

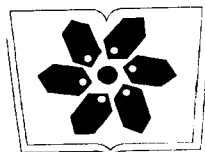
科学出版社

导波光学传感器：原理与技术

靳伟 廖延彪 张志鹏 等著



博士丛书 · 博士丛书 · 博士丛书 · 博士丛书



中国科学院科学出版基金资助出版

博士丛书

导波光学传感器:原理与技术

靳伟 廖廷彪 张志鹏等著

科学出版社

1998

内 容 简 介

导波光学传感是光波导理论、光电子技术相结合而形成的光电子学的一个新领域,近十几年这一领域得到了很大的发展。本书介绍的就是十余位专家近年来的研究成果及光纤传感领域的最新研究动态。本书共分十章:第一章介绍了光纤传感的基本原理及光纤传感器的基本构成和主要调制技术。第二章介绍了光波导器件的有限元分析方法。第三至第十章分别介绍了各种光纤传感器的基本原理、光学结构以及相关技术。各章内容由浅入深,既介绍了基本概念,又涉及了科研前沿及作者的研究成果。

本书可供从事光电测量、光纤技术、仪器仪表设计、智能材料研究等方面的科研人员和工程技术人员阅读,也可供高等院校相关专业的研究生、高年级学生参考。

图书在版编目(CIP)数据

导波光学传感器:原理与技术/靳伟等著. —北京:科学出版社,1998.5
(博士丛书/白春礼主编)

ISBN 7-03-006048-2

I. 导… II. 靳… III. 光波导-传感器 IV. TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 07184 号

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

北京科地亚印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1998 年 5 月第 一 版 开本:850×1168 1/32

1998 年 5 月第一次印刷 印张:11 1/2

印数:1--1 200 字数:294 000

定价:25.00 元

《博士丛书》编委会

名誉主编	卢嘉锡	钱伟长		
副主编	白春礼	刘增良		
常务编委	王晋军	尤政	邬伦	林鹏
	屠鹏飞			
编委	王世光	王晋军	王颀安	尤政
	冯恩波	冯守华	白春礼	白硕
	刘增良	安超	乔利杰	邬伦
	许文	宋岩	张新生	汪屹华
	杨国平	林鹏	周文俊	屠鹏飞
	熊夏辛			

《博士丛书》专家委员会

王 元	王 仁	母国光	庄逢甘
庄 毅	刘西拉	沈克琦	汪培庄
李 未	肖纪美	谷超豪	张存浩
陈述彭	张光斗	郝柏林	赵忠贤
唐敖庆	郭慕孙	谈德颜	阎隆飞
谢希德	路甬祥		

序

环顾当今世界,国家的发达,民族的振兴,无一例外地离不开科学技术的推动作用。年轻博士们历来是科技队伍中最活跃、最富创造性的生力军。他们的科研成果是学科发展强有力的推动力量,是体现一个国家高层次教育水平和科研水平的窗口。为了系统地反映年轻博士们的科研成果,促使他们的快速成长,加强国际国内的学术交流,在老一辈科学家的热心支持下,科学出版社决定出版一套《博士丛书》。

我们指导思想是突出本丛书的学术性、创造性、新颖性、先进性和代表性,使之成为所有青年博士平等竞争的学术舞台和优秀科研成果的缩影。

这套丛书以专著为主,并适时组织编写介绍学科最新进展的综述性著作。它将覆盖自然科学各个领域,是一套充分体现我国青年学者科研成果和特色的丛书。

丛书编委会将在由著名科学家组成的专家委员会指导下开展编辑工作。本丛书得到了国家自然科学基金委员会和全国博士后管理协调委员会的特别资助。在此我们深表谢意。

《博士丛书》编委会

一九九三年十月

序 言

从低损光纤问世以来,光纤通信技术发展迅速,并已投入实用。与此同时,光纤传感技术也在迅速发展。光纤传感由于具有本质安全,电绝缘性好、便于连网等一系列优点,因而受到国内外专家学者的广泛重视。我国从 80 年代初也已开展对它的研究,至今已有近 20 年的历史。一方面,大家看到了这一技术所具有诸多优越性和先进性;另一方面,通过多年的实践,也认识到光纤传感由于其本身所固有的一些特点要达到实际使用的要求,还需创造性地解决许多新的实际问题。

为了促进我国光纤传感的研究工作,以靳伟为首的几个学者组织了一批在海外从事光纤传感研究的年轻学者,把他们在国外所积累的一些宝贵的经验,在本书中介绍给国内同行。参加写作的作者都是相应领域的专家,有多年在国外的研究经验。其内容大多是国外正在进行或刚刚完成的科研项目,因此,本书既是各作者的经验总结,又反映了相应领域的最新成果。我高兴地推荐这本专著,因为它是这一新领域科学技术的最新总结。它的出版,必将促进我国在光纤传感领域的研究和开发工作,并可加强国内外学者之间的进一步交流。

