

# 团 体 标 准

T/CPIA 0020—2020

---

## 晶体硅光伏电池电致发光测试方法

Test method of electroluminescence (EL) imaging for crystalline silicon

photovoltaic cells

中国光伏行业协会  
China Photovoltaic Industry Association

2020-03-10 发布

2020-03-20 实施

---

中国光伏行业协会 发布

# 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则编写。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国光伏行业协会标准化技术委员会归口。

本标准起草单位：隆基乐叶光伏科技有限公司、中国电子技术标准化研究院、泰州隆基乐叶光伏科技有限公司、浙江隆基乐叶光伏科技有限公司、莱茵技术（上海）有限公司、天合光能股份有限公司、浙江晶科能源有限公司、常州亿晶光电科技有限公司、英利能源（中国）有限公司、国家太阳能光伏产品质量监督检验中心、上海晶澳太阳能科技有限公司。

本标准主要起草人：李华、张松、孟夏杰、裴会川、王赶强、任改改、田辉武、Christos Monokroussos、闫萍、张昕宇、李宁、张飞、汤欢、李英叶、宋昊、徐德生。





# 晶体硅光伏电池电致发光测试方法

## 1 范围

本标准规定了晶体硅光伏电池的电致发光测试方法，包括定量采集电致发光图像、处理图像以获得相关的量化指标等。本标准提供导则以定性解释电致发光图像中观察到的特征。

本标准适用于实验室未封装和单片封装的晶体硅光伏电池的测试，生产线可参考使用。

## 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 太阳光伏能源系统术语

GB/T 29195 地面用晶体硅太阳能电池总规范

GB/T 29298-2012 数字（码）照相机通用规范

T/CPIA 0009-2019 电致发光成像测试晶体硅光伏组件缺陷的方法

IEC TS 60904-13 光伏器件-第13部分：光伏组件的电致发光（Electroluminescence of photovoltaic modules）

## 3 术语和定义

GB/T 2297，GB/T 29298-2012，T/CPIA 0009-2019界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**正向注入电流 forward injection current**

通过施加正向偏置电压而产生的注入电流。

注：偏置分为两种类型：正向偏置是指电池在测试时，电源引出线与电池的相同极性电极相连。反向偏置是指电池在测试时，电源引出线与电池的相反极性电极相连。

### 3.2

**渐晕 vignetting**

图像边缘强度相比于图像中心强度减小的现象。

### 3.3

#### 灰度值 gray level

指黑白图像中点的颜色深度。范围一般从0~255，白色为255，黑色为0，故黑白图片也称灰度图像。

### 3.4

#### 清晰度 sharpness

清晰度是指宏观看到的图像的清晰程度，是由系统和设备的客观性能的综合结果造成的人们对最终图像的主观感觉。

### 3.5

#### 空间分辨率 resolution

空间分辨率是指区分细节的能力。

### 3.6

#### 视场 field of view

相机对待测平面的两束入射光线之间的最大夹角，可描述相机所拍摄场景的角度范围。

## 4 样品准备

测试样品的准备应满足以下要求：

- a) 测试样品为单片晶体硅电池片；
- b) 测试晶体硅电池外观应符合 GB/T 29195-2012 中 4.1.5 的规定；
- c) 测试电池样品表面需保持清洁，无明显的裂痕或异物等。

## 5 测试设备

### 5.1 总则

测试设备由成像系统、暗室、电源、图像处理系统等组成，如图1所示。接线方式参见3.1的注，应结合电池类型（例如MWT，IBC等特殊电极结构进行有效连接）及后续电池应用过程中的实际受光面进行测试。

