновская блокада	220
	Литература.....	224
	Дополнительная литература.....	225
	Задачи и упражнения.....	225

Глава 7. Перенос в магнитных полях и квантовый эффект Холла

		229
7.1.	Введение.....	229
7.2.	Воздействие магнитного поля на кристаллы	231
7.3.	Поведение систем пониженной размерности в магнитных полях.....	233
7.4.	Плотность состояний двумерных систем в магнитных полях.....	234
7.5.	Эффект Аронова — Бома	236
7.6.	Эффект Шубникова — де Гааза.....	239
7.7.	Квантовый эффект Холла	242
7.7.1.	Экспериментальные данные и элементарная теория целочисленного квантового эффекта Холла (IQHE).....	242
7.7.2.	Краевые состояния и IQHE	244
7.7.3.	Протяженные и локализованные состояния	247
7.7.4.	Использование квантового эффекта Холла (IQHE) в метрологии	249
7.7.5.	Дробный квантовый эффект Холла (FQHE)	251
	Литература.....	254

Дополнительная литература.....	255
Задачи и упражнения.....	255

**Глава 8. Оптические и электрооптические процессы
в квантовых гетероструктурах**

258

8.1. Введение.....	258
8.2. Оптические свойства квантовых ям и сверхрешеток.....	259
8.3. Оптические характеристики квантовых точек и нанокристаллов.....	265
8.3.1. Методы выращивания кристаллов. Самоорганизация квантовых точек.....	265
8.3.2. Оптические свойства.....	268
8.4. Электрооптические эффекты в квантовых точках. Эффект квантово-размерный Штарка.....	277
8.5. Электрооптические эффекты в сверхрешетках. Лестницы Штарка и осцилляции Блоха.....	282
Литература.....	288
Дополнительная литература.....	289
Задачи и упражнения.....	289

Глава 9. Электронные приборы на наноструктурах.....

292

9.1. Введение.....	292
9.2. Модуляционно-легированные полевые транзисторы (MODFET).....	295
9.3. Биполярные транзисторы на гетеропереходах.....	298
9.4. Резонансный туннельный эффект.....	302
9.5. Транзисторы на горячих электронах.....	307
9.6. Транзисторы с резонансным туннелированием.....	311
9.7. Одноэлектронные транзисторы.....	314
Литература.....	319
Дополнительная литература.....	319
Задачи и упражнения.....	319

Глава 10. Оптоэлектронные устройства

на основе наноструктур.....322

10.1. Введение.....	322
10.2. Лазеры на полупроводниковых гетероструктурах.....	323
10.3. Лазеры на полупроводниковых квантовых ямах.....	327
10.4. Поверхностные лазеры с вертикальным резонатором (VCSEL).....	332

10.5. Лазеры на напряженных структурах с квантовыми ямами.....	335
10.6. Лазеры на квантовых точках	338
10.7. Фотодетекторы на квантовых ямах и сверхрешетках.....	343
10.7.1. Фотодетекторы на подзонах квантовых ям	343
10.7.2. Лавинные фотодетекторы на сверхрешетках	345
10.8. Модуляторы на квантовых ямах.....	346
Литература.....	349
Дополнительная литература.....	350
Задачи и упражнения.....	350

Дополнение. Оборудование для исследований в нано- и микроэлектронике	353
---	------------