

# 第7章 光电式传感器

- 光电式传感器一般由光源、光学通路和光电元件三部分组成，采用光电元件作为检测元件，将被测量的变化转换为光信号的变化，借助光电元件将光信号转变成电信号。
- 光电式传感器敏感的光信号包括红外线、可见光及紫外线，可利用的光源一般有自然光、白炽灯、发光二极管和气体放电灯。光电式传感器输出的电量可以是模拟量，也可以是数字量。
- 光电检测方法具有精度高、反应快、非接触、不易受电磁干扰等优点，且可测参数众多。光电传感器结构简单，形式灵活多样。近年来，随着光电技术光电式传感器一般由光源、光学通路和光电元件三部分组成，采用光电元件作为检测元件，将被测量的变化转换为光信号的变化，借助光电元件将光信号转变成电信号。

# 7.1 光电效应

- 光电器件是一种将光的变化转换为电的变化的器件，它是构成光电式传感器的最主要部件。光电器件工作的理论基础是光电效应，光电效应分为外光电效应和内光电效应两大类。
- 光学的基本单位是光通量，用字母“ $\Phi$ ”表示，单位为流明（lm）。受光面积用字母“A”表示，单位为平方米（ $\text{m}^2$ ）。光照度是指单位面积的光通量，用字母“ $E$ ”表示，单位为勒克斯（lx）。与 $E$ 的关系为  $E = \Phi/dA$ 。

## 7.1.1 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。向外发射的电子称为光电子。基于外光电效应的光电器件有光电管、光电倍增管等。

一束光是由一束以光速运动的粒子组成的，这些粒子称为光子。光子是具有能量的粒子，每个光子具有的能量由下式确定

$$E = h\nu$$

式中,  $h$ —普朗克常数 (  $6.626 \times 10^{-34} J \cdot s$

$\nu$ —光波频率 (  $s^{-1}$  )。

物体中的电子吸收入射光的能量足以克服逸出功时，电子就逸出物体表面，产生光电子发射。如果一个光子要想逸出，光子能量必须超过逸出功，超过部分的能量表现为逸出电子的动能。根据动量守恒定律

$$(7-2) \quad E = \frac{1}{2}mv_0^2 + A_0$$

式中， $m$  — 电子质量；

$v_0$  — 电子逸出速度。

式7-2称为爱因斯坦光电效应方程

由式7-2可知：

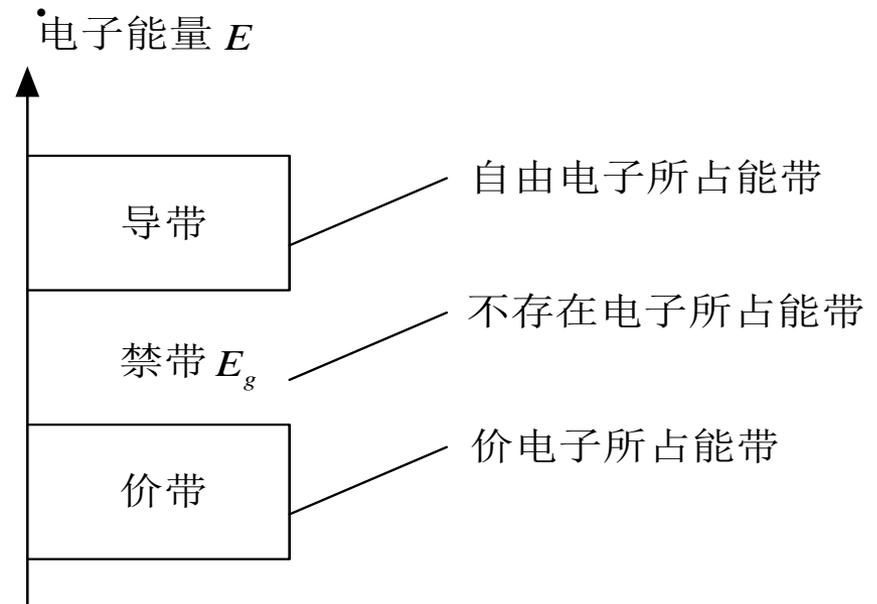
- 1) 只有光子的能量大于物体的表面电子逸出功时才会产生光子。不同的物体具有不同的逸出功，每一个物体有其对应的光频阈值，称为红限频率或波长限。当光线频率低于红限频率，光子的能量不足以使物体内的电子逸出，因此对于小于红限频率的入射光，即使光强再大也不会产生光电子发射；反之，入射光的频率大于红限频率，即使光强很弱，也会有光电子发射。
- 2) 当入射光的频谱成分不变时，产生的光电流与光强成正比，即光强越大，入射光子数目越多，逸出的电子数也就越多。
- 3) 光电子逸出物体表面时具有初始动能，因此外光电器件即使没有加阳极电压，也会有光电流产生。要使光电流为零，必须加负的截止电压，且截止电压与入射光的频率成正比。

## 7.1.2 内光电效应

- 当光照射到某些物体上，其电阻率会发生变化，或产生光生电动势，这种效应称为内光电效应。内光电效应可以分为两类：光电导效应和光生伏特效应。

# 1 光电导效应

- 在光线作用下，物体内的电子吸收光子能量后从键合状态过渡到自由状态，从而引起材料电阻率的变化，这种效应称为光电导效应。基于光电导效应的光电器件有光敏电阻。
- 当光照射到本征半导体上，且光辐射能量又足够强，光电材料价带上的电子将被激发到导带上，从而使导带的电子和价带的空穴增加，致使光导体的导电率变大，如图7-1所示。



• 图7-1 电子能级示意图

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

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \geq E_g$$

式中,  $\nu$ 、 $\lambda$  分别为入射光的频率和波长。

对于任意光电导体材料，总存在一个照射光波长限  $\lambda$  只有波长小于  $\lambda$  的光照射在半导体上，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。

## 2 光生伏特效应

- 在光线作用下，能使物体产生一定方向电动势的现象称为光生伏特效应。基于光生伏特效应的光电器件有光电池、光敏二极管、光敏三极管等。

# 1) 势垒效应（结光电效应）

- 当光线照射在不同类型半导体接触区域时会产生光电动势，这就是结光电效应。以PN结为例，光线照射到PN结时，设光子能量大于禁带宽度，使价带中的电子跃迁到导带，从而产生电子空穴对，在阻挡层内电场的作用下，被光激发的空穴移向P区外侧，被光激发的电子移向N区外侧，从而使P区带正电，N区带负电，形成光电动势。

## 2) 侧向光电效应

- 当半导体光电器件受光照不均匀时，由载流子浓度梯度将会产生的侧向光电效应。当光照部分吸收入射光的能量产生电子空穴对时，光照部分载流子浓度比未受光照部分的载流子浓度大，于是出现载流子浓度梯度，因而载流子要进行扩散。如果电子迁移率比空穴大，则空穴的扩散作用不明显，电子向未被光照部分扩散，从而造成照射的部分带正电，未被照射的部分带负电，光照部分与未被光照部分产生光电动势。

# 7.2 光电器件

- 光电器件是将光能转换为电能的一种传感器件，下面介绍几种常见光电器件的原理和特性。

# 7.2.1 光电管

- 1 光电管的结构与原理
- 光电管是基于外光电效应的器件，可分为真空光电管和充气光电管两类，两者结构类似，主要由一个阴极和一个阳极构成，如图7-2所示。

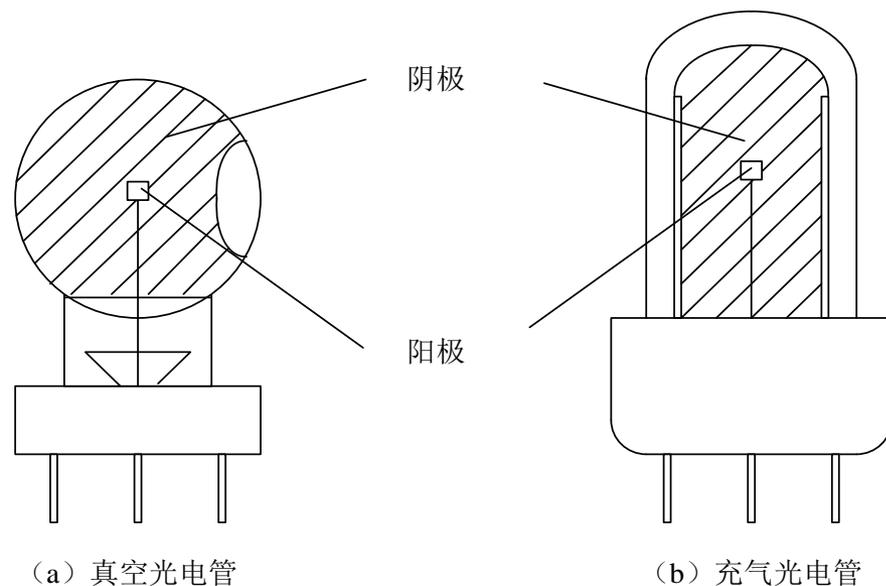


图7-2 光电管的结构示意图

## 1) 真空光电管

在一只真空玻璃管内，阴极用逸出功较小的光敏材料涂在玻璃管内壁上，阳极用金属丝弯曲成矩形和圆形，置于玻璃管的中央。当光照射到阴极光敏材料上，便有电子向外逸出，这些电子被中央阳极吸引，从而在外电场的作用下产生电流。

## 2) 充气光电管

在真空玻璃管内充入少量的惰性气体，如氩或氦，当阴极光敏材料受光后，光电子在飞向阳极的途中与气体的原子发生碰撞而使气体电离，使得光电流变大，提高了光电管的灵敏度。但由于充气光电管的光电流与入射光强度不成比例关系，使其具有稳定性较差、惰性大、温度影响大及容易衰老等缺点。

在自动检测应用领域，由于要求光电管受温度影响小，且要求灵敏度稳定，故一般都采用真空式光电管。

## 2 光电管的基本特性

- 光电管的主要性能有：伏安特性、光照特性、光谱特性、响应时间、温度特性等，这里仅介绍其基本特性。

# 1) 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。真空光电管和充气光电管的伏安特性如图7-3所示。

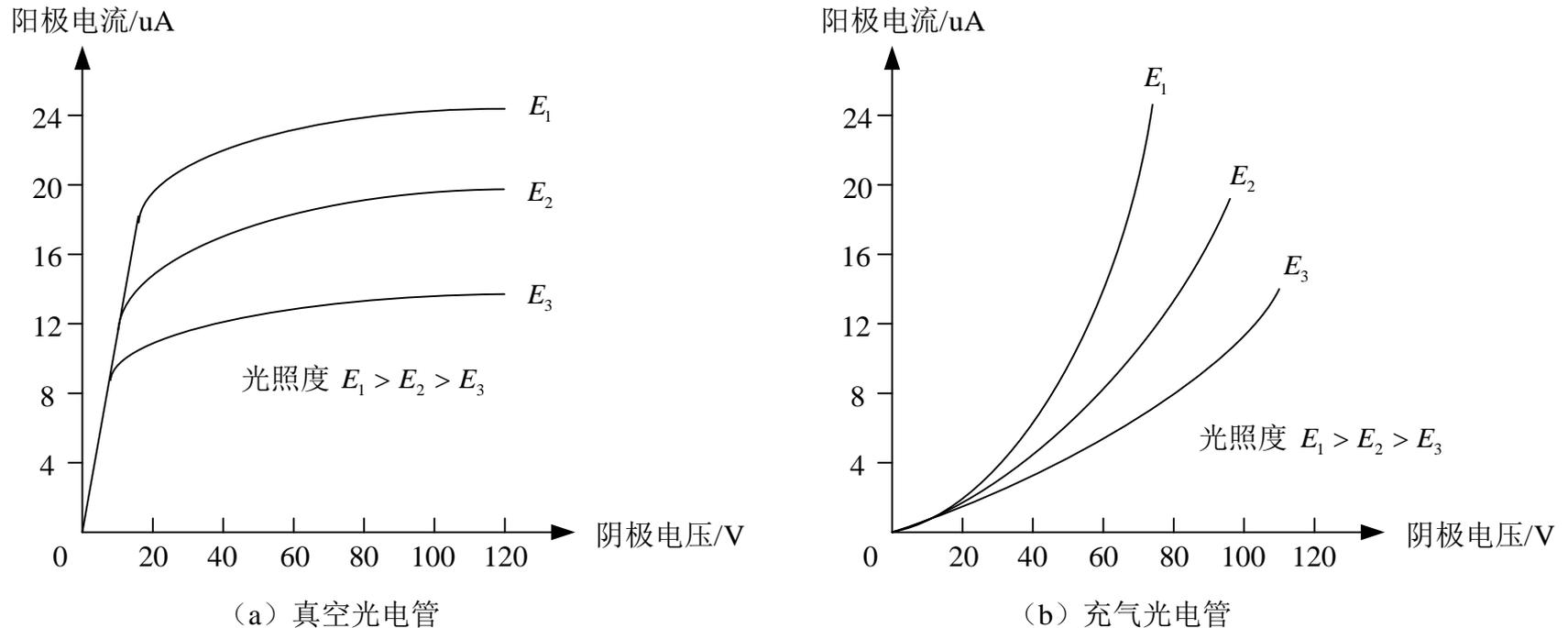


图7-3 光电管的伏安特性

## 2) 光照特性

- 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称为光电管的光照特性。光电管阴极材料不同，其光照特性也不同。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。
- 图7-4为氧铯阴极光电管和铯铯阴极光电管的光照特性。由图可知，氧铯阴极光电管的光照特性为线性关系，而铯铯阴极光电管的光照特性为非线性关系。

