

团 体 标 准

T/CPIA 0009—2019

电致发光成像测试晶体硅光伏组件 缺陷的方法

Test method for cell defects in crystalline silicon photovoltaic
modules by electroluminescence (EL) imaging

2019-1-28 发布

2019-3-1 实施

中国光伏行业协会 发布

目 录

前言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 样品准备.....	2
5 测试设备.....	2
6 环境要求.....	5
7 仪器校准.....	5
8 测试流程.....	5
9 报告.....	6
附录 A(资料性附录) EL 检测设备分类.....	7
附录 B(资料性附录) EL 检测设备空间分辨率测试方法.....	8
附录 C(资料性附录) EL 检测设备等级校准样板.....	9
附录 D(资料性附录) EL 缺陷分类.....	10



CPIA

前 言

本标准根据GB/T 1.1-2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》和GB/T 1.2-2002《标准化工作导则 第2部分：标准中规范性技术要素内容的确定》给出的规则起草。

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：天合光能股份有限公司、常熟阿特斯阳光电力有限公司、福建计量研究院、中国计量科学研究院、陕西众森科技有限公司、上海沛煜科技有限公司、尚灿科技有限公司、TUV SUD、常州合创检测技术有限公司、河海大学、常州天合光伏发电系统有限公司、浙江晶科能源有限公司、英利能源（中国）、无锡尚德太阳能电力有限公司。

本标准主要起草人：闫萍、林剑春、赵长瑞、张俊超、熊利民、王丹、杨爱军、郭素琴、黄国华、陈超、王童、武耀忠、李龙云、周学峰、周伟、梅赛国、许涛、黎健生、曾祥超、高传楼、张臻、黄美娟、李宁、李英叶、周敏。



电致发光成像测试晶体硅光伏组件缺陷的方法

1 范围

本标准规定了晶体硅光伏组件中电池缺陷的检测，包含术语与定义、样品准备、测试设备、安全准则、环境要求、仪器校准、测试流程、缺陷分类和报告等。

本标准适用于室内晶体硅光伏组件中电池缺陷的测试，室外测试可参考使用。

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，仅所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（包括所有的修改版）适用于本文件。

GB/T 2297 太阳光伏能源系统术语

GB/T 29298-2012 数字(码)照相机通用规范

IEC 61215-1:2016 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: Requirements for testing）

3 术语和定义

GB/T 2297 确立的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

电致发光 electroluminescence (EL)

电致发光，简称EL，是指由于电场作用而产生的发光现象。

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太阳能电池正向偏置下少子注入式的电致发光。

3.2

缺陷 defect

太阳能电池组件在电致发光作用下所观察到的影响太阳能电池性能的特征，通常有黑心、黑边、亮斑、裂纹、断栅、暗片等。

3.3

曝光时间 exposure time

缺陷检测仪成像传感器接收太阳能电池组件电致发光信号所用的时间。

3.4

成像时间 imaging time

将太阳能电池组件放置在缺陷检测仪上之后，缺陷检测仪获取并输出一个太阳能电池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物理单元。

3.6

杂散光 stray light

图像传感器对太阳能电池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

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。

3.8

灰度峰值 peak of grayscale histogram

指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。

4 样品准备

4.1 测试样品为单片组件。

4.2 测试样品组件外观应符合 IEC 61215-1:2016 中第 8 章的规定。

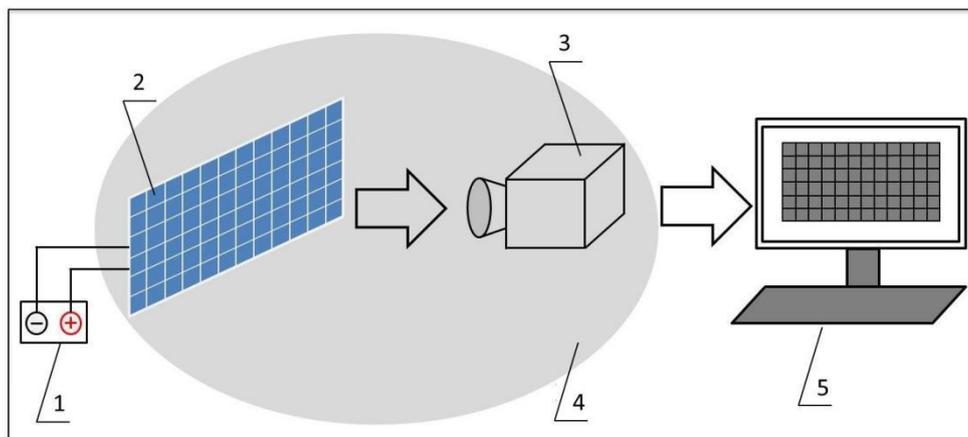
4.3 测试样品表面需保持清洁，无明显的裂痕或异物等。

5 测试设备

5.1 测试设备组成

5.1.1 EL 检测设备

主要有：直流电源、成像系统、暗室、图像处理系统组成。示意图如图 1 所示，设备类型分类可参见附录 A。



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 检测设备示意图

5.1.2 直流电源

也称恒流电源。能为太阳能电池组件提供正向直流电流的装置。

5.1.3 成像系统

5.1.3.1 成像探测器

应使用 Si、Ge、InGaAs 等材料制成，需对光伏组件的电致发光波段有响应。

5.1.3.2 成像镜头

EL 成像镜头应该允许光伏组件产生的电致发光透过。为了得到高质量的图像，通常可以采用 850nm 作为允许成像波段的下限波，同时利用滤光片或涂层来消除杂散光。

5.1.3.3 操作软件

用于控制太阳能电池组件检测所需的操作软件，例如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、暗室等）的曝光控制、被检测组件的移动、成像系统的移动。

5.1.4 暗室

可为太阳能电池组件的缺陷检测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暗检测环境。

5.1.5 图像处理系统

5.1.5.1 图像处理软件

用于对成像探测器采集到的图像信息进行处理，如可进行图像拼接、图形取向等编辑，以得到被检测太阳能电池组件的图像。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，对于成像探测器采集到的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。

