

第8章

光电式传感器

第8章 光电式传感器

8.1

概 述

8.2

光电效应

8.3

光电器件和特性

8.4

光电式传感器的应用

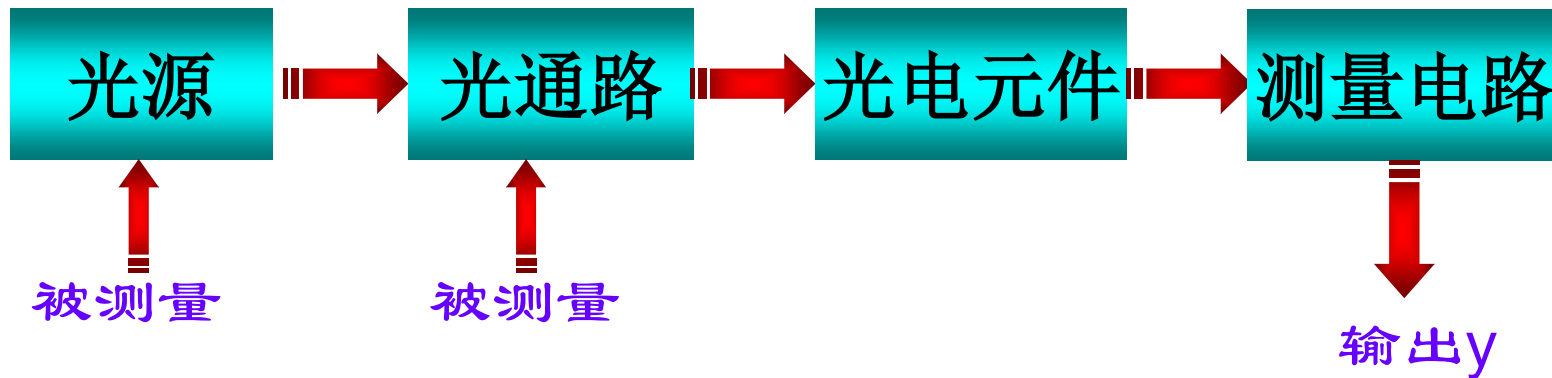
概述

- **定义**

是以光为测量媒介、以光电器件为转换元件的传感器

- **原理**

被测量 ➡ 光信号 ➡ 电信号（借助光电器件）



- **特性**

响应快、非接触测量、体积小、重量轻等

1、光源

光源是光电式传感器的一个组成部分，大多数光电传感器都离不开光源。

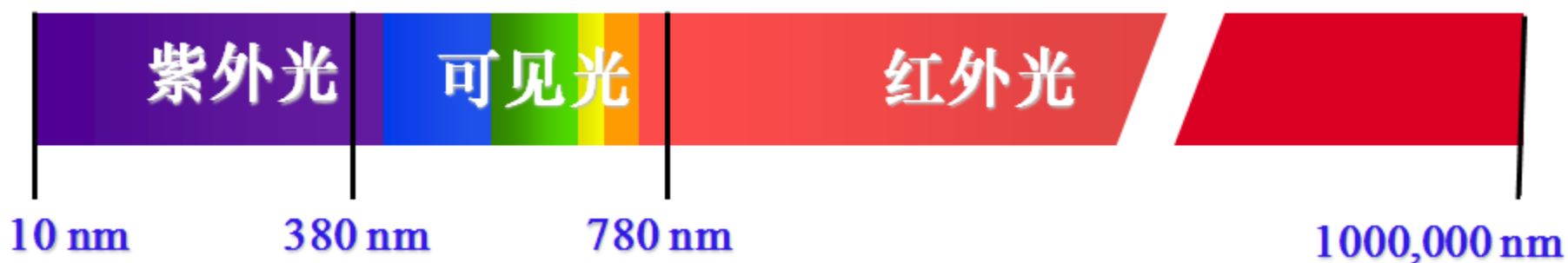
对光源的要求：

- 光源必须具有足够的照度
- 光源应保证均匀、无遮挡或阴影
- 光源的照射方式应符合传感器的测量要求
- 光源的发热量应尽可能小
- 光源发出的光必须具有合适的光谱范围

1、光源

光的特性

光波是波长为 $10\sim 10^6\text{nm}$ 的电磁波。



性质：光都具有反射、折射、散射、衍射、干涉和吸收等性质。

概述

常用光源

- 热辐射光源
- 气体放电光源
- 电致发光器件
- 激光器

概述

一、热辐射光源

- 原理：热物体都会向空间发出一定的光辐射
- 特点：物体温度越高，辐射能量越大
- 代表：白炽灯、卤钨灯

概述

二、气体放电光源

- 原理：电流通过气体会产生发光现象
- 特点：改变气体成分、压力、电流、阴极材料和放电电流的大小，可以得到不同光谱范围的辐射源体
- 代表：日光灯、节能灯

概述

三、电致发光器件

- 原理：固体发光材料在电场激发下产生的发光现象称为电致发光
- 特点：体积小、寿命长、工作电压低、响应速度快
- 代表：发光二极管

概述

四、激光器

- 定义：能够产生光受激辐射放大现象的器件
- 特点：单色性好、方向性好、亮度高
- 分类：固体激光器、气体激光器、半导体激光器、液体激光器

概述

1、固体激光器

- 固体激光器的典型实例就是**红宝石激光器**，它是人类发明的第一种激光器，诞生于1960年。
- 固体激光器通常工作在脉冲状态下，功率大，在光谱吸收测量方面有一些应用。
- 利用阿波罗登月留下的反射镜，**红宝石激光器**还曾成功地用于地球到月球的距离测量。

概述

2、气体激光器

■ 特点：

- 工作物质是气体。
- 气体激光器的**体积一般都比较**大。
- **气体介质均匀，激光稳定性好**，另外气体可在腔内循环，**有利于散热**，这是固体激光器所不具备的。

- **种类：**氦氖激光器、氩离子激光器、氮离子激光器，以及二氧化碳激光器、准分子激光器。它们的波长覆盖了从**紫外到远红外的频谱区域**。

概述

3、半导体激光器

- 半导体激光器除了具有一般激光器的特点外，还具有**体积小、能量高**的特点。
- 它对供电电源的要求极其简单，使用低压电源，可用电池供电，在很多科技领域得到了广泛应用。
- 与前几种相比出现较晚，其成熟产品是**砷化镓激光器**。
- 其缺点是输出功率较小。
- 目前半导体激光器可选择的波长主要局限在红光和红外区域。

概述

4、液体激光器

- 工作物质是液体。
- 种类：螯合物激光器、无机液体激光器和有机染料激光器，其中较为重要的是有机染料激光器。
- 它的最大特点是发出的激光波长可在一段范围内调节，而且效率也不会降低，因而它能起着其他激光器不能起的作用。

第8章 光电式传感器

8.1

概 述

8.2

光电效应

8.3

光电器件和特性

8.4

光电式传感器的应用

光的基本物理特性

光的特性

光具有波粒二重性，既具有波动的本性，又具有粒子的特性。

光的粒子说可知，光是由具有一定能量、动量和能量的粒子所组成，这种粒子称为光子。**每个光子都具有有一定的能量，其大小与它的频率成正比，即**

$$E=hf=hc/\lambda$$

式中 h 为普朗克常数， $h=6.626 \times 10^{-34}$ (J.S)；

f 为光子的频率 (S^{-1})；

C 为光速， $C=3 \times 10^8$ (m/S)；

λ 为光的波长 (m)。

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，从而产生的电效应。光电传感器的工作原理基于光电效应。光电效应分为外光电效应和内光电效应两大类。

1、外光电效应

在光线的作用下，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。向外发射的电子叫做光电子。基于外光电效应的光电器件有光电管、光电倍增管等。

第8章 光电式传感器

根据爱因斯坦假设，一个电子只能接受一个光子的能量，所以要使一个电子从物体表面逸出，必须使光子的能量大于该物体的表面逸出功，超过部分的能量表现为逸出电子的动能。外光电效应多发生于金属和金属氧化物，从光开始照射至金属释放电子所需时间不超过 10^{-9}s 。

根据能量守恒定理

$$hf = \frac{1}{2}mv_0^2 + A_0$$

式中 m —电子质量； v_0 —电子逸出速度。

该方程称为爱因斯坦光电效应方程。由上式可知：

(1) 光电子能否产生，取决于入射光子的能量是否大于该物体的表面电子逸出功 A_0 。不同的物质具有不同的逸出功，这意味着每一种物质都有一个对应的光频阈值，称为红限频率或波长限。

光线频率低于红限频率，光子的能量不足以使物体内的电子逸出，因而小于红限频率的入射光，光强再大也不会产生光电子发射；反之入射光频率高于红限频率，即使光线微弱，也会有光电子射出。

(2) 当入射光的频谱成分不变时，产生的光电流与光强成正比。即光强愈大，意味着入射光子数目越多，逸出的电子数也就越多。

(3) 光电子逸出物体表面具有初始动能 $\frac{1}{2}mv_0^2$ ，因此外光电效应器件（如光电管）即使没有加阳极电压，也会有光电流产生。为了使光电流为零，必须加负的截止电压，而且截止电压与入射光的频率成正比。

2、内光电效应

当光照在物体上，使物体的电导率发生变化，或产生光生电动势的现象。

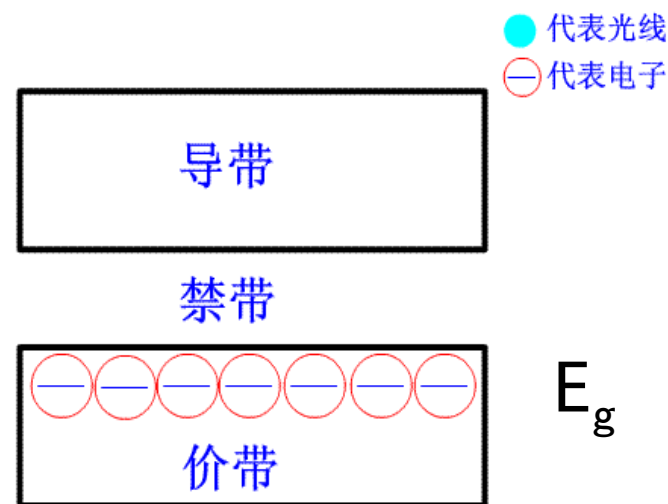
(1) 光电导效应

当光照射在物体上，电子吸收光子能量从键合状态过度到自由状态而使物体的电导率发生变化的现象

常见器件：光敏电阻

原理：

光 → 半导体 → 电子吸收能量
($h\nu > E_g$) → 跃迁
→ 电子-空穴对 → 阻值降低，
导电性能增强，电导率增大



第8章 光电式传感器

为了实现能级的跃迁，入射光的能量必须大于光电导材料的禁带宽度 E_g ，即

$$hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1.24}{\lambda} \geq E_g$$

式中 f 、 λ 分别为入射光的频率和波长。

材料的光导性能决定于禁带宽度，对于一种光电导材料，总存在一个照射光波长限 λ_0 ，只有波长小于 λ_0 的光照射在光电导体上，才能产生电子能级间的跃进，从而使光电导体的电导率增加。

第8章 光电式传感器

(2) 光生伏特效应

在光线作用下能够使物体产生一定方向的电动势的现象叫做光生伏特效应。

基于该效应的光电器件有光电池。

两个常用光学单位

流明 (lm) 和**勒克斯 (lx)** 两个光学单位。

所谓**流明**是**光通量**的单位，所有的灯都以流明表征输出光通量的大小。

勒克斯是**照度**的单位，它表征受照物体被照程度的物理量。

第8章 光电式传感器

8.1

概 述

8.2

光电效应

8.3

光电器件和特性

8.4

光电式传感器的应用

光电器件

利用物质在光的照射下**发射电子**的所谓**外光电效应**而制成的外光电效应器件，一般都是真空的或充气的光电器件，如光电管和光电倍增管等；利用物质在光的照射下**电导性能改变**的**内光电效应**器件，常见的有光敏电阻（光导管）、光敏二极管、光敏三极管、光敏晶闸管等；利用物质在光的照射下**产生电动势**的**光生伏特效应**器件，光电池等。

一、光电管

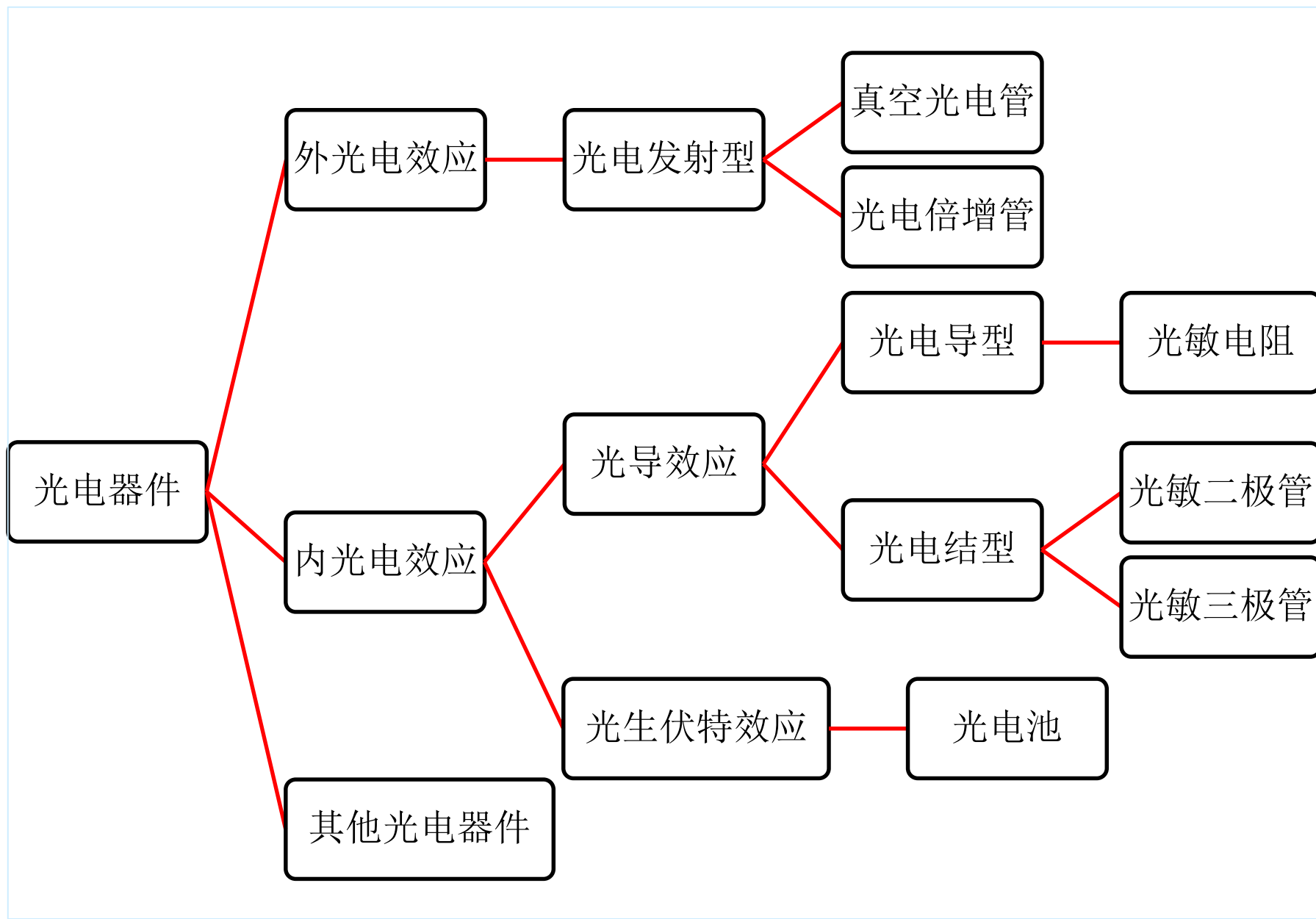
二、光电倍增管

三、光敏电阻

四、光敏晶体管

五、光电池

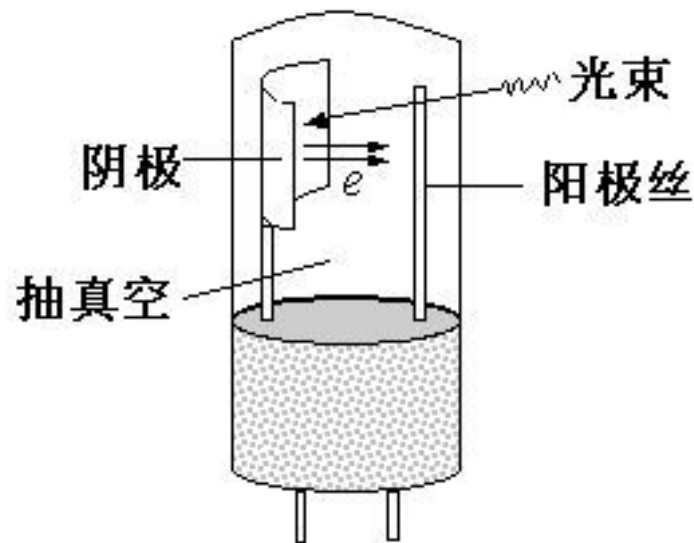
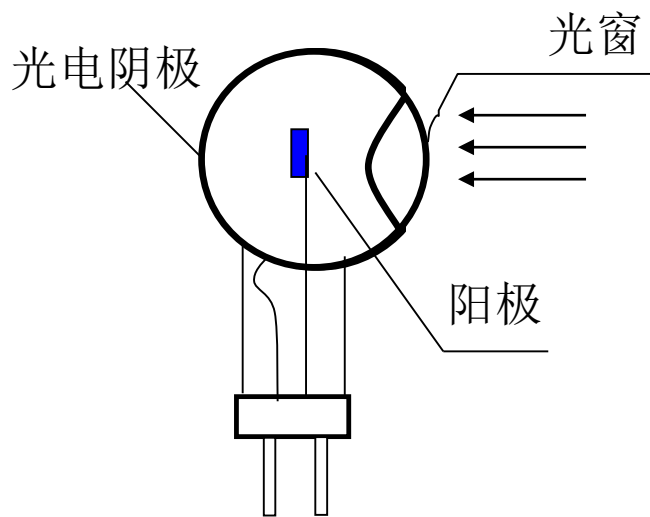
六、其它光电传感器



