



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

光学信息技术原理及应用

(第2版)

陈家璧 苏显渝 主编
朱伟利 孙雨南 陶世荃 吴建宏 编



高等教育出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

光学信息技术原理及应用

(第2版)

陈家璧 苏显渝 主编
朱伟利 孙雨南 陶世荃 吴建宏 编



高等教育出版社

内容简介

本书(第2版)是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。本书第1版是教育部“高等教育面向21世纪教学内容和课程体系改革计划”的研究成果,是面向21世纪课程教材。本书是上海理工大学、四川大学、中央民族大学、北京理工大学、北京工业大学、苏州大学、南开大学等校教授依据多年的教学和科研经验,并参考国内、外优秀教材编写而成。

本书分为两部分。前五章介绍光学信息技术的基本理论,包括二维线性系统理论、光的标量衍射理论、光学系统频谱分析、部分相干理论和光全息术。后七章介绍它的主要实际应用,有光学信息存储、光学信息处理、图像的全息显示、光学三维传感、全息散斑干涉计量和在光通信中的应用。本书的特点一是用线性系统的傅里叶方法分析光学问题,把光学看做信息科学技术的一个重要组成部分进行研究;二是密切联系实际,讨论了光学信息技术的各种已经实现和正在发展的应用;三是配有许多独具匠心的习题及附有大量发表在国内外科技刊物及学术会议的有关文献,可以引导读者自学,启发读者思维,培养学生的创新能力。

本书可以作为高等学校“光信息科学与技术”及其他有关光学和光学工程专业的专业课教材,也可以供社会读者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

光学信息技术原理及应用/陈家璧,苏显渝主编. —2
版. —北京:高等教育出版社,2009.11
ISBN 978-7-04-028056-2

I.光… II.①陈…②苏… III.信息光学-高等学校-
教材 IV.O438

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第160405号

策划编辑 杜 炜 责任编辑 王莉莉 封面设计 李卫青 责任绘图 尹 莉
版式设计 余 杨 责任校对 王 雨 责任印制 毛斯璐

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街4号	咨询电话	400-810-0598
邮政编码	100120	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
印 刷	北京中科印刷有限公司		http://www.landaco.com.cn
		畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787×960 1/16	版 次	2002年7月第1版
印 张	31.5		2009年11月第2版
字 数	600 000	印 次	2009年11月第1次印刷
插 页	1	定 价	40.20元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 28056-00


第 1 版序

传统看法认为光学是物理学的一个分支。在我国高校理、工科分校的时期,光学被认为是一个理科专业;但是光从远古到今天一直是一种最重要的传播信息的载体,光学研究的成像过程实际上是信息的传播过程,因此光学实质上又是信息科学的一个重要分支。国际上多数把光学应用归入信息科学领域,甚至与电子信息归纳在一起,已不是仅仅把光学看做一种理论,而更多地把它看做一种密切结合实际的技术学科。现在光信息科学与技术专业列入了我国教育部新的学科目录,将它作为一个非理非工、亦理亦工的技术专业来开办,与国际接轨,这是一个进步。《光学信息技术原理及应用》是该专业的一门主要专业课程的教材。

这本教材在比较广的意义上研究光学信息处理,不仅讨论用光学方法处理已经获取的信息,而且讨论用光学技术承载信息、传播信息、记录信息、萃取信息、显示信息的种种方法。这些都是近代光学的前沿。它们是以光的物理本性为基础,发展为研究光的变换特性。例如,它将夫琅禾费衍射看做光学的傅里叶变换,而把菲涅耳衍射看做光学的分数傅里叶变换,于是光在自由空间的传播过程就可以完全用广义的傅里叶变换来表达。这样用信息科学的方法来讨论光学问题对于在信息产业中更多地应用光学技术无疑是有益的。在这本教材中,着重介绍了光学信息技术的几个主要应用领域,包括光信息存储、光学信息处理和光计算、光学三维传感、光学全息显示、全息散斑计量,题材新颖,内容丰富,物理概念清晰,反映了光学信息技术的最新进展,也反映了面向 21 世纪的时代需要,具有相当的先进性。作为教材,在每一章后都编写了适量的具有实际应用意义的习题,附以主要参考文献,并列有中英文术语对照,对学生很有好处。

