

高等学校电子信息类专业系列教材
安徽省高等学校“十二五”省级规划教材

光电子技术 基础及应用

黄仙山 吴建光 主编

GUANGDIANZI JISHU
JICHU JI YINGYONG



合肥工业大学出版社
HEFEI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

高等学校电子信息类专业系列规划教材
安徽省高等学校“十二五”省级规划教材

光电子技术基础及应用

主 编 黄仙山 吴建光
副主编 张利伟 莫绪涛 王 伟
参 编 (按姓氏笔画排序)
刘 剑 李 勇 唐绪兵
黄卫平 韩玉峰 冀月霞

合肥工业大学出版社

内 容 提 要

本书围绕光电子技术体系,以光源出光到光信息被探测、显示为主线,介绍了光电子技术中常见的光源及光辐射的传播和调制、光辐射的探测和显示等原理、技术与应用。本书最大的特色是不仅注重对光电子技术各个环节基本原理的讲解,而且还介绍了光电子技术在通信、医疗、军事以及工农业等领域的典型应用及最新成果。

本书既可作高等学校光电信息科学与工程、电子信息工程、电子科学与技术、通信工程、光源与照明等专业课教材,也可作物理学、材料物理学等专业的选修课教材。

图书在版编目(CIP)数据

光电子技术基础及应用/黄仙山,吴建光主编. —合肥:合肥工业大学出版社,2015.6

ISBN 978-7-5650-2262-3

I. ①光… II. ①黄…②吴… III. ①光电子技术 IV. ①TN2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 109650 号

光电子技术基础及应用

黄仙山 吴建光 主编

责任编辑 汤礼广 王路生

出 版 合肥工业大学出版社
地 址 合肥市屯溪路 193 号
邮 编 230009
电 话 理工编辑部:0551-62903087
市场营销部:0551-62903198
网 址 www.hfutpress.com.cn
E-mail hfutpress@163.com

版 次 2015 年 6 月第 1 版
印 次 2015 年 7 月第 1 次印刷
开 本 710 毫米×1000 毫米 1/16
印 张 16.5
字 数 296 千字
印 刷 合肥杏花印务股份有限公司
发 行 全国新华书店

ISBN 978-7-5650-2262-3

定价: 35.00 元

如果有影响阅读的印装质量问题,请与出版社市场营销部联系调换。

前 言

光电子技术是光子学技术和电子学技术相融合发展起来的新兴学科,是继微电子技术之后迅速兴起的一个高新技术领域。自20世纪60年代激光诞生以来,光电子学在理论和应用方面都取得了巨大进展,现在已经成为现代信息科学的一个极为重要的组成部分。光电子技术涵盖了现代光学、固体物理、半导体物理、材料科学、通信科学等诸多领域,内容涉及光源、光通信、信息光学、光电转换、光电探测以及光电显示等,相对之前的微电子技术,光电子技术具有明显的优势和更为广泛的应用。

光电子学和光电子技术是光电信息科学与工程、电子信息工程、电子科学与技术、通信工程、光源与照明等专业本科生的主干课程,一些学校还将其设置为物理学、材料物理学等专业的选修课。目前,国内外有关光电子技术方面的教材虽然不少,但大多数比较老旧,其中有的偏重理论基础,有的则偏重光电子技术的个别领域。而近年来光电子技术的发展非常迅速,为了适应当前新技术的发展对高等学校人才培养的需要,作者在参阅了大量国内外优秀教材和科技论文的基础上,并结合自己多年讲授光电子技术课程的教学经验,编写了本教材。

本书围绕光电子技术体系,以光源出光到光信息被探测、显示为主线,介绍了光电子技术中常见的光源及光辐射的传播和调制、光辐射的探测和显示等原理、技术与应用。本书最大的特色是不仅注重对光电子技术各个环节基本原理的讲解,而且还介绍了光电子技术在通信、医疗、军事以及工农业等领域的典型应用及最新成果。全书共8章。第1章为绪论,主要介绍光电子技术的发展、应用和学习光电子技术的意义;第2章为光与物质相互作用基础,为后面章节的介绍奠定基础;第3章为光辐射与光源,介绍了热辐射光源、气体放电光源、LED光源以及激光光源,考虑到很多学校将激光原理课程单独设置,因此本书对激光原理和技术方面的内容只做了扼要介绍;第4章为光波导技术,介绍光辐射的传播;第5章为光调制技术,以光在晶体中的传播行为为基础,介绍了电光调制、声光调制和磁光调制;第6章为光电探测基础,介绍光电转换的基本原理和光电探测的方式;第7章在第6章基础上介绍了典型的光电探测器件及其应用;第8章为光电显示技术,介绍了各种显示技术(包括近年来最新发展起来的技术)的基本原理、器件结构和应用。

