

太阳能电池光谱响应测试方法

Measuring methods of spectral response for solar cells

1 主题内容与适用范围

本标准规定了测试太阳能电池光谱响应的基本要求、测试及数据处理方法。

本标准适用于太阳能电池相对光谱响应和绝对光谱响应的测试。

2 原理

用各种波长不同的单色光分别照射太阳能电池时,由于光子能量不同以及太阳能电池对光的反射、吸收、光生载流子的收集效率等因素,在辐照度相同的条件下会产生不同的短路电流。以所测得的短路电流密度与辐照度之比即单位辐照度所产生的短路电流密度与波长的函数关系来测绝对光谱响应,以光谱响应的最大值进行归一化的光谱响应来测相对光谱响应。

光谱响应特性包含了太阳能电池的许多重要信息,同时又与测试条件有密切关系。本标准规定,当用单色光测量太阳能电池的光谱响应时一般都要在模拟阳光的偏置光照射下进行测量,利用给定的阳光光谱辐照度和按照规定正确测得的绝对光谱响应数据,能够计算出标准条件下太阳能电池的短路电流密度:

$$J_{sc}(AMN) = \int P_{AMN}(\lambda) \cdot S_s(\lambda) d\lambda \dots\dots\dots (1)$$

式中: $P_{AMN}(\lambda)$ ——给定标准条件下大气质量为 N 的太阳光谱辐照度, $W/m^2 \cdot \mu m$;

$S_s(\lambda)$ ——太阳能电池绝对光谱响应, A/W 。

偏置光对光谱响应的影响程度随太阳能电池的类型不同而不同。经过实验证明偏置光对光谱响应没有明显影响的太阳能电池,测量时可以不加偏置光。

3 相对光谱响应的测试

3.1 基本要求

3.1.1 一般采用调制光测量太阳能电池的光谱响应(见图1)。



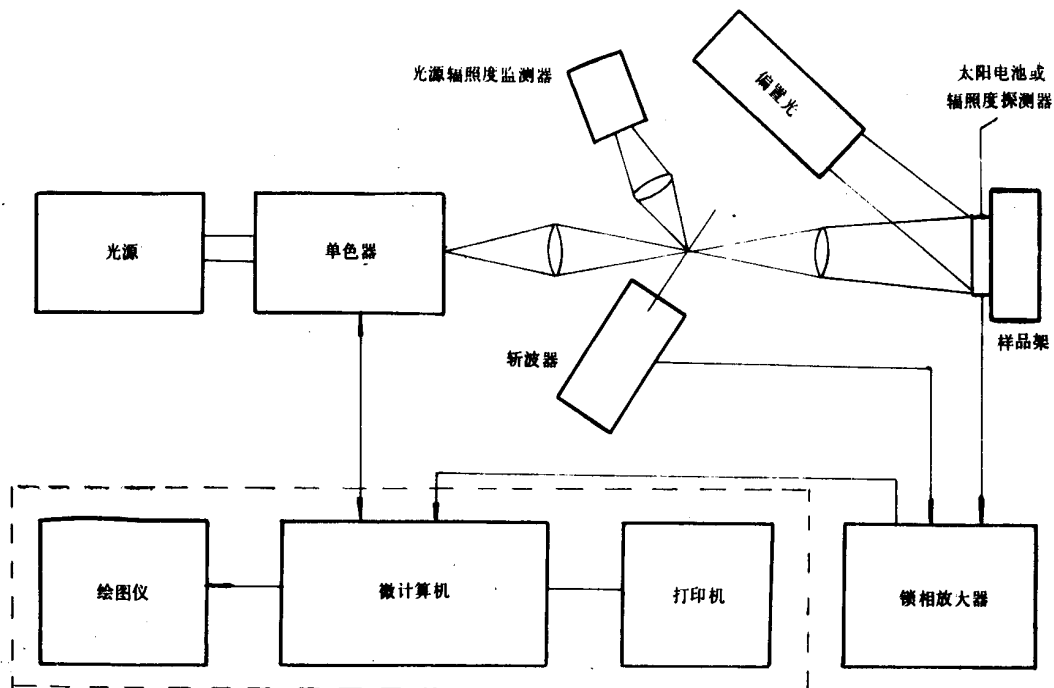


图1 太阳能电池光谱响应测量装置方框图

待测电池和取样电阻之间用粗短导线连接,测量仪器要严格接地,测量过程中应避免电火花或其他杂散信号干扰。从单色器到斩波器之间的光路部分需用减反射的光密封箱密封。标准测试温度规定为 25°C 。

3.1.2 允许采用恒定光或脉冲光测量太阳能电池的光谱响应,但应注意把单色光光路、测试电池和辐照度探测器等用减反射的光密封箱严格密封并防止其他热辐射干扰。杂散辐射强度应小于总辐射强度的 0.1% 。只有经过实验证明偏置光对光谱响应没有明显影响的太阳能电池才可以使用恒定光或脉冲光。