金国藩

1997. 7. 30

前 言

本书以多作者形式,将海外学者在光纤传感领域的一些研究经验和成果介绍给国内同行,希望对国内光纤传感器方面的研究有所促进。

本书共分十章,第一章简要介绍光纤传感器基本原理,作为理解后续各章的基础。第二章介绍一种较常用的光波导器件分析方法——有限元方法,并讨论其在光纤器件设计、优化等方面的应用。第三章以强度调制传感器为题,介绍各类强度调制型传感器的机理及相关技术。第四章介绍白光干涉仪在绝对光程测量中的应用。第五章介绍光纤传感器中最典型的一个例子,光纤陀螺,从基本原理,噪声消除方法到系统结构、关键技术,并着重讨论近几年的一些新进展,如光纤光源的应用和多维光纤陀螺的实现等。第六章报道几种光纤测温技术,着重介绍作者几年来的研究成果——光纤荧光测温技术,并对稀土掺杂光纤用于温度测量的前景进行展望。第七章介绍基于法拉第效应的光学电流测量技术,作者根据自己在电流测量方面的研究经验,对光纤电流传感器,光学玻璃探头电流传感器,光-电混合式电流传感器等进行评述,对其中的一些关键技术问题,提出见解。第八、第九章介绍光纤传感器的两个新应用领域,即光纤用于环境监测和光纤智能结构技术。第八章是光纤用于易燃、易爆或有毒气体的测量。首先介绍气体测量的一些基本原理,然后集中以甲烷气体的测量为例,讨论光源的选择、调制,传感器优化及光电信号处理等技术问题。第九章介绍智能结构基本概念,讨论光纤传感器在智能结构中的应用及关键技术问题,并探讨未来的发展趋势,第十章针对光纤光栅这一新型光纤器件的制造、性能及其在传感领域的应用进行了介绍。本书的每一章都是相应领域的专家所写,内容大多是国外正在进行或刚刚

完成的科研项目。本书还附有各作者的简历及联系地址,以便同行相互联系、交流。

本书是中科院科学出版基金资助出版的,在书的编写过程中还得到金国藩院士、杨淑子院士、黄德修教授等的支持和鼓励,我们在此表示感谢。编者感谢各章作者在百忙中抽出时间,为本书撰稿,感谢中国留英学者光电协会,宁雅农,梁佳忻、毛志强等博士对本书写作的支持。最后,感谢科学出版社林鹏等编辑对出版事宜的具体指导!

靳 伟 (香港理工大学)

廖廷彪 (清华大学)

张志鹏 (华中理工大学)

作者简介

靳伟,1964年生。分别于1984、1987年在北京航空航天大学获工学学士和工学硕士学位。1991年在Strathclyde大学获光电子学博士学位。1991~1995年期间,曾任Strathclyde大学研究员(Research Fellow),从事光纤传感器方面的研究。现为香港理工大学电机工程系助理教授。他在光纤传感领域发表文章70余篇。他目前的研究兴趣包括光纤传感与智能结构、光纤气体测量、光纤光栅及其应用、分布式光纤传感器,光纤陀螺、导波光学系统分析等。他是IEEE,LEOS会员。

廖延彪,毕业于武汉大学物理系。1956年至今一直在清华大学从事光学教学和科研工作,现为清华大学电子工程系教授,博士生导师。从80年代初开始从事光纤特征参量测量方法研究和光纤传感的理论和实验研究,参与并负责我国“七五”,“八五”国家重点攻关项目中“光纤传感”规划的制定和执行;承担过测量大电流、高电压、温度、光纤传感网等国家重点攻关任务及多项国家自然科学基金任务,获国家发明三等奖一项,国家科技进步二等奖一项,部级科技奖四项。现任仪表元器件学会光纤传感专业委员会主任,敏感元件学会光纤传感专业分会副主任。他是在国内已召开的三次国际光纤传感学术会的中方主席,在国内外已发表论文150余篇。

张志鹏,1961年毕业于华中工学院(现华中理工大学),留校任教。现为华中理工大学电力系教授。1982年至1984年作为访问学者赴英国南安普敦大学进修。多年来致力于测量技术与光纤传感技术的交叉研究,先后主持了国家自然科学基金资助和国际合作等研究课题,已取得多项研究成果。出版著(译)作5部,发表论文90多篇。

