



光电技术

杨应平 胡昌奎 胡靖华 等编著

Photoelectric
Technology



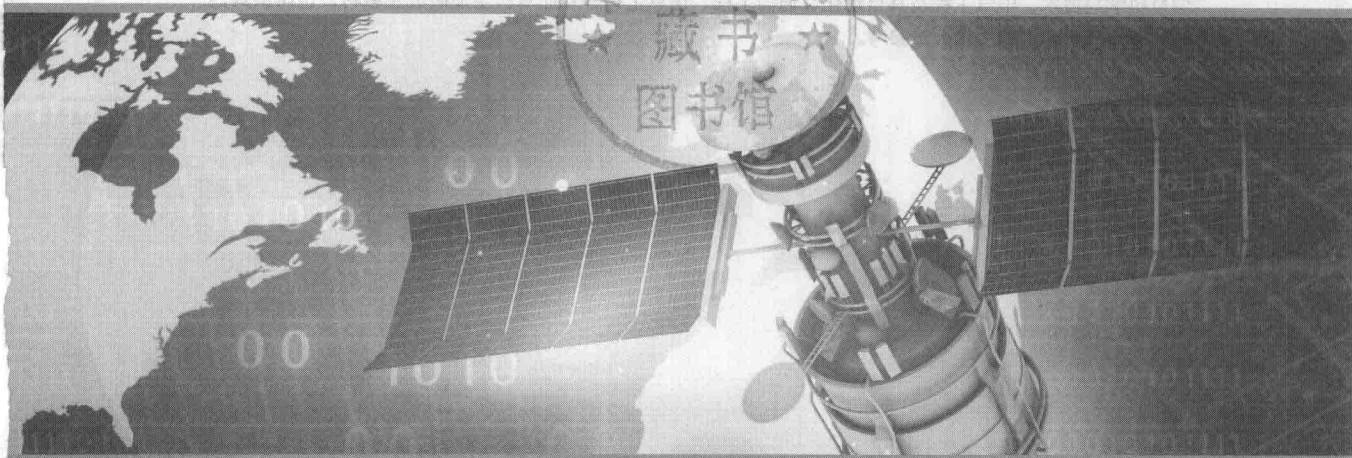
机械工业出版社
China Machine Press

014057303

高等院校电子信息与电气学科系列规划教材

TN2-43
20

光电技术



杨应平 胡昌奎 胡靖华 等编著

TN2-43
20



北航

C1742884



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

光电技术 / 杨应平等编著. —北京: 机械工业出版社, 2014.8
(高等院校电子信息与电气学科系列规划教材)

ISBN 978-7-111-47434-0

I. 光… II. 杨 III. 光电技术—高等学校—教材 IV. TN2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 169785 号

本书系统地介绍了光电技术的基础理论、光电探测器的工作原理与特性、光电信号的探测与处理, 以及典型光电检测系统的原理与设计。主要内容包括: 辐射度学与光度学基础、光电探测器理论基础、光电探测中的常用光源、光电导探测器、光伏探测器、光电子发射探测器、热探测器、光电图像探测器、光学信息变换技术、微弱光电信号探测与处理和典型光电探测系统的应用分析。

本书可以作为高等院校光电信息科学与工程、测控技术与仪器、应用物理、电子科学与技术、电子信息科学与技术、电气工程及其自动化、通信工程、信息工程等专业本科生及研究生教材, 也可供其他相关专业师生和工程技术人员参考。

出版发行: 机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码: 100037)

责任编辑: 曲 熠

责任校对: 董纪丽

印 刷: 三河市宏图印务有限公司

版 次: 2014 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 185mm×260mm 1/16

印 张: 21.25

书 号: ISBN 978-7-111-47434-0

定 价: 45.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88378991 88361066

投稿热线: (010) 88379604

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱: hzjsj@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光/邹晓东

前 言

光电技术是一门以光电子学为基础,将光学技术、电子技术、精密机械及计算机技术紧密结合的新技术,是获取光信息或借助光提取其他信息的重要手段。它将电子学中的许多基本概念与技术移植到光频段,解决光电信息系统中的工程技术问题。这一先进技术使人类能更有效地扩展自身的视觉能力,使视觉的长波延伸到亚毫米波,短波延伸到紫外线、X射线、 γ 射线乃至高能粒子,并可在飞秒级记录超快现象的变化过程。光电技术在现代科技、经济、军事、文化、医学等领域发挥着极其重要的作用,是当今世界争相发展的支柱产业,是竞争激烈、发展最快的信息技术产业的主力军。随着光电技术的迅速发展,各种新型半导体激光器、几千万像素的 CCD 与 CMOS 固体图像传感器、新型的 PIN 与 APD 光敏二极管、LED 及液晶显示器等在工业与民用领域随处可见,热成像技术也已广泛应用于军事和工业领域。光电技术已经渗透到国民经济的各个方面,成为信息社会的支撑技术之一。

作者总结了十余年讲授光电技术课程的教学经验,参阅了大量国内外优秀教材和文献,为适应新技术发展对人才培养的需要,依据光电信息科学与工程专业教学指导分委会对光电技术课程的要求而编写了本书。书中内容从教学的普适性出发,注重基础、强调应用,主要特点如下:

- 全书以光电探测的物理理论基础、光电探测器、光电信号探测与处理和典型光电探测系统分析为主线,紧扣当前光电器件产业发展前沿形成完整的光电技术知识体系,内容全面且结构合理,重点突出并注重实用;
- 全书突出光电信息系统构成,使学生掌握光电信息系统的总体框架,并引导学生发挥“奇思妙想”,充满兴趣地投入到光电创新实践活动中;
- 配备了完整的免费电子课件、思考题与习题参考答案,建立了“光电技术”学习网站(<http://wlxt.whut.edu.cn/new/gdjs>),实现了资源共享和网上自测系统,方便教师教学和学生自学;
- 对全书的光电技术专业词汇进行了英文标注,便于学生学习和查阅外文文献;
- 配有《光电技术实验》教材(杨应平等编著),可选择使用,以增强学生的光电系统综合设计能力。

全书共 12 章。第 0 章概述了光电技术的研究内容和发展趋势;第 1~3 章讲述光电技

术的理论基础与常用光辐射源；第4~7章讲述光电导探测器、光伏探测器、光电子发射探测器和热探测器的工作原理、特性参数、偏置电路及应用技术；第8章讲述真空光电图像探测器及固体图像传感器；第9章讲述光学信息变换技术；第10章讲述微弱光电信号探测与处理技术；第11章讲述光电探测系统的典型应用。其中，华中科技大学曾延安负责编写8.5节，武汉理工大学胡昌奎负责编写第3章、第9章、第11章及10.1节，武汉理工大学胡靖华负责编写第2章、第6章、第7章，其他章节由杨应平编写。全书由杨应平统稿。

教育部高等学校光电信息科学与工程类专业教学指导分委会副主任委员(2006~2010年)、华中科技大学杨坤涛教授对书稿进行了认真仔细的审阅并提出了许多宝贵建议，在此表示衷心的感谢。本书在编写过程中得到武汉理工大学黎敏教授、张一兵副教授等多位老师的大力支持和帮助，物理系陈梦苇、张菁等多名研究生在资料文献查阅、文字整理和插图绘制等方面做了大量的工作，在此特向他们表示诚挚的谢意。

本书在编写过程中参考了大量的国内外优秀教材和科技文献，并根据本书体系的需要选编了其中的一些典型内容，书后给出了主要参考文献，在此对这些文献的作者表示感谢。

由于作者水平有限，书中难免存在一些缺点和错误，希望读者指正。

编者

2014年7月

(续)

编 号	课程名称	章 节 内 容
	光电技术	第 0 章
教 学 建 议		

本书所涉及的光电技术构成了一个完整的理论教学体系,旨在通过本课程的学习,使学生掌握光电技术的基础理论、各种光电探测器的工作原理与特性、典型器件应用技术和光电信号探测与处理技术,为后续的专业课学习打下理论和实验的基础。

本书内容包括:光电技术理论基础与光辐射源,光电点探测器,光电图像探测器,光学信息变换与光电信号探测技术,典型的光电探测系统。各章节的参考课时安排如下。

教 学 内 容	教 学 要 点	课 时
第 0 章 绪 论	• 光电技术及其研究内容 • 光电信息系统 • 光电技术的应用及发展趋势	1
第 1 章 辐射度学与光度学基础	• 电磁辐射 • 辐射度的基本物理量 • 光度学基础 • 辐射度学与光度学中的几个基本定律 • 黑体辐射	3
第 2 章 光电探测器理论基础	• 半导体物理基础 • 光电效应 • 光电探测器的噪声 • 光电探测器的特性参数	6
第 3 章 光电探测器中的常见光源	• 光源的基本特性参数 • 热辐射光源 • 气体放电光源 • 发光二极管	4
第 4 章 光电导探测器	• 光电导探测器原理与结构 • 光敏电阻基本特性参数 • 典型光敏电阻 • 光敏电阻偏置电路 • 光电导探测器应用	4
第 5 章 光伏探测器	• 光电池原理、特性、偏置电路与应用 • 光敏二极管原理、特性、偏置电路与应用 • 光敏晶体管原理、特性与应用 • PIN 光敏二极管原理、特性与应用 • APD 光敏二极管原理、特性与应用 • 色敏探测器原理、检测电路与应用 • PSD 探测器原理、检测电路与应用 • 象探测器原理、检测电路与应用	12

(续)

教 学 内 容	教 学 要 点	课 时
第 6 章 光电电子发射探测器	• 光电阴极 • 光电倍增管原理与结构 • 光电倍增管主要特性参数 • 光电倍增管的工作电路 • 光电倍增管应用	4
第 7 章 热探测器	• 热探测器基本原理 • 热电偶探测器 • 热敏电阻探测器 • 热释电探测器	4
第 8 章 光电图像探测器	• 像管 • 真空摄像管 • 电荷耦合器件 • CMOS 图像传感器 • 红外焦平面阵列探测器	6
第 9 章 光学信息变换	• 光学信息变换概述 • 几何光学方法的光学信息变换 • 物理光学方法的光学信息变换 • 时变光信息的调制	4
第 10 章 微弱光电信号的探测与处理	• 直接探测与外差探测 • 微弱光电信号前置放大器的设计	4
第 11 章 典型的光电检测系统	• 根据各学校专业办学特色选讲两个典型光电检测系统	4
总课时		56

