

**В. В. ПАСЫНКОВ
Л. К. ЧИРКИН**

БНЛУ Научная библиотека
* 8 0 1 2 5 6 3 0 4 *

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ

Издание десятое, стереотипное

ДОПУЩЕНО

*Министерством образования Российской Федерации
в качестве учебного пособия для студентов высших
учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки
бакалавров и магистров «Электроника и микроэлектроника»
и по направлению подготовки дипломированных специалистов
«Электроника и микроэлектроника»*



ЛАНЬ

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ • МОСКВА • КРАСНОДАР
2022**

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | <i>стр.</i> |
|---|-------------|
| Предисловие | 3 |
| Введение | 5 |
| | |
| Глава 1 Основные сведения по физике полупроводников | |
| § 1.1. Энергетические зоны полупроводников | 7 |
| § 1.2. Генерация и рекомбинация носителей заряда | 9 |
| § 1.3. Концентрация носителей заряда в полупроводнике при термодинамическом равновесии | 11 |
| § 1.4. Собственные полупроводники | 13 |
| § 1.5. Примесные полупроводники | 15 |
| § 1.6. Время жизни неравновесных носителей заряда | 17 |
| § 1.7. Процессы переноса зарядов в полупроводниках | 20 |
| § 1.8. Температурные зависимости концентрации носителей заряда и положения уровня Ферми | 24 |
| § 1.9. Температурные зависимости подвижности носителей заряда и удельной проводимости | 25 |
| § 1.10. Полупроводники в сильных электрических полях | 27 |
| § 1.11. Оптические свойства полупроводников | 31 |
| § 1.12. Фотоэлектрические явления в полупроводниках | 34 |
| § 1.13. Обедненные, инверсные и обогащенные поверхностные слои | 35 |
| § 1.14. Поверхностная рекомбинация | 38 |
| § 1.15. Проводимость канала поверхностной электропроводности | 39 |
| | |
| Глава 2 Контактные явления | |
| § 2.1. Электронно-дырочный переход | 41 |
| § 2.2. Токи через электронно-дырочный переход | 44 |
| § 2.3. Концентрация неосновных носителей заряда у границ электронно-дырочного перехода | 45 |
| § 2.4. Методы формирования и классификация электронно-дырочных переходов | 47 |
| | 475 |

| | | |
|---------|---|----|
| § 2.5. | Распределение напряженности электрического поля и потенциала в электронно-дырочном переходе | 50 |
| § 2.6 | Аналитический расчет резкого электронно-дырочного перехода | 53 |
| § 2.7. | Аналитический расчет плавного электронно-дырочного перехода с линейным распределением концентрации примесей | 57 |
| § 2.8. | Барьерная емкость электронно-дырочного перехода | 59 |
| § 2.9. | Омический переход на контакте полупроводников с одним типом электропроводности | 62 |
| § 2.10. | Выпрямляющие и омические переходы на контакте металла с полупроводником | 65 |
| § 2.11. | Гетеропереходы | 68 |
| § 2.12. | Свойства и параметры омических переходов | 71 |

Глава 3

Полупроводниковые диоды

| | | |
|---------|---|-----|
| § 3.1. | Структура и основные элементы | 76 |
| § 3.2. | Вольт-амперная характеристика диода при инжекции и экстракции носителей заряда | 78 |
| § 3.3. | Расчет распределения неосновных носителей заряда в базе диода | 81 |
| § 3.4. | Расчет постоянных токов, проходящих через диод и связанных с инжекцией и экстракцией носителей заряда | 85 |
| § 3.5. | Частные случаи расчета распределения неосновных носителей заряда и тока насыщения | 86 |
| § 3.6. | Расчет переменных токов и полной проводимости диода | 90 |
| § 3.7. | Графики частотных зависимостей параметров диода | 95 |
| § 3.8. | Физический смысл параметров диода | 96 |
| § 3.9. | Пределы применимости частных случаев расчета параметров диода | 100 |
| § 3.10. | Генерация и рекомбинация носителей заряда в электронно-дырочном переходе | 101 |
| § 3.11. | Лавинный пробой | 103 |
| § 3.12. | Туннельный пробой | 111 |
| § 3.13. | Тепловой пробой | 113 |
| § 3.14. | Влияние поверхностных состояний на вольт-амперную характеристику диода | 119 |
| § 3.15. | Процессы в диодах при больших прямых токах | 122 |
| § 3.16. | Расчет вольт-амперной характеристики диода при больших прямых токах | 126 |
| § 3.17. | Вольт-амперная характеристика диода в полулוגарифмических координатах | 132 |
| § 3.18. | Переходные процессы в диодах | 133 |
| § 3.19. | Выпрямительные плоскостные низкочастотные диоды | 138 |

