

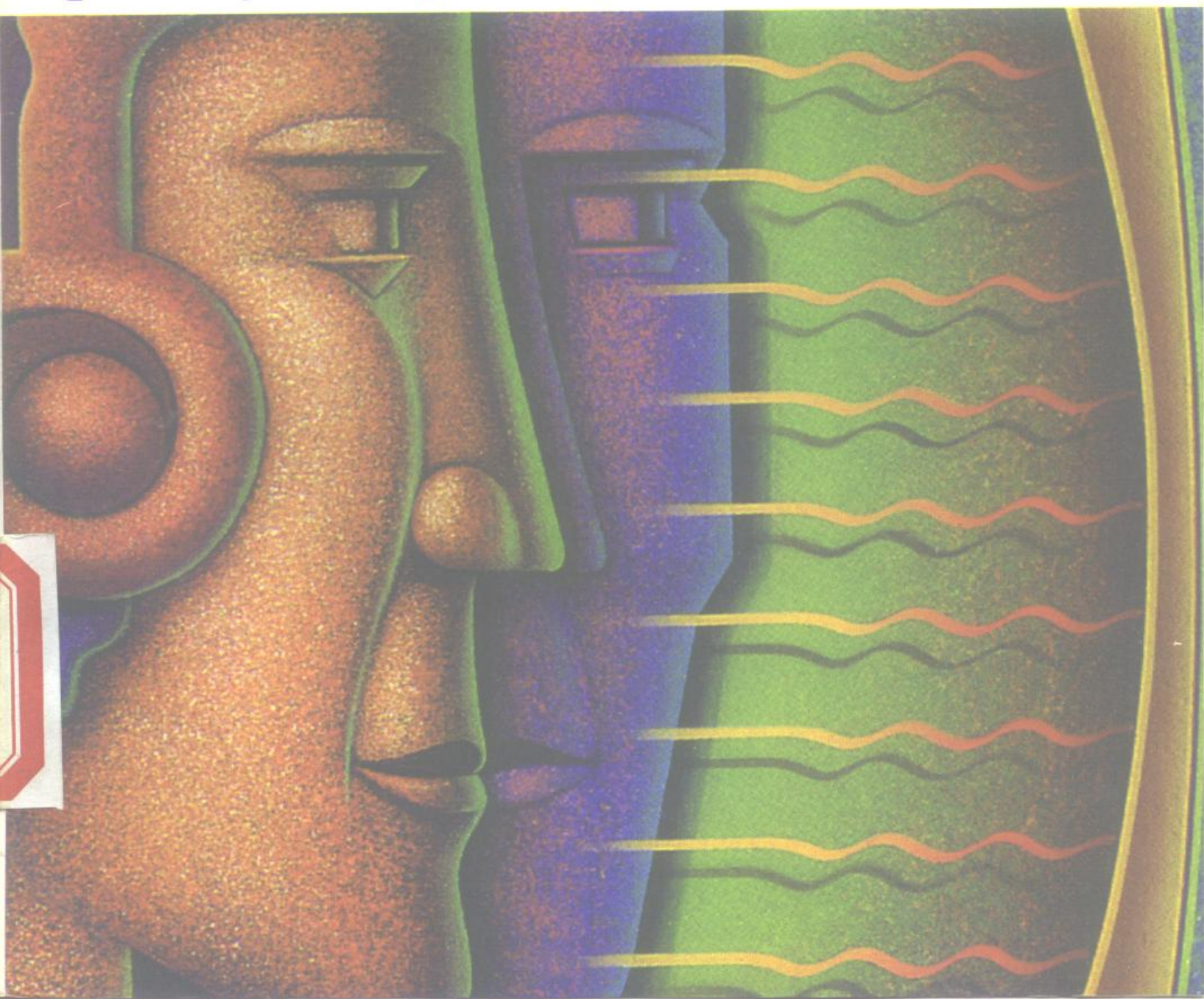
现代新型传感器原理与应用

XIANDAI XINXING

CHUANGANQI YUANLI YU YINGYONG

刘迎春 叶湘滨 编著

G F G Y G B S



现代新型传感器原理与应用

刘迎春 叶湘滨 编著

国防工业出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

现代新型传感器原理与应用/刘迎春,叶湘滨编著,一
北京:国防工业出版社,1998.1
ISBN 7-118-01765-5

I. 现… II. ①刘… ②叶… III. 传感器-概论 IV. TP2
12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 08191 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 16 $\frac{3}{4}$ 387 千字

