



教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材
高等学校电子信息类专业系列教材

本书第1版荣获第四届兵工高校优秀教材一等奖

光学工程

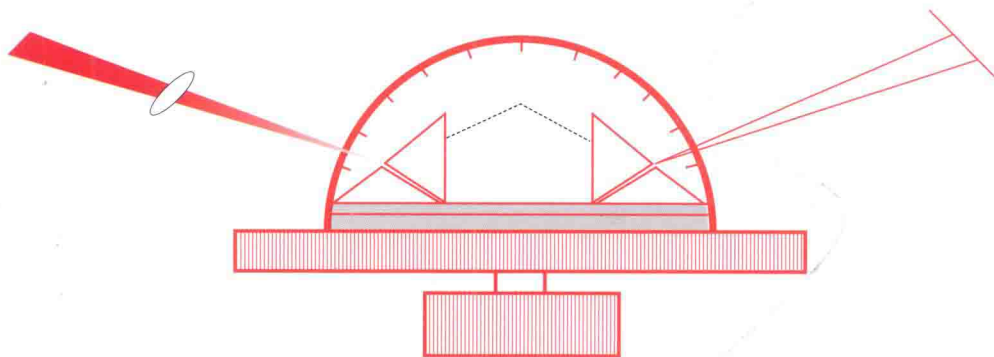
P rinciples and Devices of Optical Waveguide

光波导 原理与器件

第2版

宋贵才 全薇 编著

Song Guicai Quan Wei



清华大学出版社



TN252



教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材
高等学校电子信息类专业系列教材

Principles and Devices of Optical Waveguide

光波导原理与器件

第2版

宋贵才 全薇 编著

Song Guicai Quan Wei

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书在介绍导波光学产生和发展概况之后,从光的电磁理论出发,系统、深入地阐述光在光波导中传播时发生的基本现象和遵循的基本规律,在此基础上,讲述光波导器件的原理、结构、制作技术和工艺流程。同时,也讲述了光波导器件的相关应用。全书内容共分7章,包括光导原理及器件概论、光波导的理论基础、光波导元器件和光波导传感器、光波导的制备技术、光波导耦合理论与耦合器、光调制和光波导调制器、光纤和光纤技术。

本书可作为光电信息科学与工程、应用物理学、电子科学与技术以及光学工程专业本科生的专业基础教材,也可供从事光学及相关领域学习和研究的师生和科技人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

光波导原理与器件/宋贵才,全薇编著.--2版.--北京:清华大学出版社,2016

高等学校电子信息类专业系列教材

ISBN 978-7-302-44719-1

I. ①光… II. ①宋… ②全… III. ①光波导—波导理论—高等学校—教材 ②光导器件—波导器件—高等学校—教材 IV. ①TN252

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 185424 号

责任编辑:盛东亮

封面设计:李召霞

责任校对:时翠兰

责任印制:宋 林

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京密云胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:15.25

字 数:367千字

版 次:2008年5月第1版

2016年11月第2版

印 次:2016年11月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:35.00元

产品编号:070700-01

高等学校电子信息类专业系列教材

一 顾问委员会

谈振辉	北京交通大学 (教指委高级顾问)	郁道银	天津大学 (教指委高级顾问)
廖延彪	清华大学 (特约高级顾问)	胡广书	清华大学 (特约高级顾问)
华成英	清华大学 (国家级教学名师)	于洪珍	中国矿业大学 (国家级教学名师)
彭启琮	电子科技大学 (国家级教学名师)	孙肖子	西安电子科技大学 (国家级教学名师)
邹逢兴	国防科学技术大学 (国家级教学名师)	严国萍	华中科技大学 (国家级教学名师)

