

实验 6 太阳能电池特性实验

太阳能是太阳内部连续不断的核聚变反应过程产生的能量。太阳辐射到地球大气层的能量仅为其总辐射能量的 22 亿分之一，但已高达 173,000TW，也就是说太阳每秒钟照射到地球上的能量就相当于 500 万吨煤。地球上的风能、水能、海洋温差能、波浪能和生物质能都是来源于太阳；即使是地球上的化石燃料（如煤、石油、天然气等）从根本上说也是远古以来贮存下来的太阳能，所以广义的太阳能所包括的范围非常大，狭义的太阳能则限于太阳辐射能的光热、光电和光化学的直接转换。

太阳能发电有两种方式，光--热--电转换方式以及光--电直接转换方式。光--热--电转换方式通过利用太阳辐射产生的热能发电，一般是由太阳能集热器将所吸收的热能转换成蒸汽，再驱动汽轮机发电，它的缺点是效率很低而成本较高。光--电直接转换方式是利用光生伏特效应而将太阳光能直接转化为电能，光--电转换的基本装置就是太阳能电池。

根据所用材料的不同，太阳能电池可分为硅太阳能电池，化合物太阳能电池，聚合物太阳能电池，有机太阳能电池等。其中硅太阳能电池是目前发展最成熟的，在应用中居主导地位。

【实验原理】

太阳能电池利用半导体 P-N 结受光照射时的光伏效应发电，太阳能电池的基本结构就是一个大面积平面 P-N 结，图 1 为 P-N 结示意图。

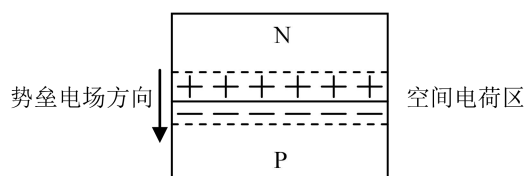


图 1 半导体 P-N 结示意图

P 型半导体中有相当数量的空穴，几乎没有自由电子。N 型半导体中有相当数量的自由电子，几乎没有空穴。当两种半导体结合在一起形成 P-N 结时，N 区的电子（带负电）向 P 区扩散，P 区的空穴（带正电）向 N 区扩散，在 P-N 结附近形成空间电荷区与势垒电场。势垒电场会使载流子向扩散的反方向作漂移运动，最终扩散与漂移达到平衡，使流过 P-N 结的净电流为零。在空间电荷区内，P 区的空穴被来自 N 区的电子复合，N

区的电子被来自 P 区的空穴复合, 使该区内几乎没有能导电的载流子, 又称为结区或耗尽区。

当光电池受光照射时, 部分电子被激发而产生电子-空穴对, 在结区激发的电子和空穴分别被势垒电场推向 N 区和 P 区, 使 N 区有过量的电子而带负电, P 区有过量的空穴而带正电, P-N 结两端形成电压, 这就是光伏效应, 若将 P-N 结两端接入外电路, 就可向负载输出电能。

在一定的光照条件下, 改变太阳能电池负载电阻的大小, 测量其输出电压与输出电流, 得到输出伏安特性, 如图 6-9-2 实线所示。

负载电阻为零时测得的最大电流 I_{sc} 称为短路电流。负载断开时测得的最大电压 V_{oc} 称为开路电压。

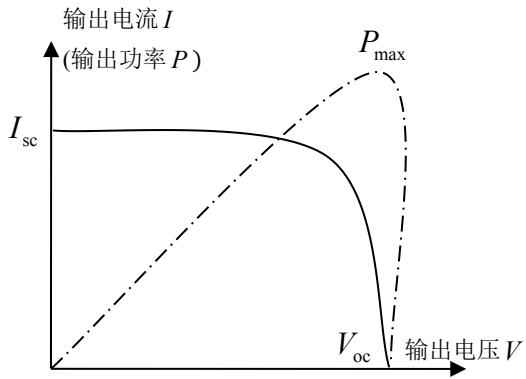


图 2 太阳能电池的输出特性

太阳能电池的输出功率为输出电压与输出电流的乘积。同样的电池及光照条件, 负载电阻大小不一样时, 输出的功率是不一样的。若以输出电压为横坐标, 输出功率为纵坐标, 绘出的 P-V 曲线如图 2 点划线所示。输出电压与输出电流的最大乘积值称为最大输出功率 P_{max} 。

填充因子 $F \cdot F$ 定义为:

$$F \cdot F = \frac{P_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (1)$$

填充因子是表征太阳电池性能优劣的重要参数, 其值越大, 电池的光电转换效率越高, 一般的硅光电池 $F \cdot F$ 值在 0.75~0.8 之间。转换效率 η_s 定义为:

$$\eta_s(\%) = \frac{P_{max}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2)$$