注 1：图像拼接：太阳能电池组件 EL 检测图片可以通过拼接得到，但是不允许有影响缺陷识别的从电池片内部穿过的拼缝。

注 2：图像取向：为了更容易比较，建议 EL 图像的方向与人体观察一致，并且还应指示接线盒的位置。

5.1.5.2 图像显示系统

应具有支持图像处理软件进行图像显示、局部放大、裁剪、旋转、调节灰度等功能，并可进行图像像素、曝光时间等图像信息的查询。

注 1：图像信息：为了便于进行 EL 图像比较，图像应提供测试时的正向电流、环境温度、组件序列号以及其他备注信息。

5.2 EL 检测设备性能

5.2.1 光学性能

5.2.1.1 空间分辨率

空间分辨率是指区分细节的能力，缩写为 R_s 。EL 设备等级判定以空间分辨率（分辨力）作为基本要求，该指标可直接用于测试仪的级别判定。

- a) 对于相同的视野，可识别的最小尺寸对应的是最高的空间分辨率。有许多方法来表征空间分辨率。为了更容易比较，可以使用具有相同宽度并且黑白相间的线对（lp）条纹图案。
- b) 依据GB/T 29298-2012《数字(码)照相机通用规范》，空间分辨率可以以每毫米的线对（lp/mm）表示。该测试方法的细节在附录B中介绍。
- c) 一般来说，由于成像系统和光学设计的差异，空间分辨率不对应于像素分辨率，最差结果用于等级判定。为了比较EL图像，EL图像的空间分辨率的等级划分如表1所示。

表1 空间分辨率的等级划分

单位为 lp/mm

等级	空间分辨率 (R_s) (对于 2.0 m*1.0 m 视场)
A+	$R_s \geq 1.0$
A	$0.5 \leq R_s < 1.0$
B	$0.25 \leq R_s < 0.5$
C	$0.1 < R_s < 0.25$

- d) 针对不同的使用场合要求，隐裂检测仪要具备的等级要求如下：
- 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；
 - 光伏组件制造生产线用的隐裂检测仪，空间分辨率应至少为 B 级；
 - 用于室外电站检测或组件阵列测试或当进行覆盖面积较大的快速测试时，C 级空间分辨率也可满足使用要求。

注1：不同缺陷的电致发光特性差异很大，因此缺陷的实际几何形状与 EL 成像的几何形状并不直接对应。

注2：通过在不同的位置应用更多的测试可以减少不确定性，确定系统的分辨率。

5.2.1.2 失真

表示太阳能模组图像的变形程度，失真不得干扰识别缺陷。

5.2.1.3 噪声

表示成像探测器在成像平面中的光学图像响应的变化；噪声不应影响缺陷的正确识别。

5.2.1.4 杂散光

表示干扰成像的光；EL 检测设备必须具有抑制杂散光的能力。

5.2.1.5 缺陷识别

表示对太阳能电池组件电致发光图像中的缺陷特征进行区分和标记。为了提高检测效率，EL 检测设备可以采用图像处理软件对缺陷特征进行标记，但是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。

5.2.2 电学性能

正向电流，也称为偏置电流。通常为恒流运行模式。根据被测组件的参数，电源必须能够设置短路电流（ I_{sc} ）的 0.1 倍~1.0 倍。

5.2.3 检测效率

5.2.3.1 概述

太阳能电池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。

5.2.3.2 曝光时间

以满足检测成像质量和检测效率的要求,可调节。

5.2.3.3 成像时间

满足太阳能电池组件检测效率的要求的时间。对于量产的 EL 检测设备,通常应小于 30s。

5.2.4 图像显示

5.2.4.1 概述

太阳能电池组件检测图像的成像质量和图像像素分辨率,应根据成像镜头的光学参数、成像探测器的像素排布以及检测设备的工作模式来合理设计检测设备的结构。

5.2.4.2 像素分辨率

也称为像素值,表示像素的数量。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。产品输出的图像应可查看像素值信息。图像像素分辨率可用 $M*N$ 表示, M 是指图像的高度,列数 N 是指图像的宽度对于同一个太阳能电池组件的 EL 检测图像比较,应当采用具有相当像素分辨率的图像进行。

5.2.4.3 灰度峰值

应适当的调整 EL 检测设备的参数(如正向电流、曝光时间、照相机孔径),以获得具有合理亮度的光伏组件 EL 图像。通常,EL 图像的灰度峰值应在成像探测器饱和度的 30%~70%之间。

6 环境要求

由于 EL 检测设备的灵敏度高,实验室测试环境应满足以下以列项形式要求:

- a) 环境温度: $5^{\circ}\text{C} \sim 45^{\circ}\text{C}$;
- b) 环境相对湿度: $\leq 75\% \text{RH}$,满足设备的使用要求;
- c) 测试环境应保持清洁、无振动;样品和相机镜头不要有灰尘,测试平台干净、整洁、光滑无划痕。

7 仪器校准

7.1 EL 检测设备中所有需要校准的仪器必须在首次安装时进行校准,在使用过程中应根据使用频次、使用情况及仪器供应商的建议定期进行校准并给出校准等级。

7.2 日常点检:找到具有相对一致的发光亮度区域的模组角和中间电池片作为基准。

7.3 使用比对样板的,对应于刻度的四个角和中间的试样应贴附在表面上;校准样板参见附录 C,将测试板贴在组件玻璃面对应的电池上测试,相同参数下的 EL 整体图,选最差的与校准样板比对后对应刻度的值,作为测量系统的分辨能力等级。

8 测试流程

8.1 测试准备及测试前确认

8.1.1 确认 EL 检测设备：运行正常的检查及测试参数设置：

8.1.2 暗室：在室内可保证测试环境黑暗，而且暗室的门或者窗户可正常开关。

8.1.3 电源：可提供 0.1 倍以上的 STC 下的短路电流（以下简称为 I_{sc} ）。

8.1.4 测试参数设置：根据样品信息设置电流参数不小于 0.6 倍的 I_{sc} ；低电流测试应根据客户要求设置测试电流，一般低测试电流不大于 0.2 倍的 I_{sc} 。

