

光电子技术入门

GUANGDIANZI JISHU RUMEN

倪星元 沈 军 周 斌 吴广明 编著



化学工业出版社

TN2/25

2008

光电子技术入门

GUANGDIANZI JISHU RUMEN

倪星元 沈 军 周 斌 吴广明 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

光电子技术入门/倪星元等编著. —北京: 化学工业出版社, 2008. 5

ISBN 978-7-122-02646-0

I. 光… II. 倪… III. 光电子技术 IV. TN2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 056914 号

责任编辑: 丁尚林
责任校对: 吴 静

文字编辑: 孙 科
装帧设计: 周 遥

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 北京市兴顺印刷厂
850mm×1168mm 1/32 印张 7¼ 字数 189 千字
2008 年 8 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 22.00 元

版权所有 违者必究

前 言

光电子技术作为一门研究光与物质相互作用而发展起来的新兴学科，已经成为现代科学的一个极为重要的组成部分，以光电子技术为基础的光电信息技术是当前最活跃的技术之一。

光电子技术是研究从红外波、可见光、紫外光、X射线直至 γ 射线波段范围内的光波电子技术，是研究运用光子和电子的特性，通过一定媒介实现信息与能量转换、传递、处理及应用的科学。毫无疑问，光电子技术是光学和电子学发展的高级阶段，也是高技术领域内的先导和核心。光电子技术以光电子学为理论基础，以光电子元、器件为主体，综合利用了光、电、机、计算机和材料等多方面的技术，实现了诸多全新的功能。与电子技术相比，光电子技术具有频谱更宽、信息容量更大、传输速度更快、抗电磁干扰能力更强的特点。

众所周知，光电子技术已渗透到各行各业，并在科学技术、军事装备、工农业生产、交通、邮电、天文、地质、医疗、卫生等国民经济各个部门发挥着重要的作用，在人们的日常生活中也到处可见光电子技术的应用。光电子技术对经济发展、生活质量提高的影响是非常深远的，它所产生的经济效益远远超过光电子产业本身的产值。

光电子技术以其独特的优点——极快的响应速度、极大的频宽与信息容量、极高的信息效率推动着信息科学技术的发展，具有越来越强的竞争力。光电信息产业已成目前世界上最具有代表意义的主导产业。现代信息技术的发展和科技进步需要培养一大批掌握光

电子技术的专业人才，也迫切需要普及光电子技术方面的知识，本着这样的宗旨我们编写了《光电子技术入门》一书。

本书简要概括了光学、电子学、电磁学、晶体学、材料学等多方面的基础知识，以及发光源、激光、光电显示、光电变换、光纤和光传输及光电子技术的应用等知识；从基本原理入手，系统讲解了光电子技术的基本概念、基础知识和各种器件的特性与应用。各章节的编排以及章节内容的安排既注重知识之间的有机联系，又考虑了各自的独立性。

本书取材广泛，叙述深入浅出，通俗易懂，特别还兼顾了非专业人员的特点，便于自学。既可作为新进入光电子行业的专业人士的入门教材，也可作为非专业人员及企业管理人员了解光电子技术的科普读物。

编著者

2008年4月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 光电子技术与人们的生活	1
1.2 光电子技术和器件	3
1.3 日益进步的光电子技术	7
第 2 章 光电子技术的基础光学知识	10
2.1 光的基本属性——波粒二重性	10
2.2 光的波动性	11
2.3 光传播的一些基本现象	15
2.3.1 反射、全反射、折射	15
2.3.2 偏振	16
2.3.3 干涉和衍射	17
2.4 光的粒子性	18
2.5 光电子的传播	20
第 3 章 固体介质中的基本光电子现象	24
3.1 光学晶体结构	24
3.2 光在固体介质中的传播速度和方向	26
3.3 晶体中的光电子能带模型	29
3.4 半导体的电子能级	31
3.5 半导体中的基本光电子现象	33
第 4 章 发光和光电变化的机理	37
4.1 自发发光的各种类型	37
4.2 光的吸收与发射	38

