

光电传感器基本特性的研究

光电传感器是一种将光量的变化转换为电量变化的传感器。它的物理基础就是光电效应。光电传感器可以用于检测直接应其光量变化的非电量，也可以用于检测能转换成光量变化的其他非电量。光电传感器具有相应快、性能可靠、能实现非接触测量等优点，因而在监测和控制领域获得广泛应用。

光敏电阻器是利用半导体光电导效应制成的一种特殊电阻器，对光线十分敏感，它的电阻值能随着外界光照强弱（明暗）变化而变化。它在无光照射时，呈高阻状态；当有光照射时，其电阻值迅速减小。光敏电阻通常由光敏层、玻璃基片（或树枝防潮膜）和电极等组成的。广泛应用于各种自动控制电路（如自动照明灯控制电路、自动报警电路等）、家用电器（如电视机中的亮度自动调节,照相机的自动曝光控制等）及各种测量仪器中。

【实验目的】

1. 了解光电传感器的工作原理及相关的特性；
2. 了解非电量转化为电量进行动态测量的方法；
3. 选择合理的光路和测量电路；
4. 测量光电传感器的基本特性。

【实验原理】

一 光敏电阻

光敏电阻器是利用半导体光电导效应制成的一种特殊电阻器，对光线十分敏感，它的电阻值能随着外界光照强弱（明暗）变化而变化。它在无光照射时，呈高阻状态；当有光照射时，其电阻值迅速减小。光敏电阻通常由光敏层、玻璃基片（或树枝防潮膜）和电极等组成的。广泛应用于各种自动控制电路（如自动照明灯控制电路、自动报警电路等）、家用电器（如电视机中的亮度自动调节,照相机的自动曝光控制等）及各种测量仪器中。

1. 光敏电阻的工作原理

在光照作用下能使物体的电导率改变的现象称为内光电效应。本实验所用的光敏电阻就是基于内光电效应的光电元件。当内光电效应发生时，固体材料吸收的能量使部分价带电子迁移到导带，同时在价带中留下空穴。这样由于材料中载流子个数增加，使材料的电导率增加，电导率的改变量为

$$\Delta\sigma = \Delta p \cdot e \cdot \mu_p + \Delta n \cdot e \cdot \mu_n \quad (1)$$

(1) 式中 e 为电荷电量； Δp 为空穴浓度的改变量； Δn 为电子浓度的改变量； μ_p 为空

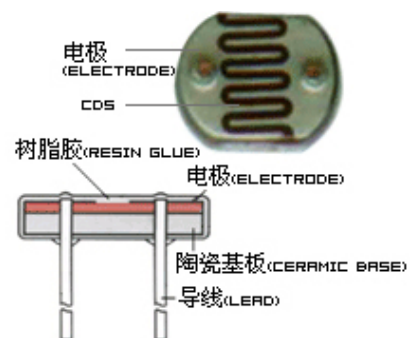


图 1 光敏电阻结构图

穴的迁移率； μ_n 为电子的迁移率。

当光敏电阻两端加上电压 U 后，光电流为

$$I_{ph} = \frac{A}{d} \cdot \Delta\sigma \cdot U \quad (2)$$

其中 A 为与电流垂直的截面积， d 为电极间的距离。

用于制造光敏电阻的材料主要有金属的硫化物、硒化物和碲化物等半导体材料。目前生产的光敏电阻主要是硫化镉。光敏电阻具有灵敏度高、光谱特性好、使用寿命长、稳定性高、体积小以及制造工艺简单等特点，被广泛地用于自动化技术中。

2. 光敏电阻的基本特性

光敏电阻的基本特性包括伏-安特性、光照特性、光电灵敏度、光谱特性、频率特性和温度特性等。了解光电器件的基本特性对合理选用光电器件非常重要，本实验只介绍光敏电阻的伏-安特性和光照特性。

在一定光照下，光敏电阻的电流与所加电压的伏安特性如图 2 所示。从图中可以看到，光敏电阻是一个纯电阻，其伏安特性线性良好。在不同光照条件下的伏安特性曲线斜率不同，相应的光敏电阻阻值也不同。在给定偏压下，光照度越大，电流也越大。在一定光照下，电压越大，电流也越大，且没有饱和现象，但不能无限度地提高工作电压，光敏电阻的最高使用电压要有它的耗散功率所决定，而光敏电阻的耗散功率由于其面积和散热田间等因素有关，图中的虚线划分出了额定功耗区，使用时应注意不要使电阻的功率超过额定功耗区。

当光电器件电极上的电压一定时，光电流与入射到光电器件上的光照强度之间的关系称为光照特性。光敏电阻的光照特性如图 3 所示，图中入射光照度的单位是 lx，由图可以看到，光敏电阻灵敏度高，但其光照特性为非线性，故一般不宜作测量元件，在自动控制中多做开关元件。例如照相机中的电子快门和路灯自动控制电路都使用光敏电阻作为光电传感元件。

