

高等院校光电类专业系列规划教材

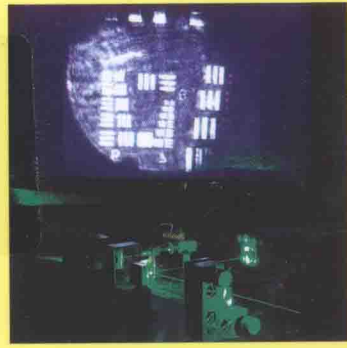
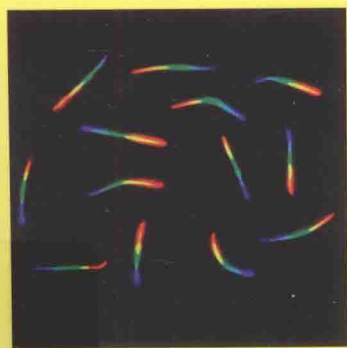
Optical Electronics

光电子学

刘旭 葛剑虹 李海峰 沈永行 何建军

[编著]

Bahaa E. A. Saleh Malvin Carl Teich



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

WILEY

高等院校光电类专业系列规划教材

光 电 子 学

刘 旭 葛剑虹 李海峰 沈永行 何建军

Bahaa E. A. Saleh Malvin Carl Teich

编著



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

光电子学 / 刘旭等编著. —杭州: 浙江大学出版社,
2014. 3
ISBN 978-7-308-12697-7

I. ①光… II. ①刘… 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(2014)第 001556 号

浙江省版权局著作权合同登记图字:11-2013-301 号

Adapted on the basis of the translation of *Fundamentals of Photonics*, 2nd Edition by
Bahaa E. A. Saleh & Malvin Carl Teich under Wiley's license (ISBN: 978-0-471-35832-9).
All Rights Reserved.

光 电 子 学

刘 旭 葛剑虹 李海峰 何建军 编著
Bahaa E. A. Saleh Malvin Carl Teich 编著



责任编辑 陈静毅(chenjingyi66@zju.edu.cn)
封面设计 续设计
出版发行 浙江大学出版社
(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)
(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 浙江时代出版服务有限公司
印 刷 富阳市育才印刷有限公司
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 21
字 数 485 千
版 印 次 2014 年 3 月第 1 版 2014 年 3 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-308-12697-7
定 价 43.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部联系方式 (0571) 88925591; <http://zjdxcs.tmall.com>

前 言

光电子学是研究光与电之间相互作用与转换的一门学科,属于物理学的一个学科分支。光或电子通过与物质的相互作用,形成光能与电能之间的相互作用与相互变换。光电子学涉及光与物质的相互作用规律、光与电之间的相互作用、光与电信号的转换、光电作用的各种器件工作原理、器件设计、系统应用等,是一门研究光电信息的产生、传输、探测、获取、显示、存储与处理的基础学科,也是一门在现代信息技术中具有极为重要作用的基础学科。光电子学的内容包括激光的产生与激光理论、半导体光器件、光电探测器、光的调制技术与器件、光通信器件、光显示与存储、非线性光学技术等几个部分。光电子学随着信息技术的发展而发展,是现代信息技术的基础理论知识之一。

随着人类社会进入信息时代,光与电子一道成为信息的基本载体,光电子学在现代信息技术中发挥越来越重要的作用,以光电子技术为基础的光电子产品极大地扩大了光学工程技术在人类生活中的作用,构成了现代光学产业的重要组成部分,极大地推进人类信息社会的发展。《光电子学》与《应用光学》、《物理光学》一道成为光学工程类学科的专业基础核心课程。

由于光电子技术起步于激光的出现,所以不少学校简单地采用《激光物理》与《激光技术》作为光电子学的主要课程。光通信技术出现后,由于光通信中采用了大量光电子技术及器件,所以有的学校将光纤通信与器件作为光电子学的主要内容。总之,《光电子学》在我国的高校光电信息类专业教学中一直存在课程内容不统一,以偏概全的现象。

随着国内设立光学工程专业的学校的增多,编撰一本内容规范的《光电子学》教材十分必要。结合浙江大学光电系光电信息工程专业多年的教学经验和科研成果,我们以国际著名的光子学教材——美国 CREOL 光学中心主任 Saleh 教授的 *Fundamentals of Photonics* (2nd ed.) 为蓝本,并邀请 Saleh 教授一起编撰《光电子学》。本书既是一本独立的教材,又可以与 Saleh 教授的 *Fundamentals of Photonics* (2nd ed.) 构成双语教材。

