

SJ

中华人民共和国电子行业标准

SJ/T XXXXX—2025

## 晶硅光伏组件电致发光成像测试方法

Test method for electroluminescence (EL) imaging of crystalline silicon photovoltaic modules

(报批稿)

(2024年9月3日)

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

工业和信息化部标准报批稿公示

## 目次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 测试设备	2
4.1 测试设备构成	2
4.2 测试设备性能	3
5 测试环境	4
6 测试准备	4
6.1 设备校准	4
6.2 样品检查	4
6.3 参数调节	4
7 测试步骤	4
8 测试报告	5
附录 A (资料性) EL 测试设备分类	6
附录 B (资料性) EL 空间分辨率测试板参考标准样式	7
附录 C (资料性) 不同类型组件 EL 测试参数	8
附录 D (资料性) 电致发光缺陷分类	9
参考文献	17

## 前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

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专利的责任。

本文件由全国太阳能光伏能源系统标准化技术委员会(SAC/TC 90)提出并归口。

本文件起草单位：天合光能股份有限公司、常熟阿特斯阳光电力集团股份有限公司、福建省计量科学研究院、厦门理工学院、隆基绿能科技股份有限公司、中国电子技术标准化研究院、中国计量科学研究院、苏州UL美华认证有限公司、中国华能集团清洁能源技术研究院有限公司、陕西众森电能科技有限公司、浙江晶科能源有限公司、普德光伏技术(苏州)有限公司、沛煜光电科技(上海)有限公司、中国信息通信研究院中国泰尔实验室、国家电投集团黄河上游水电开发有限责任公司、英利能源(中国)有限公司、南德认证检测(中国)有限公司、天津蓝天特种电源科技股份有限公司、一道新能源科技股份有限公司、东方日升(义乌)新能源股份有限公司、无锡市检验检测认证研究院、中建材浚鑫科技有限公司、合创检测(江苏)有限公司、南方电网综合能源股份有限公司、寺派新能源技术(上海)有限公司北京分公司、河海大学、浙江润海新能源有限公司、上海交通大学、苏州科技大学、华能新疆能源开发有限公司。

本文件主要起草人：闫萍、陈奕峰、王兵、许涛、王阳、何翔、林剑春、李振国、童洪波、裴会川、段少静、蔡川、朱华、薛尧、刘皎、郭志球、蒋建平、陈超、吴亚盼、唐兰兰、郑炯、武耀忠、黄亚丽、姚川朋、刘亚锋、曹月娟、郭万武、高传楼、李达、王童、王磊、董亮、张臻、朱爱敏、刘瑞。

# 晶硅光伏组件电致发光成像测试方法

## 1 范围

本文件规定了晶硅光伏组件电致发光成像测试的测试设备、测试环境、测试准备、测试步骤和测试报告等要求。

本文件适用于晶硅光伏组件室内电致发光成像的测试，室外测试可参考使用。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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。

JJF 2063 光伏电池组件电致发光缺陷检测仪校准规范

IEC 61215-1:2021 地面用光伏组件设计鉴定与定型 第1部分：测试要求 (Terrestrial photovoltaic (PV) modules—Design qualification and type approval—Part 1: Test requirements)

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**电致发光 electroluminescence (EL)**

由于电场作用而产生的发光现象。可称为电场发光，简称EL。

注：EL分为两种类型，一种是半导体p-n结的注入式电致发光，另一种是本征型电致发光。目前光伏产业使用较多的是光伏电池、组件正向偏置下少子注入式的电致发光。

### 3.2

**电致发光缺陷 electroluminescence defect**

在电致发光作用下所观察到的影响太阳电池性能的特征。

注：在光伏电池、组件中观察到的对电池组件性能造成不良影响的特征，通常有黑心、黑边、亮斑、裂纹、断栅和暗片等。

### 3.3

**曝光时间 exposure time**

电致发光缺陷测试仪成像传感器接收光伏组件电致发光信号所用的时间。

### 3.4

**成像时间 imaging time**

将光伏组件放置在测试设备上之后，缺陷检测仪获取并输出一个光伏组件的电致发光图像到显示器所用的时间。

### 3.5

**像素 pixel**

图像传感器上能单独感光的最小物理单元。

[来源：GB/T 29298—2012，3.4]

### 3.6

**杂散光 stray light**

图像传感器对光伏组件进行缺陷检测时接收到的除电致发光之外的影响成像图像的光。

### 3.7

**灰度值 gray level**

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。

3.8

**灰度峰值** peak of grayscale histogram

黑白图像的灰度直方图中最多像素数的点所对应的灰度值。

3.9

**线对每毫米** line pairs per millimeter

按有关标准规定，采用能分辨的每毫米等间隙黑白线对数来表示分辨能力（如视觉分辨率和极限分辨率）的度量单位。

[来源：GB/T 20733—2022, 3.4.8]

3.10

**EL 空间分辨率** EL spatial resolution

表征电致发光缺陷检测仪对EL图像的细节分辨能力。

注：根据光学成像系统常见的成像质量测试方法，通常采用等宽度的黑白条纹作为成像目标对成像系统的空间分辨率进行测试，以Rs表示，其单位为线对每毫米(1 p/mm)。

3.12

**像素分辨率** pixel resolution

表示像素的数量，也称为像素值。对于图像传感器，其像素值表示其包含的像素总数量；对于最终输出的图像，像素值表示该图像中的像素总数量。

[来源：GB/T 29298—2012, 3.4, 有修改]

3.13

**EL 空间分辨率测试板** EL spatial resolution test chart

为测试EL成像系统的特性而规定的测试图。

3.14

**正向电流** forward current

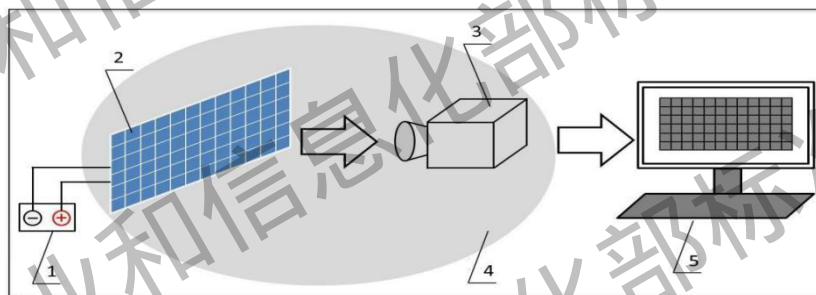
流入光伏电池或组件正极的直流电流。

4 测试设备

4.1 测试设备构成

4.1.1 概述

EL测试设备主要由直流电源、成像系统、暗室、图像处理系统构成，见图1。设备类型参见附录A。



标引序号说明：

1—直流电源；

2—测试样品(晶体硅组件)；

3—成像系统；

4—暗室；

5—图像处理系统。

图1 EL 测试设备示意图

4.1.2 直流电源

为光伏组件提供正向直流电流的装置。正向电流,也称为偏置电流,通常为恒流运行模式。

#### 4.1.3 成像系统

成像系统由成像探测器、成像镜头、操作软件组成。

- 成像探测器由硅、锗、碲化镉等材料制成,应对光伏组件的电致发光波段有响应。
- 成像镜头应允许光伏组件产生的电致发光透过。可利用滤光片或涂层来消除杂散光。
- 操作软件,可操作并控制直流电源的通电和断开、成像系统(包含成像镜头、成像探测器等)的曝光控制、被检测组件的移动、成像系统的移动等。

