

中华人民共和国有色金属行业标准

YS/T 612—××××
代替 YS/T 612-2014

太阳能电池用浆料

Paste for solar cells

(征求意见稿)

××××-××-××发布

××××-××-××实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

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。

本文件代替 YS/T 612-2014《太阳能电池用浆料》，与 YS/T 612-2014 相比，除结构调整和编辑性修改外，主要技术变化如下：

- a) 删除了正面银浆、背面银浆、铝浆的术语和定义（见 2014 年版的 3.1、3.2、3.3）
- b) 增加了 TOPCon 电池电极浆料、XBC 电池电极浆料、HJT 电池电极浆料的术语与定义（见 3.1、3.2、3.3）
- c) 更改了产品分类。将“浆料按产品用途分为晶硅太阳能电池用正面电极银浆、背面电极银浆及背电场电极铝浆”更改为“浆料按电池技术分为 TOPCon 电池电极浆料、XBC 电池电极浆料、HJT 电池电极浆料”（见 4.1，2014 年版的 4.1.1）
- d) 更改了晶硅太阳能电池用浆料的牌号表示方法（见 4.2，2014 年版的 4.1.2）
- e) 删除了晶硅太阳能电池用浆料的组成（见 2014 年版的 4.2）
- f) 更改了固体含量、细度、黏度性能指标表浆料的产品类型及相应的指标（见 5.2.1-表 1，2014 年版的 4.3.1-表 1）
- g) 删除了浆料的干燥条件、烧成条件、烧成膜厚、可焊性、弯曲量性能要求（见 2014 年版的 4.3.2-表 2）
- h) 增加了浆料的固化/烧成后外观、焊接拉力、附着力、体积电阻率、接触电阻率、耐老化性能、可靠性及 VOCs 测试性能指标要求（见 5.2.2-表 2）
- i) 更改了浆料外观质量的测试方法（见 6.2，2014 年版的 5.9）
- j) 更改了浆料固体含量的测试方法（见 6.3，2014 年版的 5.1）
- k) 更改了浆料细度的测试方法（见 6.4，2014 年版的 5.2）
- l) 更改了浆料黏度的测试方法（见 6.5，2014 年版的 5.4）
- m) 删除了浆料方阻的测试方法（2014 年版的 5.3）
- n) 更改了浆料可焊性的测试方法（见 6.6，2014 年版的 5.5）
- o) 更改了浆料附着力的测试方法（见 6.7，2014 年版的 5.6）
- p) 删除了铝浆水浴测试的方法（2014 年版的 5.7）
- q) 删除了铝浆烧结后电池片弯曲量的测试方法（2014 年版的 5.8）
- r) 增加了浆料体积电阻率的测试方法（见 6.8）
- s) 增加了浆料接触电阻率的测试方法（见 6.9）
- t) 增加了浆料耐老化性能的测试方法（见 6.10）
- u) 增加了银包铜浆料可靠性的测试方法（见 6.11）
- v) 增加了浆料 VOCs 的测试方法（见 6.12）
- w) 更改了检查和验收内容（见 7.1，2014 年版的 6.1）
- x) 更改了组批内容（见 7.2，2014 年版的 6.2）
- y) 更改了检验项目内容（见 7.3，2014 年版的 6.3）
- z) 更改了标志、包装、运输、贮存及随行文件以及订货单内容（见 8、9，2014 年版的 7、8）

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。

本文件由中国有色金属工业协会提出。

本文件由全国有色金属标准化技术委员会（SAC/TC 243）归口。

本文件负责起草单位：XXXXXX

本文件起草人：XXXXXX

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

——1998年首次发布为YS/T 612-2006，2014年第一次修订；

——本次为第二次修订。

太阳能电池用浆料

警示-使用本文件的人员应有正规实验室工作的实践经验。本文件并未指出所有可能的安全问题。使用者有责任采取适当的的安全和健康措施，并保证符合国家相关法规规定的条件。

1 范围

本标准规定了晶硅太阳能电池用浆料的分类、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输、贮存及随行文件和订货单内容。

