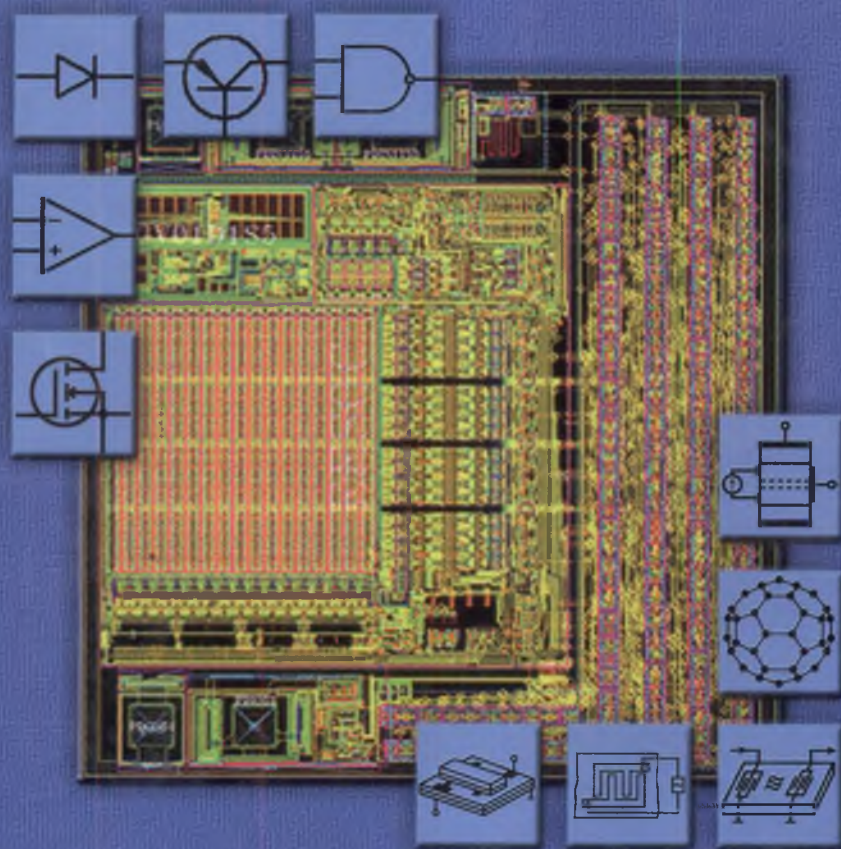


БАЗОВЫЕ ЛЕКЦИИ ПО ЭЛЕКТРОНИКЕ

Том II

Твердотельная электроника



ТЕХНОСФЕРА

Базовые лекции по электронике (в 2-х томах)

II том

Твердотельная
электроника

СБОРНИК
ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ
В.М. ПРОЛЕЙКО

ТЕХНОСФЕРА

Москва

2009

Базовые лекции по электронике (в 2-х томах)

Том II

Твердотельная электроника

Сб. под общ. ред. В.М. Пролейко

Москва: Техносфера 2009. – 608 с.

ISBN 978-5-94836-215-1 (том II)

ISBN 978-5-94836-213-7

Современные требования к специалистам электронной промышленности многократно возрастают и требуют пересмотра учебных планов многих вузов. Авторы книги — авторитетные ученые, совмещающие научное руководство в области электроники с преподаванием основ этого предмета, — предлагают читателю компактно изложенные лекции, подготовленные в стиле «приглашенного профессора».

Второй том открывается Нобелевской лекцией академика Ж.И. Алферова. В книге представлены полупроводниковые и фотоэлектронные приборы, наноэлектроника, приборы функциональной электроники, вычислительная и микросистемотехника.

Книга адресована преподавателям вузов, специалистам в области электроники и студентам — будущим ученым, инженерам и руководителям отечественной электронной промышленности.

© 2009, ЗАО «Научно-производственный комплекс «Компьютерлинк»

© 2009, ЗАО «РИЦ «Техносфера», оригинал-макет, оформление

ISBN 978-5-94836-215-1 (том II)

ISBN 978-5-94836-213-7

СОДЕРЖАНИЕ

Лекция 1. Алферов Ж. И.