8.3 光电器件和特性

1、光电管

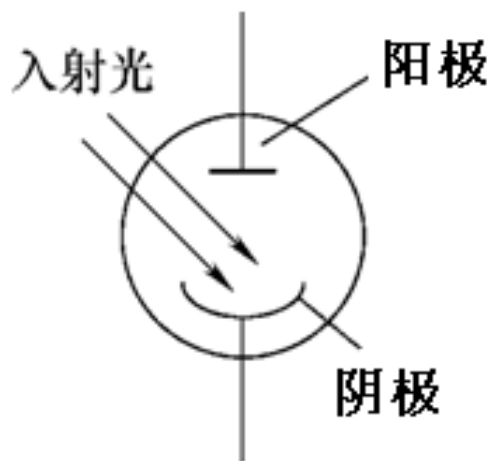
- **结构组成**：在一个抽成真空或充以惰性气体的玻璃泡内装有两个电极：**光电阴极**和**光电阳极**。
- 光电阴极通常是用逸出功小的**光敏材料**（如铯）涂敷在玻璃泡内壁上做成，其感光面对准光的照射孔。



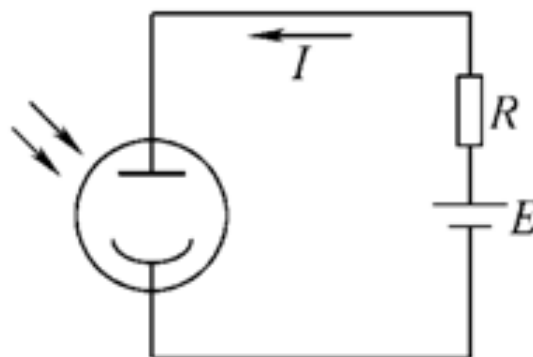
光电管的结构示意图

8.3 光电器件和特性

- **工作原理：**当光线照射到阴极的光敏材料上，便有电子逸出，这些电子被具有正电位的阳极所吸引，在光电管内形成空间电子流，在外电路就产生电流。
- 外电路串入一适当阻值的电阻，在该电阻上的电压降或电路中的电流大小都与光强成函数关系，从而实现了光电转换。



a) 结构

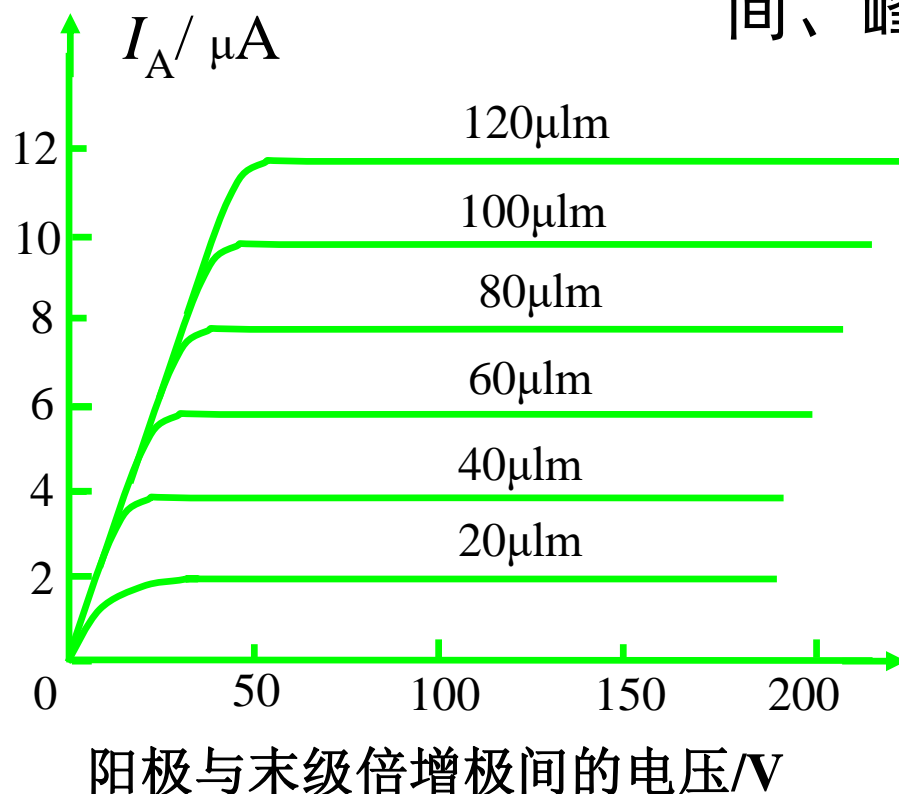


b) 外接电路

第8章 光电式传感器

2. 主要性能

光电器件的性能主要由伏安特性、光照特性、光谱特性、响应时间、峰值探测率和温度特性来描述。



光电管的伏安特性

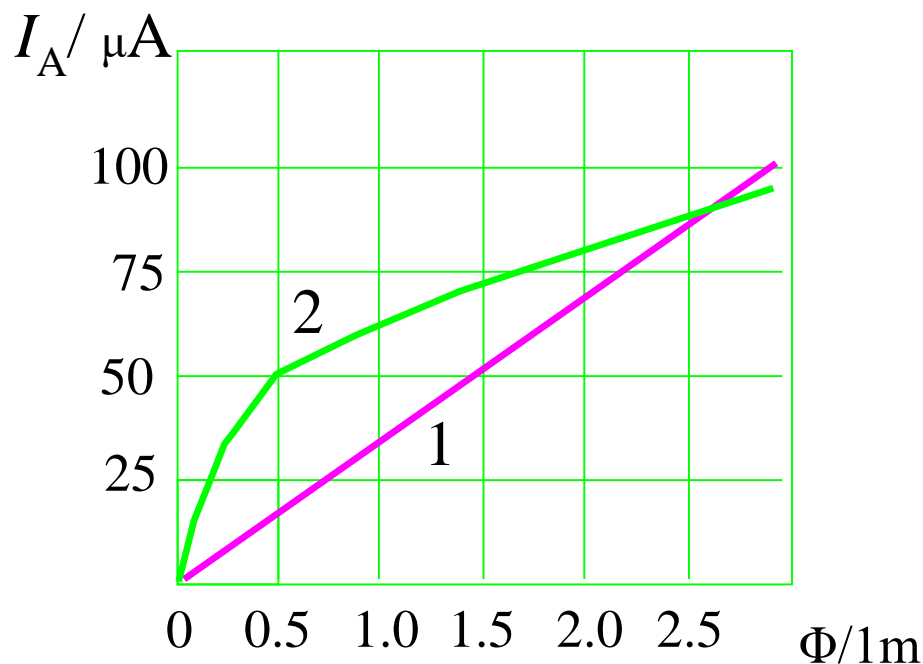
(1) 光电管的伏安特性

在一定的光照射下，对光电器件的阴极所加电压与阳极所产生的电流之间的关系称为光电管的伏安特性。光电管的伏安特性如图所示。它是应用光电传感器参数的主要依据。

第8章 光电式传感器

(2) 光电管的光照特性

通常指当光电管的阳极和阴极之间所加电压一定时，光通量与光电流之间的关系为光电管的光照特性。



光电管的光照特性

曲线1表示**铯铯阴极**光电管的光照特性，光电流 / 与光通量成**线性**关系。

曲线2为**铯铯阴极**的光电管光照特性，它成**非线性**关系。

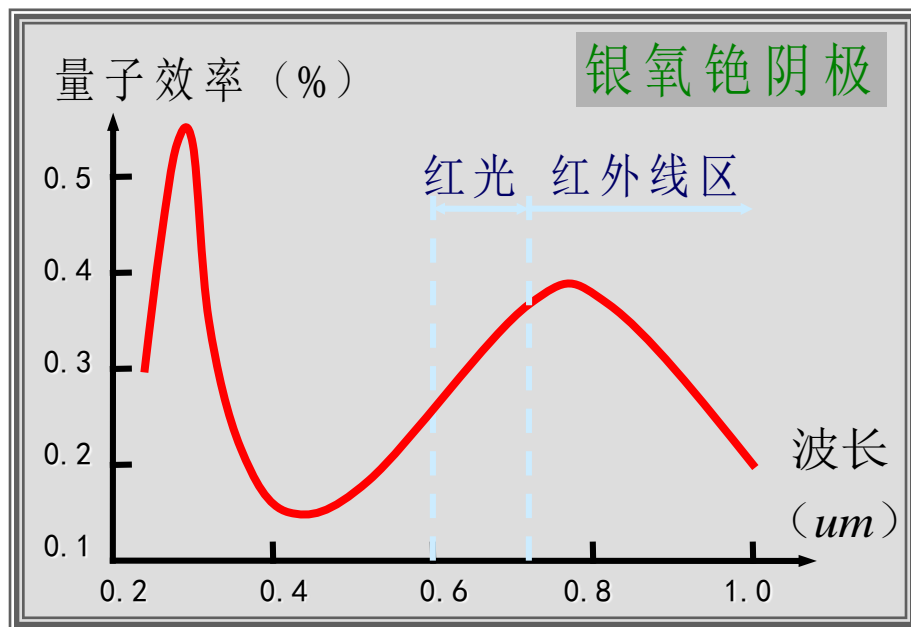
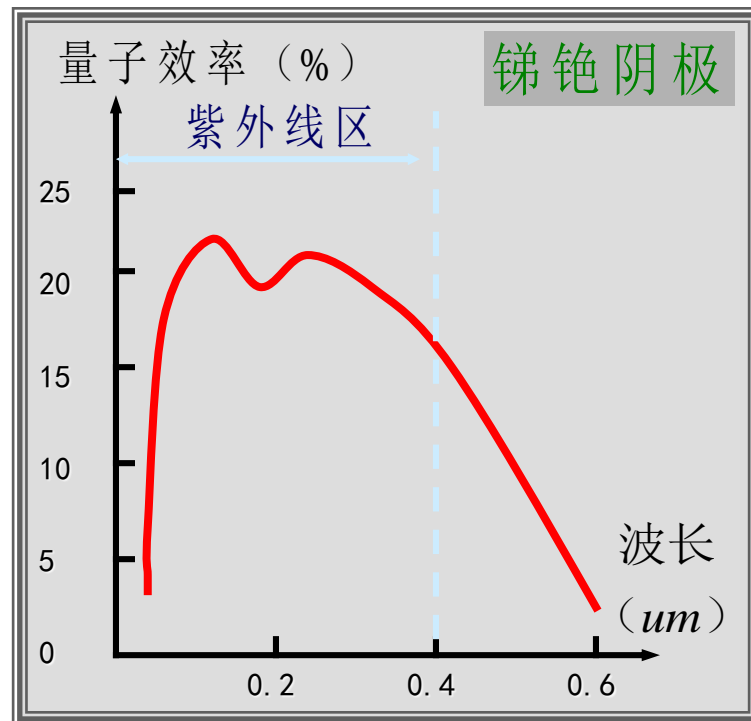
光照特性曲线的斜率（光电流与入射光光通量之比）称为光电管的**灵敏度**。

第8章 光电式传感器

(3) 光电管光谱特性

由于光阴极对光谱有选择性，因此光电管对光谱也有选择性。保持光通量和阴极电压不变，阳极电流与光波长之间的关系叫光电管的光谱特性。一般对于光电阴极材料不同的光电管，它们有不同的红限频率 ν_0 ，因此它们可用于不同的光谱范围。除此之外，即使照射在阴极上的入射光的频率高于红限频率 ν_0 ，并且强度相同，随着入射光频率的不同，阴极发射的光电子的数量还会不同，即同一光电管对于不同频率的光的灵敏度不同，这就是光电管的光谱特性。所以，对各种不同波长区域的光，应选用不同材料的光电阴极。

光谱特性：工作电压不变，入射光波长与灵敏度（量子效率）的关系



光谱特性取决于
阴极材料，不同
阴极材料的光电
管其灵敏度分布
不同

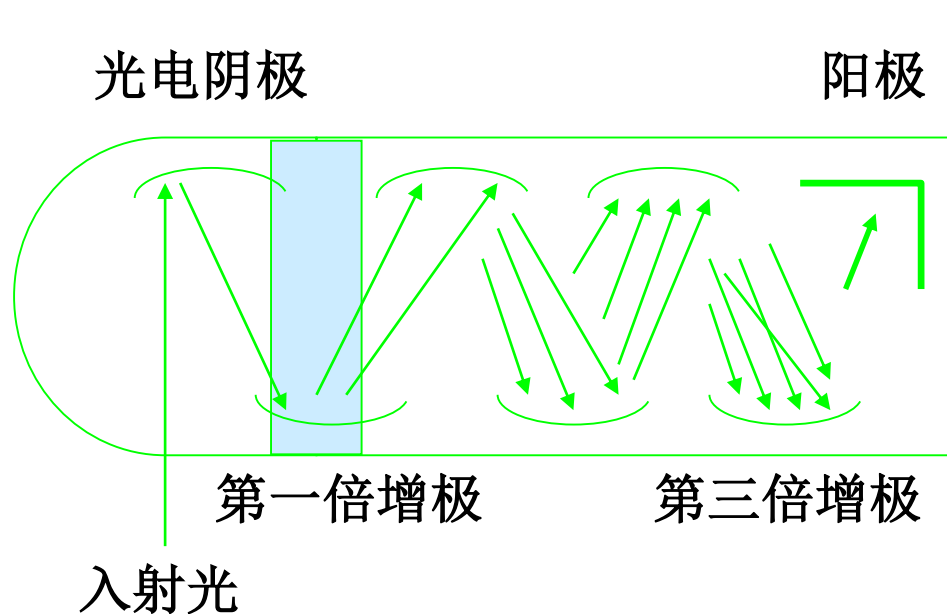
第8章 光电式传感器

二、光电倍增管及其基本特性

当入射光很微弱时，普通光电管产生的光电流很小，只有零点几 μA ，不容易探测，需要用光电倍增管对电流进行放大。

1. 光电倍增管结构和工作原理

由**光阴极**、**次阴极(倍增电极)**以及**阳极**三部分组成。光阴极是由半导体光电材料铯铯做成；次阴极是在镍或铜-铍的衬底上涂上铯



铯材料而形成的，次阴极多的可达30级；阳极是最后用来收集电子的，收集到的电子数是阴极发射电子数的 $10^5 \sim 10^6$ 倍。即光电倍增管的放大倍数可达几万到几百万倍。因此在很微弱的光照时，它就能产生很大的光电流。

第8章 光电式传感器

- 倍增系数M

等于各倍增电极的二次发射系数 σ_i 的乘积。如果 n 个倍增电极的 σ_i 都一样 ($\sigma_i = \sigma$)，则

$$M = \sigma^n$$

所以

$$I = i\sigma^n$$

式中， i 为光电阴极的光电流

第8章 光电式传感器

内光电效应器件

利用物质在光的照射下电导性能改变或产生电动势的光电器件称内光电效应器件，常见的有光敏电阻光电池和光敏晶体管等。

一、光敏电阻

光敏电阻又称光导管，为纯电阻元件，其工作原理是基于光电导效应，其阻值随光照增强而减小。

优点：灵敏度高，光谱响应范围宽，体积小、重量轻、机械强度高，耐冲击、耐振动、抗过载能力强和寿命长等。

不足：需要外部电源，有电流时会发热。

第8章 光电式传感器

1. 光敏电阻的工作原理和结构

当光照射到光电导体上时，若光电导体为本征半导体材料，而且光辐射能量又足够强，光导材料价带上的电子将激发到导带上去，从而使导带的电子和价带的空穴增加，致使光导体的电导率变大。为实现能级的跃迁，入射光的能量必须大于光导体材料的禁带宽度 E_g ，即

