



北京航空航天大学 实验报告

实验名称：燃料电池综合特性测量

一、实验要求

1. 了解燃料电池的工作原理
2. 观察仪器的能量转换过程：
光能→太阳能电池→电能→电解池→氢能(能量储存)→燃料电池→电能
3. 测量燃料电池输出特性，作出所测燃料电池的伏安特性(极化)曲线，电池输出功率随输出电压的变化曲线。计算燃料电池的最大输出功率及效率
4. 测量质子交换膜电解池的特性，验证法拉第电解定律；
5. 测量太阳能电池的特性，作出所测太阳能电池的伏安特性曲线，电池输出功率随输出电压的变化曲线。获取太阳能电池的开路电压，短路电流，最大输出功率，填充因子等特性参数

二、实验原理

1. 燃料电池

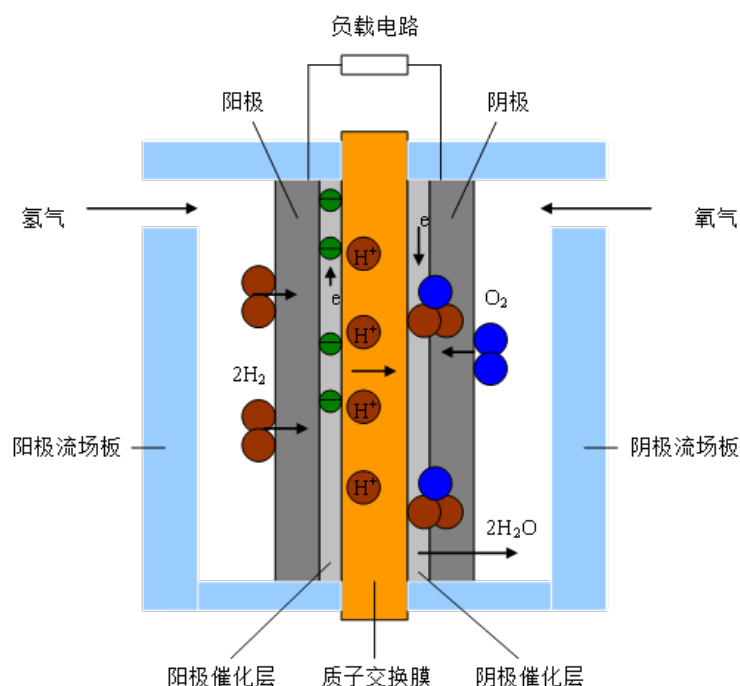
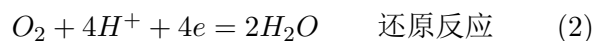


图1 质子交换膜燃料电池结构示意图

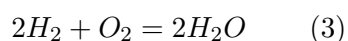
进入阳极的氢气通过电极上的扩散层到达质子交换膜。氢分子在阳极催化剂的作用下解离为2个氢离子，即质子，并释放出2个电子，阳极反应为：



氢离子以水合质子 $H^+ (nH_2O)$ 的形式，在质子交换膜中从一个磺酸基转移到另一个磺酸基，最后到达阴极，实现质子导电，质子的这种转移导致阳极带负电。在电池的另一端，氧气或空气通过阴极扩散层到达阴极催化层，在阴极催化层的作用下，氧与氢离子和电子反应生成水，阴极反应为：



阴极反应使阴极缺少电子而带正电，结果在阴阳极间产生电压，在阴阳极间接通外电路，就可以向负载输出电能。总的化学反应如下：



2. 水的电解

将水电解产生氢气和氧气，与燃料电池中氢气和氧气反应生成水互为逆过程。

若以质子交换膜为电解质，可在图1右边电极接电源正极形成电解的阳极，在其上

产生氧化反应 $2H_2O = O_2 + 4H^+ + 4e$ 。左边电极接电源负极形成电解的阴极，阳极产生的氢离子通过质子交换膜到达阴极后，产生还原反应 $2H^+ + 2e = H_2$ 。即在右边电极析出氧，左边电极析出氢。