Двойные гетероструктуры: концепция и применения в физике, электронике и технологии	10
1.1. Введение.....	10
1.2. Классические гетероструктуры.....	11
1.3. Гетероструктуры с квантовыми ямами и сверхрешетками.....	20
1.4. Гетероструктуры с квантовыми проволоками и квантовыми точками.....	27
1.5. Тенденции развития.....	36
Литература.....	38

Лекция 2. Федотов Я. А.

Электроны и дырки...	46
2.1. Первая революция в электронике.....	48
2.2. Утраченный приоритет.....	49
2.3. Спасательный круг в электронике.....	51
2.4. Надежность — дело тонкое.....	53
2.5. Спасательный круг или гормон роста?.....	57
2.6. Засучив рукава.....	58
2.7. Планарная технология.....	59
2.8. Интегральная микроэлектроника.....	62
2.9. Микропроцессоры и микроконтроллеры.....	64
2.10. Виртуальное тестирование.....	67
2.11. А что в итоге?.....	68
Литература.....	70

Лекция 3. Валиев К. А.

От микро- и нанoeлектроники к твердотельным квантовым компьютерам	72
3.1. Транзисторная нанoeлектроника.....	76
3.2. Мезоскопические наноструктуры и приборы на их основе.....	89
3.3. Смена парадигмы наноприборов: переход к функционированию по квантовым законам.....	91
Литература.....	95

Лекция 4. Малашевич Б. М., Малашевич Д. Б.

Микроэлектроника. Краткие основы и история развития	96
4.1. Введение.....	96
4.2. Полупроводники.....	98
4.2.1. О физике полупроводников.....	99
4.2.2. Полупроводниковые материалы.....	105
4.3. Полупроводниковые приборы.....	106

4.3.1. Полупроводниковые диоды	107
4.3.2. Полупроводниковые триоды — транзисторы	107
4.3.3. Интегральные схемы	107
4.3.4. Конструкции полупроводниковых приборов	108
4.3.5. Типы р-п переходов полупроводниковых приборов	108
4.3.6. Полупроводниковые диоды	109
4.3.7. Транзисторы	109
4.3.7.1. Виды транзисторов	110
4.3.7.2. Первый транзистор	110
4.3.7.3. Первые плоскостные транзисторы	113
4.3.7.4. Биполярные транзисторы и диоды	114
4.3.7.5. Точечные приборы	115
4.3.7.6. Плоскостные приборы	116
4.3.7.7. Полевые транзисторы	121
4.4. Микроминиатюризация	122
4.5. Роль транзистора	124
4.6. Интегральная электроника	124
4.6.1. Гибридная микроэлектроника	125
4.6.1.1. Толсто пленочные ГИС	125
4.6.1.2. Тонко пленочные ГИС	129
4.6.2. Полупроводниковая микроэлектроника	131
4.6.2.1. Первые полупроводниковые интегральные схемы	132
4.6.2.2. 1962 г. — год зарождения микроэлектронной промышленности в США и СССР	137
4.6.3. Микроэлектронно-механические системы (МЭМС)	139
4.6.4. Технология создания полупроводниковых приборов	140
4.6.4.1. Проектирование	140
4.6.4.2. Выполнение проекта	145
4.6.4.3. Завод полупроводниковых приборов	154
4.6.4.4. Отечественная микроэлектроника	159
4.6.5. Нанозлектроника	165
4.6.5.1. Традиционная нанозлектроника	165
4.6.5.2. Молекулярная нанозлектроника	166
4.7. Заключение	170

Лекция 5. Носов Ю. Р.

Оптоэлектроника: исторический аспект	171
5.1. Введение	171
5.2. Предмет исследования	172
5.3. Из предыстории в современность	175
5.4. «Новая физика» для оптоэлектроники	179
5.5. Фотоприемники	182
5.6. Излучатели	185
5.7. Транзисторная классика	190

5.8. Гетеролазер — премьер оптоэлектроники	193
5.9. Материалы оптоэлектроники	198
5.10. Заключение	202

Лекция 6. Дирочка А. И., Курбатов Л. Н.