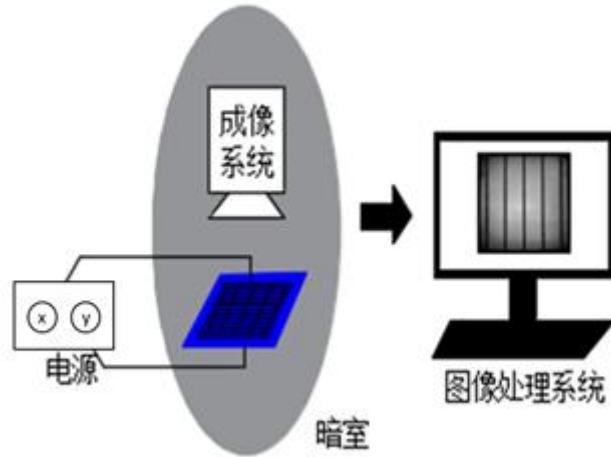


图1 测试设备

## 5.2 成像系统

### 5.2.1 相机

相机的探测器应对波长范围为900nm~1200nm的光敏感，对应于晶体硅电池电致发光的波长范围。

相机位置相对于电池平面的视角，宜与待测电池表面正交。相机相对于电池平面法线的最大视角应小于 $50^\circ$ 。拍摄EL图像时应从电池受光面进行。如果是双面电池，也可从电池的反面拍摄。

### 5.2.2 镜头

应根据设备几何尺寸选择合适的镜头，宜使用高分辨相机搭配广角镜头以获得更大的视场。

镜头上不应有对900nm~1200nm红外辐射波段强吸收的涂层或滤光片。镜头上需要设置可滤除待测波长以外的光线的滤光片。

注：焦距较长的镜头引起的图片畸变较少，拍摄的图像更精确，无需后处理修正。部分光圈较大的镜头会产生渐晕，部分广角镜头会产生图像畸变，需要后处理修正。

## 5.3 暗室

可通过利用设备箱体结构设计、帘子、挡板等制造暗室环境，消除测试设备拍摄环境的杂散光对拍摄结果的影响。

## 5.4 电源

使用直流电源，并能够提供大于待测电池的短路电流 ( $I_{sc}$ ) 的电流强度。当给待测电池通有  $I_{sc}$  的正向电流时，待测电池两端电压应约等于其开路电压 ( $V_{oc}$ )。

宜使用四线法单独提供电流并测量待测电池的电压。

## 5.5 图像处理系统

图像处理系统通过图像处理软件给图像赋值，黑色表示最弱的EL信号，白色表示最强的EL信号。赋值遵守线性规则。使用假彩色标尺，给每个信号水平分配颜色。电池有效区域的图像数据不应超过相机探测器上限值，避免探测器饱和。

图像处理软件应具有如下功能，包括：赋值值域调整、图像裁剪、显示图像任一点的EL强度、去除杂散光及噪声、图像后处理修正。图像后处理修正包括去除坏像素点、畸变修正、渐晕修正、帧间差分、平行修正等。修正方法参考IEC TS 60904-13。

## 5.6 图像分辨能力

图像的分辨能力反映了EL设备成像的等级水平。其中清晰度根据像素距离和灰度值分布进行现场设备等级的计算，要求清晰度 $S \leq 0.5\text{mm}$ 以达到EL图像采集的基本要求。图像清晰度的计算方法和分类可参照IEC TS 60904-13，清晰度的定量计算参考附录A。空间分辨率可以使用具有相同宽度并且黑白相间的线对 ( $lp$ ) 条纹图案进行对标，要求对于测试实验室用的隐裂检测仪，空间分辨率应至少为A级，具体量化方式可参照标准 T/CPIA 0009-2019中5.2.1.1。

# 6 测试步骤

## 6.1 EL 测试设备校准

EL测试设备的校准应满足以下要求：

- a) 确认EL检测设备供电正常，成像系统正常；
- b) 确认EL检测设备的探针排符合待测电池的电极结构；
- c) 确认EL检测设备暗室的门能够正常关闭，确保测试过程没有影响成像的杂散光；
- d) 样品表面清洁，确认无明显的干扰测试结果判断的脏物、异物或裂痕等；
- e) 结合图像清晰度或空间分辨率的量化方式对图像分辨率进行量化确认。

## 6.2 参数设置

### 6.2.1 相机设置

#### 6.2.1.1 图像强度调整

相机的聚焦以及焦点设置应能清晰的反映被拍摄对象的特征。

图像强度与电流强度相关：电流强度越大，图像强度越高。若电流强度固定，可以通过增加曝光时间或减小光圈值来调整图像强度。若固定电流强度和光圈值，可以通过调整曝光时间来优化图像强度。

