

2010 年北京市
大学生物理实验竞赛
项目说明

参赛学校 北京邮电大学

参赛题目 太阳能电池性能测试装置

组队负责人 魏宇星

组队成员 张健男 刘平洋

北京市大学生物理实验竞赛组委会制

2010 年 6 月

参赛题目	太阳能电池性能测试装置			
负责人姓名	性别	出生年月	专业	年级
魏宇星	女	1990.11	信息工程	三年级
手机, email	13811626314、 wyx006@gmail.com			
队员姓名	性别	出生年月	专业	年级
张健男	男	1989.4	信息工程	三年级
刘平洋	女	1990.1	通信工程	三年级

一 设计原理与方法

本系统采用了补偿法的思想以及使用了模拟负载对太阳能电池的多个参数进行测量。通过单片机控制液晶屏、LED 灯、模拟负载等，实现数据的自动测量以及数据的处理和显示功能。

1. 实验原理：

(1) 太阳能电池等效模型分析：

当一定频率的光子 ($h\nu$) 照射到半导体材料的表面时，光子会被材料内部的电子所吸收，使电子的能量状态发生变化。如果光子的能量大于电子的束缚能，吸收光子能量的电子（称为光电子）可挣脱原子的束缚而溢出材料表面，这种现象称为光电效应。如果光子的能量小于束缚能，但大于半导体材料的禁带宽度，则电子吸收光子的能量后，能够从价带跃迁到导带成为载流子，这种现象称为内光电效应。太阳能电池就是利用半导体材料的内光电效应而制成的。

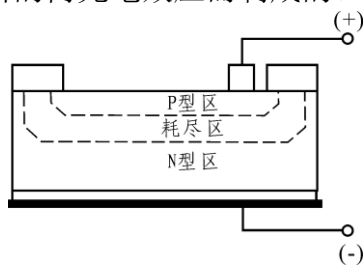


图1 光电池结构示意图

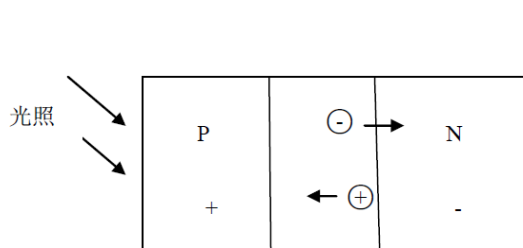


图2 PN结光生伏特示意

光电池的结构主要是一个PN结，如图1所示。当光照射到P型层的外表面时，光子可以透过P区进入N区。当光子的能量大于硅的禁带宽度时，价带电子就可以吸收光子的能量跃迁到导带，形成自由电子，产生自由电子-空穴对，在内电场 E 的作用下，电子被推向N区，空穴被推向P区，从而产生P正N负的电动势，如图2所示，称为光生伏特效应。若接入负载，只要有光不断照射，电路中就有持续电流通过，从而实现光

电转换。

在没有光照时，太阳能电池可视为一个二极管，其正向偏压 U_d 与通过电流 I_d 的关系为：

$$I_d = I_{sat} e^{\left[\frac{qU_d}{kT} - 1\right]} \quad (1)$$

在有光照时，太阳能电池的特性比较复杂，可简单看作是由一理想电流源（光生电流）、一个二极管、一个并联内阻 R_{sh} 和一个串联内阻 R_s 所组成，如图3所示。

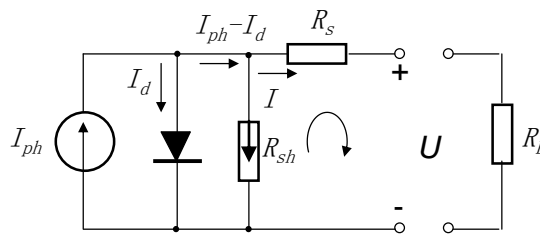


图3 太阳能电池等效模型

(2) 太阳电池的重要参数

太阳能电池的主要应用就是电源，因此与其主要的参数都和输出功率有关。

a. 开路电压 U_{oc} ：太阳能电池不接负载时的输出电压。

b. 短路电流 I_{sc} ：负载为0时太阳能电池的输出电流。

c. 最大输出功率 P_m ：在光强等其它条件不变的情况下，太阳能电池的输出功率与负载大小有关，且存在一个最佳负载 R_b ，使太阳能电池的输出功率达到最大值 P_m 。

d. 填充因子 FF ：最大输出功率与开路电压和短路电流乘积之比。是衡量太阳能电池输出特性的重要指标，其值越大表示太阳能电池的转换效率越高。

$$FF = \frac{P_m}{U_{oc} \times I_{sc}} \quad (2)$$

e. 串联内阻 R_s ：图3中等效串联内阻。串联内阻是影响转换效率的主要因素，与其材料、PN结和电极接触的性质有关。

2. 测量方法

为了实现自动测量，我们采用了一个有源模拟负载，其电阻大小可以通过单片机编程来控制。同时，为了测量输出电流，我们在电路中增加了一个取样电阻，如图4所示。同时测量 U_{AB} 和 U_{AC} ，就可以得到光电池的输出电压和输出电流。

