

光学 教程

叶玉堂
饶建珍
肖峻
等
编著



清华大学出版社

叶玉堂 饶建珍 肖峻 等 编著

光学教程

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本教程以物理光学和应用光学为主体内容。第1~3章为应用光学部分,介绍了几何光学基础知识和光在光学系统中的传播和成像特性,还特别介绍了激光系统和红外系统;第4~8章为物理光学部分,讨论了光在各向同性介质、各向异性介质中的传播规律,光的干涉、衍射、偏振特性及光与物质的相互作用,同时,还介绍了密集波分复用技术、双光子吸收、拉曼放大、光学孤子等相关领域的应用和进展;第9章则专门介绍航天光学遥感、自适应光学、红外与微光成像、瞬态光学、光学信息处理、微光学、单片光电集成等光学新技术。

本书可作为光电子技术专业、电子科学与技术专业及光学工程专业本科生的专业基础教材,也可作为有关专业师生和科技人员的参考书。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

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。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

光学教程/叶玉堂,饶建珍,肖峻等编著. —北京:清华大学出版社,2005.8

ISBN 7-302-11461-7

I. 光… II. ①叶… ②饶… ③肖… III. 光学—高等学校—教材 IV. O43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 083769 号

出版者:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦
http://www.tup.com.cn 邮 编:100084
社总机:010-62770175 客户服务:010-62776969

责任编辑:冯 昕

印刷者:北京密云胶印厂

装订者:北京市密云县京文制本装订厂

发行者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×230 印张:32.5 字数:688千字

版 次:2005年8月第1版 2005年8月第1次印刷

书 号:ISBN 7-302-11461-7/O·482

印 数:1~3000

定 价:48.00元



本书是为光电子、电子科学与技术、光学工程等专业本科生的专业基础课“物理光学”与“应用光学”编写的教材。该课程可安排 90 个学时,其中物理光学部分约 60 个学时,应用光学部分约 30 个学时。本书以光的电磁理论为理论基础,以物理光学和应用光学为主体内容,着重讲授光在各向异性介质、各向同性介质中的传播规律,光的干涉、衍射、偏振特性,光的吸收、色散和散射,在介绍基础理论的同时,注意介绍了密集波分复用技术、双光子吸收、拉曼放大、光学孤子等相关领域的应用及进展,力图反映最新科技成果。为扩大学生知识领域,书中专辟一章(第 9 章),着力介绍了航天光学遥感、自适应光学、红外与微光成像、瞬态光学、光学信息处理、微光学、单片光电集成等光学新技术。为适应学生自学的需要,第 1 至 8 章选编了部分例题和习题,并在书后附有参考答案。

本书由饶建珍编写第 1、2、3、6 章,并负责全书各章的内容衔接;肖峻编写第 4、5 章和第 8 章的部分内容;杨春平编写第 7 章和第 8 章的部分内容;吴云峰编写第 9 章;王昱琳编写习题和答案;李春花编制部分图表并校阅部分书稿。叶玉堂统编全稿,并负责全书的内容编排尤其是相关新技术和前沿进展方面的内容组织。

要特别提及的是,母国光、姜文汉、苏君红、薛鸣球等几位院士为本书提供了光学信息处理、自适应光学、红外热成像、航天光学遥感等方面的文献、资料。本书第 9 章就是根据这些文献、资料中的相关内容整理、编写而成。编者谨此向几位院士的帮助和支持表示最真诚的谢意!