这本教材的编者自从改革开放以来一直主要从事光学信息技术应用领域的研究,也一直从事光学信息技术领域的教学工作。教材中的许多内容都是他们自己的研究成果和教学心得,在不少方面具有原创性。相信这些带有原创性思路的内容对于启发学生创造性思维是有益的。希望这本教材的出版,能为我国培养更多优秀的光学工程领域的技术人才发挥作用。

中国科学院院士
中国工程院院士



2001. 5. 10

第2版前言

本书自2002年7月出版后,经国内数十所大学6年的使用,受到众多好评,并列入了普通高等教育“十一五”国家级规划教材。为了更好地发挥国家级规划教材的作用,我们对全书内容进行了修订和补充。

第2版按照高等教育出版社统一的理工类书籍出版体例作了修订,修改了一些错误以及不够准确和严谨的地方,还补充和更新了有关光学信息技术理论与应用的一些新发展的内容。在第2章中增加了局部空间频率的概念与相关内容,第3章中对于非相干成像系统和相干成像系统的比较增加了锐边响应以及散斑效应的部分,第4章对于解析函数的概念做了进一步说明,第5章更新了许多插图并且充实了全息材料的一些介绍。在后几章的应用部分,对第7章光信息存储技术全章结构重新编排,强调了目前使用很普遍的光盘存储器,同时对已经逐步实用化的体全息存储原理进行了深入讨论,第8章对近年来较少研究的光计算相关内容做了精减,同时还增加了一些新的实验结果,第9章对像素全息的设计做了进一步充实,第10章除了增加的动态三维传感还介绍了三维电视摄像机的内容,而第11章则介绍了散射干涉的一个重要应用即实用化的散射板干涉仪,用本书研究的新方法建立了它的新数理模型,作为本书内容应用的方法介绍给学生。另外在参考顾德门《傅里叶导论》(第三版)时,由在作者授权下本书编者翻译出版的内容基础上,改编增加了第12章“光通信中光学信息技术的应用”。具体补充和修订这里不一一列举说明。

本书第2版坚持第1版的指导思想,不仅要满足高等院校学生掌握信息光学技术的教学需要,而且要为相关专业学生进一步开展科学技术研究打开窗口。为适应不同层次学生的要求,可以选择讲授不同内容。希望广大教师和读者对本书的不足给予指正,支持我们今后把本书修改得更加适用。

编者

2008年12月

第 1 版前言

作为自然现象,光是最重要的信息载体。据统计,人类感官接收的客观世界总的信息量的 90% 以上要通过眼睛。早在 3 000 年前人类就开始研究光学,但是光学发展最快的时期还是 20 世纪,尤其是 20 世纪下半叶。近代光学对信息时代的到来起了十分重要的作用。20 世纪 40 年代末提出的全息术、50 年代产生的光学传递函数、60 年代发明的激光器、70 年代发展起来的光纤通信、80 年代成为微机标准外设的光驱、航天航空事业中应用的空间光学等近代光学技术对信息产业的高速成长发挥了不可替代的作用。与此同时,近代光学也成为电子信息科学的最重要基础之一。因此,在高等院校电子信息学科的有关专业开设光学信息处理技术理论与应用的课程是很有必要的。

光学信息处理的理论基础是将信息科学中的线性系统理论引入光学中形成的。光学成像系统实际上是一种二维的图像信号的传输和处理系统。传统的光学仅在空域中研究光学现象,信息光学将研究方法扩展到空间频域,对光学成像系统进行空间频谱分析,并由此发展出全息术与光学信息处理的各种方法。这些方法使光学系统的单一成像功能扩展到信息处理的许多方面,有二维信号(图像)的各种运算方法,有图像处理与识别技术,有高密度信息存储的光学方法,有三维面形测量及全息散斑干涉技术,等等。本书的重点是介绍光学信息处理的理论基础以及近年来发展很快的相关应用和方法。