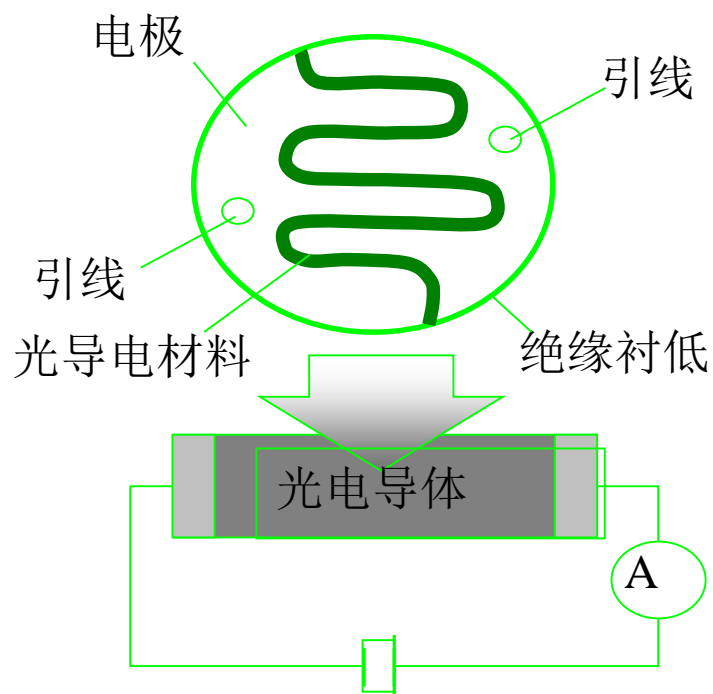
$$h\nu = \frac{h \cdot c}{\lambda} \geq \frac{1.24}{\lambda} E_g (\text{eV})$$

式中 ν 和 λ ——入射光的频率和波长。

一种光电导体，存在一个照射光的波长限 λ_c ，只有波长小于 λ_c 的光照射在光电导体上，才能产生电子在能级间的跃迁，从而使光电导体电导率增加。

第8章 光电式传感器

光敏电阻的结构如图所示。管芯是一块安装在绝缘衬底上带有两个欧姆接触电极的光电导体。

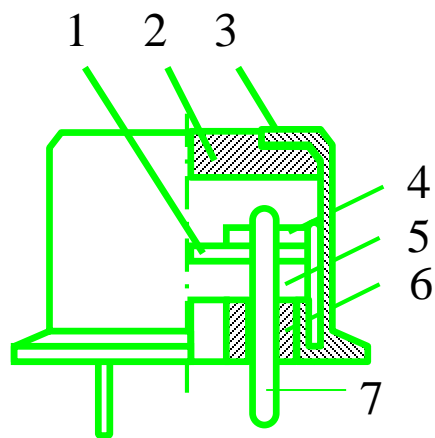


金属封装的硫化镉光敏电阻结构图

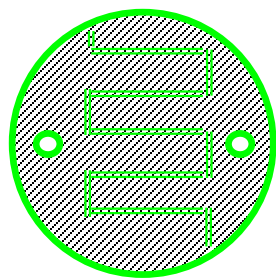
光导体吸收光子而产生的光电效应，只限于光照的表面薄层，虽然产生的载流子也有少数扩散到内部去，但扩散深度有限，因此光电导体一般都做成薄层。为了获得高的灵敏度，光敏电阻的电极一般采用硫状图案，结构见图。

第8章 光电式传感器

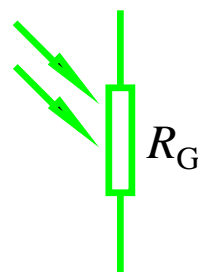
它是在一定的掩模下向光电导薄膜上蒸镀金或钼等金属形成的。这种梳状电极，由于在间距很近的电极之间有可能采用大的灵敏面积，所以提高了光敏电阻的灵敏度。图（c）是光敏电阻的代表符号。



(a)结构



(b)电极



(c)符号

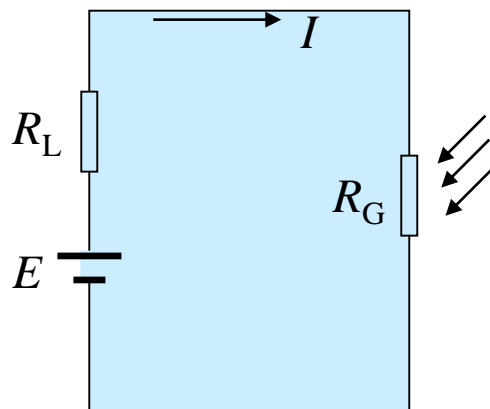
- 1--光导层；
- 2--玻璃窗口；
- 3--金属外壳；
- 4--电极；
- 5--陶瓷基座；
- 6--黑色绝缘玻璃；
- 7--电阻引线。

CdS光敏电阻的结构和符号

第8章 光电式传感器

光敏电阻的灵敏度易受湿度的影响，因此要将导光电导体严密封装在玻璃壳体中。如果把光敏电阻连接到外电路中，在外加电压的作用下，用光照射就能改变电路中电流的大小，其连线电路如图所示。

光敏电阻具有**很高的灵敏度**，**很好的光谱特性**，**光谱响应可从紫外区到红外区范围内**。而且**体积小、重量轻、性能稳定、价格便宜**，因此应用比较广泛。



第8章 光电式传感器

2. 光敏电阻的主要参数和基本特性

(1) 暗电阻、亮电阻、光电流

暗电流：光敏电阻在室温条件下，全暗（无光照射）后经过一定时间测量的电阻值，称为暗电阻。此时在给定电压下流过的电流。

亮电流：光敏电阻在某一光照下的阻值，称为该光照下的亮电阻，此时流过的电流。

光电流：亮电流与暗电流之差。

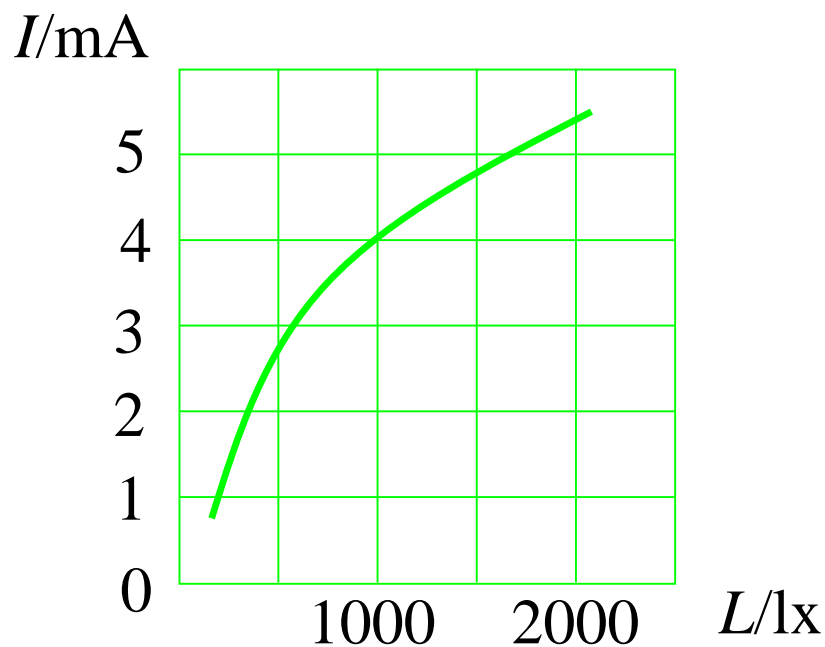
光敏电阻的暗电阻越大，而亮电阻越小则性能越好。也就是，暗电流越小，光电流越大，这样的光敏电阻的灵敏度越高。

实用的光敏电阻的暗电阻往往超过 $1\text{M}\Omega$ ，甚至高达 $100\text{M}\Omega$ ，而亮电阻则在几 $k\Omega$ 以下，暗电阻与亮电阻之比在 $10^2\sim 10^6$ 之间，可见光敏电阻的灵敏度很高。

第8章 光电式传感器

(2) 光照特性

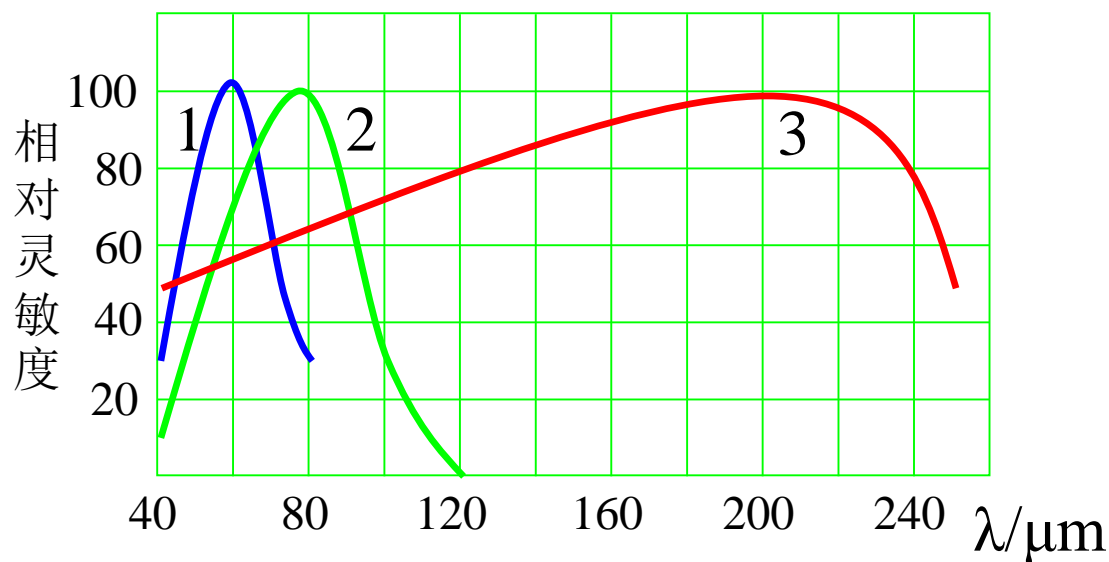
下图表示CdS光敏电阻的光照特性。在一定外加电压下，光敏电阻的光电流和光通量之间的关系。不同类型光敏电阻光照特性不同，但光照特性曲线均呈非线性。因此它不宜作定量检测元件，这是光敏电阻的不足之处。一般在自动控制系统中用作光电开关。



第8章 光电式传感器

(3) 光谱特性

光谱特性与光敏电阻的材料有关。从图中可知，硫化铅光敏电阻在较宽的光谱范围内均有较高的灵敏度，峰值在红外区域；硫化镉、硒化镉的峰值在可见光区域。因此，在选用光敏电阻时，应把光敏电阻的材料和光源的种类结合起来考虑，才能获得满意的效果。

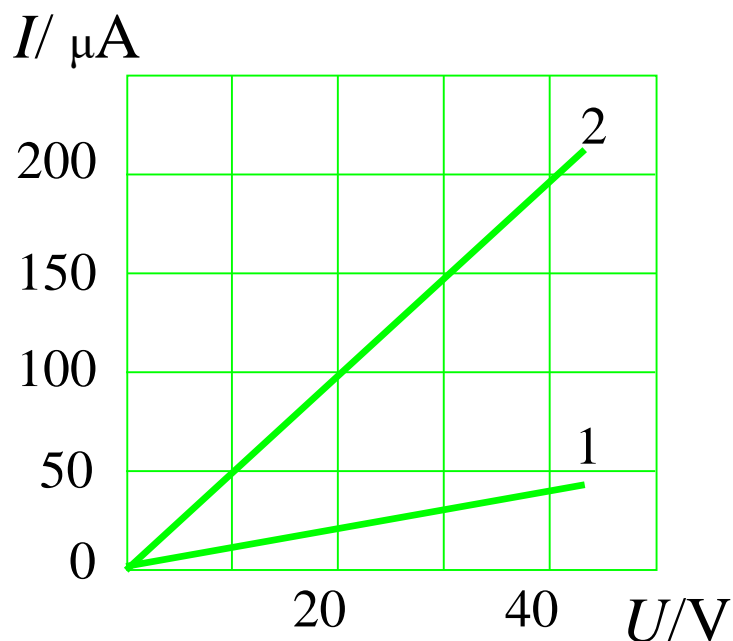


- 1——硫化镉
- 2——硒化镉
- 3——硫化铅

第8章 光电式传感器

(4) 伏安特性

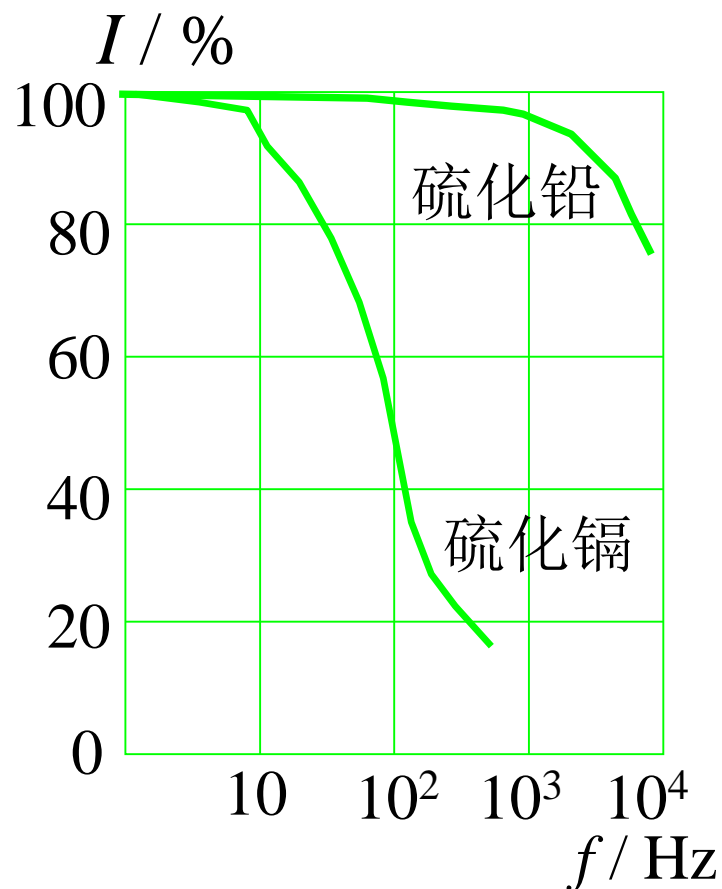
在一定照度下，加在光敏电阻两端的电压与电流之间的关系称为伏安特性。图中曲线1、2分别表示照度为**零**及照度为**某值**时的伏安特性。由曲线可知，在给定偏压下，光照度较大，光电流也越大。



在一定的光照度下，所加的电压越大，光电流越大，而且无饱和现象。但是电压不能无限地增大，因为任何光敏电阻都受额定功率、最高工作电压和额定电流的限制。超过最高工作电压和最大额定电流，可能导致光敏电阻永久性损坏。

第8章 光电式传感器

(5) 频率特性



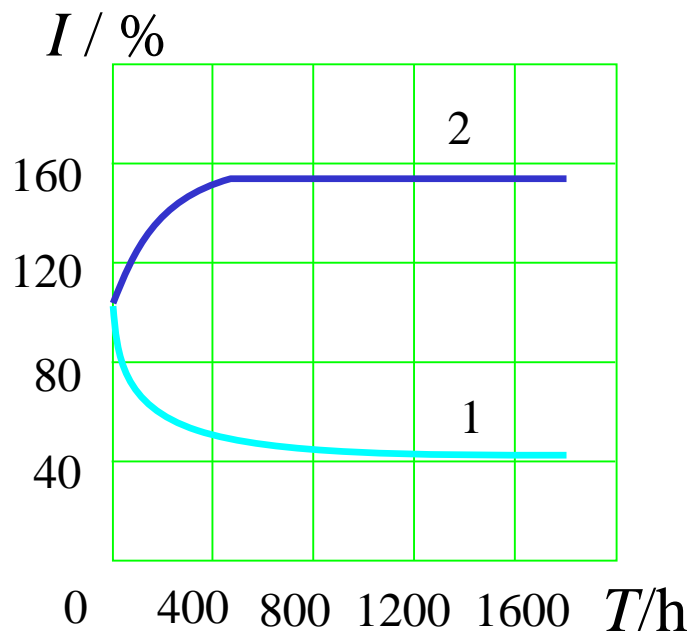
当光敏电阻受到脉冲光照射时，光电流要经过一段时间才能达到稳定值，而在停止光照后，光电流也不立刻为零，这就是光敏电阻的时延特性。

由于不同材料的光敏，电阻时延特性不同，所以它们的频率特性也不同，如图。硫化铅的使用频率比硫化镉高得多，但多数光敏电阻的时延都比较大，所以，它不能用在要求快速响应的场合。