#### 4.1.4 暗室

为光伏组件的EL测试提供合适的检测环境,同时可抑制杂散光。可以是设备自身的箱体结构、遮光布帘或者设备外部的不干扰成像的检测环境。

#### 4.1.5 图像处理系统

用于对成像探测器采集到的图像信息进行处理,得到被检测光伏组件的图像,具备图像显示、缩放、调节灰度、拼接等功能,并可进行图像像素、曝光时间等图像信息的查询。

### 4.2 测试设备性能

#### 4.2.1 概述

EL测试设备性能主要由直流电源、成像系统、图像处理系统的特性决定。

#### 4.2.2 直流电源

直流电源应能在所测试光伏组件短路电流( $I_{sc}$ )的0.1倍~1.0倍范围进行电流设置。

#### 4.2.3 成像系统

##### 4.2.3.1 空间分辨率

EL测试设备以空间分辨率作为等级判定的基本指标。为比较EL测试设备性能,图像的空间分辨率的等级划分见表1。EL空间分辨率测试板标准样式参见附录B。不同使用场合,成像系统应满足相应的空间分辨率等级要求:

- 对于测试实验室用的EL测试设备,空间分辨率应至少为A级;
- 光伏组件制造生产线用的EL测试设备,空间分辨率应至少为B级;
- 用于室外电站、组件阵列测试或当进行覆盖面积较大的快速测试时,空间分辨率应至少为C级。

注:由于成像系统和光学设计的差异,空间分辨率与像素分辨率无对应关系。

表1 空间分辨率的等级划分

序号	等级	空间分辨率/(lp/mm)
1	A+	$R_s \geq 1.0$
2	A	$0.5 \leq R_s < 1.0$
3	B	$0.25 \leq R_s < 0.5$
4	C	$0.1 < R_s < 0.25$

##### 4.2.3.2 检测效率

检测效率是指光伏组件单次检测时间的长短,主要由曝光时间和成像时间来控制。

- 曝光时间应保证光伏组件检测时形成足够清晰的图像,具体使用参数参见附录C;
- 成像时间满足光伏组件检测效率的要求。对于量产的EL检测设备,通常应小于30s。

#### 4.2.4 图像处理系统

图像处理系统性能由失真、噪声、杂散光、缺陷识别、像素分辨率、灰度峰值等因素决定:

- a) 失真不得干扰识别缺陷；
- b) 噪声不应影响缺陷的正确识别；
- c) 具有抑制杂散光的能力；
- d) 应能对 EL 图像中的缺陷特征进行区分和标记，这些标记不应该影响检测人员对图像的辨识以及原始图像的保存；
- e) 像素分辨率应能满足对将所测试图像缩放至相近的显示尺寸，对同一个光伏组件的 EL 测试图像进行比较；
- f) EL 图像的灰度峰值应在成像探测器饱和度的 30 %~70 % 之间。

注：通常采用灰度来表示检测图像的明暗，对于成像探测器采集到的、具有较高电致发光信号的图像应使用高亮度（趋向白色）表示，具有较低电致发光信号的图像应使用低亮度（趋向黑色）表示。

## 5 测试环境

测试环境应满足设备规定的使用要求：

- a) 环境温度：5 °C~45 °C；
- b) 相对湿度：≤75 %；
- c) 测试环境应保持清洁、无振动；
- d) 环境温度变化切换时，宜预留足够的缓冲时间，保证相机可拍照成像。

## 6 测试准备

### 6.1 设备校准

测试设备中所有需要校准的仪器应在首次安装时进行校准，在使用过程中应根据使用频次、使用情况及仪器使用手册定期进行校准。EL 测试设备的校准报告应给出校准等级。

### 6.2 样品检查

测试样品外观应符合 IEC 61215-1:2021 中第 8 章的规定，测试样品和测试台面需保持清洁，无明显裂痕、划痕或异物。相机镜头无尘和无污渍。

### 6.3 参数调节

按照 JJF 2063，用标准样板校准 EL 图像的灰度值，确保所得到的光伏组件 EL 图像的灰度值达到测试要求。

## 7 测试步骤

应按照下列流程进行测试操作：

- a) 检查设备，确认设备满足样品测试的性能要求；
- b) 设置测试参数，根据样品信息设置电流参数不小于 0.6 倍的  $I_{sc}$ ，可根据实际情况设置低电流测试，低电流测试不大于 0.2 倍的  $I_{sc}$ ；组件层压前后测试，其设置参数参见附录 C；
- c) 打开暗室，将样品放入测试区域，使其表面与成像镜头垂直，镜头应对准待测样品的中间区域，保证测试样品在测试区域可以成像；
- d) 将测试样品正极与直流电源正极相连，负极与直流电源负极相连，启动电源；
- e) 关闭暗室，明确接线盒的位置，保证 EL 图像的方向与观察方向一致，开始拍照，保存图像；
- f) 测试完成，先关闭直流电源，再断开测试样品的正、负极接线，打开暗室，取出测试样品；
- g) 利用图像处理系统进行 EL 图像区分和标记，EL 测试图片可通过图像拼接得到（用于拼接的图像宜在同一参数条件下生成）；
- h) 检查测试图像缺陷，并按照缺陷分类判定缺陷类型（参见附录 D）；
- i) 填写测试记录和报告。

## 8 测试报告

测试报告应至少包括以下内容：

- a) 样品来源、名称、规格、样品序列号；
- b) 仪器名称、型号、等级、仪器校准有效期；
- c) 测试环境温度和相对湿度；
- d) 参数设定（电流、电压、曝光时间等）；
- e) 样品的描述、状态、明确的标识；
- f) 测试结果（包括缺陷类型、数量和图像）；
- g) 测试操作人员、报告编制人员、审核人员、批准人员、报告编号；
- h) 测试依据的标准编号和标准名称；
- i) 测试机构、名称、地址；
- j) 测试日期。

## 附录 A

(资料性)

### EL 测试设备分类

#### A.1 按成像方式

按成像方式，EL测试设备可分为固定式与扫描式：

- a) 固定式结构，成像镜头以及被检测组件在进行光伏组件的一次缺陷检测时都处于固定位置，不发生移动；
- b) 扫描式结构，成像镜头或者被检测组件在进行光伏组件的一次缺陷检测时有发生移动。