在 *Fundamentals of Photonics* (2nd ed.) 相关章节的基础上,我们按照光电子学的定义,以光与电之间相互作用与相互转换为主线,将光波传输基本原理、激光

原理与技术、半导体发光与光电器件、光信息的调制以及非线性光学几个部分编撰整合出较完整的光电子学的课程内容。本书既保持了 *Fundamentals of Photonics* (2nd ed.) 论述条理清晰、语言简朴易懂、理论推导逻辑性强的特点,又结合近年来光电子学的最新进展,增加每章的扩充阅读内容,充分体现时代特征。

本书在编撰过程中得到了浙江大学光电系很多研究生同学的帮助,他们不仅帮助绘制了大量的图片与公式,还帮助整理了文稿,衷心感谢所有参与编写的老师与同学!也感谢浙江大学出版社的编辑为本书出版所做的工作,没有他们的工作,就没有本书的出版。我们还要感谢 Saleh 教授,感谢他同意并支持我们在 *Fundamentals of Photonics* (2nd ed.) 的基础上编撰《光电子学》,从而把国际先进教学理念引进中国,使中国的学生获益。

由于本书在编写过程中时间有限,其中错误不可避免,敬请读者多多指正!

《光电子学》教材编写组

2014 年春节于西子湖畔

目 录

第 1 章 引 言

1.1 光电子学的研究内容	1
1.2 光电子学的发展简史	2
1.3 本书的总体结构	5
1.4 本章小结	6

第 2 章 光学谐振腔与高斯光束

2.1 矩阵光学简述	7
2.1.1 光学元件的传播矩阵	8
2.1.2 光学系统的传播矩阵	10
2.2 光学谐振腔基础	14
2.2.1 平面谐振腔	14
2.2.2 二维、三维谐振腔与模密度	18
2.2.3 球面谐振腔	20
2.3 高斯光束	21
2.3.1 高斯光束简述	22
2.3.2 高斯光束的特性	23
2.3.3 高斯光束经过光学系统的变换	29
2.3.4 球面谐振腔中的高斯光束	34
2.4 微型谐振腔	36
2.5 本章小结	40
习 题	40

第 3 章 导波光学

3.1 平面介质波导	43
3.2 波导光纤基础	46
3.2.1 光线的传播	47
3.2.2 光波的传播	49
3.2.3 单模光纤	55
3.2.4 保偏光纤	55
3.3 渐变折射率光纤	56

3.3.1	传导光波	58
3.3.2	传播常数与速度	61
3.4	光纤衰减与色散	63
3.4.1	衰 减	63
3.4.2	色 散	65
3.4.3	脉冲传播	69
3.5	光子晶体波导	71
3.6	本章小结	76
	习 题	76

第 4 章 光子光学

4.1	光 子	78
4.1.1	光子能量与不可分性	78
4.1.2	光子的位置	79
4.1.3	光子的动量	80
4.1.4	光子的偏振	82
4.1.5	光子的干涉	83
4.1.6	光子时间特性	84
4.2	光子流	84
4.2.1	平均光子通量	85
4.2.2	光子通量的随机性	87
4.2.3	光子数统计分布	87
4.2.4	光子流的随机分割	92
4.3	原子、分子和固体	94
4.3.1	能 级	94
4.3.2	热平衡下能级的占据	98
4.4	光子与原子的相互作用	100
4.4.1	光子与原子的作用	100
4.4.2	自发辐射	102
4.4.3	受激辐射和吸收	103
4.4.4	线形加宽	105
4.4.5	激光冷却和捕获原子	108
4.5	热 光	108
4.5.1	光子和原子之间的热平衡	108
4.5.2	黑体辐射谱	110
4.6	光子的吸收与散射	111
4.7	本章小结	114
	习 题	114

第 5 章 激光器机理

5.1 激光放大器	118
5.1.1 激光放大器的增益与相移	120
5.1.2 激光放大器的功率源	123
5.1.3 激光放大器的非线性与增益饱和	132
5.2 激光振荡理论	136
5.2.1 光学放大与反馈	136
5.2.2 激光振荡条件	137
5.3 激光输出特性	140
5.3.1 功率	140
5.3.2 激光的光谱分布	143
5.3.3 空间分布与偏振	146
5.3.4 选模	147
5.3.5 典型激光器的特性	150
5.4 脉冲激光器	151
5.4.1 脉冲激光器常用技术	151
5.4.2 瞬态效应分析	153
5.4.3 调 Q	155
5.4.4 锁模	158
5.5 光纤激光器概述	161
5.5.1 激光和光纤激光器简介	162
5.5.2 连续掺镱光纤激光器	162
5.5.3 调 Q 脉冲光纤激光器	163
5.6 本章小结	165
习 题	165