图像强度调整后应满足图像信噪比和清晰度要求。

### 6.2.1.2 视场优化

在优化后的视场中，电池周围不产生EL部分的面积比例应小于20%。

### 6.2.1.3 曝光时间

可通过增加曝光时间以增加图像强度和信噪比。但曝光时间不可无限大，以避免像素点饱和。

在定性解释图像时，图像信噪比要求为： $SNR_{50} > 5$ 。

### 6.2.1.4 图像分辨率

图像分辨率以图像清晰度或空间分辨率为核心参数，量化EL测试设备的信号分辨能力。对于最终的输出图像，其量化分辨能力应达到图像清晰度 $\leq 0.5\text{mm}$ 或测试晶硅电池的EL测试仪空间分辨率至少为A级的要求。

## 6.2.2 环境设置

实验室测试环境要求：

- a) 环境温度： $20^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 环境相对湿度： $\leq 75\%RH$ ；
- c) 测试环境保持清洁、无振动；样品和相机镜头不应有灰尘，测试平台干净、整洁、光滑无划痕。

## 6.3 连接电路

将电源的正负引线连接到电池测试平台上，电源的正引线与样品的正电极匹配。探针的布置应匹配电池的主栅线图形设计，以便获得均匀分布的电池输出。对于多主栅线电池，宜给每个主栅线匹配一个电流探针排，每个探针排上设置多个电流探针，以确保电流均匀分配。对于无主栅、IBC、MWT等类型的太阳电池，宜使用合适的导电系统，保证探针和电池电极的有效接触，达到电流均匀分布的要求。

## 6.4 正向注入电流和成像

应在以下正向注入电流下获取图像：

- a) 高电流测试：正向注入电流宜采用  $(0.6 - 1.2) \times I_{sc}$ 。
- b) 低电流测试根据客户要求设置测试电流，低电流测试注入电流宜采用  $0.1 \times I_{sc}$ 。

应根据6.2.1的要求，优化每个正向注入电流下的曝光时间以获得满足清晰度或空间分辨率要求的图像。

**注：**局部缺陷的存在会影响该区域的EL强度。因此EL可以反应电池的局部缺陷信息，定性解释晶体硅光伏电池电致发光图像的示例参考附录B。在高正向注入电流下，分流或者非发光复合区域会被定位，例如断线的高串联电阻区域；低正向注入电流下，串联电阻差异会引起对比度降低，分流会引起整体EL强度的降低。



## 6.5 图像处理

采集图像后，对图像进行修正，显示和优化，以达到期望的图像质量。处理后的图像不应失真，应真实反映所测电池片不同部位的电致发光特性。图像处理可参考附录B中EL测试结果示例，以最大限度呈现不同EL测试信号的形貌为原则，完成图像处理。

## 7 报告

测试报告由测试实验室或机构编制，每份测试报告至少应包括以下内容：

- a) 标题；
- b) 测试图像；
- c) 设备图像清晰度或设备空间分辨率；
- d) 测试实验室的名称和地址；
- e) 客户的姓名及地址；
- f) 样品来源和取样过程，样品的型号和规格；
- g) 测试项目的接收日期及测试日期；
- h) 测量设备型号和标识，包括相机探测器种类；
- i) 测试的环境温度和湿度，测试正向注入电流、电压和相机设置；
- j) 如果图像经过修正，需提供图像修正信息；
- k) 报告内容操作人和负责人的签名和日期。

附录 A

(规范性附录)