本标准适用于制作晶硅太阳能电池（包含 TOPCon、XBC、HJT 等太阳能电池类型）电极的浆料。

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。

GB/T 3131	锡铅焊料
GB/T 8170	数值修约规则与极限数值的表示和判定
GB/T 17472	微电子技术用贵金属浆料规范
GB/T 17473	电子浆料性能试验方法 导体浆料测试
GB/T 19445	贵金属及其合金产品的包装、标志、运输、贮存
GB/T 31985	光伏涂锡焊带

3 术语与定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

TOPCon 电池电极浆料 Electrode paste for TOPCon Solar Cell

适配隧穿氧化层钝化接触（TOPCon）结构晶体硅太阳能电池专用的高温电极功能浆料，主要由导电粉体、玻璃粉、有机载体及功能助剂复配组成一种满足丝网印刷、钢网印刷或激光转印的的膏状物，通过高温烧结工艺在电池片表面形成导电电极，起到收集、传导光生电流及电池片互联的作用。

3.2

XBC 电池电极浆料 Electrode paste for XBC Solar Cell

适配交叉指式背接触（XBC）结构晶体硅太阳能电池专用的电极功能浆料，主要由银粉、银铜粉或铜粉或其他非贵金属、玻璃粉（高温）、有机载体及功能助剂复配组成一种满足丝网印刷的的膏状物，通过低温固化工艺或者高温烧结工艺在电池片表面形成导电电极，起到收集、传导光生电流及电池片互联的作用。

3.3

HJT 电池电极浆料 Electrode paste for Heterojunction Solar Cell

适配异质结（HJT）结构晶体硅太阳能电池专用的低温电极功能浆料，主要由银粉、银铜粉或铜粉或其他非贵金属、玻璃粉（高温）、有机载体及功能助剂复配组成一种满足丝网印刷的的膏状物，通过低温固化工艺在电池片表面形成导电电极，起到收集、传导光生电流及电池片互联的作用。

4 分类

4.1 产品分类

浆料按电池技术分为 TOPCon 电池电极浆料、XBC 电池电极浆料、HJT 电池电极浆料。

浆料按导电粉体的成分分为纯银浆料、银包铜浆料、铜浆料及其他非贵金属浆料。

4.2 牌号表示

参照 GB/T 17472 牌号表示方法或由供需双方商定。

5 技术要求

5.1 外观质量

浆料应为色泽均匀的膏状物，无肉眼可见夹杂物、颗粒或结块。

5.2 性能指标

太阳能电池用浆料主要技术指标包括固体含量、细度、黏度、固化/烧成后外观、焊接拉力、附着力、体积电阻率、接触电阻率、耐老化性能、可靠性及 VOCs 测试，供需双方应对其他可接受的技术指标达成一致。

5.2.1 浆料的固体含量、细度、黏度应符合表 1 的规定。

表 1

产品分类	产品类型	固体含量/%	细度/ μm	黏度/ $\text{Pa}\cdot\text{s}$
TOPCon 电池电极浆料	TOPCon 电池高温烧结型正面主栅浆料	标称值 ± 2	≤ 10	标称值 $\pm 20\%$
	TOPCon 电池高温烧结型正面副栅浆料		≤ 7	
	TOPCon 电池高温烧结型背面主栅浆料	标称值 ± 3	≤ 10	
	TOPCon 电池高温烧结型背面副栅浆料		≤ 7	
XBC 电池电极浆料	XBC 电池高温烧结型主栅浆料	标称值 ± 3	≤ 10	标称值 $\pm 17\%$
	XBC 电池高温烧结型副栅浆料		≤ 7	
	XBC 电池低温固化型主栅浆料	标称值 ± 2.5	≤ 20	
	XBC 电池低温固化型副栅浆料		≤ 10	
HJT 电池电极浆料	HJT 电池低温固化型正面主栅浆料	标称值 ± 2.5	≤ 20	标称值 $\pm 17\%$
	HJT 电池低温固化型正面副栅浆料		≤ 10	
	HJT 电池固化型背面主栅浆料		≤ 20	
	HJT 电池固化型背面副栅浆料		≤ 10	