一 编审委员会

主任	吕志伟	哈尔滨工业大学		
副主任	刘旭	浙江大学	王志军	北京大学
	隆克平	北京科技大学	葛宝臻	天津大学
	秦石乔	国防科学技术大学	何伟明	哈尔滨工业大学
	刘向东	浙江大学		
委员	王志华	清华大学	宋梅	北京邮电大学
	韩焱	中北大学	张雪英	太原理工大学
	殷福亮	大连理工大学	赵晓晖	吉林大学
	张朝柱	哈尔滨工程大学	刘兴钊	上海交通大学
	洪伟	东南大学	陈鹤鸣	南京邮电大学
	杨明武	合肥工业大学	袁东风	山东大学
	王忠勇	郑州大学	程文青	华中科技大学
	曾云	湖南大学	李思敏	桂林电子科技大学
	陈前斌	重庆邮电大学	张怀武	电子科技大学
	谢泉	贵州大学	卞树檀	第二炮兵工程大学
	吴瑛	解放军信息工程大学	刘纯亮	西安交通大学
	金伟其	北京理工大学	毕卫红	燕山大学
	胡秀珍	内蒙古工业大学	付跃刚	长春理工大学
	贾宏志	上海理工大学	顾济华	苏州大学
	李振华	南京理工大学	韩正甫	中国科学技术大学
	李晖	福建师范大学	何兴道	南昌航空大学
	何平安	武汉大学	张新亮	华中科技大学
	郭永彩	重庆大学	曹益平	四川大学
	刘缠牢	西安工业大学	李儒新	中科院上海光学精密机械研究所
	赵尚弘	空军工程大学	董友梅	京东方科技集团
	蒋晓瑜	装甲兵工程学院	蔡毅	中国兵器科学研究院
	仲顺安	北京理工大学	冯其波	北京交通大学
	黄翊东	清华大学	张有光	北京航空航天大学
	李勇朝	西安电子科技大学	江毅	北京理工大学
	章毓晋	清华大学	张伟刚	南开大学
	刘铁根	天津大学	宋峰	南开大学
王艳芬	中国矿业大学	靳伟	香港理工大学	
苑立波	哈尔滨工程大学			
丛书责任编辑	盛东亮	清华大学出版社		

序

FOREWORD

我国电子信息产业销售收入总规模在 2013 年已经突破 120 000 亿元,行业收入占工业总体比重已经超过 9%。电子信息产业在工业经济中的支撑作用凸显,更加促进了信息化和工业化的高层次深度融合。随着移动互联网、云计算、物联网、大数据和石墨烯等新兴产业的爆发式增长,电子信息产业的发展呈现了新的特点,电子信息产业的人才培养面临着新的挑战。

(1) 随着控制、通信、人机交互和网络互联等新兴电子信息技术不断发展,传统工业设备融合了大量最新的电子信息技术,它们一起构成了庞大而复杂的系统,派生出大量新兴的电子信息技术应用需求。这些“系统级”的应用需求,迫切要求具有系统级设计能力的电子信息技术人才。

(2) 电子信息系统设备的功能越来越复杂,系统的集成度越来越高。因此,要求未来的设计者应该具备扎实的理论基础知识和宽广的专业视野。未来电子信息系统的设计越来越要求软件和硬件的协同规划、协同设计和协同调试。

(3) 新兴电子信息技术的发展依赖于半导体产业的不断推动,半导体厂商为设计者提供了越来越丰富的生态资源,系统集成厂商的全方位配合又加速了这种生态资源的进一步完善。半导体厂商和系统集成厂商所建立的这种生态系统,为未来的设计者提供了更加便捷却又必须依赖的设计资源。

教育部 2012 年颁布了新版《高等学校本科专业目录》,将电子信息类专业进行了整合,指引各高校建立系统化的人才培养体系,培养具有扎实理论基础和宽广专业技能的、兼顾“基础”和“系统”的高层次电子信息人才。

传统的电子信息学科专业课程体系呈现“自底向上”的特点,这种课程体系偏重对底层元器件的分析与设计,较少涉及系统级的集成与设计。近年来,国内很多高校对电子信息类专业课程体系进行了大力度的改革,这些改革顺应时代潮流,从系统集成的角度,更加科学合理地构建了课程体系。

