

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 硅光电池特性测试及实用装置制作

组队负责人 王定东

组队成员 徐立人、李俊

北京市大学生物理实验竞赛组委会制

2010 年 6 月

参赛题目	硅光电池特性测试及实用装置制作			
负责人姓名	性别	出生年月	专业	年级
王定东	男	1988/12/01	电子商务与法律	3
手机, email	13581574228, liulanx.a@gmail.com			
队员姓名	性别	出生年月	专业	年级
李俊	男	1989/12/08	通信工程	3
徐立人	男	1990/04/23	通信工程	3

设计原理与方法

1. 太阳能电池性能测试

1.1. 原理与方法

硅光太阳能电池的主要结构为 PN 结。理想 PN 结的电流和电压关系为：

$$I_d = I_0 \left(e^{\frac{U_e}{nkT}} - 1 \right)$$

I_0 是无光照时的反向饱和电流， U 是结电压， e 是电子电荷， k 是玻尔兹曼常量， T 表示热力学温度。

当光照射在太阳能电池表面的 PN 结上时，只要入射光子的能量大于半导体材料的禁带宽度，则光子将被太阳能电池吸收而产生电子空穴对。以恒定速率产生的电子空穴对提供了通过结的电流。太阳能电池输出的净电流 I 是光生电流 I_{Ph} 和两极管电流 I_d 之差，净电流 I 由下式给出

$$I = I_{Ph} - I_0 \left(e^{\frac{U_e}{nkT}} - 1 \right)$$

1.1.1. 开路电压 U_{OC}

开路电压 U_{OC} 就是将太阳能电池置于标准光照条件下，当输出端开路（即上式 $I = 0$ 时），太阳能电池两端的输出电压即为开路电压。可用电压表直接测量太阳能电池的开路电压。把太阳能电池置于不同照度条件下，可得到开路电压随光照强度的变化规律。

1.1.2. 短路电流 I_{SC}

短路电流 I_{SC} 就是将太阳能电池置于标准光照条件下，在输出端短路（即上式 $U_e = 0$ 时，所以 $I_{SC} = I_{Ph}$ ），流过太阳能电池两端的电流，可用小阻值电流表直接测量。把太阳能电池置于不同照度条件下，可得到短路电流随光照强度的变化规律。

1.1.3. 最大输出功率 P_m

太阳能电池的工作电压和电流是随负载电阻而变化的，测量得到不同阻值负载电阻

所对应的工作电压和电流值，原理框图如下图，进而可得到输出功率（工作电压乘以电流）随负载的变化曲线。曲线的最高点对应的即为最大输出功率以及此时的负载大小。

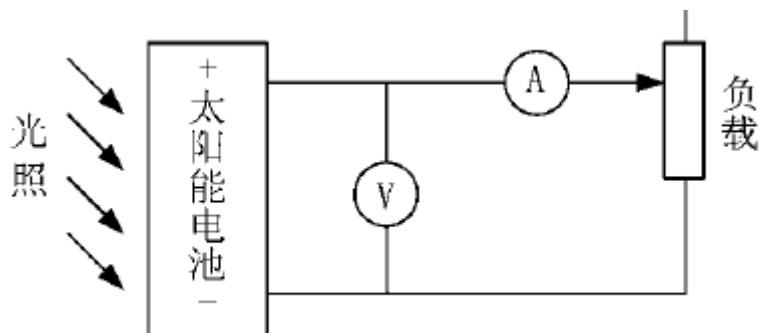


图 1 测量电路

1. 1. 4. 填充因子FF

填充因子是衡量太阳能电池性能还坏的重要物理量。定义为最大输出功率与开路电压和短路电流乘积之比，即

$$FF = \frac{P_m}{U_{OC}I_{SC}}$$

其值代表太阳能电池在带最佳负载时，能输出的最大功率的特性，其值越大表示太阳能电池的输出功率越大。填充因子可由上述已测值计算得出。

1. 1. 5. 转换效率G

太阳能电池的转换效率指在外部回路上连接最佳负载电阻时的最大能量转换效率，等于太阳能电池的输出功率与入射到太阳能电池表面的能量之比：

$$G = \frac{P_m}{P_{in}} = \frac{FF \times U_{OC} \times I_{SC}}{P_{in}}$$

测量时选择标准测试条件（入射光照度为 $1000W/m^2$ ）标准。另外需要测量出太阳能电池的面积尺寸，进而得到入射功率，再加上已测量的FF、 U_{OC} 、 I_{SC} ，即可计算出转换效率G。