本书各章节的编排在注重知识点之间相互联系的同时,力求章节的独立性。每章内容大多数都是从基本原理入手,阐述基本概念和理论,然后介绍相关技术及应用,这样安排便于教师根据不同专业的学时要求和专业需求对讲授内容进行选取。

本书现为安徽省高等学校“十二五”省级规划教材。本书由安徽工业大学数理科学与工程学院黄仙山、吴建光担任主编,由河南理工大学物理化学学院张利伟和安徽工业大学数理科学与工程学院莫绪涛、王伟担任副主编,参编的人员有冀月霞、刘剑、唐绪兵、李勇、韩玉峰、黄卫平等。

由于光电子技术涉及的内容和领域较多,且发展迅速,加之作者水平有限,本书在内容取材、体系安排、文字表述等方面难免存在疏漏和不合理之处,敬请同仁和读者批评指正,以便我们再版时修改。

作 者

目 录

第 1 章 绪 论	(1)
1.1 光电子技术的演变和发展	(1)
1.2 光电子技术的内容	(3)
1.3 光电子技术的应用	(4)
1.4 光电子技术的未来	(8)
第 2 章 光与物质相互作用基础	(9)
2.1 光学基础知识	(9)
2.2 物质的微观结构、能带及半导体物理基础	(16)
2.3 热辐射与黑体辐射	(20)
2.4 自发辐射、受激吸收和受激辐射	(23)
第 3 章 光辐射与光源	(28)
3.1 辐射度学与光度学的基础知识	(28)
3.2 常用非相干光源	(33)
3.3 激光光源	(47)
第 4 章 光波导技术	(61)
4.1 光在介质分界面上的反射与折射	(62)
4.2 平面介质光波导的射线分析方法	(67)
4.3 平面介质光波导的电磁理论	(73)
4.4 圆柱介质光波导	(79)
第 5 章 光调制技术	(93)
5.1 晶体中光的传播特性	(93)
5.2 电光效应	(101)
5.3 在外电场作用下的晶体中光的传播特性	(110)

5.4	电光调制	(113)
5.5	声光效应	(123)
5.6	磁光效应	(140)
第6章	光电探测基础	(147)
6.1	光电探测的物理效应	(147)
6.2	光电探测器的性能参数	(157)
6.3	光电探测过程中的噪声	(159)
6.4	光电探测方式	(165)
第7章	光电探测器件	(170)
7.1	光敏电阻	(170)
7.2	光电池	(179)
7.3	光电二极管	(188)
7.4	光电三极管	(195)
7.5	光电倍增管	(201)
第8章	光电显示技术	(208)
8.1	光电显示技术基础	(208)
8.2	阴极射线显示技术	(214)
8.3	液晶显示技术	(217)
8.4	有机发光二极管显示技术	(229)
8.5	其他新型显示技术	(235)
附录	(250)
附录1	基本物理常数	(250)
附录2	希腊字母表	(250)
附录3	矢量分析中的常用公式	(251)
附录4	张量的基本知识	(254)
参考文献	(257)

第1章 绪论

光电子技术是光子学技术和电子学技术的融合,是继微电子技术之后迅速兴起的一个新兴技术领域。自20世纪60年代激光技术诞生以来,光电子技术在理论及应用方面都取得了巨大进展,特别是以光纤通信、光信息处理、光电显示等为代表的信息技术新领域,从深度和广度上促进了科学技术的发展。