第 6 章 半导体的光电特性

6.1 半导体	170
6.1.1 能带和电荷载流子	170
6.1.2 半导体材料	173
6.1.3 电子和空穴浓度	176
6.1.4 载流子的产生、复合及注入	183
6.1.5 同质结	185
6.1.6 异质结	189
6.2 光子与电子、空穴的相互作用	190
6.2.1 带间吸收和发射	193
6.2.2 吸收率和发射率	196
6.2.3 折射率	201

6.3	本章小结	202
	习 题	202
第 7 章 半导体光电子器件		
7.1	发光二极管	205
	7.1.1 注入式电致发光	205
	7.1.2 LED 的特性	211
7.2	半导体激光器	218
	7.2.1 放大、反馈和振荡	218
	7.2.2 功 率	221
	7.2.3 光谱分布	224
	7.2.4 空间分布	225
	7.2.5 单频模式选择	226
	7.2.6 典型激光器的特征	227
7.3	光电二极管	228
	7.3.1 P-N 型光电二极管	228
	7.3.2 P-I-N 光电二极管	234
	7.3.3 异质结光电二极管	235
7.4	本章小结	235
	习 题	236
第 8 章 光的调制		
8.1	电光调制	238
	8.1.1 电光效应	238
	8.1.2 电光调制器	245
	8.1.3 液晶的电光调制	253
	8.1.4 光折变	261
8.2	声光调制	264
	8.2.1 声光效应	264
	8.2.2 光和声的相互作用	265
	8.2.3 声光器件	270
8.3	液晶显示技术	273
	8.3.1 平板式液晶显示	273
	8.3.2 液晶投影显示	276
8.4	本章小结	277
	习 题	277

第 9 章 非线性光学	
9.1 非线性光学介质	281
9.1.1 非线性波动方程	283
9.1.2 非线性光学的散射理论:玻恩近似	283
9.2 二阶非线性光学	284
9.2.1 二次谐波感生和校正	284
9.2.2 电光效应	286
9.2.3 三波混频	287
9.3 三阶非线性光学	290
9.3.1 三次谐波感生和自位相调制	291
9.3.2 四波混频	293
9.3.3 光学位相共轭	294
9.4 二阶非线性光学的耦合波理论	297
9.4.1 耦合波方程	297
9.4.2 均匀平面波的三波混频	299
9.4.3 简并三波混频	299
9.4.4 频率转换	302
9.4.5 参量放大和参量振荡	303
9.5 三阶非线性光学的耦合波理论	305
9.5.1 耦合波方程	305
9.5.2 简并四波混频	306
9.5.3 位相共轭	307
9.6 各向异性非线性介质	308
9.6.1 对称性	308
9.6.2 各向异性二阶非线性介质中的三波混频	309
9.6.3 三波混频中的位相匹配	309
9.7 非线性光学在量子信息中的应用	310
9.7.1 偏振纠缠光子对的制备	310
9.7.2 单光子态的制备	312
9.8 本章小结	313
习 题	313
附录 中英文词汇对照	315
参考文献	321

随着激光、通信与计算机技术的发展,人类进入信息时代,光与电子一起成为信息的基本载体。光的科学理论成为信息社会的关键知识之一,因为它是认识信息载体行为、制备各种信息器件以及构造信息系统、实现信息应用的基础。传统的光学理论(主要指应用光学与物理光学)以光波与光线成像理论为基本研究对象,在处理光波传播与经典成像领域具有极为重要的应用。但是在信息领域,人们研究更多的是光与物质的相互作用,以及携带信息的高品质光源——激光光源,涉及光信号的产生、光电信息的传输、光电信号之间的转换与探测等一系列理论与技术。因此,经典的波动光学与应用光学已经不能满足在信息技术中与信息的产生、传输、获取、处理及显示相对应的光电信息领域的理论和技术需求。随着高品质光源技术与光探测器技术的发展,特别是激光技术的发展,研究光电相互转换与光电之间相互作用的科学——“光电子学”孕育而生。光电子学是随着信息技术的发展自然形成的一门学科,是现代光学理论的基本组成部分,也是信息科学与技术领域的基本课程之一。

