



# 一种便于实现的标准太阳电池的结构设计

无锡市产品质量监督检验院 ■ 王亿 朱冰洁 王顺权\* 宋昊 刘莺 陈鹏 曾鹏

**摘要:** 标准太阳电池是专门标定过的太阳电池,它是通过标准太阳光谱辐照度分布来测量辐照度或设定太阳模拟器辐照度的器件,被广泛应用于太阳电池与光伏组件的校准和测量领域。本文介绍了一种便于实现的标准太阳电池的结构设计,重点介绍了每个部件的选用及整个制造过程,并且对制造完成的标准电池做了相关的性能测试。

**关键词:** 标准太阳电池;晶体硅;反射率;透射率;光谱响应; $I-V$ 曲线

## 0 引言

标准太阳电池是光伏行业中非常重要的标准器件,它通常作为标准物质使用,对太阳电池或光伏组件测量起到量值溯源的作用。标准太阳电池性能的稳定性、数据的准确性对太阳电池和光伏组件的测量有着十分重要的影响。目前,主流的标准太阳电池厂商为欧美、日本和国内少数研究机构,生产的标准太阳电池性能参差不齐。本文介绍了一种标准太阳电池的结构设计,重点介绍了整个制造过程,并对完成的样品性能进行了分析,取得了满意的效果。

## 1 结构主体

本文介绍的标准太阳电池设计结构如图1所示,主体部分由晶体硅电池片、石英玻璃、铝合金外壳、可伐合金基板、铂电阻 pt100、lemo 连接器构成<sup>[1]</sup>。

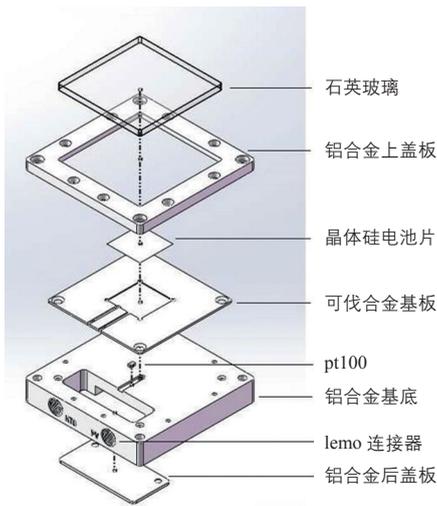


图1 标准太阳电池结构图

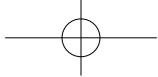
### 1.1 晶体硅电池片

晶体硅电池片是标准太阳电池的核心部件,起标定光源光谱辐照度分布的作用。晶体硅电池片选用高效率的单晶硅电池片,首先对电池片进行稳定性处理,然后切割成 20 mm×20 mm 的尺

收稿日期: 2017-12-12

基金项目: 国家高新技术发展计划 (2015AA050303)

通信作者: 王顺权 (1979—), 男, 博士、高级工程师, 主要从事光伏技术方面的研究。wangshunquan@cpvt.org.cn



寸，切割时保留电池一边的主栅线，并将电池边缘作绝缘处理，在主栅线及电池片的背面分别引出电池的正、负极。完成后的晶体硅电池片如图2所示。



图2 晶体硅电池片

### 1.2 石英玻璃

石英玻璃作为标准太阳电池的窗口层，其性能指标决定了到达晶体硅电池表面的光强和光谱分布。本设计选用紫外高透石英方形玻璃片，边长为49.7 mm，厚度为3.2 mm，倒角为45°。玻璃表面经过细磨精抛光，在300~1200 nm波段下透过率超过91%，其透过率曲线如图3所示。

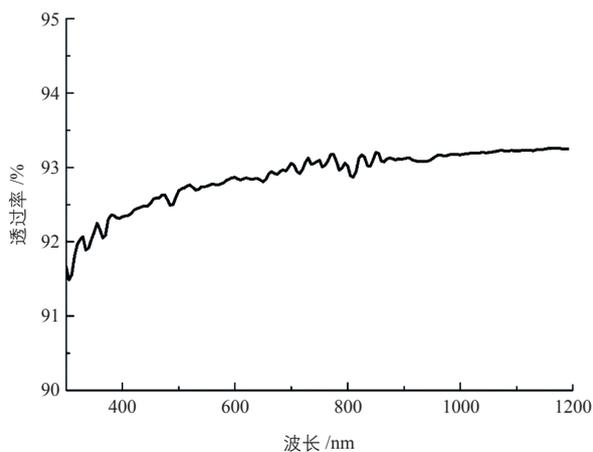


图3 石英玻璃透过率曲线

### 1.3 铝合金外壳

标准太阳能电池主体部分采用6061铝合金，具有加工性能佳、抗腐蚀性好、韧性高、加工后不变形、材料致密无缺陷等优良特点。铝件本体加工完成后，表面进行抛丸及硬质氧化处理，氧化后表面反射率曲线如图4所示。