8.1.5 样品：清洁样品表面，确认无明显的干扰测试结果判断的脏污、异物或划痕等。

8.2 测试操作流程

8.2.1 先打开电源，然后按以下流程操作。

8.2.2 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。

8.2.3 接通电源与试验样品，将测试样品正极与恒流电源正极相连，负极与恒流电源负极相连。

8.2.4 确认图像系统的空间分辨能力。

8.2.5 输入测试样品序列号，关闭暗室，开始拍照。

8.2.6 图像分析,按下述进行：

a) 保存图像；打开暗室，取出测试样品；

b) 检查测试图片缺陷，并按照缺陷分类（见附录 D）判定缺陷类型。

9 报告

报告至少应包括以下内容：

a) 样品来源、名称及规格；

b) 仪器名称、型号及等级；

c) 试验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、状态和明确的标识；

f) 试验结果（包括缺陷类型、数量和图像）；

g) 试验操作者、审核、批准、报告编号；

h) 本标准编号和标准；

i) 检测机构、名称、地址；

j) 试验日期。

附录A
(资料性附录)
EL检测设备分类

A.1 按成像方式可分为固定式与扫描式

- a) 固定式结构指的是成像镜头以及被检测组件在进行太阳电池组件的一次缺陷检测时都处于固定位置，不发生移动。
- b) 扫描式结构指的是成像镜头或者被检测组件在进行太阳电池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可分为直接式与间接式

- a) 直接式结构指的是 EL 检测系统的成像镜头与太阳电池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) 间接式结构指的是 EL 检测系统的成像镜头与太阳电池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 根据镜头数量可分为单镜头与多镜头

- a) 单镜头结构指的是 EL 缺陷检测系统只有一个成像镜头。
- b) 多镜头结构指的是 EL 检测系统有多个成像镜头。



附录B

(资料性附录)

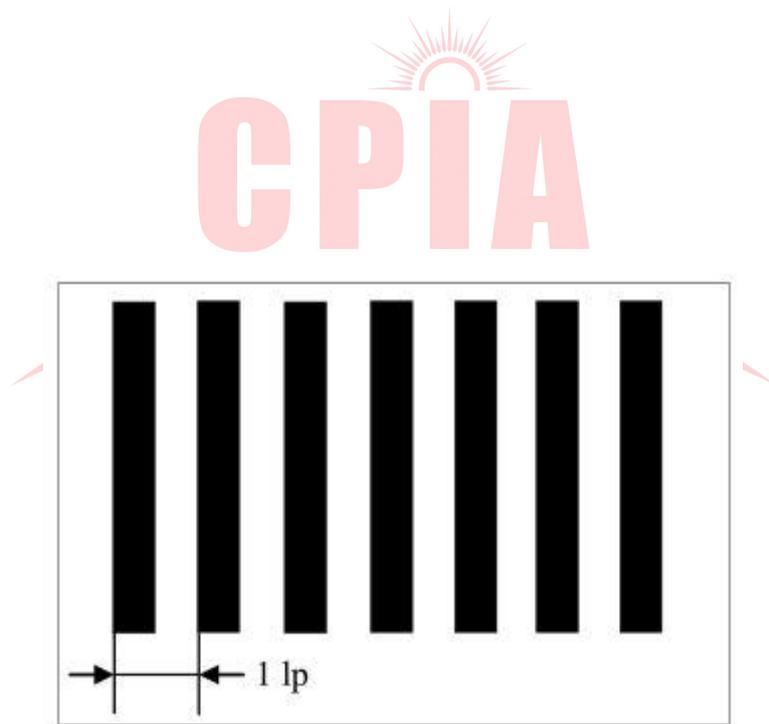
EL 检测设备空间分辨率测试方法

B.1 成像时间测试方法

光伏组件的电气连接成功后，使用已校准的计时器记录从测试开始到完成光伏组件图像显示的时间。

B.2 空间分辨率测试方法

目前有很多方法来表示图像系统的空间分辨率，比如调制传递函数（MTF）、线对数分辨能力等。对于EL缺陷测试系统，识别裂纹至关重要。为了便于对比，具有相同的宽度并且黑白相间的线对条纹图案可被用于测试（如图B.1）。



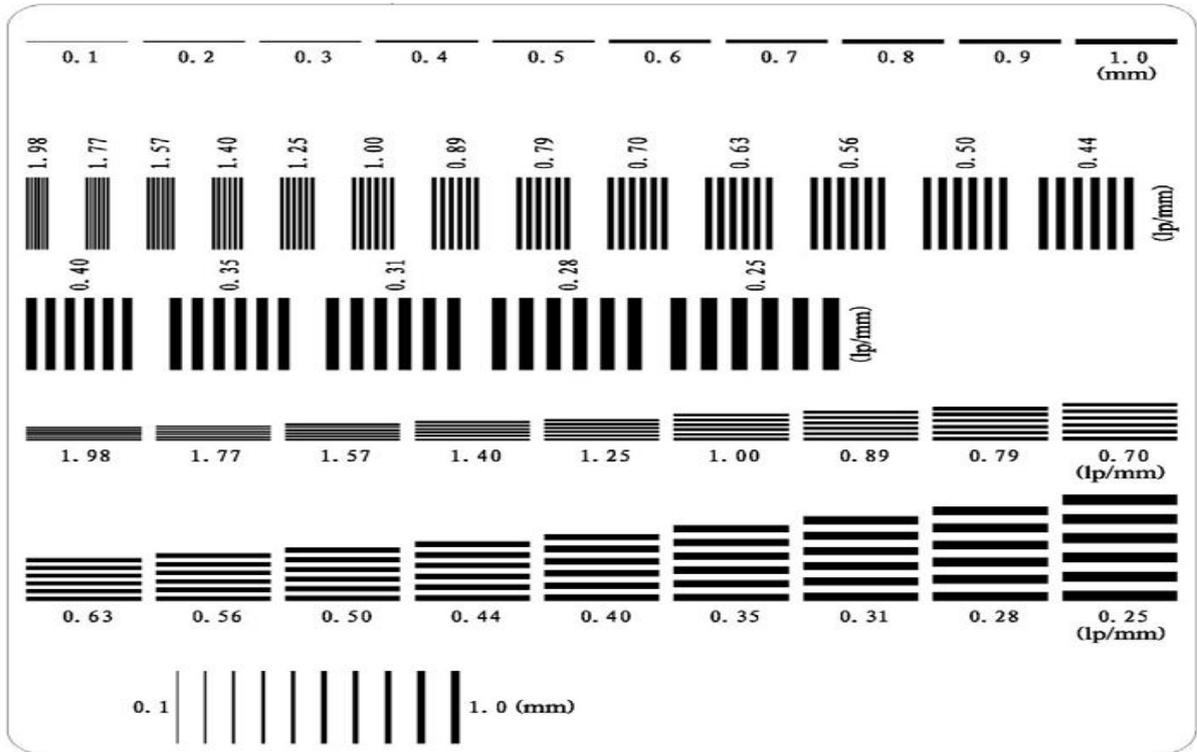
图B.1 空间分辨率测试板

附录C

(资料性附录)

