



中华人民共和国国家标准

GB/T 38200—2019

太阳能电池量子效率测试方法

Measurement method for quantum efficiency of solar cells

2019-10-18 发布

2020-05-01 实施

国家市场监督管理总局
中国国家标准化管理委员会 发布

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由全国宇航技术及其应用标准化技术委员会(SAC/TC 425)提出并归口。

本标准起草单位:上海空间电源研究所、中国航天标准化研究所。

本标准主要起草人:杨洪东、刘智、姜德鹏、池卫英、陆剑峰、倪家伟、陈国铃、瞿轶、张怡薇、谭雪雁、许冬彦。



太阳能电池量子效率测试方法

1 范围

本标准规定了太阳能电池量子效率测试的条件、原理、测试和数据处理方法。
本标准适用于单结、多结各类型太阳能电池量子效率的测试。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。
GB/T 2297—1989 太阳光伏能源系统术语

3 术语和定义

GB/T 2297—1989 界定的术语和定义适用于本文件。

4 测试目的

通过本标准所给方法获得的太阳能电池量子效率可用于表征太阳能电池器件光生载流子能力与器件结构。

5 样品准备与测试条件

- 样品准备与测试条件要求如下：
- a) 被测器件样品应是稳定的，不因光照而发生性能变化；
 - b) 环境压力：常压；
 - c) 样品测试温度：25 °C ± 2 °C。

6 测试原理

用不同波长的单色光辐照太阳能电池，当光子能量大于太阳能电池材料相应带隙宽度时，则会激发出电子-空穴对；而在外部形成回路时，则光生载流子形成电流。太阳能电池量子效率定义为一个具有一定波长的入射光子在外电路中产生电子-空穴对的数目。则太阳能电池在入射光波长为 λ 的光子照射下的量子效率 EQE(λ)可表达为式(1)。

$$EQE(\lambda) = \frac{n}{\Phi(\lambda)} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

Φ(λ)——单位面积上入射光的光子通量，单位为焦耳(J)；

n ——单位面积上光生载流子数。可由式(2)计算。

$$n = \frac{J_{ph}}{q} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

J_{ph} ——光生电流密度，单位为安培每平方米(A/m²)；

q ——基本电荷，单位为库仑(C)， $1 q \approx 1.602 \times 10^{-19} C$ 。

式(1)中的 $\Phi(\lambda)$ 可通过辐照度探测器测得单色光的强度为 $E(\lambda)$ ，单位为焦耳，则单位面积光子通量可由式(3)计算。

$$\Phi(\lambda) = \frac{2\pi \cdot E(\lambda)}{hc} \dots\dots\dots(3)$$

式中：

λ ——单色光波长，单位为米(m)；

h ——普朗克常数，单位为焦耳秒(J·s)， $6.626 \times 10^{-34} J \cdot s$ ；

c ——光速，单位为米每秒(m/s)， $3.0 \times 10^8 m/s$ 。

若使用已知光谱响应的参考太阳电池作为光束辐照度探测器时，则待测电池的量子效率可表达为式(4)。

$$EQE(\lambda) = EQE'(\lambda) \frac{J_{sc}(\lambda)}{J_{sc}'(\lambda)} \dots\dots\dots(4)$$

式中：

$EQE'(\lambda)$ ——参考太阳电池的量子效率；

$J_{sc}(\lambda)$ ——待测太阳电池在给定辐照度下的短路电流密度，单位为安培每平方米(A/m²)；

$J_{sc}'(\lambda)$ ——参考太阳电池在给定辐照度下的短路电流密度，单位为安培每平方米(A/m²)。

7 量子效率测试

7.1 基本要求

7.1.1 允许采用恒定光或脉冲光测量太阳电池的量子效率，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%。当用不同方法测量太阳电池量子效率的结果不一致时，应以调制光测量方法为仲裁方法。

