

光子学技术：光伏电池的校准



封面图片：所有的光伏（PV）电池都能将光能转变为电能，但其转换效率却有明显的高低之分。想要知道 PV 电池是如何校准的，请见下文。

光伏电池的基本功能是将外部输入的光能（由辐照度 W/m^2 表示）转变为用途更为广泛的电能，当然这过程中会有一些损失。为了衡量电池的光电转换能力，我们将输入和输出量以比值的形式表示出来，这就是我们通常所说的转换效率（PCE），它是光伏电池最为关键的指标之一。这一参数的确定需要在极为标准的环境下进行，需要控制的参数包括精确度、辐照度、电池温度等等。

辐照度测量

辐照度一般是通过照度传感器进行测量，亦可在模拟环境中使用太阳能参比电池来测量。参比电池是经过美国材料试验协会(ASTM)和/或国际电工委员会标准校准过的标准电池。校准服务可在一些实验室进行，包括 Newport 公司的技术应用中心(TAC)光伏实验室；国家再生能源实验室(NREL)器件性能组；圣地亚光伏系统评估实验室(PSEL)；夫琅禾费太阳能研究所(ISE)等等。

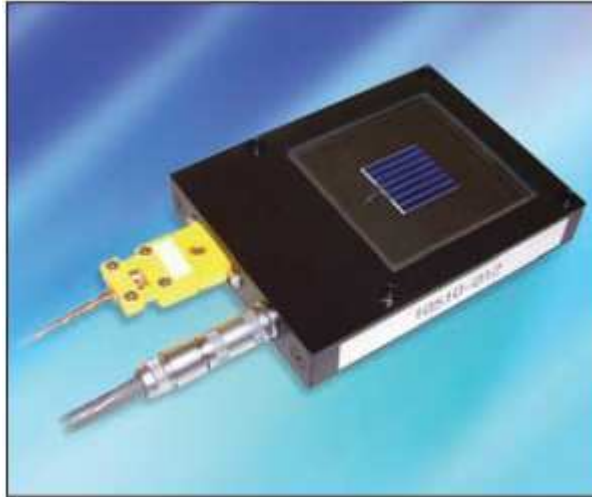


图 1. Newport/Oriel 2cm x 2cm 太阳能参比电池外观

校准的标准环境为室温 25℃、模拟太阳光强度 1000 W/m²。Newport 的 TAC-PV 实验室经过 ISO-17025 和 A2LA 标准认证。我们使用太阳光模拟器来模拟日光，光源采用了氙弧灯泡。获得精确校准所要面临的挑战之一是要在各种不同材料和尺寸的光伏材料下采用完全相同的标准环境。

典型的太阳能参比电池是一个尺寸为 2cm×2cm，拥有金属外壳和石英玻璃窗口保护的小盒(见图 1)。内置与数字万用表连接端口，并配备了一个温度传感器以测量实时温度。太阳能参比电池另一个重要的性能参数是短路电流。如果一般太阳能电池的短路电流在标准环境下(25℃、1000 W/m²)能达到一定的精度，那么也可以用作参比电池。因为太阳能参比电池是一种线性器件，因此能在不同温度下测量辐照度，前提是我们要知道其温度系数。

发热问题

PV 测试中一个最大的不确定因素就是环境温度的变化， T_{cell} ，它是指在电池空间电荷区的温度。参比电池的外壳，其实也同时是一个散热器，能快速散发电池背面的热量，而这样就会使得电池表面的温度略高于底部几度。因此内置在电池底部的热电偶所测得的温度会与 T_{cell} 的有所不同。不可控的温差误差正比于温度系数。

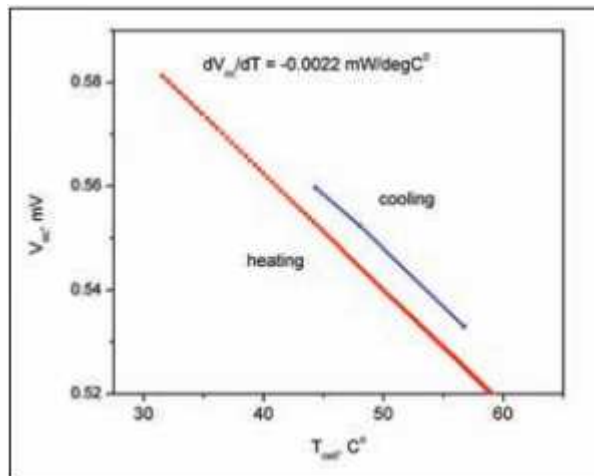


图 2. 开路电压与温度的曲线，并呈现出温度滞后现象

我们将电池参数（如开路电压）与温度（电池底部）的关系用图线表示出来，可见温度

不同时图像差别明显(如图 2)。根据开路电压的最佳估值,图 2 中的两条线可以推测出 25℃ 下的情况,且两 V_{oc} 截距的中点也能计算出来。为了得到更精确的测量数据,我们将电池稳定在室温,并只用瞬时的照明(~ 1 sec)。然后即可根据各自的温度系数推断出 25℃ 下的数据。