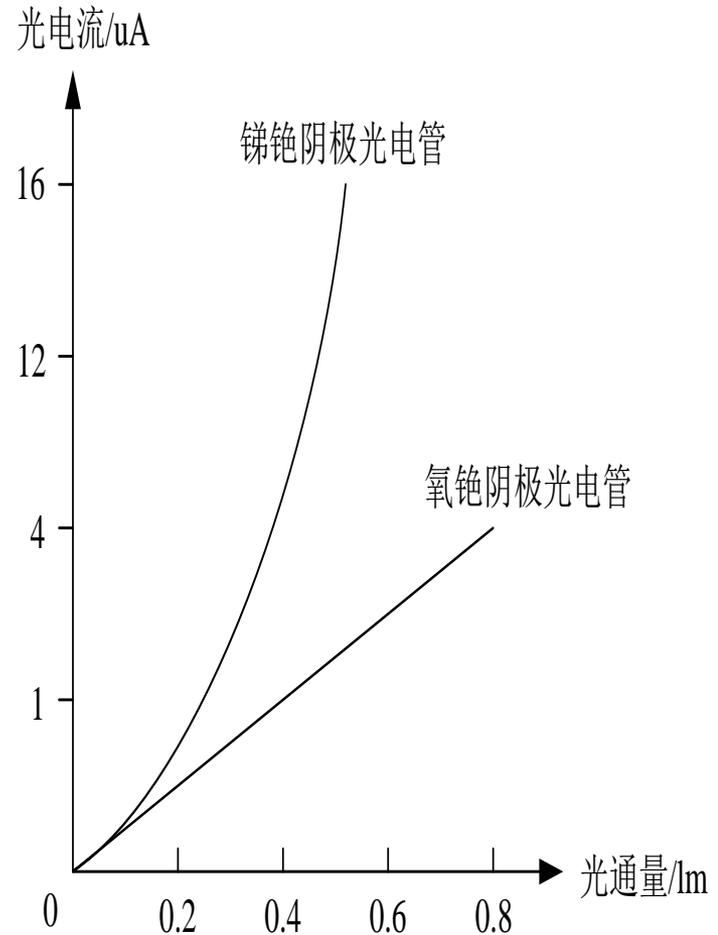


图7-4 光电管的光照特性

### 3) 光谱特性

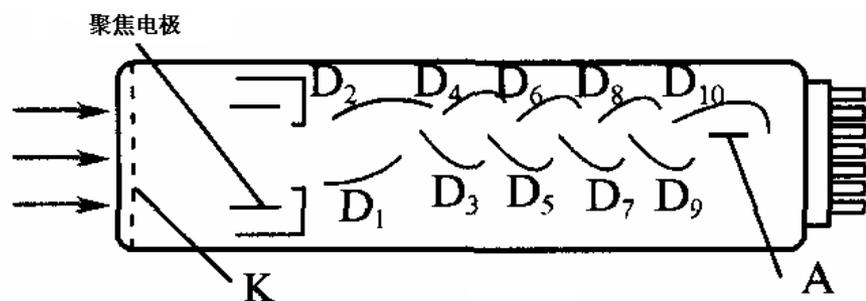
- 阴极材料不同的光电管有不同的红限频率 $\nu_0$ , 光电管可用于不同的光谱范围。除此之外, 即使照射在阴极上的入射光的频率大于红限频率 $\nu_0$ , 且强度相同, 随着入射光频率的不同, 阴极发射的光电子的数量还会不同, 即同一光电管对于不同频率的光的灵敏度不同, 这种特性称为光电管的光谱特性。因此对于各种不同波长区域的光应选用不同材料的光电阴极。一般白光光源的光电管, 阴极用铯铷材料制成; 红外光源的光电管, 阴极常用银氧铯材料制成; 紫外光源的光电管, 阴极用铯铷和镁镉材料制成。

## 7.2.2 光电倍增管

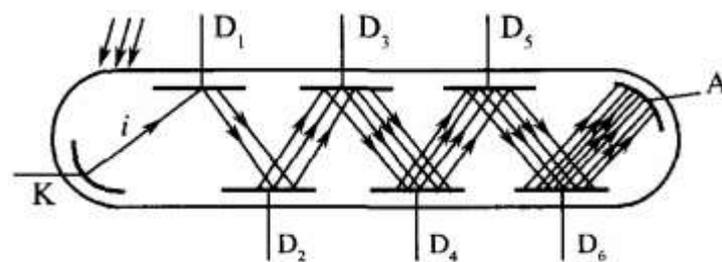
- 光电倍增管是基于外光电效应的器件。当入射光比较微弱时，普通光电管产生的光电流很小，不容易检测，因此研制出光电倍增管对电流进行放大。

# 1 光电倍增管的结构与原理

- 光电倍增管由光阴极K、次阴极（倍增电极）D以及阳极A三部分组成，如图7-5所示。次阴极多的可达30级，通常为12~14级，阳极是用来收集电子的，其输出为电压脉冲。



(a) 外形结构



(b) 工作原理

图7-5光电倍增管

光电倍增管在工作时，各个倍增电极上均加上电压。阴极的电位最低，从阴极开始，各个倍增电极的电位依次增大，阳极电位最高。倍增电极采用的是次级发射材料制成，该材料在一定能量的电子轰击下，能产生更多的“次级电子”。由于相邻两个倍增电极之间有电位差，因此存在电场，使得电子加速运动。从阴极发出的光电子，在电场的加速作用下，打到第一个倍增电极上，引起二次电子发射。每个电子能从倍增电极上打出**3~6**倍个次级电子；被打出来的次级电子再经过电场的加速后，打在第二个倍增电极上，电子数又增加**3~6**倍，如此不断倍增，阳极最后收集到的电子数将达到阴极发射电子数的**10<sup>5</sup>~10<sup>6</sup>**倍，即光电倍增管的放大倍数可达几万到几百万倍。因此在微弱的光照下，光电倍增管能产生很大的光电流。

# 2 光电倍增管的主要参数

## 1) 倍增系数

倍增系数用  $M$  来表示，其大小等于各倍增电极的二次电子发射系数  $\delta_i$  的乘积。如果有  $n$  倍增电极的  $\delta_i$  都相等，则

$$M = \delta_i^n$$

故阳极电流

$$I = i \cdot \delta_i^n$$

式中， $i$  光阴极的光电流。

光电倍增管的电流放大系数  $\beta$  为

$$\beta = \frac{I}{i} = \delta_i^n$$

## 2) 阴极灵敏度

阴极灵敏度是指一个光子在阴极上能够打出的平均电子数。

## 3) 倍增管灵敏度

倍增管灵敏度是指一个光子在阳极产生的平均电子数。

## 4) 暗电流

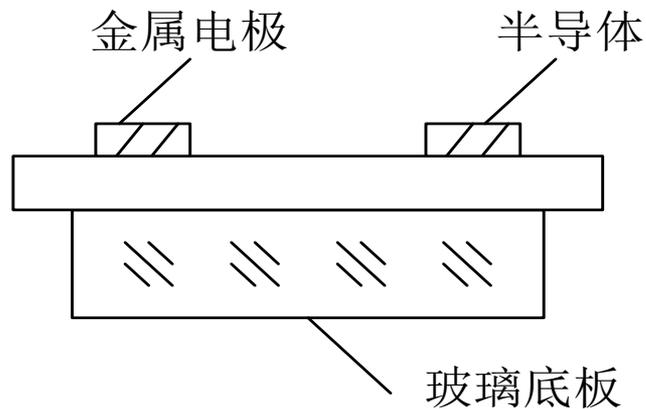
暗电流是指当光电倍增管不受光照，但极间加上电压时所产生的电流。暗电流产生的原因是热发射或场致发射使得阳极上会收集到电子。

## 7.2.3 光敏电阻

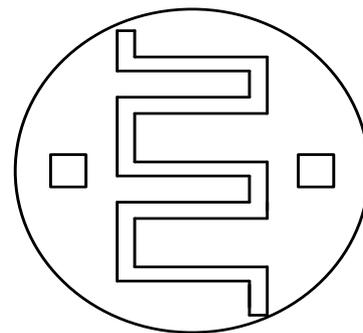
- 1 光敏电阻的结构与原理

光敏电阻是基于内光电效应的器件，又称光导管。光敏电阻由半导体材料制成，常见的光敏电阻由硫化镉（**CdS**）材料制成，另外还有硫化铝、硫化铅、硫化铋、硫化铊等材料。光敏电阻用途很广泛，常应用于照相机、防盗、火灾报警等。

光敏电阻的结构如图7-6 (a) 所示。在玻璃底板上均匀地涂上薄薄的一层半导体物质，半导体的两端装有金属电极，并从金属电极上引出导线。为了提高光敏电阻的灵敏度，其电极一般做成梳状电极，如图7-6 (b) 所示。同时，为了防止周围介质的污染，在半导体光敏层上覆盖一层漆膜，漆膜的成分应使它在光敏层最敏感的波长范围内透射率最大。



(a) 光敏电阻的结构



(b) 光敏电阻的电极

图7-6 光敏电阻的结构和电极

- 光敏电阻没有极性，使用时既可加直流电压，也可以加交流电压。当无光照时，光敏电阻的阻值很大，电路中电流很小；当有光照时，其阻值急剧减小，电流增大。光照越强，阻值越低；光照停止，又恢复到高阻状态。

## 2 光敏电阻的主要参数

- 1) 暗电阻，暗电流
- 暗电阻是指光敏电阻在没有光照的黑暗条件下测得的阻值。暗电流是指在给定工作电压和没有光照的黑暗条件下光敏电阻中的电流值。
- 2) 亮电阻，亮电流和光电流
- 亮电阻是指光敏电阻在光照条件下测得的阻值。亮电流是指在给定工作电压和有光照的条件下光敏电阻中的电流值。光电流是指亮电流和暗电流的差值。

# 3 光敏电阻的基本特性

## • 1) 伏安特性

- 伏安特性是指在一定强度的光照下，光敏电阻两端的电压与光敏电阻的电流之间的关系。在一定的工作电压范围内，光敏电阻的伏安特性是线性关系，但不同的材料的光敏电阻具有不同的伏安特性。图7-7所示为硫化镉光敏电阻的伏安特性曲线，由图7-7可知，光敏电阻的阻值与入射光强度有关，而与电压和电流无关。