EL 检测设备等级校准样板

C.1 校准样板示例, 见图C.1



C.1 校准样板示例

附录D
(资料性附录)
EL 缺陷分类

D.1 缺陷种类

晶体硅光伏组件缺陷可归纳为形状类、亮度类、位置类三大类。

D.2 形状类缺陷

主要包括微裂纹、裂片、黑斑、绒丝、网络片、刮伤、同心圆；电池片表面的微裂纹，可包括平行于焊带、垂直于焊带、非贯穿性、45°、交叉、脉状微裂纹。

示例 1:

微裂纹（平行于焊带）：通常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，如图 D.1 所示。

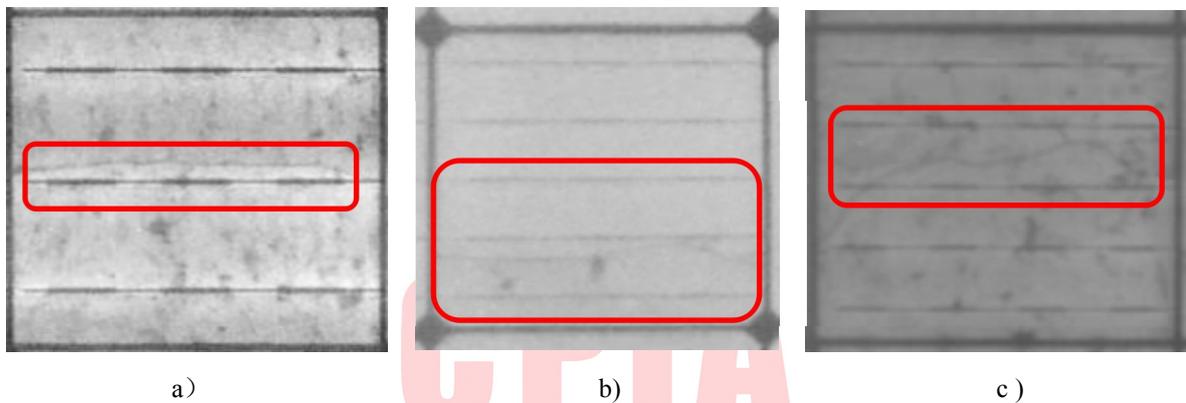


图 D.1 平行于焊带的微裂纹图像

示例 2:

微裂纹（垂直于焊带）：垂直于焊带的贯穿性裂纹如图 D.2 所示。

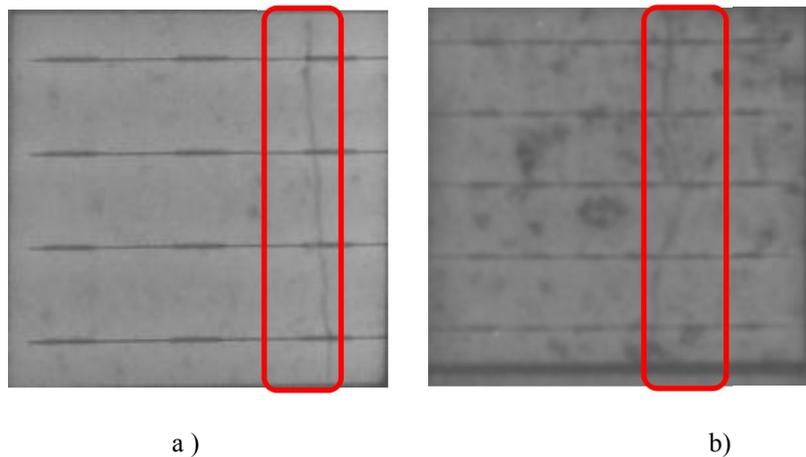


图 D.2 垂直于焊带的微裂纹图像

示例 3:

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如图 D.3 所示。

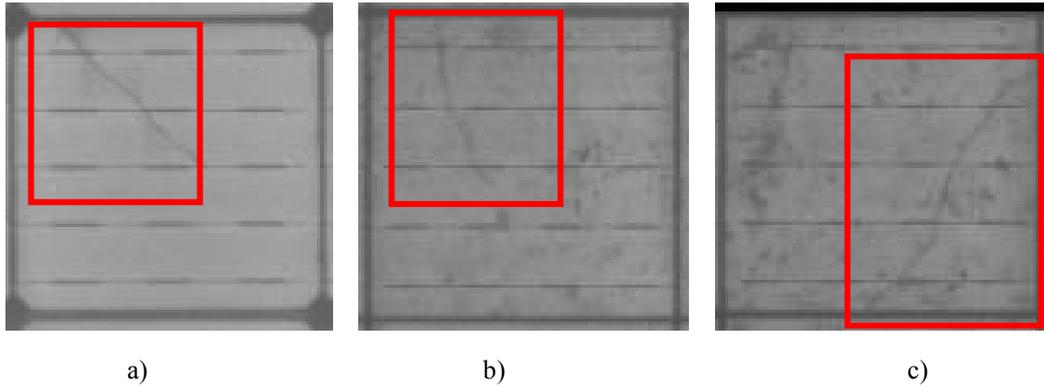
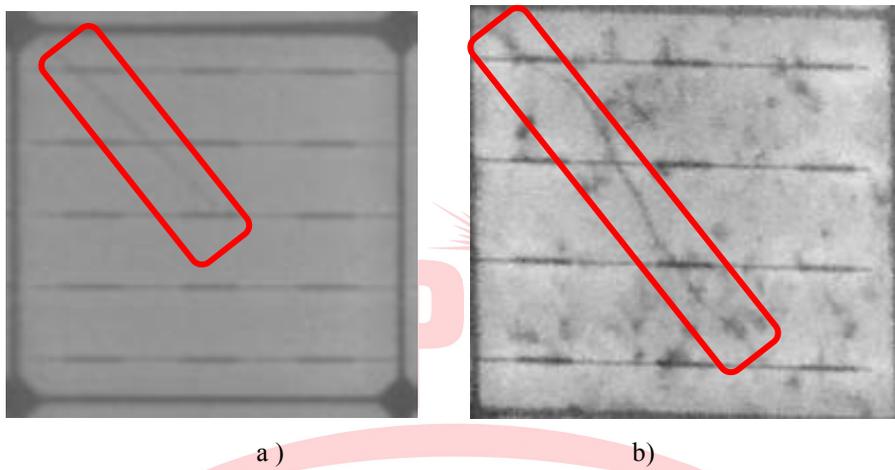