1998 年 1 月第 1 版 1998 年 1 月北京第 1 次印刷

印数:1—3000 册 定价:24.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

前 言

20 世纪 80 年代人类社会进入信息时代以来,人们的一切社会活动都是以信息获取与信息交换为中心。因此,信息技术进入发展新时期,而作为信息技术的基础与支柱之一——传感器也进入迅猛发展的新阶段。在各个学科领域中,特别是现代高新工程技术中,需要获取的信息量(物理量、化学量、生物量等等)越来越多,对信息测量准确度的要求越来越高,测量的难度越来越大,从而对传感器技术提出了更高更新的要求,传统的传感器已经不能满足新形势的需求。

现在,“没有传感器技术就没有现代科学技术”的观点已为全世界所公认。因此,传感器技术受到各国,特别是发达国家的重视,我国也将传感器技术列为重点发展项目。所以 80 年代以来,在世界范围内,利用现代科学技术,研究开发了一批新型传感器,新型功能材料,由于在制造中引进了微细加工技术与集成技术等先进工艺,使得传感器技术得到飞速发展,并取得了可喜的成就。

但是,目前系统、全面、深入地介绍现代新型传感器技术新发展与新成就的书籍较少,远不能满足教学与科技发展的需要。为此,作者对多年来从事传感器技术的科研成果与教学成果进行整理,并充实大量近十年国内、外传感器技术新成果与新技术,撰写了本书,奉献给广大读者,以满足人们学习现代传感器新技术的愿望。

全书共十一章,分别论述了光纤传感器、固态图像传感器、红外传感器、生物传感器、机器人传感器、气体传感器、湿度传感器、非晶态合金传感器、智能传感器、微波传感器和其他新型传感器(超导、液晶、射线式、声传感器)的基本原理、基本特性和应用实例。内容新颖、先进、丰富,具有一定深度与广度。本书可作为测试计量及仪器仪表、自动控制、自动化仪表专业及相关专业研究生的教材,也可供有关专业高年级本科生、大专生选用,还可供有关专业工程技术人员参考。

国防科技大学刘迎春撰写了本书第一、二、三、四、六、九、十一章,叶湘滨撰写了第五、七、八、十章,全书由刘迎春统稿。

本书编写中参考了兄弟院校、厂所的教材及文献资料,在此表示衷心感谢。

由于水平所限,书中缺点、错误在所难免,敬请广大读者对书中不妥之处批评指正,作者将不胜感激。

作 者

1996 年 10 月于长沙

内 容 提 要

本书比较全面、系统、深入地论述了现代新型传感器的理论以及新型传感器在机械量、热工量、化学量、生物量等非电量测量中的应用。

全书共分十一章,分别介绍了光纤传感器、固态图像传感器、红外传感器、生物传感器、机器人传感器、气体传感器、湿度传感器、非晶态合金传感器、智能传感器、微波传感器及其他新型传感器(超导、液晶、射线式、声传感器)的基本原理、基本特性和应用实例。本书取材新颖,内容丰富,反映了当代传感器技术的新发展与新成就。

本书可作为测试计量技术、仪器仪表、自动控制专业研究生教材,也可供有关专业本科生、大专生选用,还可供有关工程技术人员参考。

目 录

绪论	(1)
第一章 光纤传感器	(4)
1.1 概论	(4)
1.2 光导纤维以及光在其中的传输	(5)
1.3 光纤传感器的光源	(8)
1.4 光纤传感器用光探测器	(11)
1.5 光调制技术	(12)
1.6 光纤位移传感器	(15)
1.7 光纤速度、加速度传感器	(23)
1.8 光纤振动传感器	(27)
1.9 光纤温度传感器	(31)
1.10 光纤流量、流速传感器	(38)
1.11 光纤压力传感器	(41)
1.12 光纤电流传感器	(45)
1.13 光纤电压传感器	(47)
1.14 光纤磁场传感器	(48)
1.15 光纤医用传感器	(50)
1.16 光纤传感器教学实验仪	(55)
第二章 固态图像传感器	(58)
2.1 引言	(58)
2.2 固态图像传感器的敏感器件	(59)
2.3 固态图像传感器	(65)
2.4 固态图像传感器的应用	(78)
2.5 红外固态图像传感器	(83)
第三章 红外传感器	(85)
3.1 红外辐射的基本知识	(85)
3.2 红外传感器(红外探测器)	(88)
3.3 红外探测的光学部件	(95)
3.4 红外探测器辅助电路	(97)
3.5 红外测温	(104)
3.6 红外成像	(107)
3.7 红外分析仪	(109)
3.8 红外无损检测	(111)

