

Научная библиотека

БНТУ



* 8 0 1 2 7 1 3 5 3 *

А. В. ГРИДЧИН

МИКРОДАТЧИКИ И МИКРОСИСТЕМЫ КРАТКИЙ КУРС ЛЕКЦИЙ

Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия



922 (10 ж)

НОВОСИБИРСК
2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О МИКРОСИСТЕМАХ	3
Лекция 1. Введение в микросистемную технику	3
1.1. Общие определения	3
1.2. Немного о структуре курса	6
1.3. История развития микросистем	8
1.4. Сенсор как измерительный прибор	10
1.5. Основные метрологические характеристики сенсоров	12
1.6. Классификация сенсоров. Основные классы.....	16
ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МИКРОСИСТЕМ	19
Лекция 2. Компьютерное моделирование сенсоров и микросистем	19
2.1. Модель и реальность	19
2.2. Идеология моделирования в ANSYS	21
МЕХАНИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ И МИКРОСИСТЕМЫ	31
Лекция 3. Базовые принципы измерения давления и приборы на их основе...31	31
3.1. Давление и его измерение	31
3.2. Тензорезистивные сенсоры давления	32
3.3. Емкостные сенсоры давления	39
Лекция 4. Акселерометры на основе кремния	44
4.1. Общая идея акселерометра	44
4.2. Основные концепции построения акселерометров.....	45
4.3. Математическое описание работы акселерометра.....	47

4.4. Тензорезистивный кремниевый акселерометр.....	49
4.5. Конструкция тензорезистивного кремниевого акселерометра.....	53
Лекция 5. Другие механические сенсоры и микросистемы.....	55
5.1. Ключи, переключаемые давлением.....	55
5.2. Резонансные сенсоры давления.....	56
5.3. Микросистемные микрофоны.....	57
5.3.1. Тензорезистивные микрофоны.....	57
5.3.2. Емкостные микрофоны.....	58
5.3.3. Пьезоэлектрические микрофоны.....	60
5.3.4. FET-микрофоны.....	61
5.4. Тактильные сенсоры.....	62
5.4.1. Пьезоэлектрические тактильные сенсоры.....	63
5.4.2. Тензорезистивные тактильные сенсоры.....	63
5.4.3. Емкостные тактильные сенсоры.....	64
5.4.4. Оптические тактильные сенсоры.....	65
Лекция 6. Введение в микрофлюидные системы.....	66
6.1. Расходомеры.....	67
6.2. Сенсоры плотности и вязкости.....	70
6.3. Клапаны.....	72
6.3.1. Общие определения и классификация.....	72
6.3.2. Конструктивные особенности активных клапанов.....	73
6.3.2.1. Пневматические клапаны.....	73
6.3.2.2. Термопневматические клапаны.....	74
6.3.2.3. Пьезоэлектрические клапаны.....	75
6.3.2.4. Электростатические клапаны.....	76
6.4. Микромеханические насосы.....	77
ТЕРМИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ И МИКРОСИСТЕМЫ.....	79
Лекция 7. Физические основы работы термических сенсоров.....	79
7.1. Термические сенсоры как измерительные приборы.....	79
7.2. Механизмы теплообмена.....	83
7.3. Электротепловая аналогия.....	84

Лекция 8. Термические газовые сенсоры	87
8.1. Физические принципы работы термических сенсоров потока газа	87
8.2. Феноменологическое описание конвективного теплообмена	88
8.3. Критерии подбора.....	91
8.4. Термоанемометры с металлической нитью.....	93
8.5. Термоанемометры из поликристаллического кремния	94
8.6. Термические сенсоры, чувствительные к изменению направления теплового потока.....	95
8.7. Термические вакуумметры	96
8.8. Конструктивные особенности манометров Пирани	97
ОПТИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ И МИКРОСИСТЕМЫ	99
Лекция 9. Оптические сенсоры как измерительные приборы	99
9.1. Общие принципы работы и классификация	99
9.2. Метрологические характеристики оптических сенсоров	101
9.3. Источники и приемники излучения: основные термины и определения.....	106
Лекция 10. Фотоэлектрические сенсоры прямого действия	109
10.1. Общие характеристики и классификация	109
10.2. Принципы работы	111
10.2.1. Фоторезисторы.....	111
10.2.2. Фотодиоды.....	114
10.2.3. Солнечные ячейки.....	117
10.2.4. Другие виды оптических сенсоров прямого действия	118
10.2.4.1. Фотодиоды для ультрафиолетового излучения.....	118
10.2.4.2. Лавинные диоды (ЛФД)	118
10.2.4.3. МДП-фотодиоды (диоды Шоттки).....	119
Лекция 11. Фотоэлектрические сенсоры непрямого действия	121
11.1. Термопары	121
11.2. Пирометры.....	124
11.3. Болометры	126
11.4. Тепловизоры.....	129
11.5. Ячейки Голя	131