1.1 光电子学的研究内容

光电子学是研究光与电之间相互作用与转换的物理学的的一个学科分支,它主要通过光或电子与物质的相互作用,形成光能与电能之间的相互变换与相互作用,涉及光与物质的相互作用规律、光与电之间的相互作用、光与电信号的转换、光电作用的各种器件工作原理、器件设计、系统应用等,是一门研究光电信息的产生、传输、探测、获取、显示、存储与处理的基础学科,也是一门在现代信息技术中具有极为重要作用的基础学科。光电子学的内容包括激光的产生与激光理论、半导体光器件、光电探测器、光的调制技术与器件、光通信器件、光显示与存储、非线性光学技术等几个部分。

信息技术的基础就是信号的产生与传输,将信息加载在光波上进行可方便操控的远距离传输要求光波必须有极高的信息学性能与光学性能。从图 1-1-1 可以看到不同物质的发光光谱的区域分布。可见,要获得好的相干光源,不但涉及光学,而且大量涉及材料科学、半导体科学与技术、电子科学与技术等相关学科。因此光电子学不仅仅属于物理学的范畴,实际上与材料科学、电子科学与技术也有很大的关系,从某种程度上说,光电子学是一门交叉性的学科。

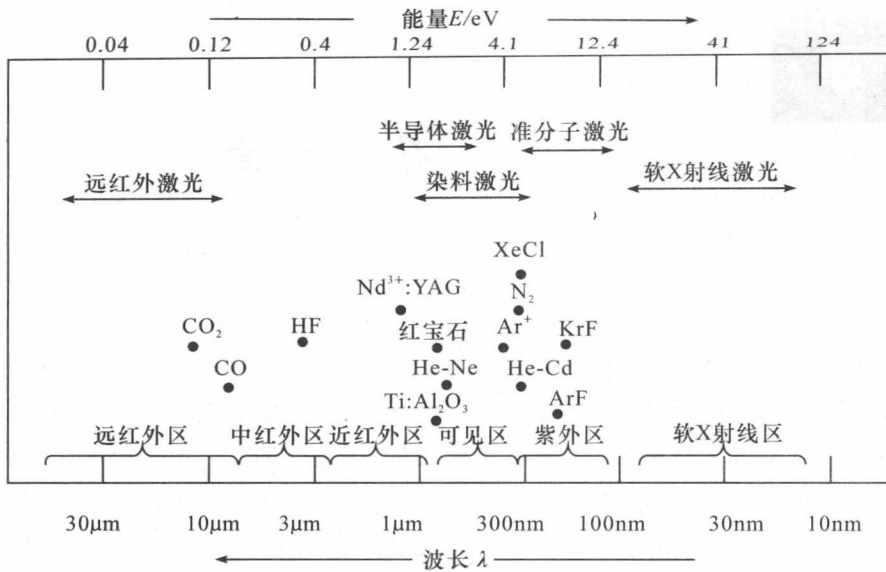


图 1-1-1 常见物质的发光光谱的区域分布

1.2 光电子学的发展简史

光电子学的形成历史可以追溯到 19 世纪后半叶,人们在建立电磁场理论的同时也逐步发现光与电之间的相互作用与转换。最著名的要数 1875 年英国科学家克尔(J. Kerr)发现的被后人称为克尔电光效应的电感应双折射变化现象,即晶体的电感应双折射折射率与电场二次方成正比现象。这个现象随后在 1893 年被普克尔(F. C. A. Pockels)研究发展为普克尔电光效应(Pockels electro-optic effect),该技术奠定了光信号产生——电光调制技术的基础。

1887 年,赫兹(M. Hertz)在做证实麦克斯韦的电磁理论的火花放电实验时,发现紫外光对锌的小球照射使放电变得容易,首先发现了光到电的转换现象——光电效应。1905 年,爱因斯坦在《关于光的产生和转化的一个启发性观点》一文中,用光量子理论对光电效应进行了全面的解释。这是人类第一次完整地认识光电效应,使光电之间的转换有了坚实的理论依据。

1917 年,爱因斯坦提出了“受激辐射”的概念,以及产生“受激辐射”的可能性,这为后来激光器的发明奠定了基础,因为激光就是受激放大辐射产生的光。受激辐射也是光电子学中最基本的原理之一,它的出现推动人类进入激光时代。

1951 年,陶恩斯(C. H. Townes)提出了受激放大辐射微波的概念,即激光的原型概念:微波激光器(microwave amplification by stimulated emission of radiation, Maser)。