1.1 光电子技术的演变和发展

21世纪,人们进入了信息时代,与信息产业相应的信息科学的基础是电子学与电子技术、光子学与光子技术。电子学和电子技术是20世纪发展起来的科学技术,现已处于高度发展的水平,目前正由微电子技术向纳米电子技术方向发展。光学是一门传统的学科,但伴随着激光技术诞生而发展起来的现代光学,已经成为当代物理学发展中最活跃的领域之一。随着学科之间的相互渗透,在光学技术的发展过程中,人们发现许多在电子学中使用的技术,如调制与解调、振荡与放大、倍频与差频等都可以移植到光波频段,一些在电子学中使用的有源、可控器件也可以用光学的方法实现。随着光学技术与电子技术的相互渗透和融合,逐渐形成了综合利用光学技术和电子技术的学科,这就是早期的光电子技术。不过在激光发明之前,这只能算光电子学和光电子技术的孕育期。

随着1960年激光的问世,光电子技术有了一个强有力的研究工具,使得光学技术与电子技术完美的结合,形成了现代意义上的光电子学和光电子技术。现在我们所说的光电子技术是指以光电子学为理论基础,由光子学和电子学相结合而形成的新技术学科,其主要内容包括光电信号的产生、传输、调制、探测、处理和显示等,是现代信息技术的重要组成部分。激光的诞生使光电子技术开始了飞速的发展,此后每隔十年,光电子技术都有里程碑式的发展。

20世纪60年代,光电子技术领域最典型的成就就是各种激光器的相继问世,进而引起围绕激光技术及其应用的发展。1960年,美国的梅曼研制成世界上第一台激光器——红宝石激光器,在世界范围内引起了极大的轰动,并形成了连锁反应,在随后的几年内,He-Ne激光器、半导体激光器、钕玻璃激光器、氩离子激光器、CO₂激光器、染料激光器等各种激光器相继问世,这些激光器为

光与物质相互作用的研究提供了崭新的工具,也引发了激光物理学、半导体光电子学、非线性光学和相干光学等一系列新学科的涌现。而几乎在同时,激光技术的应用,特别是在军事领域的应用就已经开始了,各种激光制导武器、激光毁灭性武器相继被研制出来。

20世纪70年代,光电子技术领域的标志性成果是低损耗光纤的实现、半导体激光器的成熟以及 CCD 的问世。1970年,美国研制成功损耗为 20dB/km 的实用光纤和室温连续运转的半导体激光器,这一重要突破导致以光纤通信、光纤传感、光盘信息存储与显示以及光信息处理等为代表的光信息技术蓬勃发展。20世纪70年代初,美国激光制导炸弹投入使用,日、美、英等国开始建设光纤通信骨干网,1972年,飞利浦公司展示了其模拟式激光视盘。

20世纪80年代,光电子技术的典型成就是对量子阱结构材料和光纤技术的理论和应用研究所取得的进展。对超晶格量子阱结构材料的研究,导致了超功率量子阱阵列激光器的出现,半导体光学双稳态功能器件也得到了发展。通过对光纤物理特性的研究,科学家形成了光孤子的概念,并研制出了各种光纤传感器、掺铒光纤放大器(EDFA)和光纤激光器,这些器件对光纤通信产生了革命性的影响。20世纪80年代初,日、美、英等国的光纤通信骨干网相继建成,其他国家也竞相开始自己的光纤干线网的建设。

20世纪90年代,光电子技术在通信领域取得了极大的成功,无论是器件还是系统,均有大量产品走出实验室,形成了光纤通信产业,如海底光缆铺设,各国新铺设的通信骨干网纷纷实现光纤化,并已开始尝试光纤入户。同时,半导体激光器也走向产业化,出现了分布反馈激光器,光纤光栅等研究也取得了重大进展。另外,光电子技术在光存储方面也取得了很大进展,光盘已成为计算机存储数据的重要手段,CD、VCD 已经很普遍,DVD 也于90年代中期走向家庭。光计算机的研究也开展起来。