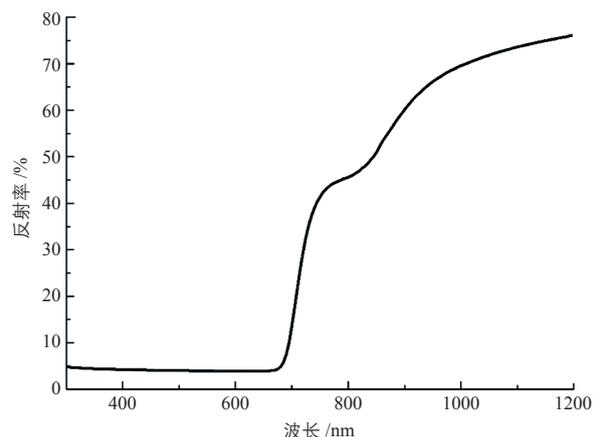


图4 铝合金表面反射率曲线

由图4可知，该外壳在波长为700 nm以下时，反射率控制在5%以内；在波长为700 nm以上时，有着较高的反射率。

### 1.4 可伐合金基板

基板采用4j29可伐合金。可伐合金作为电池片的衬底使用，最终与电池片、玻璃和EVA一起进行层压。该合金在20~450℃范围内具有与硬玻璃相近的线膨胀系数，与相应的硬玻璃能进行有效封接匹配。由于可伐合金在窗体内部石英玻璃板下层，其反射率曲线的好坏会对标准光伏组件性能产生极大影响，因此，将可伐合金加工成型后，还需进行哑光黑喷塑处理。可伐合金基板表面反射率曲线如图5所示。

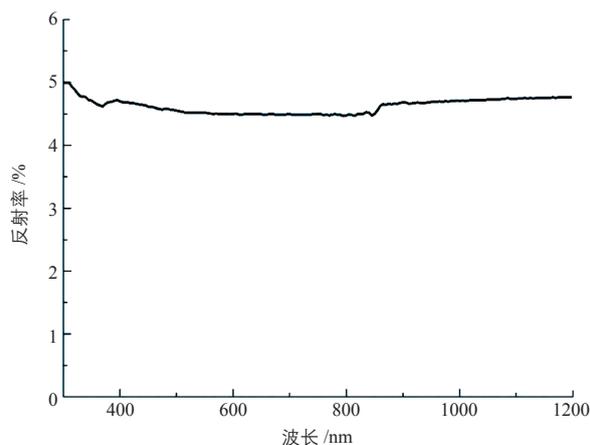


图5 可伐合金基板反射率曲线

由图5可知，在波长300~1200 nm以内，可伐合金基板表面反射率都控制在5%以内，满足标准IEC 60904-2的要求<sup>[2]</sup>，有不错的效果。

### 1.5 铂电阻 pt100

温度传感器选用铂电阻 pt100，其在 0 °C 时的阻值  $R_0$  漂移小于等于 0.04%。铂电阻 pt100 采用四线法连接至 lemo 连接器上，安装于可伐合金与铝合金基底之间。利用一个无头螺钉将 pt100 紧压在可伐合金的底部，由于电池片紧贴着可伐合金，可伐合金又仅有 1 mm 的厚度，因此，电池片的温度变化能较为灵敏地反映到 pt100 上。

### 1.6 Lemo 连接器

连接器采用 4 芯 lemo 连接器，2 个 lemo 头母头分别利用四线法与电池片和 pt100 相连接，固定于铝合金基底的一侧边。

### 1.7 组装

选用与石英玻璃折射率相近的 EVA，按照“玻璃-EVA-晶体硅电池片-EVA-可伐合金”的顺序进行层压<sup>[3]</sup>，层压完成后进行电池、pt100 与 lemo 连接器的焊接，焊接完成后进行壳体的安装。完成的标准太阳能电池如图 6 所示，完成后的样品窗口视角 163°，满足标准 IEC 60904-2 的要求<sup>[2]</sup>。

