

В. А. Гольдаде, М. А. Ярмоленко

МАТЕРИАЛЫ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

*Допущено
Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебного пособия для студентов
учреждений высшего образования
по специальности «Прикладная физика»*

Минск
РИВШ
2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ	3
ВВЕДЕНИЕ. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОНИКИ	6
Глава 1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О МАТЕРИАЛАХ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ	9
1.1. Общая классификация материалов электронной техники	9
1.2. Виды химической связи	11
1.3. Особенности строения твердых тел	19
1.4. Дефекты в кристаллах	25
1.5. Элементы зонной теории твердого тела	27
1.6. Основные свойства материалов	30
<i>Вопросы для самоконтроля</i>	35
Глава 2. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ПРОВОДНИКОВ	37
2.1. Природа электропроводности металлов	37
2.2. Работа выхода электрона	42
2.3. Термоэлектрические явления	43
2.4. Сверхпроводимость	48
2.5. Особенности свойств металлов в тонких слоях	55
<i>Вопросы для самоконтроля</i>	57
Глава 3. МАТЕРИАЛЫ ВЫСОКОЙ ПРОВОДИМОСТИ	58
3.1. Классификация проводников	58
3.2. Медь	60
3.3. Алюминий	61
3.4. Золото	63
3.5. Серебро	64
3.6. Хром	65
3.7. Молибден	66
3.8. Платина	67
3.9. Палладий	68
3.10. Сплавы на основе меди и алюминия	68
3.11. Сверхпроводящие материалы	70
<i>Вопросы для самоконтроля</i>	76
Глава 4. МАТЕРИАЛЫ ВЫСОКОГО УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ	77
4.1. Материалы для резисторов	77
4.2. Материалы для электронагревателей	83
4.3. Материалы для термопар	85
4.4. Припой и флосы	87
<i>Вопросы для самоконтроля</i>	90
Глава 5. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ДИЭЛЕКТРИКОВ	91
5.1. Механизмы проводимости	91
5.2. Поляризация	97
5.2.1. Основные понятия	97

5.2.2. Механизмы поляризации.....	99
5.2.3. Линейные и нелинейные диэлектрики.....	105
5.3. Диэлектрические потери.....	106
5.4. Классификация диэлектрических материалов.....	109
<i>Вопросы для самоконтроля.....</i>	<i>110</i>
Глава 6. НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ.....	111
6.1. Неорганические стекла.....	111
6.1.1. Классификация.....	111
6.1.2. Свойства стекол.....	115
6.1.3. Стекланные волоконные оптические элементы.....	119
6.2. Керамика.....	121
6.2.1. Особенности технологического цикла.....	122
6.2.2. Классификация керамики.....	123
6.3. Ситаллы.....	125
6.4. Слюда.....	128
<i>Вопросы для самоконтроля.....</i>	<i>130</i>
Глава 7. ОРГАНИЧЕСКИЕ ДИЭЛЕКТРИКИ (ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ).....	131
7.1. Классификация полимеров.....	131
7.2. Термопласты.....	135
7.3. Реактопласты.....	141
7.4. Эластомеры.....	143
7.5. Слоистые пластики.....	145
7.6. Электроизоляционные компаунды.....	147
7.7. Клеи и герметики.....	148
<i>Вопросы для самоконтроля.....</i>	<i>155</i>
Глава 8. АКТИВНЫЕ ДИЭЛЕКТРИКИ.....	156
8.1. Пьезоэлектрики.....	156
8.2. Пироэлектрики.....	159
8.3. Сегнетоэлектрики.....	161
8.4. Электреты.....	163
8.5. Жидкие кристаллы.....	169
<i>Вопросы для самоконтроля.....</i>	<i>173</i>
Глава 9. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛУПРОВОДНИКОВ.....	174
9.1. Зонная структура.....	175
9.2. Собственная и примесная проводимость.....	176
9.3. Контактные явления.....	183
9.4. Поглощение света полупроводниками. Фотопроводимость.....	187
<i>Вопросы для самоконтроля.....</i>	<i>192</i>
Глава 10. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ, МЕТОДЫ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ, ОЧИСТКИ И ВЫРАЩИВАНИЯ МОНОКРИСТАЛЛОВ.....	193
10.1. Классификация полупроводниковых материалов.....	193
10.2. Простые полупроводники.....	195
10.2.1. Кремний.....	195
10.2.2. Германий.....	198
10.3. Выращивание и очистка монокристаллов.....	199
10.3.1. Направленная кристаллизация.....	199
10.3.2. Метод зонной плавки.....	201
10.3.3. Метод Чохральского.....	203

