

传感器技术

(下册)

徐甲强 张全法 范福玲 编著

哈尔滨工业大学出版社

传感器技术

(下 册)

徐甲强 张全法 范福玲 编著

哈尔滨工业大学出版社
哈尔滨

内 容 简 介

本书重点阐述常用(包括电阻式、电感式、电容式、磁电式、压电式、光电式、光纤式、谐振式、热电式、波式、射线式以及气体、湿度、离子敏和生物等)传感器的原理、结构、特点和应用,并反映当代传感器技术的发展和成就的新型传感器专列一章介绍。在介绍基本原理的同时,注重介绍应用实例。每章都有例题、思考题和习题供学习者选用。

本书具有内容丰富、条理清晰、结构严谨、突出应用等特点,可作为高等院校测控技术及仪器仪表、工业自动化、化工等专业的本科生教材,也可作为相关专业研究生的选修课教材,还可作为相关工程技术人员的参考书。

著 徐 甲 强 等 编 著 全 书 甲 强

图书在版编目(CIP)数据

传感器技术/徐甲强等编著. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社, 2004. 10

ISBN 7 - 5603 - 2083 - X

I . 传… II . 徐… III . 传感器 IV . TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 093980 号

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区教化街 21 号 邮编 150006

传 真 0451 - 86414749

印 刷 哈尔滨市龙华印刷厂

开 本 787 × 1092 1/16 印张 12.5 字数 286 千字

版 次 2004 年 10 月第 1 版 2004 年 10 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 7 - 5603 - 2083 - X/TB · 47 第 1 版

印 数 1 ~ 3 000

定 价 25.00 元(上下册)

前 言

传感器是能够感受规定的被测量并按照一定的规律转换成可用输出信号的器件或装置。传感器作为获取信息的工具,处于被测对象和测控系统的接口位置,为各类系统提供赖以处理的原始信息。传感器技术是现代科学技术中的一个重要领域,在现代科学技术发展中的作用越来越为世人瞩目,世界上许多国家都把传感器技术作为优先发展的科学领域之一,它和通信技术、计算机技术共同成为当今信息社会的三大支柱。传感器的基本原理和应用已成为现代科学技术人员必备的基础知识,传感器原理已是许多理工科专业必修的基础课程。

为适应课程建设和教学改革的需要,作者总结多年的科研和教学经验,广取国内外兄弟院校有关著作和文献之长,编著了《传感器技术》一书。本书重点阐述常用传感器的原理、概念和应用,并将反映当代传感器技术的发展和成就的新型传感器专列一章做了适当的介绍。在撰写时力求在讲清基本原理的同时,注重介绍应用实例。每章都有例题、思考题和习题供学习者选用。

本书由郑州大学何金田(绪论、第13章)、郑州大学张全法(第1、5、9、15、16章)、郑州轻工业学院徐甲强(第12章)、中原工学院李伟锋(第6、7章)、河南工业大学成连庆(第2、3章)、中原工学院范福玲(第10、11章)、解放军防空兵指挥学院李赟(第8章)、郑州大学杨全玖(第4章)、河南师范大学娄向东(第14章)等编著,全书由何金田教授负责统稿,郑州大学赵书俊教授主审。全书分上下册,下册为7~16章。

本书在编写的过程中参考了有关教材和文献,在此一并向这些教材和文献的作者表示感谢。

本书可作为高等院校测控技术及仪器仪表、工业自动化、化工等专业或相近专业的本科生教材,也可供有关专业的研究生作为选修课教材,还可以作为有关工程技术人员的参考书。

传感器技术涉及的学科众多,由于作者学识水平有限,书中存在的疏漏和不足之处,恳请广大读者批评指正。

编著者

2004年7月

目 录

第7章 光电式传感器	1
7.1 光电效应和光电器件	1
7.2 新型光电器件	9
7.3 光栅式传感器	13
7.4 激光式传感器	17
7.5 光电式传感器应用举例	19
思考题和习题	22
第8章 光纤式传感器	24
8.1 光纤及其传光原理	24
8.2 光纤传感器的组成及分类	26
8.3 光调制方式	28
8.4 光纤式传感器应用举例	32
思考题和习题	39
第9章 谐振式传感器	40
9.1 谐振式传感器的类型与原理	40
9.2 谐振式传感器的特性与设计要点	44
9.3 谐振式传感器的转换电路	47
9.4 谐振式传感器应用举例	51
思考题和习题	54
第10章 热电式传感器	55
10.1 热电偶传感器	55
10.2 热电阻传感器	62
10.3 热敏电阻	65
10.4 PN结型温度传感器	66
10.5 热电式传感器应用举例	70
思考题和习题	72
第11章 波式、射线式和红外传感器	74
11.1 超声波式传感器	74
11.2 微波式传感器	77
11.3 核辐射式传感器	80
11.4 红外传感器	83
11.5 核辐射与红外传感器应用举例	86
思考题和习题	88
第12章 气体传感器	89

12.1 气体传感器概论	89
12.2 半导体气体传感器	92
12.3 固体电解质气体传感器	105
12.4 电化学式气体传感器	108
12.5 催化燃烧式气体传感器	109
12.6 新型气体传感器	112
思考题和习题	115
第 13 章 湿度传感器	116
13.1 概述	116
13.2 湿度传感器的分类与特性参数	117
13.3 氯化锂湿度传感器	119
13.4 半导体陶瓷湿敏电阻	120
13.5 多孔硅湿敏元件	124
13.6 高分子湿度传感器	126
13.7 测量电路	128
13.8 湿敏传感器的应用	129
思考题和习题	131
第 14 章 离子敏传感器与生物传感器	132
14.1 离子敏传感器	132
14.2 生物传感器	144
思考题和习题	159
第 15 章 新型传感器	160
15.1 智能传感器	160
15.2 模糊传感器	164
15.3 网络传感器	168
15.4 虚拟传感器	172
思考题和习题	174
第 16 章 传感器的标定	175
16.1 传感器标定的意义	175
16.2 传感器的静态标定	176
16.3 用实验确定传感器的动态参数	181
16.4 传感器的动态标定	183
思考题和习题	188
参考文献	189