定量计算晶体硅光伏电池电致发光图像清晰度

清晰度是 EL 采集图像中可分辨对象大小的参数,与表征镜头解像能力的调制传递函数(MTF)呈线性关系,但清晰度的量化方式,相比于空间频域相关的概念,更易于操作且直观。本附录引用 IEC TS 60904-13 中表述的 EL 图像清晰度的计算方法 V-CUT,要求达到仍可提供 50%对比度的最小图像尺寸。图像清晰度  $S$  (单位 mm) 取决于像素尺寸和电池表面上结构(例:栅线轮廓)的线性距离。同时还受两个光学效应影响:镜头引起的像差和光的衍射。通过采用 EL 图像表面粘贴或固定不透光档条  $L_1$  和  $L_3$  (如图 A.1) 来创建两个边缘。简化后(如图 A.2),  $P_1$  和  $P_3$  分别为档条的端点,设置长带夹角  $\alpha$  为  $(3\sim 9)^\circ$  (例如:档条尺寸为 10cm,则末端开口处为 0.5cm~1.6cm),中线  $L_2$  从  $p_0$  到  $p_2$ ,其中  $p_0$  是  $L_1$  和  $L_2$  的交点, $p_2$  是  $p_1$  和  $p_3$  的中点。 $r_{50}$  是沿着  $L_2$  的 EL 强度衰减到 50% 时候的距离(如图 A.3),可以人工也可以编写 matlab 进行读值。基于上述设置,图像清晰度的计算方法见公式(A.1)和(A.2)。为了减少不确定度,测试需要至少在不同位置和角度重复五次。

$$S = 1.35 \cdot \alpha \cdot r_{50} \dots\dots\dots (A.1)$$

$$\alpha = \arccos\left(\frac{p_0 p_1^2 + p_0 p_3^2 - p_1 p_3^2}{2 \cdot p_0 p_1 \cdot p_0 p_3}\right) \dots\dots\dots (A.2)$$

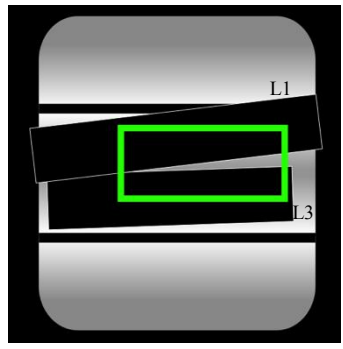


图 A.1 使用铝带引入两个边缘的EL图像

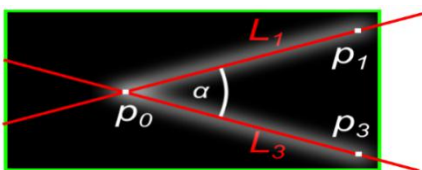


图 A.2 档条夹角  $\alpha$  和线段定义示意图

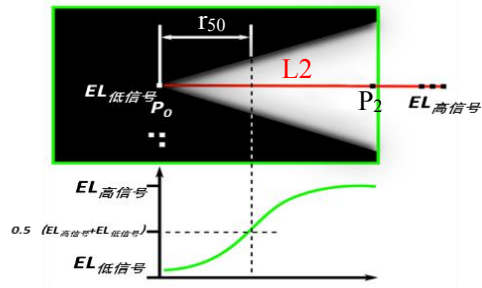


图 A.3 EL强度值延中线L2的强度分布示意图



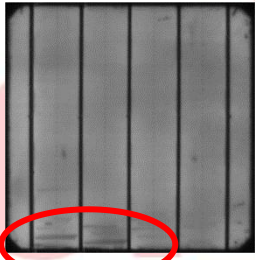
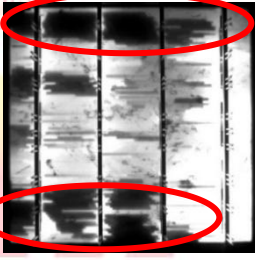
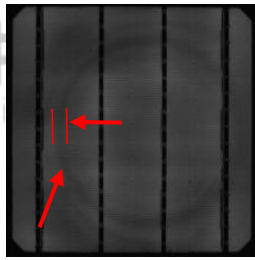
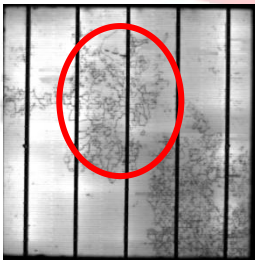
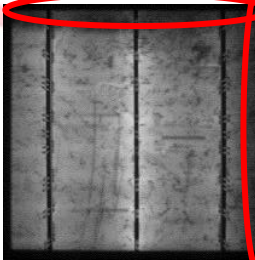
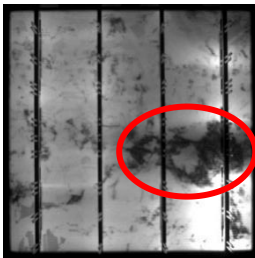