本书既适应多课时(56 课时)教学,也适应少课时(40 课时)教学,根据不同学校的课时数安排、先修课程情况、专业办学特色,有些教学内容可以适当调整。

建议对于少课时的教学情况,可以选讲第 1 章、第 3 章、第 9~11 章等章节的部分内容,不会影响课程系统的完整性和其他章节内容的学习。

建议先修课程为高等数学、大学物理、电子技术(模拟电路和数字电路)和单片机应用等。

建议进行第 3~8 章和第 10 章的教学时,开设对应的实验教学课程。

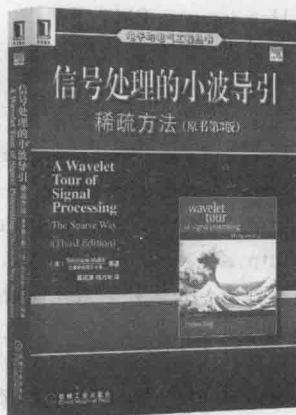
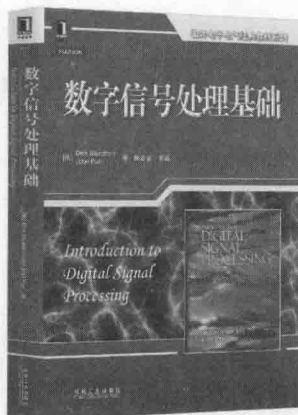
建议针对光电技术课程和其他先修课程开设光电信息系统的综合课程设计。

推荐阅读



北航

C1742884



数字信号处理基础

作者: Dick Blandford 等 译者: 陈后金 等 中文版 预计出版时间: 2013年10月

全书共10章, 其中1~7章介绍了数字信号处理的核心理论与应用; 8~10章提供了数字信号处理的典型应用, 使学生更好地运用和掌握理论知识。许多实例是用C语言编写的, 并给出了MATLAB®仿真; 每章末的都有丰富的习题, 旨在培养学生DPS系统的分析和设计能力。可作为电子信息和电气工程专业的信号处理课程的本科教材。

数字信号处理的实际应用

作者: Richard Newbold 等 译者: 李玉柏 等 中文版 预计出版时间: 2013年10月

本书着重于数字信号处理硬件和软件的一步步设计和实现。全书包括了数字数据锁环 (DLL)、数字自动增益控制 (DAGC) 和快速的弹性存储用于同步独立时钟异步数据比特流的设计; 更详细阐述了级联积分梳状 (CIC) 滤波器的详细设计、模拟和数字信号的调谐、数字信道的设计, 以及数字频率合成技术。阐明了设计工程师在现代信号处理领域遇到的寻址电路和系统的应用的问题。可作为信号处理专业的研究生教材, 也可供工程师参考。

信号处理的小波导引: 稀疏方法 (第3版)

作者: Stephane Mallat 等 译者: 戴道清 等 ISBN: 978-7-111-36549-5 定价: 85.00元
英文版 ISBN: 978-7-111-28861-9 定价: 69.00元

本书取材于作者在多所国际知名大学讲授“小波信号处理”课程时的讲义, 以十分直观和近乎谈话的方式, 以信号处理的问题为背景, 叙述了小波的理论和应用, 使读者可以透过复杂的数学公式来窥探小波的精髓, 而又不致陷入小波纯数学理论的迷宫。

