



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

光学工程

本书前一版曾获评“北京市高等教育精品教材”“兵工高校优秀教材”

Optical Electronics

光电子学

(修订版)

阎吉祥 编著

Yan Jixiang



清华大学出版社

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

光电子学(修订版)

阎吉祥 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是为适应光电子学科新的发展形势和教学要求而编写的。全书共 8 章,依次介绍光本性理论的发展、光辐射与辐射源、块状固体激光器、光纤激光器、光传输与传输介质、光电探测与探测器、光电成像与成像系统以及非线性光学基础等方面的知识。

本书可作为高等院校光电子专业高年级本科生及相关专业研究生的教材,也可供本领域科技工作者参考。

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

光电子学/阎吉祥编著. —修订本. —北京:清华大学出版社,2017

(高等学校电子信息类专业系列教材)

ISBN 978-7-302-46910-0

I. ①光… II. ①阎… III. ①光电子学—高等学校—教材 IV. ①TN201

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 067698 号

责任编辑:曾 珊

封面设计:李召霞

责任校对:焦丽丽

责任印制:刘海龙

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:北京泽宇印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:18.75

字 数:455 千字

版 次:2017 年 10 月第 2 版

印 次:2017 年 10 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:45.00 元

产品编号:071023-01

序

FOREWORD

我国电子信息产业销售收入总规模在 2013 年已经突破 12 万亿元,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更扎实的理论基础知识和更宽广的专业视野。未来电子信息系统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,为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给出了指引。

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;将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;将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

前言

PREFACE

光电子学是以光频波段的电子学效应基本理论和应用原理为研究对象,由近代光学与电子学相互交叉渗透而形成的一门新兴分支学科。

本书作为高等院校相关专业光电子学课程的教材,主要讨论光的本性以及光的产生、传输、探测、成像和光与物质相互作用。事实上,光的传输、探测和成像过程均会涉及光与物质的相互作用,但很多情况下是在宏观层面研究这些过程,以致往往不太关注光与物质的相互作用。当强调光与物质的相互作用时,更应注重的是光与组成物质的微观粒子,主要是原子和分子等的相互作用。而在考虑辐射与原子和分子的相互作用时,只有当光的电场强度可以与原子内部的平均场强相比拟时,这种作用才是明显的。鉴于后者的典型值具有 10^{10} V/m 的量级,所以,迄今为止,能满足这一要求的只有较强的激光。由此可以看出激光及其与物质的相互作用在光电子学领域的重要性。

本书在讨论光本性理论的发展(第1章)、光辐射与辐射源(第2章)、光传输与传输介质(第5章)、光电探测与探测器(第6章)及光成像与成像系统(第7章)的基础上,着重讨论了几种当前备受关注的固体激光器(第3、4章)及强光与物质相互作用产生的非线性光学效应(第8章)。

本书在写作过程中承蒙周寿桓院士的指导,从立项到出版始终得到清华大学出版社计算机与信息分社电子信息教材事业部梁颖主任和曾珊编辑的大力支持,曾珊编辑为图书的出版做了很多极有帮助的工作。本书在编写过程中参考了大量文献,书的录入主要由作者的多名博士和硕士研究生完成,在此一并表示诚挚的感谢。书中错误和欠妥之处,恳请读者不吝赐教。

作者

学习建议

SUGGESTION

本书共 8 章,依次介绍光本性理论的发展;光辐射与辐射源;块状固体激光器;光纤激光器;光传输与传输介质;光电探测与探测器;光电成像与成像系统,以及非线性光学基础等方面的知识。本书可作为高等院校光电子专业高年级本科生及相关专业研究生的教材,建议学时数为 72 学时。

第 1 章基本按时间顺序较全面地介绍光本性理论的发展。首先介绍以牛顿为代表的一些学者的微粒说和 Huygens 等人提出的波动说;随后描述由 Maxwell 创立的电磁波理论及 19 世纪早期的光量子理论;最后对现代光量子理论给予简单介绍。其中光量子理论部分用到量子理论知识和现代物理的表述方法,是本章的难点,教学中根据情况可适当删减或增加学时数。(建议学时数为 8 学时)