3.太阳能电池

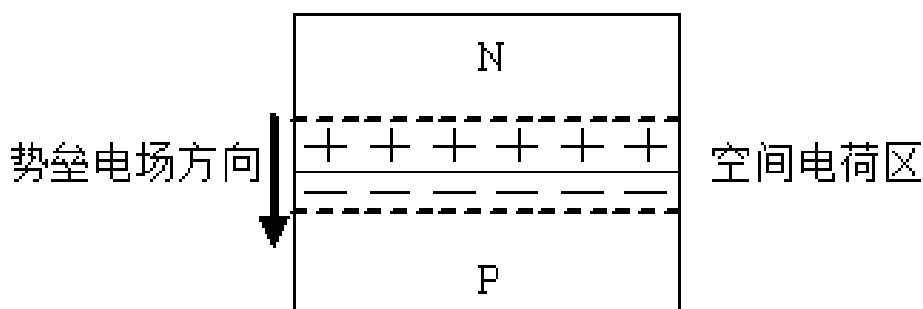


图 2 半导体 P-N 结示意图

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2为P-N结示意图。

当P型半导体和N型半导体结合在一起形成P-N结时，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。

当光电池受光照射时，部分电子被激发而产生电子一空穴对，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。

三、仪器介绍

实验仪器：太阳能电池、电解池、气水塔、燃料电池、风扇、可变负载、测试仪。

四、实验内容

1.质子交换膜电解池的特性测量

理论分析表明，若不考虑电解器的能量损失，在电解器上加1.48伏电压就可使水分解为氢气和氧气，实际由于各种损失，输入电压高于1.6伏电解器才开始工作。

电解器的效率为：

$$\eta_{\text{电解}} = \frac{1.48}{U_{\text{输入}}} \times 100\% \quad (4)$$

输入电压较低时虽然能量利用率较高，但电流小，电解的速率低，通常使电解器输入电压在2伏左右。

根据法拉第电解定律，电解生成物的量与输入电量成正比。在标准状态下（温度为零 C，电解器产生的氢气保持在1个大气压），设电解电流为I，经过时间t生产的氢气体积（氧气体积为氢气体积的一半）的理论值为：

$$V_{\text{氢气}} = \frac{It}{2F} \times 22.4 \text{升} \quad (5)$$

若实验时的摄氏温度为T，所在地区气压为P，根据理想气体状态方程，可对（5）式作修正：

$$V_{\text{氢气}} = \frac{273.16 + T}{273.16} \cdot \frac{P_0}{P} \cdot \frac{It}{2F} \times 22.4 \text{升} \quad (6)$$

由于水的分子量为18，且每克水的体积为 1cm^3 ，故电解池消耗的水的体积为：

$$V_{\text{水}} = \frac{It}{2F} \times 18\text{cm}^3 = 9.33It \times 10^{-5}\text{cm}^3 \quad (7)$$