1954 年,陶恩斯和其研究生高登(J. P. Gordon)以及翟葛(H. J. Zeiger)制备出第一台微波激光器。

与此同时,苏联科学家巴索夫(N. Basov)和珀罗克霍洛夫(A. Prokhorov)也独立开展量子振荡研究并利用多能级系统解决了连续输出的问题,制备出了微波激光器。1955 年,

珀罗克霍洛夫和巴索夫建议采用光泵多能级系统以得到粒子数反转,这也成为后来激光泵浦的基本条件。

1958年,肖洛(A. L. Schawlow)和陶恩斯在理论上论证了在光学与红外波段实现激光的可能性,他们在1958年的《物理评述》期刊上发表了题为 *Infrared and Optical Masers* 的文章,完整地提出了激光的概念。1960年,他们获得了激光的发明专利。

“为了表彰他们在量子电子基础研究方面的突出贡献,这些贡献奠定了微波激射器(Maser)与激光(Laser)振荡放大的辐射的工作原理。”陶恩斯、巴索夫和珀罗克霍洛夫三人共同获得了1964年的诺贝尔物理学奖。

“Laser”这个词是由哥伦比亚大学的研究生古德(G. Gould)在1959年的国际会议上发表的文章中首次提出的,古德明确地指出 Laser 就是“light amplification by stimulated emission of radiation”的缩写。他试图将“-aser”作为一个后缀,以便加上不同的前缀构成不同谱段激发的激射的称谓(如:X-射线激射称为 xaser,远紫外光激射称为 uvaser,等等)。虽然后来这些命名没有被真正采纳,但表明当时在受激放大辐射方向上的研究热度。

1960年,世界上第一台工作的激光器——红宝石激光器(Ruby Laser)是由休斯实验室的梅曼(T. H. Maiman)研制的。随后不久伊朗的科学家亚翁(A. Javan)研制出世界上首台氦氖激光器,并在1993年获得爱因斯坦奖(Albert Einstein award)。半导体激光二极管的概念是巴索夫和亚翁提出的,第一支激光二极管是1962年由豪尔(R. N. Hall)发明的,该激光二极管器件由GaAs制备而得,发射850nm近红外的激光。二氧化碳激光器是帕特尔(K. Patel)在1964年发明的。1964年,休斯实验室的布里局(W. Bridges)发明了氦离子激光器。1964年,戈伊斯科(J. E. Geusic)发明了第一台Nd³⁺:YAG激光器。1966年,斯弗瓦斯特(W. T. Silfvast)发明了第一台金属蒸汽激光器——He-Cd激光器。第一台准分子激光器是由莫斯科列别捷夫物理研究所(Lebedev physical institute)的巴索夫、达宁里切夫(V. A. Danilychev)和波波夫(Y. M. Popov)在1970年发明的。20世纪60年代是激光器辈出的年代,人类终于有了人造的高品质光源(具有极高的相干性与方向性),这些激光器的出现为信息技术的发展奠定了坚实的技术与器件基础。

20世纪60年代另外一个重要技术的出现,极大地推动了光电子技术与器件的发展乃至信息革命的到来,这就是光纤技术。光学波导的概念在20世纪60年代初就已经被提出来了,但是当时光波导的光传输损耗很大,根本无法长距离传播光束。1964年,高锟提出在电话网络中以光代替电流、以玻璃纤维(光纤)代替导线的想法。1966年,高锟发表了一篇题为《光频率介质纤维表面波导》的论文,开创性地提出光导纤维在通信上应用的基本原理,描述了长程及高信息量光通信所需玻璃纤维的结构和材料特性。他指出,只要解决好玻璃纯度和成分等问题,就能够利用玻璃制作光学纤维,当光学纤维的光传输损耗小于20dB/km时,可以实现高效的信息传输。这一设想指明了现代信息高速公路“光通信光纤”的研究方向,为20世纪90年代全球光纤通信网络——信息高速公路的建设,互联网与现代通信的实现提供完备的理论基础。此后石英玻璃制成的光纤性能不断提高,光的传输损耗越来越小,应用越来越广泛,全世界掀起一场光纤通信的革命。高锟“光纤之父”的美誉传遍世界,并在2009年获得诺贝尔物理学奖。