4.3	光电效应和受激发光·····	40
4.4	非线性光电效应·····	42
第5章	电光转换现象与发光及图像显示器件 ·····	46
5.1	发光二极管·····	46
5.1.1	半导体光源的物理基础·····	46
5.1.2	发光二极管的工作原理及结构·····	50
5.1.3	发光二极管的特性及应用·····	53
5.2	液晶显示 (LCD) ·····	59
5.2.1	液晶显示的原理和特性·····	59
5.2.2	液晶显示器的工作原理和显示器基本构造·····	63
5.2.3	液晶显示器的应用·····	65
5.3	阴极射线显像管 (CRT) ·····	70
5.3.1	阴极射线显像管的基本结构与工作原理·····	70
5.3.2	阴极射线显像管的特性和应用·····	73
5.4	等离子体显示板 (PDP) ·····	75
5.4.1	等离子体显示板的工作原理·····	75
5.4.2	等离子体显示板的特性和应用·····	77
5.5	其他显示技术·····	80
5.5.1	投影显示·····	80
5.5.2	电致变色显示·····	81
5.5.3	电泳显示·····	82
第6章	激光与激光器 ·····	84
6.1	激光的形成和基本特征·····	84
6.2	不同工作物质的激光器·····	87
6.2.1	固体激光器·····	87
6.2.2	气体激光器·····	91
6.2.3	液体 (有机染料) 激光器·····	98
6.3	几种不同结构的半导体激光器 ·····	101

6.3.1	同质结半导体激光器	101
6.3.2	异质结半导体激光器	103
6.3.3	条形激光器	106
6.3.4	量子阱半导体激光器	110
6.4	激光和激光器的主要应用	112
第7章	光电变换和光电器件	115
7.1	光电转换的几个基本效应	116
7.1.1	光电和光热转化的物理基础	117
7.1.2	外光电效应——光电发射效应	118
7.1.3	内光电效应	120
7.1.4	光热效应	122
7.2	光敏电阻	124
7.2.1	光敏电阻的结构与原理	124
7.2.2	光敏电阻的特性与应用	125
7.3	光伏电池（太阳能电池）	128
7.3.1	光伏电池的原理与结构	128
7.3.2	光伏电池的特性和应用	131
7.4	光敏二极管（PD）	135
7.4.1	光敏二极管的工作原理和结构	135
7.4.2	光敏二极管的特性和应用	135
7.5	其他光敏管	138
7.5.1	PIN管	138
7.5.2	雪崩光敏二极管	138
7.5.3	光敏三极管	139
7.5.4	光电倍增管	140
7.5.5	热释电器件	144
第8章	光纤和光的传输	146
8.1	光纤的基本知识	146

8.1.1	光的传输和光通信	146
8.1.2	光纤的结构与分类	148
8.1.3	光纤的结构参数	151
8.2	光纤的传播特性	153
8.2.1	光在光纤中的传播	153
8.2.2	光在光纤中的传播模式	155
8.2.3	光纤内光的传播速度	157
8.3	光纤使用中的影响因素——损耗和色散	159
8.3.1	光纤的损耗特性	160
8.3.2	光纤的色散特性	164
8.4	光纤的应用	166
8.4.1	应用背景	166
8.4.2	光纤应用的特点	168

第9章 光电子技术应用举例..... 172

9.1	激光印刷	172
9.1.1	激光打印机	172
9.1.2	静电复印和激光印刷	175
9.2	光盘存储	176
9.2.1	光盘存储的类型和特点	176
9.2.2	光盘存储的工作原理	177
9.2.3	光盘存储系统	179
9.3	全息技术	181
9.3.1	全息摄影和全息图像	182
9.3.2	全息技术的应用	188
9.4	摄像机和数码相机	191
9.4.1	电视信号光电传播模式	191
9.4.2	光电导摄像机	194
9.4.3	CCD 摄像机和数码相机	195
9.4.4	摄像测量	197

9.5 激光通信	198
9.5.1 光纤通信	199
9.5.2 大气传输光通信	204
9.5.3 卫星激光通信	206
9.5.4 水下激光通信	208
9.6 激光在工业加工和其他方面的应用	209
9.6.1 激光打孔	210
9.6.2 激光切割	211
9.6.3 激光焊接	212
9.6.4 激光热处理	213
9.6.5 激光测距、激光雷达	213
9.6.6 激光应用的新探索	214
参考文献	217