本书前 5 章是理论基础部分。第 1 章的主要内容是二维线性系统分析以及为之服务的二维傅里叶变换和信息科学的另一基础——抽样定理。对于学过“信号与系统”课程的读者,复习一下并推广到二维情况也是不无补益的。与以往同类的教科书不同,这一章不再详细介绍有关数学预备知识。这是由于近 20 年来几乎所有开办本专业的高等院校都开设含积分变换的数学课程,再从基础讲起已无必要。第 2 章关于标量衍射理论的讨论不讲述物理光学或工程光学中已经讲过的惠更斯原理及基尔霍夫衍射公式的推导,而是由波动方程的平面波解及平面上复振幅分布的傅里叶分析与综合导出近场及远场衍射公式。在介绍分数傅里叶变换基础上,讨论菲涅耳衍射的分数傅里叶变换表示,从而将衍射现象完全与傅里叶变换联系在一起。第 3 章关于光学成像系统的频谱分析与以往多数教材不同,对透镜的傅里叶变换性质给出一个统一的表达方式,并得出不同情况下的结果。由此出发进一步分析相干与非相干成像系统,给出成像系统的相干传递函数与光学传递函数。第 4 章综合各种教材对光的相干性理论的阐

本书在编写过程中得到了中国科学院院士、中国光学学会理事长、南开大学母国光教授的指导。母先生不仅对本书的内容和结构提出了指导性的意见,并且还对本书进行仔细审阅,使作者受益匪浅。著名科学家、光学界泰斗、两院院士王大珩先生对现代光学的教育非常重视,特地为本书作序,使我们备受鼓舞。在此对他们一并表示衷心感谢。

编者

2001年5月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010)58581897/58581896/58581879

反盗版举报传真：(010)82086060

E-mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100120

购书请拨打电话：(010)58581118

目 录

第 1 章 二维线性系统分析	(1)
1.1 线性系统	(1)
1.1.1 线性系统的定义	(1)
1.1.2 脉冲响应和叠加积分	(2)
1.2 二维傅里叶变换	(3)
1.2.1 二维傅里叶变换定义及存在条件	(3)
1.2.2 极坐标下的二维傅里叶变换和傅里叶 - 贝塞尔变换	(5)
1.2.3 虚、实、奇、偶函数傅里叶变换的性质	(6)
1.2.4 二维傅里叶变换定理	(7)
1.2.5 常用二维傅里叶变换举例	(8)
1.3 二维线性不变系统	(10)
1.3.1 二维线性不变系统的定义	(10)
1.3.2 二维线性不变系统的传递函数	(12)
1.3.3 线性不变系统的本征函数	(13)
1.3.4 级联系统	(15)
1.4 抽样定理	(16)
1.4.1 函数的抽样	(17)
1.4.2 原函数的复原	(18)
1.4.3 空间 - 带宽积	(21)
习题	(21)
第 2 章 标量衍射的角谱理论	(24)
2.1 光波的数学描述	(24)
2.1.1 光振动的复振幅和亥姆霍兹方程	(25)
2.1.2 球面波的复振幅表示	(26)
2.1.3 平面波的复振幅表示	(28)
2.1.4 平面波的空间频率	(29)
2.1.5 空间频率的局域化	(30)
2.2 复振幅分布的角谱及角谱的传播	(32)
2.2.1 复振幅分布的角谱	(32)
2.2.2 平面波角谱的传播	(33)
2.2.3 衍射孔径对角谱的作用	(35)
2.3 标量衍射的角谱理论	(36)