目 录

前 言

教学建议

第0章 绪论 1

0.1 光电技术及其研究内容 1

0.2 光电信息系统 2

0.3 光电技术的应用及发展趋势 4

本章小结 11

思考题与习题 11

第1章 辐射度学与光度学基础 12

1.1 电磁辐射 12

1.1.1 电磁波谱 12

1.1.2 光辐射 14

1.1.3 光的波粒二象性 14

1.1.4 电磁辐射中的立体角

计算 15

1.2 辐射度的基本物理量 15

1.3 光度学基础 17

1.3.1 光度学的基本物理量 17

1.3.2 光谱光视效率 19

1.3.3 光谱光视效能 20

1.4 辐射度学与光度学中的几个

基本定律 21

1.4.1 朗伯余弦定律 21

1.4.2 距离平方反比定律 22

1.4.3 亮度守恒定律 23

1.5 黑体辐射 23

1.5.1 黑体辐射定律 24

1.5.2 普朗克能量子假设 24

本章小结 26

思考题与习题 26

第2章 光电探测器理论基础 28

2.1 半导体物理基础 28

2.1.1 晶体的能带 28

2.1.2 热平衡下的载流子浓度 32

2.1.3 半导体材料的光吸收

效应 36

2.1.4 半导体中的非平衡载

流子 37

2.1.5 半导体中载流子的扩散

与漂移 39

2.2 光电效应 40

2.2.1 光电导效应 40

2.2.2 光伏效应 42

2.2.3 光电子发射效应 47

2.3 光电探测器的噪声 49

2.4 光电探测器的特性参数 51

本章小结 54

思考题与习题 55

第3章 光电探测中的常见光源 56

3.1 光源的基本特性参数 56

3.1.1 辐射效率和发光效率 56

3.1.2 光谱功率分布 57

3.1.3 空间光强分布 57

3.1.4 光源的色温	57	4.2.7 前历效应	83
3.1.5 光源的颜色	58	4.2.8 噪声特性	83
3.2 热辐射光源	58	4.3 典型光敏电阻	84
3.2.1 太阳	59	4.3.1 本征光电导探测器	84
3.2.2 黑体模拟器	59	4.3.2 杂质型光敏电阻	87
3.2.3 白炽灯与卤钨灯	60	4.3.3 多晶光电导探测器	88
3.3 气体放电光源	61	4.4 光敏电阻偏置电路	88
3.3.1 汞灯	61	4.4.1 光敏电阻微变等效 电路	89
3.3.2 钠灯	62	4.4.2 基本偏置电路	89
3.3.3 氙灯	62	4.4.3 恒流偏置电路	89
3.3.4 空心阴极灯	63	4.4.4 恒压偏置电路	90
3.3.5 氦灯	63	4.4.5 恒功率偏置电路	90
3.4 激光器	63	4.5 光电导探测器应用	92
3.4.1 激光器工作原理	64	4.5.1 声光自动控制电路	92
3.4.2 激光特性	64	4.5.2 照明灯自动控制电路	93
3.4.3 激光器类型	64	4.5.3 火焰报警电路	93
3.5 发光二极管	67	4.5.4 照相机自动曝光控制 电路	93
3.5.1 发光二极管原理与结构	67	本章小结	94
3.5.2 发光二极管基本特性 参数	69	思考题与习题	95
3.5.3 常用发光二极管	74		
3.5.4 发光二极管驱动电路	75	第5章 光伏探测器	97
3.5.5 发光二极管应用	75	5.1 光电池	97
本章小结	77	5.1.1 硅光电池工作原理 与基本结构	97
思考题与习题	77	5.1.2 硅光电池基本特性	100
第4章 光电导探测器	78	5.1.3 常用光电池	101
4.1 光电导探测器原理与结构	78	5.1.4 光电池的偏置电路	102
4.1.1 光电导探测器原理	78	5.1.5 光电池应用	104
4.1.2 光电导增益	78	5.2 光敏二极管	105
4.1.3 光敏电阻结构	79	5.2.1 硅光敏二极管工作 原理与基本结构	105
4.2 光敏电阻基本特性参数	80	5.2.2 硅光敏二极管基本特性	107
4.2.1 光电特性	80	5.2.3 常用光敏二极管	109
4.2.2 光电导灵敏度	81	5.2.4 光敏二极管偏置电路	110
4.2.3 温度特性	81	5.2.5 光敏二极管应用	112
4.2.4 响应时间	82	5.3 光敏晶体管	113
4.2.5 光谱特性	82		
4.2.6 伏安特性	83		

5.3.1 硅光敏晶体管工作 原理与基本结构	113	5.8.3 四象限探测器信号处理 电路	139
5.3.2 硅光敏晶体管基本特性	114	5.8.4 四象限探测器及其应用	142
5.3.3 常用光敏晶体管	116	5.9 光耦合器	144
5.3.4 光敏晶体管应用	117	5.9.1 光耦合器工作原理 与结构	144
5.4 PIN 光敏二极管	117	5.9.2 光耦合器特性参数	144
5.4.1 PIN 光敏二极管结构与 工作原理	118	5.9.3 光耦合器应用	146
5.4.2 PIN 光敏二极管主要特性 参数	119	本章小结	147
5.4.3 典型的 PIN 光敏二极管 与应用	120	思考题与习题	148
5.5 雪崩光敏二极管	122	第 6 章 光电子发射探测器	151
5.5.1 雪崩光敏二极管原理	122	6.1 光电阴极	151
5.5.2 达通型雪崩光敏二极管 结构、电场、电荷分布	122	6.2 光电倍增管原理与结构	154
5.5.3 雪崩光敏二极管主要 特性参数	123	6.2.1 光电倍增管工作原理	154
5.5.4 典型的雪崩光敏二极管 与应用	124	6.2.2 光电倍增管结构	155
5.6 色敏探测器	126	6.3 光电倍增管主要特性 参数	158
5.6.1 色敏探测器结构与工作 原理	126	6.4 光电倍增管工作电路	164
5.6.2 色敏探测器的检测电路	127	6.4.1 高压供电电路	164
5.6.3 色敏探测器的短路电流 比-波长特性	128	6.4.2 信号输出电路	168
5.6.4 两种色敏探测器	128	6.5 光电倍增管应用	173
5.6.5 色敏探测器应用	129	6.5.1 分光光度法	174
5.7 位置敏感探测器	130	6.5.2 医疗器械	174
5.7.1 PSD 工作原理	130	6.5.3 生物技术	175
5.7.2 PSD 检测电路	132	6.5.4 石油测井	176
5.7.3 PSD 主要特性参数	133	6.5.5 环境测量	176
5.7.4 常用 PSD	134	6.5.6 工业测量	177
5.7.5 PSD 应用	136	6.5.7 固体表面分析	177
5.8 象探测器	137	本章小结	178
5.8.1 象探测器原理	137	思考题与习题	178
5.8.2 四象限探测器的空间 分辨率	139	第 7 章 热探测器	180
		7.1 热探测器基本原理	180
		7.1.1 温度变化方程	180
		7.1.2 热探测器的最小 可探测功率	181
		7.2 热电偶探测器	182