第 1 章 绪 论

1.1 光电子技术与人们的生活

从人们各自手中的移动电话到家里客厅中的电视机，到办公场所的电话、电脑、打印机、复印机、传真机，这些都是光电子技术产品。这些所谓的光电子技术产品都离不开光学技术和电子学技术，因此是光学技术和电子学技术密切结合的产物。

首先来说说光和光学。人们的生活离不开光和光学，地球上可以采集的 99.98% 的能源都来自太阳能，太阳以“光”的形式抚育大地，施恩于人类。光不仅给了人们生存的能源，同时也是诸多信息的载体。从物质的角度来看，光是一种频率范围很广的电磁波，但人类肉眼所能感受到的光，其波长仅局限在称为可见光的极狭小范围内，一门称之为光学的学科正是为此而形成和发展起来的。

光学是物理学的一个分支。光学是以人类具有的视觉作为出发点，把若干个世纪以来观察到的物体的明暗和颜色、空间图像等各种各样的光现象加以正确采集、探索和总结，进而记录、再现和显示等发展而来的。经典光学以电磁辐射本身为研究对象，近代科学技术的发展使光与物质的相互作用成为更重要的研究内容。目前，光学已渗透到人们生活的每一个细节，渗透到各个科学技术与应用领域，成为一门蓬勃发展的新兴技术，并产生了无数的对人们生活来说难以或缺的用品，不少分支已形成具有相当规模的新兴产业。

在当今世界人们的生活与电和电子学已经变得密不可分。与光学相同，电子学也是建立在电磁学的基础上发展起来的。与光学

不同的是电子学并不能直接来自人类感官（如视觉）的感觉，而是应用人类知识活动所产生和积累的知识，从 19 世纪末期开始酝酿建立了这种称为电磁学的学科体系。从 1949 年晶体管诞生起，电子学和电子技术开始了具有革新意义的飞跃。电波的波长比可见光长得多，且具有相干性，电子学在实际应用上已形成了大容量的信息传输、信息处理、信息记忆和数据演算等强大的技术体系，电子学的发展使人类的生活质量和生产效率的提高产生了难以估量的飞跃。

考虑到这两种学科技术领域各自所拥有的优点，如果能互相吸收这些优点并加以巧妙结合的话，不就可以实现更为优异的性能和具有更新和更广泛的效能吗？于是光电子学及相应的光电子技术逐渐形成了，光电子学是光学与电子学相结合的产物。20 世纪 60 年代以前，虽然对光电现象的研究已有了相当的成就，也出现了不少实用的光电子器件，但光学和电子学基本上仍然是两门独立的学科。

随着信息化社会的到来，对在扮演尖端技术角色的微电子器件如何实现更快的速度和更小的耗能及更大的容量提出了要求。由于 20 世纪 60 年代激光的出现，人们对光与物质相互作用过程的研究呈现出了空前活跃的状态，导致了半导体光电子学、导波光学、非线性光学等一系列新学科的涌现。经过几代人的努力，不仅光电子学和光电子技术得到了广泛而深入的发展，还发明和产生了大量服务于人类的先进的光电子器件和产品。到了 20 世纪 70 年代，光纤、半导体激光器和接收光元件等的生产技术有了惊人的进步，加速了光电子学的发展，其潜力大大出乎当时人们的预料之外。

再回到生活中，可以清楚地看到光电子技术给人们的工作和生活带来的影响。移动电话、电脑和电视机等的显示屏是光电子器件，用到的是光电子显示技术；传真机、复印机、扫描仪及自动照相机等，它们中的关键部件是光电传感器，用到的是光电子转换技术；电话机和电信网络中进行长距离对话和信息交流的载体——光纤也是光电子产品，用到的是光纤、激光等一系列复杂的光电子技