21世纪,我们正进入信息社会,信息和数据的爆炸性增长对信息的采集、传输、处理、存储和显示等都提出了更高的挑战,这些需求也促使光电子技术迅猛发展,在21世纪过去的第一个十年里,以智能化超高速计算机系统和全光网为代表的超高速、超大容量信息处理和传输已经实现,光存储也在向超高密度、超大容量方向发展,而光电显示领域,以液晶显示、等离子体显示等为代表的第二代平板显示技术正逐渐取代第一代阴极射线管显示技术,同时,一些新兴的光电显示技术,如 OLED、触摸屏、激光显示、3D 技术、电子纸等技术也在不断地兴起。另外,光电子器件也在朝着微型化方向发展,纳米光电子技术蓬勃兴起,美国加利福尼亚伯克利分校的研究人员在只有头发丝直径千分之一的纳米光导线上制造出了世界上最小的激光器——纳米激光器,这种激光器有望应用

到光计算、信息存储和纳米分析领域。

在刚过去的几年期间,新的光电子技术层出不穷,如谷歌公司于2012年4月发布的“拓展现实”的眼镜,具有和智能手机一样的功能,可以通过声音控制拍照、视频通话和辨明方向,以及上网冲浪、处理电子邮件等功能。在激光技术领域,随机激光器是一个前沿课题,光纤随机激光器相比传统光纤激光器最大的不同之处在于无须腔镜,具有波长可调、结构简单、转换效率高、可靠性高、功率可定标放大等突出优点,有望成为新一代的无纵模高功率光纤激光器,在光纤传感、光纤通信、3D打印、激光手术、激光成像等多个领域具有重大应用价值。在光电显示领域,激光显示技术因具有色域广、寿命长、亮度高等优势,被称为“人类视觉史上的革命”。随着技术难题一个个被解决,激光电视产品已经在中国集中式爆发,2014年,光峰华影、海信、长虹、华录、康佳、视美乐等企业纷纷推出大尺寸激光电视。

1.2 光电子技术的内容

光电子技术是一个非常宽泛的概念,它围绕着光信号的产生、传输、处理和接收,涵盖了新材料(新型发光感光材料、非线性光学材料、衬底材料、传输材料和人工材料的微结构等)、微加工和微机电、器件和系统集成等一系列从基础到应用的各个领域。光电子技术科学是光电信息产业的支柱与基础,涉及光电子学、光学、电子学、计算机技术等前沿学科理论,是多学科相互渗透、相互交叉而形成的高新技术学科。

虽然光电子技术的内容非常庞杂,但总体可以分为激光技术、光电子器件与技术以及激光与光电子应用技术三个方面。

(1) 激光技术

激光被誉为20世纪下半叶可以与原子弹、半导体、计算机相媲美的重大发明,也是光电子技术发展的典型成就。自第一台红宝石激光器问世以来,激光理论和技术得到了迅速发展,激光技术的核心是激光器,其种类有很多,按工作物质、激励方式、运转方式、工作波长等不同分类。现已发现的激光工作介质有几千种,波长覆盖了从软X射线到远红外区域。另外,应用比较广泛的单元技术有共振腔设计与选模、倍频、调谐、Q开关、锁模、稳频和放大技术等。

(2) 光电子器件与技术

光电子器件是指利用光来运行或者能产生光的一类电子学器件,光的概念覆盖了太赫兹(THz , 10^{12}Hz)、红外、可见光及紫外领域。各种基于材料的电子学行为并对光进行存储、调制、操控的器件都可以统称为光电子器件,包括各种

光源、探测器、光调制与光耦合器件、成像器件、发射与接收设备、显示设备以及太阳能电池等。

当前,光电子器件的研究热点包括:①高效太阳能电池的研制,其本质是直接利用太阳能的问题,是解决人类能源危机的根本出路;②太赫兹辐射的光源及探测器的研制,太赫兹辐射是大自然光谱中缺失的一部分,但其对生命体的成像和研究具有特别的意义,其产生和探测都是对固体物理学和光学的极大挑战;③光电子学集成电路,其目标之一就是实现光子计算机;④新型相干光源的研制,包括二极管激光器和三极管激光器,平面垂直发射激光器等;⑤高效单色发光和白光照明问题,即如何提高电能的利用效率等。

(3) 激光与光电子应用技术

激光发明之初最早应用于激光测距等少数领域,到 20 世纪 70 年代,有了室温下连续工作的半导体激光器和低损耗光纤,光电子技术才得以在通信领域迅速发展,目前全世界铺设的通信光纤总长超过了 1000 万千米。以光盘为代表的信息存储、激光打印机、复印机和以液晶显示为代表的光电显示技术是市场最大的电子产品。此外,光电子技术在生物与医学、军事领域、气象探测等方面都有着越来越广泛的应用。