3.9 红外探测技术在军事上的应用	(112)
第四章 生物传感器	(114)
4.1 概述	(114)
4.2 生物传感器原理、特点与分类	(114)
4.3 生物反应基本知识	(116)
4.4 生物活性材料固定化技术	(121)
4.5 酶传感器	(122)
4.6 微生物传感器	(125)
4.7 免疫传感器	(127)
4.8 生物组织传感器	(128)
4.9 半导体生物传感器	(129)
4.10 生物传感器应用与未来	(130)
第五章 机器人传感器	(132)
5.1 概述	(132)
5.2 触觉传感器	(133)
5.3 接近觉传感器	(144)
5.4 视觉传感器	(146)
5.5 听觉、嗅觉、味觉及其他传感器	(148)
第六章 气体传感器	(150)
6.1 概述	(150)
6.2 半导体气体传感器	(152)
6.3 红外吸收式气体传感器	(176)
6.4 接触燃烧式气体传感器	(176)
6.5 热导率变化式气体传感器	(178)
6.6 湿式气敏传感器	(178)
6.7 气体传感器的应用	(179)
第七章 湿度传感器	(185)
7.1 概述	(185)
7.2 电解质湿度传感器	(192)
7.3 半导体陶瓷湿度传感器	(196)
7.4 有机物及高分子聚合物湿度传感器	(199)
7.5 湿度传感器的标定及其设备	(201)
7.6 湿度传感器的应用及发展动向	(207)
第八章 非晶态合金传感器	(209)
8.1 非晶态合金及其基本性能	(209)
8.2 非晶态合金传感器的物理基础	(215)
8.3 非晶态合金传感器	(225)
第九章 智能式传感器	(234)
9.1 概述	(234)

9.2	智能式传感器的构成及各部分功能	(234)
9.3	智能式压阻压力传感器	(235)
9.4	智能式红外测温仪	(238)
9.5	智能传感器的发展方向	(238)
第十章	微波传感器	(240)
10.1	微波基本知识简介	(240)
10.2	微波传感器及其分类	(241)
10.3	微波传感器的优点与存在问题	(241)
10.4	微波传感器的应用	(242)
第十一章	其他新型传感器	(246)
11.1	超导传感器	(246)
11.2	液晶传感器	(248)
11.3	射线式传感器	(250)
11.4	声传感器	(255)
参考文献		(259)

绪 论

0.1 传感器的定义和传感器的组成

根据中华人民共和国国家标准(GB7665—87),传感器(Transducer/Sensor)的定义是:能感受规定的被测量并按照一定规律转换成可用输出信号的器件或装置。通常传感器由敏感元件和转换元件组成。其中敏感元件(Sensing element)是指传感器中能直接感受被测量的部分;转换元件(Transduction element)是指传感器中能将敏感元件输出量转换为适于传输和测量的电信号部分。

应该指出,有些国家和有些学科领域,将传感器称为变换器、探测器或检测器等。还应该说明,并不是所有的传感器都能明显分清敏感元件和转换元件两个部分,而是两者合二而一。例如半导体气体传感器、半导体光电传感器等,它们都是将感受的被测量直接转换为电信号输出,没有中间变换。

0.2 传感器在科技发展中的重要性

传感器在科技发展中的重要性表现在以下三个方面:

一、传感器的地位与作用

现代科学技术的迅猛发展,使人类社会进入信息时代。而在信息时代中,人们的社会活动将主要依靠对信息资源的开发及获取、传输与处理。而传感器处于自动检测与控制系统之首,是感知、获取与检测信息的窗口;传感器处于研究对象与测控系统的接口位置,一切科学研究和生产过程要获取的信息,都要通过它转换为容易传输与处理的电信号。因此,传感器的地位与作用就特别重要了。现在人们常常将计算机比喻为人的大脑,传感器则可比喻为人们的感觉器官。如果没有功能正常而完美的感觉器官,不能迅速而准确地采集与转换欲获取的外界信息,纵有再好的大脑也是无法发挥其功能与作用的。“没有传感器技术就没有现代科学技术”的观点现在已为全世界所公认。科学技术越发达,自动化程度越高,对传感器依赖性就越大。所以,国内外都将传感器技术列为重点发展的高技术,倍受重视。

二、传感器技术是信息技术的基础与支柱

20世纪80年代以来,人类社会进入了信息时代,因而信息技术对社会发展、科技进步将起决定性作用。现代信息技术的基础是信息采集、信息传输与信息处理,它们就是传感器技术、通信技术和计算机技术。而且传感器在信息采集系统中处于前端,它的性能如何将直接影响整个系统的工作状态与质量。因此,近十多年来,人们对传感器在信息社会中的重要性又有新的认识与评价。

三、传感器已经广泛应用于各个学科领域

传感器的重要性还体现在各个学科的发展与传感器技术有密切关系,例如工业自动化、农业现代化、航天技术、军事工程、机器人技术、资源开发、海洋探测、环境监测、安全保卫、医疗诊断等领域都与传感器有密切关系。而且传感器技术的发展,会对其他学科的发展产生相互影响。科学上的每一个发现与进步,都离不开传感器与检测技术的保证作用。