7.2.1 热电偶工作原理	182
7.2.2 热电偶主要特性参数	183
7.2.3 热电堆	184
7.2.4 热电偶与热电堆应用	184
7.3 热敏电阻探测器	185
7.3.1 热敏电阻基本原理与 结构	185
7.3.2 热敏电阻探测器主要 特性参数	186
7.3.3 热敏电阻应用	187
7.4 热释电探测器	188
7.4.1 热释电器基本原理	188
7.4.2 热释电探测器主要 特性参数	191
7.4.3 常用的热释电探测器 材料	192
7.4.4 热释电探测器应用	193
本章小结	194
思考题与习题	194

第8章 光电图像探测器

8.1 像管	195
8.1.1 像管基本原理与结构	195
8.1.2 像管主要特性参数	197
8.1.3 红外变像管	199
8.1.4 像增强管	200
8.1.5 像管应用	202
8.2 真空摄像管	203
8.2.1 光电导式摄像管	203
8.2.2 光电发射式摄像管	206
8.3 电荷耦合器件	207
8.3.1 电荷耦合器件工作原理	207
8.3.2 电荷耦合器件主要 特性参数	213
8.3.3 电荷耦合成像器件	216
8.3.4 电荷耦合成像器件的 驱动方法	220
8.3.5 常用的线阵 CCD 成像 器件	221

8.3.6 电荷耦合成像器件应用	223
8.4 CMOS 图像传感器	225
8.4.1 CMOS 成像器件的像敏 单元结构与工作原理	225
8.4.2 CMOS 成像器件的组成 架构	230
8.4.3 CMOS 与 CCD 图像器件 的比较	230
8.5 红外焦平面阵列探测器	235
8.5.1 非制冷红外焦平面的结构 与工作原理	235
8.5.2 红外成像与红外热像仪	236
8.5.3 典型的红外焦平面 探测器	237
8.5.4 红外成像技术应用	237
本章小结	239
思考题与习题	239

第9章 光学信息变换

9.1 光学信息变换概述	240
9.2 几何光学方法的光学信息 变换	241
9.2.1 物体尺寸信息的光学 变换	241
9.2.2 位移信息的光学变换	243
9.3 物理光学方法的光学信息 变换	245
9.3.1 干涉方法的光学信息 变换	245
9.3.2 衍射方法的光学信息 变换	251
9.4 时变光信息的调制	254
9.4.1 调制光优点	254
9.4.2 光信号调制基本原理	254
9.4.3 光调制方法	257
9.4.4 调制信号解调	262

本章小结	262
思考题与习题	262

第 10 章 微弱光电信号的探测与

处理	263
10.1 直接探测与外差探测	263
10.1.1 直接探测	263
10.1.2 光频外差探测	265
10.2 微弱光电信号前置放大器的设计	269
10.2.1 放大器的噪声模型与等效输入噪声	269
10.2.2 噪声系数	270
10.2.3 光电探测器与前置放大器耦合网络的设计原则	272
10.2.4 低噪声前置运放的选用	273
10.2.5 低噪声放大器设计原则与方法	274
10.3 微弱光电信号的探测与处理	276
10.3.1 微弱光电信号的检测	277
10.3.2 窄带滤波法	277
10.3.3 相关检测法	278
10.3.4 锁定放大器	280
10.3.5 取样积分法	283
10.3.6 光子计数器	286
本章小结	289
思考题与习题	289

第 11 章 典型的光电检测系统

11.1 空间光通信捕获、跟踪、瞄准系统	291
11.1.1 空间光通信系统	291
11.1.2 ATP 系统构成	292
11.1.3 共轴双检测 ATP 系统	293
11.1.4 ATP 系统关键参数	294
11.2 基于光电鼠标芯片的物体运动状态测量系统	296

11.2.1 光电鼠标工作原理及构成	296
11.2.2 光电鼠标主要技术参数	297
11.2.3 基于光电鼠标传感器的运动物体无接触检测	298
11.3 用于三维复合精细成像的双 CCD 交会测量	301
11.3.1 CCD 光电信号的二值化处理与数据采集	301
11.3.2 双 CCD 交会测量的系统构成	303
11.3.3 双 CCD 交会测量的基本原理	304
11.3.4 用于三维精细成像的双 CCD 交会测量系统设计	306
11.4 时域分布式光纤测温系统	309
11.4.1 拉曼散射型分布式光纤测温系统工作原理	309
11.4.2 拉曼散射型分布式光纤测温系统设计	310
11.5 基于红外传感器的气体浓度检测系统	314
11.5.1 红外吸收检测原理	314
11.5.2 红外吸收型 CO ₂ 气体检测系统的设计	315
11.5.3 系统的定标	317
11.6 光电火控系统	318
11.6.1 光电火控系统构成及工作原理	318
11.6.2 光电测距装置	319
11.6.3 光电测角装置	321
11.6.4 监视及捕捉装置	322
11.6.5 火控计算机	324
本章小结	324
思考题与习题	325