第7章 光电式传感器

光电式传感器是先把被测量的变化转换成光信号的变化,再通过光电器件将光信号的变化转换为电量的变化的装置。

光电式传感器可用于检测直接引起光量变化的非电量,如光强、光照度和气体成分等,也可用于检测能间接转换成光量变化的其他非电量,如几何尺寸、位移、振动、速度等。

光电式传感器的主要特点是能实现非接触测量,精度高、响应快、性能可靠,广泛用于军事、通讯、检测和工业自动化控制等领域。

7.1 光电效应和光电器件

光电器件的物理基础是光电效应。光电效应是指物体吸收了光能后转换为该物体中某些电子的能量而产生的电效应。光电效应通常分为外光电效应和内光电效应两大类。

7.1.1 外光电效应

在光线作用下,物体内的电子逸出物体表面,向外发射的现象称为外光电效应。向外发射的电子叫光电子。

光照射在物体上可以看成一连串具有一定能量的光子轰击这些物体。每个光子能量的大小等于普朗克常数 h 乘以光的频率 ν , 即 $E = h\nu$ 。根据爱因斯坦假设:一个光子的能量只能给一个电子,要使电子逸出物体表面,需对其做功 A_0 , 以克服物体对电子的约束, A_0 称为逸出功。设电子质量为 m , 逸出物体表面时的速度为 v , 则电子的动能为 $\frac{1}{2}mv^2$ 。按照能量守恒与转换定律有

$$E = h\nu = \frac{1}{2}mv^2 + A_0 \quad (7.1)$$

式(7.1)称为爱因斯坦光电效应方程。由该式可知:

(1) 光电子能否产生,取决于光子的能量是否大于该物体的表面逸出功。这就是说,每种物体都有相对应的光频阈值,称为红限频率 ν_0 。表示为根据式(7.1)可得

$$\nu_0 = A_0/h \quad (7.2)$$

当入射光的频率小于红限频率时,光子能量不足以使物体内的电子逸出,因此小于红限频率的入射光,光再强也不会产生光电效应。反之,若入射光的频率高于红限频率,即使光强微弱,也会使照射的物体有光电子发射出来。

(2) 当入射光的频率成分不变时,产生光电流与光强度成正比。光越强,意味着入射的光子数目越多,逸出的光电子数也就越多。

(3) 光电子逸出物体表面时的初动能决定于光的频率。由式(7.1)可以推出对于一定的物质,电子逸出功是一定的,所以光子的能量 $h\nu$ 越大,则电子的初动能越大。

7.1.2 内光电效应

当光照射到半导体材料上,半导体中处于价带的电子将吸收光子能量,通过禁带而跃入导带,使导带内电子体积浓度和价带内空穴增多,即激发出光生电子-空穴对,从而使半导体材料产生电效应,这种光电效应称为内光电效应。显然,光子能量必须大于材料的禁带宽度 ΔE_g (如图 7.1),才能产生内光电效应。产生内光电效应的临界波长

$$\lambda_0 = 1293/\Delta E_g \quad (\text{nm}) \quad (7.3)$$

内光电效应按其工作原理可分为,光电导效应和光生伏特效应。

1. 光电导效应

在光照射下,半导体材料的电子吸收光子能量从键合状态过渡到自由状态,从而引起材料电阻率的变化,这种现象称为光电导效应。

2. 光生伏特效应

在光照射下,能够使物体产生一定方向电动势的现象叫光生伏特效应。以 PN 结为例,当光线照射 PN 结时,若光子能量大于禁带宽度,使价带中的电子跃迁到导带而产生电子-空穴对,在阻挡层内电场的作用下,被光激发的电子移向 N 区外侧,空穴移向 P 区外侧,从而使 P 区带正电, N 区带负电,在 PN 结两端形成光电动势,如图 7.2 所示。

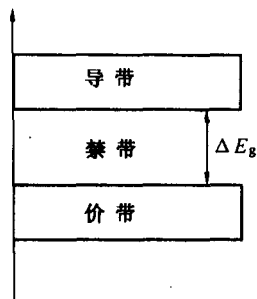


图 7.1 半导体能带

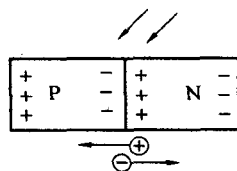


图 7.2 PN 结光电效应原理图

7.1.3 外光电效应器件

基于外光电效应的器件有光电管、光电倍增管等。

1. 光电管

光电管可分为两大类:真空光电管和充气光电管。它们的结构类似,都是装有光阴极和阳极的真空玻璃管,如图 7.3 所示。

(1) 真空光电管 光电管的阴极受到从光窗透进的光照射后,向真空发射光电子,这些光电子向阳极作加速运动,形成空间电子流,光电流的数值取决于阴极的灵敏度与光强。停止光照,外电路将无电流输出。