0.3 现代传感器及其发展方向

现代传感器这个名称具有两个含义,其一,现代传感器是与传统的、常见的传感器(如电阻应变式传感器、电容式传感器、电感式传感器等)相比较而言,它是指最近十年左右研制开发成功的新型传感器;其二,现代传感器是借助于现代先进科学技术研制开发出来的传感器,它是利用了现代科学原理、或者应用了现代新型功能材料、或者采用了现代先进制造技术。

当前,现代传感器技术的发展方向是:第一,开展基础研究,发现新现象、采用新原理、开发新材料和采用新工艺;第二,扩大传感器的功能与应用范围。

一、发现新现象

利用物理现象、化学反应和生物效应等是各种传感器的基本原理,所以发现新现象与新效应是现代传感器发展的重要基础,其意义极为深远。

二、开发新材料

功能材料是发展传感器技术的另一重要基础。现在,由于材料科学的进步,在制造各种材料时,人们可以任意控制它的成分,从而可以设计与制造出各种用于传感器的功能材料。例如控制半导体氧化物的成分,可以制造出各种气体传感器;光导纤维用于传感器是传感器功能材料的一个重大发现;有机材料作为功能材料,正引起国内外科学家极大关注。

三、采用新工艺

传感器的敏感元件性能除了由其功能材料决定外,还与其加工工艺有关。随着半导体、陶瓷等新型材料用于传感器敏感元件,许多现代先进制造技术也引入传感器制造技术,例如集成技术,微细加工技术,离子注入技术,薄膜技术等,能制作出性能稳定、可靠性高、体积小、重量轻的敏感元件。

四、研究多功能集成传感器

研究多功能集成传感器是传感器发展的一个重要方向,即在一个芯片上集成多种功能敏感元件或同一功能的多个敏感元件。例如日本研制出可检测 Na^+ 、 K^+ 、 H^+ 的多种离子传感器,我国也研制出复合压阻传感器,一个芯片可同时检测压力与温度。

五、研究智能式传感器

智能传感器是一种带微型计算机兼有检测、判断、信息处理等功能的传感器。与传统传感器相比,它具有很多特点。例如,它可以确定传感器工作状态,对测量数据进行修正,以便减少环境因素如温度变化引起的误差;用软件解决硬件难以解决的问题;完成数据计算与处理工作等等。

六、仿生传感器研究

值得注意的一个动向是对仿生传感器的研究,特别是机器人技术向智能化高级机器人的发展。

仿生传感器就是模仿人的感觉器官的传感器,即视觉传感器、听觉传感器、嗅觉传感器、味觉传感器、触觉传感器等。目前,只有视觉传感器与触觉传感器解决得比较好,其他几种远不能满足机器人技术发展的需求。也可以说,至今真正能代替人的感觉器官功能的传感器极少。

第一章 光纤传感器

1.1 概 论

1.1.1 光纤传感器技术的形成及其特点

光纤传感器技术是本世纪 70 年代末发展起来的一门崭新的技术,是传感器技术的新成就。光纤传感器技术是随着光导纤维实用化和光通信技术的发展而形成的。

光纤作为远距离传输光波信号的媒质,最早用于光通信技术中。但是,在实际光通信过程中发现,光纤受到外界环境因素的影响,如压力、温度、电场、磁场等环境条件变化时,将引起光纤传输的光波量,如光强、相位、频率、偏振态等变化。因此,科技人员推测,如果能测量出光波量变化的大小,就可以知道导致这些光波量变化的压力、温度、电场、磁场等物理量的大小,于是就出现了光纤传感器技术。

光纤传感器与传统的传感器相比有许多特点,如灵敏度高、结构简单、体积小、耗电量少、耐腐蚀、绝缘性好、光路可弯曲,以及便于实现遥测等。因此它一出现就受到广泛重视,而且发展很快。一些研究所与大专院校投入人力物力研制与开发各种光纤传感器,很多厂家生产光纤材料与光纤传感器。

应该指出,光纤传感器技术是一门多学科性科学,它涉及知识面广泛,如纤维光学、光电技术、弹性力学、电磁学、电子技术和微型计算机应用等。本章的论述只从实用角度出发,用易于理解的方式阐述理论,重点放在理论的应用上。严格的理论证明请查阅有关文献。