第8章 光电式传感器

(6) 稳定性

图中曲线1、2分别表示两种型号CdS光敏电阻的稳定性。初制成的光敏电阻，由于体内机构工作不稳定，以及电阻体与其介质的作用还没有达到平衡，所以性能是不够稳定的。但在人为地加温、光照及加负载情况下，经一至二周的老化，性能可达稳定。



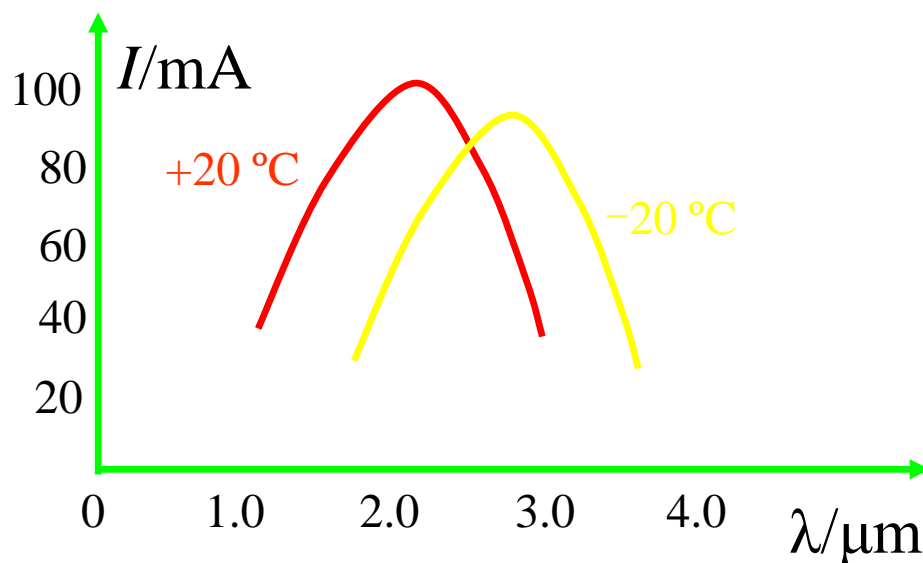
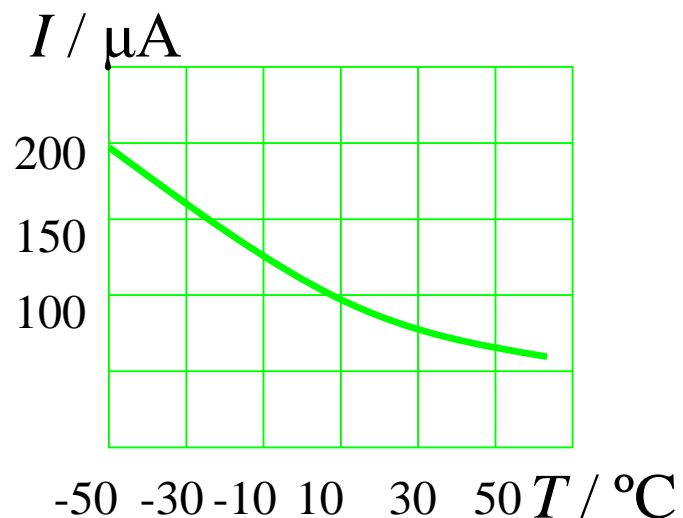
光敏电阻在开始一段时间的老化过程中，有些样品阻值上升，有些样品阻值下降，但最后达到一个稳定值后就不再变了。这就是光敏电阻的主要优点。

光敏电阻的使用寿命在密封良好、使用合理的情况下，几乎是无限长的。

第8章 光电式传感器

(7) 温度特性

其性能(灵敏度、暗电阻)受温度的影响较大。随着温度的升高,其暗电阻和灵敏度下降,光谱特性曲线的峰值向波长短的方向移动。硫化镉的光电流 I 和温度 T 的关系如图所示。有时为了提高灵敏度,或为了能够接收较长波段的辐射,将元件降温使用。例如,可利用制冷器使光敏电阻的温度降低。



第8章 光电式传感器

二、光敏二极管和光敏三极管

光电二极管和光电池一样，其基本结构也是一个PN结。它和光电池相比，重要的不同点是结面积小，因此它的频率特性特别好。光生电势与光电池相同，但输出电流普遍比光电池小，一般为几 μA 到几十 μA 。按材料分，光电二极管有硅、砷化镓、锑化铟光电二极管等许多种。按结构分，有同质结与异质结之分。其中最典型的是同质结硅光电二极管。

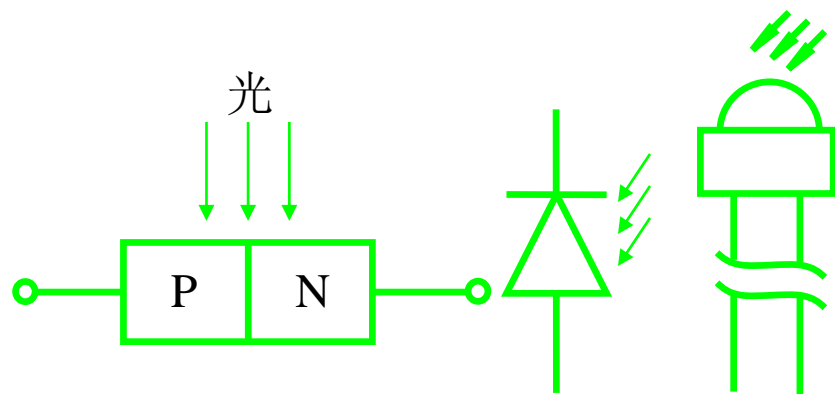
国产硅光电二极管按衬底材料的导电类型不同，分为2CU和2DU两种系列。2CU系列以N-Si为衬底，2DU系列以P-Si为衬底。2CU系列的光电二极管只有两条引线，而2DU系列光电二极管有三条引线。

第8章 光电式传感器

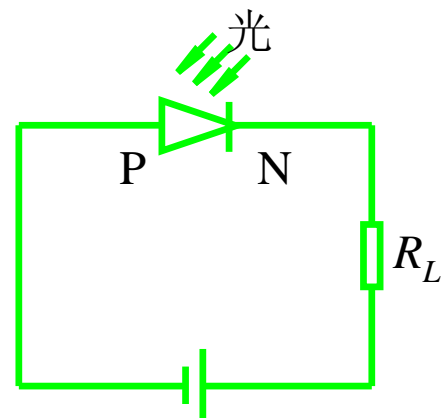
1. 光敏二极管

光敏二极管符号如图。锗光敏二极管有A, B, C, D四类；硅光敏二极管有2CU1A~D系列、2DU1~4系列。

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结装在管顶，可直接受到光照射。光敏二极管在电路中一般是处于**反向工作状态**，如图所示。



光敏二极管符号

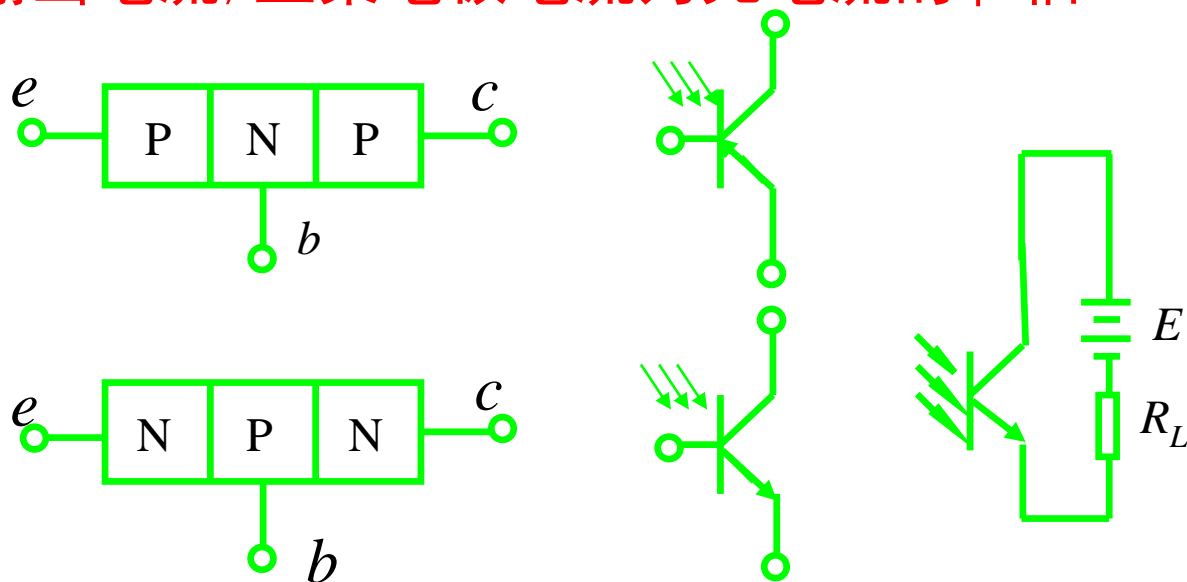


光敏二极管接线

第8章 光电式传感器

2. 光敏三极管

光敏三极管有PNP型和NPN型两种，如图。其结构与一般三极管很相似，具有电流增益，只是它的发射极一边做的很大，以扩大光的照射面积，且其基极不接引线。当集电极加上正电压，基极开路时，集电极处于反向偏置状态。当光线照射在集电结的基区时，会产生电子-空穴对，在内电场的作用下，光生电子被拉到集电极，基区留下空穴，使基极与发射极间的电压升高，这样便有大量的电子流向集电极，形成输出电流，且集电极电流为光电流的 β 倍。

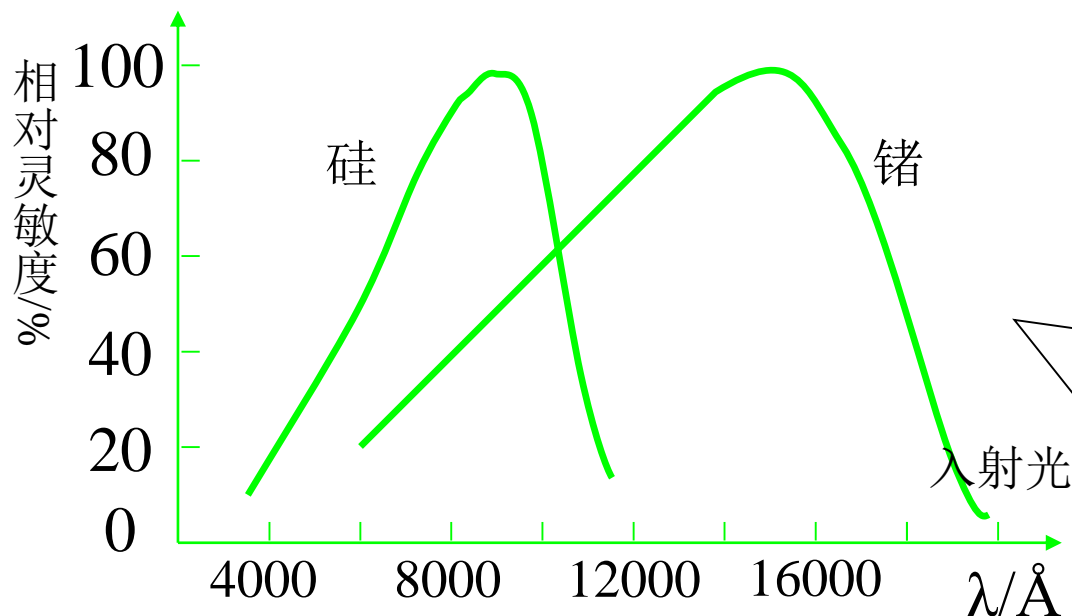


第8章 光电式传感器

光敏三极管的主要特性：

(1) 光谱特性

光敏三极管存在一个最佳灵敏度的峰值波长。当入射光的波长增加时，相对灵敏度要下降。因为光子能量太小，不足以激发电子空穴对。当入射光的波长缩短时，相对灵敏度也下降，这是由于光子在半导体表面附近就被吸收，并且在表面激发的电子空穴对不能到达PN结，因而使相对灵敏度下降。

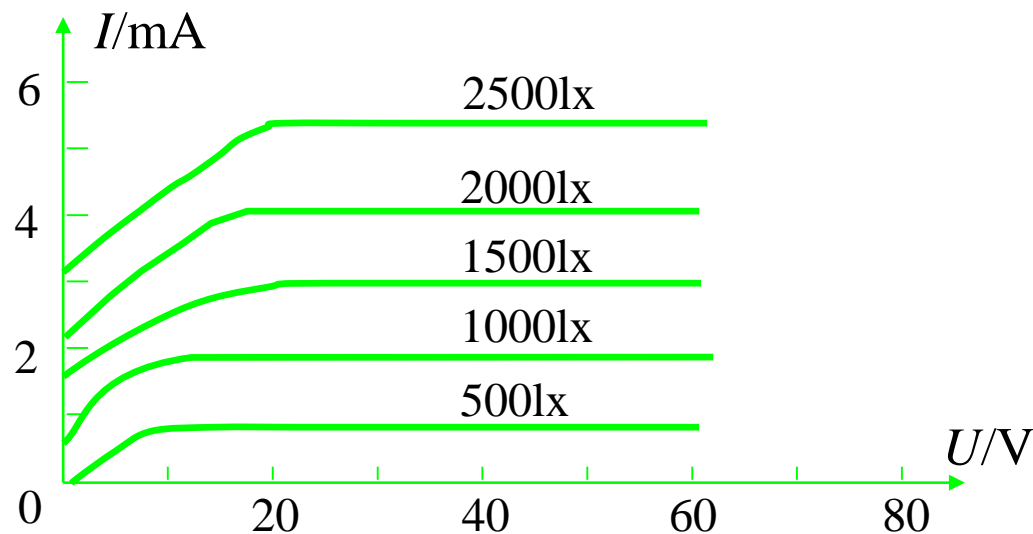


硅的峰值波长为**9000Å**，锗的峰值波长为**15000Å**。由于锗管的暗电流比硅管大，因此锗管的性能较差。故在可见光或探测赤热状态物体时，一般选用硅管；但对红外线进行探测时，则采用锗管较合适。

第8章 光电式传感器

(2) 伏安特性

如图所示。光敏三极管在不同的照度下的伏安特性，就像一般晶体管在不同的基极电流时的输出特性一样。因此，只要将入射光照在发射极e与基极b之间的PN结附近，所产生的光电流看作基极电流，就可将光敏三极管看作一般的晶体管。光敏三极管能把光信号变成电信号，而且输出的电信号较大。

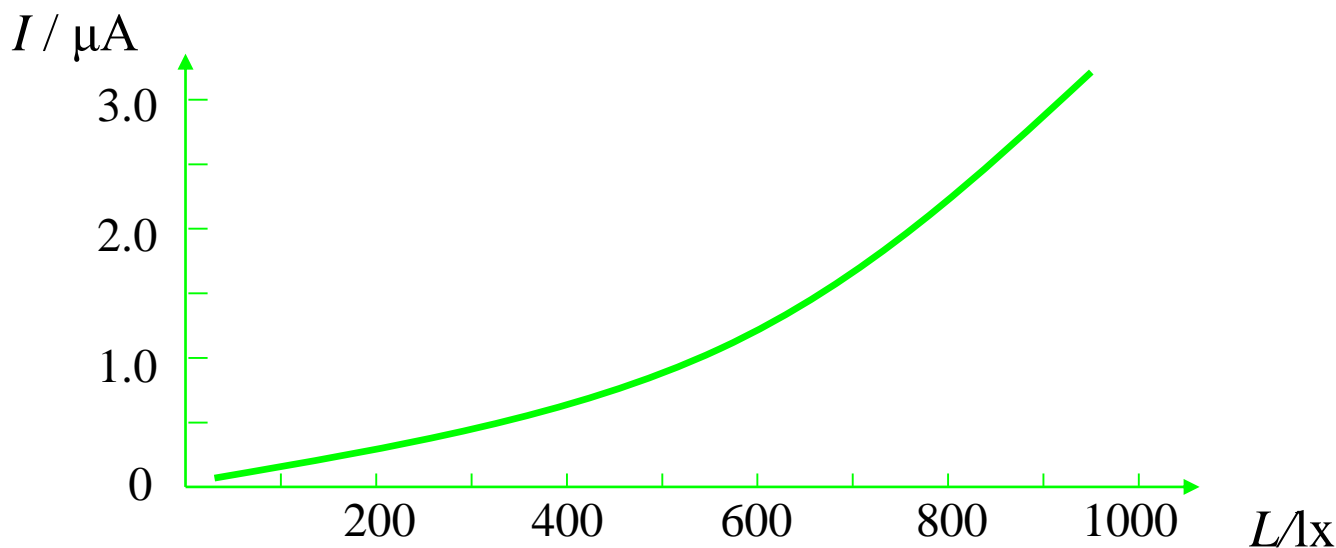


光敏晶体管的伏安特性

第8章 光电式传感器

(3) 光照特性

光敏三极管的光照特性如图所示。它给出了光敏三极管的输出电流 I 和照度之间的关系。它们之间呈现了近似线性关系。当光照足够大(几 k lx)时,会出现饱和现象,从而使光敏三极管既可作线性转换元件,也可作开关元件。

