

光纤传感器

【英】 B.Culshaw J.Dakin

李少慧 宁雅农 等译

张志鹏 校



华中理工大学出版社

光纤传感器

[英] B. Culshaw J. Dakin

李少慧 宁雅农 等译

张志鹏 校

华中理工大学出版社

(鄂)新登字第 10 号

图书在版编目(CIP)数据

光纤传感器/李少慧,宁雅农等译

武汉:华中理工大学出版社, 1997年7月

ISBN 7-5609-1265-6

I. 光…

II. ①李… ②宁…

III. 自动化光纤-光纤传感器

IV. TP212

光纤传感器

李少慧 宁雅农等 译

责任编辑 李 德

华中理工大学出版社出版发行

(武昌喻家山 邮编:430074)

新华书店湖北发行所经销

华中理工大学出版社照排室排版

武汉市新华印刷厂印刷

·*

开本:850×1168 1/32 印张:25.125 字数:570 000

1997年7月第1版 1997年7月第1次印刷

印数:1-1 500

ISBN 7-5609-1265-6/TP·176

定价:30.00 元

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行科调换)

内 容 提 要

该书由光纤传感器领域内世界第一流专家所撰写,是对光纤传感器问世以来权威性的总结。撰写本书的专家都是世界著名大学及著名实验室的领导或学术带头人。中文版的翻译大多由我国留学海外的学者及国内专家所承担。该书叙述了光纤传感器在各个领域的应用,有大量的实物照片,原理结构图,性能图,有各种各样的实验数据。是一本极有参考价值的著作。该书可供从事光纤、光纤传感、光纤通信理论和应用研究的科研人员、工程技术人员以及大专院校有关专业的师生们参考。

Optical Fiber Sensors

Brian Culshaw John Dakin

Copyright ©1988,1989 by Artech House
Boston and London

译者序

光纤传感器和所有的传感技术一样是一门综合性很强的交叉学科。它涉及众多的学科及领域。为了进一步推动这一学科的发展,我们翻译了这部由来自十几个国家的 26 位知名教授和学者撰写的光纤传感器(Optical Fibre Sensors)一书。此书是自 70 年代光纤传感器问世以来权威性的总结。书中的许多内容、图片、参数、实验数据都是首次公开出版,这是一本极有参考价值的著作。

由于篇幅原因,在中文版中,我们将原书上下两册合并为一册共 20 章,为了保持原书的结构完整,每章都附有参考文献目录以供参考。在翻译的过程中,我们纠正了原书中存在的个别笔误和排版错误。

本书的翻译由多年从事光纤传感技术研究的博士和学者完成,他们中的许多人曾在英、美等国留学多年,有的现仍在海外做研究工作。

本书涉及的内容多,知识面广,由于水平有限,译文中还会存在不当之处,敬请读者批评指正。

本书得以出版特别需要感谢阿特彻出版社(Artech House)的大力支持,授予在中国出版此书(中文版)的权力。同时还要感谢本书主编之一 B. 卡尔肖(Brian Culshaw)和作者 A. J. 罗杰斯(Alan J. Rogers)赠送的原

版书,这给翻译和出版创造了良好的条件。

本书在编译过程中得到了旅英光电子学会和华中理工大学研究生院的支持,出版社同事们的支持,在此一并衷心的感谢。

1997年6月

于华中理工大学

前 言

自从光纤传感这一概念首次提出至今,20多年已经过去了。在这期间,包括光纤和有关器件在内的光纤基本结构有了飞速发展,已从非常简单的玻璃纤维光波导束发展到了现在的种类繁多、设计精致、性能可靠、价格便宜的光纤器件。这些发展进而又激励了人们将光纤作为敏感介质研究的兴趣,而由光纤敏感介质组成的各种器件和子系统又扩展了光在传感器中的各种概念,丰富了光纤的研究内容。与此同时,光纤传感技术的商业开发条件也日益成熟,一些新型仪器已经投入实际应用。

