



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

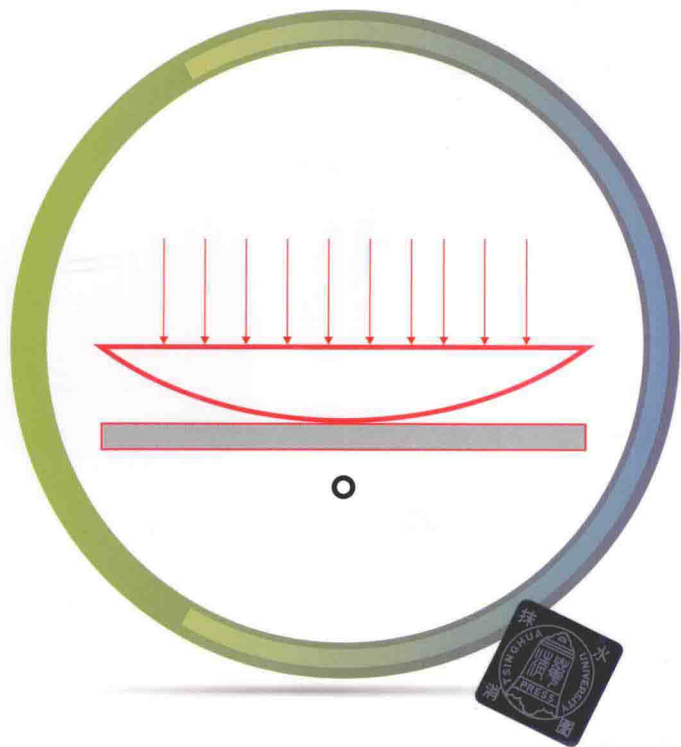
Physical Optics

物理光学

张洪欣 纪延俊 车树良 编著

Zhang Hongxin Ji Yanjun

Che Shuliang



清华大学出版社



教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会
高等学校电子信息类专业系列教材

Physical Optics

物理光学

张洪欣 纪延俊 车树良 编著

Zhang Hongxin Ji Yanjun Che Shuliang

清华大学出版社

内 容 简 介

本书以光的波动性为基础研究和阐述光的本性、光学基本原理及其应用,注重展现最新光学科技成果及其成就。本书共分为7章:第1章介绍光的电磁理论,阐述光的基本性质,分析光在各向同性介质中的传播规律和介质分界面上的能量分配特性;第2章从波的叠加原理出发研究光的干涉规律,讨论光的相干性,介绍光的干涉装置及其典型应用;第3章围绕衍射阐述光的波动性,说明衍射是光在空间或物质中传播的一种基本方式,并基于基尔霍夫衍射公式和非涅耳半波带法进一步研究关于衍射的处理方法及其应用;第4章讨论光的偏振特性及其应用,研究光在晶体中的传播特性和偏振元件对光的作用,以及偏振元件的设计和应用,并介绍处理偏振的琼斯矩阵法;第5章通过对光的吸收、散射和色散现象的论述,从光波场作用的观点出发讨论光与物质的相互作用;第6章以黑体辐射、光电效应和康普顿效应等现象为基础建立起量子的概念,并阐述光的波粒二象性;第7章介绍激光原理、傅里叶光学等现代光学基础知识及其应用。

本书可以作为高等院校光信息科学与技术、光电信息工程、光学工程、光电子技术及光电控制等专业的本科教材,对于从事光通信、激光、红外、光电检测与计量的专业人员也有重要参考价值。

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

物理光学/张洪欣,纪延俊,车树良编著.--北京:清华大学出版社,2015

高等学校电子信息类专业系列教材

ISBN 978-7-302-40117-9

I. ①物… II. ①张… ②纪… ③车… III. ①物理光学—高等学校—教材 IV. ①O436

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第089503号

责任编辑:盛东亮

封面设计:李召霞

责任校对:李建庄

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 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:14.25 字 数:356千字

版 次:2015年9月第1版 印 次:2015年9月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:29.00元

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 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,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