宁雅农,1982年毕业于西安交通大学物理系,获物理学学

士学位。1984~1985年在重庆大学光电精密仪器系攻读硕士学位。1987~1991年在英国伦敦城市大学电子、电气及信息工程系从事低相干光纤干涉仪理论及应用的研究,并于1992年获测量与仪器博士学位。1991~1993年以研究员的身份在英国肯特大学物理系主持“微型光学电流和电压传感器”的研究课题,并获一项英国专利。1993年3月至今,以研究员的身份在城市大学主持“白光干涉仪系统的理论与技术”,以及“光学电流传感器的研究”等项课题。1992年任旅英光电子协会理事,1993年为副理事长。同年9月代表光电子协会理事与华中理工大学筹建了“智能结构研究所”并被聘任为副所长以及华中理工大学顾问教授。他先后在英、美、德、日、法、澳大利亚及中国等国家的国际会议中宣读论文,并在美国IEEE、应用光学、光学快报等一流国际期刊中发表研究成果。从1987年至今他已在各种国际会议和期刊中发表近70篇论文。宁雅农博士为IEEE会员。

刘月爱,1959年10月生。山西省临猗县人。1982年2月毕业于长春光学精密机械学院光学精密机械系。毕业后直接就读于中国科学院光电技术研究所,师从于光学干涉检验专家宋从武研究员,攻读硕士学位。1984年底获硕士学位后留所工作,在自适应光学专家姜文汉研究员的指导下从事自适应光学波前技术的研究。1988年获王宽城奖学金到伦敦大学英皇学院攻读博士学位。1991年获博士学位后被伦敦城市大学聘为研究员,用有限元法进行光学纤维,光波导器件,及半导体激光器的计算机模拟工作。到目前为止,已有20多篇论文在国内外重要刊物上发表及在大型国际学术会议上宣读。

张志毅,1958年生。1982年初于湖南大学电机系获工学学士学位。1985年于上海工业大学电机系获硕士学位。1985年5月至1989年期间,在长沙工学院精密机械与仪器系,担任自动测量系统方面的教学和研究工作。1989年底在中国教委奖学金资助下,赴英国伦敦城市大学检测仪器与测量中心,作为期一年的进修访问,研究与开发光纤温度传感器。1991年初获该校奖学金资助,开

始博士学位的研究工作,专题研究利用荧光现象的光纤温度传感器。1994年1月,以题为“光纤荧光测温学”的论文通过答辩,取得博士学位。在该学位论文的基础上,与导师 K. T. V. Grattan 教授合作撰写的同名专著,由 Chapman & Hall 出版公司于同年年底出版发行。另外,作为第一作者,先后有 15 篇有关光纤温度传感器的学术论文在国际著名杂志和国际会议上发表。其中,有 3 篇探讨掺铈晶体荧光衰落的温度特性的学术论文,发表在由美国物理学会出版的、国际物理学界的一流权威杂志《应用物理》和《物理述评》(Physical Review)上。现任英国伦敦城市大学检测仪器与测量中心博士后研究员,致力光纤温度传感器在航空发动机的测试领域的应用开发研究。

杨利群,1959年11月生,分别于1982年、1985年毕业于哈尔滨工业大学精密仪器系,分获工学学士、工学硕士学位。1985年后,留校任教,并于1986年晋升为讲师。自1985~1989年在校期间,他先后参加并完成了多项科研项目,其中五项先后荣获航天部科学进步奖。1989年底由教委选派前往英国伦敦,进英皇学院攻读博士学位(电气、电子工程系),并于1993年完成学业荣获哲学博士称号。1993年初受英国罗勃特-高顿大学邀请,前往该校应用科学系从事博士后助理研究员的工作。在英期间,其主要研究方向为:光学生物传感与分析技术;光谱学生物传感技术;新型非线性光学生物传感技术及光电测试技术等,并先后发表了30余篇科技论文于主要相关国际期刊、专集书籍、国际会议、以及其它专业科技会议。

李天初,1945年11月生。1970年毕业于清华大学。1981年在中国科技大学研究生院获硕士。1990年在清华大学获博士学位。1984年起,在中国计量科学研究院从事激光、干涉仪和光纤计量的研究。其间于1984~1986年在英国 National Physical Laboratory,1993~1994年在美国 Virginia Polytechnic Institute and State University 从事访问研究工作。曾发表论文30余篇。目前的研究集中在干涉仪、光纤 OTDR 标准和光纤传感。

王政平,1949年生于黑龙江省哈尔滨市,1982年毕业于哈尔滨船舶工程学院物理系,获物理学学士学位,1989年毕业于哈尔滨船舶工程学院电子工程系,获信息与电子系统专业工程硕士学位,现为哈尔滨船舶工程大学(原名哈尔滨船舶工程学院)副教授。自1989年起致力于光纤传感器领域研究工作。1993年起在英国城市大学作访问研究员,从事电流的光纤测量技术及光学电流传感器的研究。