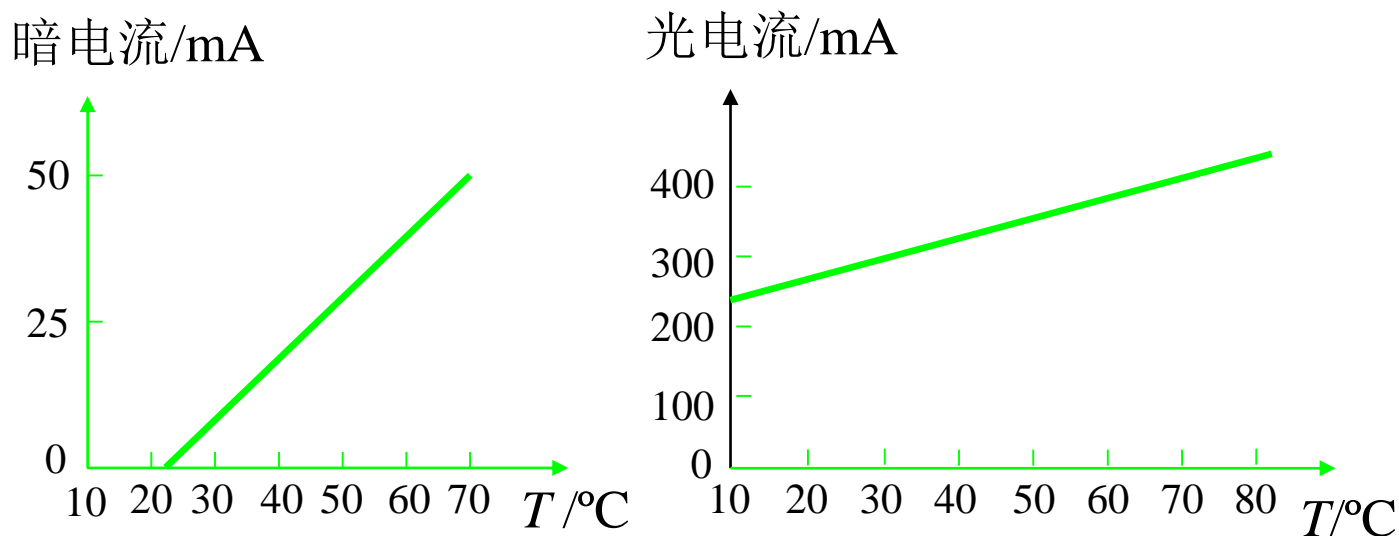


光敏晶体管的光照特性

第8章 光电式传感器

(4) 温度特性

光敏三极管的温度特性曲线反映的是光敏三极管的暗电流及光电流与温度的关系。从特性曲线可以看出，温度变化对光电流的影响很小，而对暗电流的影响很大。所以电子线路中应该对暗电流进行温度补偿，否则将会导致输出误差。

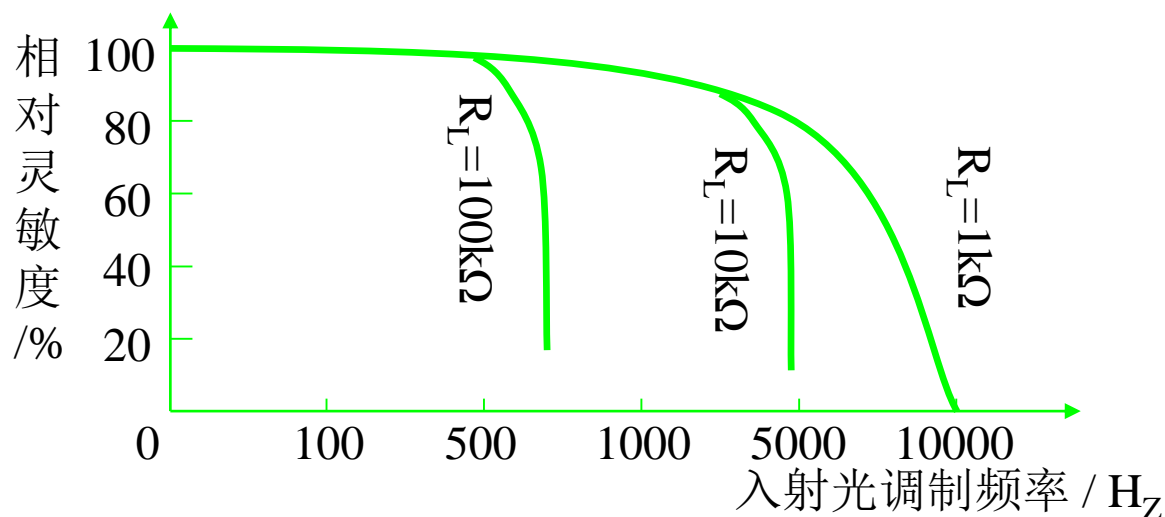


光敏晶体管的温度特性

第8章 光电式传感器

(5) 光敏三极管的频率特性

光敏三极管的频率特性曲线如图所示。光敏三极管的频率特性受负载电阻的影响，减小负载电阻可以提高频率响应。一般来说，光敏三极管的频率响应比光敏二极管差。对于锗管，入射光的调制频率要求在5kHz以下。硅管的频率响应要比锗管好。



光敏晶体管的频率特性

第8章 光电式传感器

三、光电池

光电池是利用光生伏特效应把光直接转变成电能的器件。又称为太阳能电池。它是基于光生伏特效应制成的。

它有较大面积的PN结，当光照射在PN结上时，在结的两端出现电动势。

命名方式：把光电池的半导体材料的名称冠于光电池之前。如，硒光电池、砷化镓光电池、硅光电池等。

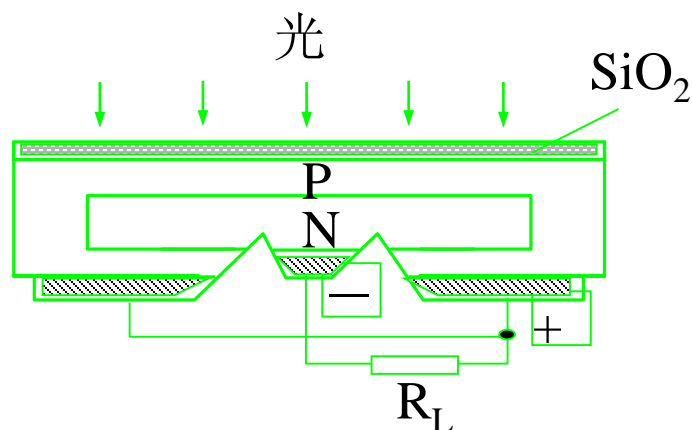
目前，应用最广、最有发展前途的是硅光电池。

- 硅光电池价格便宜，转换效率高，寿命长，适于接受红外光。
- 硒光电池光电转换效率低(0.02%)、寿命短，适于接收可见光(响应峰值波长 $0.56\mu\text{m}$)，最适宜制造照度计。
- 砷化镓光电池转换效率比硅光电池稍高，光谱响应特性则与太阳光谱最吻合。且工作温度最高，更耐受宇宙射线的辐射。因此，它主要用于宇宙飞船、卫星、太空探测器等的电源。

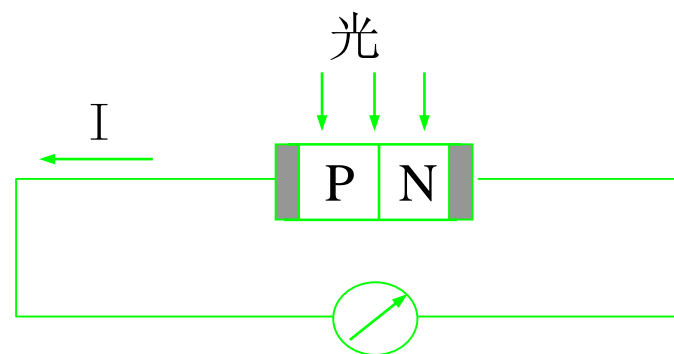
第8章 光电式传感器

1. 光电池的结构和工作原理

硅光电池的结构如图所示。它是在一块N型硅片上用扩散的办法掺入一些P型杂质(如硼)形成PN结。当光照到PN结区时,如果光子能量足够大,将在结区附近激发出电子-空穴对,在N区聚积负电荷, P区聚积正电荷, 这样N区和P区之间出现电位差。若将PN结两端用导线连起来, 电路中有电流流过, 电流的方向由P区流经外电路至N区。若将外电路断开, 就可测出光生电动势。