光信息科学与工程是近年来新发展起来的专业,物理光学作为其必修专业基础课程之一,教学内容和组织结构需要重新部署和调整。物理光学在专业课程设置中起到承前启后的作用,后续课程,例如光电子学、光学信息处理、光电仪器与系统、光纤通信技术等均是在物理光学的理论基础上开展的。为了推进高等教育“质量工程”的实施,本书参照2011年高等学校本科专业目录修订意见,将教学改革的成果和教学实践的经验积累体现到教材建设中。本书结合工科院校新修订培养计划的教学要求,以信息技术为主导、以应用能力培养为目标开设课程的要求,针对光信息科学与工程、光电子技术、电子科学与技术等专业的特色而编写,可以作为高等院校相关专业的本科生教材或者教学参考用书,也可以作为职业技术学院相关专业的教材和教学参考用书。总学时数为40学时左右。

通信、计算机及微电子等技术的迅猛发展对专业课程的设置提出了严峻的挑战,尤其是实行学分制后,各专业的课程在教学部署上都做了相应改变,比如物理光学由原来的68学时调整到40学时左右。目前,物理光学课程还存在如下问题:内容编排与其前后课程的连贯性不好;数学推导过程烦琐、内容庞杂,不能很好地突出物理概念;与前后课程内容多有重复,不能突出应用性等。为了落实新修订培养计划的要求,有必要在教学大纲、内容结构和知识层次上结合专业特点进行整合。如何组织物理光学的教学体系,既避免繁杂的数学推导,又阐明物理光学的基本规律和实践应用,构建独立的知识结构体系,为后续课程打下坚实的理论基础,同时培养学生的逻辑思维能力、总结归纳能力,以及自主创新的意识和能力是本课程亟待解决的问题。学习物理光学要从光的本性、光与物质作用机理的高度出发,把握光学现象的本质,明白光学的基本理论与基本分析方法,能运用光学原理解决实际工程问题,为信息的获取、传递、处理及应用等奠定理论基础。

在本书的编写过程中,对物理光学的教学内容、层次结构、知识的系统性与连贯性等方面均做了认真的研究与探讨。本书主要阐述光的本性和光学基本原理及其应用,探讨运用波的叠加和传播的关系分析干涉、衍射、偏振、旋光等现象,并注重介绍最新光学科技成果及其应用。在知识结构上,以“波的叠加和传播”为主线,以“相位差”为纽带分析光波叠加的共性,阐明物理光学基本原理。本书注重“以主线为纲,抓事物本质”,主线贯穿于课程主要内容中,各章节内容按主线展开,在叙述上由浅入深、循序渐进,强调数学与物理规律的结合,保持共性、突出个性、融会贯通,形成一个统一的整体,既保持了物理光学知识结构的完整性和独立性,又体现了知识的连贯性,并突出其在光信息科学中的特色。本书还选编了部分例题和习题,并在书后附有参考答案,便于学生自学和复习。

本书由张洪欣、纪延俊、车树良编写。在编写过程中得到了北京邮电大学电子工程学院和滨州学院光电工程系的大力支持,在此一并表示诚挚的感谢。

由于编者学识有限,加之时间仓促,书中难免存在一些疏漏和不足,恳请广大读者不吝斧正。

编 者

2015年7月

于北京邮电大学

目录

CONTENTS

绪论	1
第 1 章 光的电磁理论	4
1.1 电磁波谱及电磁场基本方程	4
1.1.1 电磁波谱	4
1.1.2 电磁场基本方程	5
1.2 光波在各向同性介质中的传播	8
1.2.1 波动方程	8
1.2.2 平面波的特性及参量	9
1.2.3 球面波和柱面波	12
1.3 光波在介质界面上的反射和折射	14
1.3.1 反射定律、折射定律	14
1.3.2 菲涅耳公式	15
1.3.3 反射率和透射率	18
1.3.4 全反射与全反射临界角	19
1.4 光波场的频率谱	22
1.4.1 光波场的时间频率谱	22
1.4.2 光波场的空间频率谱	26
1.4.3 光波场的频率谱	28
例题	28
习题	30
第 2 章 光的干涉	32
2.1 光干涉的条件	32
2.1.1 光的干涉现象	32
2.1.2 产生光干涉的条件	33
2.1.3 从普通光源获得相干光的方法	34
2.2 双光束干涉	35
2.2.1 分波面双光束干涉	35
2.2.2 分振幅双光束干涉	38
2.3 多光束干涉	43
2.3.1 平行平板的多光束干涉	43
2.3.2 多光束干涉条纹的特性	45