为了进一步提高普通高校电子信息类专业教育与教学质量,贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020 年)》和《教育部关于全面提高高等教育质量若干意见》(教高【2012】4 号)的精神,教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会开展了“高等学校电子信息类专业课程体系”的立项研究工作,并于 2014 年 5 月启动了《高等学校电子信息类专业系列教材》(教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材)的建设工作。其目的是为推进高等教育内涵式发展,提高教学水平,满足高等学校对电子信息类专业人才培养、教学改革与课程改革的需要。

本系列教材定位于高等学校电子信息类专业的专业课程,适用于电子信息类的电子信

息工程、电子科学与技术、通信工程、微电子科学与工程、光电信息科学与工程、信息工程及其相近专业。经过编审委员会与众多高校多次沟通,初步拟定分批次(2014—2017年)建设约100门课程教材。本系列教材将力求在保证基础的前提下,突出技术的先进性和科学的前沿性,体现创新教学和工程实践教学;重视系统集成思想在教学中的体现,鼓励推陈出新,采用“自顶向下”的方法编写教材;注重反映优秀的教学改革成果,推广优秀的教学经验与理念。

为了保证本系列教材的科学性、系统性及编写质量,本系列教材设立顾问委员会及编审委员会。顾问委员会由教指委高级顾问、特约高级顾问和国家级教学名师担任,编审委员会由教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会委员和一线教学名师组成。同时,清华大学出版社为本系列教材配置优秀的编辑团队,力求高水准出版。本系列教材的建设,不仅有众多高校教师参与,也有大量知名的电子信息类企业支持。在此,谨向参与本系列教材策划、组织、编写与出版的广大教师、企业代表及出版人员致以诚挚的感谢,并殷切希望本系列教材在我国高等学校电子信息类专业人才培养与课程体系建设中发挥切实的作用。

吕志伟 教授

第2版前言

PREFACE

本书是《光波导原理与器件》的第2版,原书于2012年1月出版,该书出版以来,深受广大读者的喜爱和好评。2013年,本书获得长春理工大学优秀教材一等奖,并获得第四届兵工高校优秀教材一等奖,2015年,本书入选“教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材”。

在本书使用过程中,作者不断对其进行修改和完善,在本书准备新版之际,作者参考专家及读者意见,全面审视了原版内容,对部分章节进行了完善。

本次修订改动较多的章节有:在第1章,“1.1 导波光学的发展”中补充了功能集成、数量集成、全光集成和混合光电集成的概念和有关实例。在第6章,对“6.3 电光调制技术”和“6.4 声光调制技术”进行了归纳总结,增补了表6-5电光调制技术和表6-7声光调制技术。新增加了“6.5 磁光调制技术”,原“6.5 光波导调制器”改为“6.6 光波导调制器”,并增加了“6.6.4 磁光波导调制器”。在第7章,增加了“7.10 光纤激光器”。另外,完善了配套的教学课件。

修订版的第1~3章由宋贵才编写,第4~7章由全薇编写。

本着厚基础,重应用,使读者学以致用理念,本书在重点讲述基本原理、基本概念和基本知识的基础上,全面、系统地讲述了光波导原理以及光波导器件的结构、功能、制作方法和相关应用。