Фотоэлектроника	206
Часть I	206
6.1. Введение	206
6.1.1. Краткий очерк развития разработок фотоприемников	207
6.1.2. Фотоприемники на основе внешнего фотоэффекта (фотоэмиссионные ФП)	208
6.1.3. Фотоприемники на основе внутреннего фотоэффекта	211
6.2. Основные фотоэлектрические параметры ФП	214
6.3. Фотонные приемники излучения	221
6.3.1. Фотоэлектрические полупроводниковые приемники излучения (ФЭПП)	222
6.3.1.1. Фоторезисторы (ФР)	222
6.3.1.2. Фотовольтаические ФП	228
6.3.1.3. Фотодиод (ФД)	229
6.3.1.4. Вольтамперная характеристика (ВАХ) фотодиода. Структура фотодиода. Лавинный фотодиод	230
6.3.1.5. Фотовольтаический режим работы фотодиода	231
6.3.1.6. Фотодиодный режим работы ФД	232
6.3.1.7. Лавинные фотодиоды (ЛФД)	234
6.3.2. Параметры фотоэлектрических полупроводниковых приемников излучения (ФЭПП). Шумы ФЭПП	237
6.3.2.1. Мощность, эквивалентная шуму (пороговая чувствительность)	241
6.3.2.2. Обнаружительная способность	242
6.3.3. Фотоприемники на основе низкоразмерных структур	243
6.3.3.1. Сверхрешетки (СР)	243
6.3.3.2. Физические основы работы ФП на сверхрешетках	246
6.3.3.3. Лавинный фотодиод на основе СР	246
6.3.3.4. Фотоприемники на ИК-область спектра на межминизонных переходах	247
Литература	249
Часть II	251
6.3.6. Фотоэмиссионные фотоприемники (фотоприемники на основе внешнего фотоэффекта)	251
6.3.6.1. Законы внешнего фотоэффекта	252
6.3.6.2. Фотоэлектронный умножитель (ФЭУ)	256
6.3.7. Прием оптического сигнала. Особенности электронного тракта ФП и ФПУ	258

6.3.8. Гетеродинный (когерентный) прием излучения оптического диапазона.....	261
6.4. Тепловые приемники излучения (ТПИ).....	263
6.4.1. Типы ТПИ.....	265
6.5. Фотоэлектрические приемники изображения (формирователи сигнала изображения, ФСИ).....	269
6.5.1. Электронно-оптические преобразователи (ЭОП).....	269
6.5.2. Приемники изображения на основе ФЭПП.....	274
6.5.3. Фотоматрицы для средней и дальней ИК-областей спектра.....	283
Заключение.....	293
Литература.....	293

Лекция 7. Ковалев Ф. И.

Силовая электроника.....	295
7.1. Введение.....	295
7.2. Параметры и характеристики электроэнергии.....	297
7.3. Основные типы статистических преобразователей.....	297
7.4. Силовые полупроводниковые приборы.....	300
7.5. Силовые интегральные схемы.....	309
7.6. Разумные (интеллектуальные) интегральные схемы.....	311
7.7. Применение силовых преобразовательных устройств.....	312
7.8. Тяговый электропривод.....	316
7.9. Агрегаты бесперебойного питания.....	316
7.10. Электрооборудование автотранспорта.....	318
7.11. Светотехническое оборудование.....	319
7.12. Индукционный нагрев.....	319
7.13. Статические коммутационные аппараты.....	319
7.14. Заключение.....	321
Литература.....	321

Лекция 8. Щука А. А.

Элементы и приборы наноэлектроники.....	322
8.1. Введение в наноэлектронику.....	322
8.2. Нанотранзисторные структуры.....	327
8.2.1. Кремниевые транзисторы.....	327
8.2.2. Гетеротранзисторы.....	332
8.2.3. Нанотранзисторы на основе углеродных нанотрубок.....	340
8.2.4. Успехи и перспективы нанотранзисторостроения.....	341
8.3. Приборы одноэлектроники.....	343
8.3.1. Эффект одноэлектронного туннелирования.....	343
8.3.2. Приборные структуры одноэлектроники.....	345
8.3.3. Устройства на одноэлектронных транзисторах.....	350
8.4. Приборы политроники.....	354
8.5. Спинтроника.....	359