参考文献	326
------------	-----

0.1 光电技术及其研究内容

光电技术(Photoelectric Technology)是一门以光电子学为基础,将光学技术、电子技术、精密机械及计算机技术紧密结合在一起的新技术,它为获取光子信息或借助光子提取其他信息提供了一种重要手段。它将电子学中的许多基本概念与技术移植到光频段,解决光电信息系统中的工程技术问题。这一先进技术使人类能更有效地扩展自身的视觉能力,将长波延伸到亚毫米波,短波延伸至紫外线、X射线、 γ 射线,乃至高能粒子,并可在飞秒级的速度下记录超快现象的变化过程。

光电技术的研究内容可以分为光电基础技术和光电信息技术两部分。光电基础技术是以物理学、化学和材料科学为基础,以器件物理技术为依托的多学科、多专业的技术体系,如高光电转换效率的太阳能电池、高速低噪的PIN与APD二极管、高像素与高图像质量的CCD与CMOS图像传感器等基础光电器件的研制。光电信息系统技术包括了光电信息的产生、获取、变换、传输、处理和控制等过程。光电技术在现代科技、经济、军事、文化、医学等领域发挥着极其重要的作用,以此为支撑的光电子产业是当今世界各国争相发展的支柱产业,是竞争激烈、发展最快的信息技术产业的主力军。随着光电技术的迅速发展,半导体激光器、千万像素的CCD与CMOS固体图像传感器、PIN与APD光敏二极管、LED、太阳能电池、液晶显示等在工业与民用领域随处可见,红外成像技术已经广泛应用于军事和工业领域。

光电技术是信息技术的重要分支之一,其研究对象是携带信息的光子(Photon)和电子。光子学(Photonics)与电子学(Electronics)在信息领域中是并行发展而又密切关联的科学技术,扮演着信息化时代两大关键技术的重要角色。

电子学的发展可以追溯到19世纪末,1883年,爱迪生(T. Edison)在一次改进电灯的实验中,将一根金属线密封在发热灯丝附近,通电后意外地发现,电流居然穿过了灯丝与金属线之间的空隙,这是人类第一次控制了电子的运动。这一现象的发现为20世纪电子学的茁壮成长提供了生长条件,这一生长条件上的第一只胚芽是弗莱明(Fleming, 1849—1945)发明的整流器(Rectifier)。弗莱明把爱迪生及马可尼(Marconi)两位科学大师的发明成果结合起来,着手研究真空电流效应,于1904年发明了真空二极管整流器。1906年,美国人德弗雷斯特(Lee de Forest, 1873—1961)在弗莱明的二极管中又加入一块栅极(Grid Electrode),制成既可以用于整流又可以用于放大的真空晶体管。在研究中发现,晶体管可以通过级联使放大倍数大增,这使得晶体管的实用价值大大提高,促成了无线电通信技术的迅速发展。1910年,德弗雷斯特首次把它用于声音传送系统,1916年,在他的主持下建立了第一个广播电台,开始了新闻广播。到20世纪20年代,真空电子器件已经成为广播事业与电子工业的心脏,它推动着无线电、雷达、电信、电子控制设备、电子信息处理等整个电子技术群的迅速发展。1948年,美国贝尔实验室的科学家肖克莱等人发明了半导体晶体管(Transistor),揭开了电子革命崭新的一页。1958年,半导体集成电路问世,不仅使高速计算机得以实现,还促使电子工业与近代信息处理技术发生翻天覆地的

变化。20 世纪的第一个 10 年,真空管问世,促进了电子学的诞生;从 20 年代到 60 年代,电子器件从真空管过渡到晶体管,随之实现了集成化,促进了电子学的大发展。经历了整整一个世纪的发展,电子学的成就已经渗透到科学技术的各个领域和社会生活的各个方面,最具有代表性的是无线电广播、通信和电子计算机的发明和应用。随着社会的发展,人们对社会信息量的需求呈现爆炸式的增长。电子信息由于受到电子载体(电阻、电容、电感等)在互连通道上的时延效应的影响而形成了瓶颈。突破瓶颈效应的限制,需要在信息载体上进行一场革命,至少是在逻辑门之间的互连过程中摒弃电子载体,采用一种不荷电的新载体,那么光子就是理想的候选者。光子与电子在物理属性与特征上有很多本质的区别,如表 0-1 所示。电子是带负电的,它受外电场的作用形成电流,电子载体在固体回路中的传输即表现为电流在回路中的流动,它受到回路电学延迟效应的限制,其传输速率较慢,通常大于纳秒。光子是不荷电的中性体,光子载体的传输不受外电场的影响,不存在回路电学延迟效应,始终以光速在固体回路中传播,延迟时间只与传输光程有关。光子信息回路的运行速度比电子信息回路快 1000 倍。