МАГНИТНЫЕ СЕНСОРЫ И МИКРОСИСТЕМЫ	135
Лекция 12. Сенсоры Холла и магниторезисторы.....	135
12.1. Эффект Холла.....	136
12.1.1. Эффект Холла в металлах	137
12.1.2. Эффект Холла в полупроводниках.....	138
12.1.3. Более точное рассмотрение эффекта Холла	141
12.1.4. Некоторые метрологические характеристики сенсоров Холла	142
12.2. Магниторезистивный эффект	143
12.2.1. Физический магниторезистивный эффект.....	144
12.2.2. Геометрический магниторезистивный эффект.....	145
12.2.3. Конструктивные особенности магниторезисторов	146
Лекция 13. Магнитные диоды и транзисторы	148
13.1. Магнитодиоды.....	148
13.2. Магнитотранзисторы	149
13.2.1. Эффект модуляции ширины базы магнитным полем.....	150
13.2.2. Эффект модуляции ширины коллектора	153
13.3. Двухколлекторные магнитотранзисторы.....	154
13.4. Конструкция двухколлекторных биполярных магнитотранзисторов.....	155
13.4.1. Двухколлекторные биполярные магнитотранзисторы вертикального типа.....	156
13.4.2. Двухколлекторные биполярные магнитотранзисторы латерального типа	157
13.5. Полевые магнитотранзисторы	159
ХИМИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ И МИКРОСИСТЕМЫ	163
Лекция 14. Основные принципы работы химических сенсоров.....	163
14.1. Общая характеристика химических сенсоров	163
14.2. Классификация химических сенсоров	165
14.3. Сенсоры прямого действия	166
14.3.1. Каталитические детекторы газа.....	167
14.3.2. Металлооксидные сенсоры	168
14.3.3. Электрохимические сенсоры	169

14.3.4. Эластомерные химические сенсоры.....	171
14.3.5. Химические полевые транзисторы.....	172
Лекция 15. Составные химические сенсоры	175
15.1. Микрокалориметры	175
15.2. Оптические химические сенсоры.....	176
15.3. Биохимические сенсоры.....	178
15.4. Гравиметрические сенсоры.....	179
15.5. Энзимные сенсоры.....	182
15.6. Общие принципы химических измерений.....	184
15.6.1. Жидкостная и газовая хроматография	184
15.6.2. Масс-спектрометрия	184
15.6.3. Методы обработки полученных данных.....	185
Лекция 16. Сенсоры влажности.....	187
16.1. Основные термины и соотношения.....	188
16.2. Конденсационный гигрометр.....	191
16.3. Метрологические характеристики конденсационного гигрометра.....	192
16.4. Сорбционные гигрометры.....	194
16.5. Метрологические характеристики сорбционных сенсоров	195
СЕНСОРЫ ЯДЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	197
Лекция 17. Ядерное излучение и его характеристики.....	197
17.1. Сведения из истории исследования радиоактивности.....	197
17.2. Виды радиоактивного излучения	198
17.2.1. Альфа-излучение.....	198
17.2.2. Бета-излучение	199
17.2.3. Гамма-излучение.....	200
17.2.4. Нейтронное излучение.....	202
17.3. Характеристики ядерного излучения	203
Лекция 18. Детекторы ядерного излучения.....	206
18.1. Сцинтилляционные счетчики	206
18.2. Счетчики Гейгера–Мюллера.....	209
18.3. Ионизационная камера	212

18.4. Полупроводниковые детекторы	213
18.5. Другие детекторы ядерных частиц.....	215
18.5.1. Сенсоры на основе превращений	215
18.5.2. Черенковские счетчики	215
18.5.3. Тепловые детекторы	216
18.5.4. Термолюминесцентные детекторы.....	217
18.5.5. Коллиматоры	217
Библиографический список	219