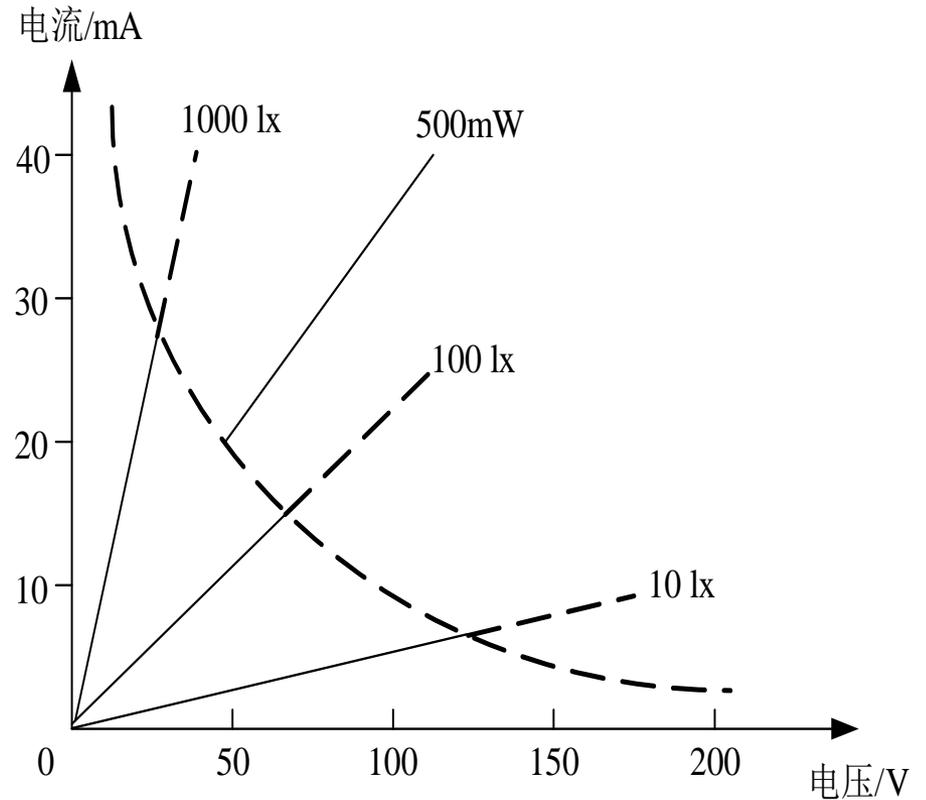


图7-7 硫化镉光敏电阻的伏安特性

- 2) 光谱特性
- 光谱特性是指光电流对不同波长单色光的相对灵敏度。图7-8所示为几种不同材料的光敏电阻的光谱特性，光敏电阻的灵敏度随波长不同而不同。

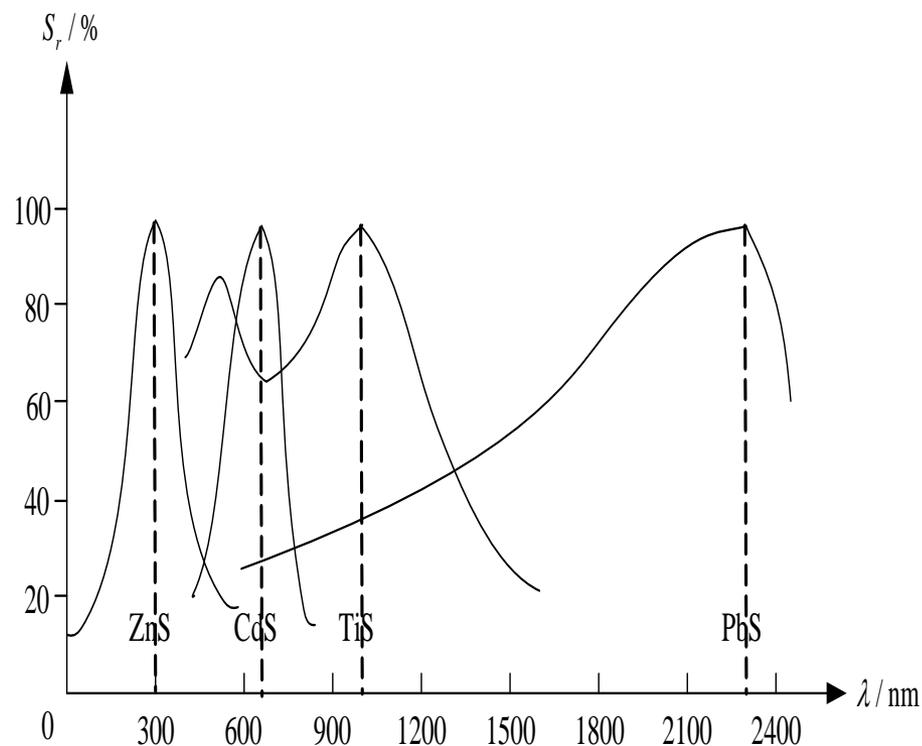


图7-8 光敏电阻的光谱特性

- 硫化锌对波长为300nm左右的紫外光最敏感；硫化镉光敏波长的峰值在670nm左右；硫化铊的敏感波长范围在300~14000nm，其峰值波长为1000nm左右；硫化铅具有很宽的敏感波长范围，其峰值波长约在2300nm。

- 3) 光照特性

- 光照特性是指在一定的电压下，光电流与光照强度之间的关系，如图7-9所示

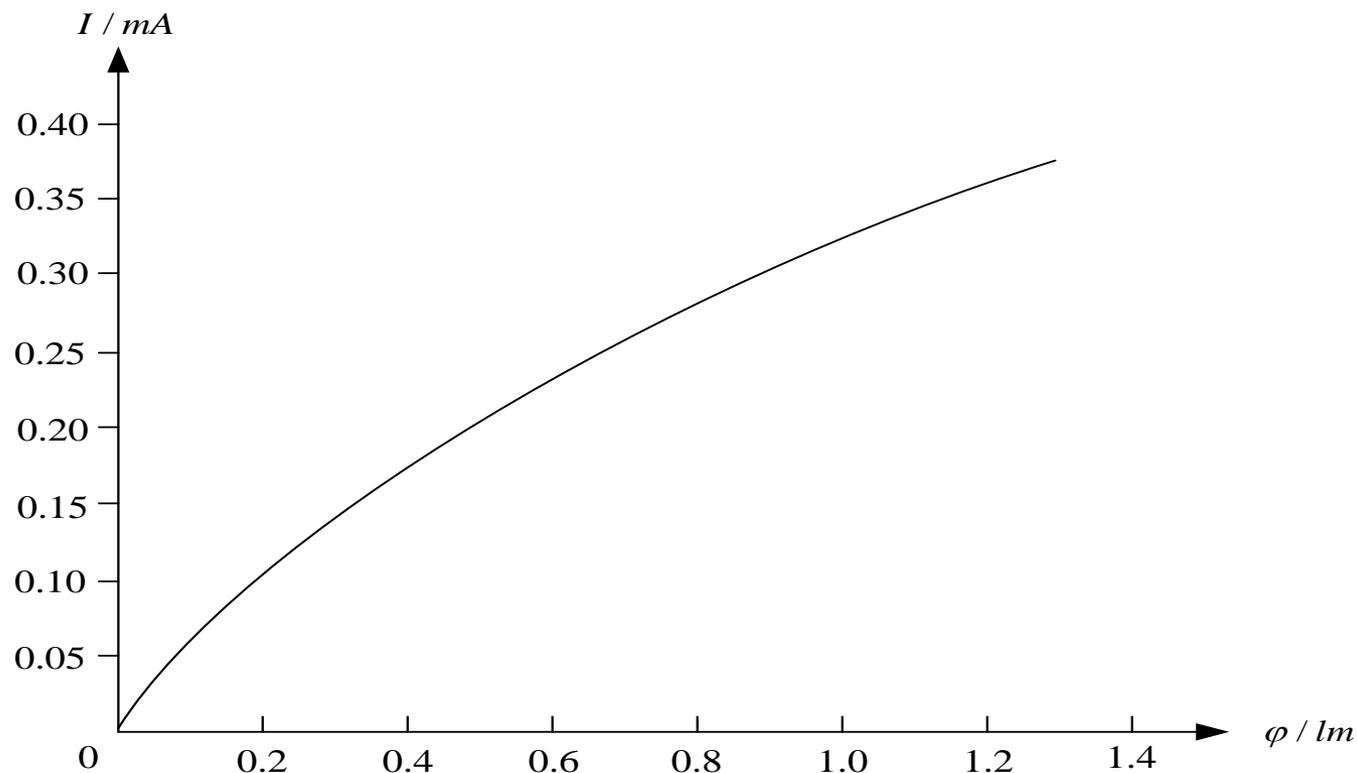


图7-9 光敏电阻的光照特性

光敏电阻的光照特性具有非线性特性，适用于制作控制元件，不宜用来制作测量元件。

## 4) 频率特性

频率特性是指光敏电阻上的光电流对入射光调制频率的响应特性。图7-10所示为硫化镉和硫化铅光敏电阻的频率特性。入射光调制频率越高，电流相对灵敏度越低，说明光敏元件材料具有一定的惰性。

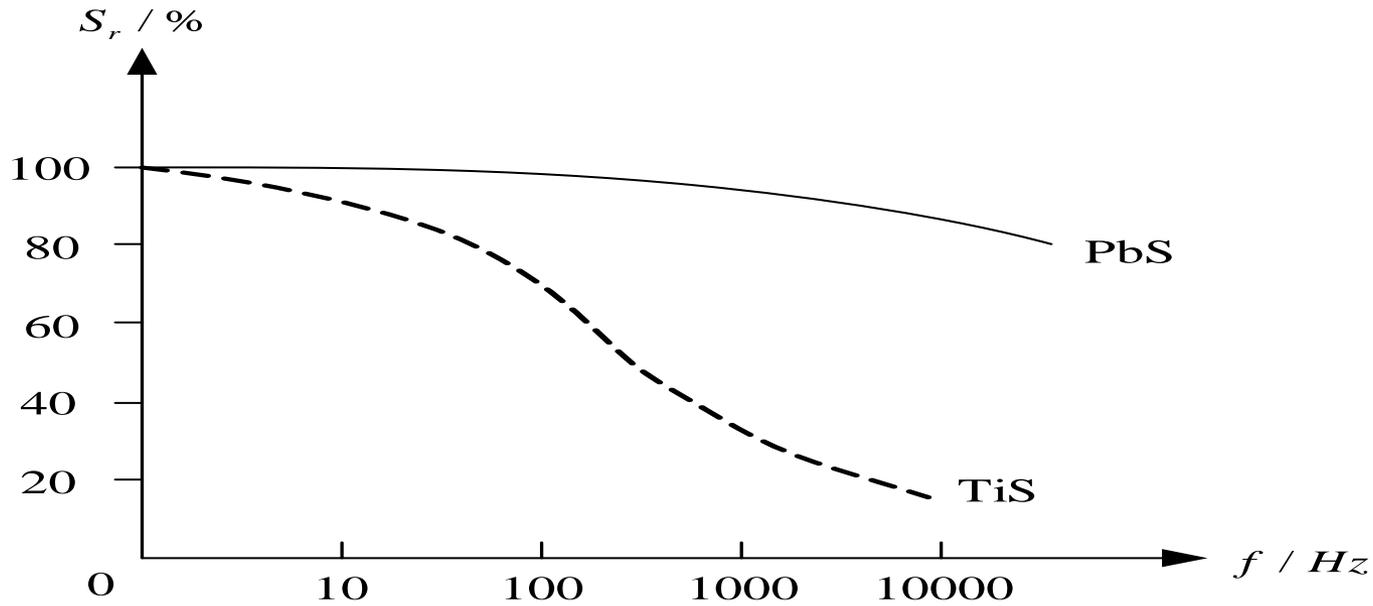


图7-10 光敏电阻的频率特性

## 5) 温度特性

- 温度特性是指光敏电阻的主要参数和基本特性受温度的影响。当温度升高时，光敏电阻的暗电阻和灵敏度都要下降，同时温度的变化也会影响其光谱特性等。
- 图7-11所示为硫化铅光敏电阻的光谱温度特性曲线。由图可知，它的峰值随温度上升向波长短的方向移动，因此硫化铅光敏电阻要在低温恒温的条件下使用。对于可见光的光敏电阻，其温度影响要小一些。