表 0-1 光子与电子的主要区别

特 征	电 子	光 子	特 征	电 子	光 子
静止质量	m_0	0	传播特性	不能在自由空间传播	能在自由空间传播
运动质量	m_e	$h\nu/c^2$	时间特性	具有时间不可逆性	具有一定的时间可逆性
电荷	$-1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$	0	空间特性	高度的空间局域性	不具空间局域性
自旋	$1(h)/2$	$1(h)$	粒子特性	费米子(费米统计)	玻色子(玻色统计)
传播速度	小于光速 c	等于光速 c			

光子学的发展可以追溯到 20 世纪 60 年代,1960 年,美国科学家梅曼研制成功世界上第一台红宝石激光器(Laser Device),促使光子学的诞生,开创了光子学发展的新纪元。随后短短的几年时间内,氦氖激光器、半导体激光器、钕玻璃激光器、氩离子激光器、二氧化碳激光器、YAG 激光器、化学激光器、染料激光器等固体、气体、液体、半导体激光器相继出现,这些激光器为光与物质相互作用的研究提供了一个崭新的、极其有效的工具。1965 年,华裔科学家高锟提出以石英基玻璃纤维作长程信息传递,并提出当玻璃纤维损耗率下降到 20dB/km 时,光纤通信就会成功。20 世纪 70 年代,低损耗光纤的实现、半导体激光器的成熟及 CCD 图像传感器的问世,促使以光通信(Optical-communication)、光纤传感(Optical Fiber Sensing)、光信息存储(Optical Information Storage)、显示和光信息处理(Optical Information Processing)等为代表的光信息技术蓬勃发展。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,促成了超大功率量子阱阵列激光器的出现;通过对特种光纤材料的研究,掺稀土的光纤放大器与光纤激光器(Fiber Laser)也相继诞生。20 世纪 90 年代,光子学技术在通信领域取得了极大成功,形成了光纤通信产业,半导体激光器也走向产业化,光盘存储成为计算机存储数据的重要方式。进入 21 世纪,人类社会步入了高度信息化社会,信息与信息交换量的爆炸性增长,社会对信息量的要求以 Tbit/s 为起点呈现超摩尔定律的增长趋势,被科学家们称为 3T 高度信息化社会,即信息传输容量 Tbit/s、信息存储密度 Tbit/cm³ 和信息处理速度 1/T 秒。

0.2 光电信息系统

光电技术的重要研究内容之一是光电信息系统,它是信息技术的重要分支。光电信息系统是以光子和电子为信息载体,通过光电相互转换,综合利用光子学和电子学的方法实现光电信息的产生、获取、变换、处理、传输、存储和控制等的系统技术。

光电信息系统比电子信息系统的频率提高了几个数量级,其在信息容量、距离分辨率(Range Resolution)、角分辨率(Angle Resolution)和光谱分辨率(Spectral Resolution)等方面大大提高,在雷达、通信、精确制导(Precision Guidance)、导航(Navigation)、测量领域获得广泛应用。尽管应用于这些场合的光电信息系统构成各不相同,但基本上都是由光信息源、光学系统、光电探测器、电子信息系统等几部分组成,基本模型如图 0-1 所示。

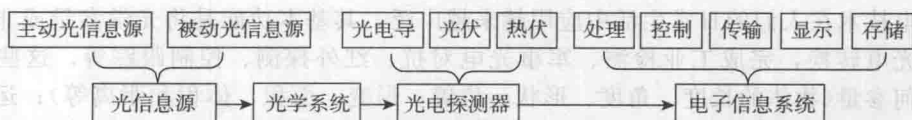


图 0-1 光电信息系统

图 0-1 中,光信息源可以分为被动和主动两种。被动光信息源主要来自被探测物体自身的辐射,如人体、动植物、飞机等物体自身的红外光、可见光和紫外光辐射;也可以来自其他自然辐射源照射到被测物体上形成的反射、散射等光辐射。主动光信息源是将某些非光学的物理量(力、热、声、电和磁等)通过各种效应先变成电信息,然后通过调制器将电信息加载到光波上进行传输,如图 0-2 所示的光纤通信系统(Fiber Optic Communication System);或者采用人工光源照射被测物体,使所需信息加载到反射、透射、散射或衍射光波上,然后利用光电信息系统进行检测,如图 0-3 所示的激光测距系统(Laser Ranging System)。