10.3.4. Метод вертикальной направленной кристаллизации	205
10.3.5. Метод горизонтальной направленной кристаллизации	207
10.4. Легирование полупроводников.....	208
<i>Вопросы для самоконтроля.....</i>	<i>211</i>
Глава 11. МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК.....	212
11.1. Термовакuumное нанесение.....	212
11.2. Ионно-плазменные методы получения тонких пленок	215
11.2.1. Катодное распыление.....	216
11.2.2. Высокочастотное распыление.....	219
11.2.3. Реактивное распыление.....	220
11.2.4. Магнетронное распыление.....	221
11.3. Ионно-лучевой метод получения тонких пленок.....	223
11.4. Методы молекулярной эпитаксии.....	224
11.5. Вакуумное лазерное напыление пленок	228
11.5.1. Лазерное распыление.....	228
11.5.2. Возможности лазерного нанесения пленок.....	232
<i>Вопросы для самоконтроля.....</i>	<i>234</i>
Глава 12. БИНАРНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ	235
12.1. Полупроводниковые соединения $A^{III}B^V$	236
12.1.1. Структура соединений группы $A^{III}B^V$	236
12.1.2. Арсенид галлия	239
12.1.3. Арсенид индия	243
12.1.4. Антимонид индия	244
12.1.5. Антимонид галлия	245
12.1.6. Нитрид бора.....	246
12.1.7. Нитриды галлия и алюминия.....	249
12.2. Полупроводниковые соединения $A^{II}B^{VI}$	250
12.2.1. Основные свойства	250
12.2.2. Основные виды соединений типа A^2B^6	253
12.2.3. Применение полупроводников типа A^2B^6	255
12.3. Полупроводниковые соединения группы $A^{IV}B^{IV}$	256
12.3.1. Свойства карбида кремния.....	257
12.3.2. Получение карбида кремния.....	259
12.3.3. Применение карбида кремния	259
<i>Вопросы для самоконтроля.....</i>	<i>261</i>
Глава 13. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА МАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ	263
13.1. Терминология	263
13.2. Магнетики.....	265
13.2.1. Диамагнетизм	266
13.2.2. Парамагнетизм	267
13.2.3. Ферромагнетизм и ферримагнетизм	268
13.3. Точка Кюри.....	269
13.4. Процессы при намагничивании ферромагнетиков	270
13.5. Магнитные потери, магнитострикция	275
<i>Вопросы для самоконтроля.....</i>	<i>278</i>
Глава 14. КЛАССИФИКАЦИЯ МАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	279
14.1. Магнитно-мягкие материалы.....	280
14.2. Магнитно-твердые материалы.....	284
14.3. Термомагнитные сплавы	286
14.4. Материалы для магнитной записи.....	287

14.5. Цилиндрические магнитные домены	289
14.6. Магнитные тонкие пленки	293
<i>Вопросы для самоконтроля</i>	295
Глава 15. НАНОМАТЕРИАЛЫ	296
15.1. Влияние размера частиц на структуру и свойства наноматериалов	297
15.1.1. Механические характеристики	298
15.1.2. Термические свойства	300
15.1.3. Электрические свойства	302
15.1.4. Химические свойства	304
15.1.5. Магнитные свойства	305
15.1.6. Оптические свойства	307
15.2. Наноматериалы на основе углерода	308
15.2.1. Фуллерен	309
15.2.2. Фуллерит	313
15.2.3. Углеродные нанотрубки	315
15.2.4. Графен	320
15.3. Нанокompозиты	325
<i>Вопросы для самоконтроля</i>	328
Глава 16. МАТЕРИАЛЫ И ЭЛЕМЕНТЫ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ	329
16.1. МДП-структуры	329
16.2. Пленочные и гибридные интегральные схемы	330
16.2.1. Основные понятия	330
16.2.2. Пленочные интегральные схемы	332
16.2.3. Гибридные интегральные схемы	334
16.3. Материалы тонкопленочных ГИС	335
16.3.1. Контакты	335
16.3.2. Подложки	337
16.3.3. Тонкопленочные резисторы	340
16.3.4. Тонкопленочные конденсаторы	341
16.4. Тонкие диэлектрические пленки	342
16.5. Толстопленочные интегральные микросхемы	344
<i>Вопросы для самоконтроля</i>	347
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	348
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	350
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Основные физические свойства некоторых чистых металлов	352
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Основные физико-механические характеристики стекол, ситаллов и керамики	353
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Физико-механические характеристики термопластов	354
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Характеристики некоторых синтетических клеев	355
ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Основные свойства германия, кремния и селена гексагональной модификации	356
ПРИЛОЖЕНИЕ 6. Некоторые свойства полупроводниковых соединений $A^{III}B^V$ (при $T = 300\text{ K}$)	357
ПРИЛОЖЕНИЕ 7. Основные характеристики важнейших магнитно-мягких материалов	358
ПРИЛОЖЕНИЕ 8. Магнитные свойства технических магнетиков	359