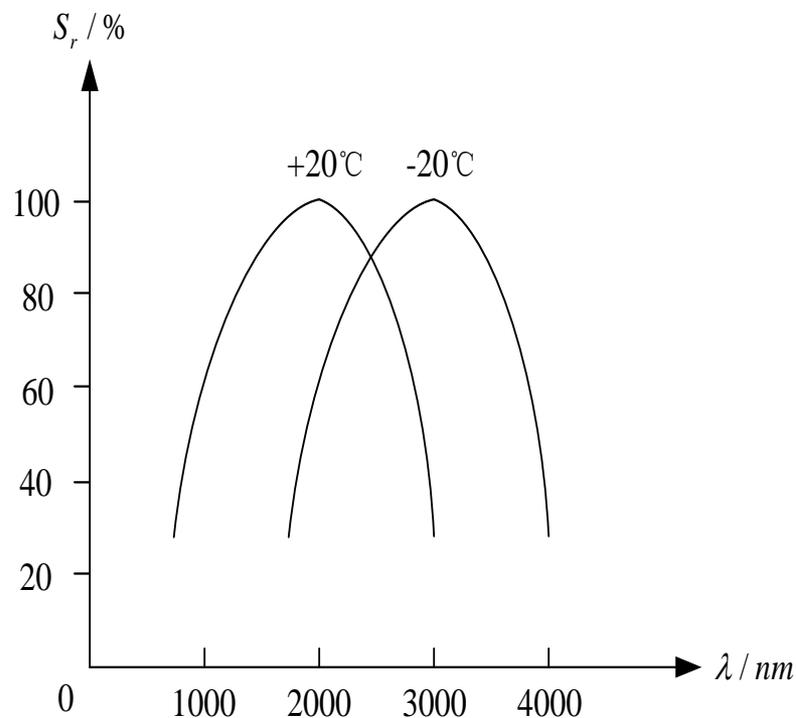


图7-11 硫化铅光敏电阻的光谱温度特性

# 7.2.4 光敏二极管

## 1 光敏二极管的结构与原理

- 光敏二极管又称光电二极管，它与普通半导体二极管在结构上相似。图7-12为光敏二极管的结构，在光电二极管管壳上装有一个玻璃透镜，入射光通过玻璃透镜照射到具有光敏特性PN结的管芯上。

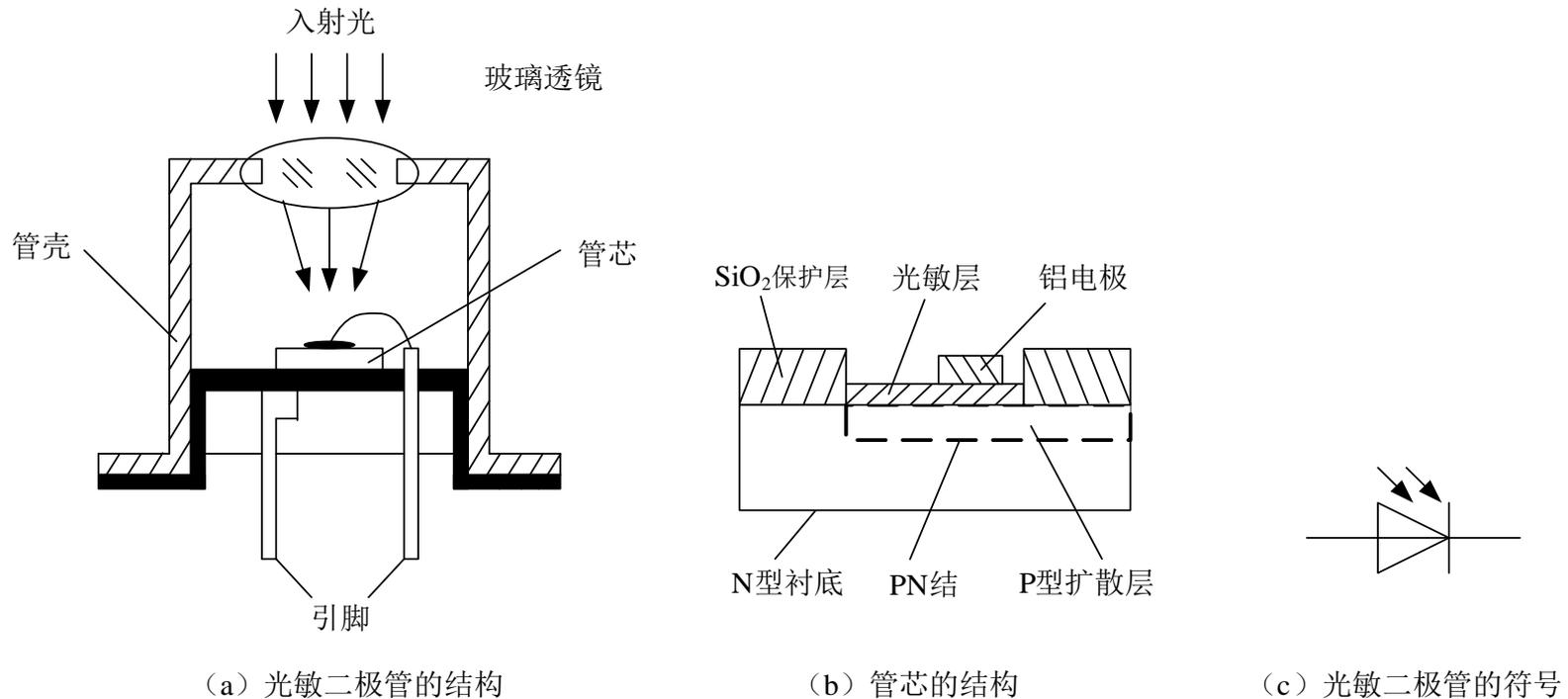


图7-12 光敏二极管的结构与符号

光敏二极管的PN结具有单向导电性，在电路中一般是处于反向工作状态，如图7-13所示。在没有光照时，反向电阻很大，电路中有很小的反向饱和漏电流，称为暗电流，此时光敏二极管相当于处于截止状态。当有光照射到PN结上，PN结附近受光子的轰击，半导体内被束缚的价电子吸收光子能量被激发产生电子和空穴对。它们在PN结的内电场作用下作定向运动，形成光电流，且光照度越强，光电流越大。此时光敏二极管相当于处于导通状态。光电流流过负载电阻  $R_L$  时，在电阻两端将得到随入射光变化的电压信号，从而实现光电转换的功能。

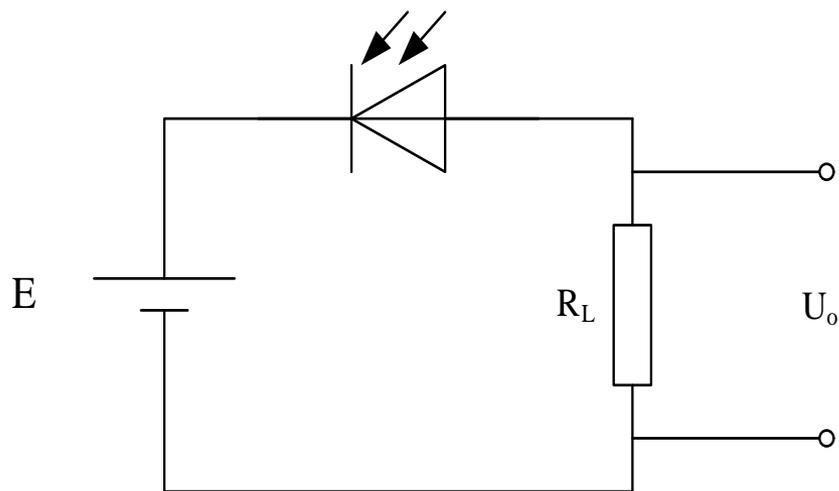


图7-13 光敏二极管的基本电路

## 2 光敏二极管的主要参数

- 1) 暗电流和光电流
- 暗电流是指光敏二极管在没有光照且在最高反向工作电压条件下的漏电流。暗电流越小，光敏二极管的性能越稳定，检测弱光的能力越强。
- 光电流是指光敏二极管受到一定光照时最高反向工作电压下产生的电流。光电流值越大越好。
- 2) 最高反向工作电压和正向压降
- 最高反向工作电压是指光敏二极管在没有光照条件下，反向漏电流不大于 $0.1\mu\text{A}$ 时所能承受的最高反向电压值。
- 正向压降是指给光敏二极管加一定正向电流时其两端的电压降。
- 3) 灵敏度
- 灵敏度用每微瓦的入射光能量下所产生的光电流来表示，它反映了光敏二极管对光的敏感程度。灵敏度越高，表明光敏二极管对光的反应越灵敏。

- 4) 响应时间
- 响应时间是指将光信号转换成电信号所需的时间。响应时间越短，光敏二极管的光电转换速度越快，其工作频率也越高。
- 5) 结电容
- 结电容是指光敏二极管中PN结的电容。结电容越小，光敏二极管的工作频率越高。
- 6) 光谱范围和峰值波长
- 不同材料制成的光敏二极管具有不同的光谱特性，即光敏二极管对不同波长的光反应的灵敏度不相同。光敏二极管反应最灵敏的波长称为光敏二极管的峰值波长。

# 3 光敏二极管的基本特性

- 1) 伏安特性
- 光敏二极管的伏安特性是指在给定光照强度下，光敏二极管上反向电压与光电流之间的关系。如图7-14所示为不同光照强度情况下的硅光敏二极管的伏安特性。在一定的光照强度下，光敏二极管的光电流随着所加反向电压增大而增大。

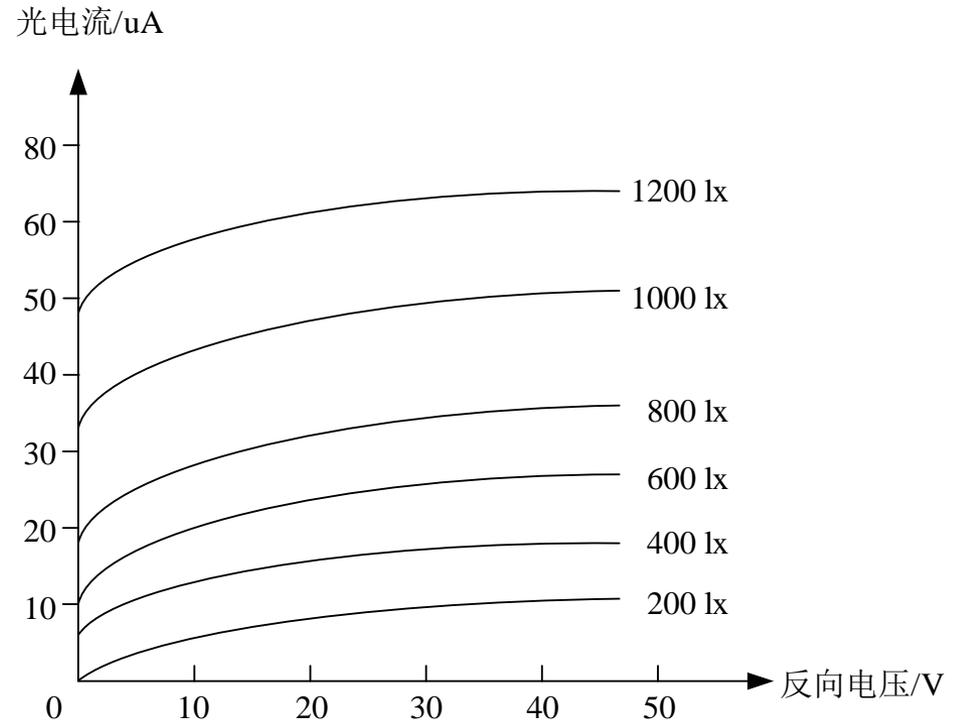


图7-14 硅光敏二极管的伏安特性

- 2) 光谱特性

- 光敏二极管由于制成的材料不同，可分为硅光敏和锗光敏二极管。图7-15所示为硅和锗两种不同材料光敏二极管的光谱特性，由曲线可知，硅的峰值波长约为 $0.9\mu m$ ，锗的峰值波长约为 $1.5\mu m$ 。在峰值波长处，光敏二极管的灵敏度最高，当入射光波长增大或减小时，相对灵敏度成急剧下降的趋势。另外，锗管的敏感范围比硅管大，由于锗管的温度性能较差，因而测可见光时主要采用硅管，探测红外光时主要采用锗管。