1.1.2 光纤传感器的组成与分类

光纤传感器一般由三部分组成,除光纤之外,还必须有光源和光探测器两个重要部件,如图 1-1 所示。

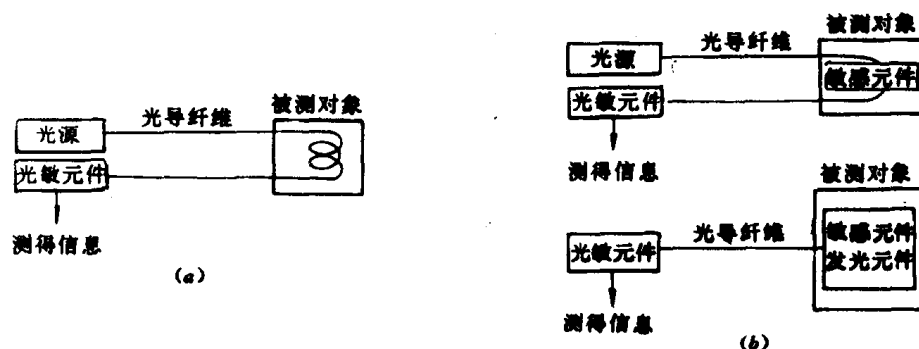


图 1-1 光纤传感器的组成与分类
(a)功能型;(b)传光型。

光纤传感器一般分为两大类：一类是利用光纤本身的某种敏感特性或功能制成的传感器，称为功能型传感器；另一类是光纤仅仅起传输光波的作用，必须在光纤端面或中间加装其他敏感元件才能构成传感器，它称为传光型传感器。图 1-1 为光纤传感器的分类图。其中传光型传感器又分为两种，一种是将敏感元件置于入射与接收光纤中间，在被测对象的作用下，或使敏感元件遮断光路，或使敏感元件的光穿透率发生变化，这样，光探测器所接收的光量便成为被测对象调制后的信号；另一种是在光纤一端设置“敏感元件+发光元件”的组合部件，敏感元件感受被测对象的作用并将其变换为电信号后作用于发光元件，而发光元件的发光强度作为测量所得的信息。

显然，要求传光型传感器能传输的光量越多越好，所以它主要用多模光纤构成；而功能型传感器主要靠被测对象调制或改变光纤的传输特性，所以只能用单模光导纤维构成。

根据对光调制的手段不同，光纤传感器又有强度调制、相位调制、频率调制、偏振调制、波长调制等不同工作原理的光纤传感器。

根据被测参量的不同，光纤传感器又可分为位移、压力、温度、流量、速度、加速度、振动、应变、电压、电流、磁场、化学量、生物量等各种光纤传感器。

光纤传感器可以测量多种物理量，目前已经实用的光纤传感器可测量物理量达 70 多种。因此，光纤传感器具有广阔的发展前景。

1.2 光导纤维以及光在其中的传输

1.2.1 光导纤维及其传光原理

光导纤维的结构如图 1-2 所示。其中央有个细芯(半径 a ，折射率 n_1)，称为芯子，直径只有几十微米，芯子的外面有一圈包皮(半径 b ，折射率 n_2 ， n_1 大于 n_2)，其外径约为 $100 \sim 200 \mu\text{m}$ 。光纤最外层为保护层(半径 c ，折射率 n_3 ， $n_3 \geq n_2$)。这样的构造可以保证入射到光纤内的光波集中在芯子内传输。光纤的芯子是用高折射率的玻璃材料制成的。包皮是用低折射率的玻璃或塑料做成的，具有这种结构的光纤是芯皮型光纤中的阶跃型光纤，其中断面折射率分布之高、低交界面很清楚。而芯皮型光纤又有梯度型光纤，其断面折射率分布是从中央高折射率逐渐变化到包皮的低折射率。

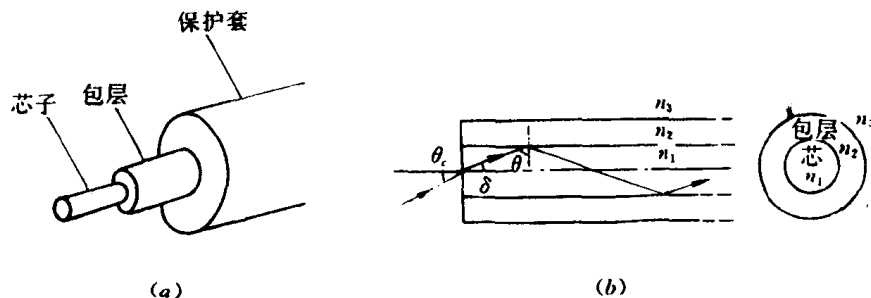


图 1-2 光导纤维基本结构与光线传输

(a) 基本结构；(b) 光线传输。

当光线以各种不同角度入射到芯子并射至芯子与包皮的交界面时，光线在该处有一部分透射，一部分反射。但当光线在纤维端面中心的入射角 θ 小于临界入射角 θ_c 时，光线

