

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О МИКРОСИСТЕМАХ</b> .....	3
<b>Лекция 1.</b> Введение в микросистемную технику.....	3
1.1. Общие определения.....	3
1.2. Немного о структуре курса.....	5
1.3. История развития микросистем.....	7
1.4. Сенсор как измерительный прибор.....	9
1.5. Основные метрологические характеристики сенсоров.....	11
1.6. Классификация сенсоров. Основные классы.....	14
<b>ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МИКРОСИСТЕМ</b> .....	17
<b>Лекция 2.</b> Компьютерное проектирование микросистем.....	17
2.1. Модель и реальность.....	17
2.2. Идеология моделирования в ANSYS.....	19
<b>МЕХАНИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ И МИКРОСИСТЕМЫ</b> .....	27
<b>Лекция 3.</b> Базовые принципы измерения давления и приборы на их основе.....	27
3.1. Давление и его измерение.....	27
3.2. Тензорезистивные сенсоры давления.....	28
3.3. Емкостные сенсоры давления.....	34
<b>Лекция 4.</b> Акселерометры на основе кремния.....	37
4.1. Общая идея акселерометра.....	37
4.2. Основные концепции построения акселерометров.....	38
4.3. Математическое описание работы акселерометра.....	39
4.4. Тензорезистивный кремниевый акселерометр.....	41
4.5. Конструкция тензорезистивного кремниевого акселерометра.....	44
<b>Лекция 5.</b> Другие механические сенсоры и микросистемы.....	45
5.1. Ключи, переключаемые давлением.....	46
5.2. Резонансные сенсоры давления.....	46
5.3. Микросистемные микрофоны.....	47
5.3.1. Тензорезистивные микрофоны.....	48
5.3.2. Емкостные микрофоны.....	48
5.3.3. Пьезоэлектрические микрофоны.....	50
5.3.4. FET-микрофоны.....	50
5.4. Тактильные сенсоры.....	51
5.4.1. Пьезоэлектрические тактильные сенсоры.....	52

5.4.2. Тензорезистивные тактильные сенсоры.....	52
5.4.3. Емкостные тактильные сенсоры.....	53
5.4.4. Оптические тактильные сенсоры.....	53
<b>Лекция 6.</b> Введение в микрофлюидные системы.....	54
6.1. Расходомеры.....	55
6.2. Сенсоры плотности и вязкости.....	58
6.3. Клапаны.....	59
6.3.1. Общие определения и классификация.....	59
6.3.2. Конструктивные особенности активных клапанов.....	60
6.3.2.1. Пневматические клапаны.....	60
6.3.2.2. Термопневматические клапаны.....	60
6.3.2.3. Пьезоэлектрические клапаны.....	61
6.3.2.4. Электростатические клапаны.....	62
6.4. Микромеханические насосы.....	63
<b>ТЕРМИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ И МИКРОСИСТЕМЫ</b> .....	65
<b>Лекция 7.</b> Физические основы работы термических сенсоров.....	65
7.1. Термические сенсоры как измерительные приборы.....	65
7.2. Механизмы теплообмена.....	68
7.3. Электротепловая аналогия.....	69
<b>Лекция 8.</b> Термические газовые сенсоры.....	71
8.1. Физические принципы работы термических сенсоров потока газа.....	71
8.2. Феноменологическое описание конвективного теплообмена.....	73
8.3. Критерии подобия.....	75
8.4. Термоанемометры с металлической нитью.....	77
8.5. Термоанемометры из поликристаллического кремния.....	78
8.6. Термические сенсоры, чувствительные к изменению направления теплового потока.....	78
8.7. Термические вакуумметры.....	79
8.8. Конструктивные особенности манометров Пирани.....	80
<b>ОПТИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ И МИКРОСИСТЕМЫ</b> .....	82
<b>Лекция 9.</b> Оптические сенсоры как измерительные приборы.....	82
9.1. Общие принципы работы и классификация.....	82
9.2. Метрологические характеристики оптических сенсоров.....	84
9.3. Источники и приемники излучения: основные термины и определения.....	88
<b>Лекция 10.</b> Фотоэлектрические сенсоры прямого действия.....	91
10.1. Общие характеристики и классификация.....	91