控制模拟负载B点的电压为0时，测得的电流就是负载电阻为1欧时的工作电流，基本可以看作是短路电流。逐渐增加B点的电压，当 U_{AB} 等于0时，表明输出电流为0，

此时的 U_{AC} 就是开路电压。

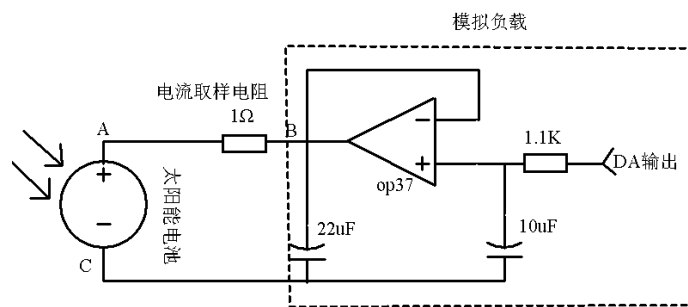


图4 测量电路图

同时，通过输出电压和输出电流就可以计算光电池的输出功率，利用单片机的计算功能，可以得到功率-负载曲线并计算出最佳负载。

二 实验仪器与装置

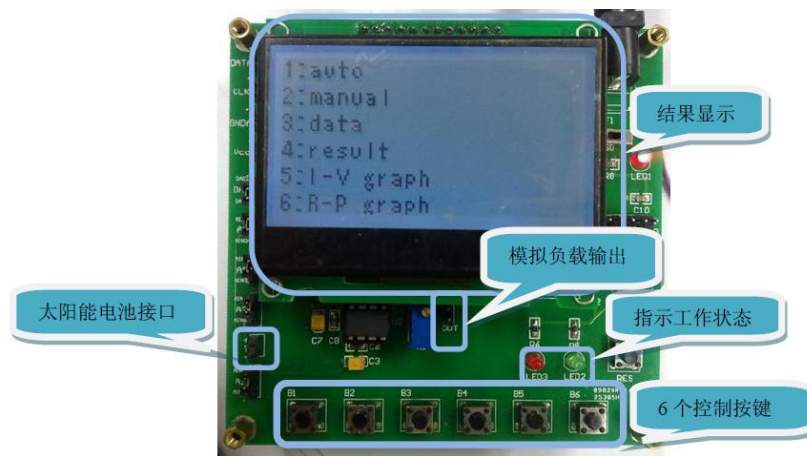


图5 实验装置

该装置完成了对太阳能电池的伏安特性、开路电压、短路电流、最大输出功率、填充因子等基本参数的自动测试。测试装置的核心是C8051F020单片机，外围电路仅由一个低噪声运放，一些滤波电路以及一个采样电阻构成。测试分为自动测量和手动测量两个方面，功能菜单选择由6个独立按键实现。