1.3 光电子技术的应用

从光电子技术的发展初期,人们就不停地探索其应用价值,现在,光电探测、光通信、光电测量与控制、光电信息相干技术的应用已经遍及工业、农业、环境、医疗等各个领域,光电子技术已经成为现代科学技术和人类生活不可缺少的环节。

(1) 光电子技术在军事领域的应用

光电子技术使国防军事具有快速反应和准确攻击的能力,能为军事提供快速准确的信息,是军事领域的主流技术。早在 20 世纪 50 年代,美军将光电探测器用于代号为响尾蛇的空-空导弹,取得了明显的作战效果;之后,美、英、法等国相继开发了中长波红外探测器,应用于夜视、侦查、瞄准、制导等系统。70 年代初,美军在对越战争中用激光制导炸弹摧毁了用普通炸弹付出很大代价都没有炸毁的桥梁。随着光纤技术的发展,很多相关技术已用于野战通信、飞机和舰船内部通信、光纤制导、光纤陀螺和光纤传感等。从目前各种武器装备上的光电子技术使用情况来看,其在军事上的主要应用范围可归纳如下:①各种光电传感器用于侦查探测和目标识别;②直接用于武器的控制,提高制导武器的目标识别能力;③光通信应用于各种网络和数据传输;④光电对抗和激光武

器,包括光电告警、红外干扰、激光干扰、激光致盲、激光防空武器等。

目前,光电子技术已经成为军方的核心技术,各国的国防防务水平随着光电子技术的开发呈现快速增长的势头。

(2) 光电子技术在精密测量中的应用

目前,各种设备都朝着微型化、精密化和自动化方向发展,精密测量显得越来越重要,由于激光亮度高、时间和空间相干性优异,激光精密测量相对其他常规测量方法具有很多优点:①激光精密测量属于非接触测量,可以进行遥测,能方便地对高温以及对人体有害的恶劣场所的目标进行检测;②测量速度快,可以进行实时在线测量和控制;③测量精度高;④可以进行多维测量;⑤测量不受电磁干扰。

激光在精密测量中的应用十分广泛:

① 干涉测长。干涉测长是利用激光良好的相干性,通过光的干涉现象进行的长度测量,其核心部分是一个迈克尔孙干涉仪。高精度的激光测长仪采用单频激光,在1m的量程内的误差只有 $0.2\mu\text{m}$ 。

② 激光测径。激光扫描法测物体外径是生产线上实时测量各种管材、棒材和线材外径最常用的方法,分为扫描法和衍射法。扫描法即测量准直的激光束匀速扫描过目标表面时光束被遮挡的时间来得到目标物体的尺寸。这种方法测量电缆等外径的范围一般在30mm以下,精度为0.01mm。衍射法是将激光垂直投射细丝上,测量细丝后面的衍射图样来获得细丝直径,适合于测量 0.2mm 以下的非透明细丝直径,精度为 $0.1\mu\text{m}$ 。

③ 激光测速。激光测速是利用激光的多普勒效应测量物体的运动速度或流体的流速,例如飞行器喷射气流的速度、水流的速度、金属的液压速度等。

(3) 光电子技术在环境保护中的应用

近年来,环境污染及保护问题已经成为国家和各级政府部门普遍关心的问题。在水电工程建设过程中有大量的污水需要处理,为了进一步提高有机物降解效率,合理利用资源,将光化学氧化(光催化)和电化学氧化方法结合起来,达到协同效应的光电结合技术是目前氧化法研究的新热点。光电催化法能将水中有害物质完全矿化,或者通过控制条件将其分解为有用成分,这是其他方法所无可比拟的,在当今水污染日趋严重的情况下具有很好的应用价值。

由于高能电子束和 γ 射线本身具有的特性,其辐射技术在环境保护领域具有巨大的潜力。大量研究表明,辐射技术是处理水污染的一种有效方法。水经辐射后会产生羟基自由基($\cdot\text{OH}$)、水合电子、氢自由基等主要的活性产物以及活性较低的氢气和过氧化氢等。除少数含氟水溶液物质外,几乎所有的有机污染物都能被 $\cdot\text{OH}$ 降解,而有些亲电子的有机污染物则与水合电子反应,转换成