由于编者学识有限,加之时间仓促,书中难免出现缺点、错误或疏漏,恳请广大读者不吝指正。

编者

2005 年 2 月

于电子科技大学



第一篇 应用光学

第 1 章 几何光学基础	3
1.1 几何光学的基本定律	3
1.1.1 发光点、光线和光束	3
1.1.2 几何光学的基本定律	4
1.1.3 全反射	5
1.1.4 费马原理	6
1.2 物像基本概念	7
1.2.1 光学系统与完善像概念	7
1.2.2 物和像的概念	8
1.3 球面和球面系统	9
1.3.1 符号法则	9
1.3.2 实际单个折射球面的光路计算	10
1.3.3 单个折射球面近轴光线的光路计算	12
1.3.4 物平面以细光束经折射球面的成像	15
1.3.5 球面反射镜	17
1.3.6 共轴球面系统	19
1.3.7 透镜	21
1.4 平面与平面系统	23
1.4.1 平面反射镜	23
1.4.2 平行平板	26
1.4.3 反射棱镜	28
1.4.4 折射棱镜	32

1.4.5	光楔	33
1.5	光学材料	34
	例题	37
	习题	39
第2章	理想光学系统	42
2.1	理想光学系统的基本特性、基点和基面	42
2.1.1	理想光学系统的基本特性	42
2.1.2	理想光学系统的基点和基面	43
2.2	理想光学系统的物像关系	45
2.2.1	图解法求像	45
2.2.2	解析法求像	46
2.3	理想光学系统的放大率	48
2.3.1	放大率	48
2.3.2	节点和节平面	49
2.3.3	用平行光管测定焦距的原理	51
2.4	理想光学系统的组合	52
2.4.1	双光组组合	52
2.4.2	多光组组合	55
2.5	单透镜	57
2.5.1	单个折射球面的主点	57
2.5.2	单透镜的基点与基面	58
2.5.3	薄透镜和薄透镜组	61
2.6	光学系统中的光束限制	62
2.6.1	光阑及其作用	62
2.6.2	孔径光阑、入射光瞳和出射光瞳	63
2.6.3	视场光阑	65
2.6.4	渐晕光阑、入射窗和出射窗	65
2.6.5	光学系统的景深	67
2.6.6	远心光路	70
2.7	像差概述	72
2.7.1	轴上点球差	72
2.7.2	单色光轴外像差	73
2.7.3	色差	78

2.8	波像差	80
2.9	矩阵运算在几何光学中的应用	81
2.9.1	近轴光的矩阵表示	82
2.9.2	物像矩阵	83
2.9.3	用高斯常数表示系统的基点位置和焦距	85
2.9.4	薄透镜系统的矩阵运算	86
	例题	88
	习题	91
第3章	光学仪器的基本原理	94
3.1	眼睛	94
3.1.1	眼睛的结构	94
3.1.2	眼睛的调节	96
3.1.3	眼睛的缺陷和校正	97
3.1.4	眼睛的分辨率	98
3.2	放大镜	98
3.2.1	放大镜的放大率	99
3.2.2	放大镜的光束限制和视场	100
3.3	显微镜	101
3.3.1	显微镜的成像原理	101
3.3.2	显微镜中的光束限制	103
3.3.3	显微镜的分辨率和有效放大率	104
3.3.4	显微物镜	106
3.4	望远镜	107
3.4.1	望远镜的一般特性	107
3.4.2	望远物镜	110
3.4.3	望远镜目镜	111
3.4.4	望远系统外形尺寸的计算	117
3.5	摄影系统	118
3.5.1	摄影物镜的光学特性	118
3.5.2	摄影物镜的景深	120
3.5.3	摄影物镜的类型	121
3.6	现代光学系统	122
3.6.1	激光光学系统	122

