

高等学校通用教材

光电信息技术基础

江月松 李亮 钟宇 编著

GUANGDIAN XINXI JISHU JICHU



北京航空航天大学出版社

高等学校通用教材

光电信息技术基础

江月松 李 亮 钟 宇 编著



北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

光电信息技术是由光学、光电子、微电子等技术结合而成的多学科综合技术,涉及光信息的辐射、传输、探测以及光电信息的转换、存储、处理与显示等众多的内容。光电信息技术广泛应用于国民经济和国防建设的各行各业。近年来,随着光电信息技术产业的迅速发展,对从业人员和人才的需求逐年增多,因而对光电信息技术基本知识的需求量也在增加。本书主要介绍光辐射、光传输、光调制和光电探测等的基本理论和方法,还介绍光电信息转换的物理基础、光电成像系统基础以及光电成像器件、光电存储和光电显示的基本技术和新技术。

本书可作为高等学校工科光电信息科学与技术类专业基础教材,也可作为电子信息类、测控技术与仪器、自动化、通信和应用物理等专业的高年级大学生的选修教材和研究生的参考书,也可供相关研究领域的教师和科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

光电信息技术基础/江月松等编著. —北京:北京航空航天大学出版社, 2005. 12

ISBN 7-81077-662-2

I. 光… II. 江… III. 光电子技术—高等学校—教材 IV. TN2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 102393 号

光电信息技术基础

江月松 李 亮 钟 宇 编著

责任编辑 金友泉

责任校对 戚 爽

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail: bhp@263.net

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本: 787×960 1/16 印张: 24.5 字数: 549 千字

2005 年 12 月第 1 版 2005 年 12 月第 1 次印刷 印数: 5 000 册

ISBN 7-81077-662-2 定价: 32.00 元

前言

光电信息技术以其极快的响应速度、极宽的频宽、极大的信息容量以及极高的信息效率和分辨率推动着现代信息技术的发展,从而使光电信息产业在市场的份额逐年增加。在技术发达国家,与光电信息技术相关产业的产值已占国民经济总产值的一半以上,从业人员逐年增多,竞争力也越来越强。为适应形势的发展需求,不少高等学校相继增设了光电信息类专业或院系,以改变光电信息类人才短缺的现实。基于这样的形势,作者为满足所在学校新增光电信息类专业的教学需求,在借鉴以前所编教材《光电技术与实验》(北京理工大学出版社,2000)经验的基础上编写了本教材。

本教材自成体系,比较全面系统地反映了光电信息技术所需的基本理论、基本系统和技术基础。全书分为3大部分:第1部分为第1章至第3章,可看作是光电信息技术的理论基础和工程基础内容。第1章和第2章介绍光信息辐射、传输和光电信息转换的物理理论基础,也可作为全书的理论基础;第3章介绍组成光电成像系统的工程基础。第2部分为第4章至第7章,可看作是光电信息技术中的单元技术介绍。第4章介绍光电信息技术中常用的光源和探测器;第5章至第7章分别介绍光电信息技术中的光电存储、光电成像器件和光电显示几个关键技术。第3部分为第8章,可看作是光电信息探测系统的介绍。该章作为前面单元技术的应用内容,介绍光电探测方式方法。各部分内容既相互联系又相互独立,教师可根据具体情况选用。

光电信息技术的繁荣带来了教学科研及教材建设的繁荣,近年来出现了许多这方面的优秀教材,使得作者在编写过程中有幸加以参考,并根据本教材体系的需要选编了一些优秀的内容,对所引用内容的出处,在每一章后均以参考文献形式给出。作者在此表示深深的谢意!

感谢北京航空航天大学电子信息学院领导和李铮教授的鼓励和支持,以及校教务处和电子信息学院老师的许多帮助。

因时间仓促,书中会有不当之处,殷切希望广大读者给予批评指正!