| | | |
|---------|---|-----|
| § 3.20. | Селеновые выпрямители | 145 |
| § 3.21. | Импульсные диоды | 148 |
| § 3.22. | Диоды Шотки | 152 |
| § 3.23. | Диоды с резким восстановлением обратного сопротивления | 156 |
| § 3.24. | Сверхвысокочастотные диоды | 160 |
| § 3.25. | Стабилитроны | 167 |
| § 3.26. | Стабисторы | 171 |
| § 3.27. | Шумовые диоды | 172 |
| § 3.28. | Лавинно пролетные диоды | 173 |
| § 3.29. | Туннельные диоды | 177 |
| § 3.30. | Обращенные диоды | 183 |
| § 3.31. | Варикапы | 184 |
| § 3.32. | Надежность диодов | 188 |

Глава 4 Биполярные транзисторы

| | | |
|---------|---|-----|
| § 4.1. | Структура и основные режимы работы | 192 |
| § 4.2. | Распределение стационарных потоков носителей заряда | 195 |
| § 4.3. | Распределение носителей заряда | 200 |
| § 4.4. | Постоянные токи при активном режиме | 204 |
| § 4.5. | Явления в транзисторах при больших токах | 207 |
| § 4.6. | Статические параметры | 210 |
| § 4.7. | Пробой транзисторов | 214 |
| § 4.8. | Статические характеристики | 218 |
| § 4.9. | Работа транзистора на малом переменном сигнале | 226 |
| § 4.10. | Малосигнальные параметры | 229 |
| § 4.11. | Эквивалентные схемы | 233 |
| § 4.12. | Эквивалентная схема одномерной теоретической модели | 236 |
| § 4.13. | Барьерные емкости переходов и сопротивление базы | 241 |
| § 4.14. | Частотные характеристики | 248 |
| § 4.15. | Работа транзистора на импульсах | 257 |
| § 4.16. | Шумы в транзисторах | 262 |
| § 4.17. | Технология изготовления и конструкция биполярных транзисторов | 265 |
| § 4.18. | Однопереходные транзисторы | 272 |
| § 4.19. | Надежность транзисторов | 275 |

Глава 5 Тиристоры

| | | |
|--------|---|-----|
| § 5.1. | Диодные тиристоры | 280 |
| § 5.2. | Диодный тиристор с зашунтированным эмиттерным переходом | 287 |
| § 5.3. | Триодные тиристоры | 288 |
| § 5.4. | Тиристоры, проводящие в обратном направлении | 290 |
| § 5.5. | Симметричные тиристоры | 292 |
| § 5.6. | Способы управления тиристорами | 293 |
| § 5.7. | Конструкция и технология изготовления тиристоров | 298 |