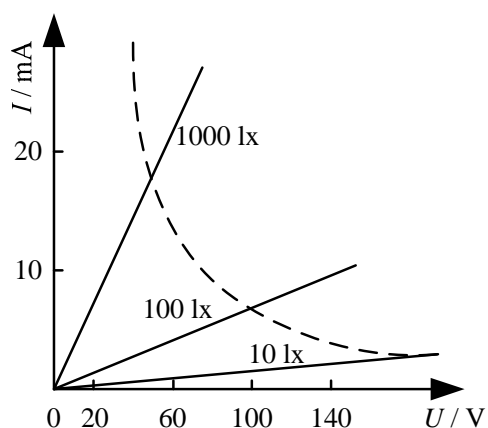


图 2 硫化镉光敏电阻的伏安特性

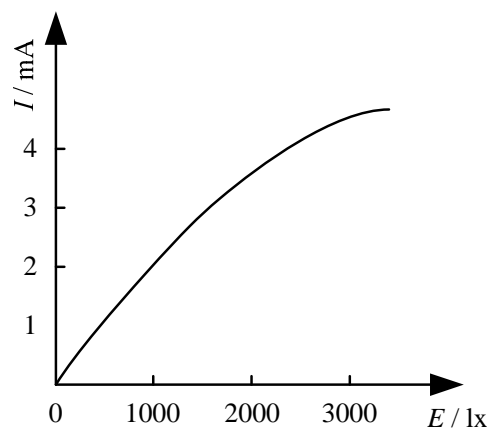


图 3 硫化镉光敏电阻的光照特性

二 硅光电池：参见“大学物理实验”第二册 实验九

三 点光源的距离平方反比定律

任何一个光源都可以看作是由一系列点光源字合而成的。当一个光源的发光部分远远小于光源到测量点的距离时，可以将这个光源近似看成点光源。均匀点光源的空间发射光波时遵循距离平方反比定律：点光源在传播方向上某一点的照度 E 和该点到光源的距离 r 的平方成反比，即

$$E = I / r^2 \quad (3)$$

照度 E 的单位为 lx，发光强度 I 的单位是 cd。

四 LED（发光二极管）

发光二极管内部是具有发光特性的 PN 结。当 PN 结导通时，依靠少数载流子的注入以及随后的复合而辐射发光。普通发光二极管的外形、符号及伏安特性如图 4 所示。LED 正向伏安特性曲线比较陡，在正向导通之前几乎有电流。当电压超过开启电压时，电流就急剧上升。因此，LED 属于电流控制型半导体器件。LED 亮度与外加电流密度有关，一般的 LED， J_0 （电流密度）增加亮度也近似增大。另外，亮度还与环境温度有关，环境温度升高， η_c （复合效率）下降，亮度减小。当环境温度不变，电流增大足以引起 pn 结结温升高，温升后，亮度呈饱和状态。

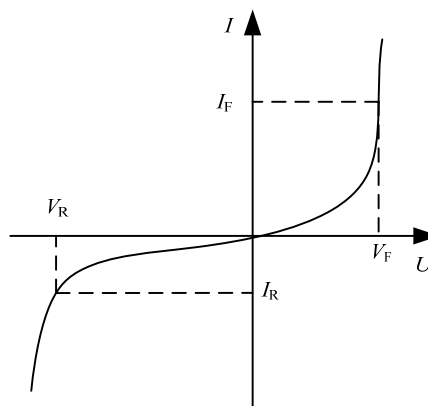


图 4 LED 的伏安特性

【实验仪器】

光源、光源电源、透镜 1: $f = 50 \text{ mm}$ 、透镜 2: $f = 70 \text{ mm}$ 、光敏电阻、硅光电池、稳压电源、数字万用表、取样电阻、负载电阻和照明灯等。

【注意事项】

1. 硅光电池

- 1) 硅光电池的反向电压不得超过 6 V；
- 2) 硅光电池的正向不得加电。

2. 光敏电阻

整个实验过程光敏电阻的实际功耗必须 $\leq 2/3$ 的最大功耗，请根据实际光照给出最大工作电压。

- 1) $\Phi 5$ （小）：最大功耗 100 mW

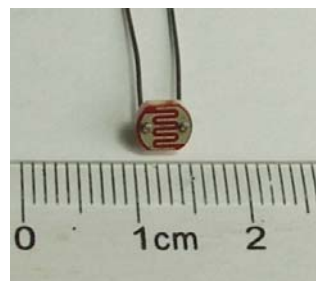


图 3 光敏电阻实物图

2) Φ_{12} (大) : 最大功耗 200 mW

3. 相对光强的验证

本次实验只能通过间接的方式获得光强, 如:

1) 实验过程是利用点光源的经验公式来获得相对光强的, 必须完成实验1, 验证给定光源是点光源;

2) 实验过程是利用改变驱动电流的方式来获得相对光强的, 必须完成实验2, 验证驱动电流与发射光强呈正比。

【实验内容】

1. 验证 LED 光源是点光源, 并给出点光源成立的条件;
2. 验证 LED 驱动电流与发射光强成正比, 并给出成立条件;
3. 观察光敏电阻的电阻特性;
4. 测量不同光照下光敏电阻的伏安特性;
5. 测量不同工作电压下光敏电阻的光照特性;
6. 观察硅光电池的光电特性;
7. 测量不同光照条件下硅光电池短路电流、开路电压与入射光照度的关系;
8. 测量不同光照条件下硅光电池的伏安特性。

【预习思考题】

1. 请画出不同测量内容的电路图并给出理由;
2. 实验过程中你准备如何改变光照。

【思考题】

1. 在利用数字万用表作为测量仪器时, 是否需要考虑万用表内阻, 为什么?
2. 请对自己的实验结果进行评定。