作者

于北京航空航天大学

目 录

绪 论	1
第 1 章 辐射度和光度学基础	14
1.1 辐射度学量与光度学量	14
1.1.1 辐射度学的基本概念	14
1.1.2 辐射度的基本物理量	16
1.1.3 光度的基本物理量	18
1.1.4 热辐射的基本物理量	20
1.2 辐射度学与光度学中的基本定律	21
1.2.1 基尔霍夫(Kirchhoff)定律	21
1.2.2 朗伯(J. H. Lambert)余弦定律	24
1.2.3 距离平方反比定律	25
1.2.4 普朗克(Planck)定律	27
1.2.5 斯蒂芬-玻耳兹曼(Stefan-Boltzmann)定律	32
1.2.6 维恩位移定律	34
1.3 辐射能的传输基础	34
1.3.1 辐射能传输的几何光学基础	35
1.3.2 辐射能传输的波动光学基础	38
1.3.3 辐射能在传输中的损失	39
1.3.4 辐射在大气中的传输	41
1.3.5 辐射在介质中的传输	45
1.3.6 辐射在光波导中的传输	50
习 题	57
参考文献	59
第 2 章 光电信息转换的物理基础	60
2.1 能带理论	60
2.1.1 能带图	60
2.1.2 半导体统计学	63

2.1.3	本征半导体与杂质半导体	66
2.1.4	简併与非简併半导体	69
2.1.5	外加电场中的能带图	70
2.1.6	直接带隙半导体与间接带隙半导体	71
2.2	非平衡态下的载流子	74
2.2.1	产生与复合	74
2.2.2	非平衡载流子寿命 τ	75
2.2.3	陷阱效应	75
2.2.4	载流子的输运——扩散与漂移	76
2.2.5	半导体对光的吸收	78
2.3	PN 结	80
2.3.1	PN 结原理	80
2.3.2	PN 结能带图	90
2.4	半导体异质结与肖特基势垒	92
2.4.1	半导体异质结	92
2.4.2	肖特基势垒	95
2.5	光电效应	97
2.5.1	光电导效应	97
2.5.2	光生伏特效应	103
2.5.3	光电发射效应	105
2.5.4	温差电效应	108
2.5.5	热释电效应	109
2.5.6	光子牵引效应	110
	习 题	110
	参考文献	111
第 3 章	光电成像系统基础	112
3.1	光学元器件	112
3.1.1	透镜元器件(成像)	112
3.1.2	反射元器件(改变光的方向)	120
3.1.3	其他元器件	125
3.2	典型光学元件的物像关系	128
3.2.1	几何光学的基本定律	128
3.2.2	球面反射镜和透镜	128
3.2.3	非球面镜	136

3.3 光学系统的参数	139
3.3.1 光阑和光瞳	139
3.3.2 相对孔径和 f /数	140
3.3.3 视场和视场角	141
3.4 像差简介	141
3.5 光辐射的调制	149
3.5.1 调制的基本原理	149
3.5.2 调制信号的频谱	151
3.5.3 调制盘	155
3.5.4 光栅莫尔条纹调制	158
3.5.5 电光调制	162
3.5.6 声光调制	166
习 题	169
参考文献	170
第 4 章 光源与光电探测器	171
4.1 光电信息技术中常用的光源	171
4.1.1 光源的基本特性参数	171
4.1.2 热辐射源	174
4.1.3 气体放电光源	177
4.1.4 发光二极管	182
4.1.5 激光器	191
4.2 光电探测器的性能参数与噪声	196
4.2.1 光电探测器的性能参数	196
4.2.2 光电探测器的噪声	201
4.3 光子探测器	203
4.3.1 光电子发射探测器	204
4.3.2 光电导探测器	206
4.3.3 光伏探测器	211
4.3.4 其他光子探测器简介	218
4.4 热探测器	220
习 题	227
参考文献	230

第5章 光信息存储技术与光盘	231
5.1 光盘及存储类型	231
5.1.1 光盘存储类型	231
5.1.2 光盘存储的特点	232
5.2 只读存储光盘	232
5.2.1 ROM 光盘存储原理	232
5.2.2 ROM 光盘主盘与副盘制备	233
5.2.3 ROM 光盘“2P”的复制	234
5.3 一次写入光盘	235
5.3.1 一次写入方式	235
5.3.2 写/读光盘对存储介质的基本要求	235
5.3.3 WORM 光盘的存储原理	237
5.4 可擦重写光盘	238
5.4.1 可擦重写相变光盘的原理	239
5.4.2 可擦重写磁光光盘存储	243
5.5 光盘衬盘材料	245
5.5.1 光盘规格	245
5.5.2 衬盘材料的选择	246
5.6 光信息存储新技术	247
5.6.1 持续光谱烧孔和三维光信息存储	249
5.6.2 电子俘获光存储技术	250
5.6.3 全息信息存储	252
5.6.4 光致变色存储	258
习 题	260
参考文献	260
第6章 光电成像器件	261
6.1 光电成像器件的基本特性	261
6.1.1 光电成像器件的基本特性	261
6.2 光电成像原理与电视摄像制式	268
6.2.1 光电成像原理	268
6.2.2 电视制式	269
6.3 真空摄像管	271
6.3.1 氧化铅视像管的结构	271