目前,关于光纤传感的基本技术和理论已经有了详细阐述。它涉及到波导和传统光学的各个方面,而且,可供选择的传感器种类繁多,令人眼花缭乱,其中有许多具有特定的应用范围。现在存在的主要问题是依据理论设计出稳定可靠、价格低廉的器件。这些问题在关于光纤传感器所用材料优化的文献中也有阐述。上述这些科学理论基础和丰富的应用研究经验为本书的写作提供了一个理想的环境,为此,我们出版了此书。

光纤传感器和所有传感技术一样是一门综合性学科,要想达到本书的写作目的,就需要接触这方面的各类专家。幸运的是,我们得到了许多在这一领域作出贡献的各国专家的支持,为此,我们采用了一种多作者的编写方式。更使我们高兴的是,作者们的热情参与使这本书的价值超出了我们的期望,它不仅阐述了这门学科的基础,更令人兴奋和鼓舞的是,它还包含了这些作者在最近10年中在这方面富有成效的研究成果。本书第一册阐述光纤传感的基本原理和基本技术;第二册介绍各种系统及其应用。

在这里,除了感谢每位作者所作的贡献外,我们这些编辑还要感谢那些对这一领域作出贡献的所有朋友和同事。我们也同样感

谢和我们一起工作的公司和团体,他们的支持使我们能够发展光纤传感这门技术。

我们希望,这本书在光纤传感器领域是一本有价值的技术文献和参考书,它的基本原理和主要应用在未来的光纤传感器研究中仍然具有价值和意义。

作者

目 录

第一章 引言:传感器系统与光纤

B. Culshaw, J. Dakin 李少慧译	(1)
---------------------------------	-----

第二章 光纤传感器的基本概念 B. Culshaw 张冈, 李少慧译

.....	(7)
2.1 引言	(7)
2.2 光纤传感器器件.....	(10)
2.3 光纤传感器系统的特性.....	(18)
2.4 小结.....	(19)
参考文献	(20)

第三章 基础光学 A. J. Rogers 张伟、吴建春译

3.1 光的性质.....	(23)
3.2 光的发射和吸收.....	(29)
3.3 光的传播.....	(36)
3.4 干涉和衍射.....	(55)
3.5 相干性.....	(67)
3.6 偏振光学.....	(77)
3.7 光与物质的相互作用.....	(85)
3.8 光电探测器.....	(97)
3.9 小结	(100)
参考文献.....	(100)

第四章 光探测器和接收器

B. T. Debnay, A. C. Carter 李少慧, 郑曙东译...	(103)
4.1 引言	(103)
4.2 基本探测原理	(104)

4.3 探测器材料	(109)
4.4 探测器类型	(111)
4.5 探测器技术:现状与展望.....	(123)
4.6 直接探测接收器	(128)
4.7 相干探测	(140)
4.8 小结	(144)
参考文献.....	(145)

第五章 光源

A. M. Yurek, A. Dandridge 戚克军译	(149)
5.1 引言	(149)
5.2 发光二极管	(154)
5.3 半导体二极管激光器	(162)
5.4 其他光源	(183)
参考文献.....	(184)

第六章 光纤传感器中材料的相互作用

A. M. Smith 李少慧, 郑曙东译	(189)
6.1 引言	(189)
6.2 传光型、传感型和倏逝场传感器.....	(189)
6.3 吸收	(190)
6.4 散射光在吸收测量中的应用	(193)
6.5 荧光现象	(196)
6.6 磷光现象	(199)
6.7 倏逝场	(200)
6.8 表面等离子体共振	(203)
6.9 全光纤系统的材料选择	(205)
6.10 小结.....	(207)
参考文献.....	(207)

第七章 光纤器件

M. J. F. Digonnet, B. Y. Kim 黄宗碧, 李少慧译...	(210)
---	-------

7.1	引言	(210)
7.2	光纤耦合器	(211)
7.3	波分复用器及滤波器	(221)
7.4	偏振态控制器	(225)
7.5	光纤偏振器	(228)
7.6	相位调制器	(231)
7.7	移频器	(236)
7.8	放大器和光源	(240)
7.9	小结	(244)
	参考文献	(246)

