

# 硅光电池与太阳能电池板的特性

## 一、实验目的

- 1. 了解和研究硅光电池的主要参数和基本特性.
- 2. 测量太阳能电池板的负载特性及短路电流  $I_{sc}$ 、开路电压  $U_{oc}$  并计算最大输出功率  $p_m$  和填充因子 FF.

## 二、实验仪器

硅光电池，太阳能电池板，光学导轨及支座附件，光源，电源，光功率计，聚光透镜，5 个滤光片，多量程毫安表及伏特表，电阻箱，开关，一对偏振器等. 实验装置如图 1 所示.

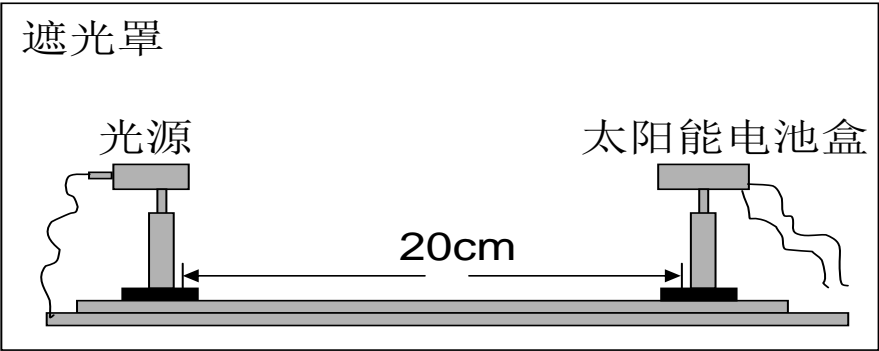


图 1

## 三、实验原理

太阳能是一种新能源，对太阳能的充分利用可以解决人类日趋增长的能源需求问题。目前，太阳能的利用主要集中在热能和发电两方面。利用太阳能发电目前有两种方法，一是利用热能产生蒸汽驱动发电机发电，二是太阳能电池。太阳能的利用和太阳能电池的特性研究是 21 世纪的热门课题，许多发达国家正投入大量人力物力对太阳能接收器进行研究。本实验通过对太阳能电池的电学性质和光学性质进行测量，联系科技开发实际，有一定的新颖性和实用价值。

硅光电池在没有光照时其特性可视为一个二极管，在没有光照时其正向偏压  $U$  与通过电流  $I$  的关系式为：

$$I = I_o (e^{\beta U} - 1), \quad (1)$$

(1) 式中， $I_o$  和  $\beta$  是常数。

由半导体理论，二极管主要是由能隙为  $E_c - E_v$  的半导体构成，如图 2 所示。  $E_c$  为半导体导电带， $E_v$  为半导体价电带。当入射光子能量大于能隙时，光子会被半导体吸收，产生电子和空穴对。电子和空穴对会分别受到二极管之内电场的影响而产生光电流。

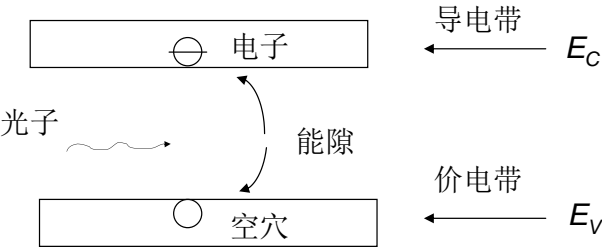


图 2

假设硅光电池的理论模型是由一理想电流源（光照产生光电流的电流源）、一个理想二极管、一个并联电阻  $R_{sh}$  与一个电阻  $R_s$  所组成，如图 3 所示.