6.3.2 其他视像管的靶结构简介	272
6.3.3 摄像管的性能参数	272
6.4 电荷耦合器件(CCD)	275
6.4.1 电荷存储	275
6.4.2 电荷耦合	277
6.4.3 电荷的注入和检测	278
6.4.4 CCD 的特性参数	281
6.4.5 电荷耦合摄像器件	283
6.5 变像管和像增强管	289
6.5.1 典型结构与工作原理	289
6.5.2 性能参数	290
6.5.3 像增强管的级联	291
习 题	295
参考文献	295
第 7 章 光电显示技术	296
7.1 阴极射线管	296
7.1.1 基本结构与工作原理	296
7.1.2 主要单元	297
7.1.3 CRT 显示器的驱动与控制	299
7.1.4 彩色 CRT	302
7.1.5 CRT 的特点及应用	306
7.2 液晶显示	307
7.2.1 液晶的基本知识	307
7.2.2 扭曲向列型液晶显示(TN-LCD)	311
7.2.3 超扭曲向列型液晶显示(STN-LCD)	315
7.2.4 有源矩阵液晶显示器件(AM-LCD)	317
7.3 等离子体显示	320
7.3.1 气体放电基本知识	321
7.3.2 单色等离子体显示	322
7.3.3 彩色等离子体显示	325
7.4 场致发光显示	327
7.4.1 LED 与无机 LED	327
7.4.2 OLED	328
7.4.3 高场电致发光显示	330

7.5 其他显示技术	332
7.5.1 投影显示	332
7.5.2 真空荧光显示	333
7.5.3 电致变色显示	334
7.5.4 电泳显示	334
7.6 展 望	335
习 题	336
参考文献	336
第8章 光电探测方式与探测系统	337
8.1 二元探测方式	337
8.1.1 二元探测方式	337
8.2 四象限探测方式	340
8.3 光机扫描探测方式	345
8.4 线阵器件的探测方式	349
8.4.1 输出二进像信号的工作方式	350
8.4.2 输出灰度像的工作方式	353
8.5 光学视觉传感器	354
8.5.1 被动三维传感器	354
8.5.2 主动三维传感器	355
8.6 直接探测系统	358
8.6.1 系统类型	358
8.6.2 光电探测系统的指标	360
8.6.3 直接探测系统	361
8.6.4 直接探测系统的作用距离	364
8.6.5 直接探测系统的视场	369
8.7 相干探测方法	373
8.7.1 相干探测原理	374
8.7.2 相干探测的特点	376
8.7.3 相干探测的空间条件和频率条件	379
习 题	381
参考文献	382

绪 论

1. 概 述

光电信息技术是将光学技术、光子技术、光电子技术、电子技术、计算机技术以至材料技术相结合而形成的一门高新技术,它以光波(辐射)为基本信息载体,通过对光波(辐射)的控制、调制、接收、存储、处理和显示等技术方法,获取所需要的信息,以达到为不同的应用需求服务的目的。

光电信息技术有两个最显著的特点:

一是有效地扩展了人类自身的视觉功能,促进了人类视觉探测的光谱延伸和阈值扩展。使视觉的光谱长波限达到 $40\text{ }\mu\text{m}$ 乃至亚毫米(THz)波段;短波限延伸到紫外线、X射线、 γ 射线乃至高能粒子。探测阈值达到和接近光子探测的极限水平。

另一特点是以光子作为信息载体具有极快的响应速度、极宽的频宽、极大的信息容量和极高的信息效率。使超快速现象(核爆炸、火箭发射等)可以在纳秒(ns)、皮秒(ps)以致在飞秒(fs)量级内记录变化过程。有线光通信(光缆)正在替代电缆通信,空间无线光通信正在研制和发展之中,利用信息高速公路(光网络)的多台计算机来传输和处理大容量信息……