1. 1. 6. 串联电阻 R_S

串联电阻是衡量太阳能电池的重要参数，其大小直接影响电池的输出电流。可利用 Picciano 提出的最大功率点法计算得出。具体公式如下：

$$R_S = \frac{V_m}{I_m} - \frac{1}{B(I_{Ph}-I_m)}, \text{ 其中 } B = \frac{I_m + \ln(I_{Ph}-I_m)}{I_{Ph} - 2V_m - V_{OC}}。$$

1. 1. 7. 光谱响应

在相同照度下，分别用不同频率的红、黄、绿、蓝照射太阳能电池，测量并计算硅

光电池灵敏度 K 。

硅光电池灵敏度 $K = \text{硅光电池响应光强 } P / \text{发射功率 } W$

其中， $P = xI$ ， I 为感应电流， x 为比例系数， $W = \text{光通量 } F / \text{可见光相对视敏函数值 } V$)，分析太阳能电池在不同种类的光照射条件下的特性。

1. 1. 8. 无光照时的伏安特性曲线

将太阳能电池放入黑暗环境中，测量无光条件下太阳能电池板在正向偏压下的伏安特性，并将得到的数据绘成伏安特性曲线。

1. 2. 实现自动测量

使用单片机电路采集实验中待测的电压信号(电流信号转化为电压信号后再通过单片机怎么转化，提高精度)，将得到的数据通过串口通讯方式传输到 PC 机上，使用 VC 编程实现数据的直观显示，并自动绘出所需曲线。

2. 实用装置——智能百叶窗

2. 1. 设计概述

本装置以硅光太阳能电池为基本原件。将轻便的薄膜太阳能电池粘贴于普通百叶窗之上，用以接收太阳能。用小块太阳能电池作为传感器，测定当前的照度，并和当前的温度信号以及时间(由时间换算出大致的太阳入射角)一起送给单片机。每隔一段时间，单片机在分析照度和温度之后，控制电机转动，以控制百叶窗升降、调节叶片角度，使室内达到最好的采光效果同时保持事宜的室温。另外，加入显示模块和无线遥控模块方便智能百叶窗的使用。整个系统均由太阳能电池供电，将多余能量存入蓄电池，可供 LED 灯实用。光照条件欠佳导致供电不足时，系统可切换至市电供电模式。

2. 2. 实现功能

- 1) 将百叶窗上的太阳能电池产生的电能存入蓄电池。
- 2) 百叶窗的升降及窗叶角度调控由照度和温度信号控制，以获得适宜的采光以及温度。
- 3) 显示当前的照度和温度。
- 4) 实现无线遥控，方便远距离使用。

实验仪器与装置

1. 实验仪器：硅光太阳能电池板，单片机，PC，电路板，LED 灯，照灯，短导轨，变阻器，蓄电池，温湿度传感器，百叶窗等。待完善
2. 太阳能电池性能测试装置示意图