就不会透射出界面,而全部被反射。光在界面上无数次反射,呈锯齿形状路线在芯内向前传播,最后从光纤的另一端传出,这就是光纤的传光原理。即为保证全反射,要求 $\theta < \theta_c$, 这时

$$NA = \sin\theta_c = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (1-1)$$

由式(1-1)可知,某种光纤的临界入射角的大小是由光纤本身的性质——折射率 n_1, n_2 所决定的。

式中的 NA 称为数值孔径,是表示向光导纤维入射的信号光波难易程度的参数。一种光导纤维的 NA 越大,表明它可以在较大入射角范围内输入全反射光,并保证此光波沿芯子向前传输。

这种沿芯子传输的光,可以分解为沿轴向与沿截面传输的两种平面波成分。因为沿截面传输的平面波是在芯子与包层的界面处全反射的,所以,每一往复传输的相位变化是 2π 的整数倍时,就可以在截面内形成驻波。像这样的驻波光线组又称为“模”。“模”只能离散地存在。就是说,光导纤维内只能存在特定数目的“模”传输光波。如果用归一化频率 v 表达这些传输模的总数,其值一般在 $v^2/2 \sim v^2/4$ 之间。归一化频率

$$v = \frac{2\pi a NA}{\lambda} \quad (1-2)$$

式中, λ 为传输光波长。

能够传输较大 v 值的光导纤维(即能够传输较多的模)称为多模光导纤维;仅能传输 v 小于 2.41 的光导纤维称为单模光导纤维。

多模和单模光导纤维,两者都是当前光纤通信技术上最常用的。因此,它们通称为普通光导纤维。

用于测试技术的光导纤维,往往有些特殊要求,所以,又称其为特殊光导纤维。例如近年刚刚问世的“保持偏振光面光导纤维”,就是典型的特殊光导纤维。

1.2.2 光在普通光导纤维内的传输

多模光导纤维芯子直径、芯子与包层折射率之差较大,因而能传输的光量也比较多。当把芯子直径降至 $6\mu\text{m}$ 以下,把折射率差缩至约为 0.005 时,光导纤维所能传输的光量就大为减少,只能传输基模的光波。

基模光波可以看作是互相垂直的 E_x 模和 E_y 模合成的(见图 1-3)。如果用 (x, y, z) 直角坐标系描述光波传输的情形,则 E_x, E_y 模可以表示为分别在 xoz, yoz 平面内振动着向 z 方向传输的状态。

光波虽是电磁波,但为了简化问题,当只观察电场变化时,不妨可以认为 $E_x (e_x \neq 0, e_y = 0)$ 只在 x 方向上具有一定的电场强度,而 $E_y (e_x = 0, e_y \neq 0)$ 仅在 y 方向上具有一定的电场强度。这两个电场成分,按照麦克斯韦方程,一般为

$$E_x \text{ 模 } e_x = A_x(x, y)e^{j(\omega t - \beta_z z)} \quad (1-3)$$

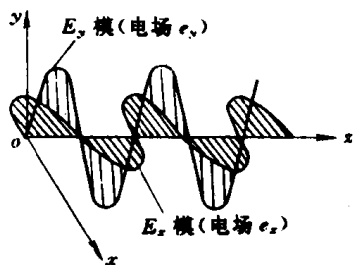


图 1-3 直线偏振光面 E_x, E_y 模的传输

$$E_y \text{ 模 } e_y = A_y(x, y)e^{j(\omega t - \beta_y z)} \quad (1-4)$$

式中, A_x 与 A_y 分别为 E_x 与 E_y 在截面方向上的电场分布; ωt 为光的角频率与时间的乘积; β_x 与 β_y 分别为 E_x 与 E_y 模的轴向(z 向)传输系数。 β_x, β_y 的物理意义可以理解为 E_x 与 E_y 模在轴向单位长度内相位角的变化量。

上述电场是在同一平面内(例如 xoz, yoz 平面)振动的波,所以,它们是直线偏振(光)波,振动所在的面称作偏振(光)面。

之所以说单模光导纤维在测试技术中非常重要,还在于它所传输的是直线偏振光。这样,就可以把讨论多模光导纤维时被略去的“偏振光面”以及光波的传输“相位”变化等光学状态利用起来,进行多种非电量测量。

如果光导纤维的芯子是无任何畸变的圆形“理想构造”,传输系数 $\beta_x = \beta_y$, 即两种模以同一速度传输,这时,两种模毫无区别,甚至可以完全看作一种模。这一点,也正是称其为单模光导纤维的理由。但是,实际的光导纤维形状并非理想圆形,而且,因芯子与包层材质差异所带来的热胀系数的不同,也势必会造成芯子的某些畸变。于是, $\beta_x \neq \beta_y$, 就是说,实际光导纤维中所传输的两个模 E_x, E_y 是不以同一速度向前传输的。