正是光电信息技术的上述两个重要的特点推动着信息科学技术的迅速发展。光电信息技术的发展不仅改变了人们的工作、学习和生活方式,而且推动了新的产业革命、军事变革以及新兴学科的形成,具有越来越大的竞争力。例如:在国民经济产业方面,除了我们日常生活中常用的CD、VCD、DVD和光缆通信技术外,数字电视正在走进千家万户,液晶显示、等离子体显示正在逐步取代传统的阴极射线管显示技术;在地球科学和遥感领域,一个重要的例子是,激光技术不仅能够高效地、高精度地监测大气、海洋等环境污染,而且和现代高新技术之一的全球定位系统(global positioning system, GPS)相结合的激光测距技术可以实现无地面控制点的测绘技术,使传统的大地测量技术产生革命性的变革,并且还将在我国的探月工程项目中发挥重要作用;在军事领域,如世纪之交的几场局部战争,都可堪称为信息战胜钢铁的经典。而光电信息装备(如激光武器、侦察、预警和制导类光电装备)已形成信息战中获取战场信息的主要手段;红外与微光夜视技术可以把战场变成没有“黑夜”的战场,激光三维成像技术可以识别伪装良好的军事目标,激光、红外成像及其组合制导系统可以实现对敌方目标的精确打击。这些都预示着,光电信息技术正在推动着战争模式的变化,促进未来武器装备的转型。综上所述,光电信息技术已经在各行各业得到广泛的应用。由新材料、新工艺、新技术支撑的、能产生高效益的光电信息产业正在世界范围内迅速扩大;光电信息产业在市场的份额逐年增加。在技术发达国家,光电信息相关产值已占国民经济总产值的一半以上。

为了满足光电信息技术产业以及光电信息武器装备的形势发展和人才培养需求,近年来不少高校陆续增添了光电信息类专业,相继出现了不少优秀的光电信息技术类教材。本教材是作者根据多年来从事光电信息技术基础理论与实验教学的体会,结合目前高校中“厚基础、宽专业、重应用”的复合型人才培养的需求,参考了一些国内外相关优秀教材的基础上编写而成。本教材体系新颖,在内容安排上注重基础,强调实用,突出主要技术和系统基础,介绍了当前光电信息探测技术的主要基础内容。在编写中,力图条理清楚,层次分明。各章之间既相互联系又具有独立性,便于读者灵活选读。如果本教材对光电信息技术专业的教学和从业人员有所帮助,作者将不胜荣幸。

光辐射探测技术是光电信息技术的传统而重要组成部分。因军用、民用以及科学研究的需求,在过去的几十年里,人们在光辐射探测技术方面做了大量工作。其中最为突出的成就就是在半导体物理学、固体物理学、光学和低温技术发展的基础上,新型相干光源及高灵敏度的光探测器的成熟应用;与此同时,人们设想的多色、非制冷、具有信号处理功能、更快响应速度和更高探测灵敏度的第三代红外焦平面阵列成像探测器正在大力研发过程中。此外,就探测方法而言,与传统的直接探测(又称为非相干探测)方法相比,光外差探测(又称为相干探测)技术要复杂得多,在实际应用中后者不及前者广泛。但是随着近年来相干光通信、光雷达、深空弱光探测及光纤传感技术的发展,对光辐射探测系统的灵敏度要求越来越高,因而光外差探测越来越受到重视。光电信息材料对器件、系统甚至信号探测技术的发展往往起着关键的作用,特别是近年来对光子晶体、有机光电信息材料的研究,很可能引起新的光电信息技术革命。光的信息存储与显示技术正在日新月异地发展。因此,本教材在介绍传统内容的基础上,对这些新材料和新技术作了适当介绍。

2. 光电信息技术的发展简况

光电探测器和发光器件都是光电信息转换器件。如果从最早的光电探测器效应算起,则光电信息技术的历史可以追溯到 1873 年英国的 W. R. 史密斯发现硒的光电导性;如果从激光器的发明算起,则光电信息技术的历史可追溯到 1960 年美国的梅曼发明的世界上第一台激光器——红宝石激光器。应当说,自 1873 年第一个光电效应的发现起,光电信息技术的发展一直较为缓慢;而 1960 年第一个激光器的发明,促进了光电信息技术突飞猛进的发展,导致了一系列相关学科的形成。这里,我们仍从 1873 年说起。

自 1873 年的发现了硒的光电导性(内光电效应)后,1888 年,德国的 H. R. 赫兹观察到紫外线照在金属上时,能使金属发射带电粒子,但无法解释。1890 年,P. 勒纳通过对带电粒子电荷质量比的测定,证明它们是电子。由此弄清了外光电效应的实质。1900 年,M. 普朗克提出量子物理的概念,提出黑体辐射能量分布的普遍公式。这些公式及概念为光电信息技术中的目标、背景辐射与识别奠定了精确计算的理论基础。1929 年,L. R. 科勒制成银-氧-铯(Ag-Cs)光电阴极,出现了光电管。1939 年,苏联的 V. K. 兹沃雷金制成实用的光电倍增管。20 世纪 30 年代末,硫化铅(PbS)红外探测器问世——可在室温下探测 $3\text{ }\mu\text{m}$ 波长的辐射。