可以被其他方法从水体中分离出来的化合物。现在,辐射技术在废水、废气和固体废物的处理中已经有了广泛的应用。

(4) 光电子技术在医学与生物学中的应用

生物学和生命科学是激光光电子技术及其技术的重要应用领域。从发展来看,21世纪,所有的科学技术都将围绕人与人类的发展问题,光电子技术已经广泛应用或渗透到生物科学和医学的诸多方面,由此形成了所谓的生物医学光子学的新兴学科门类。

① 光活检技术

光活检是指利用光学检查手段,通过分析光和生物组织的相互作用,在体或离体地获得和组织状态有关的信息的技术,光活检可为临床组织病理学提供一种无损、实时、精确和客观的先进活检手段。光活检的技术可分为两类:光谱诊断技术和光学成像技术。

光谱诊断技术的原理是光在组织或细胞中经历一系列吸收和散射后,由于生物体内的吸收因子和散射因子会对光子的传输产生调制,因而出射光中携带着与吸收和散射相关的组织生化信息。光谱诊断包括吸收(反射)光谱、近红外光谱、激光诱导荧光光谱、弹性散射光谱和拉曼光谱等。

组织的光学成像技术包括利用光学相干层析成像、激光散斑成像、扩散光子密度波成像、激光扫描共聚焦显微成像等光学功能成像,实现对细胞或组织功能参数(如血氧含量、血容量、钙离子浓度等)生理生化参数变化的成像监测或检测,以及利用激光诱导荧光光谱成像、偏振干涉成像、超声调制光学成像、非线性光学成像等,实现病变的早期诊断与精确定位。

② 非消融性光疗技术

20世纪80年代末期出现的激光消融换肤技术是治疗光老化皮肤的最有效的方法,但这一技术是有损的,需要消融皮肤,会形成伤口并给患者带来痛苦。非消融性光疗技术是20世纪90年代末开发的一项新的皮肤医疗美容技术,对患者几乎无副作用和疼痛。

由于皮肤中的多数病损常处于真皮层中,理想的治疗方法是不破坏表皮层和病损组织周围的正常组织,仅对真皮层中的病损目标组织形成特异性破坏。非消融性光疗技术的基本作用机制是光诱导的选择性光热解效应。通过选择真皮层中病损组织有最大光学吸收,而表皮层和周围正常组织对该波长吸收相对较小的波长,可以实现对病损组织的选择性破坏。

③ 生物光子技术

光学与光子学基础研究的成果,特别是激光光电子技术的进步,产生了许多基于光电子学的新的生物学研究技术和方法,为生物学研究提供了前所未有

的可能性和深入性,使某些原来未知的生物过程和新药物得以发现。涉及生物学应用的光子技术有许多方面,这里简要介绍多光子荧光显微术、近场光学扫描显微术和显微操纵技术。

多光子荧光显微术是生物活体组织成像的一个重要工具,基本原理是利用了非线性的多光子吸收。多光子吸收目前只能在强激光作用下发生,属于三阶非线性效应。通常采用长波长的飞秒脉冲激光在物镜的焦点附近非常微小的区域内发生多光子吸收,产生相应的荧光信号。而在焦点区域外,由于光强较弱而不发生多光子吸收,则没有荧光信号。由于采用长波长激发,可以获得比单光子激发更深的成像深度,更低的光毒性和光漂白。目前多光子荧光显微术已成为生命科学研究的重要手段。

近场光学显微扫描术是利用光从纳米尺度的针尖发射,并通过测量针尖附近的几十纳米范围内的反射、透射或荧光信号,来推断针尖附件局部的光学性质。它是借助扫描隧道显微镜和原子力显微镜发展起来的技术,纳米尺度的针尖能以原子尺度的精确度进行扫描,进而可以获得 20nm 的空间分辨率。与光谱技术及弱信号检测技术相结合,还能够实现原子尺度上的光谱学。

