

太阳能电池基本特性测定

太阳能的利用和太阳能电池特性研究是 21 世纪新型能源开发的重点课题。目前硅太阳能电池应用领域除人造卫星和宇宙飞船外，已应用于许多民用领域：如太阳能汽车、太阳能游艇、太阳能收音机、太阳能计算机、太阳能乡村电站等。太阳能是一种清洁、“绿色”能源，因此，世界各国十分重视对太阳能电池的研究和利用。太阳能电池能够吸收光的能量，并将所吸收的光子能量转换为电能。本实验的目的主要是探讨太阳能电池的基本特性。

【实验目的】

1. 提高学生对太阳能电池的特性的认识.
2. 学习研究太阳能电池的基本光电特性.
3. 学会电学与光学的一些重要实验方法及数据处理方法.

【实验原理】

太阳能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 β 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 1 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。

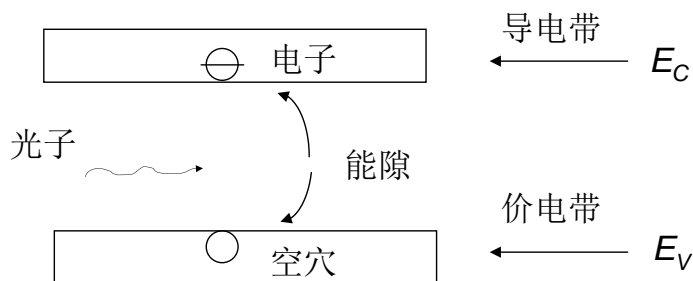


图 1

假设太阳能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 2 所示。

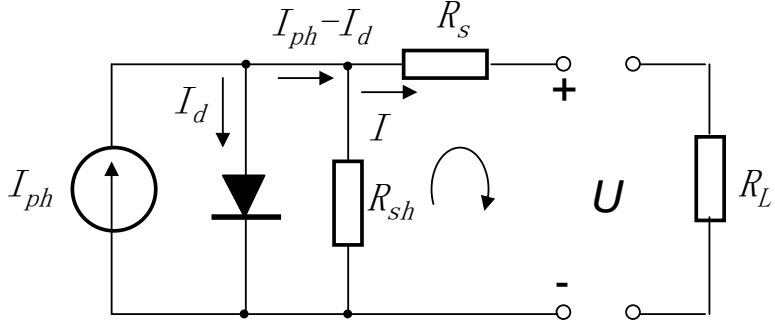


图 2

图 2 中， I_{ph} 为太阳能电池在光照时该等效电源输出电流， I_d 为光照时通过太阳能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 为太阳能电池的输出电流， U 为输出电压。由 (1) 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 $R_s = 0$ ，太阳能电池可简化为图 3 所示电路。

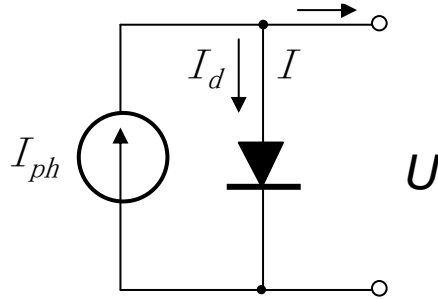


图 3

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

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

(4) 式即为在 $R_{sh} = \infty$ 和 $R_s = 0$ 的情况下，太阳能电池的开路电压 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 、 β 是常数。

当无光照时，太阳能电池相当于一个二极管。由 $\frac{I}{I_0} = e^{\beta U} - 1$ ，当 U 较大时， $e^{\beta U} \gg 1$ ，即

$\ln I = \beta U + \ln I_0$ ；有光照时，太阳能电池通过光电效应把光能转换为电能，相当于电源作用。研究太阳能电池基本特性时，可以利用等效思想把暗伏安特性和明伏安特性对应的电路图画出来。图 4 为暗伏安特性测试电路接线图，图 5 为明伏安特性测试电路接线图。请做实验时按图示接线。请注意接线时的正负极情况，尤其要注意两种特性的电流表正负极接法的不同（不同电流的方向）。

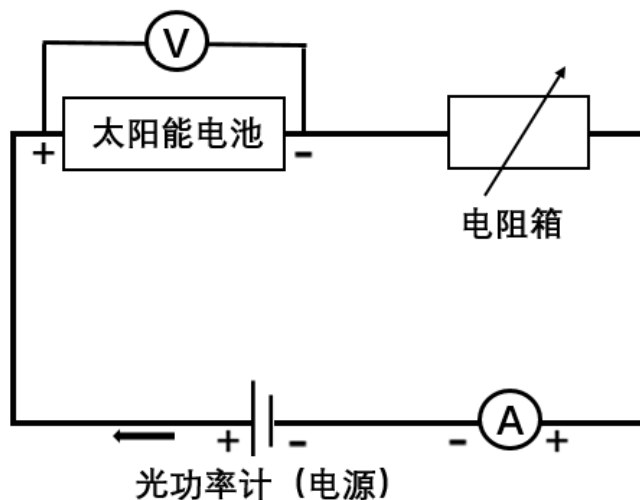


图 4

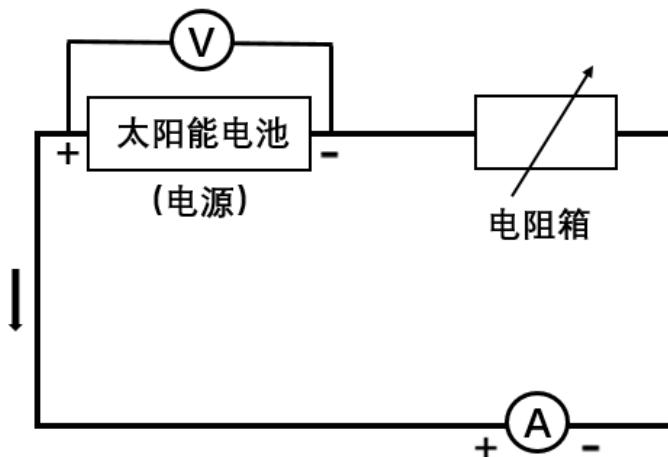


图 5

【实验装置】

光具座及滑块座、具有引出接线的盒装太阳能电池、数字电压表、数字电流表、电阻箱、白光源（射灯结构，功率 40W）、光功率计（充当 3V 直流稳压电源使用）、导线若干、遮光罩 1 个。