20 世纪 40 年代出现用半导体材料制成的温差型红外探测器和测辐射热计。20 世纪 50 年代中期,可见光波段的硫化镉(CdS)、硒化镉(CdSe)光敏电阻和短波红外硫化铅光电探测器投入使用。1958 年英国劳森等发明碲镉汞(HgCdTe)红外探测器。因军事中夜视侦察、制导以及民用环境、资源遥感等方面的迫切需求,20 世纪 60 年代之后的几十年间,红外探测器以及红外探测系统得到迅速发展,美、英、法等国大力开发了中波($3\sim 5\ \mu\text{m}$)和长波($8\sim 12\ \mu\text{m}$)红外多元探测器组件。从 1992 年起,各主要军事大国又竞相采用红外焦平面成像技术取代多元探测组件,以电子扫描取代光机扫描,发展凝视红外成像技术,简化了扫描机构,缩小体积,减轻质量,改善性能,由此给航空航天的应用带来了极大的方便。

进入 21 世纪,红外焦平面阵列技术已从第一代线阵列发展到现在的二维 TDI 和大型凝视焦平面阵列,目前正在向焦平面探测器元高集成度($\geq 10^6$ 元)的高密度、小像元($25\ \mu\text{m}\times 25\ \mu\text{m}\sim 18\ \mu\text{m}\times 18\ \mu\text{m}$)、高性能、多色和低成本的方向发展;非制冷红外焦平面阵列技术近几年取得的突破为红外焦平面阵列技术开拓了更加广阔的应用领域。利用焦平面技术是未来发展低成本红外焦平面阵列的重要途径。目前,红外焦平面阵列技术的发展正处在向第三代阵列技术发展的关键时期,各有关公司、厂家和研究机构正在研究确定 2010 年前第三代红外焦平面阵列的概念。预计这一技术的发展将会进入新的发展时期。

此外,随着近年来二元光学和微光学技术以及微扫技术的成熟,国际上正在开发用于新一代凝视红外成像系统的大视场、轻质化红外光学系统,利用二元光学和超分辨技术简化光学系统结构,提高图像质量,在保证高像质情况下获得大视场;同时采用微镜技术缩小探测器受光面积,可以增加填充因子,提高探测率,改善均匀性降低噪声。在同样大小瞬时视场的情况下凝视红外成像器件的分辨率低于第一代和第二代扫描型红外成像器件的分辨率。为了提高凝视型红外成像系统的分辨率,国际上正在发展微扫技术(或称微步凝视技术)。该技术采用棱镜或聚焦透镜在探测器阵列前面作二维移动,在焦平面探测器上形成一系列目标图像。这些图像彼此错开的距离是每个探测器单元距离的几分之一,能有效实时地显示一帧目标的合成图像。

在光源和发光器件方面,最具有里程碑意义的是 20 世纪 60 年代激光器的发明。激光器的理论基础是美国 A. 爱因斯坦在 1916 年奠定的,他提出光的发射和吸收可以经过受激吸收、受激辐射和自发辐射等 3 种基本过程假设。但直到 1954 年,美国的 C. H. 汤斯才根据这个假设,以制冷的氨分子作为工作物质研制成微波激射器。1958 年,C. H. 汤斯与 A. L. 肖洛将微波受激辐射的原理推广到红外和可见光波段,引入了激光的概念。1960 年,美国的 T. H. 梅曼发明了世界上第一台激光器——红宝石激光器,之后几年,各种激光器的出现如雨后春笋,与此同时人们开始探索激光的应用。1961 年,第一台激光测距仪问世。其后,激光器在军用和民用领域的应用迅速展开,如激光测绘、激光诱导荧光遥感、激光大气污染测量、自适应光学中的激光导星、各种激光制导武器和激光致盲武器等。近年来,激光已广泛应用于通信、雷达、测距、定位、制导、遥感等领域;激光还应用于工业生产和科学研究中,用以传递和各种测量与

控制信息。

目前,激光器的应用有以下几个重要的前沿研究方向:

① 自由空间激光通信技术,特别是深空激光通信已引起人们极大的关注。

② 向多波长激光三维成像技术方向发展,在民用领域可以作为物体的三维形貌测量和地表植被的三维遥感信息获取等;在军用领域主要是对隐藏目标的探测和识别。

③ 空间(深空)暗小目标探测技术。如空间碎片的探测,卫星的探测与监控等。

④ 此外在科学研究方面,近场光学成像技术、激光扳手等都是前沿性研究课题。

由于各行各业的不同需求,短脉冲、大功率激光器的研制一直是热点。20世纪80年代,人们对超晶格量子阱结构材料和工艺的深入研究导致了超大功率量子阱阵列激光器的出现。对量子阱结构材料的非线性光学研究,使得以往只有在强激光作用下的介电材料中才能观察到的非线性光学效应,发展到在弱光激发的量子阱材料中也可以观察到很强的三次非线性光学效应,从而导致半导体光学双稳态功能器件的迅速发展。

光纤技术的发展起源于1966年。当年英籍华人高锟等提出实现低损耗光学纤维的可能性,到了1970年,美国研制出损耗为20 dB/km的石英光纤和室温连续工作的激光二极管,使光纤通信成为现实。这一年被公认为“光纤通信元年”。到20世纪80年代初,日本、美国和英国相继建成全国干线光纤通信网,并决定干线通信不再新建同轴电缆。20世纪90年代初,光纤放大和波分复用技术诞生。这两种技术的结合,充分发挥了全球已建成的超过 1×10^7 km单模光纤长途通信网的频带潜力,使其传输能力至少提高一个量级,使网络功能和操作灵活性大为改善。

光纤通信已从简单的替代电缆通信阶段过渡到革命性发展阶段。伴随着光纤通信的迅速发展,光纤传感技术也相应地产生和发展。20世纪80年代诞生了光纤传感技术,传感压力、张力、温度、角速度(光纤陀螺)等各种物理量的光纤传感器陆续开发出来。20世纪90年代初中期出现了光纤激光器。光纤光栅等光纤元器件崭露头角,展示出广阔的应用前景。

这些基于光纤的一系列重要技术突破,导致了光通信、光纤传感、光盘信息存储、光信息显示乃至光信息处理等为代表的光电信息技术的蓬勃发展。其相关成果不仅从深度和广度上促进了相应各学科的发展,特别是促进了半导体光电子学、导波光学和非线性光学的发展和彼此之间知识的相互渗透,而且还和数学、物理学、材料学等基础学科交叉,形成新的边缘领域。这些边缘领域如:半导体超晶格量子阱理论与技术、纤维光学技术、有机分子半导体光学、变折射率光学、光纤光栅传感理论与技术等。对光纤物理特性的深入研究,出现了利用光纤的偏振和相位敏感特性制作的光纤传感器;对光纤非线性光学效应和色散特性的研究,形成了光孤子的概念,进一步推动了对特种光纤的研究等。

目前光纤应用技术的发展方向是智能化超高速计算机系统和全光网络结合的超高速、超大容量信息传输和处理系统的实现,以满足现代国防体系、生命科学、遥感科学以及管理科学等领域中巨量信息在有限的时间、空间进行实时准确处理的需求。这一战略发展目标又

向微电子提出了挑战,因为微电子技术受分布电容的影响,难以突破纳秒的门槛;在实现超高速、大容量、超低功耗的集成系统方面遇到了根本的困难,而有机光电信息材料在这方面则有可能突破此门槛。

光存储技术的历史较短,但发展很快。1972年,荷兰飞利浦公司演示了模拟式激光视盘。1982年,飞利浦公司同日本索尼公司合作,推出了第一台数字式激光唱机。由于激光唱机(CD)进入家庭和只读式光盘存储器(CD-ROM)同个人计算机结合,因而形成巨大的市场。光存储技术飞速发展,不断更新,形成了一个可以同光纤通信匹敌的光存储产业。与光纤技术一样,目前光存储技术也在向超高密度、超大容量方向发展,以达到或超过光的衍射极限(达到纳米量级)的高密度光存储技术,和超大容量三维体存储技术是研究和开发的热点。

平板显示器技术以液晶显示器发展最快。1964年,美国RCA公司发现了液晶的多种光电效应:宾主效应、动态散射效应和相移存储效应。这些效应为液晶显示器、液晶光阀等器件的研制奠定了基础。等离子体显示器、场致发光显示器相继问世并不断发展。现在,平板显示器已形成巨大市场。目前,光显示呈现出等离子体显示(PDP)、液晶显示(LCD)和场致发光显示等平板显示取代阴极射线管的趋势。