(2) 充气光电管 在玻璃钢管内充入少量的惰性气体(如氩、氖等),即构成充气光电管。当充气光电管的阴极被光照射后,产生的光电子在飞向阳极的途中,对惰性气体进行轰击,使其电离,从而产生更多的自由电子,形成数倍于真空光电管的光电流,提高了光电变换的灵敏度。但充气光电管的光电流与入射光强度不成比例关系。充气光电管的管内可充单纯气体或混合气体。

2. 光电倍增管

光电倍增管的结构如图 7.4 所示,在玻璃管内除有光阴极和光电阳极外,还有若干

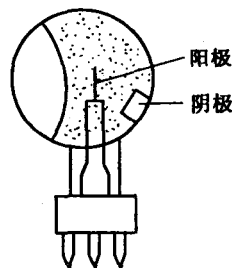


图 7.3 光电管

个光电倍增极。光电倍增极的形状及位置设置得正好使前一级的倍增极发射的电子继续轰击后一级倍增极。光电倍增极上涂有在电子轰击下能放射更多“次级电子”的材料，常用的有铍化钨、氧化银镁合金等。光电倍增管可将阴极的光电流放大几万至几百万倍。所以光电倍增管的灵敏度比普通光电管高得多。

光电倍增管的放大性能用倍增系数 M 衡量。 M 等于各个倍增电极的二次发射电子倍数 δ_i 的乘积，若有 n 个倍增电极，且每级的 δ_i 都一样，则

$$M = \delta_i^n \quad (7.4)$$

一般 M 在 $10^5 \sim 10^8$ 之间，因此，设光电阴极的光电流为 I_0 ，则到达阳极的电流为

$$I = I_0 \delta_i^n \quad (7.5)$$

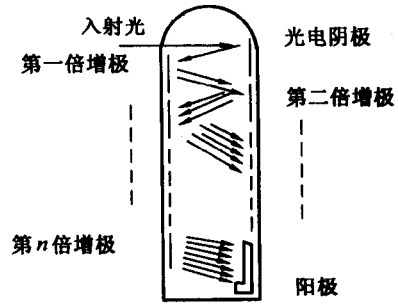


图 7.4 光电倍增管

7.1.4 内光电效应器件

基于内光电效应的光电器件有光敏电阻、光电池、光敏二极管和光敏三极管、光位置敏感元件等。

1. 光敏电阻

光敏电阻又称光导管，是一种均质半导体光电器件。其结构如图 7.5 所示。在玻璃底板上均匀地涂上一层薄薄的半导体材料，两端装上金属电极，然后压入塑料封装体内。当光敏电阻接到外电路中时，若改变光照射，就可改变光敏电阻的阻值。为提高光敏电阻的灵敏度，应尽量减少电极间的距离。面积较大的光敏电阻，通常采用在光敏电阻薄膜上蒸镀金属梳状电极，如图 7.6 所示。

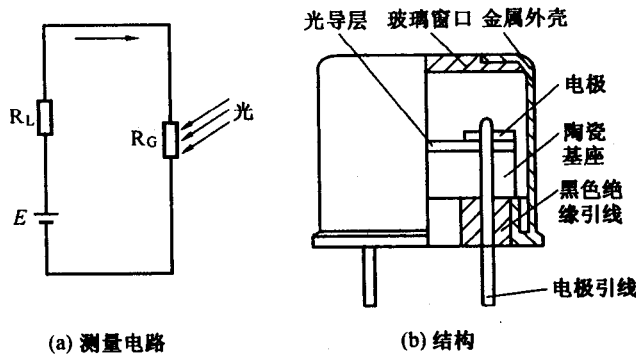


图 7.5 光敏电阻的结构

常用的光敏电阻材料有硫化镉、硒化铅、碲化铝等。

2. 光电池

光电池是在光线照射下，利用光生伏特效应，将光量转变为电动势的光电器件。由于它常用于把太阳能转变成电能，因此又称太阳能电池。

光电池的种类很多，有硒光电池、硫化镉光电池、硅光电池、砷化镓光电池等，目前应

用最多的是硅光电池,其结构如图 7.7 所示。

硅光电池由低阻 N 型硅单晶作为基体材料,用扩散硼的方法在基体片上形成 P 型层而构成 PN 结。用电镀的方法制成下电极,并用镀银的方法制成上电极。为了增加光电池吸收光的效率,在光照表面上还要增镀一层氧化硅反射膜。硅光电池的转换效率高、价格低、寿命长,适用于接受红外光,应用广泛。



硒光电池是在铝片上涂硒,再用电镀的工艺,在硒层上镀一层半透明的氧化锡,在正反面镀上低熔合金做电极,如图 7.8 所示。在光线照射下,锡材料带负电,硒材料带正电,形成光生电势。虽然硒光电池的转换效率低、寿命短,但适于接受可见光,也有一定应用。

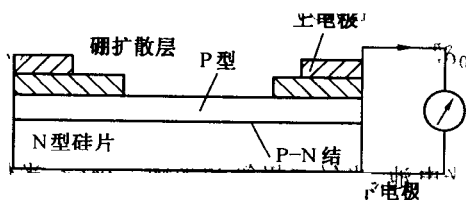


图 7.7 硅光电池结构

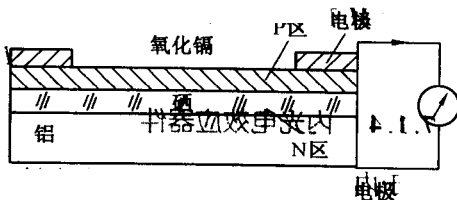
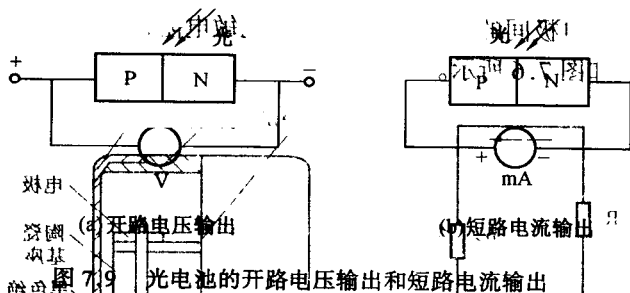