第 2 章首先讨论光辐射机理,简单介绍自发辐射光源,并将重点放在随后介绍的受激辐射和相干光源,即激光。(建议学时数为 8 学时)

第 3 章介绍薄片激光器和板条激光器。(建议学时数为 8 学时)

第 4 章讨论光纤激光器。(建议学时数为 10 学时)

第 3、4 章可帮助读者了解先进固体激光器的近期发展。

第 5 章将首先简单介绍光线在均匀介质中以及在介质界面的传输。现代光学大量接触的是激光束的传输,包括激光在自由空间和均匀介质中的传输,以及通过透镜的变换等。5.2 节以基横模运转激光器发射的 Gauss 光束为例,介绍与激光束传输有关的问题。具有平面结构的光波导及以此为基础的集成光学问世,极大地推动了光电子技术的发展,本章用较大篇幅予以讨论。(建议学时数为 10 学时)

第 6 章讨论光的探测问题。将光信号转换为电信号进行探测是最常用的手段。这种转换在光电探测器中进行,而其机理便是光电效应。光电效应又可分为外光电效应和内光电效应,内光电效应以半导体材料较为明显,且又分为光电导型和光生伏特型。本章重点讨论基于各种光电效应的典型探测器,同时对以光热效应为工作机理的光热探测器也做了介绍。(建议学时数为 6 学时)

第 7 章介绍光电成像技术。光电成像系统的核心部件是光电探测装置,用于将人眼无法直接观察的信息转换为可观察的图像,根据所需解决的问题不同,采用的探测装置各异。就系统层面来说,光电成像系统可分为扫描成像系统和非扫描成像系统。光电成像系统的性能对设计者、制造者和使用者而言,都是非常重要的问题,因而本章重点对系统性能及性能的评价问题给以较多关注。(建议学时数为 6 学时)

光与物质的相互作用是光电子学的研究重点。普通光的等效电场强度远低于 1V/cm 的量级;而高功率激光经聚焦后其等效电场强度很容易超过原子内部场强 10^8V/cm 。如此

高强度的光会在很多介质中引起非线性效应,从而派生出一门全新的学科,这就是非线性光学。本书第8章重点讨论一些主要的非线性光学现象。非线性光学是激光与物质相互作用的重要领域,而相位共轲是这种作用的主要结果之一。本章首先介绍非线性光学基础和光学相位共轲概念,然后讨论了弹性光子散射非线性光学相位共轲,受激喇曼散射和受激布里源散射非线性光学相位共轲,以及由光折变材料产生的自泵浦相位共轲。本章既十分重要,又具有较大难度。(建议学时数为16学时)

目录

CONTENTS

绪论	1
第 1 章 光本性理论的发展	4
1.1 早期学说	4
1.1.1 经典粒子与波动	4
1.1.2 光的微粒说	4
1.1.3 光的波动说	5
1.2 光的电磁理论	5
1.2.1 电磁感应定律	5
1.2.2 Maxwell 电磁理论	6
1.2.3 光的电磁理论概述	7
1.3 光波的叠加与干涉	8
1.3.1 光波的独立传播性	8
1.3.2 光波叠加原理	9
1.3.3 光波的相干条件	9
1.4 相干性的进一步讨论	10
1.4.1 复色场的复表示	10
1.4.2 空间和时间相干度	11
1.4.3 空间和时间相关性的测量	12
1.5 早期光子论及波粒二象性	15
1.5.1 辐射与能量子概念	15
1.5.2 光电效应与光子概念	17
1.5.3 康普顿散射和光子性的进一步证实	19
1.5.4 光的波粒二象性	20
1.6 现代光子理论简介	21
1.6.1 矢量空间和线性算符	22
1.6.2 一维谐振子	24
1.6.3 电磁场的量子化	28
1.6.4 相干光子态	30
1.6.5 密度算符和量子分布	34
1.6.6 量子光学简介	37
小结	40
习题	40
第 2 章 光辐射与辐射源	41
2.1 原子发光机理	41

