

实验九 硅光电池特性的研究

光电池是一种很重要的光电探测元件，它不需要外加电源而能直接把光能转换成电能。光电池的种类很多，常见的有硒，锗，硅，砷化镓等。其中最受重视的是硅光电池，因为它有一系列优点：性能稳定，光谱范围宽，频率特性好，转换效率高，能耐高温辐射等。同时，硅光电池的光谱灵敏度与人眼的灵敏度较为接近，所以很多分析仪器和测量仪器常用到它。本实验仅对硅光电池的基本特性和简单应用作初步的了解和研究。

【实验目的】

1. 研究硅光电池的主要参数和基本特性；
2. 利用硅光电池设计一项具体应用。

【实验原理】

1. 硅光电池的照度特性

硅光电池是属于一种有 PN 结的单结光电池。它由半导体硅中渗入一定的微量杂质而制成。当光照射在 PN 结上时，由光子所产生的电子与空穴将分别向 P 区和 N 区集结，使 PN 结两端产生光生电动势。这一现象称为光伏效应。

(1) 硅光电池的短路电流与照度关系

当光照射硅光电池时，将产生一个由 N 区流向 P 区的光生电流 I_{ph} ，同时由于 PN 结二极管的特性，存在正向二极管管电流 I_D ，此电流方向从 P 区到 N 区，与光生电流相反，因此实际获得电流 I 为

$$I = I_{ph} - I_D = I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{qV}{nk_B T}\right) - 1 \right] \quad (1)$$

式中 V 为结电压， I_0 为二极管反向饱和电流， I_{ph} 是与入射光的强度成正比的光生电流，其比例系数与负载电阻大小以及硅光电池的结构和材料特性有关。 n 为理想系数是表示 PN 结特性的参数，通常在 1-2 之间， q 为电子电荷， k_B 为波尔茨曼常数， T 为绝对温度。在一定照度下，当光电池被短路（负载电阻为零）， $V=0$ ，由（1）式可得到短路电流

$$I_{sc} = I_{ph} \quad (2)$$

硅光电池短路电流与照度特性见图 1。

(2) 硅光电池的开路电压与照度关系

当硅光电池的输出端开路时， $I=0$ ，由（1）与（2）式可得开路电压

$$V_{oc} = \frac{nk_B T}{q} \ln\left(\frac{I_{sc}}{I_0} + 1\right) \quad (3)$$

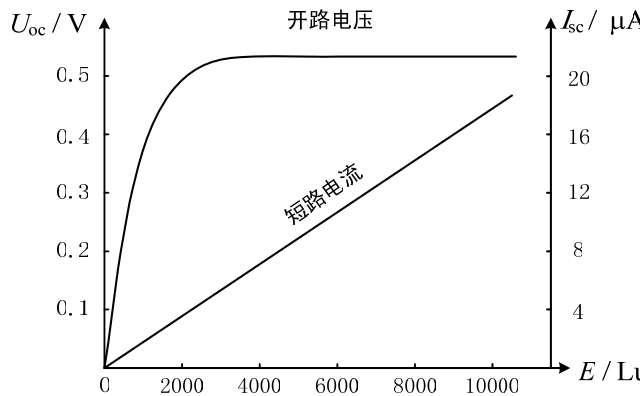


图1 硅光电池的光照特性曲线

硅光电池开路电压与照度特性见图1.

2. 硅光电池的伏安特性

当硅光电池接上负载 R 时, 硅光电池可以工作在反向偏置电压状态或无偏置电压状态. 它的伏安特性见图2. 图中可见, 硅光电池的伏安特性曲线由二个部分组成:

- (1) 反偏工作状态, 光电流与偏压、负载电阻几乎无关 (在很大的动态范围内);
- (2) 无偏工作状态, 光电二极管的光电流随负载电阻变化很大.