2.3.1 惠更斯-菲涅耳-基尔霍夫标量衍射理论的简要回顾	(36)
2.3.2 平面波角谱的衍射理论	(38)
2.3.3 菲涅耳衍射公式	(39)
2.4 夫琅禾费衍射与傅里叶变换	(40)
2.5 菲涅耳衍射和分数傅里叶变换	(42)
2.5.1 分数傅里叶变换的定义	(42)
2.5.2 分数傅里叶变换的几个基本性质(证明从略)	(44)
2.5.3 用分数傅里叶变换表示菲涅耳衍射	(45)
习题	(48)
第3章 光学成像系统的频率特性	(51)
3.1 透镜的相位变换作用	(51)
3.2 透镜的傅里叶变换性质	(53)
3.2.1 物在透镜之前	(54)
3.2.2 物在透镜后方	(57)
3.2.3 透镜的孔径效应	(58)
3.3 透镜的一般变换特性	(59)
3.4 相干照明衍射受限系统的成像分析	(61)
3.4.1 透镜的点扩散函数	(62)
3.4.2 衍射受限系统的点扩散函数	(64)
3.4.3 相干照明下衍射受限系统的成像规律	(66)
3.5 衍射受限系统的相干传递函数	(68)
3.6 衍射受限系统的非相干传递函数	(72)
3.6.1 非相干成像系统的光学传递函数	(72)
3.6.2 OTF与CTF的关系	(75)
3.6.3 衍射受限的OTF	(75)
3.7 有像差系统的传递函数	(78)
3.8 相干与非相干成像系统的比较	(81)
3.8.1 截止频率	(81)
3.8.2 像强度的频谱	(81)
3.8.3 两点分辨	(84)
3.8.4 其他效应	(85)
习题	(87)
第4章 部分相干理论	(89)
4.1 实多色场的复值表示	(89)
4.2 时间相干性、自相干函数与复自相干度	(91)
4.2.1 非单色光的分振幅干涉及其数学描述	(91)
4.2.2 自相干函数与复自相干度	(92)

4.2.3 复自相干度与光功率谱密度的关系	(93)
4.2.4 相干时间和相干长度	(95)
4.3 空间相干性、互相干函数和复相干度	(96)
4.3.1 分波面干涉及其数学描述	(97)
4.3.2 互相干函数和复相干度	(99)
4.3.3 互相干函数和互相干度的测量	(101)
4.4 准单色条件、互强度和复相干因子	(101)
4.4.1 准单色条件	(102)
4.4.2 互强度和复相干因子	(102)
4.4.3 相干面积	(103)
4.5 准单色光的传播和衍射	(104)
4.5.1 自由空间中准单色场互相干性的传播	(105)
4.5.2 薄透明物体对互强度的影响	(108)
4.5.3 部分相干光的衍射	(109)
4.6 范西特-策尼克定理	(111)
4.6.1 范西特-策尼克定理	(111)
4.6.2 均匀圆形光源	(113)
4.6.3 迈克尔逊测星干涉仪	(115)
4.7 部分相干场中透镜的傅里叶变换性质	(116)
4.8 部分相干光成像	(118)
4.8.1 准单色光照明光学系统的物像关系	(119)
4.8.2 准单色光照明下光学系统的频率响应	(120)
习题	(122)
第5章 光全息术	(125)
5.1 引言	(125)
5.2 全息术原理——波前记录与再现	(126)
5.2.1 波前记录	(126)
5.2.2 波前再现	(127)
5.2.3 全息实验装置	(130)
5.3 基元全息图分析	(133)
5.4 平面全息图及其衍射效率	(134)
5.4.1 菲涅耳全息图	(135)
5.4.2 傅里叶变换全息图	(140)
5.4.3 无透镜傅里叶变换全息图	(143)
5.4.4 傅里叶变换全息图的两个特例	(146)
5.4.5 像全息图	(149)
5.4.6 相位全息图	(150)

5.4.7 平面全息图的衍射效率	(152)
5.5 体积全息图	(154)
5.5.1 体全息图的记录与再现	(154)
5.5.2 透射体全息和反射体全息	(155)
5.5.3 体全息图的衍射效率	(156)
5.6 计算全息术及其应用	(157)
5.6.1 计算全息图	(157)
5.6.2 计算全息术的应用	(160)
5.7 全息记录介质	(161)
5.7.1 卤化银乳胶	(161)
5.7.2 重铬酸盐明胶	(165)
5.7.3 光致抗蚀剂	(165)
5.7.4 光导热塑	(166)
5.7.5 光致聚合物	(167)
5.7.6 光折变晶体	(168)
习题	(168)
第6章 空间光调制器	(171)
6.1 概述	(171)
6.1.1 空间光调制器的基本结构与分类	(171)
6.1.2 空间光调制器的功能	(173)
6.1.3 空间光调制器的基本性能参数	(175)
6.2 液晶光阀	(178)
6.2.1 液晶的光电特性	(178)
6.2.2 光学寻址液晶光阀	(183)
6.2.3 电寻址液晶光阀	(184)
6.3 电光效应器件	(185)
6.3.1 晶体的电光效应及其电光调制原理	(185)
6.3.2 泡克尔斯读出光调制器	(195)
6.3.3 微通道板空间光调制器	(197)
6.3.4 Si-PLZT 空间光调制器	(199)
6.4 磁光空间光调制器	(200)
6.4.1 磁性材料的磁化特性与磁光效应	(200)
6.4.2 器件结构	(201)
6.4.3 工作原理	(201)
6.4.4 器件性能	(203)
6.5 表面形变空间光调制器	(204)
6.5.1 G-E 表面形变空间光调制器	(204)