术；在今天，人们已经从光盘的实用化中体验到高密度信息记录给人们生活、工作和学习带来的巨大实惠，这涉及到的是激光存储、传输等光电子技术；利用光的双向传输性，光电子技术已被扩展到能将图像、影像信息相互进行通信的可视化电视多媒体等应用领域，构筑了使用光纤通信以及卫星通信的信息高速公路，通过局域网和互联网编织成了全球通信网；在能源危机日益威胁到人类生存和发展的今天，太阳能光电池提供了化解这一危机的新的出路，太阳能电池作为光电子技术及其产品，正日益显现出其巨大的生命力。

综上所述，可以毫不夸张地说，在当今的时代光电子技术已经逐步深入到人们日常生活和工作的每一个细节，深刻地影响着人们生活及工作的质量和效率，并且将更进一步推动人们的生活向着更优质的灿烂前景发展。

1.2 光电子技术和器件

从光电子技术研究初期开始，人们就总是在不停地探索和开拓其应用价值时，特别更多考虑的是军事及武器方面的应用，为此投入了大量的人力、物力和财力。20 世纪 50 年代末，美军将光电探测器用于空-空导弹，取得了明显的作战效果。之后，美、英、法等国相继开发了多种波长的红外光电探测器组件、红外焦平面阵列等，广泛应用于夜视、侦察、扫描、火控、制导等系统。自 20 世纪 60 年代起开创了激光技术到现在，激光器的波长覆盖了从软 X 射线到远红外的各个波段，最高的峰值功率可达 10^{14} W 的量级，最高的平均功率可达到兆瓦级。在激光脉冲输出性能大为提高的同时，其结构、工艺日趋成熟，稳定性、可靠性和可操作性显著改进，因此进一步扩展了其应用领域。

总之，由于光电子技术带来的优异性能特征越来越多地被发掘，这使得它具有越来越大的实用价值和应用范围，概括如图 1.1 所示。

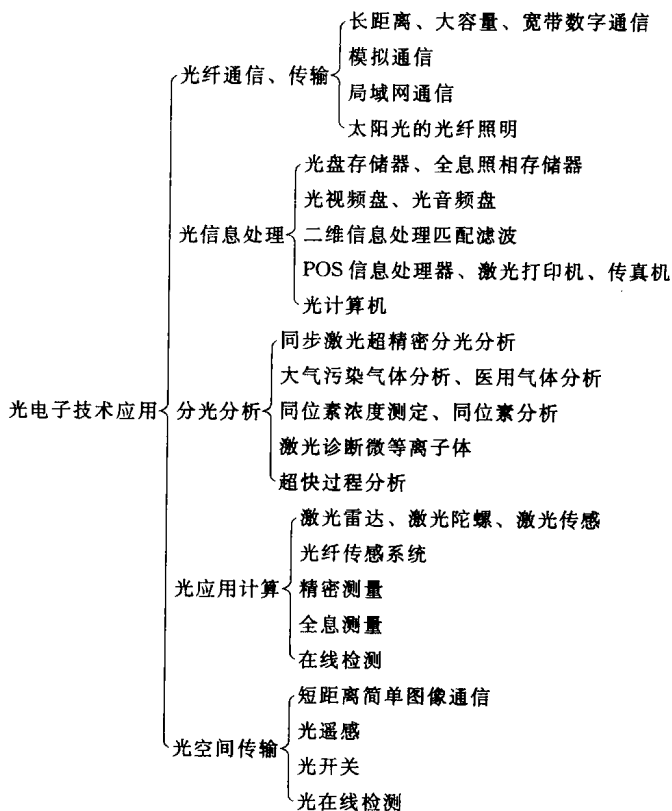


图 1.1 光电子技术的应用

光电子技术各个方面的应用特点大概可以归纳如下。

① 光纤通信 从信息传输的角度看，光波与电波相比具有近乎无限的带宽，利用光纤进行信号传输，由于光纤微小的传输损耗，使得其在长距离、大容量、超高速通信和信息处理中成为主体。

② 光存储 半导体材料激光器体积小，驱动功率也小，可以对衍射极限尺寸的微光斑进行聚焦，可以制成小型、大容量的光存储装置，利用激光的并行性十分有利于二维、三维图像信息的存储与处理。