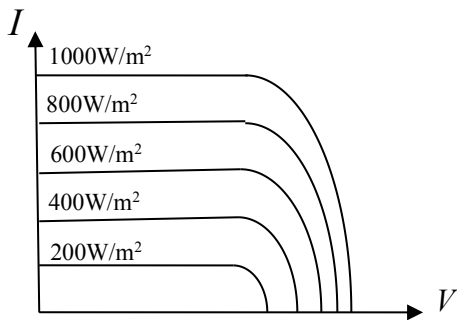


图 3 不同光照条件下的 I-V 曲线

P_{in} 为入射到太阳能电池表面的光功率。理论分析及实验表明, 在不同的光照条件下, 短路电流随入射光功率线性

增长，而开路电压在入射光功率增加时只略微增加，如图 3 所示。硅太阳能电池分为单晶硅太阳能电池、多晶硅薄膜太阳能电池和非晶硅薄膜太阳能电池三种。

单晶硅太阳能电池转换效率最高，技术也最为成熟。在实验室里最高的转换效率为 24.7%，规模生产时的效率可达到 15%。在大规模应用和工业生产中仍占据主导地位。但由于单晶硅价格高，大幅度降低其成本很困难，为了节省硅材料，发展了多晶硅薄膜和非晶硅薄膜作为单晶硅太阳能电池的替代产品。

多晶硅薄膜太阳能电池与单晶硅比较，成本低廉，而效率高于非晶硅薄膜电池，其实验室最高转换效率为 18%，工业规模生产的转换效率可达到 10%。因此，多晶硅薄膜电池可能在未来的太阳能电池市场上占据主导地位。非晶硅薄膜太阳能电池成本低，重量轻，便于大规模生产，有极大的潜力。如果能进一步解决稳定性及提高转换率，无疑是太阳能电池的主要发展方向之一。

【实验仪器】

太阳能电池实验装置如图 4 所示。光源采用碘钨灯，它的输出光谱接近太阳光谱。调节光源与太阳能电池之间的距离可以改变照射到太阳能电池上的光强，具体数值由光强探头测量。测试仪为实验提供电源，同时可以测量并显示电流、电压、以及光强的数值。电

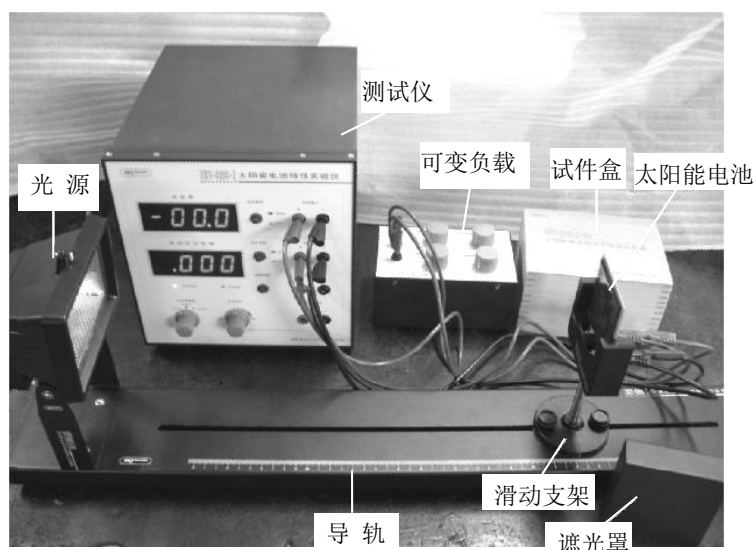


图 4 太阳能电池实验装置

压源：可以输出 0~8V 连续可调的直流电压。为太阳能电池伏安特性测量提供电压。

电压/光强表：通过“测量转换”按键，可以测量输入“电压输入”接口的电压，或接入“光强输入”接口的光强探头测量到的光强数值。表头下方的指示灯确定当前的显示状态。通过“电压量程”或“光强量程”，可以选择适当的显示范围。电流

表：可以测量并显示 0~200mA 的电流，通过“电流量程”选择适当的显示范围。

【实验内容】

1. 硅太阳能电池的暗伏安特性测量

暗伏安特性是指无光照射时，流经太阳能电池的电流与外加电压之间的关系。太阳能电池的基本结构是一个大面积平面 P-N 结，单个太阳能电池单元的 P-N 结面积已远大于普通的二极管。在实际应用中，为得到所需的输出电流，通常将若干电池单元并联。为得到所需输出电压，通常将若干已并联的电池组串连。因此，它的伏安特性虽类似于普通二极管，但取决于太阳能电池的材料，结构及组成组件时的串、并连关系。

本实验提供的组件是将若干单元并联。要求测试并画出单晶硅，多晶硅，非晶硅太阳能电池组件在无光照时的暗伏安特性曲线。用遮光罩罩住太阳能电池。

测试原理图如图 5 所示。将待测的太阳能电池接到测试仪上的“电压输出”接口，电阻箱调至 $50\ \Omega$ 后串连进电路起保护作用，用电压表测量太阳能电池两端电压，电流表测量回路中的电流。

