

第四节 光电式传感器

一、光电效应

光电效应是各种光电器件工作的理论基础。光电效应有三种不同的类型，相应的元件也有三类。

(1) 外光电效应 在光线作用下，使电子逸出物质表面的现象称为外光电效应或光电发射效应。相应的元件有光电管、光电倍增管等。

(2) 内光电效应 在光线作用下，使物体电阻或电导发生改变的现象称为内光电效应或光电导效应。相应的元件有光敏电阻。

(3) 光伏效应 光照射半导体 PN 结后，能使 PN 结产生电动势，或使 PN 结的光电流增加等现象，称为光伏效应或 PN 结的光电效应。相应的元件有光电池、光敏二极管和光敏三极管。

二、光电变换元件

(一) 光电管

1. 结构和原理

光电管由一个阴极和一个阳极构成，它们一起装在一个抽成真空的玻璃泡内。阴极镀有光电发射材料，并有足够的面积来接受光的照射。阳极收集阴极所发射的电子。图 2-19(a)

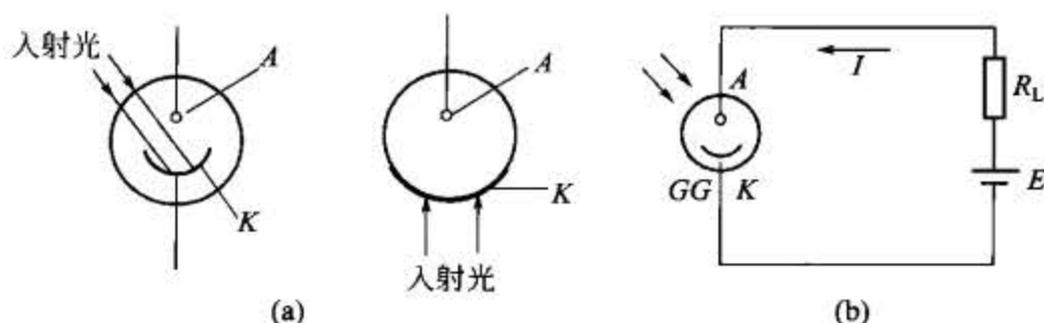


图 2-19 光电管原理图和应用电路

表示两种不同类型阴极的光电管。

光电管的符号及应用电路如图 2-19(b) 所示。光电管的阴极 K 和电源的负极相连，阳极 A 通过负载电阻 R_L 接电源正极，因此在管内形成电场。当阴极受到光线照射时，电子从阴极逸出，在电场作用下被阳极收集，形成光电流 I ，该电流及负载电阻 R_L 上的电压将随光照的强弱而改变，达到把光信号变化转换为电信号变化的目的。

2. 基本特性

光电管的特性主要指其光电特性、光谱特性和伏安特性。

光电特性是指在阳极电压一定时，光电管的电流 I 与光通量 Φ 之间的关系。

光谱特性是指用单位辐射通量的不同波长的光，分别照射光电管，在光电管上产生大小不同的光电流，光电流与光波波长 λ 的关系。光电管的光谱特性主要取决于阴极的材料。

伏安特性是指在光通量一定时，阳极与阴极间电压与电流之间的关系。

(二) 光电倍增管

1. 结构和工作原理

光电倍增管的工作原理建立在光电发射和二次发射基础上。图 2-20 是光电倍增管的结构原理示意图。图中 K 为光电阴极， $D_1 \sim D_4$ 为二次发射体，称为倍增极， A 为阳极。在工作时，这些电极的电位是逐级增高的。当光线照射到光电阴极 K 后，它产生的光电子受到第一倍增极 D_1 正电位的作用，使之加速并打在这个倍增极上，产生了二次发射。由第一倍增极 D_1 产生的二次发射电子，在较高正电位 D_2 极作用下，再次被加速入射到 D_2 上，在 D_2 极上又将产生二次发射，这样逐级前进，直到电子被阳极 A 收集为止。

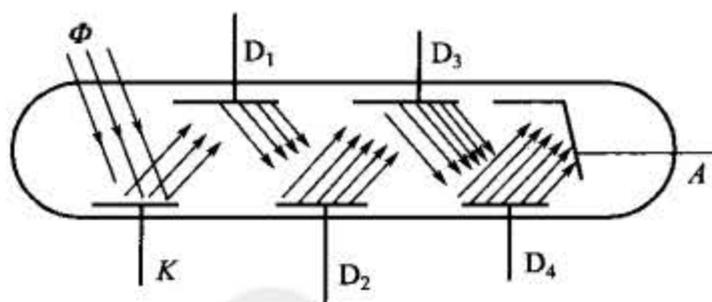


图 2-20 光电倍增管的结构原理示意图

如果设每个电子落到任一倍增极上都打出 σ 个电子，则阳极电流 I 为

$$I = i_0 \sigma^n \quad (2-33)$$

式中 i_0 ——光电阴极发出的光电流；

n ——光电倍增极数（一般 9~11 个）。

这样，光电倍增管的电流放大倍数 β 为

$$\beta = \frac{I}{i_0} = \sigma^n \quad (2-34)$$

2. 基本特性

光电倍增管的特性也主要是指光电特性、光谱特性、伏安特性。

(三) 光敏电阻

1. 原理

有些半导体在黑暗的环境下电阻值很高，但当受到一定波长范围的光线照射时，物体内部的原子可释放出电子，激发出电子-空穴对，从而使物体的导电性增加，阻值降低，这种光电效应称为内光电效应或光导效应。照射的光线愈强，阻值愈低；光照停止时，自由电子与空穴逐渐复合，电阻又恢复原值。具有光导效应的半导体材料称为光敏电阻，也称光导管。