6.5.2 数字微反射镜空间光调制器	(206)
6.6 自电光效应器件空间光调制器	(208)
习题	(209)
第7章 光信息存储技术	(210)
7.1 引言	(210)
7.2 光盘存储	(212)
7.3 超分辨率光存储技术	(219)
7.4 三维光学存储:双光子存储	(222)
7.5 三维光学存储:体全息存储	(224)
7.5.1 体全息的基本原理	(225)
7.5.2 体全息存储材料的存储机理与特性	(234)
7.5.3 全息存储器的数据传输速率	(242)
7.5.4 全息存储的应用举例	(245)
7.6 四维光学存储	(252)
习题	(254)
第8章 光学信息处理技术	(256)
8.1 引言	(256)
8.2 光学频谱分析系统和空间滤波	(257)
8.2.1 阿贝(Abbe)成像理论	(257)
8.2.2 阿贝-波特(Abbe-Porter)实验	(258)
8.2.3 空间频率滤波系统	(259)
8.2.4 空间滤波的傅里叶分析	(260)
8.2.5 滤波器的种类及应用举例	(264)
8.3 相干光学信息处理	(268)
8.3.1 相干光学信息处理系统	(268)
8.3.2 多重像的产生	(269)
8.3.3 图像的相加和相减	(270)
8.3.4 光学微分-像边缘增强	(273)
8.3.5 光学图像识别	(276)
8.3.6 图像消模糊	(280)
8.3.7 综合孔径雷达	(281)
8.4 非相干光学信息处理	(285)
8.4.1 图像的相乘和积分	(286)
8.4.2 图像的相关和卷积	(287)
8.5 白光信息处理	(288)
8.5.1 θ 调制假彩色编码	(288)
8.5.2 光学图像的彩色增强和存储	(289)

8.5.3 黑白图像的白光密度假彩色编码	(292)
8.5.4 多重像的产生	(295)
习题	(295)
第9章 图像的全息显示	(299)
9.1 引言	(299)
9.2 彩虹全息图	(300)
9.2.1 线全息图消色模糊原理	(300)
9.2.2 彩虹全息图的记录	(301)
9.2.3 彩虹全息图的像质	(303)
9.3 合成全息技术	(306)
9.3.1 二维图片的记录	(307)
9.3.2 平面多路合成全息	(308)
9.3.3 360°合成全息	(308)
9.4 彩色全息术	(310)
9.4.1 彩色全息的激光器和记录材料	(311)
9.4.2 彩色彩虹全息	(312)
9.4.3 反射体积彩色全息	(314)
9.5 全息图的复制	(315)
9.5.1 全息图的光学复制	(315)
9.5.2 全息图的模压复制	(316)
9.5.3 全息图的注塑复制	(317)
9.6 数字像素全息技术	(321)
9.6.1 数字全息图的制作方法	(321)
9.6.2 数字全息图的设计	(323)
9.7 其他全息显示技术	(325)
9.7.1 全息电影	(325)
9.7.2 边缘照明全息	(327)
9.7.3 虚拟全息三维显示	(327)
习题	(330)
第10章 光学三维传感	(332)
10.1 主动三维传感的基本概念	(333)
10.1.1 主动照明的三维传感方法	(333)
10.1.2 三种基本的结构照明方式	(335)
10.1.3 三维传感系统的基本组成	(336)
10.2 采用单光束的三维传感	(337)
10.2.1 基本原理与计算公式	(337)
10.2.2 散斑对激光三角法精度的影响	(341)