感谢一些读者告知书中易使人产生误解的阐述和讲解不当之处。

因水平所限,本次修订工作难免会有不足之处,恳请读者包涵,并能一如既往地提出宝贵意见,使本书通过不断打磨,臻于完善。

作者

2016年

第1版前言

PREFACE

本书重点讲解光波导的原理、光波导器件的结构和功能、光波导制备工艺和技术、光波导耦合器、光波导调制器及应用。

本书的教学时数为48学时。全书共分7章:第1章,全面介绍导波光学的产生和发展过程,导波光学系统构成以及导波光学所带动的相关技术的发展。第2章,从光的电磁理论出发,着重讨论光在光波导中的传输规律,以及光在突变光波导、渐变光波导、圆柱形光波导、条形光波导中传播时的基本解。第3章,重点讲述光路变换器、功率分配器、偏振器、波长分波器以及透镜等光波导型元器件的结构和工作原理。第4章,在介绍光波导材料和衬底材料的基础上,重点讲述有源材料和无源材料光波导的制作技术;光路几何图形的微细加工技术和光波导电极的制作方法。第5章,在讲述光波导耦合基本理论的基础上,重点讲述棱镜耦合器、光栅耦合器和楔形耦合器。第6章,在讲述光调制的理论基础之后,重点讲述光波导电光调制器和光波导声光调制器。第7章,在简述光纤的种类和结构之后,重点讲述光纤的制作技术,光纤的光线理论分析,光纤的损耗、色散,以及光纤通信技术和光纤传感器技术。

本书前后连贯,逻辑性强,便于学习和记忆。书中图表丰富,推演过程详细,便于理解和掌握。书中各节都有要点总结,便于对重点知识的把握。书中各章后面都有小结,附有与讲述内容联系紧密并且实用性强的习题,便于学以致用。

本书可作为高等院校光电信息科学与工程专业、应用物理学专业、电子科学与技术专业、以及光学工程专业本科生的专业基础教材,也可供从事光学及相关领域学习和研究的师生和科技人员参考。

本书由宋贵才、全薇共同编写第1~4章,蔡红星、雷建国、朱万彬共同编写第5~7章。宋贵才统编全稿,研究生贾昧超、李国伟、杨飞宇、曹世豪、张琦、倪维元和史文宗对本书的习题进行了编写和解答。高飞老师对本书进行了排版、编辑和校对。

本书由孔梅教授审阅,并提出了中肯的意见和建议,使本书结构更加合理,内容更加丰富,在此对孔梅教授表示衷心的感谢。

本书在编写过程中得到了张先徽和王雪萍老师的热情帮助,同时也得到了金光勇和马文联两位院长的大力支持。本书的写作参阅了一些编著者的著作,在此一并谨向他们表示诚挚的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在一些缺点和错误,殷切期望广大读者批评指正。

作者
2012年

教学资源支持

敬爱的教师：

感谢您一直以来对清华版计算机教材的支持和爱护。为了配合本课程的教学需要,本教材配有配套的电子教案(素材),有需求的教师请到清华大学出版社主页(<http://www.tup.com.cn>)上查询和下载,也可以拨打电话或发送电子邮件咨询。

如果您在使用本教材的过程中遇到了什么问题,或者有相关教材出版计划,也请您发邮件告诉我们,以便我们更好地为您服务。

我们的联系方式：

地 址：北京海淀区双清路学研大厦 A 座 707

邮 编：100084

电 话：010-62770175-4604

课件下载：<http://www.tup.com.cn>

电子邮件：weijj@tup.tsinghua.edu.cn

教师交流 QQ 群：136490705

教师服务微信：itbook8

教师服务 QQ：883604

(申请加入时,请写明您的学校名称和姓名)

用微信扫一扫右边的二维码,即可关注计算机教材公众号。



扫一扫

课件下载、样书申请
教材推荐、技术交流

目录

CONTENTS

第 0 章 绪论	1
第 1 章 光波导原理与器件概述	3
1.1 导波光学的发展	4
1.1.1 导波光学的基本概念	4
1.1.2 导波光学的产生及发展过程	6
1.2 导波光学系统构成及优点	9
1.2.1 导波光学系统构成	10
1.2.2 导波光学系统优点	10
1.3 光波导器件的进展	11
1.3.1 光波导宽带光调制器	11
1.3.2 光波导开关	11
1.3.3 光波导频谱分析器	13
1.3.4 高密度信息读取器	14
1.4 光波导技术研究热点和发展趋势	15
1.4.1 光波导技术的研究热点	16
1.4.2 光波导技术的发展趋势	16
小结	17
习题	17
第 2 章 光波导的理论基础	19
2.1 光波导种类	19
2.1.1 按形状分类	20
2.1.2 按折射率分布分类	20
2.2 光波导的射线光学理论	21
2.2.1 平面(板)光波导简介	21
2.2.2 射线光学模型	21
2.2.3 光入射到介质界面处的基本定律	21
2.2.4 全反射时的相移	23