图 D.3 非贯穿的微裂纹图像

示例 4:

微裂纹 (45°) : 从电池片一端延伸到另一端的斜裂纹如图 D.4 所示。

图 D.4 与焊带成 45° 的微裂纹图像

示例 5:

微裂纹 (交叉) : 2 条或多条交叉的裂纹如图 D.5 所示。

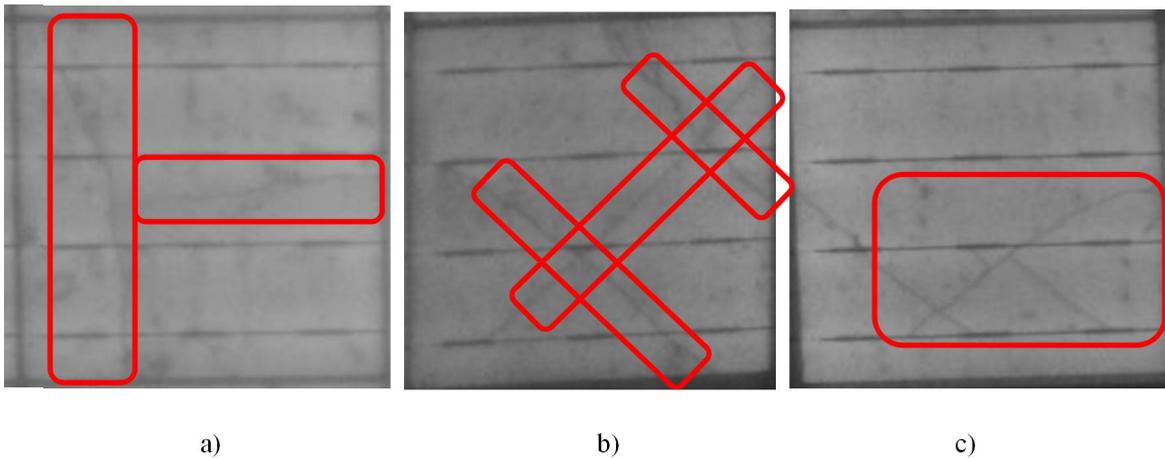


图 D.5 交叉的微裂纹图像

示例 6:

微裂纹 (脉状) : 脉状的多条裂纹, 且延伸到多个电池片边界如图 D.6 所示。

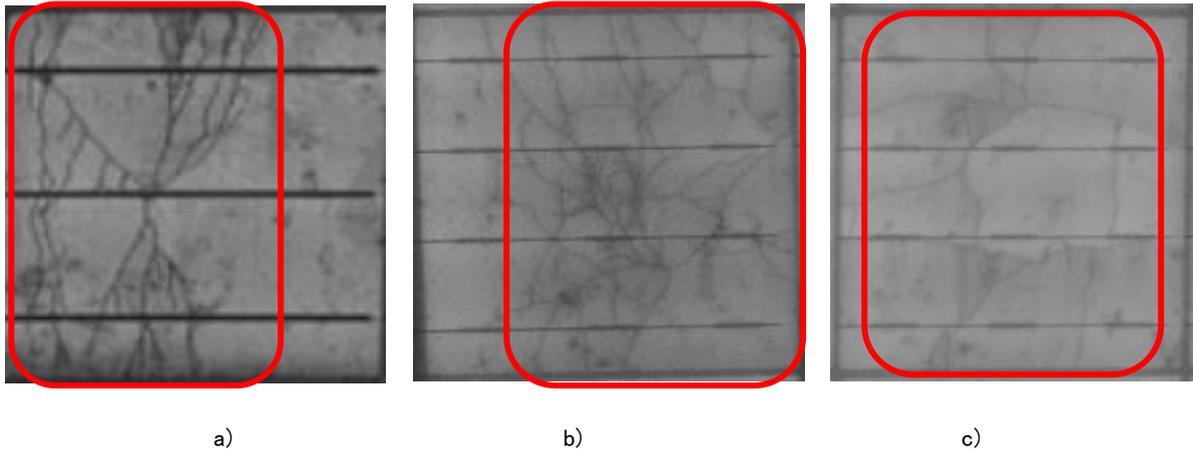


图 D. 6 脉状的微裂纹图像

示例 7:

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, 如图 D. 7 所示。

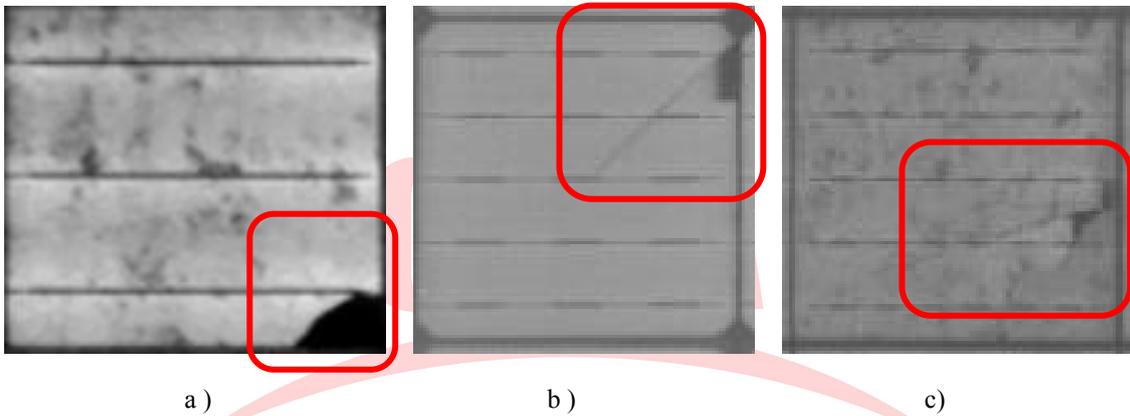


图 D. 7 裂片的图像

示例 8:

黑斑: 分布在电池片上的不规则黑色斑状区域如图 D. 8 所示。

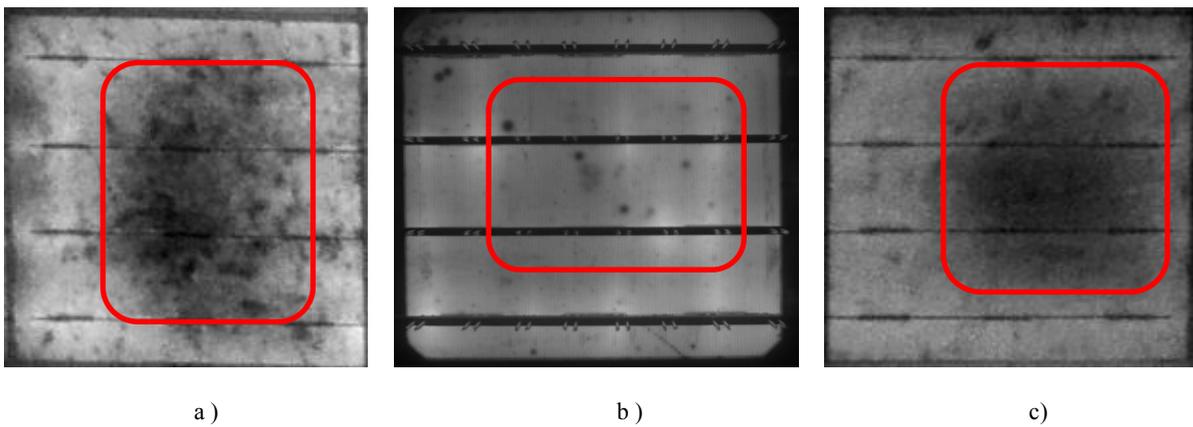


图 D. 8 黑斑的图像

示例 9:

绒丝: 分布在电池上的绒状或云状暗色区域如图 D. 9 所示。

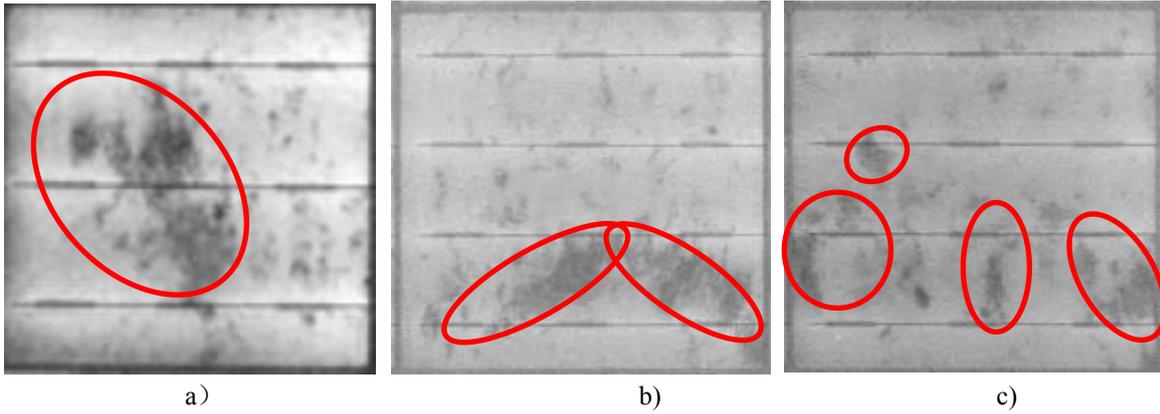


图 D.9 绒丝的图像

示例 10:

刮伤（线痕）：电池表面不连续的线痕如图 D.10 所示。

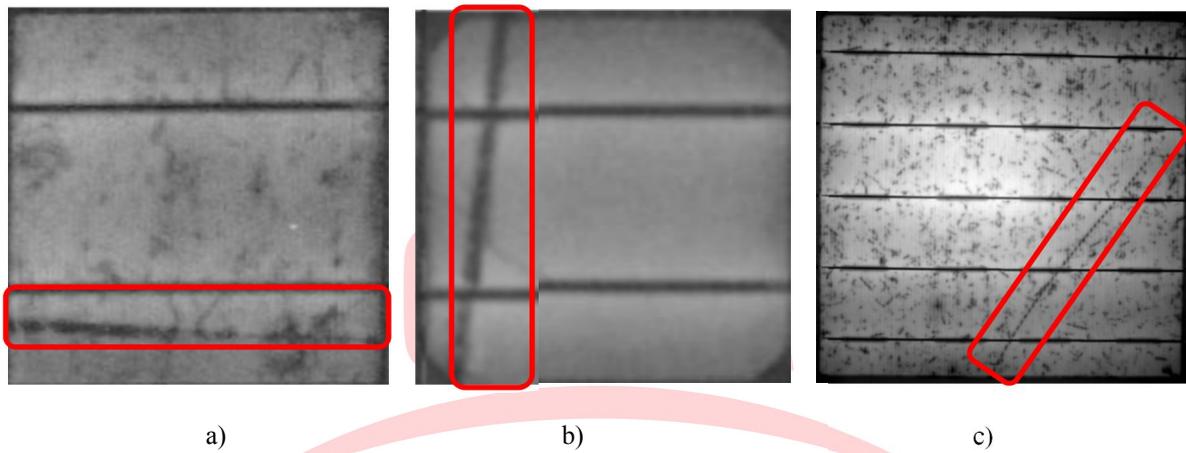


图 D.10 刮伤的图像

D.1. 2 亮度类缺陷：主要包括失配、短路、虚焊（暗斑）、过焊、亮斑等缺陷。

示例 11:

失配：同一组件中不同电池呈现不同的亮度如图 D.11 所示。

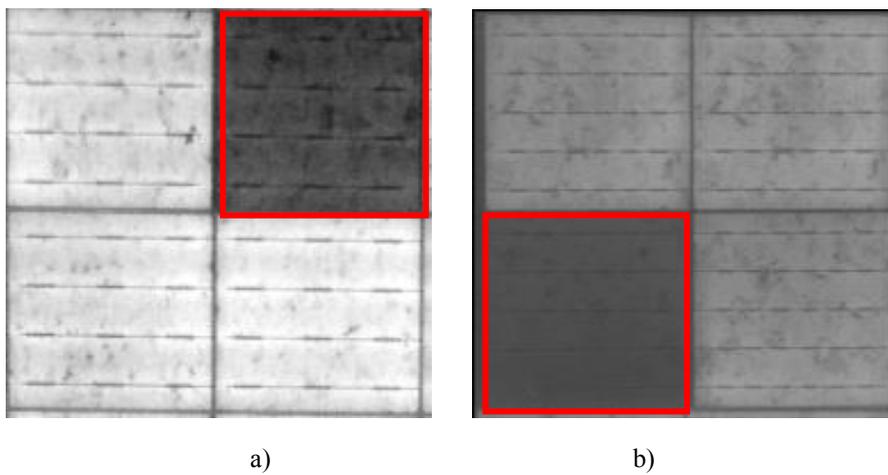


图 D.11 失配的图像

示例 12:

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，且其上焊带两侧分布有暗色区域如图 D. 12 所示。

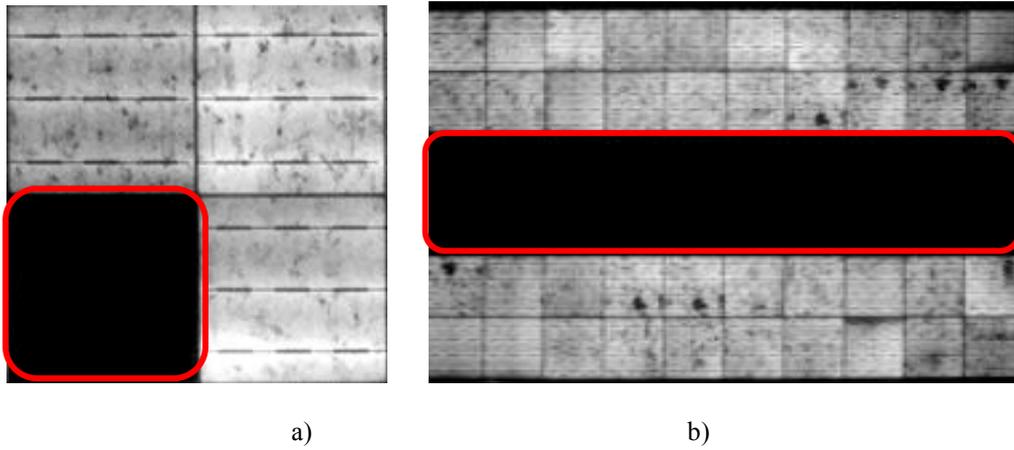


图 D. 12 短路的图像

示例 13:

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，如图 D. 13 所示。

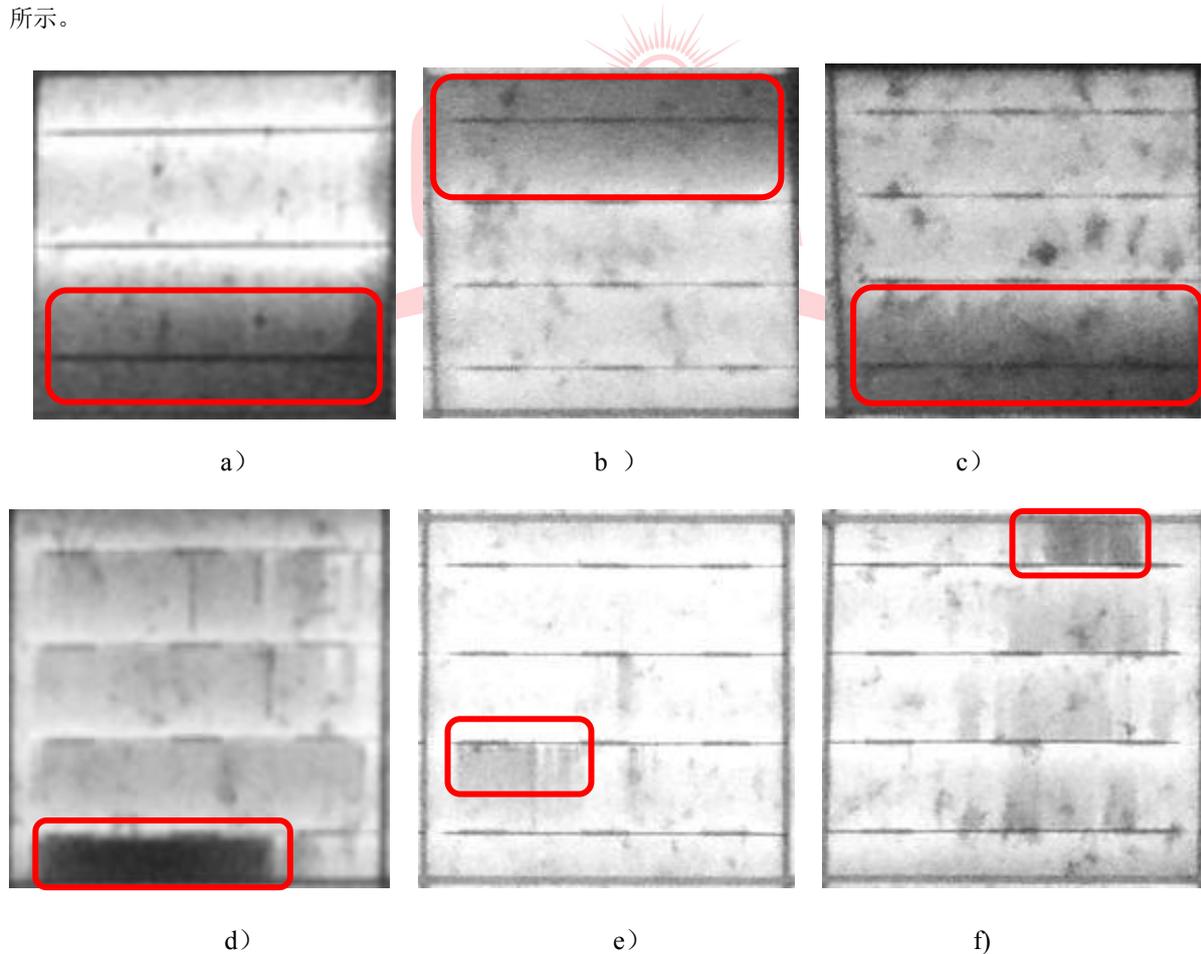
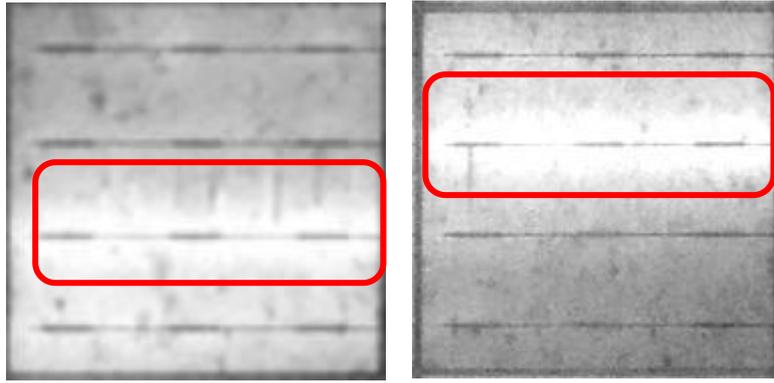