7.1.2 一般采用调制光测量太阳电池的量子效率，如图 1 所示。

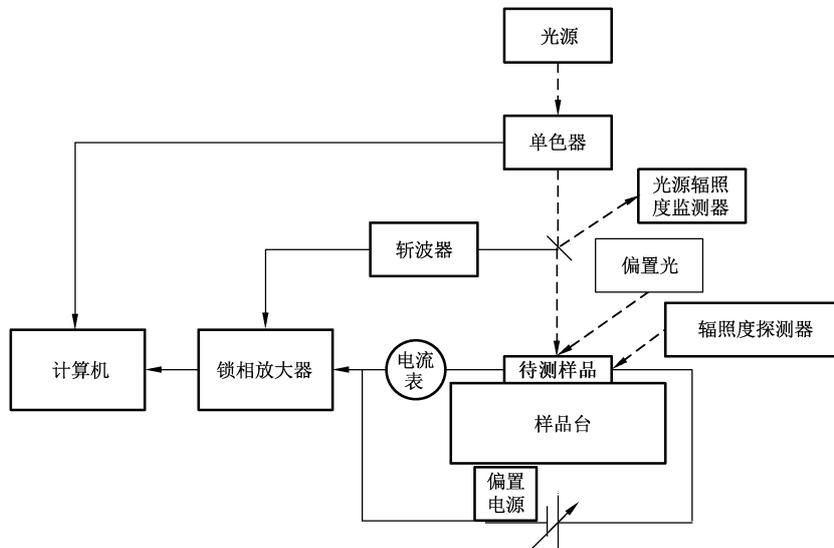


图 1 太阳电池量子效率测试装置方框图

7.1.3 测量仪器和标准器应符合相关计量标准要求,经计量机构检定合格或校准后,并在有效期内。

7.2 测试装置要求

7.2.1 光源

光源要求如下:

- a) 光源可采用有足够辐照度的卤钨灯、稳态氙灯或其他光源;
- b) 光源的光谱范围需覆盖待测太阳能电池光谱响应波长范围,优选稳态氙灯+卤钨灯组合光源,分别用于短波与中长波;
- c) 光源辐照度不稳定性优于 0.5%/h,并有监视探测器监测光源的不稳定性。

7.2.2 单色器

单色器要求如下:

- a) 光栅单色器、棱镜单色器或滤光片组等均能产生单色光(窄波段),可根据实际情况选择,推荐选择两个以上光栅的单色仪;
- b) 光栅单色仪各波长带宽均匀,注意消除二级光谱的影响,波长分辨率优于 0.2 nm,波长准确性优于 1 nm。

7.2.3 偏置光

偏置光要求如下:

- a) 偏置光是一种非调制的恒定光,可采用卤钨灯、氙灯与滤波片组合的方式,也可采用大功率激光光源;
- b) 偏置光源带通波段需与多结太阳能电池对应的带隙组合结构相匹配,使待测子电池电流受限。

7.2.4 辐照度探测器

辐照度探测器要求如下:

- a) 一般采用量值有效溯源、光谱响应度已知的光电探测器或标准太阳电池作为参考太阳电池,用参考太阳电池作为辐照度探测器;
- b) 参考太阳电池的光谱响应范围应覆盖待测太阳能电池的光谱响应范围。

7.2.5 测量系统

测量系统要求如下:

- a) 样品台应具有控温与升降调节能力,可使待测电池与辐照度探测器在同一平面上,建议使用真空吸附平台;
- b) 温度测量误差不超过 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- c) 测温传感器尽量靠近被测样品 PN 结;
- d) 测量电流、电压仪表的最大允许误差不超过使用量程的 $\pm 0.1\%$;
- e) 采样电阻一般采用 0.01 级以上的标准电阻器,取最小值,尽可能保证短路条件;
- f) 锁相放大器要求工作稳定,漂移优于 $5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$,线性优于 0.2%;
- g) 电流表精度要高于 5 nA;
- h) 偏置电源建议采用电子数字源表。

7.2.6 测试装置

按照图 1 将各部分装配成完整的测试装置,可采用两种设计形式:

- a) 手工操作,手工记录数据和计算;
 - b) 在计算机控制下自动测量,自动进行数据处理并输出结果。
- 建议测量装置设计成为计算机控制形式。

7.3 单结太阳能电池测试步骤

单结太阳能电池测试步骤如下:

- a) 打开光源并稳定一段时间至光源稳定输出,满足稳定度要求;
- b) 调节测试台的温度到规定温度;
- c) 用辐照度探测器校准单色光的能量;
- d) 将待测电池移到单色光源下,并调节到与辐照度探测器校准时的同一水平面上;
- e) 在辐照度稳定的条件下,测量并记录太阳能电池随单色光波长变化的电流值。

7.4 多结太阳能电池测试步骤

多结太阳能电池测试步骤如下:

- a) 打开光源并稳定一段时间至光源稳定输出,满足稳定度要求;
- b) 调节测试台的温度到规定温度;
- c) 用辐照度探测器校准单色光的能量;
- d) 将待测电池移到单色光源下,并调节到与辐照度探测器校准时的同一水平面上;
- e) 打开除待测子结外,与其他各非待测子结带隙相对应波段的偏置光源,辐照在待测电池上面,并关闭单色光快门或设置单色光为非待测子结带隙对应的波长范围;
- f) 若回路中电流表读数不为零(纳安级),则调节回路中电池两端的偏置电压,使电流表读数趋于零值;
- g) 打开单色光,在辐照度稳定的条件下,测量并记录待测子结随单色光波长变化的电流值;
- h) 依据步骤 e)~步骤 g),测量多结太阳能电池其他子结的电流值。

7.5 量子效率的计算

量子效率的计算如下:

- a) 把所测得的单结太阳能电池数据由式(4)计算单结太阳能电池在各波长下的量子效率,并以波长为横坐标,量子效率为纵坐标,作图给出曲线;
- b) 把所测得的多结太阳能电池数据由式(4)计算多结太阳能电池的不同子结分别在各波长下的量子效率,并以波长为横坐标,量子效率为纵坐标,作图给出曲线。

8 数据处理

太阳能电池量子效率测试数据包含量子效率测试曲线与原始数据,其中原始数据用于计算太阳能电池或各子结(多结太阳能电池)的短路电流密度。可根据式(5)计算太阳能电池或各子结短路电流密度,结果保留小数点后 3 位。

$$J_{sci} = q \times \int_{\lambda_{i1}}^{\lambda_{i2}} \phi(\lambda) \times EQE_i(\lambda) d\lambda \dots\dots\dots (5)$$

式中：

J_{sci} ——待测电池各子结的短路电流密度，单位为安培每平方米(A/m²)；

λ_{i2} ——待测电池第 i 子结的终止波长，单位为米(m)；

λ_{i1} ——待测电池第 i 子结的起始波长，单位为米(m)；

$EQE_i(\lambda)$ ——待测电池第 i 子结的量子效率。

已知某种光谱(如 AM0)，则可以依据式(5)算出太阳能电池各子结的电流密度。

当单色仪光束面积大于被测太阳能电池面积时，应至少对太阳能电池或各子结进行三次量子效率测量，依据式(5)求得各次短路电流密度后，再求其算术平均值为其短路电流密度最终结果。

当单色仪光束面积小于被测太阳能电池面积时，应至少在太阳能电池面积上取均匀对称的 5 个点进行测量(以矩形电池为例，如图 2 所示)，依据式(5)求得每点短路电流密度，然后求其算术平均值为其短路电流密度最终结果。

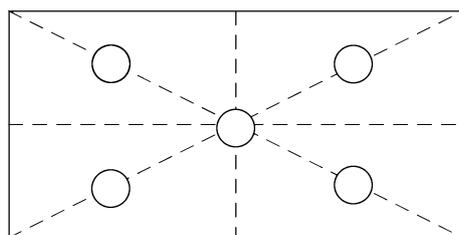


图 2 太阳能电池量子效率测量点分布

9 测试报告

太阳能电池量子效率测试报告应该包括以下信息：

- a) 样品名称或型号；
- b) 测试日期；
- c) 执行标准编号(GB/T 38200—2019)；
- d) 单位名称；
- e) 测试条件；
- f) 样品编号；
- g) 对应太阳能电池各子结的量子效率测试曲线；
- h) 对应太阳能电池各子结与相应光谱条件下的短路电流密度。