2.4	光学薄膜	48
2.4.1	单层光学薄膜	48
2.4.2	多层光学薄膜	50
2.5	典型的干涉仪及其应用	53
2.5.1	迈克耳逊干涉仪	53
2.5.2	马赫-泽德干涉仪	54
2.5.3	法布里-珀罗干涉仪	55
2.6	光的相干性	57
2.6.1	光的空间相干性	57
2.6.2	光的时间相干性	60
	例题	62
	习题	66
第3章	光的衍射	71
3.1	光的衍射现象	71
3.2	惠更斯-菲涅耳原理	71
3.2.1	惠更斯原理	71
3.2.2	惠更斯-菲涅耳原理分析	72
3.2.3	基尔霍夫衍射公式	73
3.2.4	巴比涅原理	75
3.2.5	衍射系统的讨论	75
3.3	典型孔径的夫琅禾费衍射	76
3.3.1	衍射系统及透镜对衍射系统的作用	76
3.3.2	矩孔衍射	77
3.3.3	夫琅禾费单缝衍射	80
3.3.4	夫琅禾费圆孔衍射	81
3.3.5	傅里叶变换相移定理	83
3.4	光学成像系统的衍射和分辨率	83
3.4.1	像平面的夫琅禾费衍射	83
3.4.2	成像系统的分辨率	84
3.5	夫琅禾费多缝衍射	86
3.5.1	夫琅禾费双缝衍射	86
3.5.2	夫琅禾费多缝衍射	87
3.6	衍射光栅	91
3.6.1	光栅的分光性能	91
3.6.2	平面定向光栅(闪耀光栅)	93
3.7	菲涅耳衍射	94
3.7.1	菲涅耳半波带	94
3.7.2	菲涅耳衍射	95
3.7.3	夫琅禾费单缝衍射的半波带法	99
3.7.4	直线传播、衍射及干涉的关系	100
3.8	全息照相	101

例题	103
习题	105
第 4 章 光的偏振和晶体光学基础	108
4.1 光波的偏振特性	108
4.1.1 光波的偏振态	108
4.1.2 完全偏振光的三种形式	110
4.1.3 反射光和折射光的偏振态	112
4.2 光通过单轴晶体时的双折射现象	114
4.3 光在晶体中的波面	116
4.4 光在晶体中的传播方向	117
4.4.1 单轴晶体的主折射率	117
4.4.2 单轴晶体内 o 光与 e 光的传播	117
4.5 偏振元件	120
4.5.1 二向色性与偏振片	120
4.5.2 偏振元件介绍	120
4.5.3 波片(相位延迟器)	124
4.5.4 补偿器	126
4.6 偏振的矩阵表示	127
4.6.1 偏振光的矩阵表示	127
4.6.2 正交偏振	129
4.6.3 偏振元件的矩阵表示	130
4.7 偏振态的获得及实验检验	133
4.7.1 偏振态的获得	133
4.7.2 5 种偏振态的检验	136
4.8 偏振光的干涉	137
4.8.1 偏振光干涉原理	137
4.8.2 会聚偏振光的干涉	139
4.8.3 椭偏仪的基本原理	141
4.9 光弹效应和电光效应	144
4.9.1 光弹效应	144
4.9.2 电光效应	146
4.10 声光效应	151
4.11 旋光现象	153
4.11.1 旋光现象及其物理解释	153
4.11.2 磁致旋光	155
4.11.3 量糖术	155
例题	156
习题	158
第 5 章 光的吸收、散射和色散	161
5.1 光与物质相互作用的经典理论	161
5.2 光的吸收	163

5.2.1	光的吸收规律	163
5.2.2	吸收光谱	164
5.3	光的散射	165
5.3.1	散射的特点	165
5.3.2	瑞利散射	166
5.3.3	散射光的偏振状态	166
5.3.4	散射光的强度	167
5.3.5	分子散射	168
5.3.6	喇曼散射	168
5.4	光的色散	169
5.4.1	色散的特点	169
5.4.2	正常色散	170
5.4.3	反常色散	171
	例题	172
	习题	173
第 6 章	光的量子性	174
6.1	热辐射与基尔霍夫定律	174
6.2	黑体辐射	175
6.2.1	黑体与斯忒藩-玻尔兹曼定律	175
6.2.2	维恩位移定律	176
6.2.3	维恩公式和瑞利-金斯公式	177
6.3	普朗克公式和能量子假设	177
6.4	光电效应	179
6.4.1	光电效应及其实验规律	179
6.4.2	光电效应同波动理论的矛盾	179
6.5	光电效应的量子解释	179
6.5.1	爱因斯坦的光子假设及其光电方程	179
6.5.2	对光电效应的量子解释	180
6.5.3	光子的质量和动量	180
6.6	康普顿效应	181
6.7	德布罗意波	183
6.8	波粒二象性	184
	例题	185
	习题	186
第 7 章	现代光学基础	189
7.1	原子发光的机理	189
7.1.1	玻尔氢原子模型	189
7.1.2	能级图	190
7.1.3	原子发光机理	190
7.2	光与原子相互作用	190
7.2.1	吸收	191