确认气水塔水位在水位上限与下限之间。

测量当电解池输入电流分别为100mA、200mA、300mA大小时的电解池输入电压，产生一定体积氢气所需要的时间。

2.燃料电池输出特性的测量

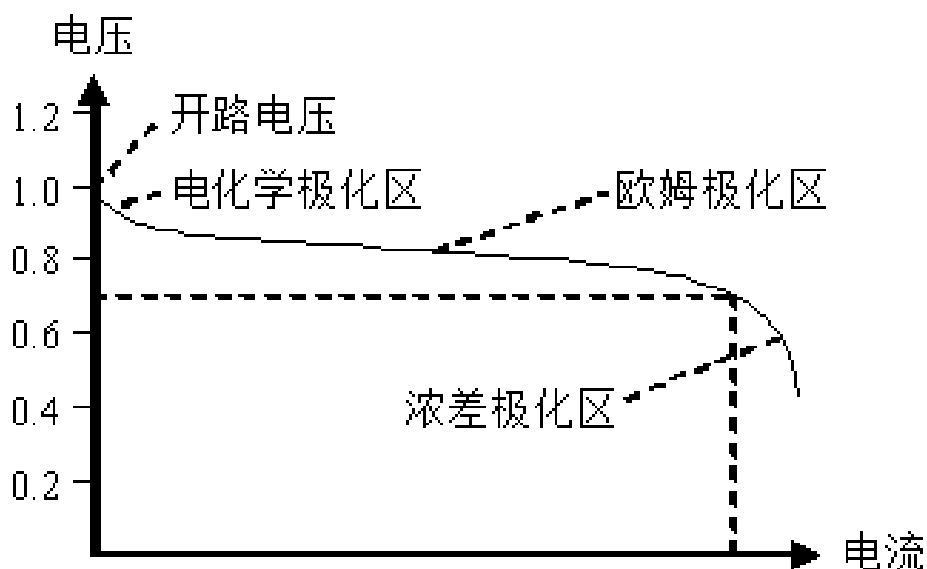


图 5 燃料电池的极化特性曲线

综合考虑燃料的利用率（恒流供应燃料时可表示为燃料电池电流与电解电流之比）及输出电压与理想电动势的差异，燃料电池的效率为：

$$\eta_{\text{电池}} = \frac{I_{\text{电池}}}{I_{\text{电解}}} \cdot \frac{U_{\text{输出}}}{1.48} \times 100\% = \frac{P_{\text{输出}}}{1.48 \times I_{\text{电解}}} \times 100\% \quad (8)$$

实验时让电解池输入电流保持在300mA，关闭风扇。

将电压测量端口接到燃料电池输出端。打开燃料电池与气水塔之间的氢气、氧气连接开关，等待约10分钟，让电池中的燃料浓度达到平衡值，电压稳定后记录开路电压值。

随后改变负载，记录多组电压电流值。

3.太阳能电池的特性测量

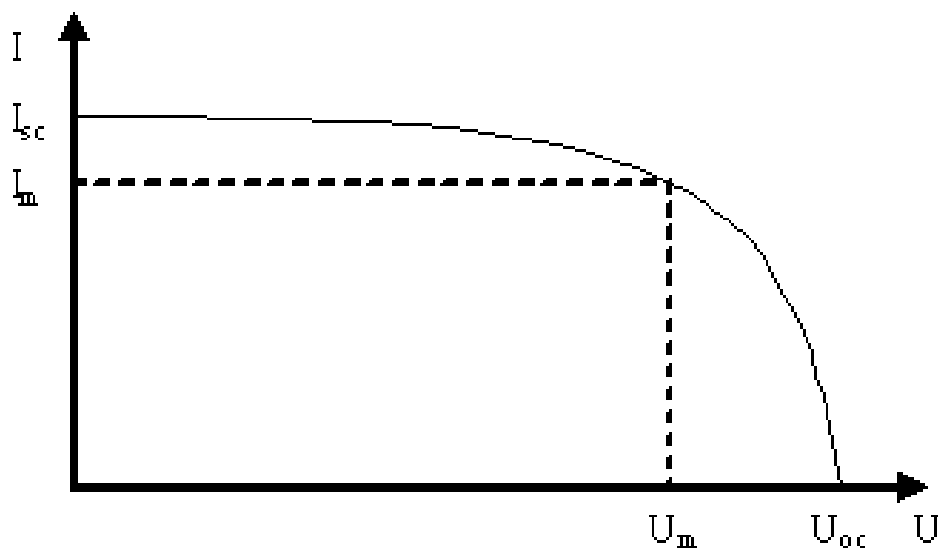


图 6 太阳能电池的伏安特性曲线

填充因子FF定义为：

$$FF = \frac{U_m I_m}{U_{oc} I_{sc}} \quad (9)$$

保持光照条件不变，改变太阳能电池负载电阻的大小，测量输出电压电流值，并计算输出功率，自主设计表格记录相关数据。