图 7.8 硒光电池结构

光电池与外电路的连接方式有两种,如图 7.9 所示。一种是把 PN 结两端通过外导线短接,形成流过外电路的短路电流。另一种是开路电压输出。



3. 光敏晶体管

(1) 光敏二极管 光敏二极管的结构与一般二极管相似。它装在透明玻璃外壳中,其 PN 结装在管的顶部,可以直接受到光照射,光敏二极管在电路中是处于反向偏置状态,如图 7.10 所示。在没有光照射时,反向电阻很大,反向电流很小,此反向电流称为暗电流。当光照射在 PN 结上时,使 PN 结附近产生光生电子和光生空穴对。它们在反向偏压和 PN 结处的内电场作用下作定向运动,形成光电流。光的照度越大,光电流越大。因此光敏二极管在不受光照射时,处于截止状态,受光照射时,处于导通状态。

图 7.10 光敏二极管的工作原理

(2) 光敏三极管 图 7.11 为 NPN 型光敏三极管的结构简图和基本电路。大多数光敏

三极管的基极无引出线。集电结处于反向偏压,当光照射在集电结上时,就会在结附近产生电子-空穴对,从而形成光电流,相当于三极管的基极电流。由于光敏三极管有放大作用,因此集电极电流是光生电流的 β 倍。

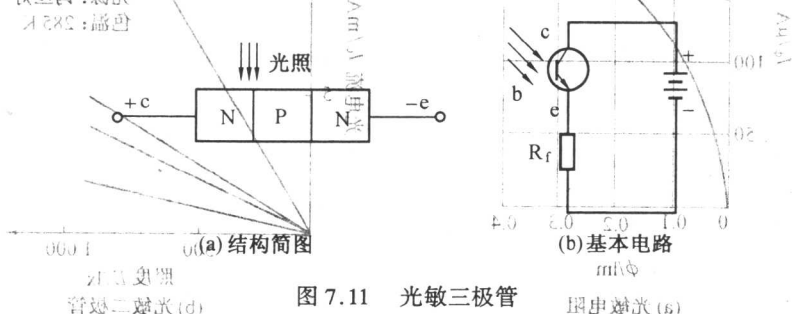


图 7.11 光敏三极管

光敏二极管和光敏三极管的材料大部分用硅和锗制成。由于硅器件暗电流小,温度系数小,又便于用平面工艺大量生产,尺寸易于精确控制,因此比锗器件应用更多。

7.1.5 光电器件的特性

光电器件的基本特性反映了光电器件的技术性能。为了合理选用光电器件,应深入了解其主要特性。

1. 光照特性

光照特性表示光电器件输出的光电流(或光电压)与入射光量间的关系。

光敏电阻的光照特性呈非线性,如图 7.12(a) 所示是硒光敏电阻的特性曲线,因此,光敏电阻不宜作线性检测元件。

图 7.12(b)、(c) 是硅光敏二极管和三极管的光照特性。从图中可以看出光敏二极管的线性较好。而三极管在起始处和大电流处有非线性,这是因为三极管的 β 值在大小电流时都有所下降的缘故。光电池的光照特性,如图 7.12(d) 所示。可见光电池的输出短路电流与光照有较好的线性关系。这里的短路电流就是负载电阻相对于光电池内阻来讲很小时的电流值,一般负载电阻在 $100\ \Omega$ 以下,此时光电池可作为线性检测元件。光电池的开路电压与光照度关系呈非线性,照度 2000 lx 以上时趋于饱和,但其灵敏度高,宜用作开关元件。

2. 光谱特性

光谱特性表示的是光线波长和相对光谱灵敏度之间的关系。光电器件对单色辐射通量的反应称为光谱灵敏度 $S(\lambda)$ 。

显然 $S(\lambda)$ 是波长 λ 的函数,在某个 λ_m 处, $S(\lambda)$ 有最大值 $S_{\max}(\lambda)$ 。定义相对光谱灵敏度 $S_r(\lambda)$ 为光谱灵敏度与最大光谱灵敏度之比。

$$S_r(\lambda) = \frac{S(\lambda)}{S_{\max}(\lambda)} \quad (7.6)$$

图 7.13(a) 为光敏电阻光谱特性。对不同的光敏电阻,其光谱响应峰值波长也不相同。

图 7.13(b) 为光敏晶体管的光谱特性,反映在照度一定时,输出的光电流(或相对光谱灵敏度)随光波波长的变化情况。由曲线可以看出,光敏晶体管存在一个最佳灵敏度的峰值波长。当入射光波长较长时,相对灵敏度要下降,这是因为光子的能量太小,不足以激发出电子-空穴对。当入射光波长太短时,由于材料对短波的吸收剧增,使光子在半导体