2.1.1	α 粒子散射和原子的核式结构	41
2.1.2	氢原子光谱和玻尔原子模型	42
2.1.3	量子力学和原子发光	44
2.1.4	光谱线的展宽	52
2.2	自发辐射和普通光源	55
2.3	激光产生机理	56
2.3.1	激光器的腔模概念	56
2.3.2	激光产生的必要条件	56
2.3.3	激光产生的充分条件	60
2.4	激光的物理特性	62
2.4.1	单色性与时间相干性	62
2.4.2	方向性和空间相干性	63
2.4.3	高阶相关	63
2.4.4	高亮度	64
2.5	激光器的工作特性简介	64
2.5.1	超短脉冲特性	64
2.5.2	频率稳定特性	65
2.6	半导体的能带结构和电子状态	65
2.6.1	能带概念的引入	65
2.6.2	半导体中的电子状态	65
2.7	激发与复合辐射	67
2.7.1	直接跃迁和半导体发光材料	67
2.7.2	态密度和电子的激发	68
2.7.3	非本征半导体材料的 PN 结	70
2.8	发光二极管工作机理	71
2.9	半导体激光器	72
2.9.1	半导体中的光增益	72
2.9.2	损耗和阈值振荡条件	73
2.10	异质结半导体激光器	74
2.10.1	异质结	75
2.10.2	激光器的结构	76
小结		77
习题		77
第 3 章	块状固体激光器	78
3.1	概述	78
3.2	LD 泵浦固体激光器	79
3.2.1	与闪光灯泵浦的比较	79
3.2.2	二极管激光泵浦固体激光器的阈值功率和高于阈值的工作	80
3.2.3	LD 泵浦固体激光器的结构	83
3.3	薄片激光器	84
3.3.1	薄片介质及泵浦	85
3.3.2	薄片激光器工作原理	85
3.3.3	“液体”激光器	86

3.4	板条激光器	87
3.5	固体的热容	88
3.5.1	固体热容的经典理论	89
3.5.2	固体热容的量子理论	89
3.6	激光器的热容工作	92
3.6.1	储热与升温	92
3.6.2	温度分布与热应力	95
3.6.3	光束畸变	97
3.6.4	热容激光器一例	98
小结		98
习题		99
第4章	光纤激光器	100
4.1	引言	100
4.2	几种稀土离子的能级和谐	100
4.2.1	概述	101
4.2.2	硅光纤中几种稀土离子的激光能级和谐	102
4.2.3	氟光纤中几种稀土离子的激光能级和谐	105
4.3	模及单模运转条件	109
4.3.1	块状工作介质	109
4.3.2	光纤工作物质	111
4.3.3	模特性与截止频率	111
4.3.4	光纤激光器的基本结构	116
4.4	双包层光纤激光器	116
4.4.1	单包层光纤的限制	116
4.4.2	双包层光纤激光器	117
4.4.3	光子晶体光纤激光器简介	121
4.5	受激散射光纤激光器	121
4.5.1	Raman 散射光纤激光器	122
4.5.2	受激布里渊散射光纤激光器	123
4.6	调 Q 和锁模光纤激光器	125
4.6.1	光纤激光器的调 Q 工作	125
4.6.2	光纤激光器的锁模工作	126
小结		127
习题		128
第5章	光传输与传输介质	129
5.1	光线在均匀介质及介质界面的传输	129
5.1.1	光线在均匀介质中的传输	129
5.1.2	光线在介质界面的透射传输	130
5.1.3	光线通过薄透镜的传输	131
5.2	高斯光束的传输	132
5.2.1	Gauss 光束及其特征参数	133
5.2.2	Gauss 光束在自由空间的传输	133
5.2.3	Gauss 光束通过薄透镜的传输	134