2.2.5	平面光波导的导模	24
2.2.6	模式本征方程的图解	26
2.2.7	应用实例	27
2.3	古斯-汉欣线移和有效厚度原理	29
2.3.1	古斯-汉欣线移	29
2.3.2	有效厚度	30
2.4	光波导的电磁理论	31
2.4.1	电磁过程的基本方程	31
2.4.2	平面光波导中的亥姆霍兹方程	33
2.5	折射率突变光波导的基本解	38
2.5.1	TE 导模的场分布	38
2.5.2	模式本征方程	39
2.6	折射率渐变光波导的基本解	40
2.6.1	平方律折射率分布	40
2.6.2	指数律折射率分布	41
2.7	条形介质光波导的基本解	43
2.7.1	马卡提里近似	43
2.7.2	$E_{m,n}^x$ 模式分析	44
2.7.3	$E_{m,n}^y$ 模式分析	47
2.7.4	有效折射律法	48
2.8	圆柱形介质光波导的基本解	50
2.8.1	光纤导模的基本解	51
2.8.2	导引模的截止条件	52
小结	53
习题	53
第 3 章	光波导元器件和传感器	56
3.1	光路变换器	56
3.1.1	光波导棱镜	57
3.1.2	端面反射镜	57
3.1.3	弯曲光波导	57
3.2	功率分配器	59
3.2.1	单模光波导型功率分配器	59
3.2.2	多模光波导型功率分配器	62
3.3	光波导偏振器	63
3.3.1	金属覆层	63
3.3.2	各向异性晶体	63
3.4	模分割器和模变换器	65
3.4.1	方向耦合器型模分割器	65

3.4.2	三层结构分支光波导	65
3.4.3	Y形分支光波导模分割器	66
3.4.4	模变换器	67
3.5	光波导型透镜	67
3.5.1	模折射率透镜	67
3.5.2	短程透镜	68
3.5.3	费涅耳透镜	70
3.5.4	微透镜阵列	71
3.6	光波导传感器	72
3.6.1	光波导温度传感器	72
3.6.2	光波导压力传感器	73
3.6.3	光波导微位移传感器	74
3.6.4	光波导振动传感器	74
	小结	75
	习题	75
第4章	光波导的制备技术	76
4.1	光波导制作概述	76
4.1.1	光波导衬底材料	76
4.1.2	光波导制作难点	77
4.1.3	材料与制作技术	77
4.1.4	光波导的结构、制作方法和特性	78
4.2	光波导衬底材料及加工	79
4.2.1	光波导衬底材料	79
4.2.2	衬底材料的加工	81
4.3	无源材料光波导的制备技术	82
4.3.1	淀积技术	82
4.3.2	置换技术	85
4.4	有源材料光波导制备技术	87
4.4.1	外延生长技术	87
4.4.2	减少载流子浓度技术	90
4.5	光路几何图形的加工工艺	93
4.5.1	集成光路设计和加工工艺	93
4.5.2	光路几何图形设计和加工工艺	93
4.6	光刻技术	94
4.6.1	光致抗蚀剂	94
4.6.2	涂布抗蚀剂	95
4.6.3	曝光方式	95
4.6.4	显影和坚膜	95