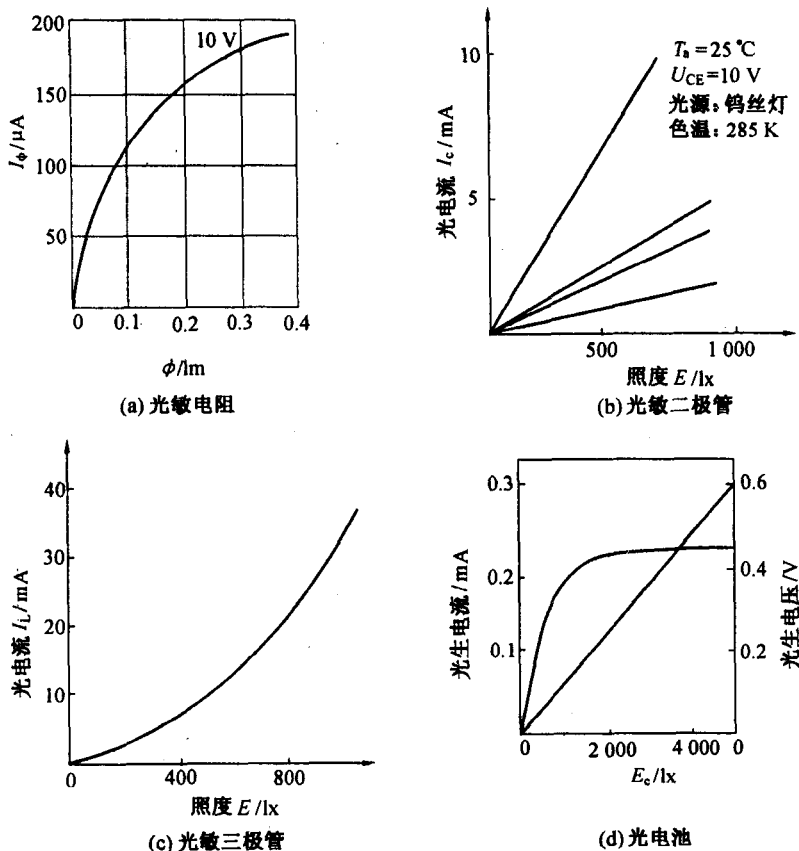


图 7.12 光电器件的光照特性

表面附近激发的电子 - 空穴对, 不能达到 PN 结, 因此, 相对灵敏度也下降。

图 7.13(c) 为光电池的光谱特性。从图中可以看出, 不同的光电池, 光谱峰值的位置不同。例如硅光电池在 $0.8 \mu\text{m}$ 附近, 硒光电池在 $0.54 \mu\text{m}$ 附近。另外, 不同光源下光电池的光谱特性也有所不同。

由光谱特性可知, 为了提高光电传感器的灵敏度, 应根据光谱特性合理选择光源和光电器件。

3. 温度特性

光电器件在工作温度范围内的灵敏度、暗电流或光电流与温度的关系, 表明了光电器件的温度特性, 通常用曲线来表示或用系数给出。

图 7.14(a) 为光敏电阻的温度特性曲线。温度升高将导致暗电流和灵敏度下降, 因此光电流随温度升高而减小。温度变化不仅影响灵敏度、暗电阻, 而且对光敏电阻的光谱特性也有很大影响。随着温度升高, 峰值波长向短波方向移动, 如图 7.14(b) 所示。因此通过降温可提高光敏电阻对长波光的响应。温度对光敏晶体管光电流的影响, 如图 7.14(c) 所示。在高温低照度工作时, 由于温升产生的电流变化, 将影响测试精度。为此, 可以在外电路中采用温度补偿的方法, 或使其在恒温条件下工作。光电池的温度特性曲线如图 7.14(d) 所示。从曲线看出, 开路电压(虚线) 随温度升高下降较快, 而短路电流(实线), 随