光电子学的另一个重要组成部分是半导体发光器件与探测器件,这是光与电之间相互

转换的核心。信息科学与技术的发展依赖于半导体技术尤其是微电子技术的快速发展,由于光与电子均为信息的基本载体,这使得半导体技术从20世纪50年代开始研究起就与光电子技术紧密相连,并直接推动光电子器件的发展,成为近代各种固态光源与光电探测器的主要技术。基于半导体特性的光源与光电传感器、探测器也成为当今信息技术中最基本的信息生成与探测的器件。关于这些技术与器件的基础理论也成为光电子学的基本内容。图1-2-1给出了近40年各种半导体发光器件的发光效率提高的发展历程,展现了光电子学的发展速度与活力。无机红光LED在1962年由美国通用电气公司的霍龙雅克(N. Holonyak Jr.)提出,通过在20世纪70年代对发光性能的不断改进与提升,发展到20世纪90年代的半导体激光器,并被大量应用于光通信系统,到2003年以后的大功率LED照明发展迅速,其发光效率快速提升。而20世纪90年代中期由柯达公司的邓青云(C. W. Tang)提出的聚合物LED器件发展更为迅速,其发光效率已经接近当今无机LED的水平,成为未来柔性发光与信息产生的重要技术之一。半导体固态光源技术不仅在信息领域提供了信息源,而且将在未来的新能源技术中发挥更大的作用,是未来绿色能源的重要组成部分。

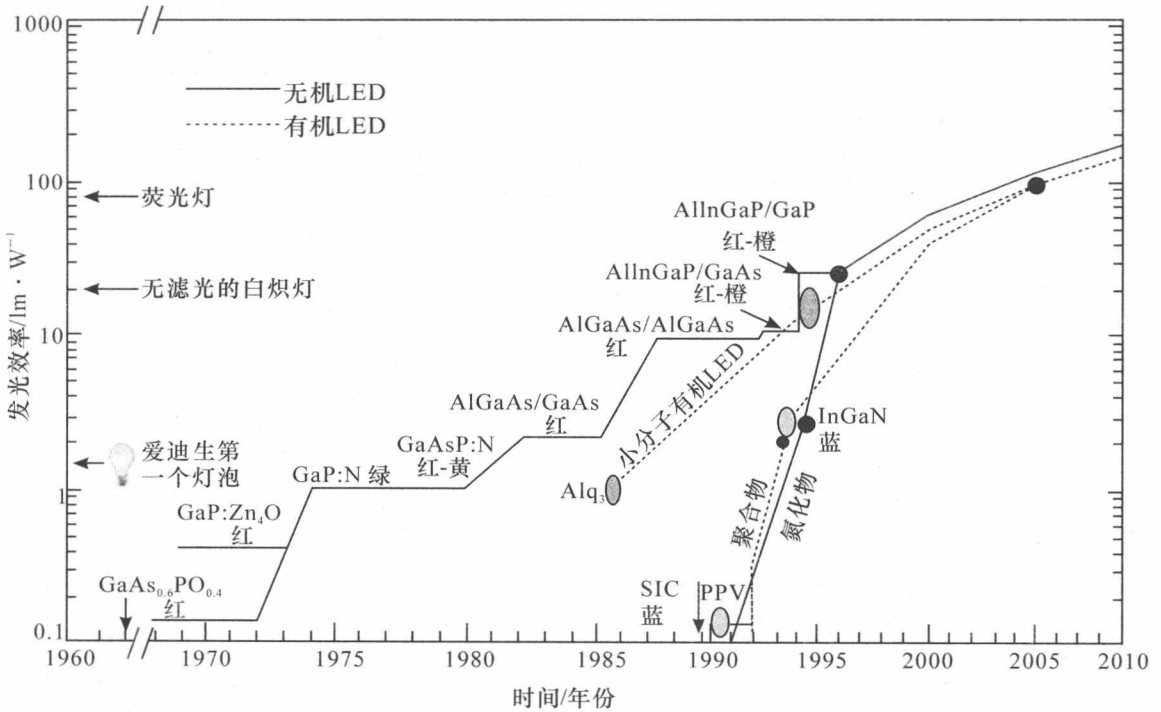


图 1-2-1 发光二极管的发光效率发展历程

在光电探测器方面,光照射到某些物质上,引起物质的电性质发生变化,也就是光能转换成电能。这类光致电变的现象被人们统称为光电效应(photoelectric effect)。赫兹于1887年发现光电效应,1905年爱因斯坦在《关于光的产生和转化的一个启发性观点》一文中,用光量子理论对光电效应进行了全面的解释。金属表面在光辐照的作用下发射电子,发射出来的电子叫作光电子。光波长小于某一临界值时方能发射电子,即极限波长,对应的光频率叫作极限频率。光电效应分为光电子发射、光电导效应和光生伏特效应的。前一种