(a) 光电池的结构图



(b) 光电池的工作原理示意图

光电池的示意图

第8章 光电式传感器

光电池的表示符号、基本电路及等效电路如图所示。

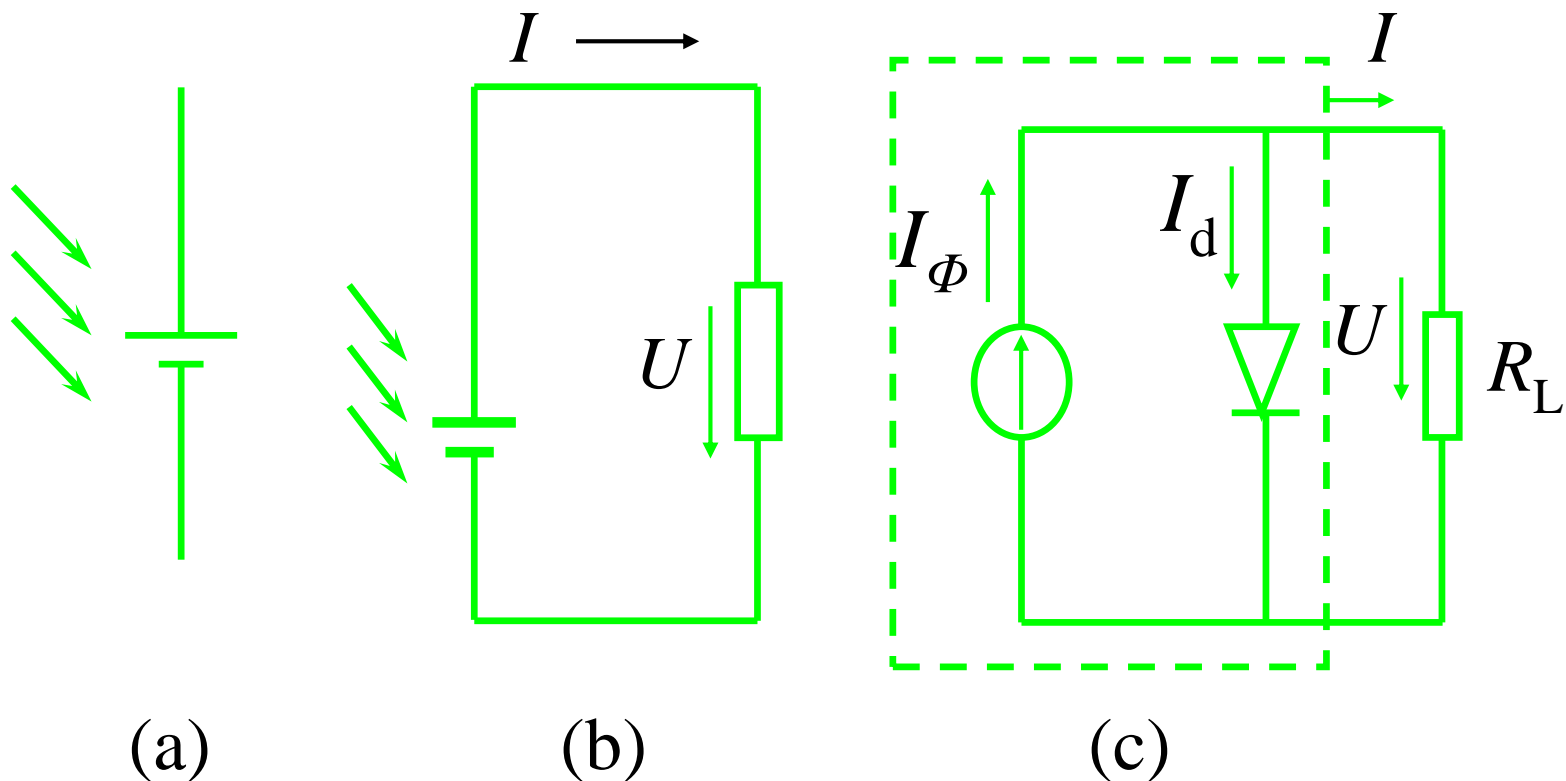


图4. 3-17 光电池符号和基本工作电路

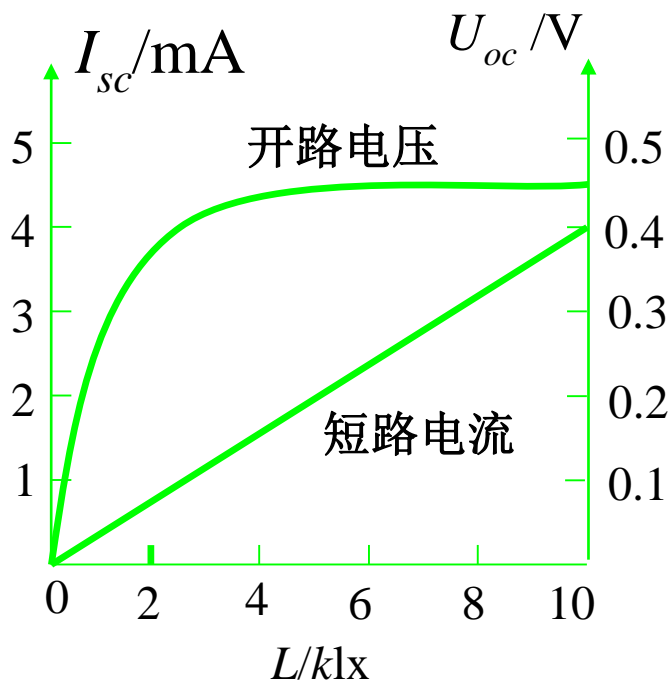
第8章 光电式传感器

2. 基本特性

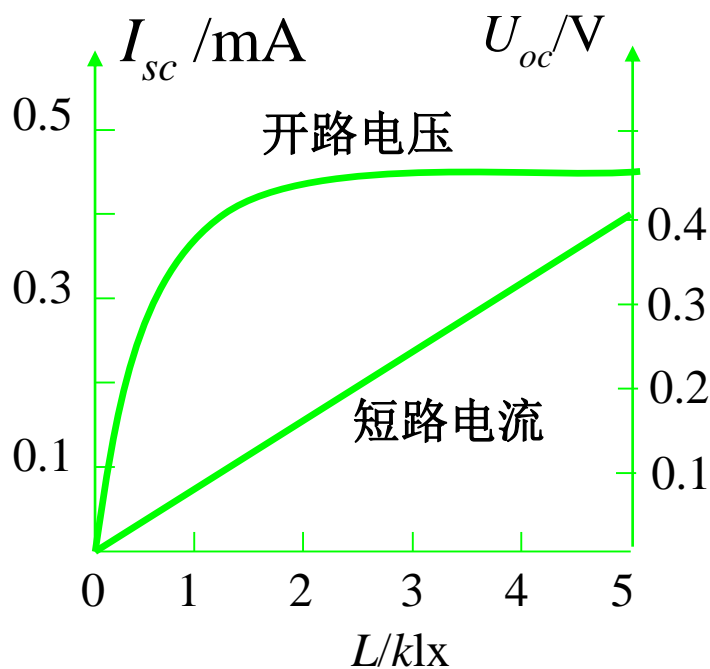
(1) 光照特性

开路电压曲线：光生电动势与照度之间的特性曲线，当照度为2000lx时趋向饱和。

短路电流曲线：光电流与照度之间的特性曲线



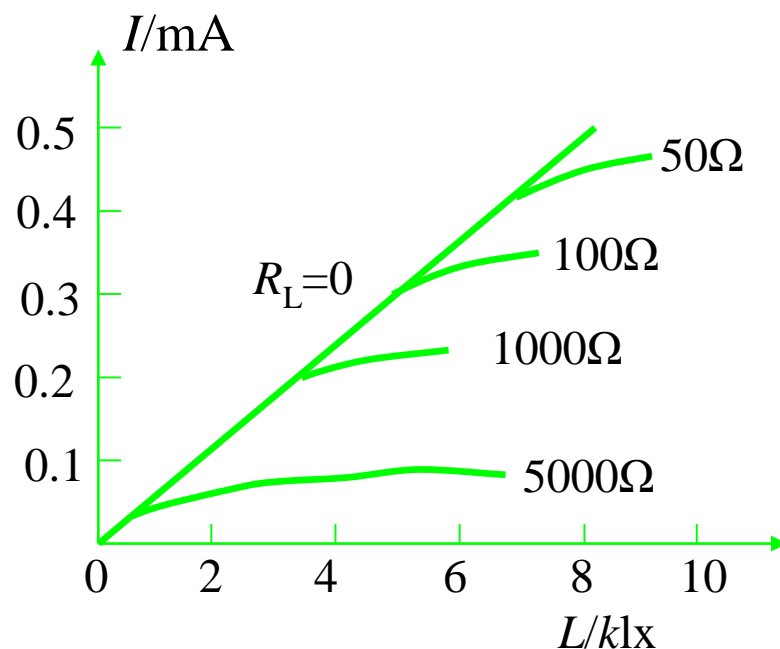
(a) 硅光电池



(b) 硒光电池

第8章 光电式传感器

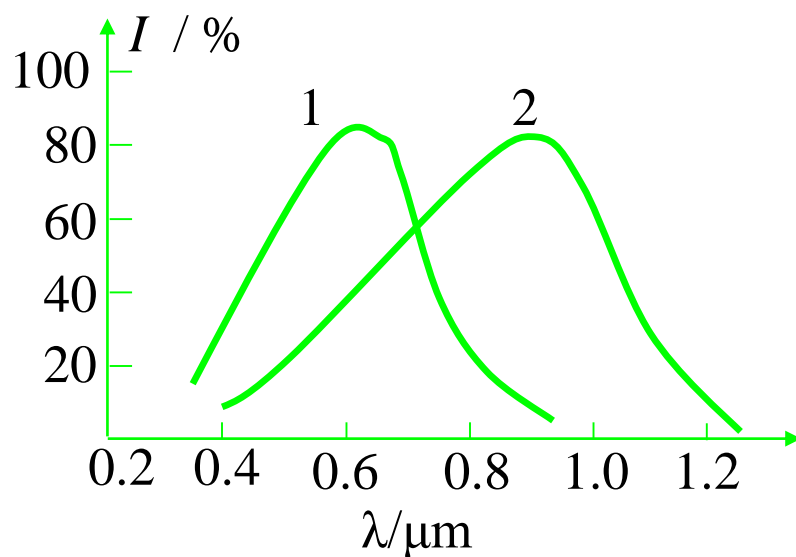
短路电流，指外接负载相对于光电池内阻而言是很小的。光电池在不同照度下，其内阻也不同，因而应选取适当的外接负载近似地满足“短路”条件。下图表示硒光电池在不同负载电阻时的光照特性。从图中可以看出，负载电阻 R_L 越小，光电流与强度的线性关系越好，且线性范围越宽。



第8章 光电式传感器

(2) 光谱特性

光电池的光谱特性决定于材料。从曲线可看出，硒光电池在可见光谱范围内有较高的灵敏度，峰值波长在540nm附近，适宜测可见光。硅光电池应用的范围400nm—1100nm，峰值波长在850nm附近，因此硅光电池可以在很宽的范围内应用。

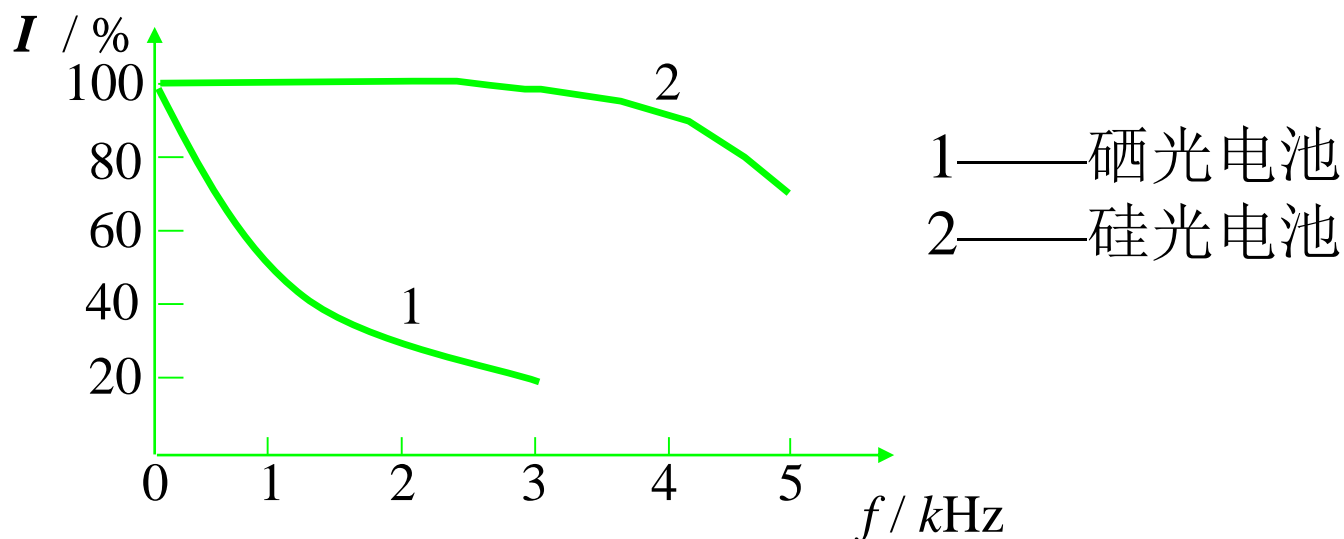


1——硒光电池
2——硅光电池

第8章 光电式传感器

(3) 频率特性

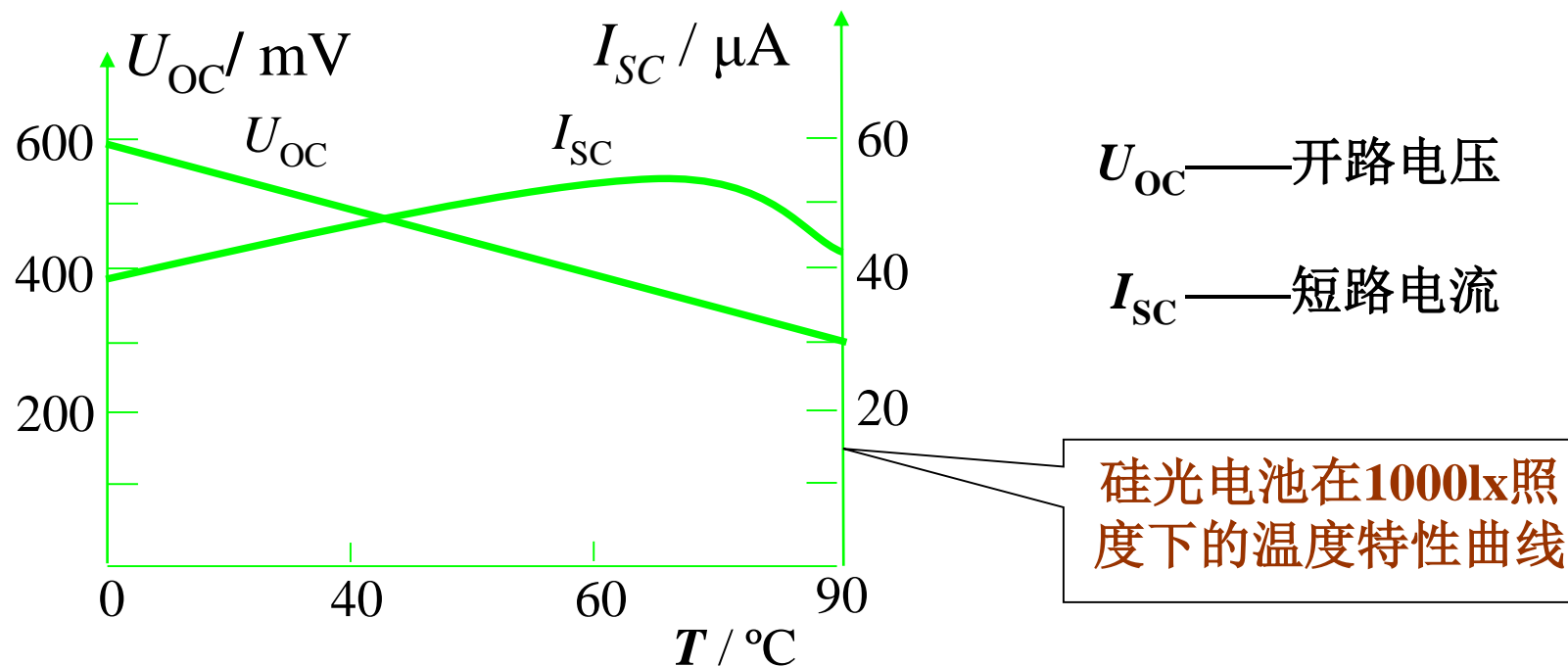
光电池作为测量、计数、接收元件时常常用调制光输入。光电池的频率响应就是指输出电流随调制光频率变化的关系。由于光电池PN结面积较大，极间电容大，故频率特性较差。图示为光电池的频率响应曲线。由图可知，硅光电池具有较高的频率响应，如曲线2，而硒光电池则较差，如曲线1。



第8章 光电式传感器

(4) 温度特性

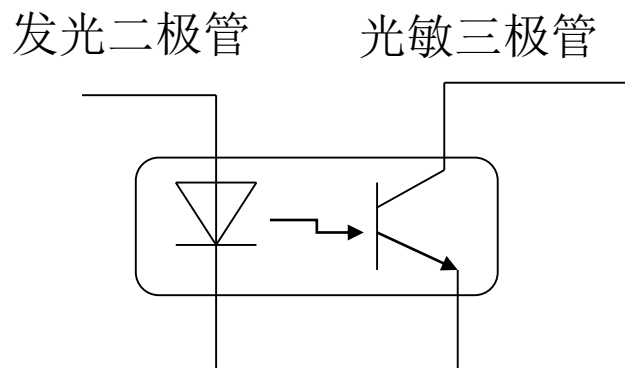
光电池的温度特性是指开路电压和短路电流随温度变化的关系。由图可见，开路电压与短路电流均随温度而变化，它将关系到应用光电池的仪器设备的温度漂移，影响到测量或控制精度等主要指标，因此，当光电池作为测量元件时，最好能保持温度恒定，或采取温度补偿措施。



四、其他光电器件

1) 光电耦合器与光电开关

◆光电耦合器：发光和接收元件都封装在一个外壳内。它以光为媒介，实现输入电信号耦合到输出端。



特点：

①强弱电隔离。

输入输出之间绝缘电阻很高。耐压达2000V以上。
能避免输出端对输入端的干扰。

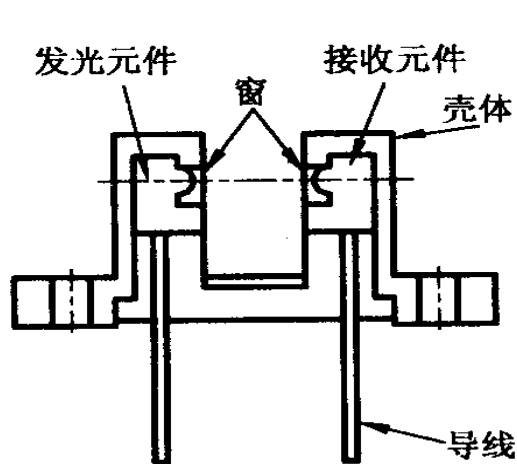
②对系统内部噪声有很强的抑制作用。

发光二极管为电流驱动元件，动态电阻很小，对系统内部的噪声有旁路作用。（滤除噪声）

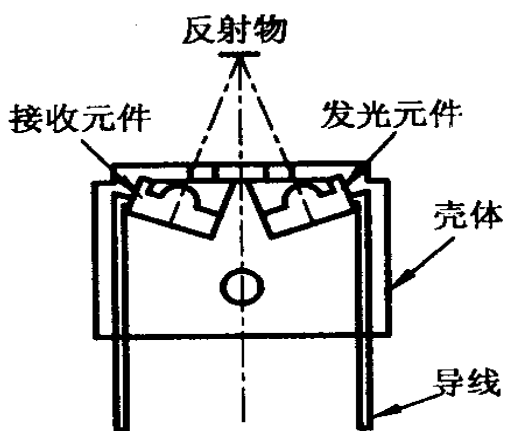
应用：电路中的强弱电隔离。

◆光电开关：

光电开关在制造业自动化包装线及安全装置中作光控制和光探测装置。可实现限位控制、产品计数，料位检测，越限安全报警及计算机输入接口等用途。

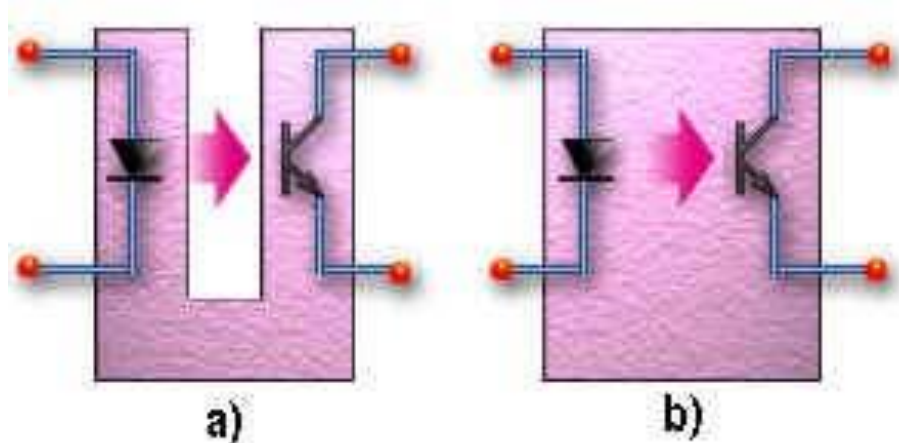


透射式



反射式

光电开关与光电耦合器件比较



光电开关与光电耦合器 共同点:

- 光电开关和光电耦合器都是由发光端和受光端组成的组合件。

— 区别:

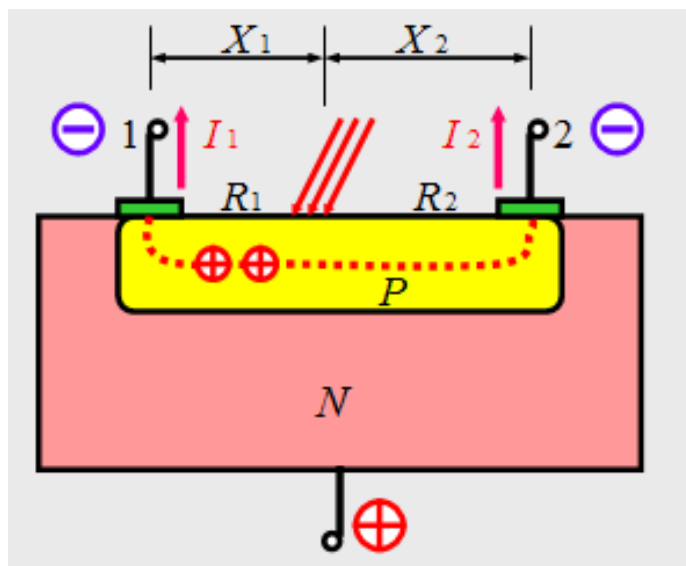
- 光电开关不封闭，发光端与受光端之间可以插入调制板。
- 光电耦合器则是把发光元件与受光元件都封闭在一个不透光的管壳内。

• 应用:

- 光电开关多用于光电计数、报警、安全保护、非接触开关，及各种光电控制等方面。
- 光电耦合器多用于抗干扰电路、电平转换、长线传输、过流保护及高压控制等方面。

2) 光位置传感器

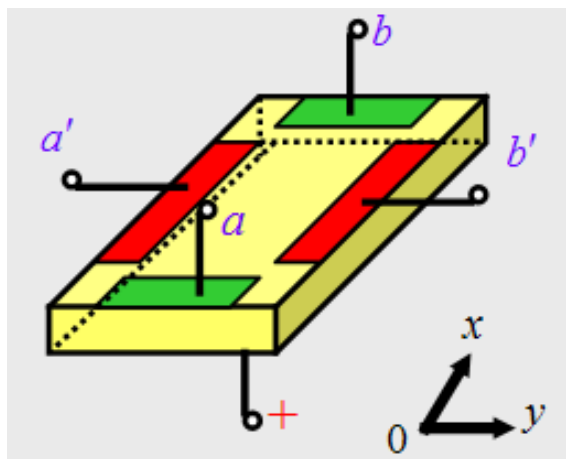
光位置传感器是一种硅光电二极管，它利用光线来检测位置。当光线照射到硅光电二极管的某一位置时，结区的光电子向N层漂移，空穴向P层漂移。到达P层的空穴分成两部分；一部分沿表面电阻 R_1 流向1端，形成光电流 I_1 ；另一部分沿着表面电阻 R_2 流向2端形成光电流 I_2 。当电阻层均匀分布时， $\frac{R_2}{R_1} = \frac{x_2}{x_1}$ ，则 $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{x_2}{x_1}$ ，故只要测出 I_1 和 I_2 就可以求得光照射的位置。