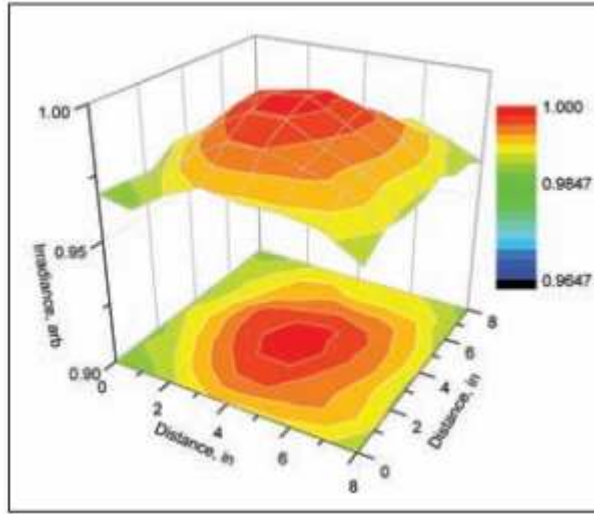


Figure 3. Newport Oriel Sol3A 的照度分布,AAA 级太阳光模拟器,非均匀度小于 2%

其他的不确定因素(i.e. "error")还包括光源与日光光谱的匹配度和电池的光谱响应度。这些误差源是由于光谱失配引起的,用光谱匹配因素 M 表示出来。光谱的匹配度指的是待测电池和参比电池的光谱响应度的相对差异,和所用光源与太阳光在光谱分布上的相对差异,我们希望这种差异越小越好。例如 $M = 1$ 表示光谱完美匹配,偏离度最多不超过 50%。

Newport TAC-PV 实验室使用了带有 KG1 滤波片的光伏参比电池(用来替代标准石英玻璃)来测试有机器件,并将失配度控制在<10%。当然, M 数本身也有一定的误差。为了应对这一挑战,Newport Oriel 公司开发了 IQE-200,它能精确测量绝大多数 PV 器件的光谱响应度。另一种在 PV 测量中会遇到的误差就是太阳光模拟器发出光束的空间不均匀性(如图 3)。

太阳光模拟器发出的光一般集中在工作区域中心(以光轴为中心),即中心的光强比外围的要强,用图形表示就会形成一个半球面,图中中心与外围的高度差就是空间不均匀性的直观表现。像 Newport Oriel Sol3A 这样的 AAA 级太阳光模拟器的空间不均匀性最小(小于 2%) (如图 4)。空间不均匀误差的大小正比于待测电池和参比电池的相对位置,还有两块电池相对于工作台的位置,这些都是影响不均匀性的因素。然而这些因素也都可通过计算将其影响降到最低。



图 4. Newport Oriel 公司的 AAA 级 Sol3A 太阳光模拟器

与已封装太阳能参比电池不同的是，一些实验用电池和原型电池在运送到 Newport TAC-PV 实验室时都是散装的。在许多情况下，它们暴露在空气、光、热、湿度中会发生降解反应。电池原片都拥有精细的结构，厚度约为 0.04cm，能轻易夹在两片显微镜载玻片之间。我们在做测试时的曝光量务必要足够短，但至少要比电池的响应时间长。通常没有直接的方法可以测量这些器件的温度。而 TAC-PV 实验室测试中的小于一秒的曝光时间所使用的是 Newport Oriel Sol3A 太阳光模拟器，因为它有一个内置的快门，开关时间为 300 ms。这一技术使得电池能尽可能的免于曝光所致的温度扰动。曝光过程中的 Voc 变化也可以间接的测量其偏离平衡状态的程度。在不同的偏置电压下重复进行曝光就能得到该电池的 I-V 曲线，这样所有的参数便都能确定了。

Newport 的应用技术中心光伏实验室

The Newport 在加拿大 Irvine 的应用技术中心光伏实验室(TAC-PV)是一个经过美国实验室认可协会(A2LA)和 ISO/IEC 17025 认证的标准实验室。我们可在美国材料试验协会(ASTM) E948 标准下进行太阳能电池特性参数测量；ASTM E1021 标准下进行光谱响应度测量。所有测试也都在标准报告条件(SRC)下进行，即温度 25°C，辐照度 1 个太阳光强度(1000 W/m²)，光谱条件 AM1.5G (IEC 60904-3)。

Newport TAC-PV 实验室拥有独立的质量监管技术，保证了测试结果的可靠性和可信性。Newport TAC-PV 实验室中测试的所有结果都采用国际单位制(SI)，并且所有的客户资料都是保密的。

Newport TAC-PV 实验室使用的先进设备包括 Oriel[®] Class AAA 8" × 8" Sol3A[™]太阳光模拟器 and Oriel IQE-200 测试系统，利用这些设备我们可以测量以下数据：

- 利用白光偏置测量绝对或相对外量子效率 (300 nm~1100 nm)
- 器件的精确总面积测量
- 器件的 I-V 特性测量和其他电学参数(%效率，填充系数，Pmax，Isc 和 Voc)

ISO/IEC 17025 标准认可的校准证书中包括：

- 该设备的总面积
- 该设备的 EQE 和 I-V 曲线
- 太阳光模拟器的光谱特性
- 参考探测器的光谱响应度
- 该设备的电学参数
- 其他不确定因素

除了 TAC-PV 实验室中进行 PV 电池校准的专业设备，Newport 技术应用中心(TAC)还配备了新型超快速激光器、光谱仪、多光子成像系统等设备，使我们能进行更深层次的科学研究，包括瞬时吸收、瞬态泵浦探测 (pump-probe)、非线性超快光谱、多光子成像等等。这些高效的工具和技术让我们能更进一步了解光伏电池材料的分子原子的能级特性，意义非凡。