以上发展情况表明,尽管光电效应、受激发射原理等早已被发现或提出,但相应的光电子器件的出现和发展及其应用却滞后得多,光电子器件和技术的大发展已是20世纪50年代以后的事情。事实上,光电子器件的发展离不开材料技术、半导体技术、微电子技术和精密仪器设备,因而只能同其他高新技术互相促进、共同发展。同时,在光电信息技术领域内,各个技术分支之间也存在互相驱动、互相牵引的关系。比如,激光牵引了快速响应光电探测器和四象限探测器,光纤通信牵引了 $1.3\ \mu\text{m}$ 和 $1.5\ \mu\text{m}$ 室温连续半导体激光器、低噪声探测器和光纤放大器器件,光存储牵引了半导体激光器向短波长发展等。

值得指出的是,光电信息技术像其他高新技术一样,始终受到军方的高度重视,军事需求成为牵引它的强大动力。比如1983年美国提出的战略防御倡议(SDI)就包括了高能激光武器,基于红外焦平面阵列的星载预警系统以及许多光电子器件和整机系统。并对这些系统投以巨资,使之得到长足发展。冷战结束之后,美国虽停止了SDI计划,但仍以局部战争为目标,继续大力发展光电信息技术装备。1991年的海湾战争,以美国为首的多国部队广泛使用了各种星载、机载和车载光电子装备,包括高分辨可见光和红外侦察照相机、激光半主动制导航弹、红外成像制导导弹、电视和红外制导航弹、红外前视、夜间低空导航和目标侦察红外系统(即“蓝天”系统)、激光测距和目标指示器、激光致盲武器、激光光点跟踪器、激光告警器和红外对抗装置等。1995—1996年初的波黑战争中,北约部队的战场无人侦察机频繁出动,它装备了合成孔径雷达(SAR)和高分辨率CCD摄像机,及时地清楚掌握了战场情况,使北约部队在军事上处于主动地位。目前,美国正在建立中的“天基红外导弹预警系统”、“空间激光扫描”、空间暗弱目标探测的“主动激光综合孔径探测系统”等都表明:光电信息技术在高技术局部战争中的作用越来越引人注目。

3. 光电信息技术的地位与作用

21 世纪被称为“光电子信息时代”。一个世界性的“光谷”正在流行。不仅是国民经济和人们生活对光电信息技术的需求急剧增长,而且军事和国防对光电信息技术的需求显得更为突出。特别是全球范围内的利益追求,各国都把光电信息技术作为本国军事高新技术发展的关键技术来重视。不但要求信息的时效好,数量大,还要求质量高、成本低。这里从以下几个主要方面说明光电信息技术的地位和作用。

(1) 通信

光纤通信技术从 1970 年开始研究,1980 年开始实用化,发展异常迅速。从 1982 年开始,日本、美国、英国等发达国家相继宣告在干线通信中以光纤代替同轴电缆,因为光纤通信的性能价格比已优于同轴电缆通信。由于光纤通信的传输速率极高(容量极大),不仅提供了大量话路(解决了话路拥挤问题),而且还为新的通信业务提供了巨大的可能性,比如高速数据通信、传真和静止图像快速传递,特别是多路数字化活动图像传输。光纤通信是正在发展中的信息高速公路的基石,是为了适应高速大容量信息传输发展的需求。在军事上的高技术战争中,情况瞬息万变,要想克敌制胜必须有快速反应能力。光电信息技术借助光纤大容量信息传输,特别是高速实时传输能力和光电子信息处理技术提供快速反应所必需的信息。武器平台上的光电探测和显示设备可以起辅助驾驶作用,提高反应速度。

军事通信网所用光纤通信技术同民用技术没有大的区别。军用光纤通信特殊之处在于野战光缆和武器平台内部通信,要求能耐受恶劣环境。野战通信光缆通常按一定长度制造,以便运输和快速放线,快速撤收,有故障时便于成段更换。野战光缆两端配以快速连接器。野战光缆的铺设可以用越野车辆,也可以用直升飞机。为此,配有专门的放线器。在军舰、飞机、车辆和导弹内亦广泛采用光纤光缆以替代电线电缆。光纤光缆不仅传输速率高,而且无电磁辐射(隐蔽性好)、不怕电磁干扰(可靠性高)、体积小、质量轻。为防止无线电波被敌人截获,在战斗打响前有一个无线电静默期间。在此期间,战术分队之间可以用半导体激光通信机联络,这种通信机作用距离可达 2 km,质量轻,耗电省。