三 数据测量与分析

1. 开路电压和短路电流的测量

用白炽灯直接照射光电池，调节白炽灯的亮度，用照度计测量光强，采用图4的电路测量开路电压和短路电流，结果如下图所示。

从图6(a)中可以看出，当光强增大时，开路电压迅速上升。当光强足够大时，

开路电压基本稳定在 0.58V 附近。

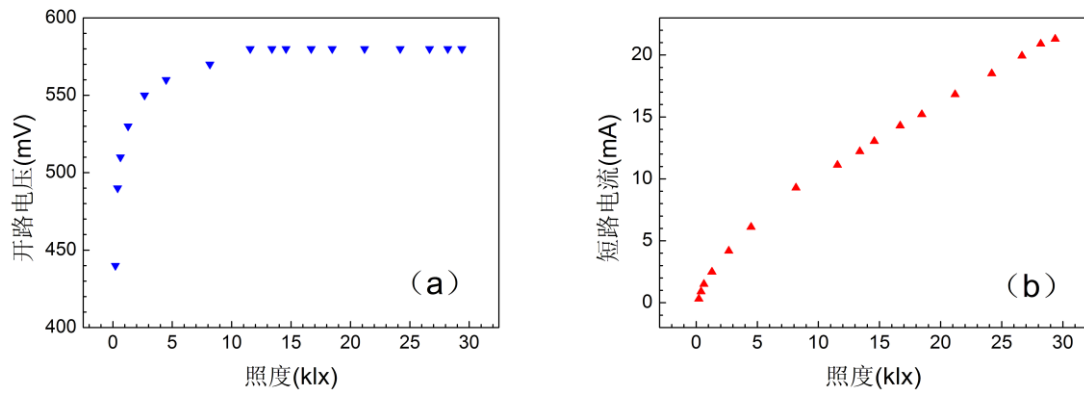


图 6 开路电压 (a) 和短路电流 (b) 与光强的关系

太阳能电池的短路电流与光强基本成线性关系。照度较小时的非线性关系，可能是由于白炽灯发出的红外线的影响所致。

2. 输出电压、输出电流与负载的关系。

在光强和其它参数不变的情况下，改变负载的大小，测量光电池的输出电压和输出电流，实验结果如图所示。

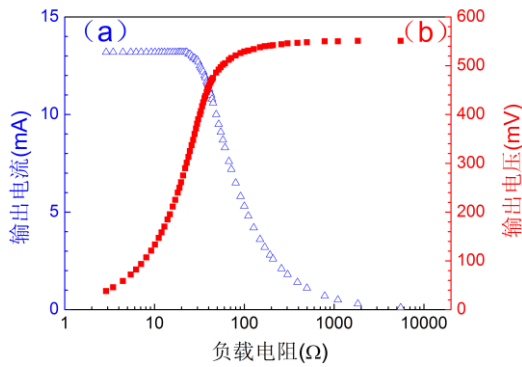


图 7 输出电流 (a)、输出电压 (b) 与负载关系曲线

为了解释这两条曲线，我们考虑图 3 的等效模型。

当外接负载较大时，由于二极管的稳压作用，导致光电池的开路电压保持为常数，此时，光电池及二极管可等效看作一个恒压源（电压为开路电压 U_{oc} ），输出电压 U 与输出电流 I 满足如下关系，

$$U_{oc} = U + IR_S \quad (3)$$

当外接负载较小时，二极管两端的电压较小，不导通，输出电流基本等于短路电流，

此时的光电池可看作是一个恒流源(电流为 I_{SC})。由此可见,在测量光电池的短路电流时,只要输出电压小于二极管的导通电压,测量的工作电流就基本等于短路电流,负载电阻的大小不会影响测量。

3. 串联内阻的测量

由上述分析可知,当外接负载较大时,输出电压和输出电流满足公式(3),即,

$$U = U_{oc} - IR_S \quad (4)$$

可以看出,此时输出电压和输出电流成线性关系,由此可计算串联内阻。我们取电流在1-5mA之间的数据可以看出,输出电压与电流基本呈线性关系,拟合曲线可得开路电压和串联内阻, $U_{OC} = 553.8mV$, $R_S = 4.584\Omega$ 。

