

# КОНСТРУКЦИОННЫЕ И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

*Допущено*

*Министерством образования Республики Беларусь  
в качестве учебного пособия для студентов учреждений  
высшего образования по специальностям «Техническая  
эксплуатация энергооборудования организаций»,  
«Информационно-измерительная техника», «Физическая  
электроника», «Техническое обеспечение безопасности»,  
«Промышленные роботы и робототехнические комплексы»*

Под редакцией В. А. Струка, В. А. Гольдаде

Минск  
РИВШ  
2022

# ОГЛАВЛЕНИЕ

---

---

<b>ПРЕДИСЛОВИЕ</b> .....	3
<b>Глава 1. ВВЕДЕНИЕ В МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ</b> .....	5
1.1. Предмет материаловедения .....	5
1.2. История материаловедения .....	6
1.3. Проблемы и достижения материаловедения .....	13
<b>Контрольные вопросы к главе 1</b> .....	16
<b>Глава 2. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ</b> .....	17
2.1. Виды химической связи .....	17
2.2. Особенности строения твердых тел .....	24
2.3. Элементы зонной теории твердого тела .....	30
2.4. Основные свойства материалов .....	32
2.5. Параметры характеристик веществ в нанокристаллическом состоянии .....	38
2.5.1. Оптические характеристики .....	38
2.5.2. Магнитные свойства нанобъектов .....	49
2.5.3. Параметры характеристик механических свойств нанобъектов .....	54
<b>Контрольные вопросы к главе 2</b> .....	61
<b>Глава 3. ПРОМЫШЛЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ</b> .....	62
3.1. Классификация материалов .....	62
3.2. Основы стандартизации материалов .....	68
3.3. Базы данных по материалам .....	70
3.4. Материаловедение XXI века – наноматериалы и нанотехнологии .....	75
<b>Контрольные вопросы к главе 3</b> .....	84
<b>Глава 4. КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ</b> .....	85
4.1. Железо и его сплавы .....	85
Контрольные вопросы к п. 4.1 .....	101
4.2. Конструкционные стали и сплавы .....	101
4.2.1. Углеродистые конструкционные стали .....	107
4.2.2. Строительные низколегированные стали .....	109
4.2.3. Цементуемые легированные стали .....	110
4.2.4. Улучшаемые легированные стали .....	112

4.2.5. Высокопрочные стали .....	113
4.2.6. Пружинные стали.....	115
4.2.7. Износостойкие конструкционные стали.....	116
4.2.8. Коррозионно-стойкие стали и сплавы .....	117
4.2.9. Жаростойкие и жаропрочные стали и сплавы .....	119
4.2.10. Литейные стали .....	128
Контрольные вопросы к п. 4.2 .....	129
4.3. Инструментальные стали .....	130
4.3.1. Стали для режущего инструмента.....	130
4.3.2. Стали для измерительного инструмента .....	133
4.3.3. Стали для инструмента холодного деформирования.....	133
4.3.4. Стали для штампов горячего деформирования .....	134
Контрольные вопросы к п. 4.3 .....	135
4.4. Чугуны.....	136
4.4.1. Структура чугуна .....	136
4.4.2. Серый и белый чугуны .....	139
4.4.3. Высокопрочный чугун.....	141
4.4.4. Ковкий чугун .....	142
4.4.5. Легированные чугуны.....	144
Контрольные вопросы к п. 4.4 .....	145
4.5. Материалы, получаемые методами порошковой металлургии .....	146
4.5.1. Получение металлических порошков .....	146
4.5.2. Формование порошков .....	153
4.5.3. Спекание .....	157
4.5.4. Антифрикционные спеченные материалы .....	158
4.5.5. Фрикционные материалы.....	161
4.5.6. Пористые порошковые материалы.....	163
4.5.7. Электротехнические спеченные материалы.....	165
4.5.8. Конструкционные спеченные материалы.....	168
4.5.9. Тугоплавкие металлы и сплавы .....	173
4.5.10. Твердые сплавы .....	176
Контрольные вопросы к п. 4.5 .....	177
4.6. Термическая обработка сталей .....	178
Контрольные вопросы к п. 4.6 .....	185
4.7. Минералы и материалы на их основе .....	185
4.7.1. Твердые и сверхтвердые материалы .....	186
4.7.2. Минеральные материалы на основе силикатов .....	188
4.7.3. Стекло и ситаллы .....	191
4.7.4. Техническая керамика .....	200
4.7.5. Углеродсодержащие материалы.....	204
Контрольные вопросы к п. 4.7 .....	207
4.8. Композиционные материалы .....	207
Контрольные вопросы к п. 4.8 .....	219