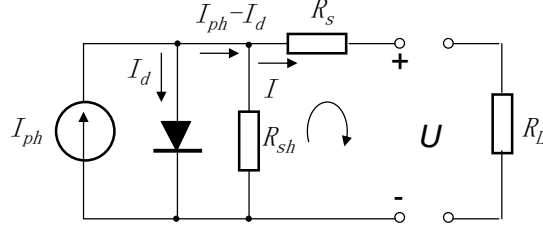


图 3

图 3 中,  $I_{ph}$  为硅光电池在光照时该等效电源输出电流,  $I_d$  为光照时, 通过硅光电池内部二极管的电流. 由基尔霍夫定律得:

$$IR_s + U - (I_{ph} - I_d - I)R_{sh} = 0, \quad (2)$$

(2) 式中,  $I$  为硅光电池的输出电流,  $U$  为输出电压. 由 (2) 式可得,

$$I(1 + \frac{R_s}{R_{sh}}) = I_{ph} - \frac{U}{R_{sh}} - I_d, \quad (3)$$

假定  $R_{sh} = \infty$  和  $R_s = 0$ , 硅光电池可简化为图 4 所示电路.

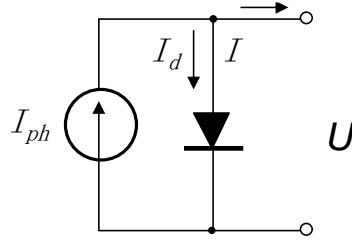


图 4

这里,  $I = I_{ph} - I_d = I_{ph} - I_0(e^{\beta U} - 1)$ .

在短路时,  $U=0$ ,  $I_{ph} = I_{sc}$ ;

而在开路时,  $I=0$ ,  $I_{sc} - I_0(e^{\beta U_{oc}} - 1) = 0$ ;

$$\therefore U_{oc} = \frac{1}{\beta} \ln[\frac{I_{sc}}{I_0} + 1], \quad (4)$$

(4) 式即为在  $R_{sh} = \infty$  和  $R_s = 0$  的情况下, 硅光电池的开路电压  $U_{oc}$  和短路电流  $I_{sc}$  的关

系式. 其中  $U_{oc}$  为开路电压,  $I_{sc}$  为短路电流, 而  $I_0$ 、 $\beta$  是常数. 可看出开路电压  $U_{oc}$  与

短路电流  $I_{sc}$  满足对数关系，如果  $I_{sc}$  与光照强度有线性关系，则  $U_{oc}$  与光照强度也满足对数关系。

硅光电池一大用途就是制成太阳能电池板来发电，太阳能电池板是由多个硅晶片根据功率大小串联和并联组合制成的，所以太阳能电池板的原理与硅光电池一样，由于二极管的分流作用，负载电阻越大，太阳能电池板的输出电流越小，实验可以证明这时输出电压却越大。因此，在入射光能量不变化的情况下，要从光电池获取最大功率，负载电阻要取恰当的值。其中太阳能电池板的填充因子

$$FF = \frac{P_m}{(I_{sc} U_{oc})} \tag{5}$$

填充因子是代表太阳能电池性能优劣的一个重要参数。

#### 四、 实验内容

1. 在没有光源的条件下，测量硅光电池正向偏压时的伏安特性(直流偏压从 0 - 5.0V).
  - a、伏安特性即  $I-U$  关系，图 5 为实验原理图，根据原理图连接好线路。
  - b、按照数据表 1，利用测得的正向偏压时  $I-U$  关系数据，画出  $\ln I - U$  曲线并求得常数  $\beta$  和  $I_0$  的值（利用条件  $I \gg I_0$ ）。

表 1

U(V)	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
I											

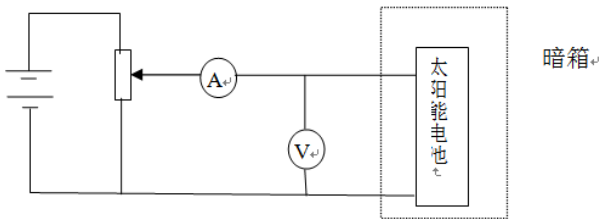


图 5

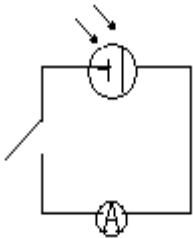


图 6

#### 2. 测量光电池的光照特性

测量短路电流  $I_{sc}$  与光电池上的相对光照强度的变化关系。在光电池的线性响应范围内，光电流与入射光强度成正比，这是光电池作为光电检测元件被广泛应用的重要原因。