细胞生物学和分子生物学是生命科学的基础学科,传统的研究大都是基于生物化学或药理学实验中的大量细胞或分子的平均结果而做出的。1986年,A. Ashkin 发明了单光束梯度力光阱,即光镊,可以俘获并操控几十纳米到几十微米的粒子(如细胞、细胞器等),很快成为细胞生物学和分子生物学研究的重要工具。光镊技术特别适于研究细胞及亚细胞水平的力学和动力学问题,在显微镜下可以提供相应的运动图像,从而对其中的生物过程有更深入的了解。研究人员利用光镊可以在水中拖动细菌,可以操控精子进行人工授精,还可以拉伸、弯曲或扭转 DNA 或 RNA 分子,与激光光刀技术相结合,还可以对细胞进行融合手术、导入外源基因、切割染色体等生物操作。

④ 医用微光机电系统(MOEMS)

胶囊型内窥镜已经问世。最近国外出现了一种胶囊型内窥镜,它与一般内窥镜相比,可完全避免病人在检查过程中的痛苦。这种胶囊型内窥镜带有摄像机,直径 0.9cm,长 2.3cm,病人吞下后,可在食道、胃、肠、十二指肠、小肠、大肠等处拍摄图像,并实时地将所拍摄图像发送出来。胶囊型内窥镜完成任务后,随着排泄物排出体外。

胶囊型内窥镜采用 CCD 或 CMOS 作为图像传感器,所需的电能由自身电池或从体外用微波形式送入器件,运行速度和方向均由体外控制器控制。所拍摄的图像通过微波传送到体外的接收装置,再传送到记录、显示系统,或经计算机进行图像处理,获取更多的信息。

(5) 不断涌现的光电子新奇产业

① 纳米光子学技术

随着光电子技术的发展,纳米技术中又分出纳米光子学的分支。其主要研究内容包括①纳米光器件:开关、逻辑门、存储单元、量子态控制器;②纳米器件的耦合:解决纳米单元之间近场能量耦合传递问题,实现高效的无接触连接;③外部连接:解决纳米光器件与外部微光子器件的输入—输出问题;④纳米近场光学中的新现象及功能集成问题;⑤光子晶体、纳米结构及量子点的制备;⑥全光信息处理器等。

② 激光微加工技术

激光束可以聚焦得非常细,能量密度非常高,且具有可调可控等优点,利用它可以给生物体的细胞做手术,可以切世界上最硬的金刚石,因此在微细加工和医学中得到了越来越多的应用。

1.4 光电子技术的未来

近年来,国内外掀起了光电子学和光电子产业的热潮,很多国家把大量资金投入光电子技术的研究和开发中,许多以光子学和光电子学命名的研究中心、实验室和公司如雨后春笋般建立起来。可以说,光电子时代已经到来,光电子是目前和未来相当长一段时间内都将迅速发展的高技术高附加值产业。当今全球范围内,已经公认光电子产业是 21 世纪的第一主导产业,是经济发展的制高点。光电子技术将引起一场超过电子技术的产业革命,给工业和社会带来比电子技术更为巨大的冲击。因此,学习光电子技术是适应光电子时代的需要。

思 考 题

1. 什么叫光电子学和光电子技术?包括哪些内容?
2. 试述光电子技术各个发展时期的情况。
3. 举出几个你所知道的光电子技术应用实例。
4. 目前,世界光电子产业的发展趋势是什么?我国的光电子技术发展情况如何?
5. 未来光电子产业发展的重要组成部分有哪些?
6. 试述光电子技术在军事上的应用。

第2章 光与物质相互作用基础

光电子学是研究光与物质相互作用的科学。本章介绍一些光电子学科中最基础的内容,为后面章节的深入介绍奠定基础。

2.1 光学基础知识

光学是一门古老而传统的学科,现代光学已经有了比古典光学更为广泛而深刻的内容,首先体现在对光的本性的认识上。人类对光的认识经历了微粒说——波动说——波粒二象性的逐步深入的过程,人们已经意识到不能简单地把宏观世界物质运动的规律运用到微观世界里。对于光来说,其属性已无法用宏观理论为基础的微粒说或波动说做出完善的解释,而波粒二象性则成功地描述了光的本质。光具有波粒二象性,表明光既具有波动性,也具有粒子的特性,只有对这两方面的理论基础有所了解,才能对光与物质相互作用过程中发生的现象以及规律有更深入的认识。