10.2.3	测量实例(鞋楦三维面形测量)	(342)
10.2.4	基于激光同步扫描的三维面形测量	(344)
10.3	采用激光片光的三维传感	(346)
10.3.1	激光片光的产生	(346)
10.3.2	测量原理	(347)
10.3.3	测量实例	(348)
10.4	相位测量剖面术	(350)
10.4.1	相位测量剖面术的原理	(350)
10.4.2	产生结构照明的方法	(355)
10.4.3	相位测量剖面术应用举例	(356)
10.5	傅里叶变换剖面术	(361)
10.5.1	基本原理	(362)
10.5.2	FTP方法的测量范围	(363)
10.5.3	一种改进的方法	(365)
10.5.4	动态过程三维面形测量	(366)
10.6	调制度测量轮廓术	(368)
10.6.1	基本原理	(368)
10.6.2	信息处理方法	(369)
10.6.3	测量实例	(371)
10.7	其他光学三维轮廓测量方法	(372)
10.7.1	采用激光扫描的三维共焦成像	(372)
10.7.2	飞行时间法	(373)
10.7.3	三维电视摄像机	(375)
	习题	(377)
第 11 章	全息散斑干涉计量	(379)
11.1	光学粗糙表面散射光场的统计特性	(379)
11.1.1	物面系综上物表面散射光场的统计特性	(379)
11.1.2	散射光场的一阶统计特性	(381)
11.1.3	散射光场的强度自相关函数	(383)
11.2	全息干涉的统计光学描述	(384)
11.2.1	全息干涉的基本原理	(384)
11.2.2	二次曝光全息干涉术的干涉场	(385)
11.2.3	表面变形特性与散射光场特性的关系	(387)
11.2.4	二次曝光全息干涉场的统计光学描述	(388)
11.3	时间平均全息干涉术	(391)
11.4	外差与准外差全息干涉术	(393)
11.4.1	外差全息干涉技术	(393)

11.4.2 准外差全息干涉技术	(395)
11.5 散斑干涉术	(397)
11.5.1 参考束型散斑干涉测量方法	(397)
11.5.2 剪切散斑干涉测量方法	(399)
11.6 电子散斑干涉测量技术	(401)
11.6.1 电子散斑干涉仪的典型光路和原理	(401)
11.6.2 电子散斑干涉相减技术的统计分析	(402)
11.7 散斑照相测量术	(403)
11.7.1 像面二次曝光激光散斑图的记录及其透过率函数	(404)
11.7.2 二次曝光散斑图的逐点滤波	(404)
11.7.3 二次曝光散斑图的全场滤波	(405)
11.7.4 白光散斑照相测量术	(408)
11.8 数字散斑照相测量术	(409)
11.8.1 数字全场滤波技术	(409)
11.8.2 数字逐点滤波技术	(410)
11.9 散射板干涉仪	(411)
11.9.1 散射板干涉仪的原理和基本光路	(412)
11.9.2 干涉条纹形成的数理模型	(414)
习题	(419)
第 12 章 光通信中光学信息技术的应用	(421)
12.1 布拉格光纤光栅	(421)
12.1.1 布拉格光纤光栅的制作	(421)
12.1.2 FBG 的应用	(425)
12.1.3 工作在透射方式的光栅	(426)
12.2 超短脉冲的整形和处理	(427)
12.2.1 时间频率到空间频率的变换	(427)
12.2.2 脉冲整形系统	(429)
12.2.3 谱脉冲整形的应用	(430)
12.3 光谱全息术	(432)
12.3.1 全息图的记录	(432)
12.3.2 信号的再现	(434)
12.3.3 参考脉冲和信号波前之间延迟的影响	(436)
12.4 阵列波导光栅	(436)
12.4.1 阵列波导光栅的基本部件	(437)
12.4.2 阵列波导光栅的应用	(442)
习题	(445)
参考文献	(446)

部分习题参考答案	(462)
附录 A 二维 δ 函数的定义及性质	(468)
附录 B 常用函数及其傅里叶变换	(469)
附录 C 式(11-6-4)到式(11-6-5)的推导	(470)
汉英名词术语对照	(472)
彩图	