为分析单模光导纤维输出光波的偏振(光)特性,假定 E_x, E_y 模同时以同一振幅 A 传输,那么 $A = A_x = A_y$, 去掉 ωt 项,整理可得

$$e_x^2 + e_y^2 - 2e_x e_y \cos(\Delta\beta_z) = A^2 \sin(\Delta\beta_z) \quad (1-5)$$

式中, $\Delta\beta_z = \Delta\beta = |\beta_x - \beta_y|$ 为 z 方向上传输系数差。

显然,式(1-5)所表示电场的轨迹是一个椭圆。图 1-4 给出了它的一般情形与几种特殊状态:当 $\Delta\beta_z = m\pi (m = 0, 1, 2, \dots)$ 时,偏振光面不随时间变化;当 $\Delta\beta_z = (2m + 1)\pi/2$ 时,偏振光变化呈圆形。偏振光变化轨迹呈圆形。偏振面不随时间变化的固定偏振光称为直线偏振光。图 1-4 的(a)和(e)都表示直线偏振光的情形,因图示的光波垂直纸面传输,所以其偏振光面表示成直线;图(c)表示圆偏振光。在 $\Delta\beta_z$ 为一般情形时,偏振光变化轨迹为椭圆,故统称为椭圆偏振光,如图(b)与(d)所示。

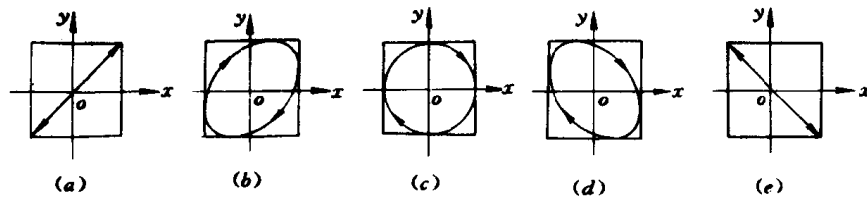


图 1-4 垂直纸面方向(z 向)上传输光波的振动($\Delta\beta_z$ 为 z 方向上的传输系数)

(a) $\Delta\beta_z = 0$; (b) $0 < \Delta\beta_z < \pi/2$; (c) $\Delta\beta_z = \pi/2$; (d) $\pi/2 < \Delta\beta_z < \pi$; (e) $\Delta\beta_z = \pi$ 。

上述偏振光状态总称为偏振光特性。

1.2.3 光在特殊光导纤维内的传输

用普通光导纤维的单模光导纤维难于解决许多非电量测试问题,或者说,很难保证所需的测量精度。

为解决这一难题,一些国家在努力研制用于测量技术的“特殊光导纤维”。例如,日本日立公司等企业所试制成功的“保持偏振光面光导纤维”就是其典型例子。

以“保持偏振光面光导纤维”为例,简单说明光在特殊光导纤维内传输的情形。

如图 1-5 所示,在单模光导纤维的输入端虽然仅仅射入 E_x 模的直线偏振光,但是,当随机的外界干扰量作用在光导纤维时,偏振光特性将因之而发生变化,产生出 E_y 模。

因外界干扰量的相异,模之间的功率交换比例可由下式给出:

$$\eta = |e_x|^2 / |e_y|^2 = \tanh(KL / \Delta\beta_m) \quad (1-6)$$

式中, η 为消光比,一般用分贝(dB)表示($10\lg\eta$); K 为常数; L 为光导纤维长度; $\Delta\beta$ 为 E_x 、 E_y 模传输系数之差; m 为外界随机干扰量常数,一般取为 4、6 或 8。

由式(1-6)可以看出:如果要在较长距离之内保持住偏振光面状态不变(即为尽量缩小 η 值),就必须加大 $\Delta\beta$ 。然而,理想构造的普通光导纤维 $\beta_x = \beta_y$ ($\Delta\beta = 0$),所以即使在极短的光导纤维内,力图保持住所传输光波的偏振光面也是极端困难的。就是说,普通光导纤维保持偏振光面的特性极端不易。

理论计算与实际应用表明:只有 $\Delta\beta$ 在 3000rad/m 以上才能防止两种模间的能量交换,进而保持住偏振光面固定不变。

为了加大 $\Delta\beta$,如图 1-6 所示,目前大体采用两种方法:一是把芯子作成椭圆形,这实际上是把长轴和短轴方向上的距离加以改变的“椭圆芯子法”;二是把包层作成椭圆形的“椭圆包层法”。“椭圆包层法”是借助圆形保护层与椭圆包层间因热胀相异引起的应力作用于芯子,从而改变芯子长短轴方向上的折射率。从原理上看,用椭圆包层法制造的光导纤维损失要小一些。