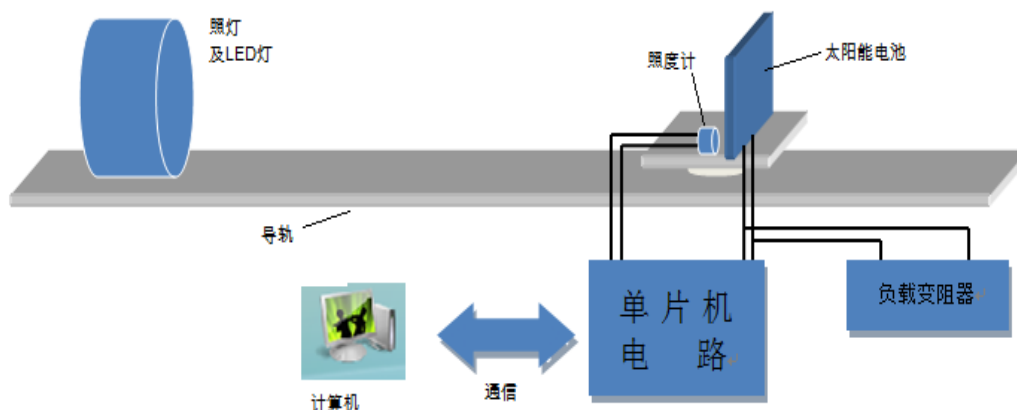


图 2 测试装置示意图

3. 智能百叶窗

照度传感模块：

将小型太阳能电池作为传感器件，通过如下图所示的电路实现电流到电压的线性转换，再将输出电压直接送给单片机处理即可。

创新点

1. 太阳能电池性能测试

- 1) 使用单片机，同时配合上 C 语言编程，实现自动测量，并可以直观显示数据图，方便数据的存储。
- 2) 自动测量时，电流的测量没有使用取样电阻的方法，而是采取了更高精度的什么方法
- 3) 能够简单实现太阳能电池的光谱响应测试。

2. 实用装置

- 1) 系统可全部采用太阳能电池供电，节能环保。
- 2) 不仅将硅光太阳能电池当成能量转换装置，还将其当作传感器检测环境照度。
- 3) 无线遥控模块使远程控制成为可能，让使用者更加方便地操作整个系统。

数据测量与分析

1. 太阳能电池特性测试

1.1. 开路电压

开路电压-照度曲线如图 3。

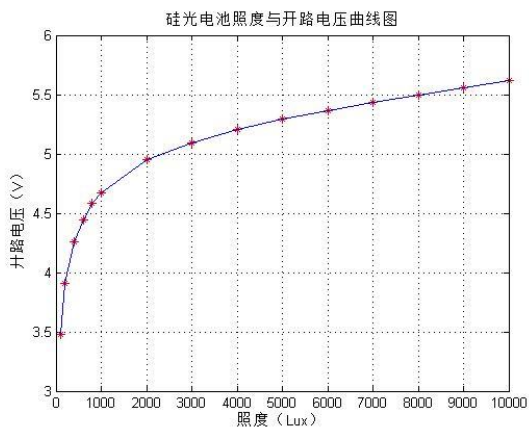


图 3

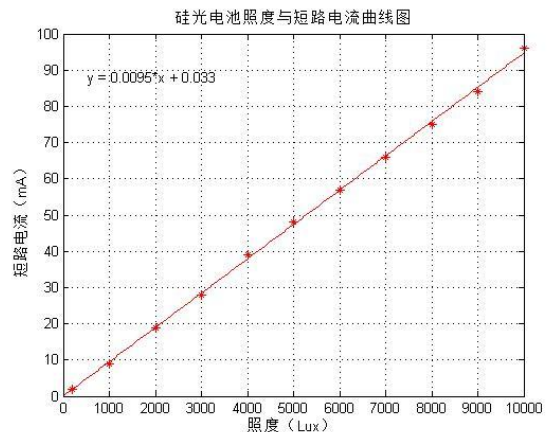


图 4

1. 2. 短路电流

曲线如图 4。太阳能电池短路电流与照度基本成线性关系，如图，直线方程为：
 $I_{SC} = 0.0095E + 0.033$ (电流 I_{SC} 和照度 E 单位分别为mA和Lux)