现象发生在物体表面,又称外光电效应,基于外光电效应,人类研制出了光电倍增管。后两种现象发生在物体内部,称为内光电效应。基于内光电效应,人类研究了各类光电阵列传感器与太阳能电池。电荷耦合器件(CCD)的发明者,现代数码摄影之父博伊尔(W. S. Boyle)和史密斯(G. E. Smith),在1969年应用爱因斯坦的光电效应理论,即光照射到某些物质上,能够引起物质的电性质发生变化,极富创意地发明了一种阵列化的半导体光电探测器件,可以把光学影像转化为数字信号式图像,这一器件就是CCD图像传感器。这种阵列光电传感器的出现改变了人类的成像方式,使成像电子化、数字化成为可能。数字图像信息的出现,使信息社会真正实现了“天涯若比邻”。为此,他们获得了2009年诺贝尔物理学奖。他们“在光学成像方面所取得的开创性成就创建了今日网络世界的技术基础,为今日的日常生活创立许多革新,也为科学的开拓提供了工具”。

信号的产生与信息显示的也是电与光相互作用的形式。在电信号的作用下,光也产生相应的变化,从而实现电信号到光信号的转化,这就是电光调制的一种典型表现。电光调制不仅广泛应用于各种光信号的产生,而且也是信息显示的基本原理。显示技术已经从经典的电子阴极射线管(CRT)显示器,向平板显示器发展,以电光调制型的液晶平板显示器为代表的平板显示器正成为当前主流家用电视的显示器。

在激光出现之后,人们很快就发现在强光下的光学非线性效应。1961年法兰肯(P. A. Franken)等人发现了二次谐波效应,1962年特休恩(R. W. Terhune)等人发现了三次谐波效应,1965年人们提出了光学参数震荡,1976年吉布斯(H. M. Gibbs)等人提出并实现了光学双稳态,这些发现奠定了非线性光学的基础。非线性光学主要研究强光下介质光学特性的非线性光学现象。我们知道光学介质产生的极化强度决定于入射光的电场强度,其作用可用多项式展开成多阶形式。在通常的弱光条件下,高阶项因为系数很小而可以忽略,确定介质光学性质的折射率或极化率是与光强无关的常量,介质的极化强度与光波的电场强度成正比,可近似看成一种线性关系,即光波叠加时遵守线性叠加原理,此时的光学问题称为线性光学问题。但是在强激光场作用下,例如当光波的电场强度可与原子内部的库仑场相比拟时,介质极化强度的高阶项强度不可被忽略,介质的物理特性(如极化强度等)不仅与场强的一次方相关,还决定于场强的更高幂次项,即出现非线性作用,从而实现光和光之间的相互作用。非线性光学包括光学倍频、混频、参量振荡等现象。而光参量振荡(OPO)是目前产生大范围连续可调波长(波长从红外光到可见光甚至紫外光)激光的唯一方法。

1.3 本书的总体结构

现代信息技术充分展示出对光与电之间的相互作用与相互转换的需求,在信息的传输、显示、存储与处理中大量使用各种光电子技术,这正是《光电子学》课程的基本内容。本书是在浙江大学光电系多年开设的《激光物理》、《激光技术》以及《光电子学》的基础上,结合浙大光电系本科、硕士、博士光学教学体系的系统性、完整性与现代性,为满足光电子学双语教学的需要,而编撰的一部体现光电子学的核心理论基础、展示光电子学重大发展的

教材。本书突出了光电子学领域半导体光电子的重要地位以及非线性光学基础在现代光学技术中的重要作用,借鉴 B. E. A. Saleh 和 M. C. Teich 的国际通用光子学教材 *Fundamentals of Photonics* (2nd ed.) 中大量精辟的观点与论述方式,凸现代光电子学在显示、存储以及信息处理、传输中的核心作用与工作机理,努力体现基础性与前沿性的结合。本书克服以往光电子学课程或倾向于激光原理、或倾向于光通信技术的状况,突出光电子学的核心内容,力争通过合理的课程安排,将激光原理、半导体基础与器件、光波导基础、非线性光学以及光电子调制等关键内容有机结合,按照原理、器件与技术的原则构成完整的光电子学教程体系。

本书共分 9 章。

第 1 章 引言

第 2 章 光学谐振腔与高斯光束(参见 Chapter 3 Beam Optics 与 Chapter 10 Resonator Optics)

第 3 章 导波光学(参见 Chapter 9 Fiber Optics 与 Chapter 24 Optical Fiber Communications)