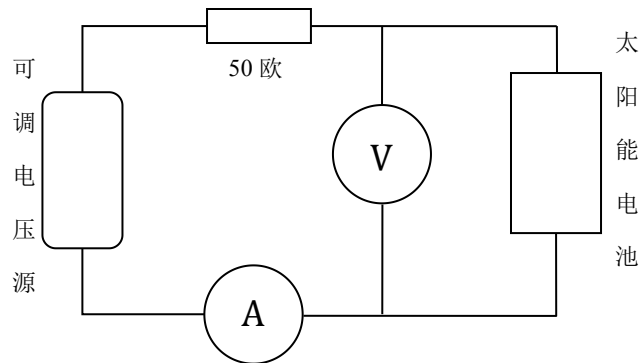


图 5 伏安特性测量接线原理图

将电压源调到 0V，然后逐渐增大输出电压，记录不同电压值相对应的电流值。将电压输入调到 0V。然后将“电压输出”接口的两根连线互换，即给太阳能电池加上反向的电压。逐渐增大反向电压，记录电流随电压变换的数据。以电压为横坐标，电流为纵坐标，画出三种太阳能电池的伏安特性曲线。讨论太阳能电池的暗伏安特性与一般二极管的伏安特性有何异同。

2. 开路电压、短路电流与光强关系测量

打开光源开关，预热 5 分钟。打开遮光罩。将光强探头装在太阳能电池板位置，探头输出线连接到太阳能电池特性测试仪的“光强输入”接口上。测试仪设置为“光强测量”。由近及远移动滑动支架，测量距光源一定距离的光强 E ，将测量到的光强记录下来。

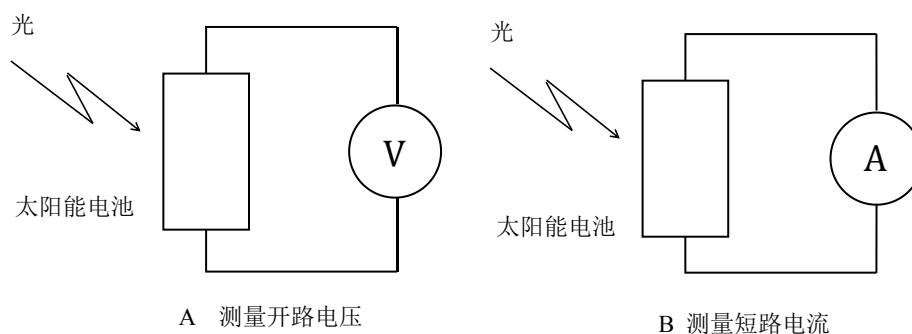


图 6 开路电压、短路电流与光强关系测量示意图

将光强探头换成单晶硅太阳能电池，测试仪设置为“电压表”状态。按图 6 A 接线，按测量光强时的距离值（光强已知），记录开路电压值。按图 6 B 接线，记录短路电流值。将单晶硅太阳能电池更换为多晶硅太阳能电池，重复测量步骤，并记录数据。将多晶硅太阳能电池更换为非晶硅太阳能电池，重复测量步骤，并记录数据。画出三种太阳能电池的开路电压随光强变化的关系曲线，画出三种太阳能电池的短路电流随光强变化的关系曲线。

3. 太阳能电池输出特性实验

按图 7 接线，以电阻箱作为太阳能电池负载。在一定光照强度下（将滑动支架固定在导轨上某一个位置），分别将三种太阳能电池板安装到支

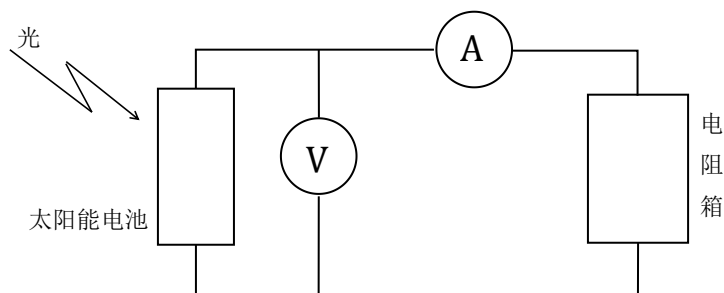


图 7 测量太阳能电池输出特性

架上，通过改变电阻箱的电阻值，记录太阳能电池的输出电压 V 、电流 I ，并计算输出功率 $P_0 = V \times I$ 。根据测量数据作 3 种太阳能电池的输出伏安特性曲线及功率曲线。找出最大功率点，对应的电阻值即为最佳匹配负载。由(1)式计算填充因子。由(2)式计算转换效率。入射到太阳能电池板上的光功率 $P_{in} = E \times S_E$ ， E 为入射到太阳能电池板表面的光强， S_E 为太阳能电池板面积。