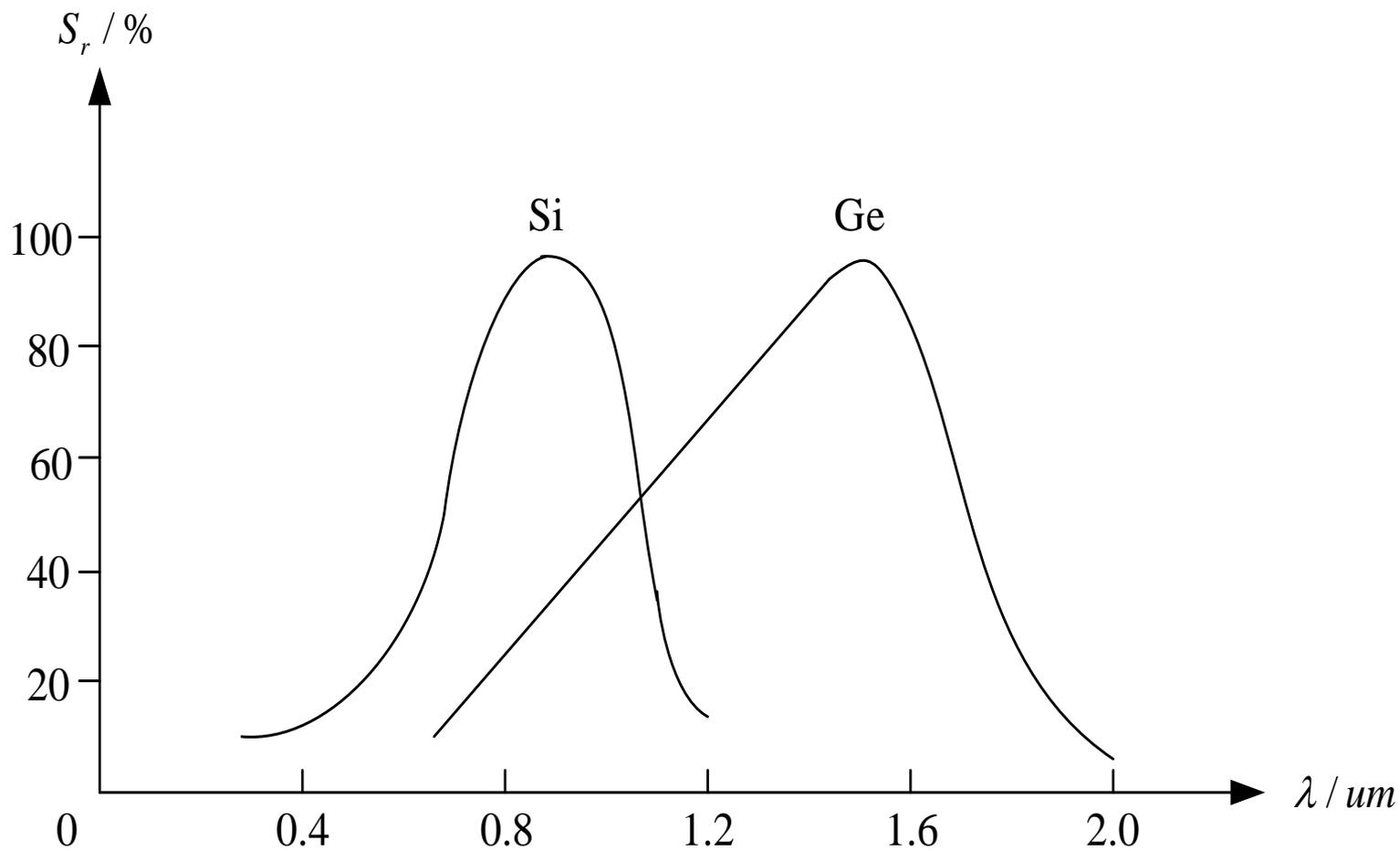


图7-15 光敏二极管的光谱特性

- 3) 光照特性
- 光敏二极管的光照特性是指在所加反向工作电压一定时，光电流与光照度之间的关系。图7-16所示为硅光敏二极管的光照特性，由曲线可知，光敏二极管的光照特性近似为线性关系。

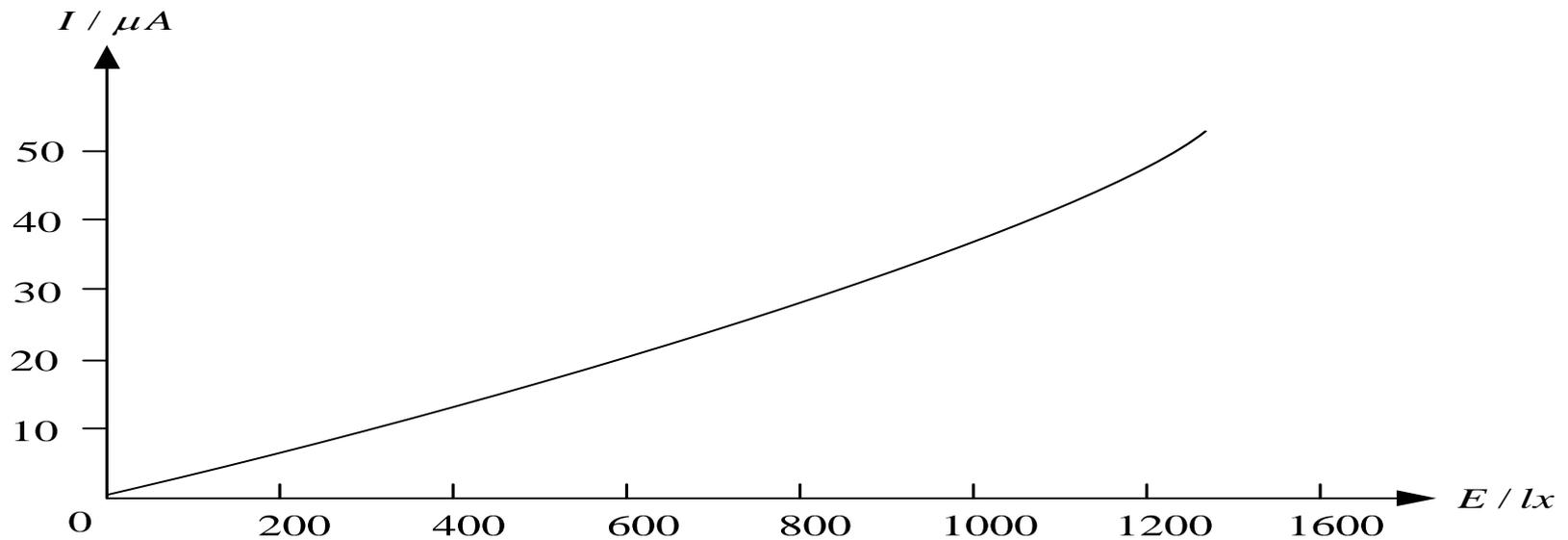
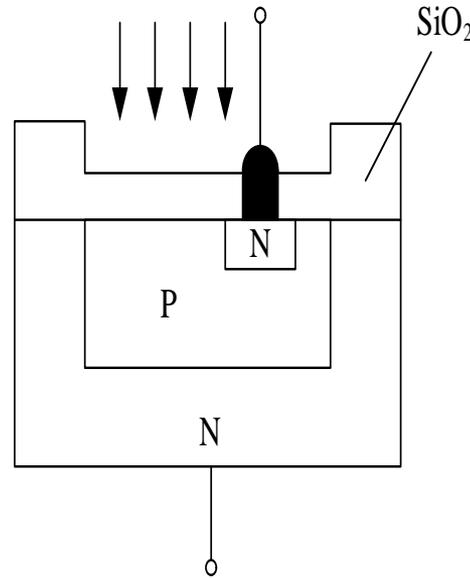


图7-16 硅光敏二极管的光照特性

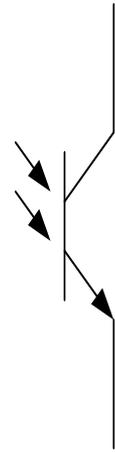
# 7.2.5 光敏三极管

## 1 光敏三极管的结构与原理

- 光敏三极管与一般三极管相类似，可分为NPN和PNP型两种。光敏三极管的结构如图7-17所示。为了提高光电转换能力，要求光敏三极管的基区面积做得很大，发射区面积较小，入射光主要被基区吸收。管子的芯片被装在带有玻璃透镜的金属管壳内，当光照射时，光线通过透镜聚焦照射在芯片上。



(a) 光敏三极管的结构



(c) 光敏三极管的符号

图7-17 光敏三极管的结构、符号

光敏三极管集电极接正向电压，发射极接负电压，如图7-18所示。

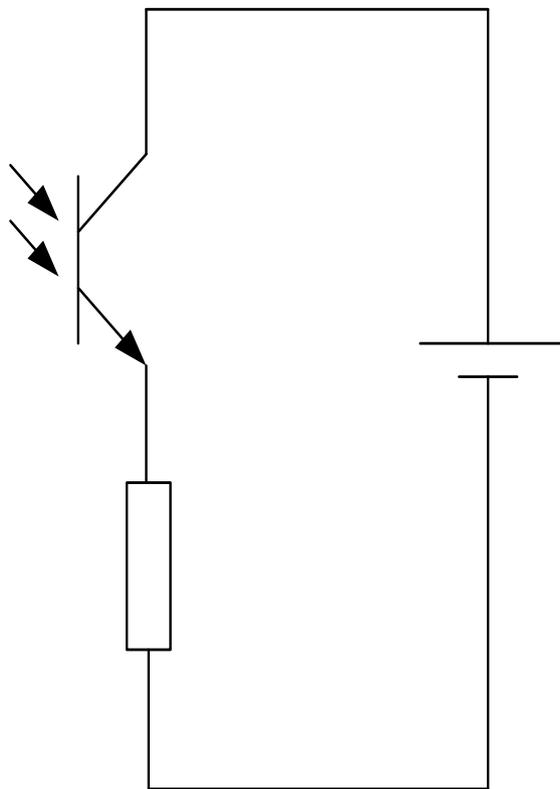


图7-18 光敏三极管的基本电路

- 当没有光照时，流过光敏三极管的电流为集电极与发射极之间的穿透电流  $I_{ceo}$ ，也称为光敏三极管的暗电流，其大小为
- $$I_{ceo} = (1 + \beta) I_{cbo} \quad (7-7)$$
- 式中， $\beta$ —共发射极直流放大系数；
- $I_{cbo}$ —集电极与基极之间的反向饱和电流。
- 当有光照射到基区上时，在PN结的附近产生电子-空穴对，形成光生电流，相当于三极管的基极电流。由于基极电流的增加，集电极电流是光生电流的  $\beta$  倍，即将光敏三极管基极光电流放大  $(1 + \beta)$  倍，故光敏三极管比光敏二极管具有更高的灵敏度。

## 2 光敏三极管的基本特性

- 1) 伏安特性
- 光敏三极管的伏安特性是指在给定光照强度下，光敏三极管上电压与光电流之间的关系。如图7-19所示为不同光照强度情况下的硅光敏三极管的伏安特性。