7.2.2	自发辐射	191
7.2.3	受激辐射	191
7.2.4	吸收、自发辐射和受激辐射三系数之间的关系	192
7.3	粒子数反转	192
7.3.1	受激辐射与吸收	192
7.3.2	能实现粒子数反转的物质	193
7.4	光振荡	195
7.4.1	受激辐射与自发辐射	195
7.4.2	光学谐振腔	195
7.4.3	稳定谐振腔结构	196
7.4.4	光振荡的阈值条件	197
7.5	激光的单色性	198
7.5.1	谱线宽度	198
7.5.2	谐振腔的共振频率	199
7.5.3	激光的单色性	199
7.6	激光的相干性	200
7.6.1	谐振腔光波衍射的影响	200
7.6.2	激光的相干性	201
7.7	傅里叶光学简介	202
7.8	非线性光学基础	204
7.8.1	非线性光学现象	204
7.8.2	激光倍频技术	205
7.8.3	激光自聚焦	205
	例题	206
	习题	207
	习题答案	209
	参考文献	214

绪 论

光学的任务是研究光的本性,揭示光的辐射、传播和接收规律,明确光和其他物质的相互作用,以及开展光学在科学技术方面的应用。物理光学可以分为波动光学和量子光学两部分。波动光学将光看作是一种波动,能够说明光的干涉、衍射和偏振等现象;量子光学则是以光和物质相互作用时显示出的粒子性为基础来研究光学。光学是物理学中最古老的一门基础学科,又是当前科学领域中最活跃的研究前沿阵地之一,在光通信、光学材料与器件、先进光学系统设计、制造与检测技术等领域具有强大的生命力和不可估量的发展前途。

在公元前 4 世纪,我国就对光学有了比较深刻的认识,例如《墨经》就总结出了一些光学规律,并论述了针孔成像、平面镜成像和投影规律。17 世纪末,英国科学家牛顿提出了“光的微粒说”,可以解释观察到的许多光学现象,如光的线性传播、反射与折射等。笛卡儿也是 17 世纪支持微粒说的自然科学家之一,折射定律最早就是由笛卡儿于 1637 年公布于世的。他认为光是一种粒子,并且在光密介质中比在光疏介质中的传播速度要快。在同一年代,荷兰科学家惠更斯创建了“光的波动说”,并假定光振动是在“以太”中传播的。但当时由于人们受牛顿学术威望的影响,波动说历时一个多世纪都未被重视。当时的波动说,只认识到光线在遇到棱角之处会发生弯曲,而并不能说明光的本质。1801 年,英国科学家杨格用双缝实验(杨氏双缝干涉实验)显示了光的干涉现象,说明了惠更斯波动说的正确性,奠定了光的波动性的基础。同样,有关光线绕射现象的发现,也说明了波动说的真实性。

1808 年,法国科学家马吕斯发现了光在反射时的偏振现象。1809 年,英国科学家阿喇戈又发现了光偏振面的旋转现象。这些现象虽然能够支持波动说,但却与光是弹性纵波的假设相矛盾。1817 年,杨格提出了光是横波的假设,这与关于偏振现象的解释相吻合。1846 年,英国科学家法拉第发现了光的偏振面能够在磁场中偏转,进一步指出了光学现象和磁学现象的联系。1865 年,英国物理学家麦克斯韦提出光是电磁波的概念,首次把光纳入电磁波的一个频段。1887 年,美国科学家迈克尔逊在干涉仪测量实验中否定了“以太”的存在,也否定了弹性波动学说。1888 年,德国科学家赫兹用实验证实了电磁波的存在,并测定了电磁波的速度与光的速度相同,进一步证实了光是电磁波的论断,并验证了麦克斯韦的电磁理论。同时,物理光学也能在这个基础上解释光在传播过程中与物质发生相互作用时的部分现象,如吸收、散射和色散等,并且获得了一定的成功。20 世纪初期,人们又发现当光线投射到某些金属表面时,会使金属表面释放电子的现象,此现象称为“光电效应”,但其实验结果却违反波动说的解释。这说明,光的电磁理论并不能解释光和物质相互作用的一