Глава 6 Полевые транзисторы и приборы с зарядовой связью

| | | |
|--------|--|-----|
| § 6.1. | Полевые транзисторы с управляющим переходом | 301 |
| § 6.2. | Расчет выходных статических характеристик полевого транзистора с управляющим переходом | 307 |
| § 6.3. | Эквивалентные схемы полевого транзистора с управляющим переходом | 309 |

| | | | |
|--|---------|---|-----|
| | § 6.4. | Частотные свойства полевых транзисторов с управляющим переходом | 311 |
| | § 6.5. | Полевые транзисторы с изолированным затвором | 312 |
| | § 6.6. | Расчет выходных статических характеристик полевого транзистора с изолированным затвором | 319 |
| | § 6.7. | Параметры и свойства полевых транзисторов с изолированным затвором | 321 |
| | § 6.8. | Полупроводниковые приборы с зарядовой связью | 322 |
| | § 6.9. | Разновидности приборов с зарядовой связью | 328 |
| Глава 7 | § 7.1. | Задачи и принципы микроэлектроники | 332 |
| Интегральные микросхемы | § 7.2. | Классификация интегральных микросхем | 333 |
| | § 7.3. | Методы изоляции элементов интегральных микросхем | 336 |
| | § 7.4. | Активные элементы | 338 |
| | § 7.5. | Пассивные элементы | 344 |
| Глава 8 | § 8.1. | Принцип действия генераторов Ганна | 352 |
| Полупроводниковые приборы на эффекте междолинного перехода электронов | § 8.2. | Технология изготовления генераторов Ганна | 356 |
| | § 8.3. | Параметры и свойства генераторов Ганна | 357 |
| | § 8.4. | Генераторы с ограничением накопления объемного заряда | 359 |
| Глава 9 | § 9.1. | Классификация оптоэлектронных полупроводниковых приборов | 361 |
| Оптоэлектронные полупроводниковые приборы | § 9.2. | Полупроводниковые приборы отображения информации и инфракрасные излучающие диоды | 362 |
| | § 9.3. | Электролюминесцентные порошковые излучатели | 370 |
| | § 9.4. | Электролюминесцентные пленочные излучатели | 372 |
| | § 9.5. | Лазеры | 373 |
| | § 9.6. | Фоторезисторы | 378 |
| | § 9.7. | Фотодиоды | 384 |
| | § 9.8. | Полупроводниковые фотоэлементы | 389 |
| | § 9.9. | Фототранзисторы и фототиристоры | 392 |
| | § 9.10. | Приемники проникающей радиации и корпускулярно преобразовательные приборы | 394 |
| | § 9.11. | Оптопары и оптоэлектронные микросхемы | 398 |
| Глава 10 | § 10.1. | Термисторы прямого подогрева | 401 |
| Терморезисторы | § 10.2. | Болометры | 407 |
| | § 10.3. | Термисторы косвенного подогрева | 408 |
| | § 10.4. | Позисторы | 409 |
| Глава 11 | § 11.1. | Принцип действия варисторов из карбида кремния | 414 |
| Варисторы | § 11.2. | Характеристики | 416 |

Глава 12
Полупроводниковые приборы
на аморфных
полупроводниках

Глава 13
Полупроводниковые
термоэлектрические
устройства

Глава 14
Полупроводниковые
гальваномагнитные
приборы

| | |
|---|-----|
| § 11.3. Варисторы из оксидных полупроводников | 419 |
| § 12.1. Переключатели на аморфных полупроводниках | 421 |
| § 12.2. Элементы памяти на аморфных полупроводниках | 424 |
| § 12.3. Надежность, стабильность и срок службы приборов на аморфных полупроводниках | 426 |
| § 13.1. Конструкция и принцип действия | 428 |
| § 13.2. Термоэлектрические генераторы | 433 |
| § 13.3. Холодильники и тепловые насосы | 438 |
| § 14.1. Принцип действия | 442 |
| § 14.2. Преобразователи Холла | 447 |
| § 14.3. Магниторезисторы | 453 |
| § 14.4. Магнитодиоды и магнитотранзисторы | 454 |
| Заключение | 457 |
| Список рекомендуемой литературы | 460 |
| Обозначения основных величин, принятые в книге | 461 |
| Условные графические обозначения основных полупроводниковых приборов в схемах | 463 |
| Универсальные физические постоянные | 467 |
| Предметный указатель | 468 |