5.3	平面介质波导的射线光学理论	135
5.3.1	光线在介质界面的反射和折射	135
5.3.2	光线在平板波导中的传播	136
5.3.3	平板介质波导中的导波	138
5.3.4	Goos-Hänchen 位移和波导层的有效厚度	138
5.4	平板波导的电磁理论基础	140
5.4.1	麦克斯韦方程组的一般形式	140
5.4.2	平板波导中的麦克斯韦方程组	142
5.4.3	TE 波场方程的解	143
5.4.4	TE 波的模和截止条件	145
5.4.5	导波模的性质	148
5.5	通道波导简介	149
5.5.1	通道波导的种类	149
5.5.2	矢量波方程	150
5.5.3	标量方程近似及分离变量法	151
5.5.4	标量方程的其他解法简介	152
5.6	导波模耦合理论简介	154
5.6.1	方向耦合基本概念	154
5.6.2	耦合波方程	155
5.6.3	耦合波标量方程	155
5.6.4	标量方程的解	158
5.6.5	周期波导	159
5.6.6	波导模的传输	160
5.7	半导体波导理论	162
5.7.1	改变半导体折射率的方法	162
5.7.2	半导体平板波导	164
5.7.3	通道波导	166
5.7.4	耦合效应	167
5.7.5	半导体波导中的损耗	169
5.8	波导理论的新进展	171
5.8.1	非线性波导中的二次谐波产生	171
5.8.2	光波导的非正交耦合模理论	173
5.9	绝缘晶体波导器件	174
5.9.1	方向耦合器	175
5.9.2	平衡桥干涉仪和交叉波导	176
5.9.3	干涉滤波器	178
5.9.4	耦合模滤波器	178
5.9.5	偏振选择装置	180
5.9.6	透射光栅	181
5.9.7	反射光栅	182
5.9.8	电光光栅和声光光栅	182
5.9.9	光栅耦合器	183
5.10	半导体波导装置	184

5.10.1	半导体被动波导	184
5.10.2	电光波导调制器	188
5.10.3	光电集成回路	189
5.11	光波导应用举例	190
5.11.1	平面集成光学 RF 谱分析仪	190
5.11.2	波导芯片连接器	191
5.11.3	通道波导 A/D 转换器	192
5.11.4	导波光通信	192
5.12	MOEMS 简介	194
5.12.1	衍射微透镜	194
5.12.2	折射微透镜	195
5.12.3	MOEM 系统	195
小结		196
习题		196
第 6 章	光电探测与探测器	197
6.1	光电探测器性能概述	197
6.1.1	响应率	198
6.1.2	等效噪声功率	198
6.1.3	探测率	198
6.1.4	量子效率	199
6.1.5	响应时间	199
6.1.6	线性区	199
6.1.7	噪声	199
6.2	光探测器工作基础	201
6.2.1	外光电效应	201
6.2.2	光电导效应	201
6.2.3	光生伏特效应	202
6.2.4	光-热-电效应	203
6.3	(基于外光电效应的)光电子发射型光电探测器	204
6.3.1	光电倍增管的结构及工作	204
6.3.2	光电倍增管的主要性能	206
6.4	光电导型探测器	207
6.4.1	概述	207
6.4.2	$\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 光导探测器的性能	208
6.5	光伏型探测器	210
6.5.1	概述	210
6.5.2	PN 结光电二极管电流特性简介	211
6.5.3	响应率与探测率	213
6.5.4	噪声	214
6.6	直接探测技术	215
6.6.1	环境辐射	215
6.6.2	直接探测中的噪声	217
6.6.3	归一化探测率 D_A^*	217

6.7 光相干探测技术简介	217
6.7.1 光相干探测原理	218
6.7.2 光相干探测的特性	219
小结	219
习题	219
第7章 光电成像与成像系统	220
7.1 概述	220
7.2 图像探测器简介	220
7.2.1 真空成像器件	220
7.2.2 CCD 成像器件	221
7.2.3 CID 成像器件	222
7.3 点扩展函数及基于点扩展函数的性能指标	223
7.3.1 点扩展函数	223
7.3.2 Strehl 比	224
7.3.3 圆围能量与空间频率的关系	225
7.4 光学传递函数概念	226
7.5 调制传递函数	227
7.5.1 调制	227
7.5.2 调制传递函数	227
7.6 光学系统的调制传递函数 MTF	228
7.6.1 衍射极限 MTF_d	228
7.6.2 像差影响	229
7.6.3 离焦的影响	229
7.7 光电成像系统简介	229
7.7.1 非扫描光电成像系统简介	229
7.7.2 扫描光电成像系统简介	230
7.7.3 光学成像系统性能指标	230
7.8 非扫描成像系统性能的进一步描述	231
7.8.1 视场	231
7.8.2 噪声与信噪比	231
7.8.3 分段凝视或栅格扫描	232
7.9 扫描成像系统性能的进一步描述	232
7.9.1 扫描成像系统的工作原理	232
7.9.2 扫描成像系统中的噪声	233
小结	233
习题	233
第8章 非线性光学基础	234
8.1 概述	234
8.1.1 非线性波方程	234
8.1.2 方程的慢变化包络近似形式	235
8.1.3 材料的非线性及其与光波的耦合	236
8.2 光学相位共轭	237
8.2.1 相位共轭波的定义	237