#### A.2 按成像光学系统结构

按成像光学系统结构可分为直接式与间接式：

- a) 直接式结构，EL测试系统的成像镜头与光伏组件之间无反射镜等光学元件，所成图像与光伏组件的正面目视图像布局方向相同；
- b) 间接式结构，EL测试系统的成像镜头与光伏组件之间有反射镜等光学元件，且所成图像与光伏组件的正面目视图像为镜像关系。

#### A.3 按镜头数量

根据镜头数量可分为单镜头与多镜头：

- a) 单镜头结构，EL缺陷检测系统只有一个成像镜头；
- b) 多镜头结构，EL测试系统有多个成像镜头。

#### A.4 按测试光路与样品所在平面放置方向

根据测试光路与样品所在平面放置方向分立式和卧式：

- a) 立式，样品平放，测试光路垂直测试样品表面；
- b) 卧式，样品竖放，测试光路垂直测试样品表面。

附录 B  
(资料性)

EL 空间分辨率测试板参考标准样式

EL 测试设备等级判定以空间分辨率作为指标，宜使用具有相同宽度的线对 (lp) 条纹图案来对 EL 测试设备的空间分辨率进行测试，以所测试视场内不同位置空间分辨率的最小值判定为 EL 测试设备等级。EL 空间分辨率测试板参考标准样式见图 B.1。

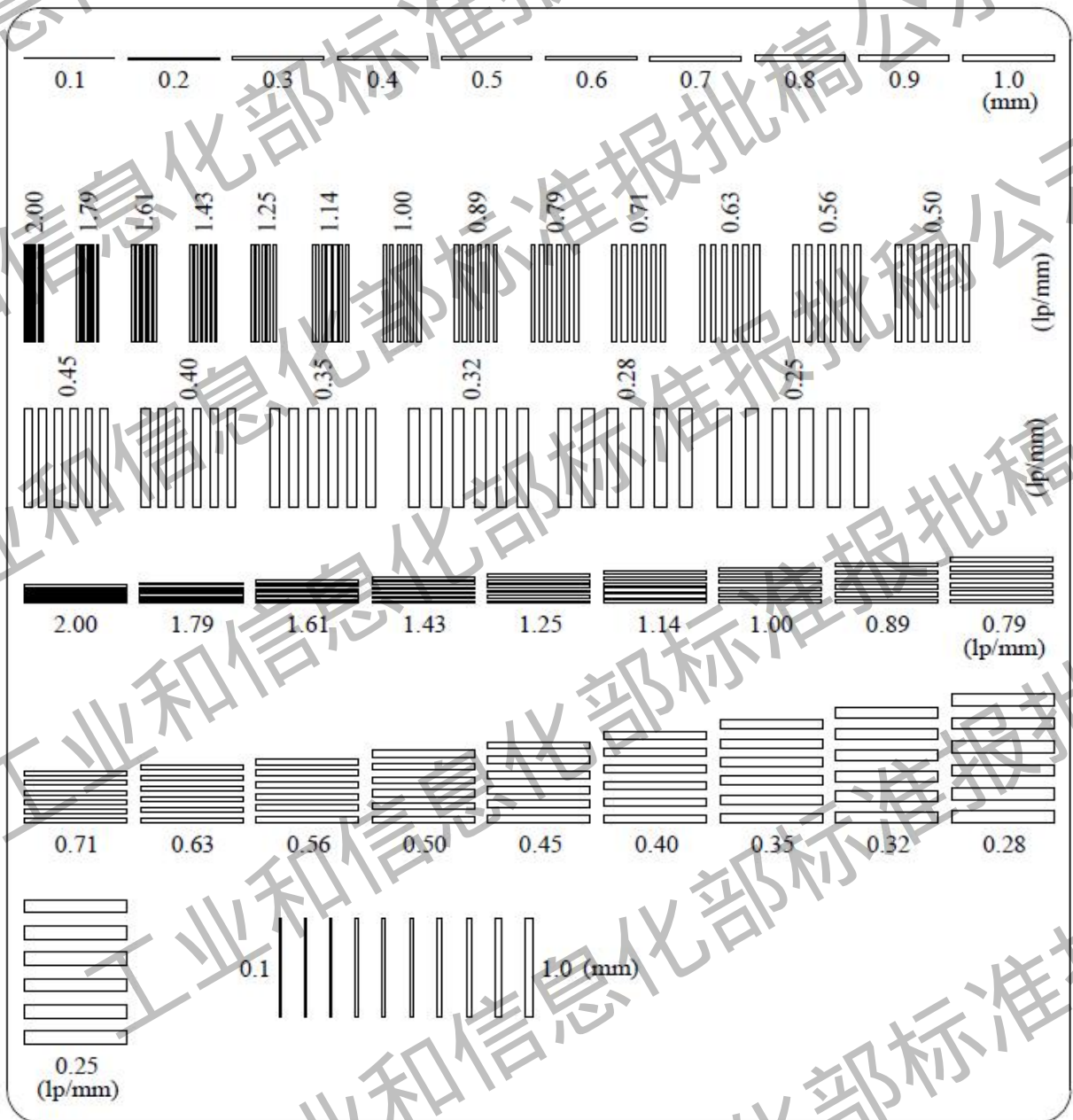


图 B.1 EL 空间分辨率测试板参考标准样式

附录 C

(资料性)

不同类型组件层压前后 EL 测试参数

不同类型电池组件层压前后测试时，EL测试设备的主要参数设置见表C.1。

表 C.1 EL 测试参数

组件类型	测试阶段	测试电流 A	测试电压 V	曝光 s	增益/ISO 感光度
PERC	层压前	2~10	52~60	0.6~1.5	3~60
PERC	层压后	2~10	40~60	0.03~0.1	10~60
n-TOPCon	层压前	2~10	45~60	0.4~1.6	3~55
n-TOPCon	层压后	2~10	40~60	0.03~0.1	10~60
HJT	层压前	2~10	5~72	0.4~1.5	3~45
HJT	层压后	1.5~5	40~60	0.03~0.3	10~60
BC	层压前	2~12	52~60	0.8~1.0	2~60
BC	层压后	2~14	40~60	0.8~1.0	25~60