4.9. Композиционные материалы на металлической матрице.....	220
4.9.1. Дисперсно-упрочненные материалы.....	221
4.9.2. Эвтектические композиты.....	224
4.9.3. Волокнистые композиционные материалы.....	227
Контрольные вопросы к п. 4.9.....	232
4.10. Композиты на керамической матрице.....	233
4.10.1. Компоненты и технология керамических композиционных материалов.....	233
4.10.2. Составы и применение керамических композиционных материалов.....	237
Контрольные вопросы к п. 4.10.....	239
4.11. Полимерные композиционные материалы.....	240
4.11.1. Классификация полимерных композитов.....	241
4.11.2. Наполненные пластики.....	243
4.11.3. Армированные композиты.....	249
4.11.4. Смесевые композиционные материалы.....	257
Контрольные вопросы к п. 4.11.....	262
4.12. Материалы на основе древесины.....	262
Контрольные вопросы к п. 4.12.....	275
4.13. Материалы для покрытий.....	276
4.13.1. Виды покрытий и способы их нанесения.....	276
4.13.2. Покрытия из лакокрасочных материалов.....	279
4.13.3. Покрытия из полимерных материалов и резин.....	284
4.13.4. Покрытия из металлов и сплавов.....	287
4.13.5. Неорганические неметаллические покрытия.....	289
Контрольные вопросы к п. 4.13.....	292

<b>Глава 5. ПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....</b>	<b>293</b>
5.1. Природа электропроводности металлов.....	293
5.1.1. Работа выхода.....	297
5.1.2. Термоэлектрические явления.....	298
5.1.3. Сверхпроводимость.....	303
5.1.4. Особенности свойств металлов в тонких слоях.....	309
Контрольные вопросы к п. 5.1.....	311
5.2. Материалы высокой проводимости.....	312
5.2.1. Классификация проводников.....	312
5.2.2. Медь.....	313
5.2.3. Алюминий.....	315
5.2.4. Золото.....	316
5.2.5. Серебро.....	317
5.2.6. Хром.....	318
5.2.7. Молибден.....	318
5.2.8. Платина.....	319
5.2.9. Палладий.....	320

5.2.10. Сплавы на основе меди и алюминия .....	320
5.2.11. Сверхпроводящие материалы .....	322
Контрольные вопросы к п. 5.2 .....	326
<b>5.3. Материалы высокого удельного сопротивления .....</b>	<b>326</b>
5.3.1. Материалы для резисторов .....	327
5.3.2. Материалы для электронагревателей .....	331
5.3.3. Материалы для термопар .....	333
5.3.4. Припой и флюсы .....	335
Контрольные вопросы к п. 5.3 .....	336
<b>Глава 6. ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ .....</b>	<b>337</b>
6.1. Механизмы проводимости .....	337
6.2. Поляризация .....	342
6.3. Диэлектрические потери .....	350
6.4. Классификация диэлектрических материалов .....	354
6.5. Органические диэлектрические материалы .....	354
Контрольные вопросы к главе 6 .....	374
<b>Глава 7. АКТИВНЫЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ .....</b>	<b>375</b>
7.1. Пьезоэлектрики .....	375
7.2. Пирозлектрики .....	377
7.3. Сегнетоэлектрики .....	379
7.4. Электреты .....	381
7.5. Жидкие кристаллы .....	388
Контрольные вопросы к главе 7 .....	391
<b>Глава 8. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛУПРОВОДНИКОВ .....</b>	<b>392</b>
8.1. Зонная структура .....	392
8.2. Собственная и примесная проводимость .....	393
8.3. Контактные явления .....	400
8.4. Поглощение света полупроводниками. Фотопроводимость .....	404
Контрольные вопросы к главе 8 .....	408
<b>Глава 9. ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ .....</b>	<b>409</b>
9.1. Классификация полупроводниковых материалов .....	409
9.2. Простые полупроводники .....	411
9.2.1. Кремний .....	411
9.2.2. Германий .....	413
9.3. Технология полупроводниковых монокристаллов .....	415
9.3.1. Направленная кристаллизация .....	415
9.3.2. Метод зонной плавки .....	416
9.3.3. Метод Чохральского .....	418
9.3.4. Метод вертикальной направленной кристаллизации .....	420
9.3.5. Метод горизонтальной направленной кристаллизации .....	422