10.2. Принципы работы .....	93
10.2.1. Фоторезисторы .....	93
10.2.2. Фотодиоды .....	95
10.2.3. Солнечные ячейки .....	98
10.2.4. Другие виды оптических сенсоров прямого действия .....	99
10.2.4.1. Фотодиоды для ультрафиолетового излучения .....	99
10.2.4.2. Лавинные диоды (ЛФД) .....	99
10.2.4.3. МДП-фотодиоды (диоды Шоттки) .....	100
<b>Лекция 11. Фотоэлектрические сенсоры непрямого действия .....</b>	<b>101</b>
11.1. Термопары .....	101
11.2. Пирометры .....	104
11.3. Болметры .....	106
11.4. Тепловизоры .....	107
11.5. Ячейки Голея .....	109

## **МАГНИТНЫЕ СЕНСОРЫ И МИКРОСИСТЕМЫ .....**

<b>Лекция 12. Сенсоры Холла и магниторезисторы .....</b>	<b>112</b>
12.1. Эффект Холла .....	112
12.1.1. Эффект Холла в металлах .....	113
12.1.2. Эффект Холла в полупроводниках .....	114
12.1.3. Более точное рассмотрение эффекта Холла .....	116
12.1.4. Некоторые метрологические характеристики сенсоров Холла .....	117
12.2. Магниторезистивный эффект .....	119
12.2.1. Физический магниторезистивный эффект .....	119
12.2.2. Геометрический магниторезистивный эффект .....	120
12.2.3. Конструктивные особенности магниторезисторов .....	121
<b>Лекция 13. Магнитные диоды и транзисторы .....</b>	<b>122</b>
13.1. Магнитодиоды .....	122
13.2. Магнитотранзисторы .....	123
13.2.1. Эффект модуляции ширины базы магнитным полем .....	124
13.2.2. Эффект модуляции ширины коллектора .....	126
13.3. Двухколлекторные магнитотранзисторы .....	126
13.4. Конструкция двухколлекторных биполярных магнитотранзисторов .....	127
13.4.1. Двухколлекторные биполярные магнитотранзисторы вертикального типа .....	127
13.4.2. Двухколлекторные биполярные магнитотранзисторы латерального типа .....	128
13.5. Полевые магнитотранзисторы .....	130

## **ХИМИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ И МИКРОСИСТЕМЫ .....**

<b>Лекция 14. Основные принципы работы химических сенсоров .....</b>	<b>133</b>
14.1. Общая характеристика химических сенсоров .....	133
14.2. Классификация химических сенсоров .....	135
14.3. Сенсоры прямого действия .....	136
14.3.1. Каталитические детекторы газа .....	136
14.3.2. Металлооксидные сенсоры .....	137
14.3.3. Электрохимические сенсоры .....	137
14.3.4. Эластомерные химические сенсоры .....	140
14.3.5. Химические полевые транзисторы .....	140
<b>Лекция 15. Составные химические сенсоры .....</b>	<b>142</b>
15.1. Микрокалориметры .....	142
15.2. Оптические химические сенсоры .....	143
15.3. Биохимические сенсоры .....	145
15.4. Гравиметрические сенсоры .....	145
15.5. Энзимные сенсоры .....	148
15.6. Общие принципы химических измерений .....	149
15.6.1. Жидкостная и газовая хроматография .....	149
15.6.2. Масс-спектрометрия .....	150
15.6.3. Методы обработки полученных данных .....	150

## **Лекция 16. Сенсоры влажности .....**

16.1. Основные термины и соотношения .....	152
16.2. Конденсационный гигрометр .....	155
16.3. Метрологические характеристики конденсационного гигрометра .....	156
16.4. Сорбционные гигрометры .....	157
16.5. Метрологические характеристики сорбционных гигрометров .....	157

## **СЕНСОРЫ ЯДЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ .....**

<b>Лекция 17. Ядерное излучение и его характеристики .....</b>	<b>159</b>
17.1. Сведения из истории исследования радиоактивности .....	159
17.2. Виды радиоактивного излучения .....	160
17.2.1. Альфа-излучение .....	160
17.2.2. Бета-излучение .....	161
17.2.3. Гамма-излучение .....	162
17.2.4. Нейтронное излучение .....	163
17.3. Характеристики ядерного излучения .....	164
<b>Лекция 18. Детекторы ядерного излучения .....</b>	<b>166</b>
18.1. Сцинтилляционные счетчики .....	166
18.2. Счетчики Гейгера-Мюллера .....	169

18.3. Ионизационная камера .....	171
18.4. Полупроводниковые детекторы.....	172
18.5. Другие детекторы ядерных частиц.....	173
18.5.1. Сенсоры на основе превращений .....	173
18.5.2. Черенковские счетчики .....	174
18.5.3. Тепловые детекторы .....	174
18.5.4. Термолюминесцентные детекторы .....	175
18.5.5. Коллиматоры .....	175

<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....</b>	<b>177</b>
--------------------------------------	------------