

Содержание

Предисловие	10
Глава 1	
Возникновение технологии волоконно-оптических датчиков	14
Глава 2	
Оптоволокно	24
2.1. Введение	24
2.2. Типы оптических волокон	25
2.2.1. Закон преломления Снеллиуса (Снелля) и полное внутреннее отражение	26
2.2.2. Многомодовое оптоволокно со ступенчатым профилем (со ступенчато изменяющимся показателем преломления) ..	30
2.2.3. Одномодовое оптоволокно со ступенчатым профилем показателя преломления	33
2.2.4. Уширение импульса	34
2.2.5. Оптоволокно с градиентным профилем показателя преломления	35
2.2.6. Одномодовое волокно, сохраняющее поляризацию излучения	36
2.3. Технологии изготовления оптических волокон	38
2.3.1. Модифицированный метод химического осаждения из газовой фазы	38
2.3.2. Метод внешнего химического осаждения	40
2.3.3. Метод осевого осаждения (VAD)	41
2.3.4. Стекланные стержни	41
2.3.5. Затухание в оптоволоконных волноводах	41
2.4. Использование свойств оптических волокон для создания датчиков	45
2.4.1. Изгиб	45
2.4.2. Связь на основе затухающих колебаний и построенный на этом принципе датчик	46
2.4.3. Направленные разветвители и их использование для построения датчиков	47
2.5. Резюме	49
Литература	49



Глава 3

Источники света	52
3.1. Введение	52
3.2. Фундаментальные свойства источников света	52
3.2.1. Спонтанное излучение	56
3.2.2. Вынужденное излучение.....	60
3.2.3. Сверхизлучение.....	61
3.3. Длина когерентности.....	61
3.4. Полупроводниковые источники света.....	62
3.4.1. Светоизлучающие диоды	63
3.4.2. Лазерные диоды.....	65
3.4.3. Сверхизлучающие диоды	75
3.4.4. Волоконно-оптические лазеры и усилители	77
3.5. Резюме	81
Литература	81

Глава 4

Приемники оптического излучения	84
4.1. Введение	84
4.2. Теоретические основы	84
4.2.1. Статистика регистрации оптического излучения.....	84
4.2.2. Основные принципы функционирования полупроводников	85
4.3. Полупроводниковые фотодиоды	89
4.4. Лавинные фотодиоды	96
4.5. Шум.....	97
4.5.1. Математические основы.....	97
4.5.2. Шум, обусловленный протеканием постоянных токов в детекторной цепи	100
4.5.3. Шум, обусловленный тепловыми эффектами	101
4.5.4. Отношение сигнал/шум	103
4.6. Регистрация спектра	105
4.7. Резюме	110
Литература	110

Глава 5

Оптические модуляторы для волоконно-оптических датчиков	111
5.1. Введение	111
5.2. Электрооптический эффект.....	113
5.3. Объемные модуляторы.....	115

5.3.1.	Электрооптическая фазовая модуляция	116
5.3.2.	Электрооптическая модуляция интенсивности	118
5.3.3.	Объемный акустооптический сдвиг частоты.....	120
5.4.	Интегрально-оптические модуляторы	122
5.4.1.	Фазовая модуляция	125
5.4.2.	Интерферометрическая модуляция интенсивности.....	127
5.4.3.	Интегрально-оптические преобразователи частоты	135
5.5.	Чистоволоконные оптические модуляторы	142
5.5.1.	Фазовая модуляция	143
5.5.2.	Смещение частоты	144
Литература	.....	146

Глава 6

Датчики на основе измерения интенсивности и интерферометра Фабри – Перо	.....	147
6.1.	Датчики интенсивности	147
6.2.	Датчики температуры с полупроводниковым чувствительным элементом	151
6.3.	Энкодеры положения	152
6.4.	Многомодовые датчики Фабри – Перо	154
6.4.1.	История развития многомодовых датчиков Фабри – Перо.....	155
6.4.2.	Принципы работы	155
6.4.3.	Конструкция датчика	158
6.4.4.	Методы считывания	159
6.5.	Одномодовые датчики Фабри – Перо.....	160
6.5.1.	Варианты считывающих устройств для одномодовых датчиков.....	161
Литература	.....	162

Глава 7

Многомодовые дифракционные датчики	.....	165
7.1.	Введение	165
7.2.	Теоретические основы	166
7.2.1.	Оптические методы кодирования	170
7.3.	Датчики, основанные на относительном движении находящихся одна напротив другой решеток	172
7.4.	Датчики, основанные на модуляции периода решетки	178
7.5.	Состояние разработки датчиков	185
7.6.	Резюме	186
Литература	.....	186