3.6.2 傅里叶变换光学系统.....	128
3.6.3 线性成像物镜.....	131
习题.....	133

第二篇 物理光学

第4章 光的电磁理论	137
4.1 电磁波谱 电磁场基本方程.....	137
4.1.1 电磁波谱.....	137
4.1.2 电磁场基本方程.....	138
4.2 光波在各向同性介质中的传播.....	141
4.2.1 波动方程.....	141
4.2.2 时谐均匀平面波.....	143
4.3 光波的偏振特性.....	150
4.3.1 光波的偏振态.....	150
4.3.2 椭圆偏振、线偏振和圆偏振.....	152
4.4 光波在介质界面上的反射和折射.....	154
4.4.1 反射定律、折射定律.....	154
4.4.2 菲涅耳公式.....	156
4.4.3 反射率和透射率.....	160
4.4.4 全反射与临界角.....	164
4.5 光波场的频率谱.....	168
4.5.1 光波场的时间频率谱.....	168
4.5.2 光波场的空间频率谱.....	173
4.6 球面光波和柱面光波.....	176
4.6.1 球面光波.....	176
4.6.2 柱面光波.....	177
例题.....	178
习题.....	181
第5章 光的干涉	184
5.1 光干涉的条件.....	184
5.1.1 光的干涉现象.....	184

5.1.2	光干涉的条件	185
5.1.3	从普通光源获得相干光的方法	188
5.2	双光束干涉	189
5.2.1	分波面双光束干涉	189
5.2.2	分振幅双光束干涉	193
5.3	多光束干涉	200
5.3.1	平行平板的多光束干涉	200
5.3.2	多光束干涉条纹的特性	202
5.4	光学薄膜	208
5.4.1	单层光学薄膜	208
5.4.2	多层光学薄膜	210
5.4.3	光学薄膜的应用	214
5.4.4	高反射率的测量	217
5.5	典型的干涉仪及其应用	219
5.5.1	迈克耳孙干涉仪	219
5.5.2	马赫-曾德尔干涉仪	221
5.5.3	法布里-珀罗干涉仪	222
5.6	光的相干性	227
5.6.1	光的空间相干性	227
5.6.2	光的时间相干性	232
	例题	235
	习题	238
第6章	光的衍射	243
6.1	光的衍射现象	243
6.2	衍射的基本原理	244
6.2.1	惠更斯-菲涅耳原理	244
6.2.2	基尔霍夫衍射公式	246
6.2.3	衍射的巴比涅原理	250
6.3	夫琅禾费衍射	250
6.3.1	夫琅禾费衍射装置	250
6.3.2	矩孔衍射	251
6.3.3	单缝衍射	255
6.3.4	圆孔衍射	256

6.4	光学成像系统的衍射和分辨本领	259
6.4.1	在像面观察的夫琅禾费衍射	259
6.4.2	成像系统的分辨率	261
6.5	夫琅禾费多缝衍射	264
6.5.1	强度分布公式	264
6.5.2	多缝衍射的特点与图样	266
6.6	衍射光栅	270
6.6.1	光栅的分光性能	270
6.6.2	闪耀光栅	273
6.6.3	波导光栅	275
6.7	菲涅耳衍射	278
6.7.1	菲涅耳波带法及圆孔、圆屏菲涅耳衍射	278
6.7.2	菲涅耳波带片	282
6.7.3	菲涅耳直边衍射	285
6.8	全息术	290
6.8.1	全息术的原理	291
6.8.2	全息术的特点	293
6.8.3	全息术的应用	293
	例题	296
	习题	299

第7章	晶体光学	302
7.1	介电张量	302
7.1.1	各向异性介质的介电张量	302
7.1.2	介电张量的对称性	304
7.2	单色平面波在晶体中的传播	306
7.2.1	相速度和光线速度	306
7.2.2	菲涅耳公式	309
7.3	单轴晶体和双轴晶体的光学性质	311
7.3.1	晶体的光学分类	311
7.3.2	光在各向同性介质中的传播	312
7.3.3	光在单轴晶体中的传播	313
7.3.4	光在双轴晶体中的传播	317
7.4	晶体光学性质的图形表示	318