2.1.1 光的波动理论与光子学说

对于光的本性的讨论,是从17世纪开始的。当时有两个学说并立,一是以牛顿为代表的一些人提出了微粒理论,认为光是按照惯性定律沿直线飞行的微粒流。这一学说直接说明了光的直线传播定律,并能对光的反射和折射作一定的解释。在研究光的折射时,得出了光在水中的速度比空气中大的结论。不过这一点在当时的条件下不能通过实验来证实对错。光的微粒理论统治了17、18世纪。另一方面,和牛顿同时代的惠更斯提出了光的波动理论,认为光是在一种特殊弹性媒质中传播的机械波,并认为光是纵波。该理论也解释了光的反射和折射现象。到了19世纪初,托马斯·杨和非涅尔等人的实验和理论工作,把光的波动理论大大推进,解释了光的干涉、衍射现象,初步测定了光的波长,并根据光的偏振现象确定光是横波。根据光的波动理论研究光的折射,得出的结论是光在水中的速度应小于在空气中的速度,这一点在1862年为傅科的实验所证实。因此,到了19世纪中期,光的波动学说战胜了微粒说,在比较坚实的实验基础上确立了起来。

惠更斯—菲涅尔的旧波动理论有较大的弱点,和微粒学说一样,都带有机械论的色彩,把光看成是某种机械运动过程,认为光是一种弹性波。这样,就必须臆想出一种特殊的弹性媒质充满空间,历史上称为“以太”。为了不与观测事实抵触,必须赋予以太极其矛盾的属性,密度极小而弹性模量极大。这不仅在实验上无法得到证实,理论上也显得荒唐。

19世纪60年代,麦克斯韦在前人的基础上,建立了著名的电磁理论,这个理论预言了电磁波的存在,并指出电磁波的速度与光速相同。因此麦克斯韦确信光是一种电磁现象,即光是一种波长比较短的电磁波。1888年赫兹在实验上发现了波长较长的电磁波——无线电波,它有反射、折射、干涉、衍射等与光波类似的性质。后来的实践证明,红外线、紫外线和X射线等也都是电磁波,它们彼此的区别只是波长不同而已。至此,光的电磁理论以大量无可辩驳的事实赢得了普遍的公认。

以上是经典物理中的光学理论,讨论的主要是光的传播,很少涉及光的发射和吸收。那个时期,光和物质的相互作用还没怎么研究过,许多现象尚未发现。

从19世纪末到20世纪初是物理学发生伟大革命的时代。从牛顿力学到麦克斯韦的电磁理论,经典物理学形成了一套严整的理论体系。当时绝大部分物理学家深信,物理学中各种基本问题在原则上都已得到完美的解决,它的理论体系囊括了一切物理现象的基本规律,剩下的似乎只是解微分方程和具体应用的问题了。然后,正当人们欢庆这宏伟的经典物理学大厦落成的时候,一个个使经典物理学理论陷入窘境的发现接踵而来。1887年,迈克尔孙和莫雷利用光的干涉效应,试图探测地球在“以太”中的绝对运动,却得到了否定的结果,从而动摇了作为光波载体的“以太”假说,以“静止以太”为背景的绝对时空观遇到了根本困难。随后瑞利和金斯根据经典统计力学和电磁波理论,推导出黑体辐射公式,得出辐射能量随频率增大而趋于无穷,历史上称为“紫外灾难”。当时物理学界的权威开尔文爵士把上述介绍的困难比喻为笼罩在物理学晴朗天空中的两朵乌云。从后来物理学的发展看来,这两朵乌云正预示着近代物理学两个革命性的重大理论——相对论和量子力学的诞生,而这两个问题都与光学有关。20世纪初还有一个重大发现是光电效应,即光照射在金属表面上可使电子逸出,逸出电子的能量与光的强度无关,但是与光的频率有关,电子的逸出几乎不需要时间。这些实验现象用光的波动理论无法解释。

黑体辐射是一个光的发射问题,而光电效应是关于光的吸收问题。为了解决黑体辐射理论的矛盾,1900年普朗克提出了量子假说,认为各种频率的电磁波(包括光),只能像微粒似的以一定最小份额的能量发射,这一份能量称为能