9.4. Легирование полупроводников .....	422
<b>Контрольные вопросы к главе 9 .....</b>	<b>425</b>
<b>Глава 10. БИНАРНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ .....</b>	<b>426</b>
10.1. Полупроводниковые соединения $A^{III}B^V$ .....	427
10.1.1. Структура соединений группы $A^{III}B^V$ .....	427
10.1.2. Арсенид галлия .....	430
10.1.3. Арсенид индия .....	434
10.1.4. Антимонид индия .....	434
10.1.5. Антимонид галлия .....	435
10.1.6. Нитрид бора .....	436
10.2. Полупроводниковые соединения $A^{II}B^{VI}$ .....	438
10.2.1. Характеристики основных свойств .....	439
10.2.2. Основные виды соединений типа $A^{II}B^{VI}$ .....	440
10.2.3. Применение полупроводников типа $A^{II}B^{VI}$ .....	443
10.3. Полупроводниковые соединения группы $A^{IV}B^{IV}$ .....	444
10.3.1. Свойства карбида кремния .....	444
10.3.2. Получение карбида кремния .....	446
10.3.3. Применение карбида кремния .....	446
<b>Контрольные вопросы к главе 10 .....</b>	<b>448</b>
<b>Глава 11. ЭЛЕМЕНТЫ И МАТЕРИАЛЫ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ .....</b>	<b>449</b>
11.1. МДП-структуры .....	451
11.2. Гомо- и гетероструктуры .....	451
11.3. Пленочные и гибридные интегральные схемы: основные понятия .....	453
11.4. Материалы тонкопленочных гибридных интегральных схем .....	456
11.4.1. Материалы для контактов .....	456
11.4.2. Материалы подложки .....	458
11.4.3. Тонкопленочные резисторы .....	460
11.4.4. Тонкопленочные конденсаторы .....	461
11.5. Тонкие диэлектрические пленки .....	462
11.6. Толстопленочные интегральные микросхемы .....	463
11.6.1. Подложки толстопленочных интегральных микросхем .....	464
11.6.2. Толстопленочные проводниковые пленки .....	464
11.6.3. Толстопленочные резисторы .....	465
11.6.4. Диэлектрические элементы .....	465
11.6.5. Межслойная и защитная изоляция .....	466
<b>Контрольные вопросы к главе 11 .....</b>	<b>467</b>

<b>Глава 12. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА МАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ</b> .....	468
12.1. Терминология .....	468
12.2. Магнетики .....	470
12.2.1. Диамагнетизм .....	471
12.2.2. Парамагнетизм .....	471
12.2.3. Ферромагнетизм и ферримагнетизм .....	472
12.3. Точка Кюри.....	473
12.4. Процессы при намагничивании ферромагнетиков.....	474
12.5. Магнитные потери, магнитострикция.....	479
<b>Контрольные вопросы к главе 12</b> .....	481
<b>Глава 13. КЛАССИФИКАЦИЯ МАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ</b> .....	482
13.1. Магнитно-мягкие материалы .....	483
13.2. Магнитно-твердые материалы .....	487
13.3. Термомагнитные сплавы .....	489
13.4. Материалы для магнитной записи.....	490
13.5. Цилиндрические магнитные домены .....	492
13.6. Магнитные тонкие пленки .....	495
<b>Контрольные вопросы к главе 13</b> .....	497
<b>Глава 14. ПРИМЕНЕНИЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ В ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ И ЭЛЕКТРОНИКЕ</b> .....	498
<b>Контрольные вопросы к главе 14</b> .....	517
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	518
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ</b> .....	521
<b>СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ ОБ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛАХ</b> .....	522
<b>Приложение 1. Основные параметры характеристик физических свойств некоторых чистых металлов</b> .....	522
<b>Приложение 2. Основные параметры характеристик физико-механических свойств стекол, ситаллов и керамики</b> .....	523
<b>Приложение 3. Физико-механические характеристики термопластов</b> .....	524
<b>Приложение 4. Характеристики некоторых синтетических клеев</b> .....	526
<b>Приложение 5. Параметры характеристик германия, кремния и селена гексагональной модификации</b> .....	527
<b>Приложение 6. Некоторые характеристики полупроводниковых соединений <math>A^{III}B^V</math> (при <math>T = 300</math> К)</b> .....	527
<b>Приложение 7. Основные характеристики важнейших магнитно-мягких материалов</b> .....	528
<b>Приложение 8. Магнитные характеристики технических магнетиков</b> ....	529