第八章 传感器用光纤

	W. A. Gambling, S. B. Poole 张冈, 李少慧译 ..	(260)
8.1	引言	(260)
8.2	改进偏振特性的光纤	(261)
8.3	倏逝场光纤	(273)
8.4	改进材料的光纤	(276)
8.5	小结	(285)
	参考文献	(285)

第九章 集成光学传感器

	R. Th. Kersten 张伟, 李翠红译	(293)
9.1	引言	(293)
9.2	基本原理	(294)
9.3	材料	(308)
9.4	工艺	(309)
9.5	损耗	(317)
9.6	工艺步骤	(318)
9.7	耦合器	(318)
9.8	传感器中的集成光路	(320)
9.9	其他应用	(326)

9.10 未解决的问题	(328)
9.11 小结	(329)
参考文献	(330)

第十章 干涉仪

D. A. Jackson, J. D. C. Jones 宁雅农译	(334)
10.1 引言	(334)
10.2 基本原理	(334)
10.3 信号处理	(337)
10.4 内传感单模光纤传感器	(358)
10.5 外感式传感器	(369)
10.6 小结	(376)
参考文献	(377)

第十一章 光纤陀螺仪 H. C. Lefevre 宁雅农译 (388)

11.1 引言	(388)
11.2 干涉光纤陀螺仪原理	(388)
11.3 多光路寄生效应	(398)
11.4 瞬时寄生效应	(409)
11.5 真实的非互易效应	(410)
11.6 安装技术及有关特性	(413)
11.7 比例因子精度	(422)
11.8 未来的应用前景	(430)
11.9 干涉型光纤陀螺仪及共振型光纤陀螺仪的比较	(430)
11.10 小结	(431)
参考文献	(432)

第十二章 强度、波长调制型传感器和光动作器

B. E. Jones, R. S. Medlock, R. C. Spooncer 石文江译	(439)
12.1 引言	(439)

12.2	强度调制型传感器	(443)
12.3	参考光强的选取	(453)
12.4	谱编码光纤传感器	(456)
12.5	混合型光纤传感器	(462)
12.6	光致动	(474)
12.7	小结	(475)
	参考文献	(476)
第十三章 光纤传感器中的硅材料		
	B. Culshaw 石文江译	(484)
13.1	引言	(484)
13.2	硅的机械和光学特性	(485)
13.3	共振传感器的基本特点	(491)
13.4	硅的微加工	(497)
13.5	光供能微机械共振传感器	(501)
13.6	硅集成光学	(508)
13.7	讨论和小结	(510)
	参考文献	(511)
第十四章 点传感器的多路复用原理		
	R. Kist 李志高译	(514)
14.1	引言	(514)
14.2	光纤传感器网络的一般型式	(517)
14.3	光纤传感器网络是信息产生和传输系统	(519)
14.4	网络组成	(524)
14.5	非相干复用技术	(535)
14.6	干涉型传感器复用技术	(556)
14.7	小结	(571)
	参考文献	(573)
第十五章 分布式光纤传感器系统		
	J. Dakin 李志高译	(583)

15.1	引言	(583)
15.2	利用 OTDR 原理的后向散射型传感器	(584)
15.3	利用 OTDR 监测光纤损耗的变化	(587)
15.4	瑞利后向散射的变化特性	(588)
15.5	分布式反斯托克斯-喇曼测温技术(DART) ...	(591)
15.6	光时域荧光监测技术	(595)
15.7	光频域反射(OFDR)技术	(596)
15.8	用于测量扰动位置的透射式 FMCW 技术	(597)
15.9	利用反向传播的光泵浦脉冲放大的分布式传感器	(598)
15.10	用于时变物理场测试的基于 Sagnac 环的分布式 光纤干涉计	(599)
15.11	小结	(600)
	参考文献	(601)