8.2.2 PCM 与 CPM 的比较	237
8.3 三波混频	240
8.3.1 相位匹配三波混频	240
8.3.2 相位失配三波混频	241
8.4 简并四波混频	241
8.4.1 FWM 产生的前向共轭波	242
8.4.2 FWM 产生的后向共轭波	242
8.4.3 DFWM 相位共轭的实验研究	244
8.5 近简并四波混频	246
8.6 谐振 DFWM	249
8.6.1 定性描述	249
8.6.2 定量讨论	250
8.7 光子回波	255
8.7.1 二能级系统中光子回波的定性描述	255
8.7.2 光子回波相位共轭的定量结果	257
8.8 受激散射	261
8.8.1 受激喇曼散射	261
8.8.2 受激布里渊散射	262
8.9 光折变效应和材料	264
8.9.1 光折变效应	264
8.9.2 几种光折变材料	269
8.10 自泵浦相位共轭	274
8.10.1 有两块外加反射镜的情况	274
8.10.2 只有一块反射镜的情况	275
8.10.3 无外加反射镜的情况	276
小结	278
习题	278
附录 常用物理常数	279
术语索引	280
参考文献	283

绪 论

光是人类感知外部世界最主要的信息源。据统计,一个正常人感官所得到的信息中,有90%以上是通过眼睛接收物体辐射、反射或散射的光所获取的。正因如此,光的本性问题很早便被人类所关注。据记载,公元前5世纪就已出现了所谓“触觉论”和“发射论”之类对光的本性最朴素的认识。但直到19世纪中后期,光的本性问题才被认真研究,并逐渐形成了两个并立的学说,即以牛顿为代表的一些学者的微粒说和由 Huygens 等人提出的波动说。两个世纪以后,由 Maxwell 创立的电磁波理论及19世纪早期的光量子理论,导致光的“波粒二象性”的解释。这使人类对光的本性的认识有了质的飞跃。本书第1章将全面回顾这一过程,并对现代光量子理论给予简单介绍。

当微观粒子(原子或分子)从较高能态跃迁到较低能态时,就有可能辐射一个能量等于上述两能级差的光子。对于原子来说,这种跃迁是由原子中的电子由高能级向低能级跃迁实现的,与此相关的辐射既可以是自发的,也可以是由外界因素引起的。自发辐射产生的光是非相干光,或者说是相干性很差的光;受激辐射则可以产生相干性很好的光。本书第2章首先讨论光辐射机理,简单介绍自发辐射光源;并将重点放在随后介绍的受激辐射和相干光源——激光上。

1960年发明的世界上第一台激光器标志着现代光学和光电子学的诞生。从那时开始,随着激光技术的迅速发展,光电子技术飞速进步。激光器普遍被认为是光电子学领域最重要的器件。它理所当然也成为研究光辐射与辐射源的重点。

发光二极管是一种既不同于传统热辐射光源,又不同于激光的新型光源,近年来得到迅速发展,本章亦将有所介绍。

由于固体激光器的功率密度高,结构小巧、紧凑、牢固,因而获得广泛应用。但传统的棒状固体激光的热透镜效应严重限制了功率的提高,在较长的一段时期,高功率领域被气体激光或化学激光占据。为了增加激光介质表面的散热面积,研究工作向两个相反的方向展开,一是光纤激光器;另一个是薄片激光器和板条激光器。这两方面的研究均取得较好的结果,并成为当前固体激光器发展的重要领域。在第2章的基础上,第3章将介绍现阶段先进固体激光器,而光纤激光器将在第4章讨论。

由光源发出的光必须经过一定的传输才能抵达探测器或成像系统。光的传输除很少情况下是在真空中进行外,一般情况下都是在某种介质中进行的。因此,光传输与传输介质是光电子学的重要研究课题。