附录 D  
(资料性)  
电致发光缺陷分类

#### D.1 缺陷种类

晶体硅光伏组件缺陷可划分为形状类、亮度类和位置类三大类。示例见图D.1~D.19。

#### D.2 形状类缺陷

晶体硅光伏组件形状类缺陷，主要包括微裂纹、裂片、黑斑、绒丝、网络片、刮伤和同心圆，其中微裂纹包括平行于焊带、垂直于焊带、非贯穿性、45°、交叉和脉状等微裂纹。

- a) 微裂纹（平行于焊带）：  
裂纹方向与焊带保持平行，由电池片的一边边缘到另一边边缘。
- b) 微裂纹（垂直于焊带）：  
垂直于焊带的贯穿性裂纹。
- c) 微裂纹（非贯穿性）：  
从电池片边缘延伸到电池片内部的非贯穿性裂纹。
- d) 微裂纹（45°）：  
从电池片一端延伸到另一端的斜裂纹。
- e) 微裂纹（交叉）：  
2条或多条交叉的裂纹。
- f) 微裂纹（脉状）：  
脉状的多条裂纹，且延伸到多个电池片边界。
- g) 裂片：  
图像中呈现黑色或暗色电池片裂片区域，这些区域已从电路中部分或全部分离。
- h) 黑斑：  
分布在电池片上的不规则黑色斑状区域。
- i) 绒丝（云雾片）：  
分布在电池上的绒状或云状暗色区域。
- j) 刮伤（线痕）：  
电池表面不连续的线痕。

#### D.3 亮度类缺陷

晶体硅光伏组件亮度类缺陷，主要包括失配、短路、虚焊（暗斑）、过焊和亮斑等类型。

- a) 失配：  
同一组件中不同电池呈现不同的亮度。
- b) 短路：  
整个电池片或电池串成全黑色，或者较其它偏暗的电池片，且其焊带两侧分布有暗色区域。
- c) 暗斑：  
分布在焊带两侧的黑色区域或分布在焊带单侧的黑色区域，从焊带边缘延栅线方向整齐延伸。
- d) 亮斑：  
分布在焊带两边的明亮区域，是电流分布不均的表现。

#### D.4 位置类缺陷

晶体硅光伏组件位置类缺陷，主要包括断栅、黑边、黑角和同心圆。

- a) 断栅：  
焊带之间或焊带与电池片边缘间的黑色条状区域。
- b) 黑边：  
有一条或两条电池片边缘黑色区域。

- c) 黑角：  
位于电池片角的一个或多个黑色区域。
- d) 同心圆：  
以电池片中心向外呈环状扩散的区域。
- e) 炉带印：  
电池片边缘在炉带支架上受热不均，由于浆料烧结工艺窗口小，炉带支架磨损、变形，炉带上残留有机物。