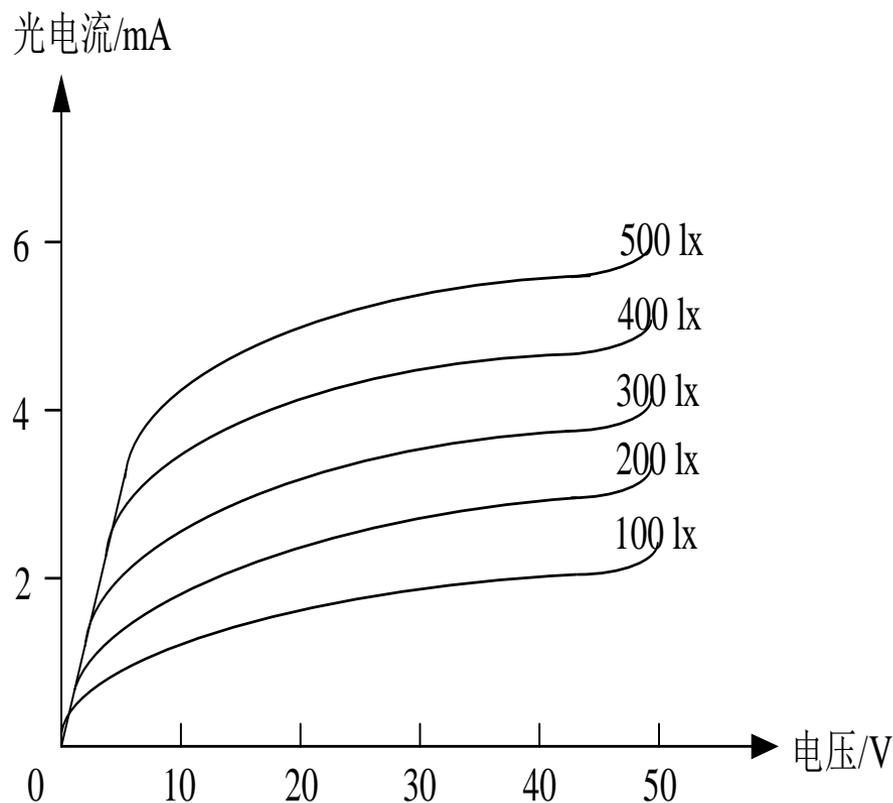


图7-19 光敏三极管的伏安特性

## 2) 光谱特性

光敏三极管与光敏二极管具有相同的光谱特性，请参见图7-15所示光敏二极管的光谱特性。

## 3) 光照特性

光照特性是指当光敏三极管外加电压恒定时，光电流与光照度之间的关系。图7-20所示为硅光敏三极管的光照特性，由曲线可知，光敏三极管的光照特性为非线性。光照度较小时，光电流随光照强度增大而缓慢增加；当光照度较大时，光电流又逐渐趋于饱和。

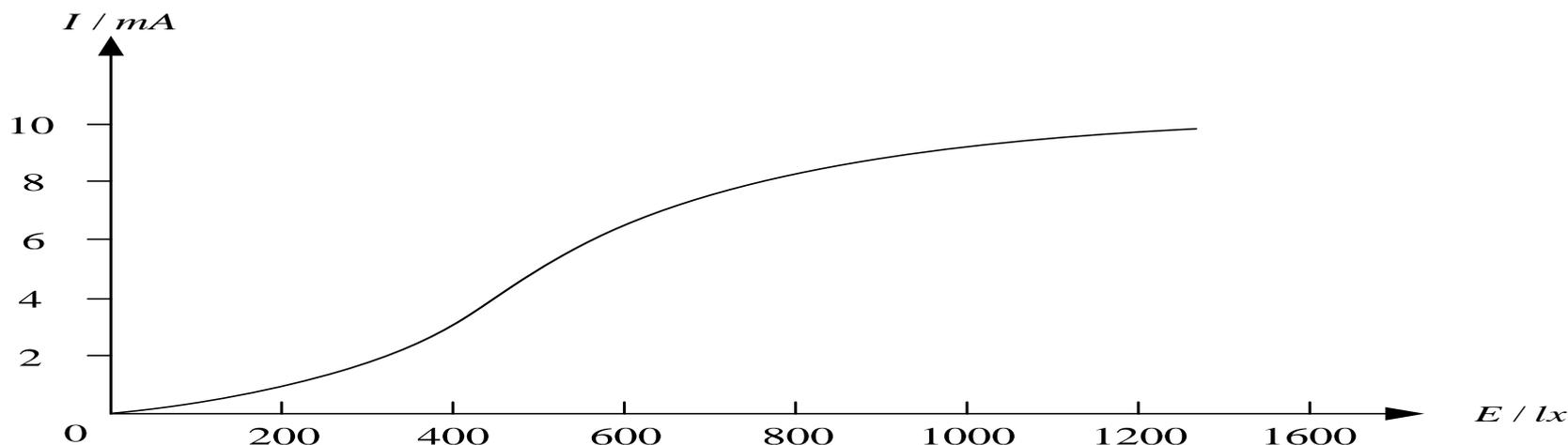


图7-20 硅光敏三极管的光照特性

- 4) 频率特性
- 由于光敏三极管的基区面积较大，载流子穿越基区所需时间较长，其频率特性比光敏二极管较差。图7-21所示为硅光敏三极管的频率特性。

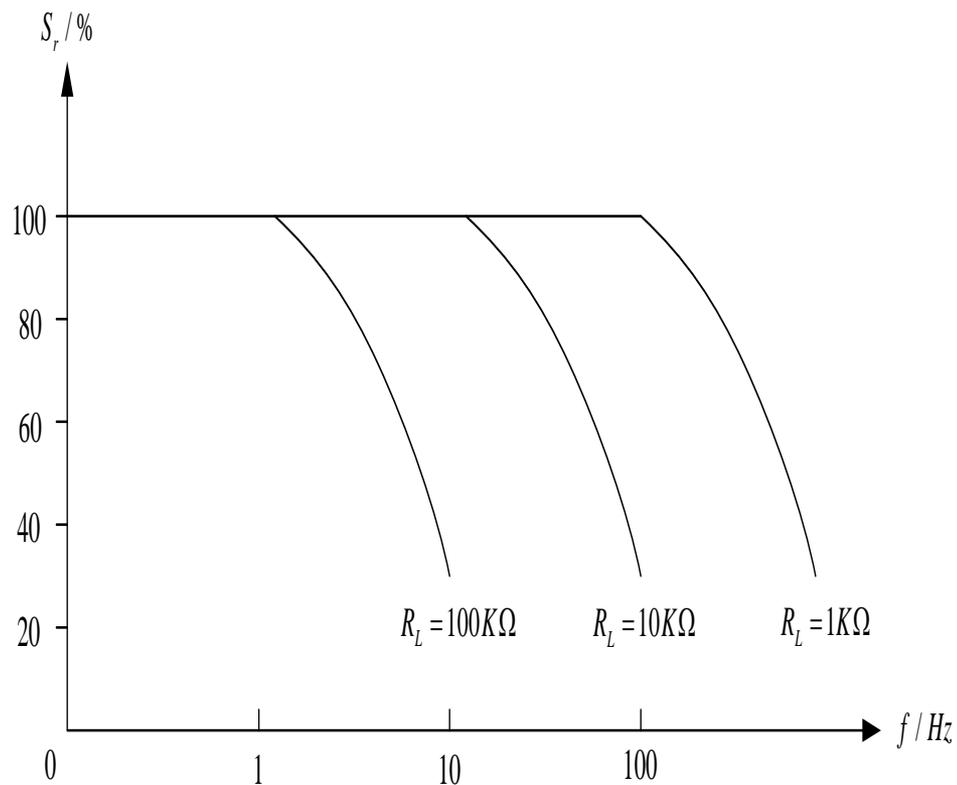
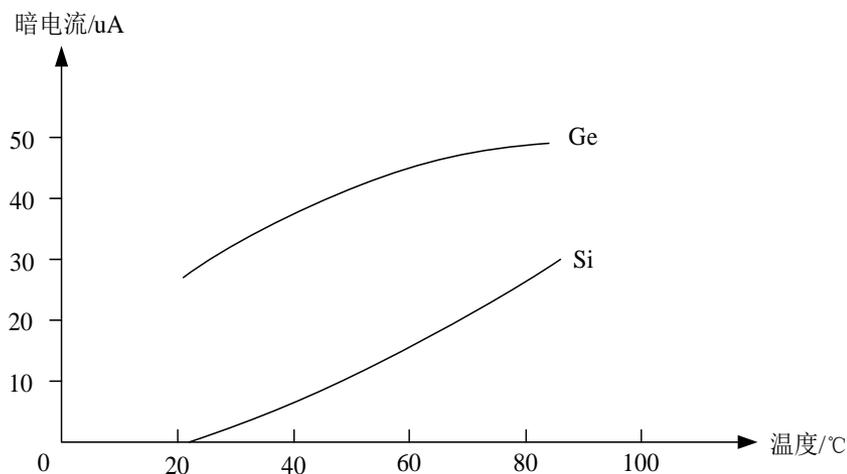


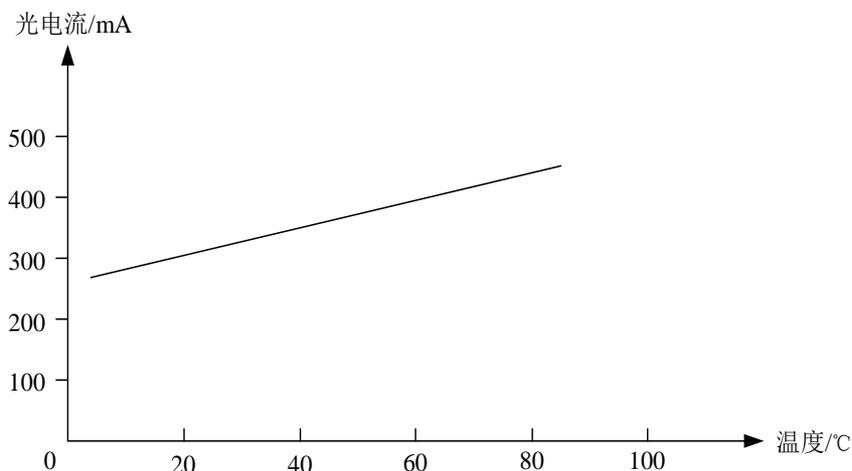
图7-21 硅光敏三极管的频率特性

## • 5) 温度特性

- 温度的变化对光敏三极管的暗电流和光电流都会产生影响。光敏三极管的温度特性曲线如图7-22所示，由图7-22 (a) 可知，锗材料光敏三极管的温度稳定性相对硅管而言较差，图7-22 (b) 表明温度变化对光电流影响很小。



(a)



(b)

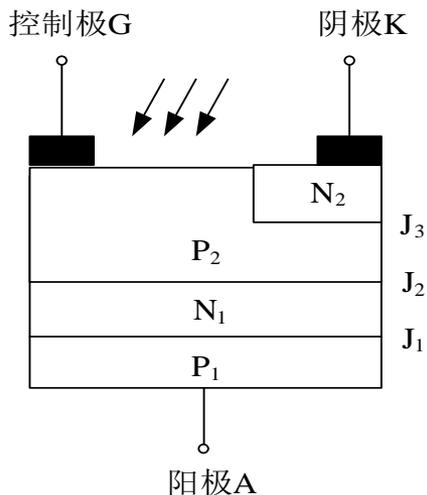
图7-22 光敏三极管的温度特性

由于光电流比暗电流大得多，故在一定温度范围内，温度对光电流的影响很小，而对暗电流的影响很大。为了提高信噪比，在电子线路设计时应该采取相应的补偿或降温措施，尽量消除或减小温度产生的误差。

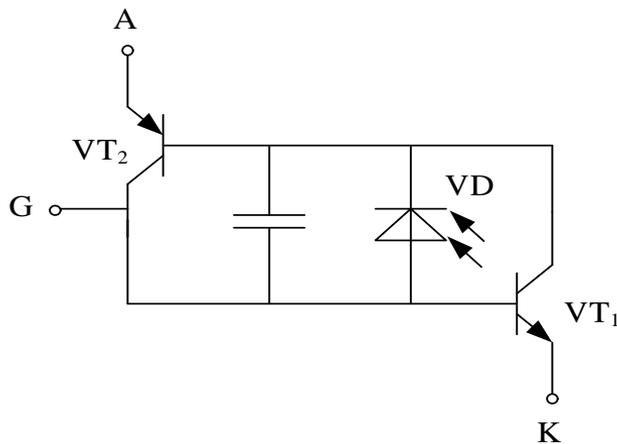
# 7.2.6 光敏晶闸管

## 1 光敏晶闸管的结构

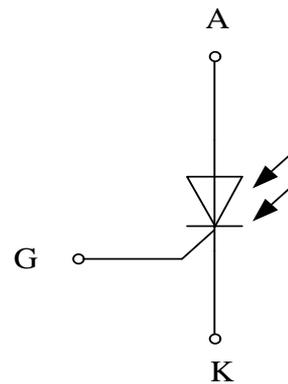
光敏晶闸管是由光辐射触发而导通的晶闸管，又称为光控晶闸管或光控可控硅。光敏晶闸管有三个PN结，分别为J1、J2、J3，其结构、等效电路和符号如图7-23所示。