- a、取离白光源 20cm 水平距离处的光强作为标准光照强度，用光功率计测量该处的光照强度  $J_0$ ，依次改变太阳能电池到光源的距离  $x$ ，用光功率计测量  $x$  处的光照强度  $J$ 。
- b、依次改变电池板到光源的距离，分别测量此处的短路电流  $I_{sc}$  的值和开路电压  $U_{oc}$  的值并填入表 2，其中电路原理图如图 6 所示。

描绘  $I_{sc}$  和相对光强度  $J/J_0$  之间的关系曲线, 求  $I_{sc}$  和与相对光强  $J/J_0$  之间近似关系函数.

表 2

X/cm	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56
J										
$J/J_0$										
$I_{sc}/\text{mA}$										
$U_{oc}/\text{V}$										

3. 测量太阳能电池板的负载特性

测量光照情况下, 太阳能电池板距离光源 20cm 处的输出电压和输出电流与负载电阻的关系 (填表 3)。其中电路原理图如图 7 所示, 根据表 4, 画出在有负载的情况下输出电压和电流之间的关系, 并画出负载电阻与输出功率的关系; 确定太阳能电池板的最大输出功率  $p_m$  以及最大输出功率时的负载电阻  $R_e$  (最佳匹配电阻)。

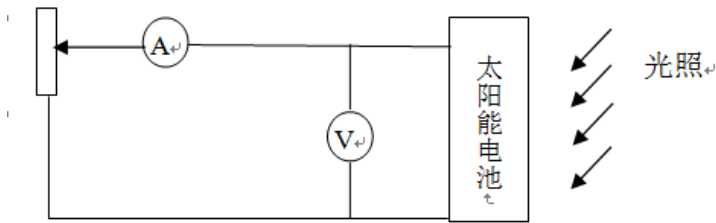


图 7

表 3

$R_n/\Omega$	R1	R2	R3	R4	...	R11	...	R18	R19	R20
	0	100	300	400	...	700	...	2000	5000	20000
U/V					...		...			
I/mA					...		...			

4. 填充因子 (Full Factor) FF

5. 填充因子表示最大输出功率  $I_M U_M$  与极限输出功率  $I_{sc} U_{oc}$  之比, 通常以 FF 表示, 即:

$$FF = I_M U_M / I_{sc} U_{oc}$$

填充因子是表征太阳电池优劣的重要参数之一. 填充因子愈大, 太阳电池性能就愈好.

#### 6. 光电转换效率:

光电转换效率是太阳电池性能优劣的最重要判据,常以  $\eta$  表示,一般定义为太阳电池最大输出功率和照射到太阳电池上的入射功率之比,即:

$$\eta = I_M U_M / P_{in}$$

其中  $I_M U_M$  为最大功率点的电流和电压,而  $P_{in}$  为入射光的功率.

### 五、 思考题

1. 严格地说,本实验得出的光电池光谱特性并不能准确描述光电池对入射光中各频率分量的响应特性,或者说,这样得出的光谱特性,还包含了其他因素的影响,这些影响因素是什么呢?
2. 硅光电池除了用于太阳能发电外还是一种半导体元件,人们在研究半导体元件的外特性时,通常要研究它们的温度特性和对信号的频率响应.不限于本实验器材,你有什么方案测量以上两种特性?
3. 用太阳能电池板设计一电路,使太阳能电池板白天在太阳光下给蓄电池充电,而晚上蓄电池可以供灯泡发光,并且蓄电池的电流不会倒流回太阳能电池板。