目前国际上正在开展光子微波复合通信技术的研究,它集光纤通信与微波通信于一体,使之同时具备大容量、高速率、安全性及可移动性等优势。

(2) 测绘、侦察与遥感

工程建设和绘制地图需要对地形进行精确测绘。用激光测距仪或激光经纬仪测绘比传统的经纬仪要快得多和精确得多,已经广泛应用。机载的、重复频率达 1 000 次/s 以上的激光航测仪可以迅速测绘大面积地形图,其效率比地面测绘高 100 倍。在人迹罕至的地域,这种航测仪更有用,用精密的人造地球卫星激光测距仪对带有角反射器的卫星测距,测程在 6 000 km 以上,测距精度达厘米级。分布在全球或某一广大地区的若干台,若由这种测距仪组成的卫星观测网,可以获取卫星轨道的大量精确数据。精确测定任意两观测站之间的距离,以便进行精

确大地测绘,研究地球板块运动,观测地球固体潮和南北极移动,改进地球重力场模型等。如我国学者曾在国家“863”计划的支持下,将激光扫描测距、热红外成像、全球定位系统(GPS)以及惯性测量系统(INS)有机结合在一起,构成无须地面控制点的高效三维遥感集成技术系统。该技术可以(准)实时获取被观测目标的三维热红外图像。

星载多光谱照相机可以获取全球地面和海面的温度分布信息,形成伪彩色照片。这种遥感照片可供资源调查用,亦可用于评估农作物生长状况和预报产量,还可用于发现和监视污染、水灾、火灾和虫灾。基于同样原理,装有红外成像设备和其他仪器的气象卫星,每隔几小时向地面发回一幅云图供天气预报用。正在研制的星载测风激光雷达,将精确测定全球的高空风,提高天气预报的准确性,延长预报时间。

环境保护已成为当今社会面临的最重大课题之一。光电信息技术在环保方面主要起监测作用,包括用激光测污雷达和红外探测仪器实时监测大气污染情况的三维分布,用便携式光谱仪现场测定污染成分。机载光电测污仪器可以监测被泄漏的石油污染的水域,迅速查明大面积油污情况,还可以通过污染的大气和废水发现秘密的毒品加工厂。

在现代军事上,要求看得更清。看清敌我态势和看清作战目标是在战争中取得主动的前提。光电信息技术可以帮助各级指挥员乃至战士对战场情况看得更清楚。这些技术包括用星载和机载光电侦察设备获取全球的、战区的和战场的情报,特别是高分辨率的图像情报,用红外热像仪和微光夜视仪进行夜间观察和侦察。对地观测光学传感器的进一步发展体现为高光谱分辨率和高空间分辨率的特点。光谱分辨率已达到纳米级,波段数已达数十甚至数百个(即超光谱);卫星平台上光学遥感器的空间分辨率已达到米级。1995年发射升空的由法国、意大利和西班牙联合研制的“太阳神”侦察卫星,星上主要的侦察设备是一个CCD可见光相机,其地面分辨率达1 m。美国自1989年8月起陆续升空的第6代光学成像的KH-2侦察卫星,星上装载的CCD相机,采用了世界上最先进的自适应光学技术,可以有效地补偿大气湍流造成的影像畸变,拍摄的图像地面分辨率可达0.1 m左右。这样高的图像分辨率,可以识别和区分地面上的坦克和卡车、飞机的型号,导弹的类型等,一般的武器装备很难逃过它的“眼睛”。目前,国际上激光成像雷达在军事上的应用已经不再局限于应用激光的测距信息和单一波长信息,而是发展多波长激光三维成像雷达和进一步利用激光的偏振信息,这些技术有助于识别目标和伪装,迅速准确地分析判断战略布局和战场态势。

星载多光谱照相机采用可见光和红外波段并用滤光器细分为若干子波段进行照相;而对热图用伪彩色代表不同温度,所获得的伪彩色照片有助于分辨和识别目标。低轨道卫星每几十分钟绕地球一圈,不到一天即可获得全球表面的图像信息。过去将侦察到的图像记录在胶卷上,用回收卫星的办法取得胶卷,再冲洗放大和处理,周期较长。现在已经可以在卫星上广泛采用光电传感器,进行适当的图像处理,把信息发回到地面站,实时或准实时地获得所需要的图像信息。机载光电侦察设备,特别是近年发展起来的无人机载光电侦察设备,包括CCD相机和红外热像仪,由于距地面只有几千米,可以获得分辨率达1 m甚至0.1 m的高清