(a) 光敏晶闸管的结构



(b) 光敏晶闸管的等效电路



(c) 光敏晶闸管的符号

图7-23 光敏晶闸管的结构、符号及等效电路

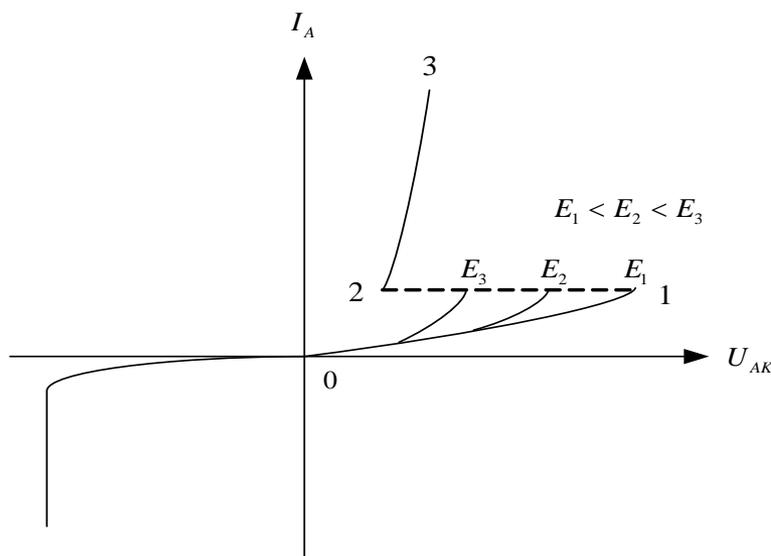
光敏晶闸管的特点在于控制极G上不是由电信号触发，而是由光照触发作用。经触发后，阳极A和阴极K间处于导通状态，直至电压下降或交流过零时关断。

## 2 光敏晶闸管的原理

- 光敏晶闸管可等效成两个三极管，如图7-23 (a) 所示。光敏区为J2结，有光照射到光敏区时，产生通过J2结的光电流。当光电流大于晶闸管开通阈值，且阳极和阴极之间加上正向电压时，晶闸管由断开状态变为导通状态。
- 考虑到光敏区的作用，其等效电路如图7-23 (b) 所示。在没有光照时，光敏二极管VD没有光电流，三极管VT2的基极电流仅是VT1的反向饱和电流。在正常外加电压下，晶闸管处于关断状态。一旦有光照射，光电流  $I_p$  将作为VT2的基极电流。如果VT1、VT2的放大倍数分别为  $\beta_1$ 、 $\beta_2$ ，则VT2的集电极得到的电流是  $\beta_2 I_p$ 。此电流实际上又是VT1的基极电流，因而在VT1的集电极上将产生一个  $\beta_1 \beta_2 I_p$  的电流，此电流又成为VT2的基极电流。如此循环反复，产生强烈的正反馈，使整个器件就变为导通状态。

如果在**G**、**K**之间接上电阻，则电阻将会分流部分光敏二极管产生的光电流，此时要使晶闸管导通，就必须增大光照强度。因此，在实际应用过程中，可以采取**G**、**K**之间串电阻的方法来调整光敏晶闸管的光触发灵敏度。

光敏晶闸管与普通晶闸管有着相同的伏安特性，如图7-24所示。曲线0~1段为高阻状态，表示光敏晶闸管未导通；曲线1~2段表示光敏晶闸管处于由关断到导通的过渡状态；曲线2~3表示光敏晶闸管处于导通状态。



光敏晶闸管可作为光控无触点开关，它与发光二极管可构成固态继电器，具有体积小、无火花、寿命长、动作快等优点，同时起着良好的电路隔离作用，在自动化领域得到广泛应用。

图7-24 光敏晶闸管的伏安特性

## 7.2.7 光电池

- 光电池是基于光生伏特效应的器件，在光线照射下，能直接将光能转换为电能的光电器件。光电池在有光照的条件下实质上相当于电压源。

# 1 光电池的结构与原理

硅光电池的结构如图7-25所示。在一块N型硅片上，用扩散的方法渗入一些P型杂质形成PN结。当入射光照射在PN结上时，若光子能量大于半导体材料的禁带宽度，则在PN结内产生电子-空穴对，在内电场的作用下，空穴向P区移动，电子向N区移动，使P区带正电，N区带负电，因而产生光生电动势。光电池的工作原理如图7-26所示。

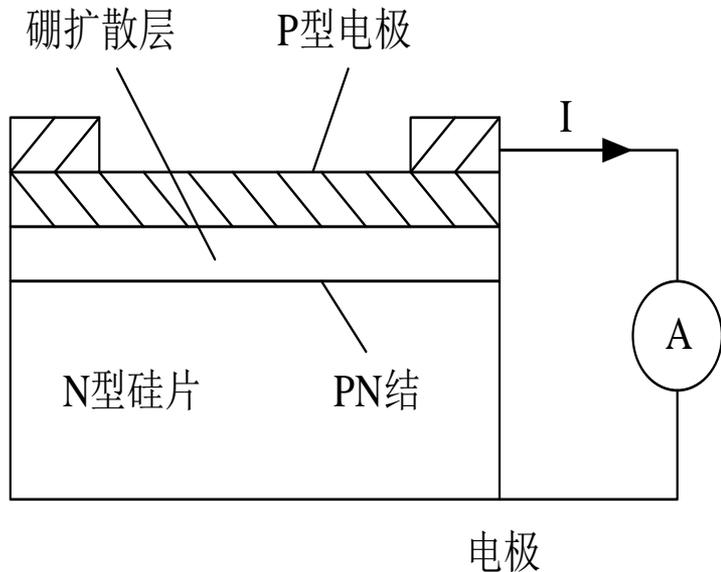


图7-25 硅光电池的结构

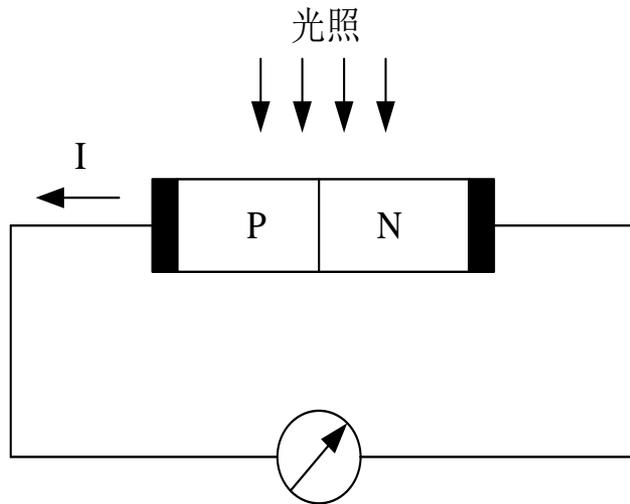


图7-26 硅光电池的原理

硒光电池结构如图7-27所示。在铝片上涂上硒，用溅射的工艺在硒层上形成一层半透明的氧化镉，在正反两面喷上低熔合金作为电极。在光照射下，镉材料带负电，硒材料带正电，从而产生光生电动势。

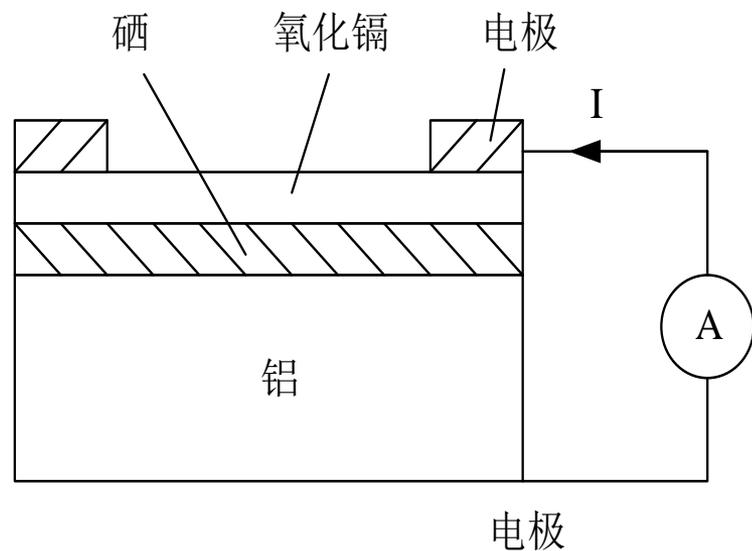


图7-27 硒光电池结构

## 2 光电电池的基本特性

- 1) 光谱特性
- 光电电池对不同波长的光的灵敏度不相同。图7-28所示为硅光电电池和硒光电电池的光谱特性曲线。不同材料的光电电池，光谱峰值所对应的入射光波长不同。如硅光电电池在0.8 附近，硒光电电池在0.5 附近。硅光电电池的光谱响应波长范围为0.4-1.2 ，而硒光电电池的范围为0.38-0.75 。可见硅光电电池可以应用在很宽的波长范围内。

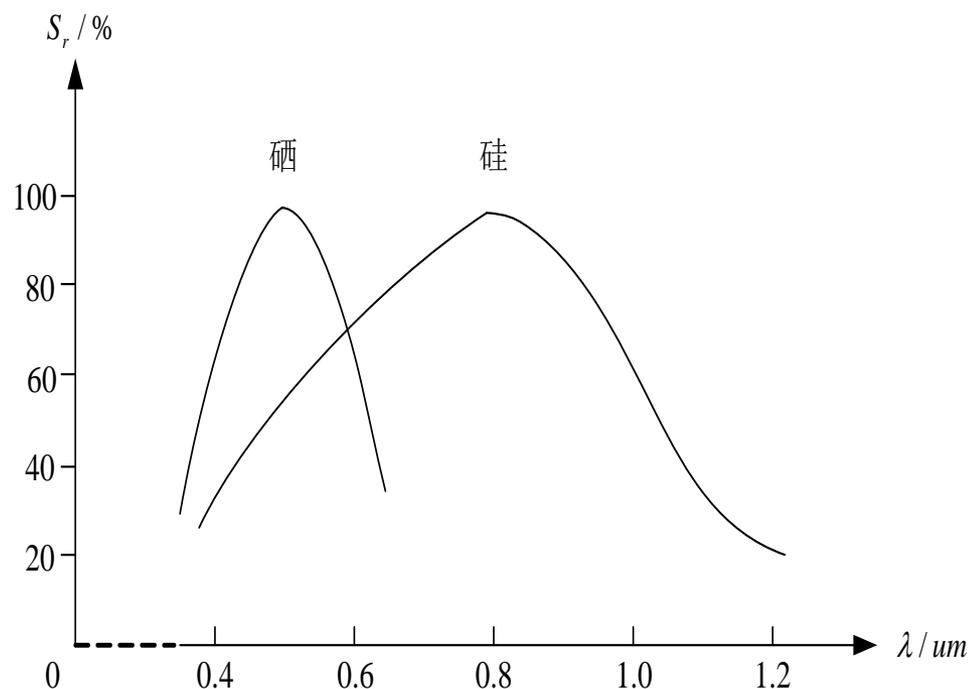


图7-28 光电电池的光谱特性图

## 2) 光照特性

- 光电池在不同光照强度下可产生不同的光电流和光生电动势。硅光电池的光照特性如图7-29所示。由曲线可知，光生电流（短路电流）在很大范围内与光照强度成线性关系，光生电动势（开路电压）与光照度强度成非线性关系，并且光照度在2000lx时趋近于饱和。因此把光电池作为测量元件应用时，应把它看成电流源的形式来使用，不能用作电压源。