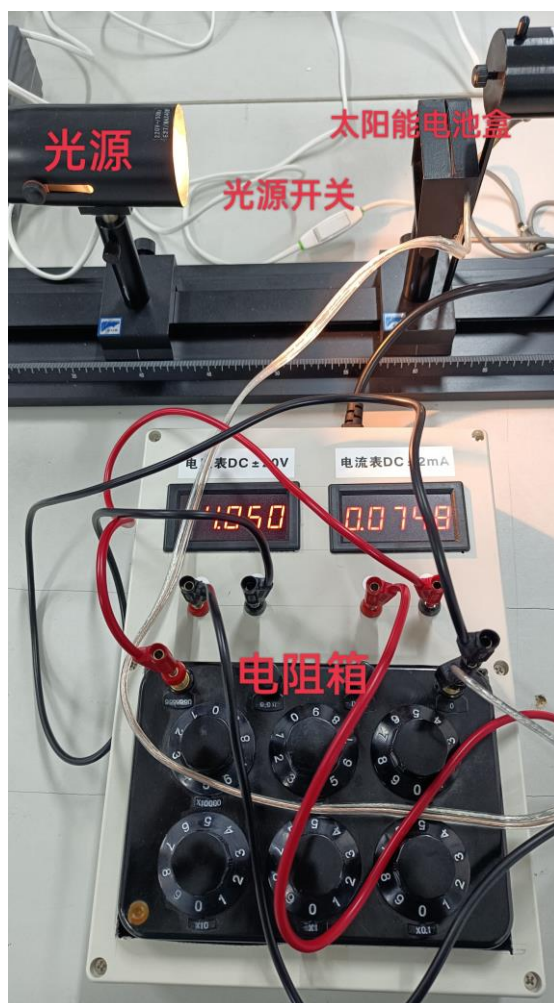


图 6 实验装置图

【实验内容与步骤】

1. 按图 4 连线，在没有光源（全黑）的条件下，测量太阳能电池正向偏压时的伏安特性（正偏暗伏安特性）。测量电池在不同负载电阻下正向偏压时 $I-U$ 关系数据，绘制 $\ln I-U$ 曲线并求出常数 β 值。注意此时电池电压与电阻箱电压之和为光功率计（相当于电源）提供的约 3V 电压。
2. 按图 5 连线，在不加偏压时（零偏），用白色光源照射，测量太阳能电池的零偏明伏安特性。注意此时光源到太阳能电池距离保持为 20cm。
- （1）测量电池在不同负载电阻下 I 对 U 变化关系，绘制 $I-U$ 曲线图。
- （2）用外推法得出短路电流 I_{sc} 和开路电压 U_{oc} 。
- （3）计算太阳能电池的最大输出功率 P_{max} ，写出最大输出功率时对应的负载电阻 R_{max} 。
- （4）计算填充因子 $FF = \frac{P_{max}}{(I_{sc} \cdot U_{oc})}$ 。

【原始数据表格】

表 1 正偏暗伏安特性数据

电阻箱电阻（KΩ）	电池电压（V）	电阻箱电压（V）	电路电流（μA）	对数 $\ln I$ （μA）
0				
2				
4				
6				
8				
10				
14				
22				
30				
38				
46				
54				

备注：对数 $\ln I$ 保留三位有效数字。

表 2 零偏明伏安特性数据 1

电阻箱电阻 (K Ω)	电池电压 (V)	电路电流 (mA)	功率 (mW)
0.1			
0.4			
1.6			
3.0			
4.0			
5.0			
6.0			
7.0			
8.0			
9.0			
10			
20			
30			
40			
50			
60			
70			
80			
90			
99			
99.99			

备注：计算得出的功率保留四位有效数字。

【数据处理】

1. 根据表 1 正偏暗伏安特性数据绘制 $\ln I-U$ 曲线，并求出常数 β 值（保留三位有效数字）。
2. 根据表 2 零偏明伏安特性数据完成以下内容：
 - （1）测量电池在不同负载电阻下 I 对 U 变化关系，绘制 $I-U$ 曲线图。
 - （2）用外推法得出短路电流 I_{sc} 和开路电压 U_{oc} （保留四位有效数字）。
 - （3）计算太阳能电池的最大输出功率 P_{max} ，写出最大输出功率时对应的负载电阻 R_{max} 。
 - （4）计算填充因子 $FF = \frac{P_{max}}{(I_{sc} \cdot U_{oc})}$ 。

备注：写出计算填充因子 $FF = \frac{P_{max}}{(I_{sc} \cdot U_{oc})}$ 过程，FF 保留三位有效数字。

表 3 零偏明伏安特性数据 2

Isc (mA)	Uoc (V)	Isc* Uoc (mW)	Pmax (mW)	Rmax (KΩ)	填充 因子 FF

提示：因为原始数据较多，建议把实验报告的原始数据和数据处理位置对换。