1. 3. 最大输出功率

标准照度下测得输出电压与输出电流与负载大小的关系如下图：

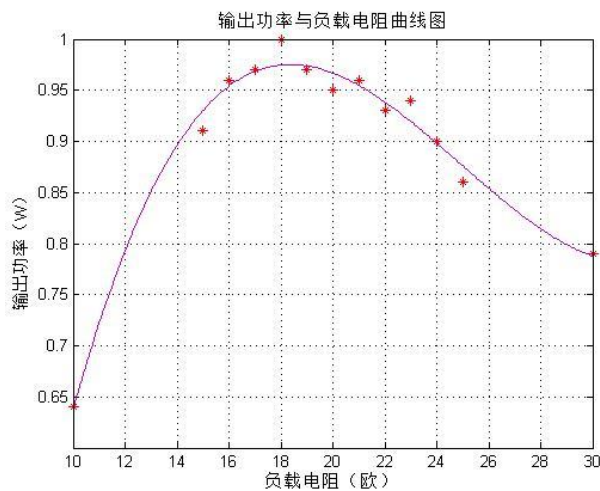


图 5

由图可知，最大输出功率 $P_m = 0.976W$ 。

1. 4. 填充因子

标准光照下，测得开路电压 $V_{OC} = 5.97V$ ，短路电流 $I_{SC} = 0.24mA$ ，最大输出功率 $P_m = 0.976W$ ，由填充因子计算公式得出 $FF = 69.0\%$ 。

1. 5. 转换效率

太阳能电池板的尺寸：11cm × 8.5cm。标准光照下，接收功率为 $1000W/m^2$ ，根据转换效率计算公式可得： $G = 10.4\%$ 。

1.6. 串联电阻

由串联电阻计算公式计算出不同照度下太阳能电池板的串联电阻值，如下表：

照度 (Lux)	100000	80000	60000	20000	10000
串联电阻 (欧)	18	25	42	209	283

1.7. 光谱响应

由公式

$$K = \frac{xI}{F \bar{V}}$$

得下表：

	I (mA)	F (lm)	V	K
红	7.9	100	0.3	2.96x
黄	1.0	80	0.5	2.50x
绿	4.0	200	0.9	2.22x
蓝	7.9	60	0.1	1.31x

(x 为比例系数)

1.8. 伏安特性

无光条件下的伏安特性曲线图：

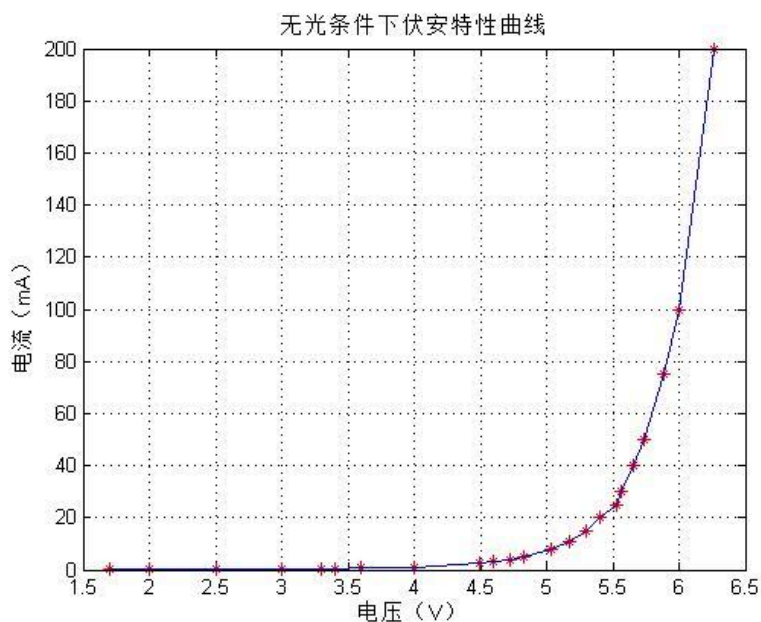


图 6

结论

本实验使用太阳能电池板作为测试对象，通过改变光照强度、负载电阻等，实现了对硅光太阳能电池特性参数的测量，并适当改进了测量方法提高了测量精度。同时，利用单片机将电压、电流、照度进行数据采集并传输到 PC 机，再使用 VC 编程实现了数据曲线的自动直观显示。

另外，本实验对普通百叶窗进行适当改造，实现了百叶窗根据照度和温度自动调节角度等功能，且整个系统不需要外部供电。这是对太阳能的有效利用，节能环保。

制作成本 (明细):

太阳能电池	30	照度传感器	150
电路板	200	LED 灯	16
蓄电池	15	照灯	40