8.5.1. Природа спиновых волн	359
8.5.2. Приборы на МСВ	362
8.6. Нанозлектронные запоминающие устройства	366
8.7. Заключение	370
Литература	370
Лекция 9. Грибов Б. Г.	
Электронное материаловедение	372
9.1. Введение в электронное материаловедение	372
9.2. Органические материалы в микроэлектронике	383
Лекция 10. Шука А. А.	
Функциональная электроника	388
10.1. Микроэлектроника сегодня, завтра	388
10.2. Микроэлектроника динамических неопределенностей	391
10.3. Направления развития функциональной электроники	397
10.3.1. Функциональная акустоэлектроника	397
10.3.2. Функциональная диэлектрическая электроника	403
10.3.3. Полупроводниковая функциональная электроника	407
10.3.4. Функциональная магнитоэлектроника	413
10.4. Функциональная оптоэлектроника	416
10.5. Функциональная молекулярная электроника	420
10.5.1. Устройства функциональной электроники второго поколения	421
10.6. Заключение	424
Лекция 11. Гуляев Ю. В.	
Акустоэлектроника (исторический аспект)	425
11.1. Введение	425
11.2. Акустоэлектронные явления на поверхностных акустических волнах	427
11.3. Акустоэлектроника сверхвысоких частот на объемных акустических волнах	435
11.4. Физические исследования по акустоэлектронике	442
11.5. Заключение: некоторые перспективы	444
Литература	446
Лекция 12. Яковлев Ю. М., Петров В. В.	
Магнитная электроника	448
12.1. Введение	449
12.2. Основы технологии ферритовых материалов	462
12.3. Ферритовые материалы в радио- и телевизионной технике	464
12.4. Гиромагнетизм и применение ферритов в СВЧ диапазоне	469

12.4.1. Классификация ферритов СВЧ, основные параметры, ряды.....	472
12.4.2. Классификация, назначение и параметры ферритовых приборов СВЧ.....	474
12.4.3. Принцип действия и конструкция ферритовых циркуляторов.....	476
12.4.4. Радиопоглощающие материалы и покрытия.....	478
12.5. Спин-волновые среды и приборы.....	479
12.5.1. Приборы спин-волновой электроники.....	479
12.5.2. Приборы, использующие нелинейные свойства МСВ.....	481
12.5.3. Монокристаллические ферритовые материалы и их применение.....	482
12.6. Магнитооптические эффекты и их применение.....	487
12.7. Магнитная память и запоминающие устройства.....	491
12.7.1. Общие сведения и магнитные материалы для элементов памяти.....	491
12.7.2. Магнитные элементы памяти с неразветвленным магнитопроводом.....	492
12.7.3. Магнитные элементы памяти с разветвленным магнитопроводом.....	494
12.7.4. Цилиндрические магнитные домены.....	496
Литература.....	497

Лекция 13. Мальцев П. П., Телец В. А.

Микросистемная техника.....	499
13.1. Предисловие.....	499
13.2. Введение.....	501
13.3. Общие положения.....	505
13.3.1. Основные направления развития изделий МСТ.....	505
13.3.1.1. Управление развитием изделий МСТ.....	508
13.3.1.2. Достижения в развитии изделий МСТ.....	509
13.3.1.3. Условия для развития изделий МСТ.....	511
13.3.2. Принципы построения и технология изготовления изделий МСТ.....	512
13.3.2.1. Состав основных параметров и характеристик изделий микросистемной техники.....	512
13.3.2.2. Материаловедческий базис изделий МСТ.....	514
13.3.2.3. Технологический базис изделий МСТ.....	522
13.3.3. Элементный базис изделий МСТ.....	535
13.3.3.1. Технологология МСТ и МЭМС устройств для СВЧ-техники.....	554
13.3.4. Перспективные области боевого и специального применения изделий МСТ.....	558
Литература.....	573

Лекция 14. Левин В. К.**Высокопроизводительные вычислительные системы —**

суперкомпьютеры в России	576
14.1. Общая характеристика развития суперкомпьютеров.....	576
14.2. Современные концепции построения высокопроизводительных вычислительных систем.....	580
14.3. Факторы повышения производительности вычислительных систем.....	582
14.4. Реализация многопроцессорных вычислительных систем.....	584
14.5. Заключение.....	587
Литература.....	588

Лекция 15. Валиев К. А.**Квантовая информатика: квантовые компьютеры, связь и криптография**.....

595	
15.1. Введение.....	595
15.2. Классическая информатика и ее элементная база.....	596
15.3. Квантовая физика и квантовая информатика.....	597
15.4. Кубиты — квантовые биты и операции над ними.....	598
15.5. Схема квантового компьютера.....	600
15.6. Возможные пути создания квантовых компьютеров.....	601
15.7. Квантовая коррекция ошибок в квантовом компьютере.....	604
15.8. Квантовая связь и криптография.....	605
15.9. Заключение.....	606
Литература.....	607