杨清平,1964年生于四川简阳。1983年毕业于成都航空工业学校仪器和测量专业,之后在航空工业部第629所(现属623研究所)从事传感器、测试工作。1988年以优异成绩被西北工业大学录取为硕士研究生。同年作为访问学者赴英国布鲁奈尔(Brunel)大学学习,于1992年获得博士学位。现继续在布鲁奈尔大学做博士后研究和讲学工作。曾在有关专业文献,国际会议上发表过9篇论文,获得一项专利。研究领域包括光学传感,自动检测,设备和过程检测及神经网络。

曹伟,1986年毕业于华中理工大学,获硕士学位,留校任教。1995年于该校机械学院获博士学位,并进入该校电力系博士后站。主要从事光纤传感、测量、纳米技术及计算机应用等方面的研究。作为主要研究者完成了多项国家、自然科学基金等研究课题,其中两项获国家教委科技进步二等奖。在国内外发表学术论文30余篇。

目 录

第一章 光波导传感器的基本概念	张志鹏 曹 伟(1)
1.1 导波光学的基本概念	(2)
1.2 光波导及波导器件	(18)
1.3 光波导传感器的基本构成及分类	(31)
1.4 功能型光纤传感器	(35)
1.5 小结	(43)
参考文献	(43)
第二章 光波导器件的有限元分析	刘月爱(45)
2.1 引言	(45)
2.2 矢量波动方程的有限元求解	(46)
2.3 光波导器件的有限元分析实例	(79)
2.4 小结	(88)
参考文献	(89)
第三章 强度调制光纤传感器	杨清平(90)
3.1 概述	(90)
3.2 强度调制方法	(98)
3.3 混合型光纤传感器	(114)
3.4 小结	(117)
参考文献	(117)
第四章 白光干涉光纤传感检测技术	宁雅农 蒋向前(120)
4.1 引言	(120)
4.2 白光干涉仪的基本原理	(121)

4.3	低相干光源的光学特征	(122)
4.4	白光干涉测量系统的基本光学结构及相干理论...	(130)
4.5	白光干涉测量系统零级中心干涉条纹识别和光纤模式 噪声抑制技术	(134)
4.6	不同类型低相干光源白光干涉测量系统	(137)
4.7	小结	(144)
	参考文献.....	(144)

第五章 光纤陀螺

靳伟(148)

5.1	引言	(148)
5.2	光纤陀螺的基本原理	(148)
5.3	常用光纤陀螺互易结构	(153)
5.4	光纤陀螺误差源及其抑制方法	(157)
5.5	光纤环的绕制	(162)
5.6	闭环光纤陀螺	(164)
5.7	波长稳定性	(169)
5.8	其它光纤陀螺结构	(171)
5.9	光纤陀螺多路复用	(172)
5.10	小结.....	(175)
	参考文献.....	(176)

第六章 光学电流传感器.....

宁雅农 王政平(181)

6.1	引言	(181)
6.2	Faraday 效应及其基本探测技术	(183)
6.3	全光纤电流传感器的主要问题及部分解决方法...	(186)
6.4	用光学玻璃做探头的光学电流传感器	(194)
6.5	使用电光混合传感装置的光学电流传感器	(201)
6.6	用于测量电流的磁场传感器	(208)

6.7	小结	(211)
	参考文献	(213)
第七章	光纤温度传感技术	张志毅(217)
7.1	引言	(217)
7.2	各类光纤温度传感器	(218)
7.3	光纤荧光测温法	(224)
7.4	非接触式温度测量	(237)
7.5	分布式光纤温度传感器	(242)
	参考文献	(249)
第八章	光纤用于气体测量	靳伟(254)
8.1	引言	(254)
8.2	光纤气体测量基本形式	(255)
8.3	光纤气体传感器设计考虑及其应用	(265)
8.4	吸收型气体传感器两种信号处理方案	(273)
8.5	光纤气体传感器应用举例	(280)
8.6	小结	(282)
	参考文献	(283)
第九章	光纤传感用于智能材料和结构	廖延彪 李天初 靳伟 王安波(287)
	廖延彪 李天初 靳伟 王安波	(287)
9.1	引言	(287)
9.2	可用于智能结构的光纤传感器	(289)
9.3	光纤传感器的复用	(298)
9.4	同时检测温度和应变	(303)
9.5	其它研究课题	(307)
9.6	应用举例	(312)
9.7	小结	(316)
	参考文献	(318)

第十章 光纤光栅传感技术	廖延彪 王向阳	(320)
10.1 引言.....		(320)
10.2 光纤光栅传感原理.....		(321)
10.3 光纤光栅的制作.....		(324)
10.4 光纤光栅在传感中的应用.....		(330)
10.5 小结.....		(347)
参考文献.....		(348)