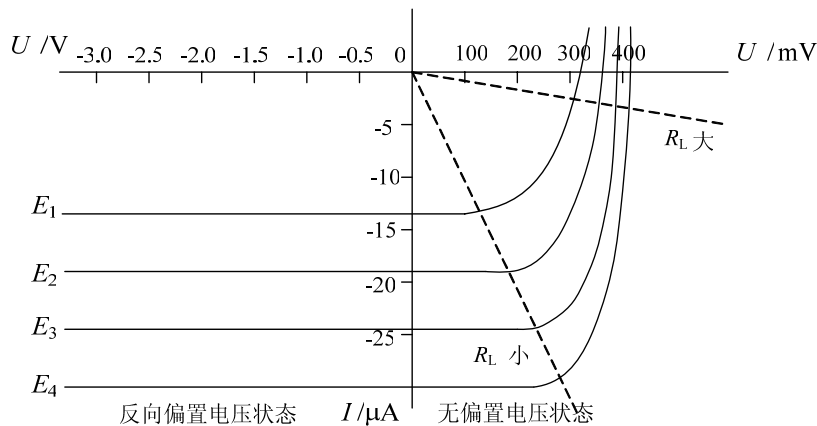


图2 硅光电池的伏安特性曲线

由图2可看到, 在一定光照下, 负载曲线在电流轴上的截距是短路电流 I_{ph} , 在电压轴上的截距即为开路电压 V_{oc} .

3. 硅光电池的光谱响应.

图3为硅光电池的光谱特性曲线. 即相对灵敏度 K_r 和入射光波长 λ 的关系曲线. 从图4中可看出, 硅光电池的有效范围约在 450—1100 nm 之间.

硅光电池的灵敏度 K 为

$$K(\lambda) = \frac{P(\lambda)}{\eta(\lambda)T(\lambda)\Delta\lambda} \quad (4)$$

其中:

(1) $P(\lambda)$ 为硅光电池测得的光强, 由硅光电池短路电流与照度的特性可以看出, 在较大的光照范围内, 其短路电流与照度成很好的线性关系, 故可通过测量硅光电池的短路电流表示此时的光强.

(2) 实验中所用光源为白色超亮发光二极管, 其光强 η 与波长 λ 关系可参见实验室提供的产品说明书.

(3) 实验室给出的各种波长滤色片的波长并不严格, 它有一定的宽度, 给出的仅仅是峰值. 表征宽度通常是用半带宽 $\Delta\lambda$ 表示, 滤色片的峰值透射率用 T 表示, 各个波长滤色片的 $\Delta\lambda$ 和 T 并不一致, 即使同一波长滤色片的峰值透射率在技术上也很难做到一致. 因此, 对每组实验仪器, 各波长滤色片对应的峰值透射率 T 及半带宽 $\Delta\lambda$ 已附在各组实验仪器上.

硅光电池的相对灵敏度 K_r 为

$$K_r(\lambda) = \frac{K(\lambda)}{K_m} \quad (5)$$

K_m 为不同波长对应 $K(\lambda)$ 的最大值

*4. 测量高锰酸钾溶液与透射光强的关系

当溶液的浓度较小时, 透射光强满足比尔定律

$$I = I_0 e^{-acx} \quad (6)$$

式中, c 为溶液的浓度, x 为液体厚度, a 为常数, I_0 溶度为零时的透射光强. 测量通过不同溶液的浓度的短路电流 I_{SC} , 作 $\lg(I_{SC})$ 随浓度 c 的关系曲线, 判断是否线性 (可用最小二乘法求相关系数).

【实验仪器】

硅光电池、光学导轨及支座附件, 白色超亮发光二极管, 聚光透镜, 数字万用表, 负载电阻 (多圈电位器: 100 k Ω), 滤色片, 偏振器, 照度计, 稳压电源, 取样电阻 (100 Ω), 分压电阻 R_1 (100 k Ω) 和 R (多圈电位器: 33 k Ω), 比色槽等.