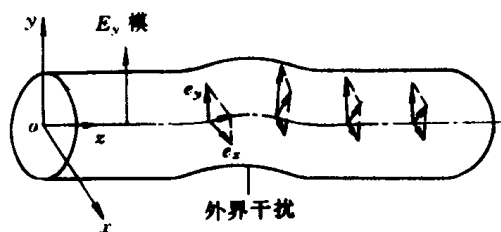


图 1-5 光导纤维在外界干扰作用下偏振光面的偏转

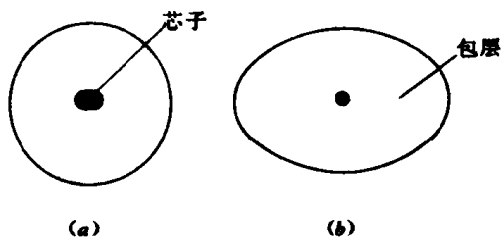


图 1-6 保持偏振光面光导纤维截面
(a) 椭圆芯子形; (b) 椭圆包层形。

1.3 光纤传感器的光源

光源是光纤传感器中的重要部件,它的性能直接影响光纤传感器的质量。

1.3.1 光纤传感器对光源的要求

由于光纤传感器中,光纤细而长,若使光波能在其中正常传输,并满足测量要求,则对光源的结构与性能有一定要求:

- (1) 由于光纤传感器结构所限,要求光源的体积小,便于与光纤耦合;
- (2) 光源要有足够的亮度,以提高传感器输出的光功率;
- (3) 光源发出的光波长应适合,以减少光波在光纤中传输时的能量损耗;
- (4) 光源工作时稳定性好、噪声小,能在室温下连续长期工作;
- (5) 光源要便于维护,使用方便。

1.3.2 光源的种类

光纤传感器使用的光源种类很多,按照光的相干性可分为相干光源和非相干光源两大类。非相干光源包括白炽光源与发光二极管;相干光源包括各种激光器:半导体激光器、氦氖气体激光器、固体激光器等。在大多数光纤传感器中希望使用相干光源。因此,下面只简单介绍几种激光器。

一、半导体激光器

半导体激光器的发光是由能带之间的电子—空穴对复合而产生的。激励过程是使半导体中的载流子从平衡状态激发到非平衡状态的激发态。激励的方式很多,这里只讨论电注入式激励方式。

当pn结半导体上无电压时,其p区与n区的载流子在pn结附近相互交换之后,在pn结处形成一定高度的势垒,结果载流子达到平衡状态。但是,当在pn结两极加上一定正向电压时,就会削弱自建电场使pn结势垒下降,打破了原平衡状态。处于非平衡激发态的非平衡载流子回到较低的能量状态或基态而放出光子即发光,这个过程就是非平衡少数载流子复合产生自发辐射过程。实际上发光过程同时有光吸收存在,复合产生的光子又可能激发产生新的电子—空穴对,而光子本身又被吸收,这个过程称为共振吸收。因此,只有在自发复合辐射超过共振吸收时,才会发光。

注入式半导体激光器要产生激光,必须满足以下条件:

(1) 增益条件。即在一定条件下,要产生足够的粒子数反转。在半导体激光器中,粒子数反转是指载流子的反转分布,也就是在注入区内,简并化分布的导带电子和价带空穴处于相对反转分布状态。

(2) 要有谐振腔。能起到光反馈的作用,形成激光振荡,才能产生单色性、方向性和高亮度的激光。

(3) 阈值条件。产生激光还必须满足阈值条件,即增益要大于总的损耗,从而获得相干辐射。

一般半导体激光器的发光面积为 $5\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$,总功率达 10mW ,其亮度相当于 $10^8\text{W}/\text{sr} \cdot \text{cm}^2$ 。

二、氦氖激光器

He—Ne 激光器由激光管和激光电源组成。激光电源采用高压直流电源。激光管是由放电管、电极和光学谐振腔组成。

根据放电管和谐振腔的方式不同,可把 He—Ne 激光器分为内腔式、外腔式和半内腔式三种,其结构如图 1-7 所示。

内腔式 He—Ne 激光器是将谐振腔的两个反射镜直接固定在放电管的两端,使用方便。但由于放电管在放电时受热变形,会使谐振腔的两块反射镜偏离原来相互平行的位置,结果使激光出射功率下降;而且反射镜受污染或损坏后,也无法清洁或更换。

外腔式 He—Ne 激光器的谐振腔反射镜与放电管是分离的,两个反射镜放在放电管两端外微调支架上。其优点是放电对谐振腔影响小,反射镜更换方便;缺点是由于放电管与反射镜分离,相对位置易改变,需要经常调整。另外由于放电管两端加了窗片增加损耗,没有内腔式的功率大。