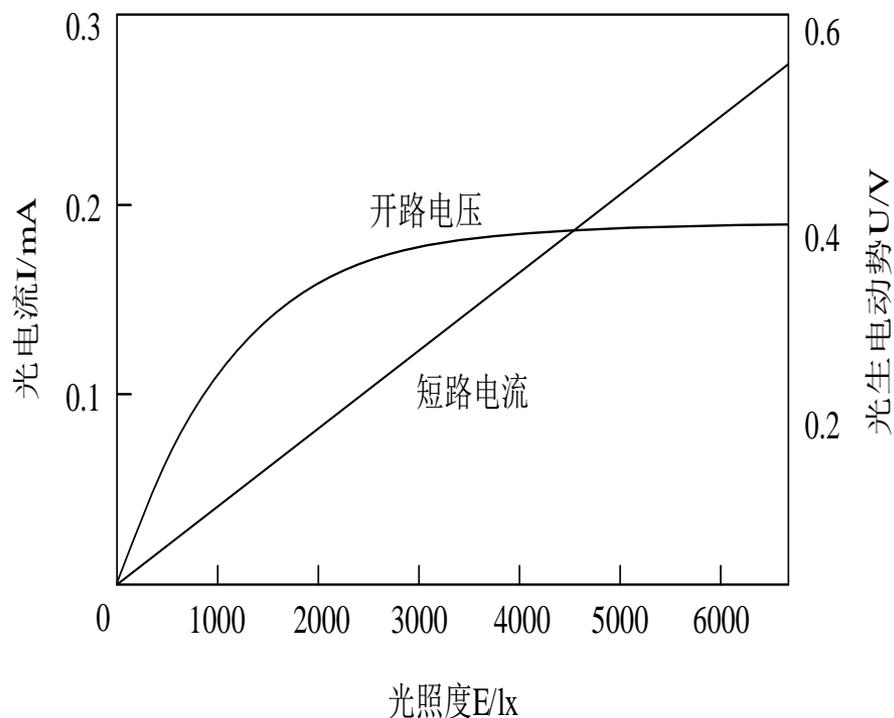


图7-29 硅光电池的光照特性

### 3) 频率特性

- 光电池在作为测量、计数等应用时，常用交变光照。光电池的频率特性即是反映光的交变频率与光电池输出电流之间的关系，如图7-30所示。从曲线上可以看出，硅光电池具有很高的频率响应，可用于高速计数、有声电影等方面。

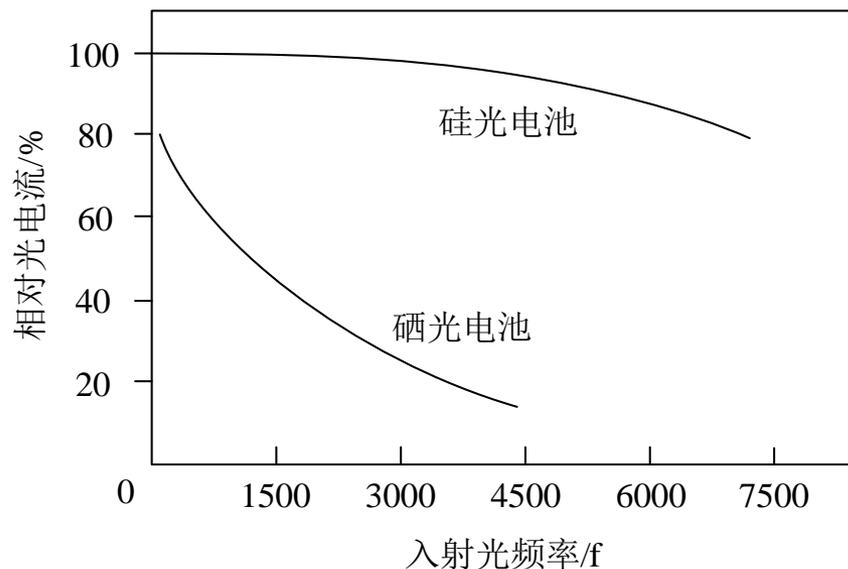


图7-30 硅光电池的频率特性

## 4) 温度特性

- 光电池的温度特性是指光电池的开路电压和短路电流随温度变化的关系。图7-31所示为光电池的温度特性曲线。由图可知，开路电压随温度升高而快速下降，而短路电流随温度升高而缓慢增加。在实际应用时，应采取温度补偿等措施避免光电池受到温度的影响。

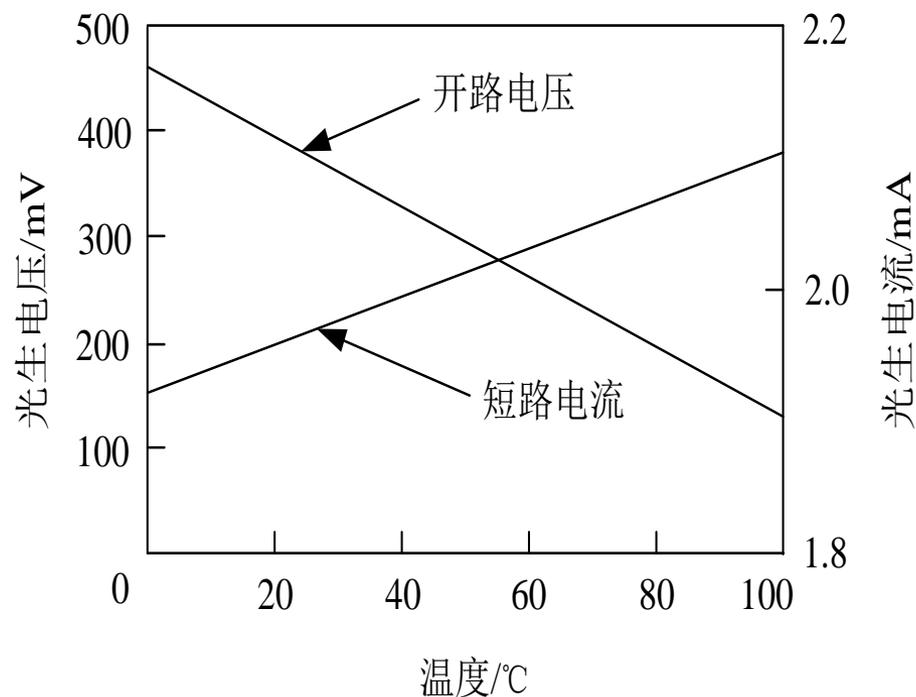
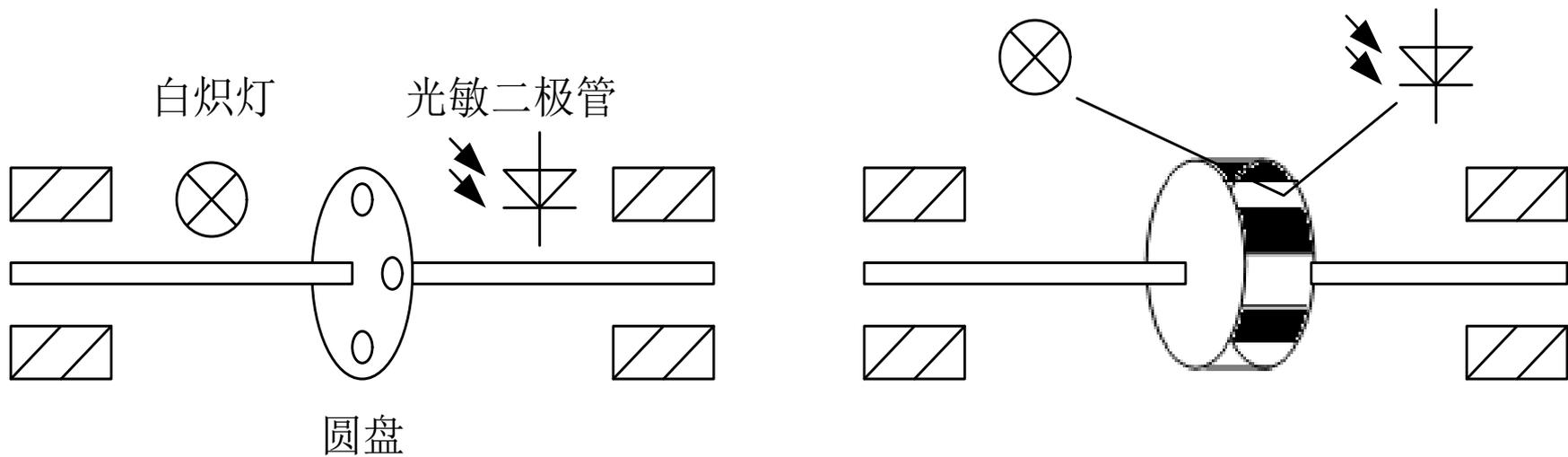


图7-31 光电池的温度特性

## 7.3 光电式传感器的应用

## 7.3.1 光电式转速计

- 光电式转速表的工作原理如图7-32所示，根据光源和光电传感器的相对位置分为直射式和反射式两种，分别如图7-32（a）和图7-32（b）所示。
- 图7-32（a）中，在待测转速轴上固定一个带小孔的圆盘，在圆盘的一侧用光源（白炽灯或其它）产生稳定的光信号，通过圆盘上的小孔照射到圆盘另一侧的光电传感器上，通过传感器把光信号转换成相应的脉冲信号，经过放大、整形后输出脉冲信号，最后通过计数器进行计数，从而可以进行转速的测量。



(a) 直射式光电转速计

(b) 反射式光电转速计

图7-32 光电式转速计原理图

图7-32 (b) 中，在待测转速轴上固定一个涂上黑白相间条纹的圆盘，它们具有不同的反射率。当转轴转动时，反光与不反光交替出现，光电传感器间歇性的接受圆盘上的反射光信号，并将其转换成电脉冲信号。

转轴每分钟的转速 与脉冲频率 的关系为

$$(7-8) \quad n = \frac{f}{N} \cdot 60$$

式中， $N$  —圆盘上小孔或黑白条纹数目。

## 7.3.2 光电式浊度仪

- 烟尘浊度是通过光在烟道里传输过程中的变化大小来检测的。如果烟道浊度增加，光源发出的光被烟尘颗粒的吸收和折射将会增加，达到光电传感器的光就会减弱，输出的电信号幅值也会相应的减小，因而，电信号的变化即可反映烟道浊度的变化。

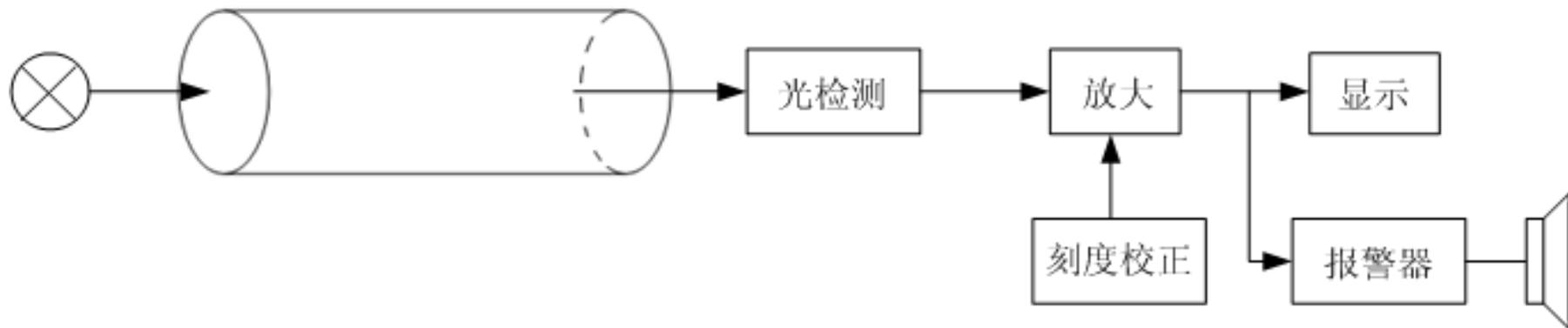


图7-33 烟尘浊度检测仪的组成框图

图7-33所示为吸收式烟尘浊度检测仪的组成框图。为了检测烟尘中对人体危害性最大的亚微米颗粒的浊度和避免水蒸气与二氧化碳对光源衰弱的影响，选取可见光作为光源（400~700 波长的白炽灯）。光电传感器选取光谱响应范围为400~600 的光电管，获取随浊度变化的电信号。信号处理部分采用集成运算放大器对信号进行放大，提高系统的检测灵敏度和精度。刻度校正用来进行调零与调满刻度，保证测试准确性。显示器显示烟道中浊度的瞬时值。报警电路由多谐振荡器组成，当运放输出浊度电信号超过规定值时，多谐振荡器工作并发出警报信号。

# 思考与练习题

- 1 简述光电式传感器的结构、原理和特点。
- 2 什么是外光电效应？内光电效应？光电导效应？光生伏特效应？
- 3 常见的光电器件有哪些？并试述其工作原理和基本特性。
- 4 用光电式传感器测电机转速时，已知孔数为40，频率计的读数为2KHz，则电机的转速是多少？