7.4.1	折射率椭球·····	318
7.4.2	折射率曲面和波矢曲面·····	322
7.5	平面波在晶体表面的反射和折射·····	326
7.5.1	光在晶体界面上的双反射和双折射·····	326
7.5.2	光在晶体界面上的全反射·····	328
7.5.3	斯涅耳作图法·····	329
7.6	偏振器和补偿器·····	332
7.6.1	偏振器·····	332
7.6.2	波片·····	338
7.6.3	补偿器·····	341
7.7	偏振光和偏振器件的琼斯矩阵·····	342
7.7.1	偏振光的矩阵表示·····	343
7.7.2	正交偏振·····	345
7.7.3	偏振器件的矩阵表示·····	346
7.7.4	琼斯矩阵的本征矢量·····	350
7.8	偏振光的干涉·····	351
7.8.1	平行偏振光的干涉·····	351
7.8.2	会聚光的偏光干涉·····	354
7.9	电光效应·····	357
7.9.1	克尔效应和泡克尔效应·····	357
7.9.2	电光张量·····	357
7.9.3	KDP晶体的线性电光效应·····	359
7.9.4	KDP晶体的纵向泡克尔效应·····	360
7.9.5	横向泡克尔效应·····	363
7.9.6	电光效应的应用·····	364
7.10	声光效应·····	369
7.10.1	声光衍射·····	369
7.10.2	拉曼-奈斯声光衍射·····	370
7.10.3	布拉格衍射·····	371
7.10.4	声光效应的应用·····	373
7.11	旋光现象·····	375
7.11.1	旋光现象的观察和规律·····	375
7.11.2	旋光现象的解释·····	377

7.12	磁致旋光效应	379
7.12.1	法拉第效应	379
7.12.2	法拉第效应的应用	381
	例题	383
	习题	388
第8章	光的吸收、色散和散射	391
8.1	光与物质相互作用的经典理论	391
8.1.1	经典理论的基本方程	392
8.1.2	介质的复折射率	393
8.2	光的吸收	396
8.2.1	光吸收定律	396
8.2.2	一般吸收与选择吸收	397
8.2.3	吸收光谱	399
8.2.4	双/多光子吸收与场致吸收	400
8.3	光的色散	403
8.3.1	正常色散与反常色散	404
8.3.2	光孤子	406
8.4	光的散射	407
8.4.1	线性散射	408
8.4.2	非线性散射	413
	例题	417
	习题	418
第9章	现代光学技术简介	420
9.1	航天光学遥感	420
9.1.1	航天光学遥感技术的基本概念	420
9.1.2	航天光学遥感设备的光学系统	423
9.1.3	航天光学遥感的发展	426
9.1.4	航天光学遥感的发展趋势	428
9.2	自适应光学	430
9.2.1	自适应光学概念	430
9.2.2	畸变波前的泽尼克多项式描述	430
9.2.3	自适应光学系统的组成和工作原理	432

9.2.4	自适应光学技术应用举例	437
9.2.5	自适应光学技术的研究进展	441
9.3	红外与微光成像	442
9.3.1	红外与微光成像的基本概念	442
9.3.2	红外热成像技术	443
9.3.3	微光成像技术	448
9.3.4	我国在光电子成像技术方面的研究	456
9.4	瞬态光学	456
9.4.1	高速摄影	456
9.4.2	超短脉冲激光技术	460
9.5	光学信息处理	462
9.5.1	光学信息处理的基本原理	462
9.5.2	光学信息处理的应用举例	465
9.5.3	空间光调制器	469
9.5.4	小结	472
9.6	微光学	472
9.6.1	微光学的基本概念	472
9.6.2	微光学元件和系统的设计	474
9.6.3	微光学元件加工技术	475
9.6.4	微光学元件的应用	483
9.6.5	我国在微光学方面的研究	486
9.7	单片光电集成	486
9.7.1	单片光电集成的概念	487
9.7.2	Si 基单片 OEIC	489
9.7.3	GaAs 基单片 OEIC	490
9.7.4	InP 基单片 OEIC	491
9.7.5	小结	494
习题答案		495
参考文献		502

第一篇 应用光学I

第 1 章 几何光学基础

从本质上讲,光是电磁波,它以波的形式传播。这已为光的干涉、衍射和偏振等现象所证明。按照这种理论,光的传播就是电磁波的传播。但仅用波动的观点来讨论光经透镜或光学系统的传播规律和成像问题将会造成计算和处理上的很大困难,在解决实际的光学技术问题应用不便。