【实验内容】

1. 研究硅光电池的照度 (光强) 特性, 用特性曲线表示结果.

(1) 测量硅光电池的短路电流与照度间的关系;

由于硅光电池的短路电流随照度的变化太大从而给测量带来了困难, 本实验采用测量取样电阻 (100 Ω) 上的电压来代替此时的短路电流.

(2) 测量硅光电池的开路电压与照度间的关系.

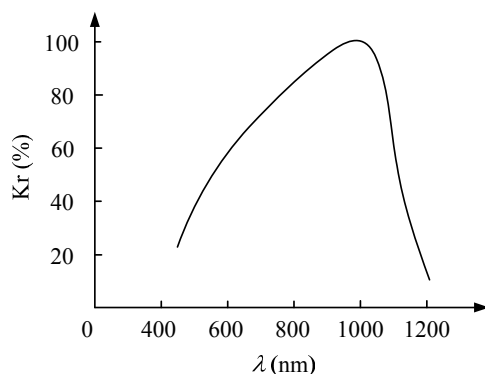


图3 硅光电池的光谱特性曲线

实验时通过改变硅光电池与光源间距离来改变照度，硅光电池的位置修正值由实验室提供；

测量时，请考虑测量数据分布的合理性。

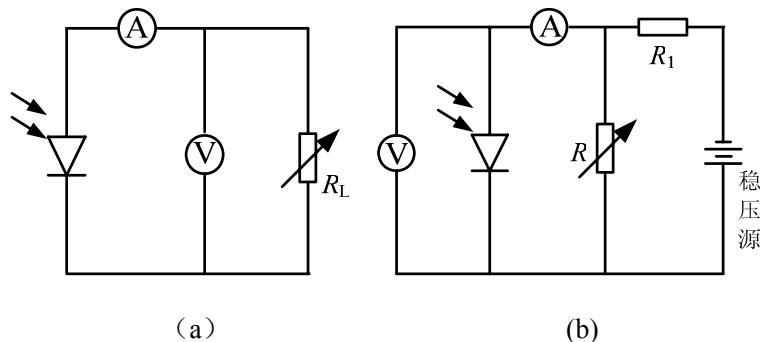


图 4 测量硅光电池伏安特性的接线图

2. 研究硅光电池的伏安特性

(1) 旋转偏振片使光照度最强

(2) 按图 4 (a) 电路，测量无偏压状态下的伏安特性曲线，实验点不少于 12 个（包括开路电压点）；

(3) 保持光照不变，按图 4 (b) 电路，测量反向偏压状态下伏安特性曲线，实验点不少于 12 个（小于 5 V）；

(4) 用短路线替换负载电阻，测出此时的短路电流。

(5) 通过偏振片改变光照度（偏振片旋转 15、30 和 45 度），重复上述测量。

3. 光谱特性：研究硅光电池对不同入射波长的响应

*2. 设计一项具体应用，并得出实验结果。

(1) 设计一个测量高锰酸钾溶液浓度与透射率关系的实验装置。

(2) 验证马吕斯定律（交叉偏振片透射光强与偏振轴交角的关系： $I = I_0 \cos^2 \theta$ ）

【注意事项】

切勿用手摸光学器件。若光学器件表面有沾污和灰尘，应请指导教师处理。

【预习思考题】

1. 为什么可以通过测量取样电阻的电压值得到此时的短路电流值？
2. 实验时光源的相对光强发生了变化，对测量结果有何影响？
3. 在利用图 4 (b) 测量硅光电池的反向偏压状态下伏安特性曲线时，如果稳压源接反会出现什么结果？
4. 图 4 (b) 中的 R 和 R_1 起什么作用？

【思考题】

1. 请利用硅光电池的伏安特性实验数据分析总结硅光电池的输出电阻与光照的关系。
2. 硅光电池的输出与入射光照射瞬间有没有滞后现象？可否用实验证明。