图 D. 13 暗斑的图像

示例 14:

亮斑：分布在焊带两边的明亮区域，是电流分布不均的表现，如图 D. 14 所示。

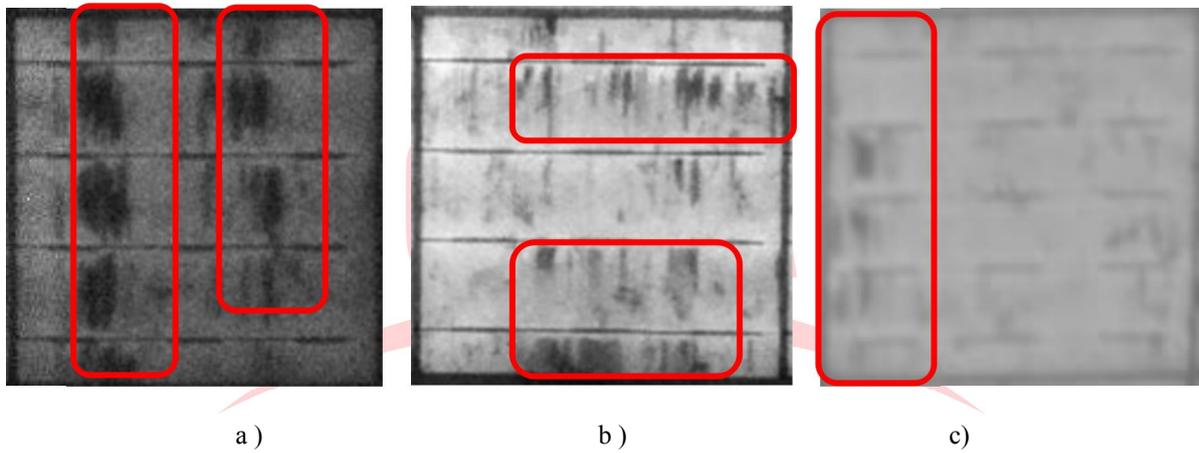


a) b)
图 D. 14 亮斑的图像

D. 1. 3 位置类缺陷主要包括断栅、黑边、黑角。

示例 15:

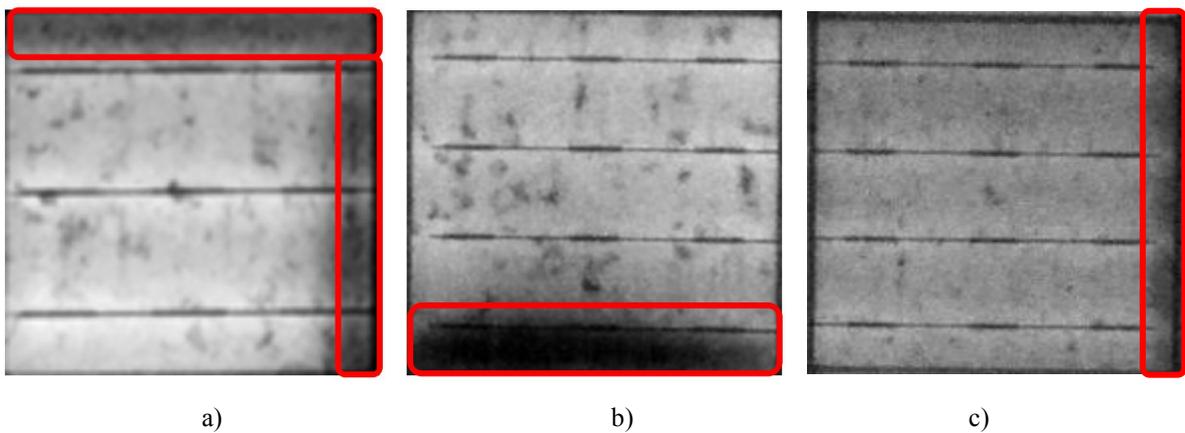
断栅: 焊带之间或焊带与电池片边缘间的黑色条状区域, 如图 D. 15 所示。



a) b) c)
图 D. 15 断栅的图像

示例 16:

黑边: 有一条或两条电池片边缘黑色区域, 如图 D. 16 所示。



a) b) c)
图 D. 16 黑边的图像

示例 17:

黑角: 位于电池片角的一个或多个黑色区域, 如图 D. 17 所示。

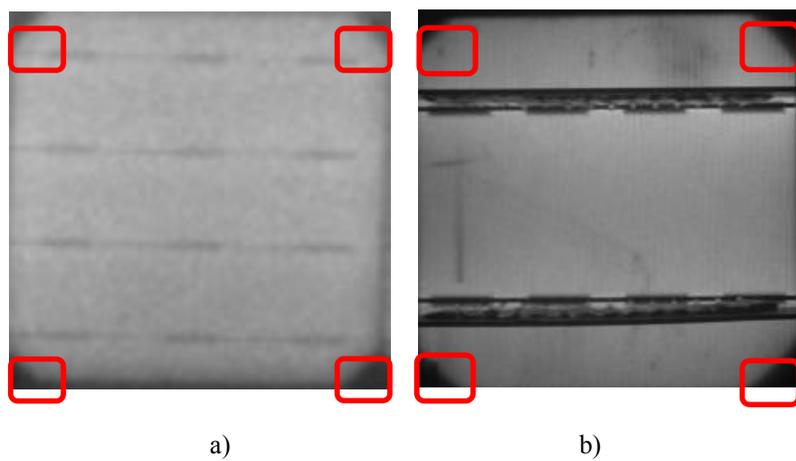


图 D. 17 黑角的图像