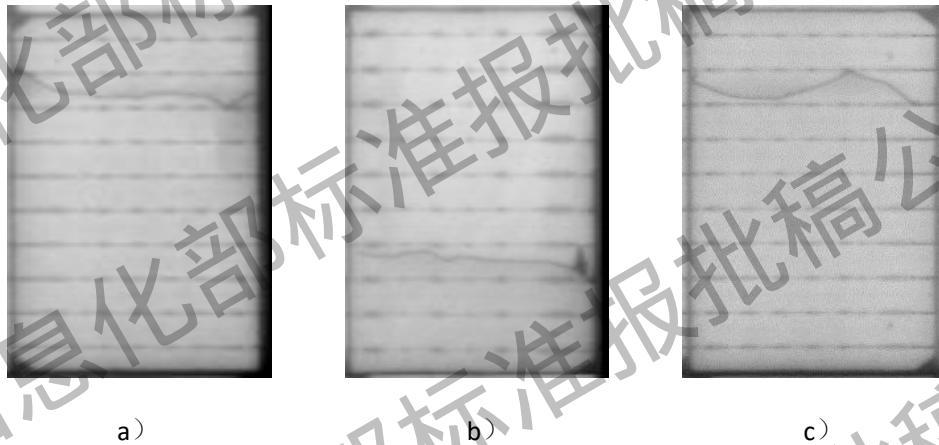


图 D.1 微裂纹（平行于焊带）图像示例

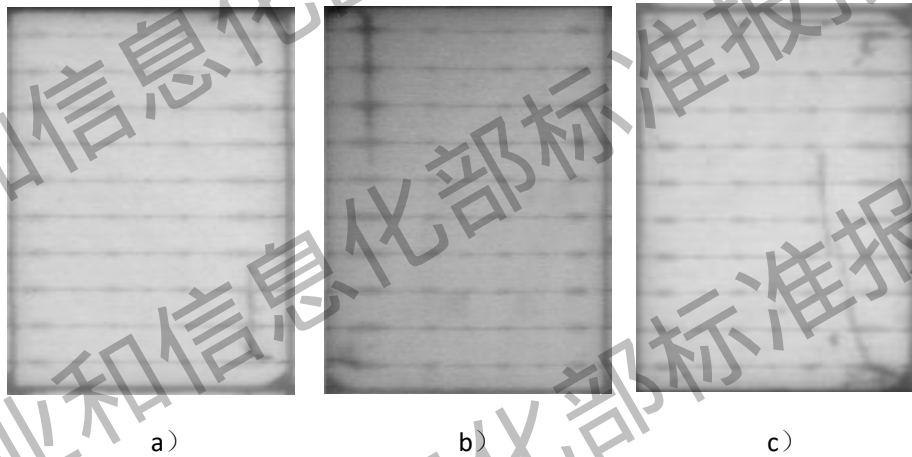


图 D.2 微裂纹（垂直于焊带）图像示例

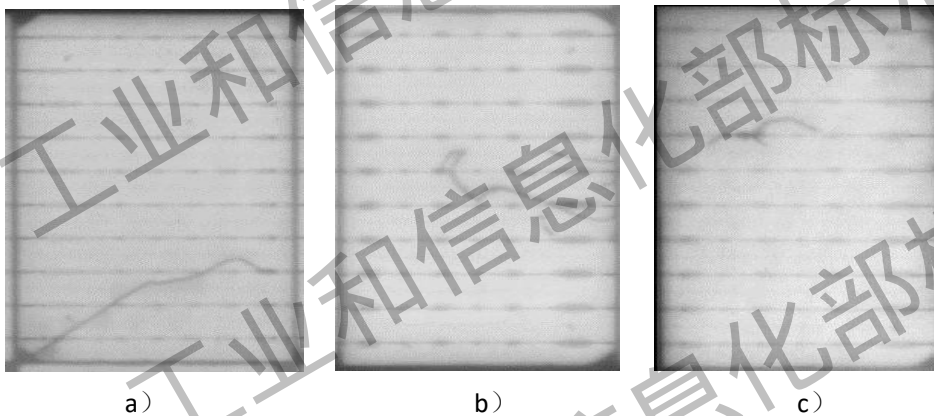


图 D.3 微裂纹（非贯穿性）图像示例

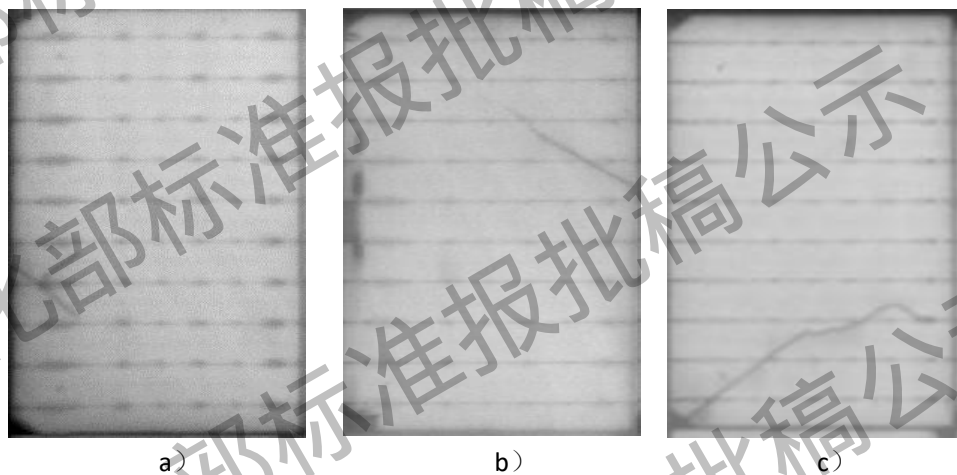


图 D.4 微裂纹（45°）图像示例

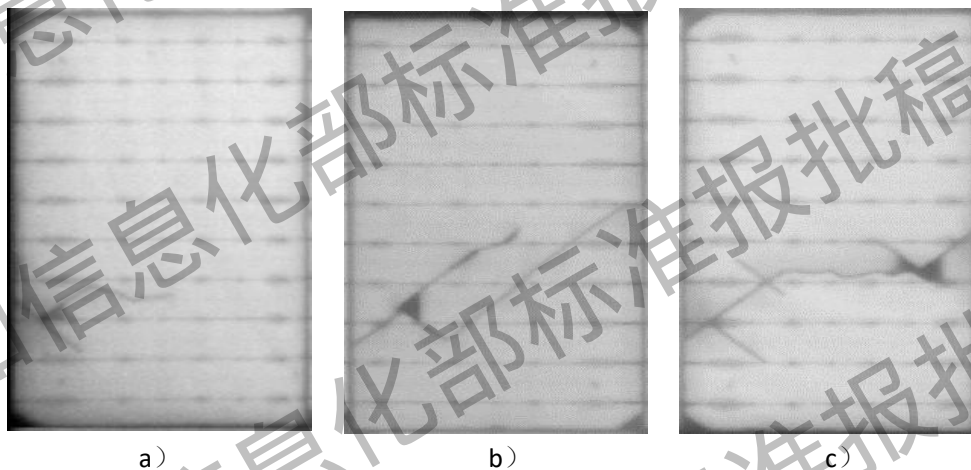


图 D.5 微裂纹（交叉）图像示例