③ 光计算机 利用光电子技术中的弱光激发和三次非线性等现象可实现光学双稳态，在光计算机上有重要的价值。

④ 在线检测 根据光波具有直线传播的性质和定向性，利用光电子技术可以进行非接触式测量和控制，也可以在有电磁场感应噪声干扰的环境中进行有效的在线传输、测量和控制，并可实现在线检测。

⑤ 危险环境测量 随着光纤技术的发展，可以方便地利用光纤直接对正在运行的有危险的设备进行信息的传输、测量和控制，即使在使用高电压的机器内部和外围设备上也不会引起绝缘的破坏，而且在易爆的气体、液体、固体等物质或环境中都不会有产生电火花危险，可以确保安全地进行通信、测量和控制。

⑥ 激光医学 光电子技术中采用的光纤，其耐热、耐潮性高，芯径细，柔性好，使得进入人体的血管、内脏、器官内部进行测量和治疗成为可能；激光输出的焦点小，适合作角膜焊接、激光碎石等；由于热效应好，还适合作穴位治疗仪等。

⑦ 激光加工 激光的方向性好，单位能量密度极高，可以方便地进行激光加工，施行切割、打孔、焊接等工艺操作。高功率的强激光还可用于激光可控核聚变等。

⑧ 军事应用 光电子技术可用于精确制导、侦察、瞄准、跟踪、监测、频谱分析等军事活动。

⑨ 遥感测量 光电子技术利用激光不仅可以改变振幅、相位、偏振，而且还可以改变频率，因而可以进行物质的光谱分析，以此还可以进行遥感测量。

⑩ 光传感 光电子技术利用光波的直线传播性质、光调制的非接触性、光纤的柔韧性以及各种光调制性质，可以制作温度、湿度、位移、加速度光传感器，特别是各类小型轻便的光纤型传感器备受瞩目。

⑪ 精密计量 光波长为微米量级，因此十分适合进行距离、时间等数据的精密计量。

上述各光电子技术的应用，需要依靠各类光电子器件来实现。

电子技术经过 100 多年发展已产生了比较完善的电子器件，并已实现了高度集成化，而光电子技术从激光出现以来仅有 40 多年历史，正处在发展期，有关器件尚不完善，集成化也仅在探索之中，因此发展空间很大。

由光电子器件组成的光电子信息系统按信息传递的各个环节来划分，应包括光电子发射源、光的控制或信号加载模块、光信号的传输体系、光信号的接收和处理装置等几个基本部分，每一部分都存在一个或数个光电子器件分别执行各自的功能。根据功能不同可以将光电子器件分为光源器件、光传输器件、光控制器件、光探测器件、光存储器件等几大类，如图 1.2 所示。

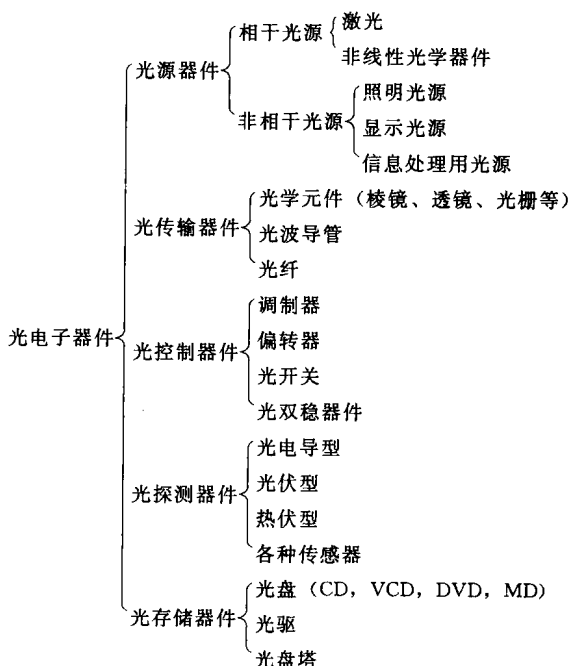


图 1.2 光电子器件

在光电子技术中光源器件包括发光元件和波长转换元件，波长转换元件还可以包含全光学型的器件，即输入和输出都是光波的器