4.6.5	脱膜和腐蚀	96
4.7	电子束扫描曝光法	97
4.7.1	电子束致抗蚀剂	97
4.7.2	电子束扫描曝光系统构成和特点	97
4.8	光波导加工技术	98
4.8.1	脱膜法	98
4.8.2	腐蚀法	99
4.9	条形光波导的制作方法	103
4.9.1	条形光波导的结构及制作方法	103
4.9.2	埋入型条形光波导的制作工艺流程	103
4.9.3	脊型条形光波导的制作工艺流程	104
4.9.4	加载型条形光波导的制作工艺流程	105
4.10	条形玻璃光波导的制作	106
4.10.1	埋入型条形玻璃光波导	106
4.10.2	脊型玻璃光波导	108
4.10.3	加载型玻璃光波导	108
4.11	条形 LiNbO_3 光波导的制作	110
4.11.1	Ti 扩散 LiNbO_3 光波导	110
4.11.2	质子交换 LiNbO_3 光波导	111
4.11.3	LiNbO_3 光波导电极的制作	112
小结	114
习题	115
第 5 章	光波导耦合理论与耦合器	116
5.1	光波导耦合的基本理论	116
5.1.1	模式耦合方程	117
5.1.2	光波导耦合的微扰理论	117
5.2	导模与辐射模的耦合	123
5.2.1	导模与辐射模耦合分析	123
5.2.2	输出耦合	124
5.2.3	输入耦合	124
5.3	棱镜耦合器	125
5.3.1	棱镜耦合器的工作原理	125
5.3.2	棱镜耦合实验	127
5.4	光栅耦合器	129
5.4.1	光栅耦合器的工作原理	129
5.4.2	光栅耦合形成导波的条件	131
5.4.3	光栅的制作方法	133
5.5	楔形光波导耦合器	136

5.5.1	楔形光波导耦合器的工作原理	136
5.5.2	楔形耦合模型	137
5.6	光波导耦合的其他方法	138
5.6.1	直接聚焦耦合	138
5.6.2	直接对接耦合	138
	小结	139
	习题	140
第6章	光调制和光波导调制器	141
6.1	光波导调制技术概述	141
6.1.1	几个基本概念	141
6.1.2	光调制的评价指标	142
6.2	调制光的光谱分析	143
6.2.1	调幅光频信号频谱	144
6.2.2	频率调制的频谱	144
6.2.3	相位调制的频谱	146
6.2.4	强度调制的频谱	146
6.2.5	脉冲调制的频谱	147
6.3	电光调制技术	148
6.3.1	几个基本概念	149
6.3.2	线性电光效应	149
6.3.3	电光相位调制	152
6.3.4	电光强度调制	153
6.3.5	电光高频调制	154
6.3.6	行波电光调制	155
6.3.7	电光偏转	156
6.4	声光调制技术	159
6.4.1	几个基本概念	159
6.4.2	拉曼-奈斯衍射	160
6.4.3	布拉格衍射	161
6.4.4	声光调制器	164
6.4.5	声光偏转	164
6.5	磁光调制技术	166
6.5.1	磁光效应	166
6.5.2	磁光体调制器	168
6.6	光波导调制器	169
6.6.1	基本机理	169
6.6.2	电光波导调制器	170
6.6.3	声光波导调制器	172

6.6.4 磁光波导调制器·····	175
小结·····	176
习题·····	176
第7章 光纤和光纤技术 ·····	178
7.1 光纤产生及应用·····	178
7.1.1 光纤初始阶段·····	179
7.1.2 光纤实用阶段·····	179
7.2 光纤的种类和结构·····	180
7.2.1 光纤的种类·····	180
7.2.2 光纤的结构·····	182
7.3 光纤的制作技术·····	182
7.3.1 光纤材料·····	182
7.3.2 光纤预制棒制备·····	183
7.3.3 光纤拉丝·····	185
7.3.4 光纤涂覆·····	189
7.4 折射率突变光纤的光线理论分析·····	191
7.4.1 光纤中的光线·····	192
7.4.2 光纤的数值孔径·····	192
7.4.3 子午光线的时延差·····	194
7.5 折射率渐变光纤的光线理论分析·····	194
7.5.1 平方律光纤(自聚焦光纤)·····	195
7.5.2 光线在光纤中的传播轨迹·····	195
7.6 光纤的损耗·····	197
7.6.1 吸收损耗·····	197
7.6.2 散射损耗·····	198
7.7 光纤的色散·····	199
7.7.1 光纤色散的种类·····	199
7.7.2 光波导色散·····	200
7.7.3 多模色散·····	201
7.7.4 材料色散·····	201
7.8 光纤传感技术·····	202
7.8.1 光纤传感器的基本原理·····	202
7.8.2 光纤传感器的优点·····	203
7.8.3 光纤传感器的类型·····	203
7.9 光纤通信技术·····	204
7.9.1 光纤通信技术的基本原理·····	204
7.9.2 光纤通信的特点·····	205
7.10 光纤激光器·····	207