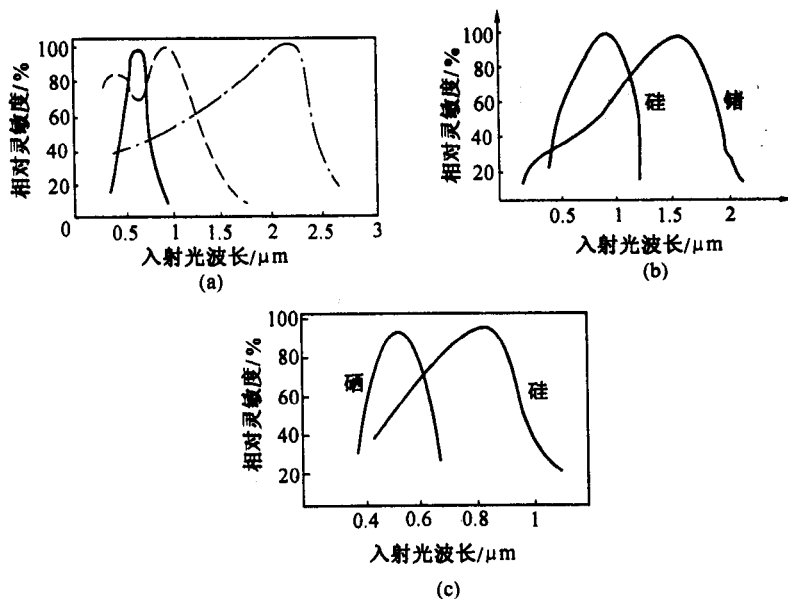


图 7.13 光电器件的光谱特性

温度升高缓慢增加,因此当光电池作测量元件时,在系统设计中就应该考虑到温度的影响。从而采取相应措施。

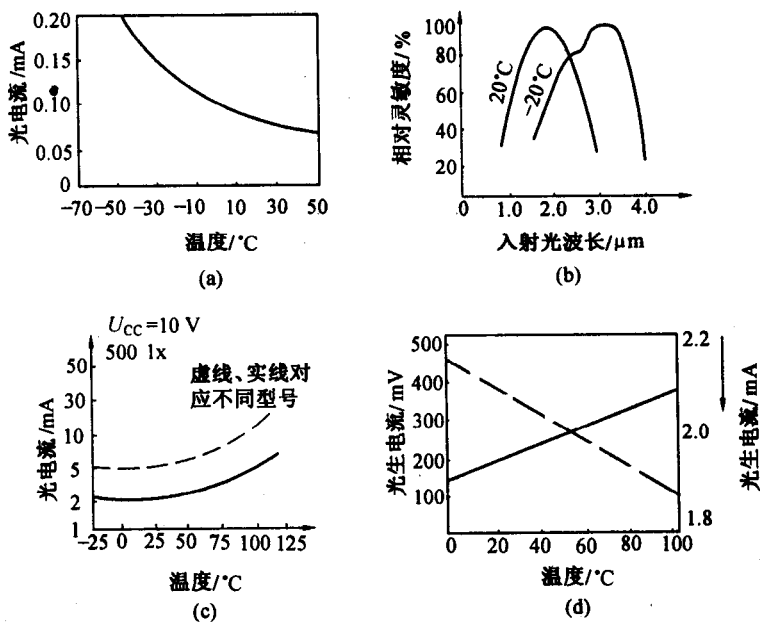


图 7.14 光电器件的温度特性曲线

4. 伏安特性

在保持入射光频谱成分不变的条件下,光电器件的端电压与光电流之间的关系称为光电器件的伏安特性。

当光照度不变时,光敏电阻两端所加电压与流过的光电流的关系成为光敏电阻的伏安特性,如图 7.15(a) 所示。由曲线可知,照度不同,曲线斜率不同,表明电阻值随照度而改变。同一般电阻一样,光敏电阻也有最大额定功率、最大工作电压和最大额定电流,使用时不能超过这些额定值。

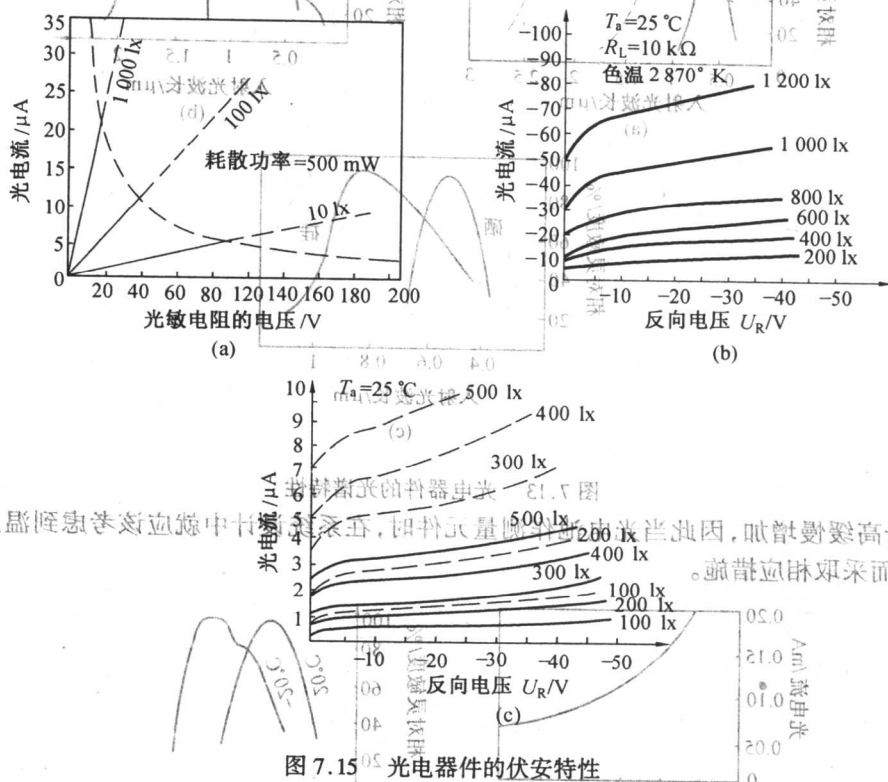


图 7.15 光电器件的伏安特性

图 7.15(b) 为硅光敏二极管(实线)和硅光敏三极管(虚线)的伏安特性。由图看出,光敏三极管的光电流比同样照度下的光敏二极管的光电流大上百倍。此外,在零偏压时,二极管仍有光电流输出,而三极管则没有,这是由于二极管有光生伏特效应的缘故。

5. 频率特性和响应时间

光电器件输出端电压(电流)的振幅,或相对光谱灵敏度随入射通量的调制频率的变化关系叫光电器件的频率特性。

图 7.16(a) 为光敏电阻的频率特性。当光敏电阻受到脉冲光信号作用时,光电流并不立刻上升到最大值,而要经历一段时间达到最大值。这段时间成为响应时间。响应时间反映了光电器件的动态特性。响应时间短,动态特性好。一般用时间常数来衡量响应时间的快慢,时间常数是指光电器件输出端电压(光电流)达到最大值的 63% 时所对应的时间。在实用中,把光敏电阻受光照后,导电率上升到最终值的 63% 时所用的时间称为上升时间常数。多数光敏电阻时间常数在 $10^{-2} \sim 10^{-6}$ s 数量级。不同材料的光敏电阻具有不同的时间常数,因而它们的频率特性也不尽相同。显然,时间常数越小,反应越迅速。