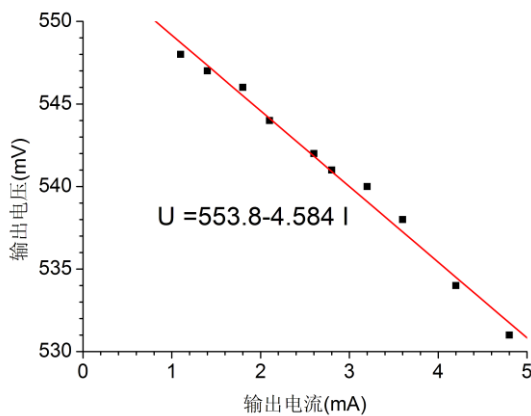


图8 输出电压-输出电流关系曲线

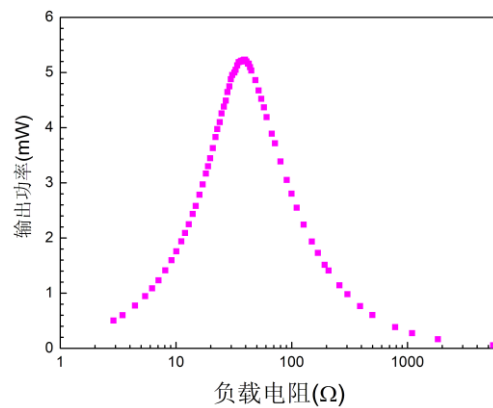


图9 输出功率与负载关系曲线

4. 输出功率与负载的关系。

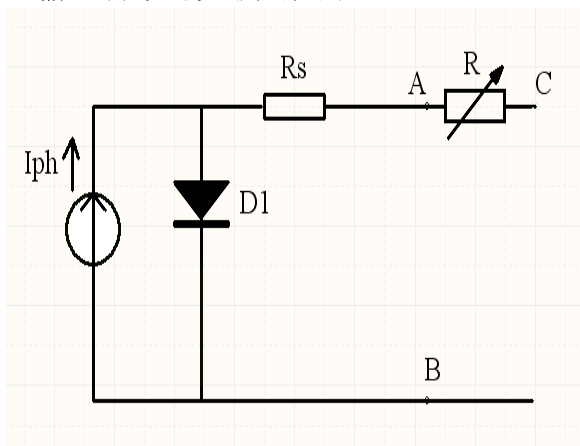


图10 光电池串联内阻对输出功率影响测试电路

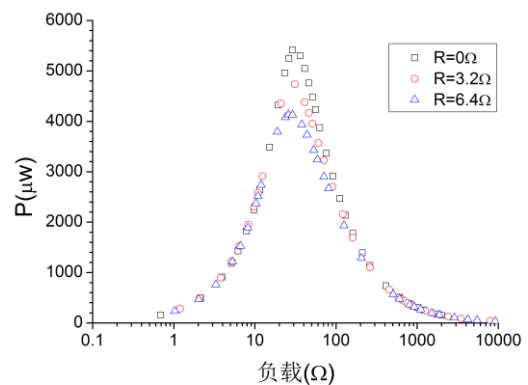


图11 不同内阻对输出功率的影响

由测量的输出电压和输出电流的数据计算输出功率和负载电阻大小。输出功率-负载曲线如图9所示。由图可知,最佳负载约为30欧姆。

5. 光电池串联内阻对输出功率的影响

为了模拟不同内阻的光电池，我们在在光电池外再串联一个电阻 R ，通过改变 R 的阻值来调节光电池的内阻，图 10 为测量电路，B、C 两点等效作为太阳能电池的输出端。则此时的太阳能电池等效串联内阻为 $R_s + R$ ，实验结果见图 11。

从图 11 可得光电池串联内阻越小最大输出功率越大，电池的转换效率越高。

6. 串并联对太阳能电池的影响。

将几个光电池串联起来，短路电流基本不变，开路电压为光电池的开路电压之和。对于并联电路，开路电压基本不变，短路电流为光电池的短路电流之和。可认为有如下的等效模型：

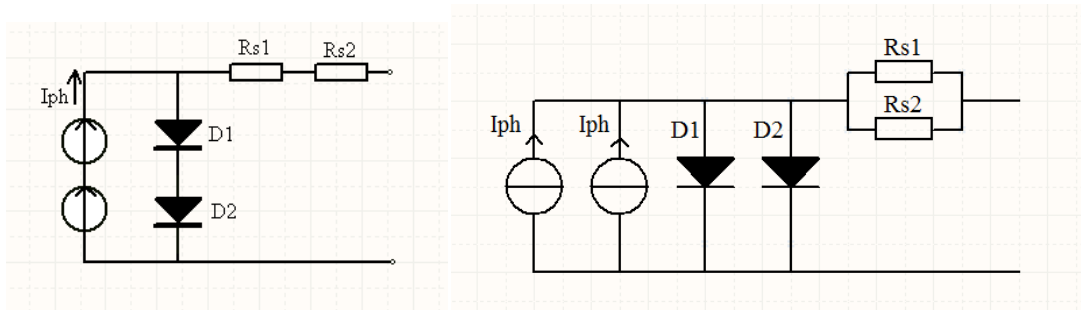


图 12 两个太阳能电池串联（左）、并联（右）等效模型

串联电路输出功率与负载的关系

两个硅光电池串联后的输出功率与负载的关系与单个硅光电池的类似，但最佳负载电阻变大，最大输出功率为两个个硅光电池最大输出功率相加。

并联电路输出功率与负载的关系

两个硅光电池并联后的输出功率与负载的关系也与单个硅光电池的类似，但最佳负载电阻变小，最大输出功率为两个个硅光电池最大输出功率相加（但会略小于电池串联后的最大输出功率）。

四 实用装置

该实用装置为适合野外使用的多功能装置，包括照明灯、多功能充电器等，全部采用太阳能电池板为蓄电池充电。装置采用容量为 2000mAH 的锂聚合物电池作为蓄电池，可供照明使用 20 小时以上。电池正负极通过保护电路充放电，保护电路可以防止电池过充，过放以及放电电流过大。

五 结论

通过数据修正,数据拟合等方法对补偿法原理的深刻理解和灵活运用可以很好提高测试装置的可靠性。数据处理采用的方法对结果的可靠性也有一定的影响。

六 制作成本

器件	价格(元)	器件	价格(元)
硅光电池*3	40	太阳能电池板*2	30
LM2662*2	11	LM1084*2	5
CN3063	3	C8051F020	25
灯泡	4	其他电子元件	10
锂电池*2	80	制板	200
ASM1117	0.4		
合计(元)		408.4	