7.10.1 光纤激光器的工作原理·····	207
7.10.2 光纤激光器的特点·····	209
7.10.3 典型光纤激光器·····	211
小结·····	213
习题·····	213
附录 A 常用术语 ·····	215
附录 B 习题参考答案 ·····	223
参考文献 ·····	225

光波导是将光波限制在特定介质中进行传输的导光通道。说到光波导就不得不提到导波光学,通常人们把纤维光学和集成光学统称为导波光学。导波光学以光的电磁理论为基础,研究光波在光波导中的传播、耦合、散射和衍射等效应。目前,导波光学已成为各种光波导器件设计和制作的理论基础。

导波光学研究的重点是光波导传光理论;光波导电光、声光、磁光等调制技术;光波导器件原理与制作技术和光波导的应用技术等。

导波光学是 1969 年美国贝尔实验室的 Miller 博士提出集成光学的概念后发展起来的。1972 年,Somekh 和 Yariv 提出在同一个衬底上同时制作光波导器件和电子器件的构想。从那时起,研究人员开始利用各种材料和制备方法制作光波导器件。其中,最主要的光波导器件就是微型的光源器件和低损耗的传光器件。

在微型的光源器件方面。1962 年,第一个半导体同质结激光二极管问世,尽管其效率较低,阈值电流较大,不能在室温下连续工作,却带来了光源小型化的希望和曙光。1963 年,人们对三层结构的双异质结构半导体激光二极管进行了深入的理论和试验研究。1967 年,外延生长技术的出现,使半导体激光器制作工艺更加成熟和完善。1970 年研制成功能在室温下连续工作的激光二极管。此后,分布反馈式和分布布拉格反射器式激光器、量子阱和应变量子阱激光器、垂直腔面发射激光器、半导体激光器阵列等半导体激光器、半导体光放大器等导波光学所需微型光源不断涌现,为光波导技术长远的发展奠定了基础。

在低损耗的传光器件方面。1970 年,美国康宁玻璃公司的三名科研人员马瑞尔、卡普隆、凯克成功地制成了世界上第一根低损耗的石英光纤,其传输损耗只有 20dB/km,1974 年美国贝尔研究所发明了低损耗光纤制作法——汽相沉积法(CVD),使光纤损耗降低到 1dB/km。1990 年,传输损耗降低到 0.14dB/km,已经接近石英光纤的理论衰减极限值(0.1dB/km)。目前光纤的传输损耗已经降低到 0.1dB/km 以下。

相对于微电子学,光波导器件尺寸较大和集成度不高是限制光波导技术发展的一个重要问题。近年来,光子晶体、微腔激光器、纳米量子线导光等新材料、新技术的出现,为实现小尺寸和高集成度提供了技术和工艺基础,使得光波导技术进入了高速发展的新阶段。

光子晶体的理论研究始于 20 世纪 80 年代末期。1987 年 Yablonovitch 和 John 提出了光子晶体的概念,1989 年, Yablonovitch 和 Gmitter 首次在试验上证实三维光子能带结构的存在。迄今为止,已有多种基于光子晶体的全新光子学器件被相继提出,包括无阈值的激光器,无损耗的反射镜和弯曲光路,高品质因子的光学微腔,低驱动能量的非线性开关和放