按照近代物理的观点,光具有波粒二象性。如果只考虑光的粒子性,把光源或物体看成是由许多几何点组成,并把由这种点发出的光抽象成像几何线一样的光线,那么,只要按照光线的传播来研究这种点经光学系统的成像,问题就会变得非常简便和实用。这种撇开光的波动本性,仅以光的粒子性为基础来研究光的传播和成像问题的光学学科分支称为几何光学。

几何光学只是对真实情况的近似处理方法。尽管如此,按这种方法解决的有关光学系统的成像、设计和计算等光学技术问题,在大多数场合下都与实际情况相符。所以,几何光学有很大的实用意义。

1.1 几何光学的基本定律

1.1.1 发光点、光线和光束

1. 发光点

本身发光或被其他光源照明后发光的几何点称为发光点。当发光体(光源)的大小和其辐射作用距离相比可略去不计时,该发光体就可认为是发光点或点光源。在几何光学中,发光点被抽象为一个既无体积又无大小而只有位置的几何点,任何被成像的物体都是由无数个这样的发光点所组成的。

2. 光线

发光体向四周发出的带有辐射能量的几何线条称为光线。在几何光学中,光线被抽象为既无直径又无体积而只有位置和方向的几何线,它的方向代表光能的传播方向。物

理光学认为,在各向同性介质中,光沿着波面的法线方向传播,因此可以认为光波波面法线就是几何光学中的光线。

3. 光束

光线的集合称为光束。无限远处发光点发出的是平面波,对应于平行光束;有限远处发光点发出的是球面波,对应于会聚或发散光束;其光线既不相交于一点,又互不平行的光束称为像散光束,如图 1-1 所示。

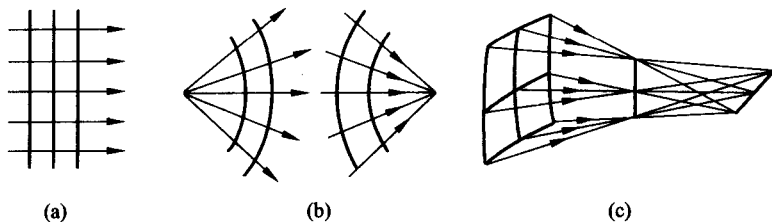


图 1-1 各种光束

(a) 平行光束; (b) 同心光束; (c) 像散光束

几何光学中的发光点、光线实际上是不存在的,只是一种假设。但是,利用它们可以把光学中复杂的能量传输和光学成像问题归纳为简单的几何运算问题,从而使所要处理的问题大为简化。

1.1.2 几何光学的基本定律

几何光学理论把光的传播归结为四个基本定律:光的直线传播定律、光的独立传播定律、反射定律和折射定律。这是我们研究光的传播和成像的基础。

1. 光的直线传播定律

在各向同性的均匀介质中,光线按直线传播,这就是光的直线传播定律。它是一种普遍存在的现象。该定律可以很好地解释影子的形成、日蚀、月蚀等现象,很多光学测量和光学仪器的应用也都以这一定律为基础。但该定律并不是在所有场合都正确,当光路中放置很小的不透明的障碍物或是小孔时,光的传播将偏离直线,这就是物理光学中所描述的光的衍射现象。可见,光的直线传播定律只有光在均匀介质中无阻拦地传播时才成立。

2. 光的独立传播定律

从不同光源发出的光线,以不同的方向通过空间某点时,彼此互不影响,各光线独立传播,这就是光的独立传播定律。利用这条定律,我们对光线传播情况的研究就可以大为简化,因为研究某一光线传播时,可不考虑其他光线的影响。

3. 光的反射定律和折射定律

当光传播到两种不同介质的理想光滑分界面时,继续传播的光线或返回原介质,或进