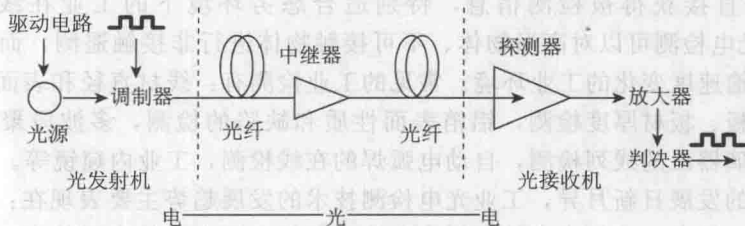


图 0-2 光纤通信系统

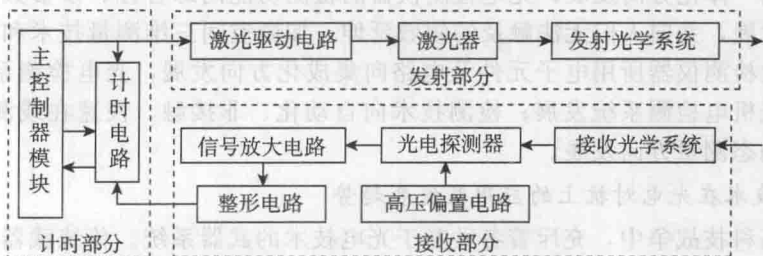


图 0-3 脉冲式激光测距系统原理图

光学系统包括了借助光学元件产生的几何光学(直线传播、反射和折射)、波动光学(干涉、衍射和偏振)现象,以及大气空间、水下和光纤等光波传输介质。

光电探测器是将光信息量转换为电信息量的器件,如光电导型、光伏型和热伏型器件。通常为了尽可能提高检测信息的质量,需在系统中加入调制环节,所以光电探测器输出的信号是调制信号。

光电探测器输出信号经过前置放大器放大、信号处理等环节后,电子信息系统便能检测所需要的信息。所检测的信息可以进行显示、存储,连接控制环节形成自动控制系统,或者通过计算机接口技术连接到计算机完成信息的处理任务。

光电信息系统涉及光子学、电子学、激光技术、几何光学、物理光学和微控制技术等众多技术学科。本书的内容限定在光电探测器的基本原理、光电信号的变换与处理方法及典型的光电系统分析设计上。

0.3 光电技术的应用及发展趋势

光电技术在人们的日常生活中应用越来越广泛,其基本功能是将光学参量或非光学参量进行光电转换,完成工业检测、军事光电对抗、红外探测、控制跟踪等。这些参量包括:几何参量(物体的长度、角度、形状、位置、形变、面积、体积和距离等);运动参量(速度、加速度、转动、振动和流量等);表面形态参量(工件粗糙度、疵病和伤痕等);光学参量(吸收、反射、透射、光度、色度、波长和光谱分布等);成分分析(物理属性、浓度、浊度等);机械量(质量、应力、应变和压强等);电磁量(电流、电场和磁场等)。

光电技术在光通信、大容量光存储、生物工程与医学、工业在线检测、危险环境检测、遥测遥感、光纤传感、精密计量、太赫兹波技术等方面有着广泛应用。下面简单介绍光电技术的几方面应用及发展趋势。

1. 光电技术在工业检测上的应用及发展趋势

由于工业现代化、自动化的飞速发展,对工业在线实时质量检测和过程控制的要求越来越高。光电检测是非接触式的,具有极快的响应速度、高精度、高灵敏度,且易于实现自动控制,能直接获得被检测信息,特别适合恶劣环境下的工业在线检测(On-line Detection)。光电检测可以对高温物体、不可接触物体进行非接触遥测,而且可以适应外形、位置和传输速度变化的工业环境。常见的工业检测有:线材直径和表面粗糙度的实时评估,热轧钢板、板材厚度检测,铝箔表面性质和缺陷的检测,多波段聚合薄膜厚度检测,织物和玻璃器皿的线列检测,自动电弧焊的在线检测,工业内窥镜等。

光电技术的发展日新月异,工业光电检测技术的发展趋势主要表现在:检测精度向高精度方向发展,纳米、亚纳米高精度的光电检测新技术是今后的发展热点;检测系统向智能化方向发展,如光电跟踪与光电扫描测量技术;检测结果向数字化方向发展,向光电测量与光电控制一体化方向发展;光电检测仪器的检测功能向综合性、多参数、多维测量等多元化方向发展,并向人们无法触及的领域延伸,如微空间三维测量技术和大空间三维测量技术;光电检测仪器所用电子元件及电路向集成化方向发展,光电检测系统朝着小型、快速的微型光机电检测系统发展;检测技术向自动化、非接触、快速在线测量方向发展,检测状态向动态测量方向发展。

2. 光电技术在光电对抗上的应用及发展趋势

在现代高科技战争中,充斥着各种基于光电技术的武器系统。传统武器与先进光电手段相结合,使这些武器系统具备惊人的威力。在光电武器装备的较量中,一种全新的作战手段——光电对抗(Electro-optical Countermeasure)相伴而生。光电对抗是指敌对双方在光波段范围内,利用光电设备和器材,对光电制导武器和光电侦查设备等光电武器进行侦查告警并实施干扰,使敌方武器削弱、降低或丧失作战效能,同时,利用光电设备和器材,有效地保护己方光电设备和人员免遭敌方的侦查告警和干扰。光电对抗按功能和技术可以分为光电侦察、光电干扰、反光电侦察与抗光电干扰,如图0-4所示。

(1) 光电侦察

光电侦察(Photoelectric Detection)是指对敌方辐射或散射的光谱信号进行搜索、截获、测量、分析、识别以及光电设备测向、定位,以获取敌方光电设备参数、功能、类型、位置、用途,并判断威胁程度,及时提供情报和发出警告的一种侦察手段。光电侦察