第十六章 化学、生物化学和医用传感器

	A. Harmer, A. Scheggi 张志毅译	(606)
16.1	引言	(606)
16.2	光纤化学传感器的特点	(606)
16.3	光谱参数	(608)
16.4	光纤探头和仪器	(610)
16.5	气体分光仪	(616)
16.6	折射率和液位传感器	(619)
16.7	浊度(或散射)的测量	(621)
16.8	氢离子浓度(pH 值)传感器	(622)
16.9	血氧测定计	(626)
16.10	二氧化碳传感器	(628)
16.11	葡萄糖分传感器	(629)
16.12	化学离子	(630)
16.13	免疫分析	(630)

16.14	医用物理传感器	(639)
16.15	小结	(648)
	参考文献	(648)

第十七章 过程控制用的物理和化学传感器

	K. Kyuma 张志毅译	(661)
17.1	引言	(661)
17.2	开-关型传感器	(663)
17.3	温度传感器	(667)
17.4	图像传感器(内窥镜)	(677)
17.5	机械传感器	(680)
17.6	化学传感器	(689)
17.7	光纤传感器系统	(697)
17.8	小结	(700)
	参考文献	(700)

第十八章 光纤传感器在航空和航海业中的应用

	B. Culshaw 刘月爱译	(709)
18.1	引言	(709)
18.2	航空仪器	(710)
18.3	航海应用	(722)
18.4	传感器系统	(724)
18.5	讨论和小结	(724)
	参考文献	(725)

第十九章 光纤传感器的其他应用 A. J. A. Bruinsma,

	T. J. M. Jongeling 刘月爱译	(728)
19.1	引言	(728)
19.2	安全保险系统	(728)
19.3	结构完整性监测	(734)
19.4	非接触式测量和检测	(744)
19.5	电力工业用传感器	(750)

19.6	有关市场前景的分析.....	(761)
	参考文献.....	(763)
第二十章	市场状况 P. McGeehin 刘月爱译	(774)
20.1	引言.....	(774)
20.2	市场考虑.....	(775)
20.3	研究开发市场.....	(776)
20.4	商业市场.....	(785)
20.5	小结.....	(788)

第一章 引言:传感器系统与光纤

B. Culshaw, J. Dakin 李少慧译

大多数电子系统都由三个主要部分组成:来自于传感器的信号输入;能对此输入或与之相似的其他信号源的输入信号进行处理的电子装置;最后是输出装置,最常用的是一执行机构。输入装置包括从键盘到电视摄像到用于血液气体监护仪等多种设备。输出装置——执行机构可采取以下几种形式:视觉或听觉显示器,电磁阀、开关或位置变换器。用于信号处理的元件可以采用较为普遍的集成电路芯片。在这三部分中,人们对于信号处理总是精益求精,而对其余部分则相对不重视。

本书介绍传感器,并着重于一种特殊的传感器装置——光纤传感装置。本书所强调的并且对整个传感器技术都适用的一个重要观点就是:信号由敏感元件从一种形式到另一种形式的变换是一个真正的多学科技术,它包括电子学、机械工程、化学、封装,当然也包括光纤。这种多学科的综合向我们提出了挑战,也许这就是传感器被称为信息时代的灰姑娘的原因——传感器的设计相当困难。至于谁扮演了她的那些丑恶姐妹角色,已经引起人们的思考。

传感器的基本作用是将某种形式的输入能量(被测对象)的变化转换为同种或其他种形式的能量(信号)的单值变化。如在电话机中,声音压力的变化导致电流的变化;在热电偶中,温度的变化导致电压的变化;在电视摄像中,物体空间位置的变化导致电流的变化。在其他领域也存在类似情况。如在摩托车的刹车伺服系统中,踏板位置的变化就意味着刹车的油压变化。

被测信号通常分为六类,这包括:

(a) 辐射信号:包括强度、波长、偏振态、电磁场相位或声幅