Глава 8

Многомодовые датчики поляризации	188
8.1. Введение	188
8.2. Теоретические основы	188
8.2.1. Феноменологическое описание поляризации и запаздывания	188
8.2.2. Сфера Пуанкаре	196
8.2.3. Формализмы Мюллера и Джонса	198
8.2.4. Запаздывание и специальные свойства полуволновой пластинки	200
8.2.5. Эффект фотоупругости	203
8.2.6. Оптическое подавление синфазного сигнала	206
8.2.7. Методы оптического кодирования	210
8.2.8. Разрешение и шум	213
8.3. Датчики на основе эффекта фотоупругости	214
8.4. Датчики на основе фазовых пластин	223
8.5. Состояние разработки датчиков	232
Литература	233

Глава 9

Волоконно-оптические датчики на основе интерферометра Саньяка и пассивного кольцевого резонатора	235
9.1. Введение	235
9.2. Краткий обзор оптических датчиков вращения и эффекта Саньяка	236
9.3. Кольцевой лазерный гироскоп	242
9.3.1. Решение проблемы блокировки	244
9.4. Гироскоп с пассивным кольцевым резонатором	247
9.5. Волоконно-оптический гироскоп	252
9.6. Компромисс между кольцевым лазером, пассивным кольцевым резонатором и волоконно-оптическим интерферометром при использовании их в качестве датчиков вращения	256
9.6.1. Возможности компоновки и производства	259
9.6.2. Вопросы надежности и приложения	260
9.7. Датчики параметров внешней среды, использующие интерферометр Саньяка	263
9.7.1. Быстро изменяющиеся явления внешней среды: обнаружения акустических колебаний	264
9.7.2. Акустический датчик на основе интерферометра Саньяка, использующий источник света в качестве усилителя ...	264

9.7.3.	Конфигурации волоконно-оптической катушки	265
9.7.4.	Модуляция фазы и поляризации	268
9.7.5.	Механическое напряжение	269
9.7.6.	Измерение длины волны	270
9.7.7.	Выводы	271
Литература	.....	271

Глава 10

Волоконно-оптические датчики на основе интерферометров Маха – Цендера и Майкельсона	.....	274
10.1.	Введение	274
10.2.	Принцип работы	276
10.2.1.	Двухлучевая интерферометрия	276
10.2.2.	Демодуляция	283
10.2.3.	Шум	294
10.2.4.	Поляризация	301
10.3.	Схемы волоконных интерферометров	307
10.4.	Приложения	314
10.4.1.	Динамические приложения	315
10.4.2.	Статические приложения	319
10.5.	Резюме	324
Литература	.....	324

Глава 11

Распределенные и мультиплексированные волоконно-оптические датчики	.....	328
11.1.	Введение	328
11.2.	Распределенные измерения	331
11.2.1.	Оптическая дальнометрия в волоконных системах	331
11.2.2.	Методы измерения обратного рэлеевского рассеяния	334
11.2.3.	Измерение температуры на основе рамановского обратного рассеяния	338
11.2.4.	Распределенные измерения на основе взаимодействия мод	339
11.2.5.	Квазираспределенные датчики	341
11.3.	Основные принципы мультиплексирования датчиков	345
11.3.1.	Основные принципы телеметрии: сети	345
11.3.2.	Сети датчиков интенсивности	347
11.4.	Мультиплексирование интерферометрических датчиков	351
11.4.1.	Методы интерферометрической демодуляции для объединенных с использованием мультиплексирования датчиков	352



11.4.2. Топология мультиплексирования интерферометрических датчиков.....	360
Литература	370
Глава 12	
Волоконно-оптические датчики магнитного поля	374
12.1. Введение	374
12.2. Датчики на основе эффекта Фарадея.....	376
12.2.1. Эффект Фарадея в оптических волокнах.....	378
12.2.2. Шум	382
12.2.3. Структуры датчиков.....	384
12.3. Магнитострикционные датчики	387
12.3.1. Магнитострикция	388
12.3.2. Магнитострикционные преобразователи	393
12.3.3. Шум в магнитострикционных датчиках	402
12.3.4. Структуры датчиков	404
12.4. Датчики на основе силы Лоренца	407
Литература	409
Глава 13	
Индустриальные приложения оптоволоконных датчиков	412
13.1. Введение	412
13.2. Основы	414
13.3. Измерение температуры.....	416
13.4. Измерение давления.....	423
13.5. Измерение уровня жидкости.....	426
13.6. Измерение скорости потока.....	428
13.7. Измерение положения	431
13.8. Измерение вибрации	432
13.9. Химический анализ	435
13.10. Измерение тока и напряжения	437
13.11. Важные замечания для индустриальных приложений	439
13.12. Резюме	441
Литература	441
Глава 14	
Волоконно-оптические интеллектуальные структуры	444
14.1. Введение	444
14.2. Системы оптоволоконных датчиков.....	446

14.3. Приложения волоконно-оптических интеллектуальных структур и оболочек	461
14.4. Пример использования волоконно-оптического датчика в интеллектуальных структурах	465
14.5. Заключение	473
Литература	473
Дополнение А	476
Глава А.1	
Сдвиг нуля	477
Глава А.2	
Оптические элементы	486
Приложение	499
Литература	502
Дополнение Б	503
Литература	517