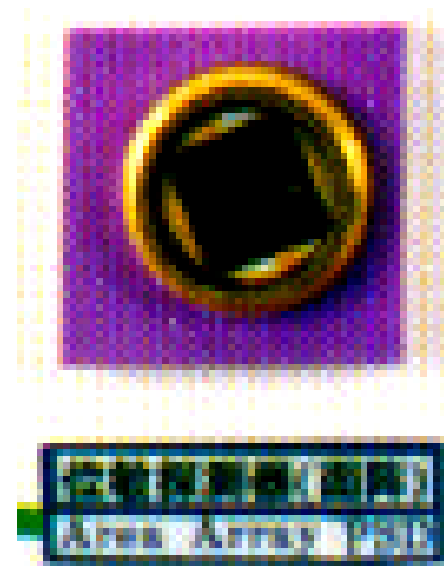
线阵光位置传感器



光位置传感器同样适用二维位置检测，其原理如图所示。 a ， b 极用于检测 x 方向， a' ， b' 用于检测 y 方向。目前该位置传感器能测定的面积为 $13 \times 13(\text{mm})^2$ 。



面阵光位置传感器



☞ 光位置传感器常用于机械加工的定位装置，也可以作为机器人的眼睛。

第8章 光电式传感器

3) 光固态图像传感器

光固态图像传感器由光敏元件阵列和电荷转移器件集合而成。它的核心是电荷转移器件CTD (Charge Transfer Device)，最常用的是电荷耦合器件CCD (Charge Coupled Device)。CCD自1970年问世以后，由于它的低噪声等特点，被广泛应用在微光电视摄像、信息存储和信息处理等方面。

第8章 光电式传感器

8.1

概 述

8.2

光电效应

8.3

光电器件和特性

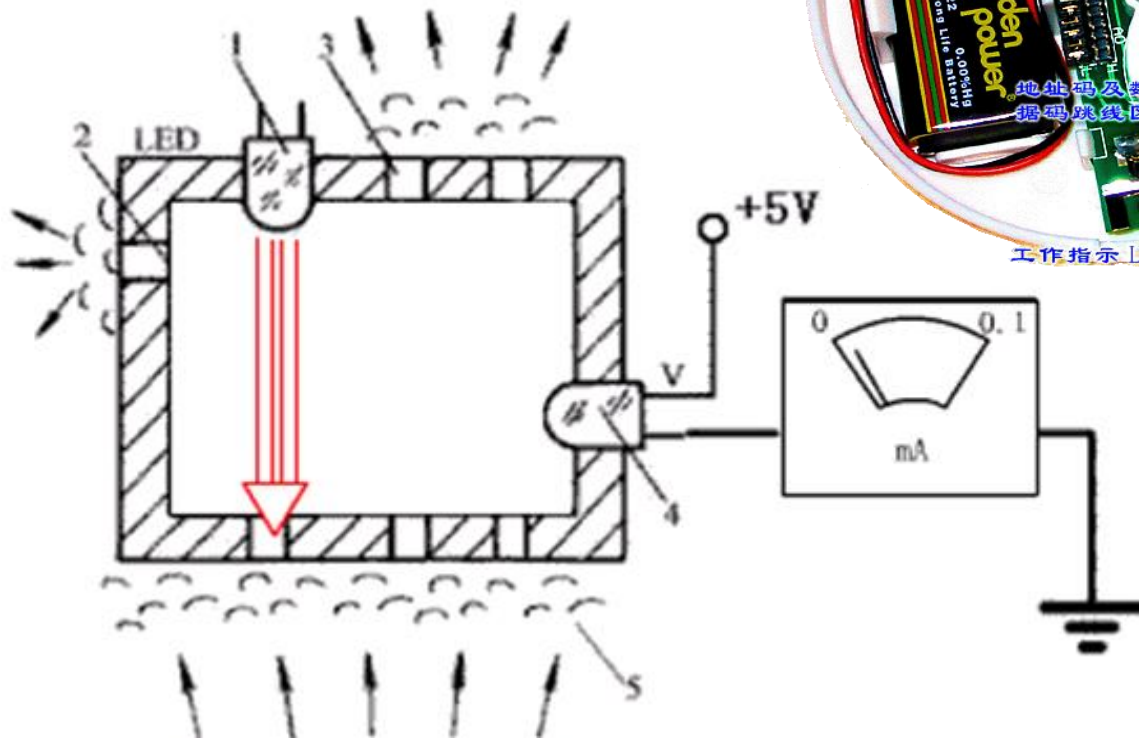
8.4

光电式传感器的应用

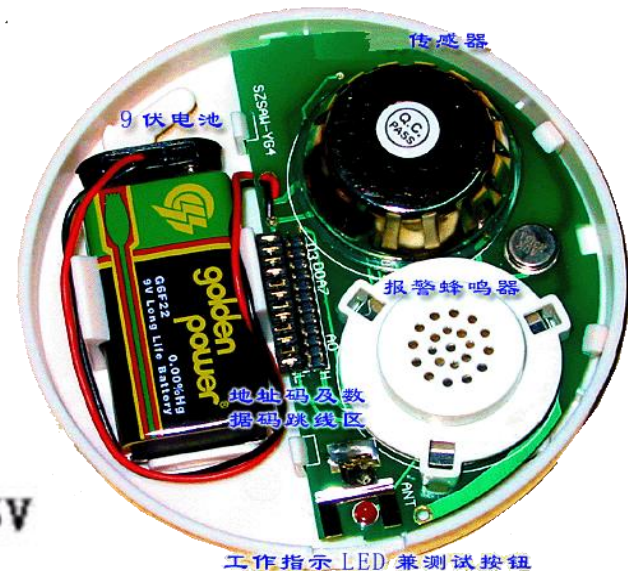
8.4 光电式传感器的应用

例1. 反射式烟雾报警器

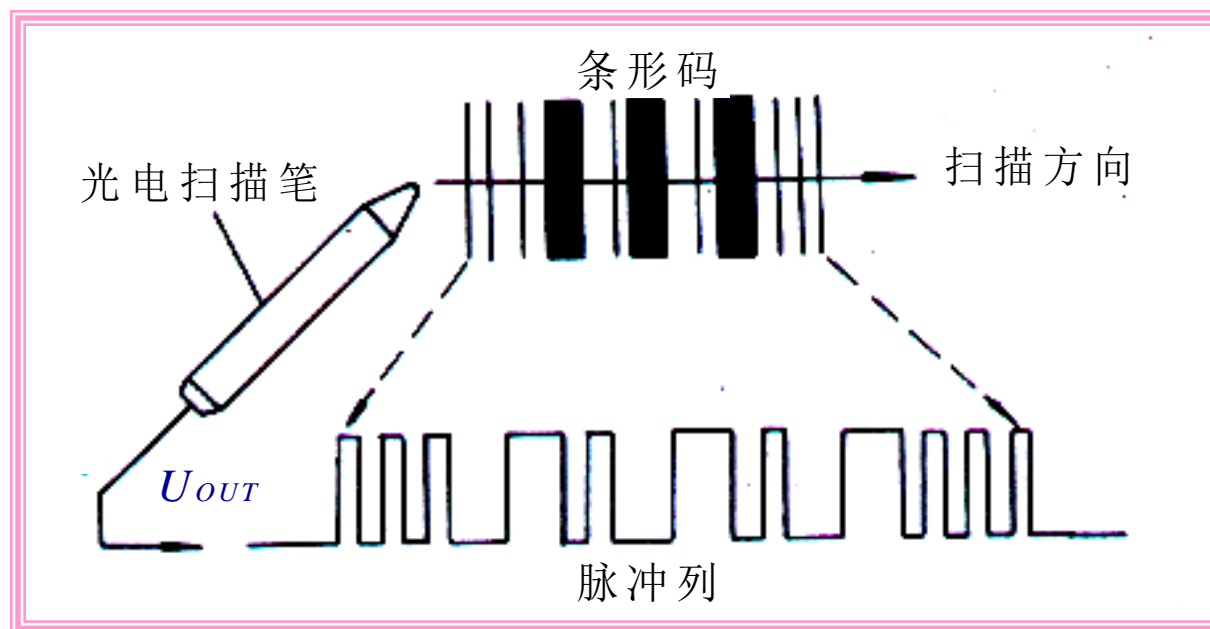
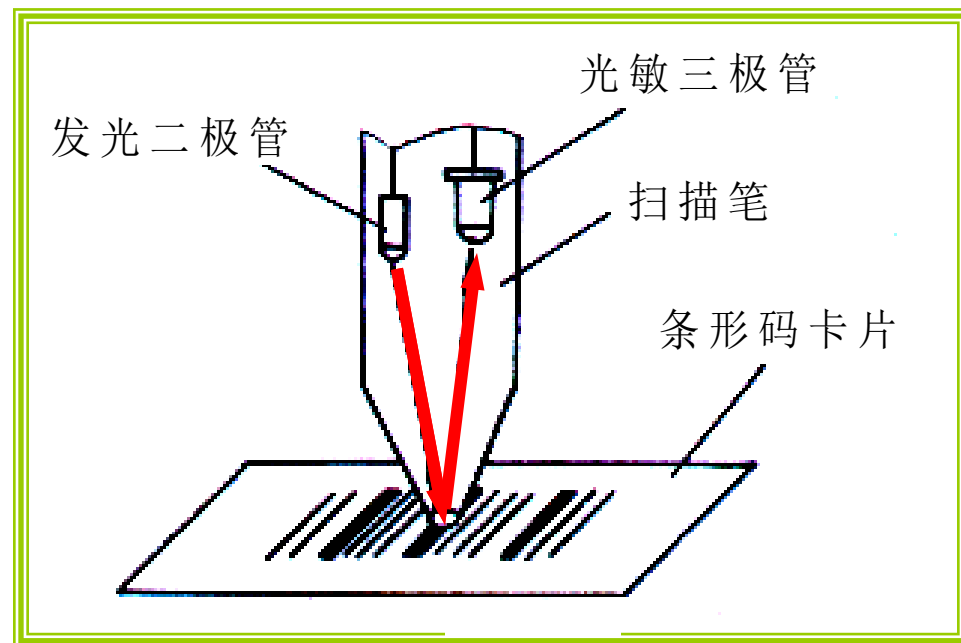
在没有烟雾时，由于红外对管相互垂直，烟雾室内又涂有黑色吸光材料，所以红外LED发出的红外光无法到达红外光敏三极管。



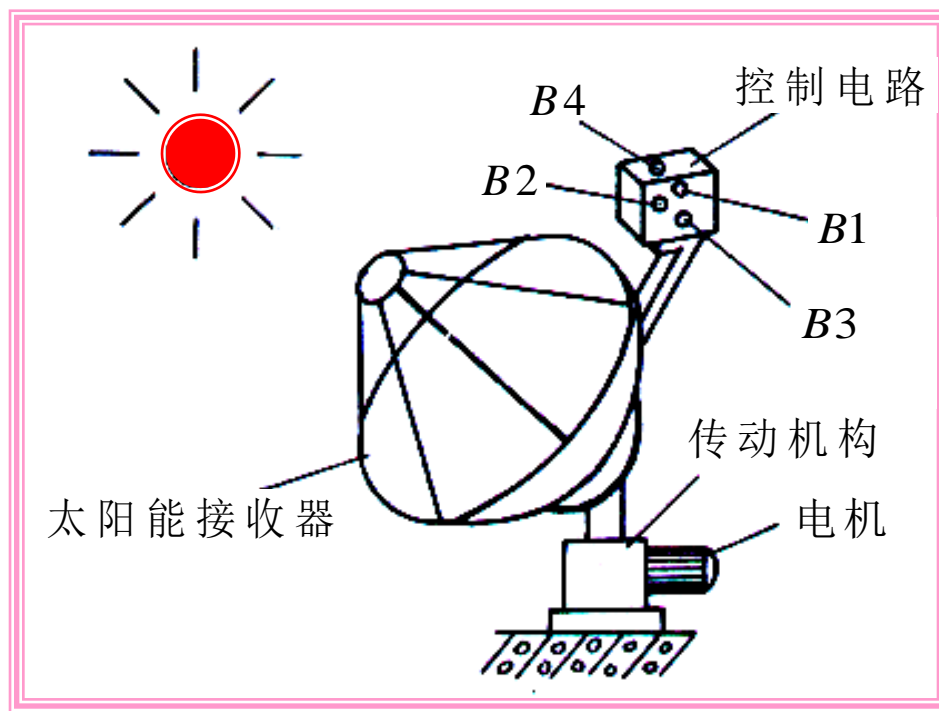
当烟雾进入烟雾室后，烟雾的固体粒子对红外光产生漫反射（图中只画出几个微粒的反射示意），使部分红外光到达光敏三极管，有光电流输出。



例2：条形码扫描笔



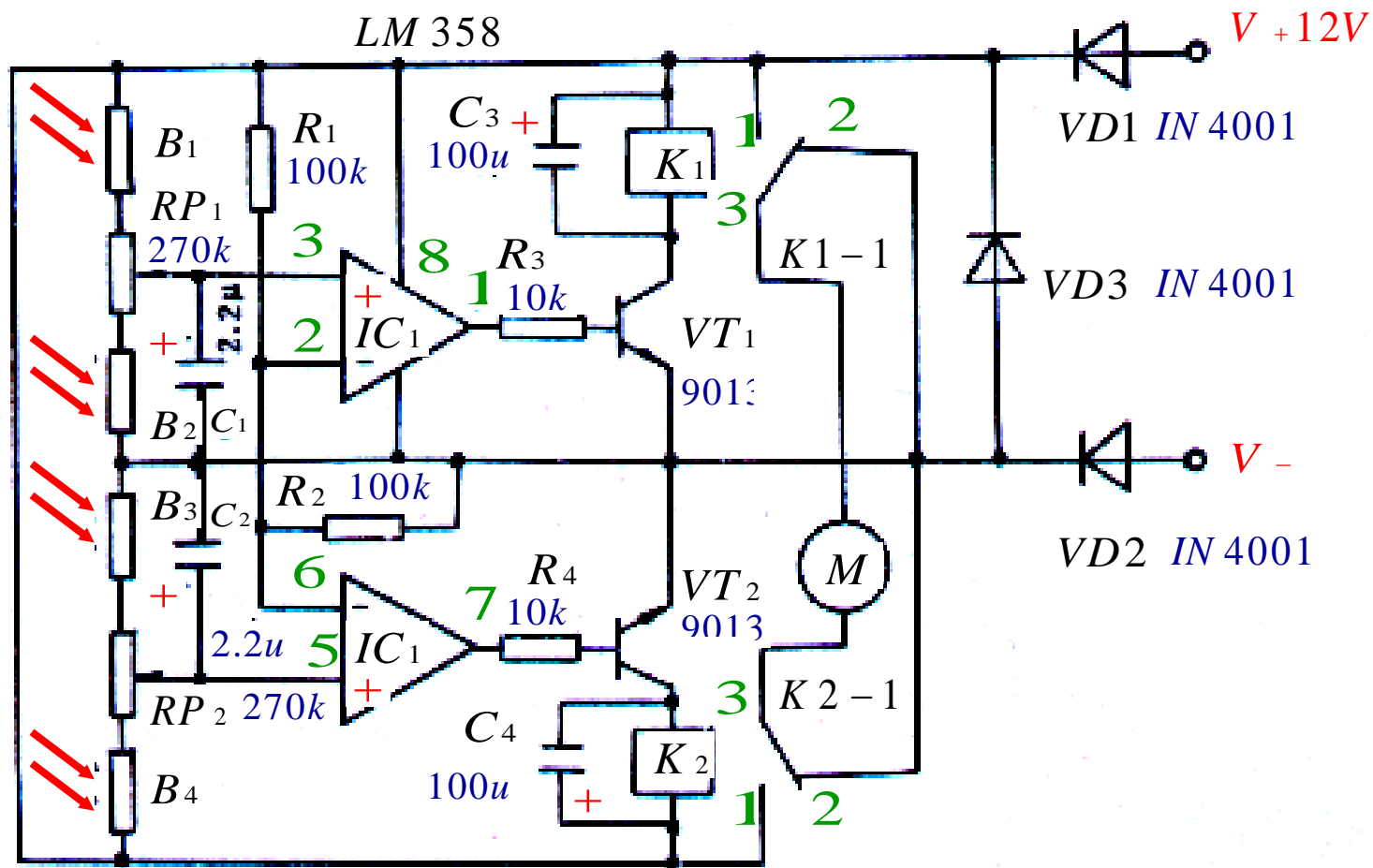
例3：太阳能自动跟踪控制器



接收装置结构

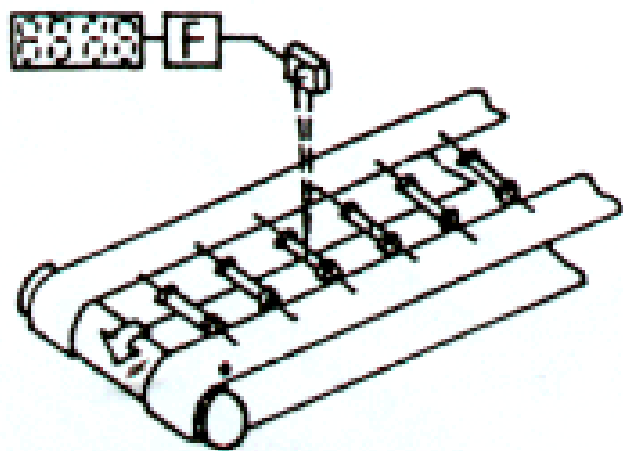
B1、B3安装在控制电路外壳的同一侧

B2、B4安装在控制电路外壳的另一侧

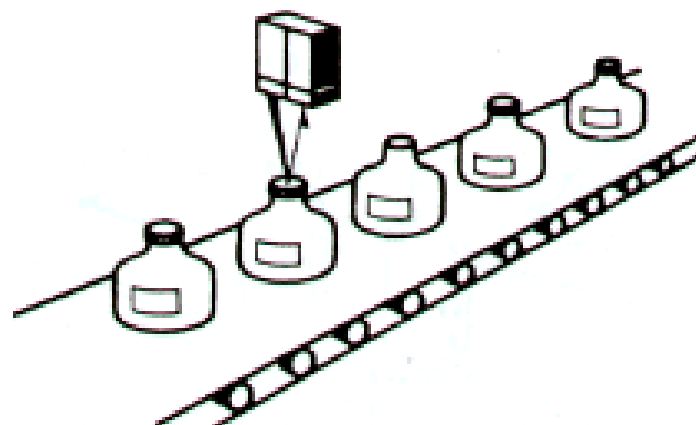


B1、B3受光照：3电位增大，K1工作，3、1闭合
 5电位减小，K2不工作，3、2闭合，M正转
 B2、B4受光照：M反转
 面向太阳：两侧光照相同，K1、K2同时工作，M停止