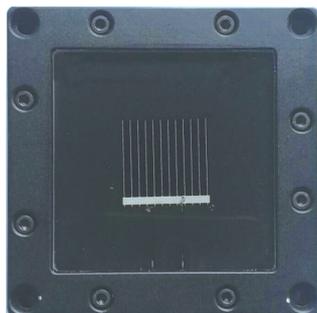


图 6 完成的标准太阳能电池

## 2 性能测试

### 2.1 光谱响应

对制成的标准太阳能电池进行性能测试，其外量子效率曲线和光谱响应曲线如图 7、图 8 所示。

由图 7、图 8 可知，该标准太阳能电池光谱响应特性与各类型晶体硅光伏器件光谱响应特性相类似，足够用于各种晶体硅类型光伏器件的测量。

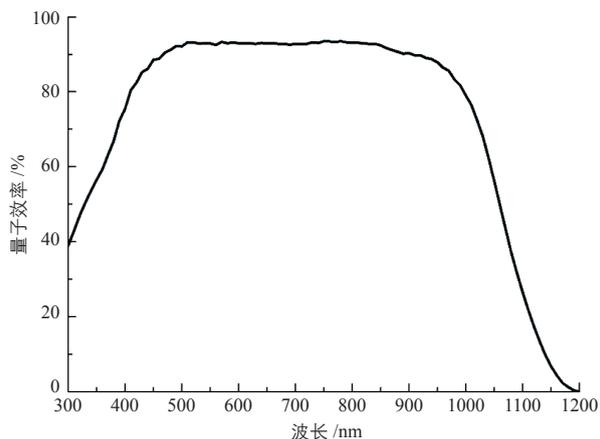


图 7 标准太阳能电池外量子效率曲线

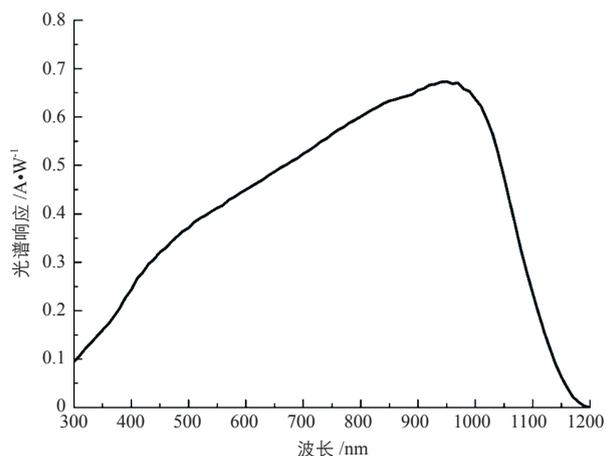


图 8 标准太阳能电池光谱响应曲线

### 2.2 电流电压特性曲线测量 ( $I-V$ 曲线)

在 AM 1.5G 测试条件下，标准太阳能电池的电流-电压、功率-电压特性曲线如图 9 所示。

由图 9 可知，标准太阳能电池的短路电流为 0.137 A，则其短路电流密度为 34 mA/cm<sup>2</sup>。电池有着较高的光电转换效率，且因为常见的晶硅类

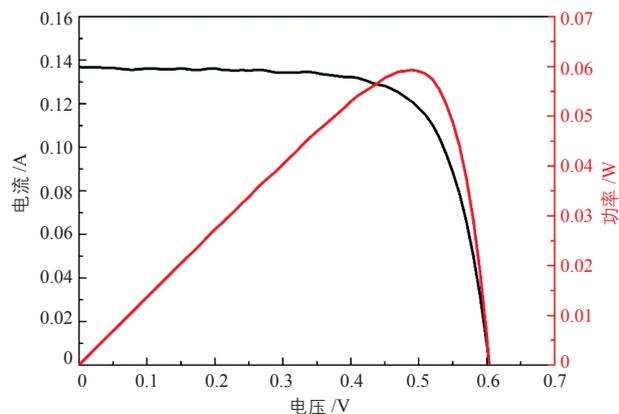
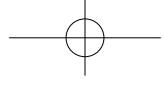