3.1.3 当用不同的方法测量太阳能电池的光谱响应所得结果不一致时,应以调制光测量方法为仲裁方法。

3.2 测量装置及设计

3.2.1 光源

3.2.1.1 光源可采用有足够辐照度的卤钨灯、稳态氙灯、脉冲灯或其他光源。

3.2.1.2 稳态光源的供电电源一般使用直流稳流源,要求输出电流不稳定性应每小时小于 0.1% ,直流电流纹波应不大于 2% 。

3.2.2 单色器

3.2.2.1 光栅单色器、棱镜单色器或滤光片组等都能够用作产生单色光的单色器,可根据实际情况选择。

3.2.2.2 光栅单色器各波长的带宽是均匀的,但应注意消除二级光谱的影响。

3.2.2.3 一般用钠灯或其他灯校准单色器的波长读数,波长刻度示值必须调节到与灯的标准波长谱线相一致。

3.2.2.4 使用窄带滤光片组能够获得大面积均匀的光照平面。对于中心波长小于 1000nm 的滤光片,要求通带半宽度小于 18nm ,背景小于 1% ,应定期检测滤光片的透光率曲线,滤光片组中滤光片中心波长的间距应不大于 50nm ,短波和长波滤光片的中心波长应满足测试太阳能电池光谱响应的要求。

3.2.2.5 使用光栅或棱镜单色器时应力求光照均匀,光照面的大小应按照待测电池的需要调节,光照面应覆盖待测电池。

3.2.3 偏置光

偏置光是一种非调制的恒定光,可用 AM0或 AM1.5太阳模拟器作为光源。测量时偏置光与交变的单色光相叠加照射太阳电池。为了便于控制待测电池的温度,在偏置光与样品之间应加上活动遮光板。

3.2.4 斩波器

单色光束通过斩波器后成为交变的低频信号,斩波频率一般为32Hz。

3.2.5 辐照度探测器

一般使用光谱响应已知的太阳电池作为比对太阳电池。用比对太阳电池代替一般的辐照度探测器。也可以使用真空热电偶、热释电辐射计等作为辐照度探测器。

3.2.6 取样电阻

一般采用0.01级标准电阻器作为取样电阻,接在待测电池的两端,用测量取样电阻上电压降的方法测量短路电流,取样电阻应取最小值,以便尽可能保证短路条件,一般可在0.1~0.8Ω范围内选择。

3.2.7 锁相放大器

锁相放大器是光谱响应测量中的关键设备,要求工作稳定、无漂移、线性好。

3.2.8 样品架

样品架的设计应保证在测量过程中使待测电池和辐照度探测器处于相同位置,使用经过校准的温度计测量样品架温度,测量误差应小于±1℃。

3.2.9 光源辐照度监测器

硅太阳电池或光电二极管都可用作光源辐照度监测器,一般设置在斩波器反光镜一侧,用来监视光源辐照度的稳定性。

3.2.10 信号检测

待测电池的短路电流和辐照度探测器的信号经放大器放大后可直接用数字电压表检测。数字电压表的准确度应不低于±0.1%(读数)±1个字,也可以用微计算机自动记录。

3.2.11 测量装置设计

按照图1将各部分装配成完整的测量装置。全套装置的设计允许采用两种形式:

- a. 手工操作,手工记录数据和计算;
- b. 在微计算机控制下自动测量,自动进行数据处理并输出结果。

由于光谱响应测量的实验操作和数据处理工作量大,为便于控制精度,本标准推荐将测量装置设计成为微计算机控制形式。

3.3 测试步骤及相对光谱响应的计算

3.3.1 测试步骤

无论手动或自动测量,均采用比对测量法:

- a. 用标准太阳电池测量并调节偏置光辐射到需要的辐照度;
- b. 调节待测电池的温度到规定温度;
- c. 用辐照度探测器测量单色光的相对能量;
- d. 在辐照度不变的条件下测量待测电池的短路电流密度。

3.3.2 相对光谱响应的计算

使用光谱响应已知的比对太阳电池作为光束辐照度探测器时,待测电池的相对光谱响应为:

$$S_r(\lambda) = S_r'(\lambda) \frac{J_{sc}(\lambda)}{J_{sc}'(\lambda)} \dots\dots\dots (2)$$

式中: $S_r'(\lambda)$ ——比对太阳电池的相对光谱响应;

$J_{sc}'(\lambda)$ ——比对太阳电池在给定辐照度下的短路电流密度, A/m²;

$J_{sc}(\lambda)$ ——待测电池在给定辐照度下的短路电流密度, A/m^2 。

若使用真空热电偶作为辐照度探测器,则待测电池的相对光谱响应 $S_r(\lambda)$ 按下式计算:

$$S_r(\lambda) = \frac{J_{sc}(\lambda)}{U(\lambda)} \dots\dots\dots (3)$$

式中: $U(\lambda)$ ——真空热电偶的开路电压, V。

3.4 测量误差

使用同一套测量装置,其测量误差应符合以下要求:

- a. 在峰值响应的半值以上区间,其相对误差应小于 $\pm 2\%$;
- b. 在峰值响应的半值以下区间,其相对误差应小于 $\pm 5\%$ 。

4 绝对光谱响应的测试及定标

4.1 基本要求

首先按照以上规定测量太阳电池的相对光谱响应,之后通过适当的步骤对纵坐标进行绝对定标,即可得到绝对光谱响应。常用的定标方法是激光定标,从出射激光光束到测试电池和绝对辐射计必须用减反射的光密封箱严格密封并防止其他热辐射干扰,待测电池的温度应该与测量相对光谱响应时相一致。为了保证精度,用绝对辐射计和待测电池重复测量三次以上,取三次以上的算术平均值作为光谱标定值,测量精度应不低于 $\pm 2\%$ 。

4.2 绝对定标测量仪器

4.2.1 激光器

一般选择10~30mW 稳态激光器作为定标光源,激光波长应在电池光谱响应灵敏度较高的波长范围之内,辐射不稳定度应每小时小于 $\pm 1\%$ 。

4.2.2 绝对辐射计

绝对辐射计用以测量激光光束的绝对能量,使用前先检查炭黑是否完整并校准功率灵敏度,要求精度不低于 $\pm 2\%$ 。

4.2.3 取样电阻

同3.2.6。

4.2.4 数字电压表

数字电压表是绝对辐射计和太阳电池输出信号的显示仪器,数字电压表的准确度应不低于 $\pm 0.1\%$ (读数) ± 1 个字。

4.2.5 可以用功率和单色性符合要求的其他单色光源代替激光器,定标步骤和数据处理方法按4.3条规定进行。

4.3 定标步骤和绝对光谱响应的计算

4.3.1 定标步骤

首先用绝对辐射计测量波长为 λ_c 的激光辐照度 $W(\lambda_c)$,在激光辐照度不变的条件下把绝对辐射计换为待测电池,测量电池的短路电流密度 $J_{sc}(\lambda_c)$ 。

4.3.2 绝对光谱响应的计算

测得 $W(\lambda_c)$ 和 $J_{sc}(\lambda_c)$ 之后,太阳电池在波长 λ_c 处的绝对光谱响应 $S_a(\lambda_c)$ 为:

$$S_a(\lambda_c) = \frac{J_{sc}(\lambda_c)}{W(\lambda_c)} \dots\dots\dots (4)$$

因相对光谱响应 $S_r(\lambda)$ 是已知的,令:

$$K = \frac{S_a(\lambda_c)}{S_r(\lambda_c)} \dots\dots\dots (5)$$

改写(5)式得:

$$S_a(\lambda_c) = K_{gr}(\lambda_c) \dots\dots\dots(6)$$

根据(5)式在波长 λ_c 处求得的比例系数 K 适用于各个波长,所以有:

$$S_a(\lambda) = K S_r(\lambda) \dots\dots\dots(7)$$

式中: $S_a(\lambda)$ ——所求太阳电池的绝对光谱响应, A/W。

当测量待测电池的相对光谱响应时,如果使用已知绝对光谱响应 $S'_a(\lambda)$ 的光谱标准太阳电池作为比对太阳电池,则按照(2)式,应把 $S'_r(\lambda)$ 换为 $S'_a(\lambda)$,待测电池的绝对光谱响应 $S_a(\lambda)$ 可直接计算出来:

$$S_a(\lambda) = S'_a(\lambda) \cdot \frac{J_{sc}(\lambda)}{J'_{sc}(\lambda)} \dots\dots\dots(8)$$

5 测试报告

见附录 A。

附 录 A
 太阳电池 ^{相对} _{绝对} 光谱响应测试报告单
 (参考件)

| | | | |
|---------|---------------------|--------|--|
| 电 池 名 称 | | 偏置光辐照度 | |
| 样 品 编 号 | | 测试单位 | |
| 电 池 面 积 | | 测试时间 | |
| 交 件 日 期 | | 测试人 | |
| 交件人 | | | |
| 光谱响应数据表 | | | |
| 波长, nm | 光谱响应, A/W (任意单位) | | |
| | | | |

附加说明:

本标准由中国科学院长春应用化学研究所、机械电子工业部第十八研究所负责起草。

本标准主要起草人李亦兵、周耀宗等。



OFweek光电网是中国规模最大的光电行业综合门户网站
<http://www.ofweek.com>

包括光通讯、光学/光传感、LED照明、光电显示、激光与红外、太阳能光伏等专业领域

欢迎使用我们为您提供的贴心服务：

上万份技术资料白皮书下载

<http://www.ofweek.com/whitepaper.html>

光电百科 - 光电人每天都要查阅的百科全书

<http://baike.ofweek.com/>

光电网社区 - 国内规模最大的光电人网上交流家园

<http://bbs.ofweek.com/>

特别奉献：2010光电世博专题

<http://www.ofweek.com/expo.html>