些现象,如光电效应,还有康普顿效应及各种原子和分子发射的特征光谱的规律等。在这些现象中,光表现出粒子性。1900年,德国科学家普朗克提出了“量子论”。1905年,瑞士籍德国科学家爱因斯坦用量子论解释了光电效应,并通过光电效应建立了光子学说,他认为光波的能量应该是“量子化”的。辐射能量是由许许多多分立能量元组成的,这种能量元被称为“光子”。光电效应和康普顿效应,使人们不得不承认光的粒子性,而干涉和衍射现象又使人们不能否定光的波动性。1909年,爱因斯坦首次提出光的“波粒二象性”,把光的两重性质,即波动性和微粒性联系起来。

1925年,玻恩提出了对波粒二象性的统计解释,在理论上将光的波动性和粒子性联系起来。这种统计的观点,统一了粒子和波动的概念。后来进一步的实验表明,电子、质子、中子、原子等物质粒子都具有波动性。1926年,奥地利物理学家薛定谔创立了波动力学理论,与1925年德国物理学家海森伯、波恩创立的矩阵力学理论异曲同工,都描述了电子的运动规律,称为量子力学。建立在量子力学基础之上,将波粒二象性统一地反映出来的理论是量子电动力学。

1948年全息术的提出、1955年光学传递函数的建立和1960年激光的诞生是现代光学发展史中的三件大事。尤其以激光的诞生为标志,古老的光学又重新焕发青春。光学与许多科学技术领域紧密结合,形成了一批新的分支学科:光学薄膜的研究和薄膜技术的发展形成了薄膜光学;将集成电路的概念和方法引入光学领域形成了集成光学等新的学科;激光技术的发展,出现了非线性光学、现代光学仪器等;光学和加工技术相结合出现了现代光学制造工程;数学、通信理论和光的衍射相结合形成了傅里叶光学,并由此出现了光学信息处理、光学传递函数、光学全息术等热点研究领域;对光导纤维的研究,出现了纤维光学或导波光学,导致了光纤通信的飞速发展。进入20世纪80年代以来,光信息科学技术与通信、计算机、集成电路、微电子、光电控制与检测技术等相互促进、迅猛发展。非线性光学、信息光学及集成光学等理论与技术的结合可能会导致新一代计算机——光计算机的诞生。光计算机的信息处理能力十分强大,据预测它将部分实现人脑的功能,如学习和联想等。

随着信息光电子技术、激光加工技术、激光与生物医学工程、全息技术、光电传感与显示技术等技术的应用和发展,以及与数字多媒体、机电技术等领域的融合与渗透,光电子产业发展相当迅猛。体现在如下五个方面。

(1) 光电子材料、光电元器件及激光器件

从光电子材料发展的重点来看,光电子材料主要包括:高功率、可调谐、半导体激光器泵浦和新波长激光晶体等,超高亮度发光二极管(LED)、激光二极管(LD)用的GaAs, GaP, GaN基外延材料等,显示器用的液晶材料等,非零色散位移光纤及大尺寸光纤预制棒等。我国在光电子器件的芯片材料研究方面已达到实用化。

从光电元器件发展的重点来看,光电元器件主要包括:光学仪器、光电检测仪器、光学遥感遥测仪器、机器视觉、光学检测和测量、夜视和侦察、高分辨率成像卫星、侦察相机、高灵敏探测器平面阵列、快速三维模型测量、计量学、光学传感器等。

激光器件及应用包括:激光器件设计与制作、激光加工、激光全息、激光医疗仪器、激光测距、激光雷达、激光跟踪、激光制导、光学陀螺仪、交通控制系统、光导航设备与系统、目标指示器、干扰发射机和通信设备等。

(2) 光通信与光纤传感器件

光通信与光纤传感器件的研究方向主要包括：光纤光缆、光电子材料、集成光电子器件、光电元器件、光纤通信器件、光纤传感器件、光纤激光器、光端机、光纤通信设备、光纤数据传输设备、光纤陀螺仪、相控阵雷达、光纤地面和卫星通信系统等。

(3) 光信息输入与全息光存储

随着计算机、互联网技术和数字媒体技术的发展，扫描仪、打印机、复印机、传真机和数码相机，以及 CD-ROM、CD-RW 和 DVD-ROM 等产品，迅速地进入了人们的生活和工作中。各种新型的办公、娱乐类光电产品将成为 21 世纪人们生活中的必需品。