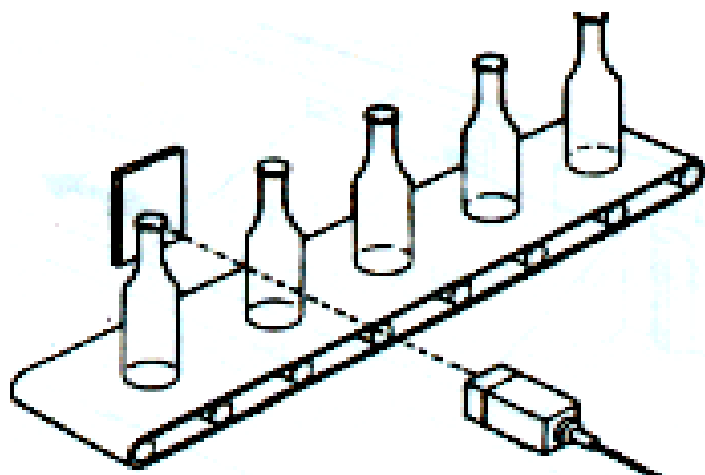
例4. 生产流水线应用



产品计数



检测有无盖

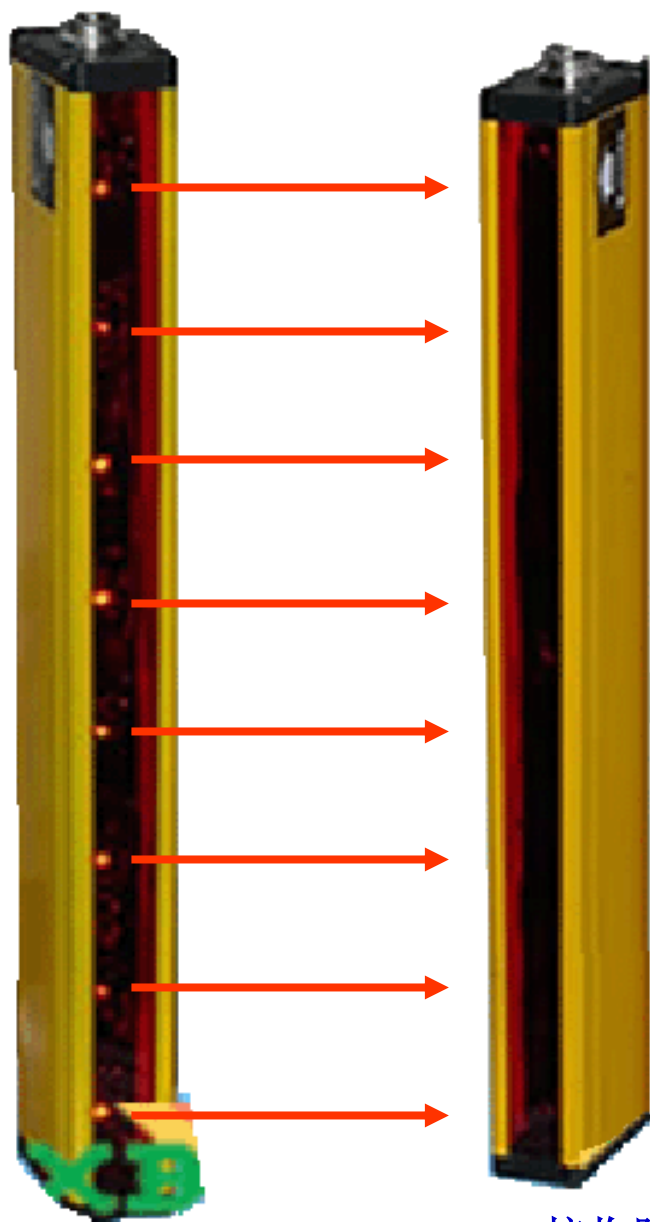


透明玻璃瓶检测

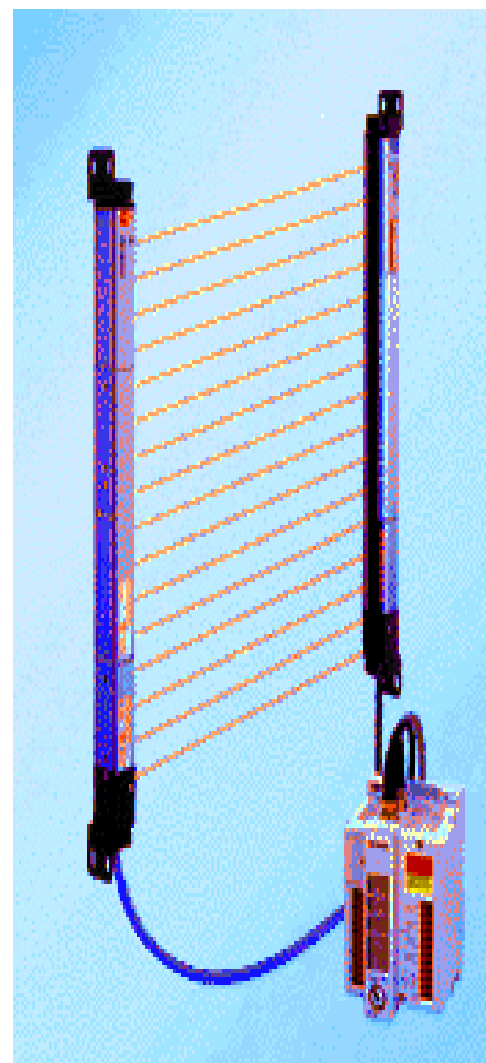
用于流水线上记数、位置检测（装配体有没有到位）、质量检查（如瓶盖是否压上，标签是否漏贴等）。

例5. 光幕传感器

两个柱形结构相对而立，每隔数十毫米安装一对发光二极管和光敏接收管，形成光幕，当有物体遮挡住光线时，传感器发出报警信号。



接收器



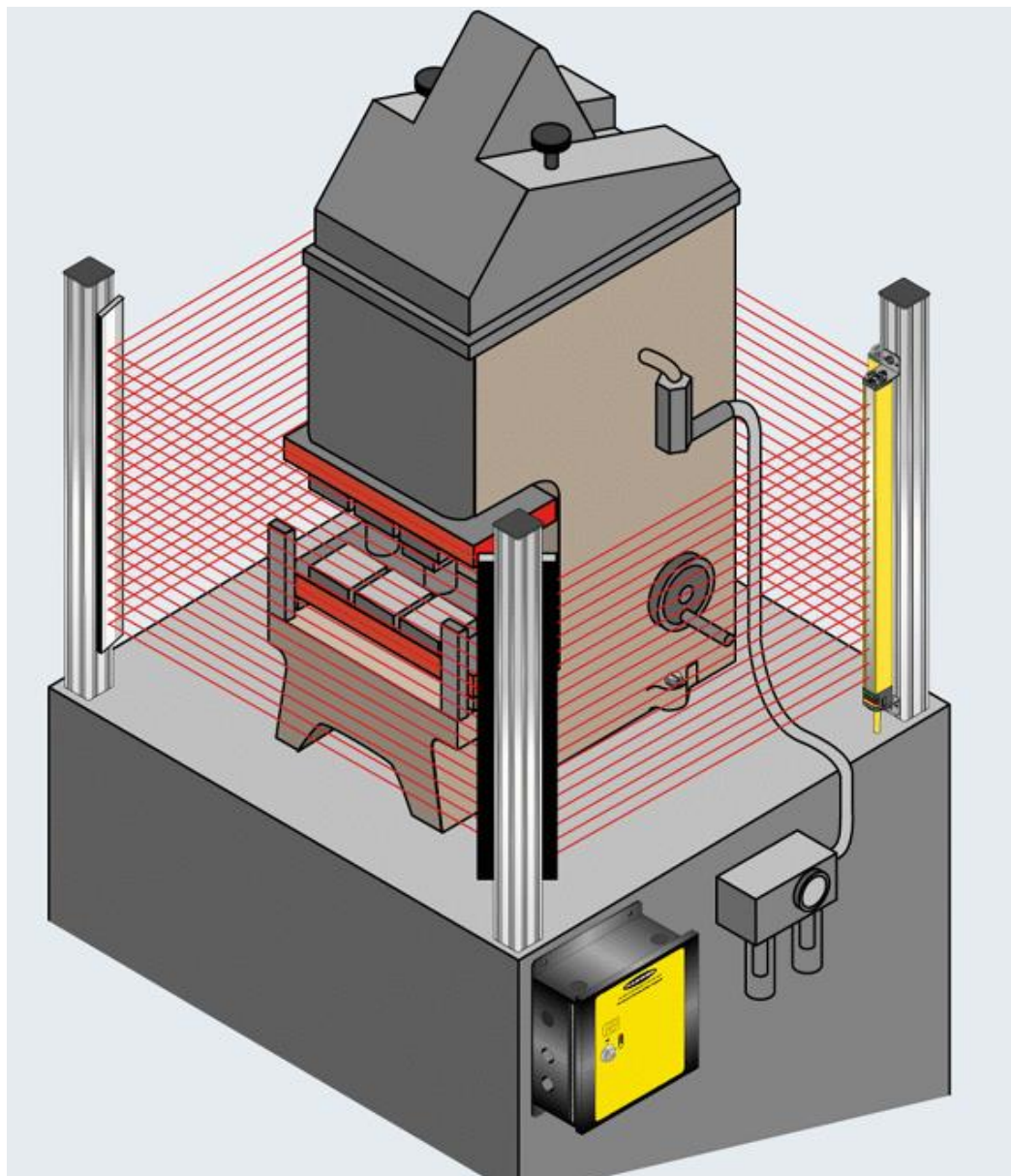
安全区保护

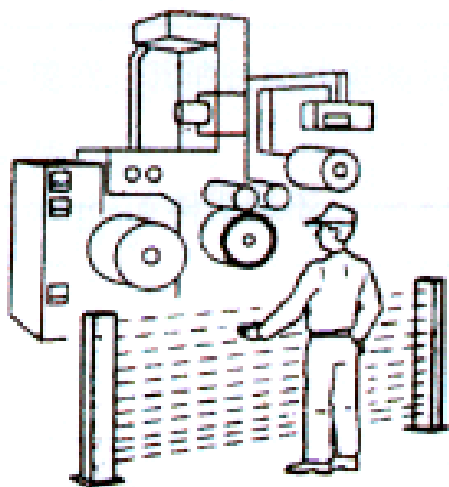
当有物体遮挡住光线时，传感器发出报警信号，起保护、预警等作用。



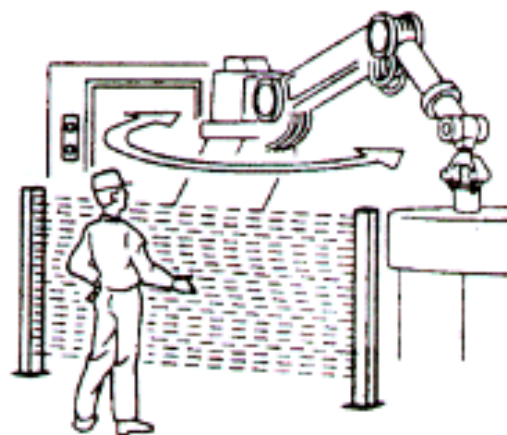
光线被遮断（报警）

锻压机床的安全区域设置及入侵报警

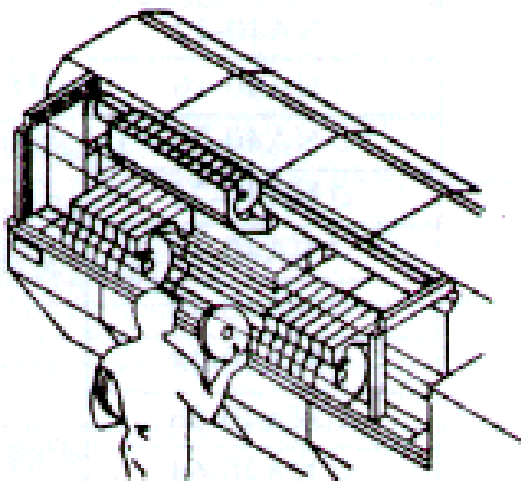




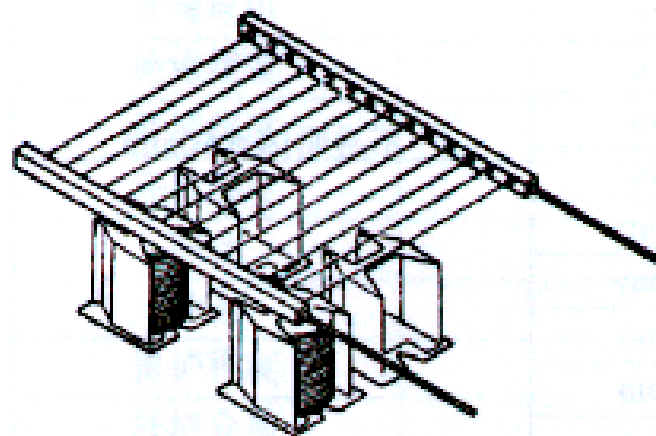
自动装配机的侵入检测



机器人工作区安全检测



贴片机的侵入检测



上料机和卸料机的侵入检测

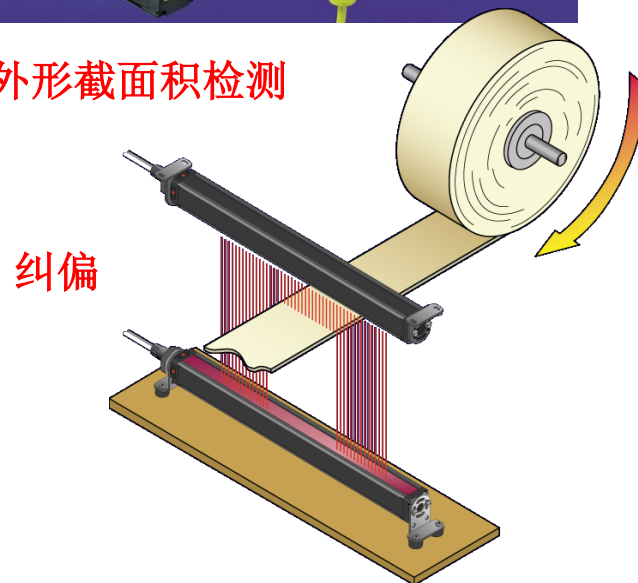


产品高度测量



木材外形截面积检测

光幕可检测出带材在卷曲过程中的偏移，经控制器和执行机构使带材向正确的方向运动（纠偏）。



纠偏

本章结束

课后习题：8-1、8-2、8-11