图 9 标准太阳能电池的  $I-V$ 、 $I-P$  特性曲线

(转第 54 页)



斑的成因；而在这个过程中真空指示斑参与了反应，其面积也会逐渐减小。

如果集热管出现破损或外部泄露，空气中的氧气将大量进入，钡膜便与空气中的氧气反应，生成氧化钡，呈现完全的白色，因此只有真空指示斑呈现白色时，才可以初步判定集热管的真空失效。

S 公司也指出，一旦系统开始运行之后，此类依据就不够准确了。其运行后的真空失效的判断公式为：

$$T_{thr} = T_{amb} + 50 + (T_{oil} - 300) / 3 \quad (1)$$

式中， $T_{amb}$  为大气温度， $^{\circ}\text{C}$ ； $T_{oil}$  为导热油的温度， $^{\circ}\text{C}$ ； $T_{thr}$  为玻璃管温度理论值。

系统开始运行后，实际测量运行中的集热管（集热管在其回路运行时，将集热管对应的发射镜翻转，使集热管不处于太阳光聚焦位置）玻璃管的温度  $T_g$ ，并将其与公式(1)中的  $T_{thr}$  进行对比，若  $T_g > T_{thr}$ ，则表示集热管内部真空失效。

对于 S 公司的关于集热管运行后的真空失效公式，行业内尚存些许争议，国内对此也无公认的判断标准。北京天瑞星光热技术有限公司（下文简称“天瑞星”）将与电工所及相关单位合作，在共性问题的研究基础上，推动此项国内标准的确立。

2017 年，国内 20 个太阳能热发电站示范项

目相继启动，其中槽式和菲涅尔式电站占了 11 个，高温太阳能集热管的可靠寿命及真空失效问题成为很多集热管厂家亟需破解的难题。也是电站业主单位、电站设计单位及 EPC 单位等最为关心的关键问题。天瑞星将与电工所和相关单位合作，共同研究出相应测试评价手段，群策群力，减少厂家各自重复、无效的研究，探索国内集热管产品存在的共性问题的测试评价方法及解决措施，提高集热管的产品性能和质量，为确保国内太阳能热发电站安全可靠运行提供理论和实验依据。

### 3 结论

国内的 S 公司对集热管的真空失效标准提出了判断依据，但其真空失效公式在行业内尚存些许争议。槽式和菲涅尔式太阳能热发电项目中使用的高温集热管，其表面的蒸散吸气剂镜面只能用于表征集热管正式运行之前的真空度。在集热管上系统运行之后除非其内部完全失真空，否则单纯通过蒸散吸气剂镜面不能完全判断集热管内部的实际真空情况。

#### 参考文献

- [1] ISO 22975-3-2014, 太阳能收集器的部件和材料 第 3 部分：吸收表面的耐用性 [S]. 太阳能

（接第 42 页）

电池及组件有着相似的光谱响应曲线，使得该标准太阳电池能够用于各种类型的太阳电池及光伏组件的测量。当需要测量其他类型的光伏器件，如非晶硅、微晶硅、有机电池等具有不同光谱响应特性的光伏器件时，只需要在该设计基础上更换窗口层与晶体硅电池片的类型，使匹配后光谱响应特性与被测光伏器件相适应即可。

### 3 结论

本文介绍了一种便于实现的标准太阳电池的结构设计，并对该设计的选材及封装作了详细介绍。该设计符合标准 IEC 60904-2 中对于参考电

池结构的要求。通过该设计制作的标准太阳电池有不错的性能表现，能用于各种单、多晶硅电池及组件的测量，并且当更换电池与窗口玻璃的选材时，亦能用于对其他类型光伏器件的测量。

#### 参考文献

- [1] Osterwald C R, Anevsky S, Barua A K, et al. The World Photovoltaic Scale: an international reference cell calibration program[A]. Conference Record of the Twenty-Sixth IEEE[C]. California, 1997:1209 - 1212.  
 [2] IEC 60904-2-2015, Photovoltaic devices-Part 2: Requirements for photovoltaic reference devices[S].  
 [3] 孙皓, 熊利民. 标准太阳电池的研制 [J]. 上海计量测试, 2010, 37(4):11 - 14. 太阳能