光敏电阻 R_G 的符号和连接电路，见图 2-21。使用时可加直流电压或交流电压。由于光敏电阻 R_G 的阻值随光照强度而变化，所以流过负载 R_L 的电流及其两端的电压也随之变化，因而可将光信号转换为电信号。

光敏电阻种类很多，一般由金属的硫化物、硒化物等组成。

2. 基本特性和参数

光敏电阻的特性主要是指光照特性、光谱特性、伏安特性等。

光敏电阻的参数主要是指其暗电阻、亮电阻及光电流。光敏电阻在黑暗时所具有的阻值称暗电阻，此时流过的电流称暗电流；受光照射时的阻值称亮电阻，此时流过的电流称亮电流。亮电流与暗电流之差称为光电流。光敏电阻的暗电阻越大，亮电阻越小，则性能越好。

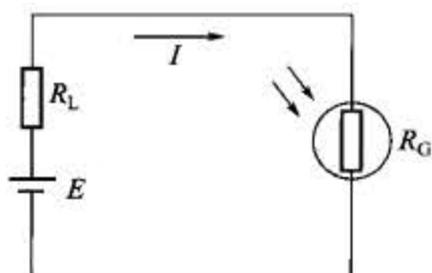


图 2-21 光敏电阻的符号和连接电路

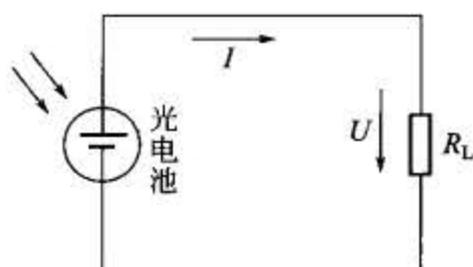


图 2-22 光电池的符号和连接电路

(四) 光电池

1. 原理

以硅光电池为例。硅光电池是在一块 N 型硅片上，用扩散的办法掺入一些 P 型杂质，形成一个大面积的 PN 结。当光线照射 PN 结时，若光子能量大于半导体材料的禁带宽度，就产生电子-空穴对，在 PN 结内电场的作用下，空穴移向 P 区，电子移向 N 区，从而使 P 区带正电，N 区带负电，于是 P 区和 N 区之间产生电压，称为光生电动势。这种因光照而产生电动势的现象称为光生伏特效应。图 2-22 所示为光电池的符号和连接电路。

2. 基本特性

光电池的特性主要有光照特性、光谱特性、频率特性等。

(五) 光敏二极管及光敏三极管

1. 工作原理

光敏二极管的结构与一般二极管相似，但它的 PN 结装在管子顶部，可以直接受到光照。光敏二极管在电路中一般处于反向工作状态，如图 2-23 所示。当没有光照时，光敏二极管的反向电阻很大，反向电流即暗电流很小。当光照射时，光子打在 PN 结附近，产生光子-空穴对，它们在外加反偏电压和内电场作用下做定向运动，形成光电流。光的照度越大，

光电流越大，因此光敏二极管能将光信号转换为电信号输出。

光敏三极管与反向偏置的光敏二极管类似，不过它有两个 PN 结，像普通三极管一样能得到电流的增益。它有 PNP 型和 NPN 型两种。NPN 型光敏三极管的基本电路如图 2-24 所示。当集电极加上相对于发射极为正的电压而基极开路时，集电结处于反向偏置状态。当光线照射在集电结的基区，会产生光生电子和空穴，光生电子被拉到集电极，基区留下了带正电的空穴，使基极与发射极间的电压升高，这样，发射极（N 型材料）便有大量电子经基极流向集电极，形成光敏三极管的输出电流，从而使光敏三极管具有电流增益作用。

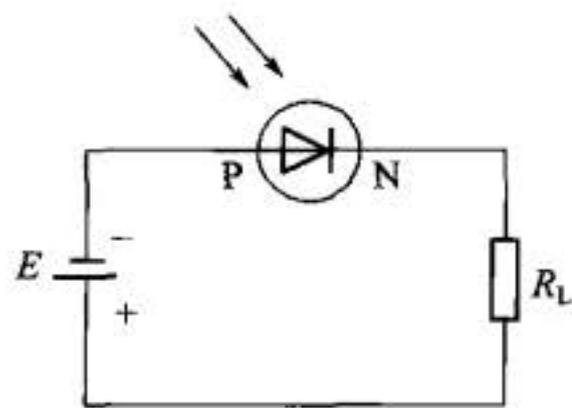


图 2-23 光敏二极管的符号和连接电路

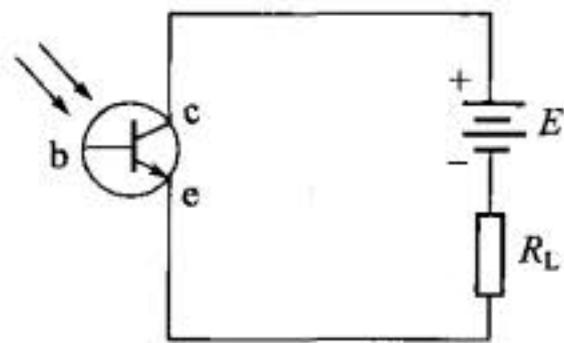


图 2-24 NPN 型光敏三极管的基本电路

2. 基本特性

光敏二极管、光敏三极管的特性主要有光照特性、光谱特性、伏安特性、频率特性等。