数码相机产业主要包括：彩色显示器、专用 IC、高性能球面镜片及印表机、碳粉等。扫描仪产品也向着多功能复合应用方向发展。

在各种未来高密度光存储技术中，全息光存储以其具有的高存储容量、高存储密度、高信息存储冗余度和超快存取速度等优点一直为人们所重视。近来，日本 Optware 公司和美国 Inphase 公司相继推出全息光盘存储系统的样机，标志着光电子产业向全息光存储的实用化和产业化迈出了重要的一步。

(4) 光显示材料与设备

光显示材料与设备主要包括：液晶显示器(LCD)、等离子体显示器(PDP)、LED、真空荧光显示(VFD)、有机发光二极管(OLED)、场发射(FED)等。

在 LCD 方面，我国已能生产满足温度低阈值等特殊要求的液晶材料，国内薄膜晶体管(TFT)用的液晶材料仍处于实验室研制阶段。不久，薄膜晶体管液晶显示器将在家电、计算机、数码相机、手机等行业得到广泛应用。中国正在成为全球传统 LED 的生产加工供应基地之一。蓝色发光二极管已在我国研制成功。我国在 PDP、VFD、OLED、FED 等方面均取得重大进展。

(5) 红外与能源技术

随着工业自动化的发展以及技术安保体系的建立，红外测温仪、热像仪和热电视等产品得到迅速发展。高亮度高效金属卤化物灯、硫二聚物灯和发光二极管(LED)光源也将逐步取代白炽灯，实现照明上的革命。

能源是现代社会存在和发展的基石。随着全球经济的快速发展，石化能源供应日趋紧张，通过使用太阳能等新能源，可以降低能耗和污染物，节省空间。目前，太阳能光伏发电技术发展迅速，太阳能在新能源中所占的比例也越来越高。

19 世纪 60 年代,麦克斯韦建立了著名的电磁理论,预言了电磁波的存在,并指出光是一种电磁波,即波长较短的电磁波。1888 年,赫兹通过实验证实了电磁波的存在,并测定了电磁波的速度与光速相同,进一步证实了光是电磁波的论断。后来的实践又证明,红外线、紫外线和 X 射线等也都是电磁波,其区别只是波长不同而已。光的电磁理论描述了光在传播过程中的波动特性。本章基于光的电磁理论,介绍光波的基本特性、光在各向同性介质中的传播特性、光在介质分界面上的反射和折射特性,以及光波的数学描述。

1.1 电磁波谱及电磁场基本方程

1.1.1 电磁波谱

从波动观点出发,光可以被看作特定波段的电磁波。将电磁波按其频率或波长排列成谱,则构成电磁波谱,如图 1-1 所示。它覆盖了从 γ 射线到无线电波的一个相当广阔的频率范围。光学波段波长范围为 $1\text{nm}\sim 1\text{mm}$ (频率范围为 $10^{12}\sim 4\times 10^{16}\text{Hz}$, $1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$)。但是可见光只占电磁波谱中一个很窄的谱带,在真空中的波长范围为 $380\sim 760\text{nm}$,相应的频率范围为 $(4\sim 8)\times 10^{14}\text{Hz}$ 。

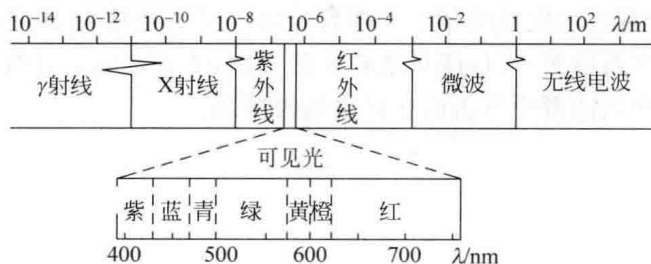


图 1-1 电磁波谱

一般光学波段,除可见光外,还包括波长小于紫光波的紫外线和波长大于红光波的红外線。红外线、可见光和紫外线通常又可以分为下列波段:

$$\text{红外线}(0.76\mu\text{m}\sim 1\text{mm}) \begin{cases} \text{远红外}(20\mu\text{m}\sim 1\text{mm}) \\ \text{中红外}(1.5\sim 20\mu\text{m}) \\ \text{近红外}(0.76\sim 1.5\mu\text{m}) \end{cases}$$