在经典理论中,电磁场遵循 Maxwell 方程组和本构关系,或者等效地用波动方程和适当的边界条件可以描述全部光学现象。但在很多情况下,用更简单和直观的射线光学所得到的结果与基于波动光学的结果吻合得相当好。因而,第5章将首先简单介绍光线在均匀介质中以及在介质界面的传输。并于稍后讨论光在介质波导中的传输时,也会先用射线光

学图像引进介电波导理论的基本概念和术语。

现代光学大量接触的是激光束的传输,包括激光在自由空间的传输,在均匀介质中的传输,及通过透镜的变换等。5.2节将以基横模运转激光器发射的 Gauss 光束为例,介绍与激光束传输有关的问题。

1969年高锟博士首次提出利用介质光导纤维以光载波形式传输信息,一年后低损耗光纤诞生。同期,具有平面结构的光波导及以此为基础的集成光学问世,极大地推动了光电子技术的发展。

第6章讨论光的探测问题。光是一种频率很高的信号,例如,可见光的频率具有 10^{14} Hz 的量级,即使是波长 $10\mu\text{m}$ 的红外辐射,其频率亦高达 3×10^{13} Hz。迄今为止,任何仪器都没有如此高的响应速度。因而,对光进行探测时,首先需要将其转换为更容易探测的其他物理量。由于电信号的测量技术已经非常成熟,而光与电之间又有着十分密切的关系,因此,将光信号转换为电信号进行探测是最常用的手段。这种转换在光电探测器中进行,其机理便是光电效应。

光电效应又可分为外光电效应和内光电效应。在外光电效应中,电子由受光照射的材料表面逸出。这种效应发生的条件,对入射光的要求,以及逸出光子的特性等,已在第1章做了较详细的讨论。6.2节介绍了一种基于外光电效应的典型探测器。

内光电效应以半导体材料较为明显,且又分为光电导型和光生伏特型。当光照射在某些半导体材料上时,在其内部激发出大量导电的载流子(电子-空穴对),从而使材料的电导率显著提高,这种现象称为光电导效应,以此为工作机理的探测器称为光电导探测器(详见6.4节)。

光子能量大于禁带宽度的光辐射照射半导体材料时,会产生大量电子-空穴对,这些电子-空穴对在扩散过程中又会重新复合。但如果半导体中存在某种电势垒,则处于势垒附近一个扩散长度范围内的电子-空穴对,就有可能在复合前通过扩散运动到达电势垒的强场区,后者将电子和空穴分别推向势垒两侧,形成电荷堆积。这种现象称为光生伏特效应。以此为工作机理的探测器称为光伏型探测器(详见6.5节)。

除光电效应外,另一种常见的现象是光热效应。即受到光的照射时,材料将吸收的光能转换为晶格或分子热运动的能量,从而引起温度上升。以此为工作机理的探测器称为光热探测器。值得注意的是,这种探测器直接测量的通常不是热量或温升,而是将温升再转变为其他物理量进行测量,且多数情况依然是电量。根据第二次转换的机理,这类探测器又可分为辐射热计、辐射热电偶和热电堆,以及热释电探测器等,其中以热释电探测器应用较广。光热效应和光热探测器将在6.6节简单介绍。

在日常生活中,人们能够看到物体,靠的是眼睛将物体成像在视网膜上。人眼是一种性能优良的光学成像系统。然而,人眼只对波长为 $400\sim 800\text{nm}$ 的辐射敏感,对此波长范围以外的辐射则难以感知。此外,对发光(或反射光)太微弱的物体,对人眼张角太小的物体(物体太小或距离太远),或高速运动的物体,用肉眼直接观察都会碰到一定困难,光电成像技术可以帮助人类克服这些困难,大幅扩展了人眼的视感功能,本书第7章介绍光电成像技术。

光电成像系统的核心部件是光电探测装置,其作用是将人眼无法直接观察的信息转换为可观察的图像,根据所需解决的问题不同,采用的探测装置各异。例如,为获得辐射波长大于 800nm 的辐射体的图像,需要采用红外探测器;为观察发光(或反射光)极为微弱的物