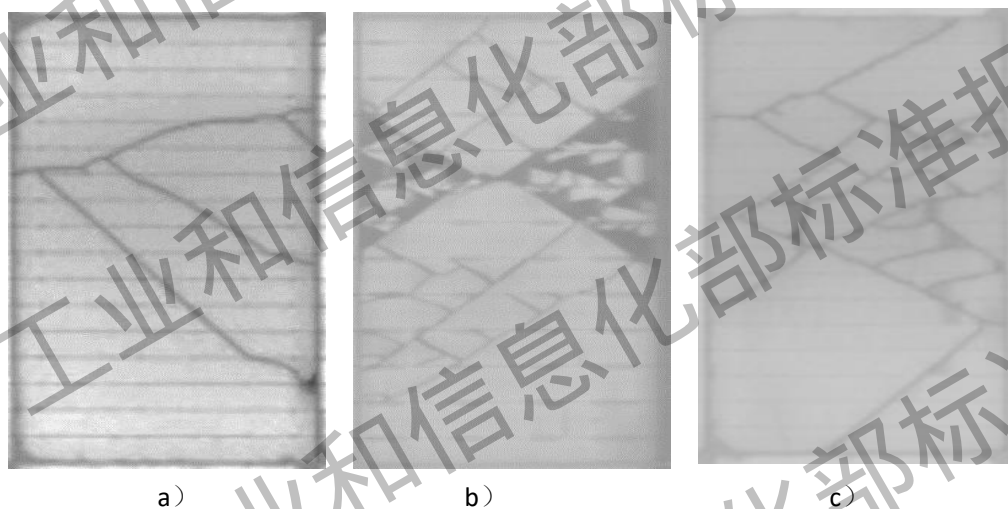


图 D.6 脉状的微裂纹图像示例

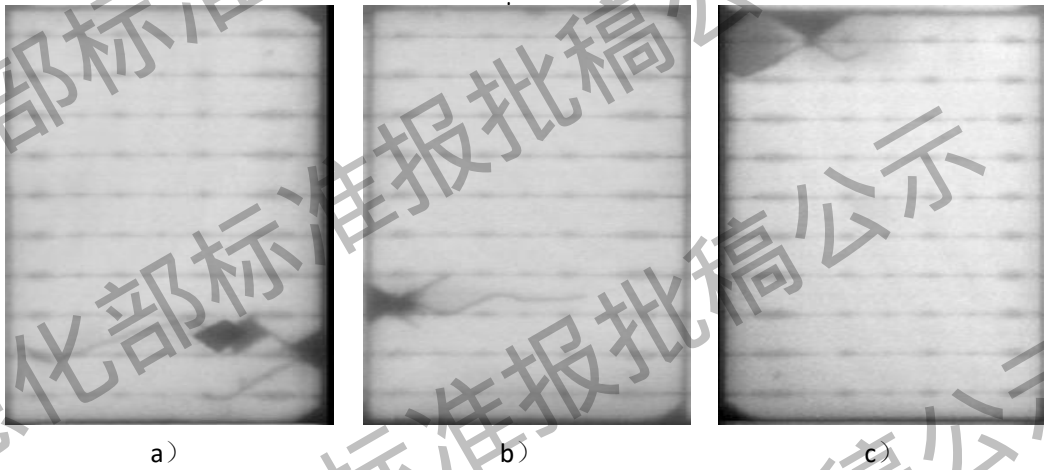


图 D.7 裂片的图像示例

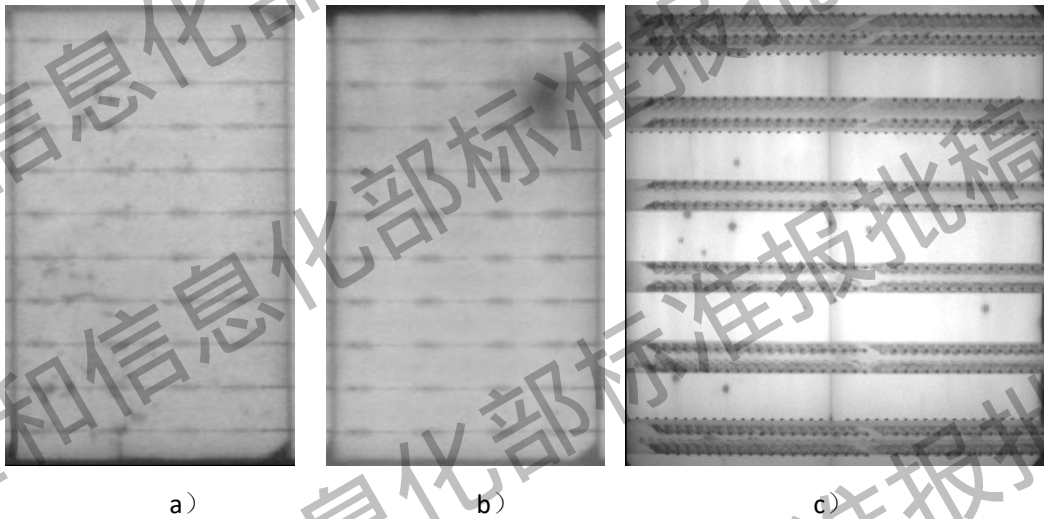


图 D.8 黑斑图像示例

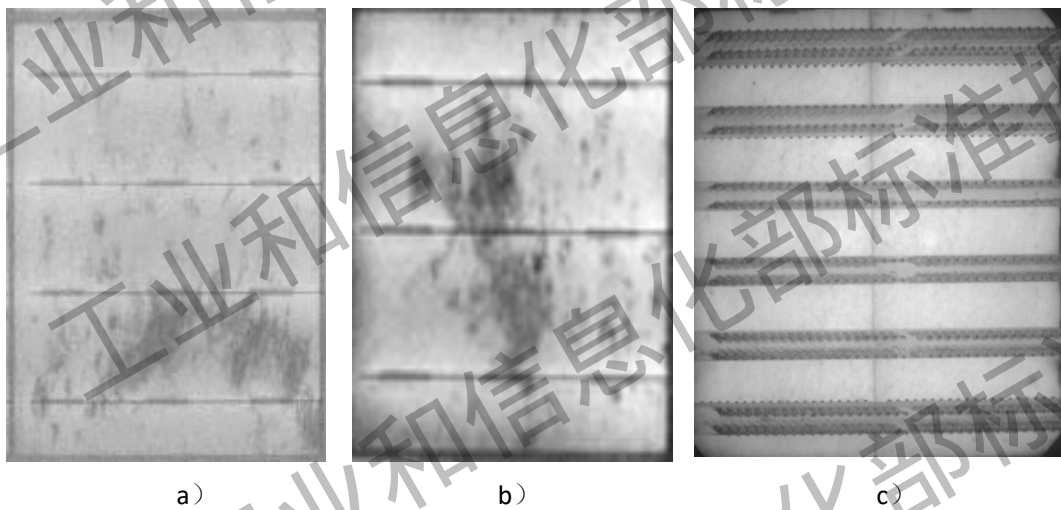


图 D.9 绒丝（云雾片）图像示例

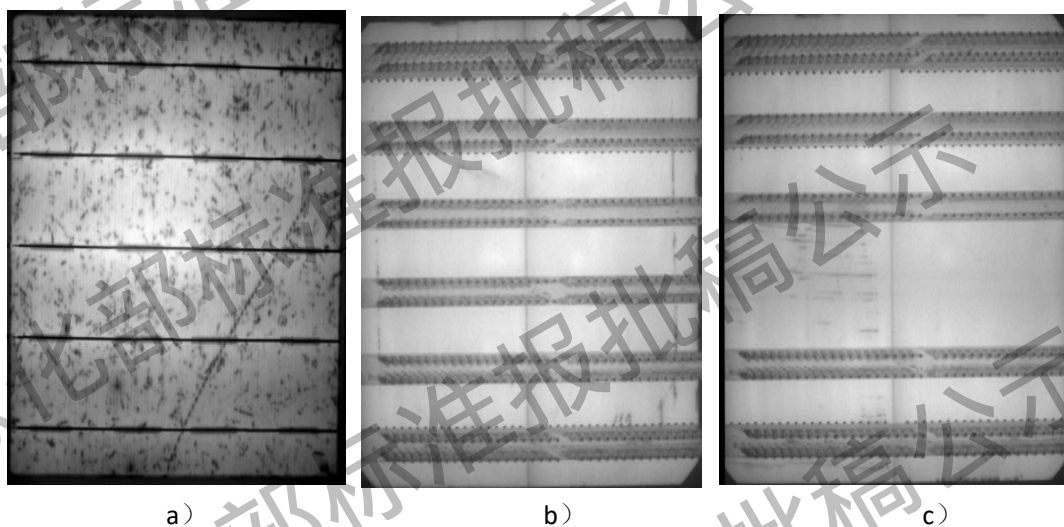


图 D.10 刮伤（线痕）图像示例