光敏晶体管的频率特性是指其受不同频率的调制光照射后,它的输出与调制频率的关系。图 7.16(b) 为光敏三极管的频率特性。

光敏晶体管的响应时间常数在 $10^{-4} \sim 10^{-6}$ s。硅管的时间常数较小,响应频率高。

光电池的频率特性是指相对输出电流和调制光的调制频率之间的关系。所谓相对输出电流,即指高频时输出电流与低频时最大输出电流之比。图 7.16(c) 为光电池的频率特性曲线。可以看出,硅光电池有很高的频率响应,这是它最为突出的优点。

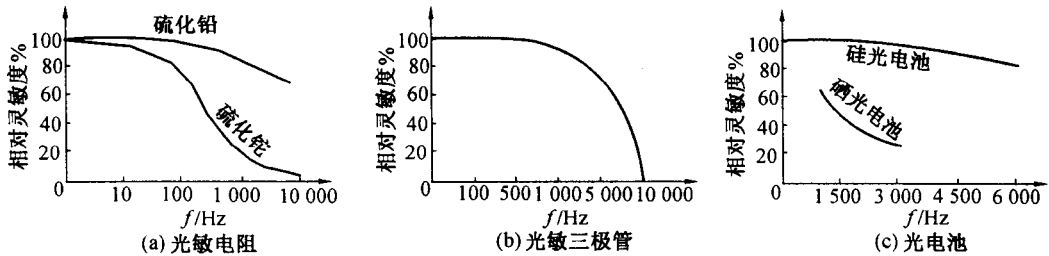


图 7.16 光敏器件的频率特性

7.2 新型光电器件

随着制造工艺的不断完善和光信息处理技术的发展,近年来出现了一批新型光电器件,满足不同应用领域的需要。

7.2.1 高速光电二极管

响应速度是光电传感器的重要指标。高速光电二极管主要有以下几种。

(1) **PIN 结光电二极管** PIN 结光电二极管如图 7.17 所示。它与一般 PN 结光敏二极管的不同之处在于 P 层和 N 层之间加了一层很厚的 I 层。同时,将 P 层做得很薄。当入射光照射在 P 层上时,由于 P 层很薄,大量的光被较厚的 I 层吸收,激发较多的载流子,形成光电流;又由于 PIN 结光电二极管比 PN 结光电二极管施加较高的反向偏置电压,使其耗尽层加宽,加强了它的 PN 结内电场,加速了光电子的定向运动,大大缩短了漂移时间,因而提高了响应速度。PIN 结光电二极管仍然具有一般 PN 结光电二极管的线性特性,因此,在光通信和光信号检测技术中得到广泛应用。

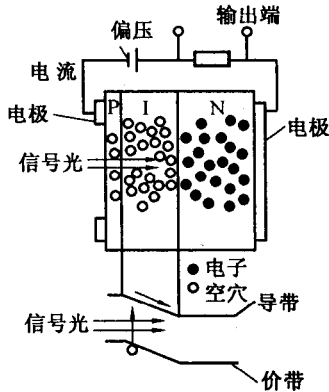


图 7.17 PIN 结光电二极管的结构

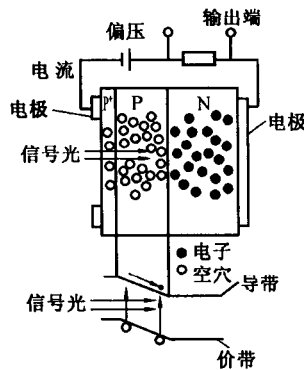


图 7.18 雪崩光电二极管的结构

(2) **雪崩式光电二极管 (APD)** 雪崩式光电二极管的结构如图 7.18 所示。它不同于

普通二极管的结构,其PN结的P型区外侧增加了一层掺杂体积浓度极高的P⁺层。当在其上加近于击穿的反向偏压时,以P层为中心的两侧产生极强的内部加速场(可达10⁵ V/cm)。当光照时,P⁺层受光子能量激发的电子从价带跃迁到导带。在强电场作用下,电子以高速通过P层,并在P区产生碰撞电离,形成大量新生电子-空穴对。并且它们也从电场中获得高能量,与从P⁺层来的电子一起再次碰撞P区的其他原子,又产生大批新生电子-空穴对,不断产生二次电子发射,形成“雪崩”,构成强大的光电流。

雪崩二极管具有很高的灵敏度和响应速度,但输出特性差,在光通信中占有重要地位。

7.2.2 色敏光电传感器

色敏传感器实际上是两只结深不同的光电二极管的组合体。其结构、等效电路和特性曲线如图7.19所示。

双结光电二极管的P⁺N结为浅结,NP结为深结。当光线照射时,浅结和深结的吸收效率不同。紫外光部分吸收系数大,经过很短距离就被其吸收完毕,因此,浅结对紫外光有较高灵敏度。而红外光部分吸收系数较小,这类光波的光子主要在深结处被吸收。因此,深结对红外光有较高的灵敏度。也就是说,半导体中不同的区域对不同的波长具有不同的灵敏度。这一特性为颜色识别创造了可能性。具体使用时,首先对该色敏器件进行标定,也就是测出在不同波长的光照下,深结的短路电流 I_{SD2} 与浅结的短路电流 I_{SD1} 的比值 I_{SD2}/I_{SD1} 。 I_{SD2} 在长波区较大, I_{SD1} 在短波区较大;因而, I_{SD2}/I_{SD1} 与入射单色光波长的关系就可以确定。根据标定曲线,实测出某一单色光的短路电流比值,即可确定该单色光的波长。