第 4 章 光子光学(参见 Chapter 12 Photon Optics 与 Chapter 13 Photons and Atoms)

第 5 章 激光器机理(参见 Chapter 14 Laser Amplifiers 与 Chapter 15 Lasers)

第 6 章 半导体的光电特性(参见 Chapter 16 Semiconductor Optics)

第 7 章 半导体光电子器件(参见 Chapter 17 Semiconductor Photon Sources 与 Chapter 18 Semiconductor Photon Detectors)

第 8 章 光的调制(参见 Chapter 19 Acousto-optics 与 Chapter 20 Electro-optics)

第 9 章 非线性光学(参见 Chapter 21 Nonlinear Optics)

括号中的章节为 *Fundamentals of Photonics* (2nd ed.) 的对应章节,在内容上本书有一定的删减或增添。

1.4 本章小结

光电子学从形成到现在已经将近百年,光电子产业的形成也已经近 50 年,光电子学在当今信息社会正发挥越来越大的作用,新的光电子技术还在不断涌现。特别是新材料、新器件的出现,不断推进光电子器件的发展,另外光电子应用技术也在不断发展,新技术层出不穷,并在日常生活的各个角落发挥重要的作用。可以说,今天的生活离不开光电子技术。

《光电子学》是信息工程类专业的本科专业基础课程,其内容与知识点是该类专业本科阶段必须具备的。为了使同学们在掌握《光电子学》扎实基础知识的同时,能有效地实施双语教学,我们选择 *Fundamentals of Photonics* (2nd ed.) 作为本课程的英语比对教材,邀请美国 CREOL 光学中心主任 Saleh 教授共同编撰本书。衷心希望本书能为信息工程类或电子科学类本科专业的《光电子学》课程的双语教学作出贡献。

光学谐振腔可以看成是一个具有闭合光路的光束传播系统,光在其中不断地往复传播而没有能量损失,光波在这样的系统中稳定循环传播的必然结果是光波以特定的频率在其中往复振荡,形成谐振。所以,使光束在其中往返传播振荡的光学系统就称为光学谐振腔。由于振荡的频率是特定的而且振荡时光束被限制在腔内,因此谐振腔也可以看作特定频率的能量存储器。

最简单的谐振腔,就是由两个相互平行的平面反射镜以一定间隔相对放置构成的光学系统。当然还有各种各样光学谐振腔系统,比如三角形分布的反射镜腔、光纤构成的谐振腔,典型的谐振腔如图 2-0-1 所示。

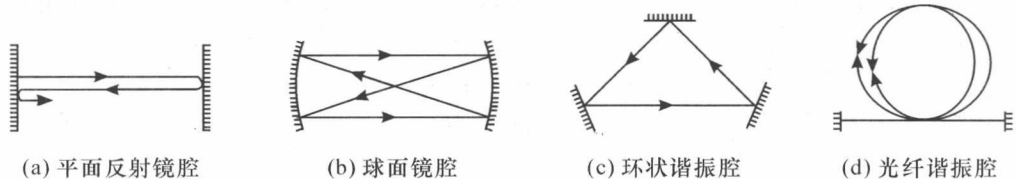


图 2-0-1 光学谐振腔的几种类型

只有特定波长的光才能在谐振腔中谐振,因此谐振腔也可以作为光学滤波器或光谱分析仪,本书主要是讨论其在激光形成中的谐振作用。激光正是由于谐振腔中放置了增益媒介,使光束在往复传播时形成放大谐振才产生的。激光谐振腔决定了激光的频率与光束的空间分布。同时,谐振腔的储能功能又为获得脉冲激光提供了可能。

光束在谐振腔中多次往复的振荡,使得光束的光场分布必须满足一定的特性,这就是光束光学的内容。本章将在论述谐振腔理论的基础上,进一步论述激光光场的光束理论,介绍高斯光束的传播特点与变换关系。为了更好地分析光学谐振腔对光束的约束与控制,本章首先论述光束传播的矩阵分析法,然后介绍谐振腔理论,最后论述高斯光束的特性与传播规律。

2.1 矩阵光学简述

光学系统总是由一系列的光学元件组成,假设光沿 z 轴方向传播,整个系统有两个垂直的平面分别对应于系统的入射平面与出射平面(如图 2-1-1 中的 z_1 与 z_2 两个平面)。可以将此光学系统看成一个暗箱,仅仅考虑入射平面与出射平面上的光束特点,如在光轴与入射光线组成的平面内即 yz 平面,用入射平面上入射光线的位置与方向坐标 (y_1, θ_1) ,以及