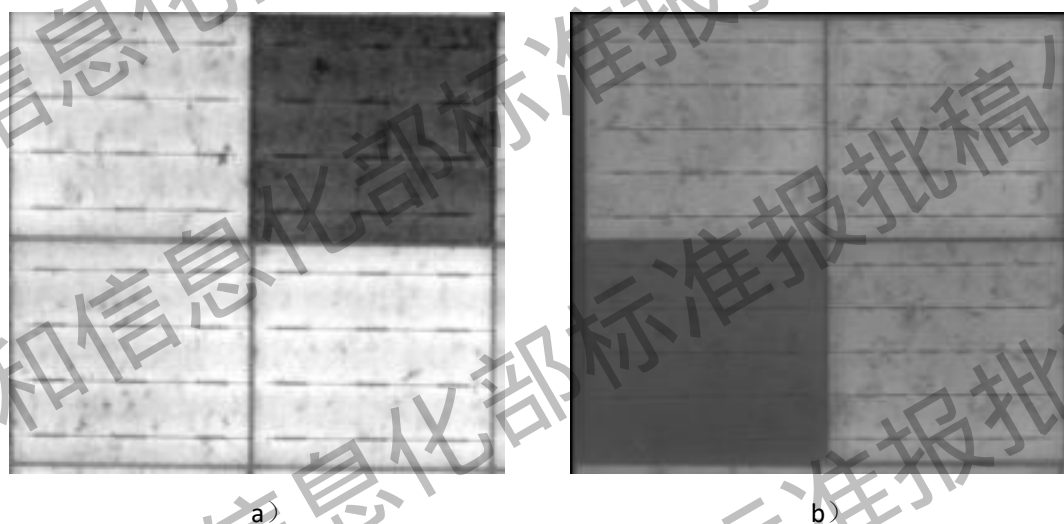


图 D.11 失配的图像示例

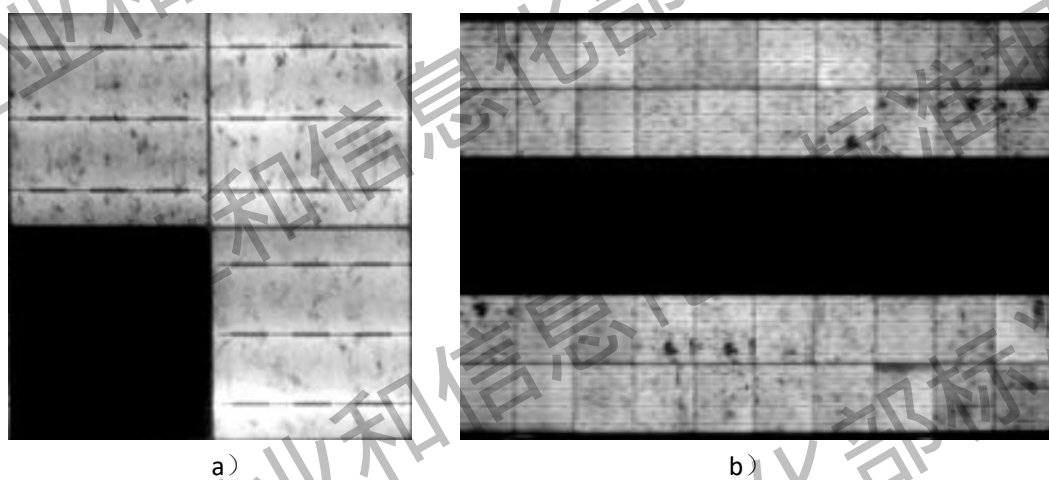


图 D.12 短路的图像示例

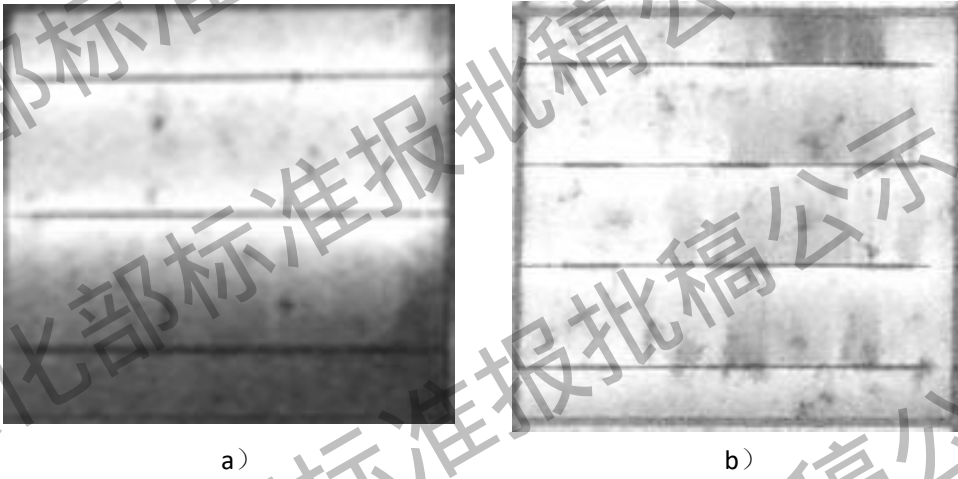


图 D.13 暗斑的图像示例

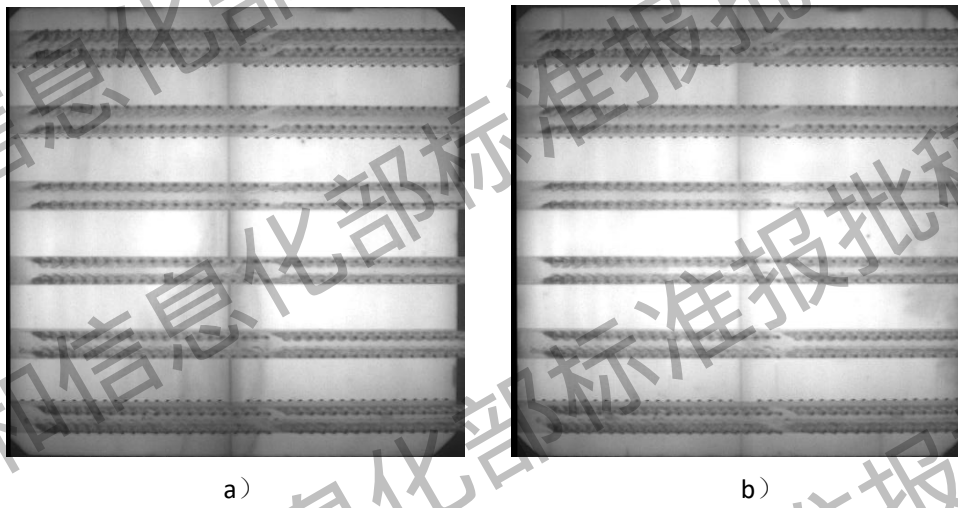


图 D.14 亮斑的图像示例

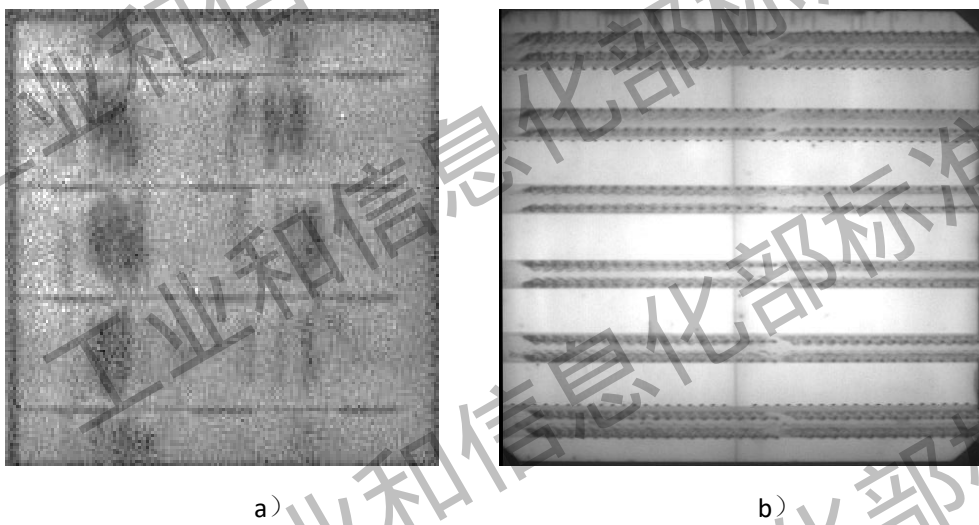


图 D.15 断栅的图像示例

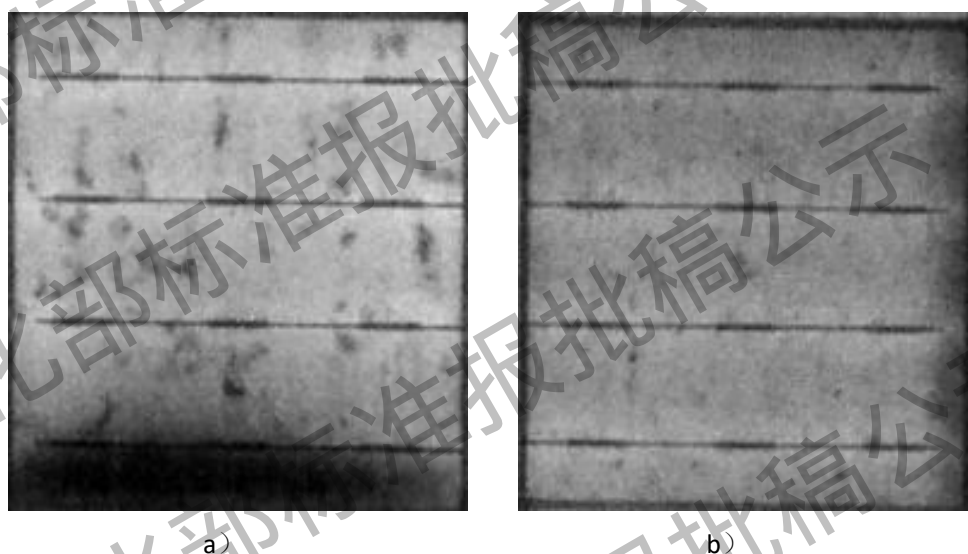