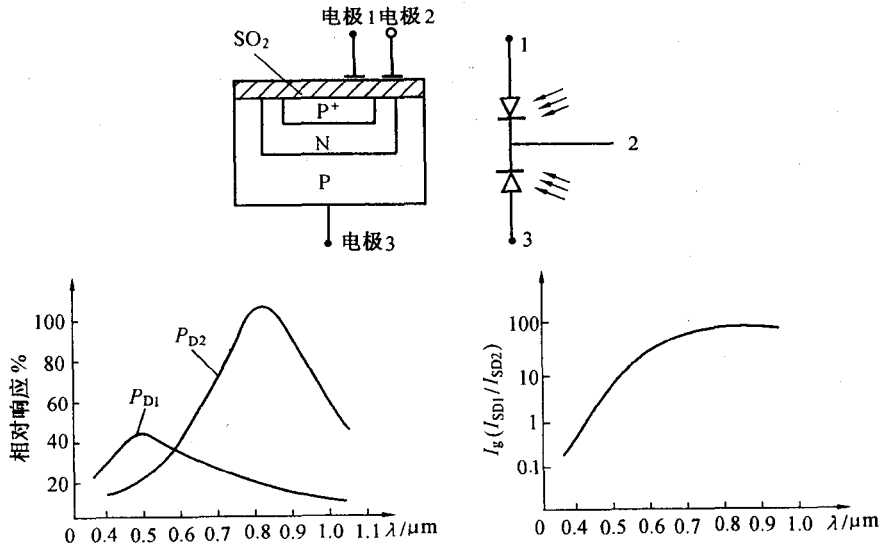


图 7.19 色敏光电传感器结构、等效电路及其特性曲线

7.2.3 光位置传感器(SPD)

光位置传感器是利用光线检测位置的传感器。其原理如图7.20所示。

光线照射到硅光电二极管的某一位置时,结区激发的光电子向 N 层漂移,空穴向 P 层漂移。到达 P 层的空穴分成两部分:一部分沿表面电阻 R_1 流向 1 端形成光电流 I_1 ;另一部分沿表面电阻 R_2 流向 2 端形成光电流 I_2 ;当电阻层均匀时, $R_2/R_1 = x_2/x_1$,则光电流 $I_1/I_2 = R_2/R_1 = x_2/x_1$,故只要测出 I_1 和 I_2 便可求得光照射的位置。

光位置传感器常用于机械加工的定位装置,也可用作机器人的眼睛。

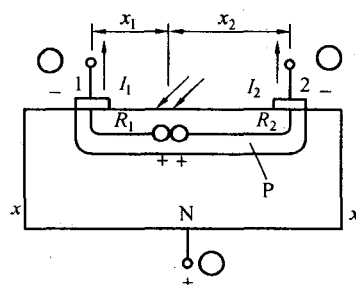


图 7.20 光位置传感器

7.2.4 电荷耦合器件(CCD)

电荷耦合器(CCD) (Charge Coupled Device) 是 20 世纪 70 年代发展起来的新型半导体器件。CCD 由于具有光电转换、信息存贮和传输等功能,而且集成度高、功耗小、性能稳定,所以 CCD 图像传感器被广泛地应用在微光电视摄像、信息存贮和处理等方面。

1. MOS 光敏单元

图 7.21 是 MOS 光敏单元结构原理图。它是在半导体基片上(如 P 型硅)通过氧化在表面形成 SiO_2 层,然后在 SiO_2 上沉积一层金属作为栅极,当在金属电极上加正偏压时,其所形成的电场穿过 SiO_2 薄层排斥 Si - SiO_2 界面附近的多数载流子 - 空穴,形成耗尽区。也就是说,对带负电的电子而言是一个势能很低的区域,称为势阱。

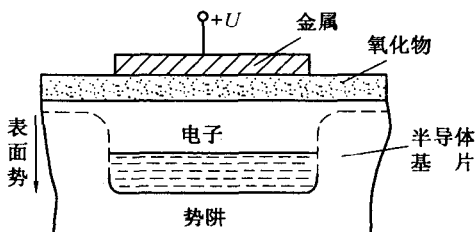


图 7.21 MOS 光敏单元结构原理图

半导体基片受到光照后,光子被半导体吸收,产生电子 - 空穴对。多数载流子空穴流入硅衬底内,而少数载流子被吸引,存贮到较深的势阱中,形成“电荷包”。此时势阱中吸收的光生电子数量与入射到势阱附近的光强成正比。人们称这样一个 MOS 结构单元为 MOS 光敏单元或叫做一个像素。

通常在半导体基片上制有几百或几千个相互独立的 MOS 光敏单元,当在金属电极上施加一正偏压时,在半导体基片上就形成几百或几千个相互独立的势阱。如果照射在这些光敏单元上的是一幅明暗起伏的图像,那么这些光敏单元就感生出一幅与光照强度相对应的光生电荷图像。

2. 读出移位寄存器

读出移位寄存器是电荷图像的输出电路。控制读出移位寄存器的输出就控制了电荷图像的输,其方法非常类似步进电机的步进控制方式。通常 MOS 光敏单元上所加电压脉冲是严格满足相位要求的二相、三相或四相系统的时钟脉冲。下面以三相为例说明其结构及控制原理。

简单的三相读出移位寄存器结构原理图如图 7.22 所示。每一级也叫一个像元,有三个相邻电极,每隔两个电极的所有电极(如 1、4、7...、2、5、8...、3、6、9...) 都接在一起,由 3 个相位相差 120° 的时钟脉冲 ϕ_1 、 ϕ_2 、 ϕ_3 来驱动,故称三相 CCD。一相时钟 ϕ_1 处于高压, ϕ_2 、 ϕ_3 处于低压。这时第一组电极(1、4、7...) 下面形成深势阱,在这些势阱中可以贮存信号电