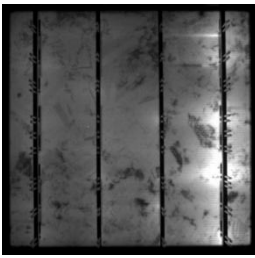
## 附录 B

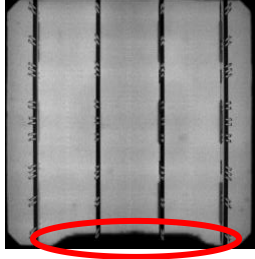
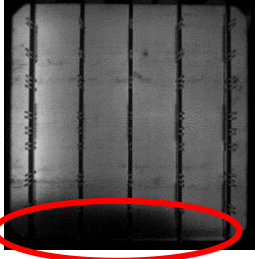
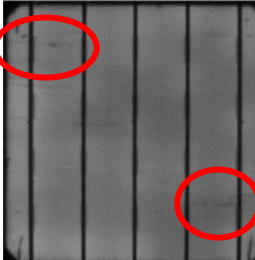
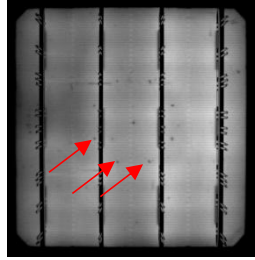
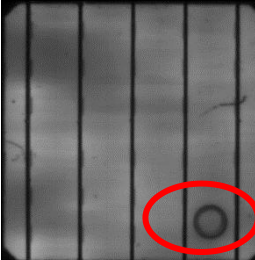
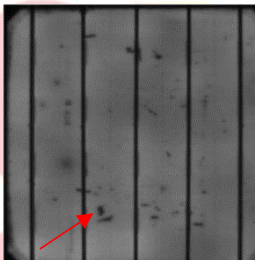
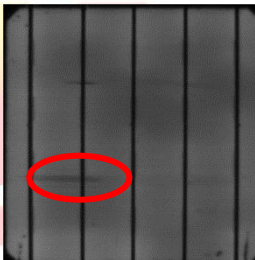
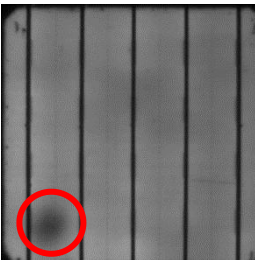
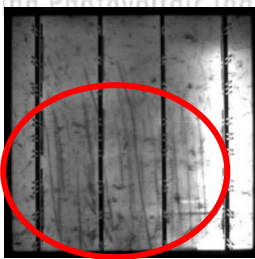
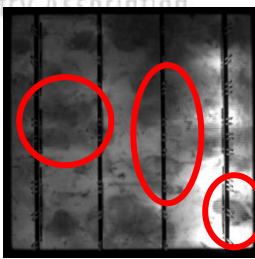
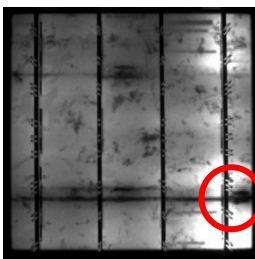
(资料性附录)

## 定性解释晶体硅光伏电池电致发光图像

表 B.1 给出了结合电致发光测试原理定性解释晶体硅光伏电池电致发光图像缺陷特征示例,并对其缺陷位置进行了标识。需要注意的是电致发光测试是定性测试,具体图像产生的根本原因应结合电池结构,生产工艺过程以及其他测试手段综合分析。

表 B.1 部分典型晶体硅光伏电池电致发光图像示例

缺陷类型	图像		
断栅或栅线缺失	断栅	断栅&栅线缺失	
			
少数载流子寿命下降	同心圆	准单晶位错	黑边
			
	絮状黑图	位错	暗片
			
分流缺陷	局部分流		

			
硅片或电池污染以及摩擦痕迹	划伤	吸盘印	吸笔印
			
	框印	皮带印	黑点
			
	划伤	手指印	水纹印
			
电池裂纹	十字裂纹	45° 裂纹	边缘裂纹
	