图 D.16 黑边的图像示例

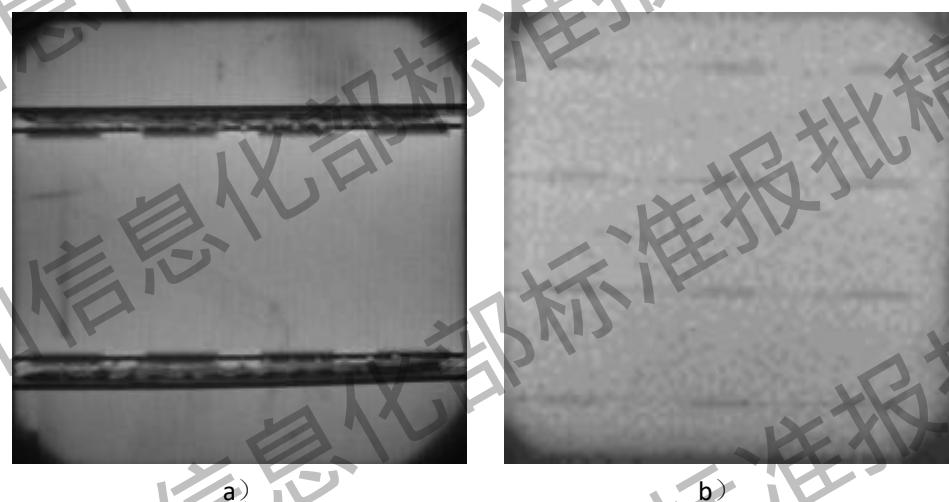


图 D.17 黑角的图像示例

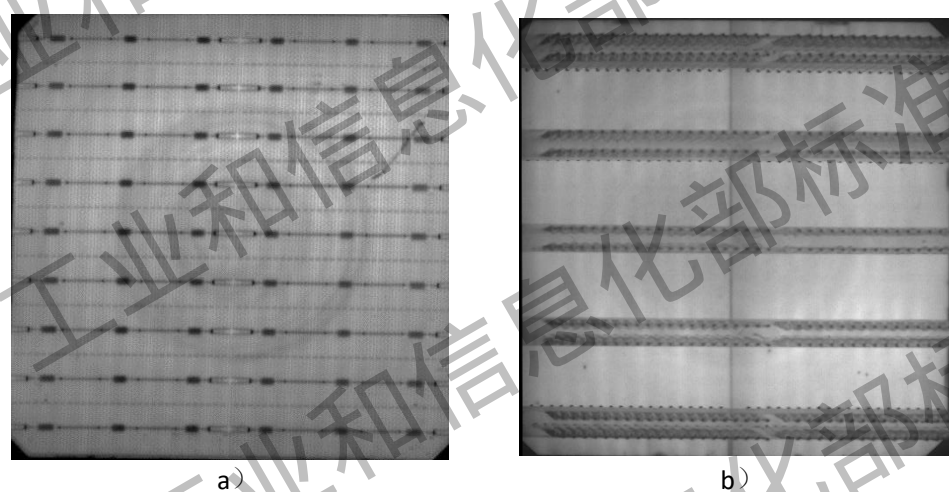


图 D.18 同心圆的图像示例

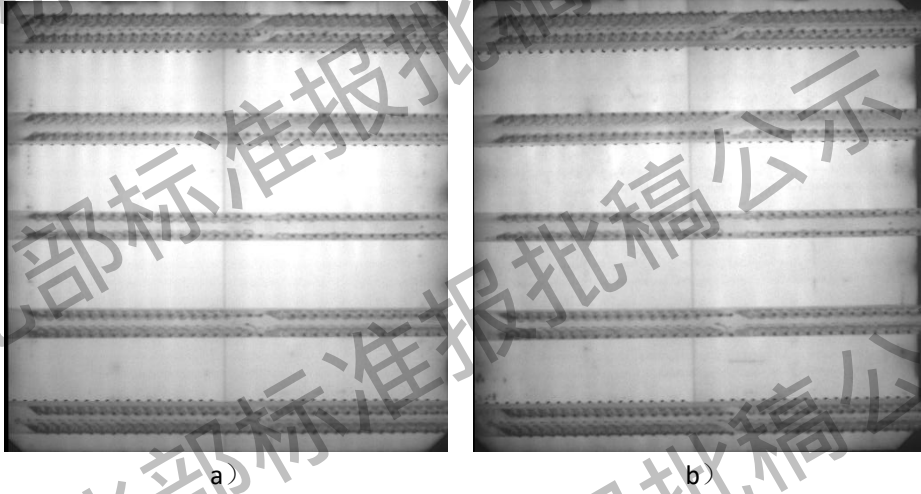


图 D.19 炉带印的图像示例

参 考 文 献

- [1] GB/T 2297 太阳光伏能源系统术语
  - [2] GB/T 20733—2022 数码相机术语
  - [3] GB/T 29298—2012 数字(码)照相机通用规范
-