5.2.2 浆料的固化/烧成后外观、焊接拉力、附着力、体积电阻率、接触电阻率、耐老化性能、可靠性及 VOCs 测试应符合表 2 的规定。

表 2

产品分类	产品类型	固化/烧成后外观	焊接拉力	附着力	体积电阻率 ($\mu\Omega\cdot\text{cm}$)	接触电阻率 ($\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2$)	耐老化性能	可靠性测试	VOCs 测试 (%)
TOPCon 电池电极浆料	TOPCon 电池高温烧结型正面主栅浆料	表面平整致密；颜色呈均匀光亮的银白色	均值 $\geq 0.8\text{N/mm}$ 单焊点 $\geq 0.3\text{N/mm}$	/	≤ 3.5	≤ 7	由供需双方协商确定	/	≤ 50
	TOPCon 电池高温烧结型正面副栅浆料	表面平整致密；颜色呈均匀光亮的银白色	/	3M 胶带剥离无脱落	≤ 4.0	≤ 5			
	TOPCon 电池高温烧结型背面主栅浆料	银层均匀平整，无硅衬底裸露，无银层脱落	均值 $\geq 0.8\text{N/mm}$ 单焊点 $\geq 0.3\text{N/mm}$	/	≤ 3.5	≤ 7			
	TOPCon 电池高温烧结型背面副栅浆料	银层均匀平整，无硅衬底裸露，无银层脱落	/	3M 胶带剥离无脱落	≤ 4.0	≤ 5			
BC 电池电极浆料	BC 电池高温烧结型主栅浆料	表面平整致密，颜色均匀，无硅衬底裸露	均值 $\geq 0.8\text{N/mm}$ 单焊点 $\geq 0.3\text{N/mm}$	/	≤ 3.5	≤ 10		溶液灰度值 $\geq \text{C10}$ 卡灰度-10	
	BC 电池高温烧结型副栅浆料	表面平整致密，颜色均匀，无硅衬底裸露	/	3M 胶带剥离无脱落	≤ 4.0	≤ 8			
	BC 电池低温固化型主栅浆料	表面平整致密，颜色均匀	/	$\geq 1.5\text{N/mm}$	≤ 10	≤ 25			
	BC 电池低温固化型副栅浆料	表面平整致密，颜色均匀，印刷分辨率高	/	3M 胶带剥离无脱落，无断栅缺陷	≤ 6	≤ 20			
HJT 电池电极浆料	HJT 电池低温固化型正面主栅浆料	平整致密，颜色均匀，焊带润湿良好	/	$\geq 1.5\text{N/mm}$	≤ 8	≤ 20			

	HJT 电池低温固化型正面副栅浆料	平整致密，颜色均匀，高宽比成型性好	/	3M 胶带剥离无脱落，无断栅缺陷	≤5	≤10			
	HJT 电池固化型背面主栅浆料	平整致密，颜色均匀，栅线边缘整齐清晰	/	≥1.5N/mm	≤8	≤20			
	HJT 电池固化型背面副栅浆料	表面平整、光滑，无明显裂纹或起泡	/	3M 胶带剥离无脱落，无断栅缺陷	≤5	≤10			
注 1：耐老化测试不适用于异质结太阳能电池									
注 2：可靠性测试仅限于银包铜浆料									

6 试验方法

6.1 除非供需双方另有协商规定要求，否则浆料各项指标的检测均应在温度 15℃~35℃，相对湿度 40%~80%，大气压力为 86 kPa~106 kPa 的环境下进行。

6.2 浆料及其成膜后的外观应在照度不小于 1000 lux 的环境下目视检查。浆料外观检查前应充分搅拌均匀。

6.3 浆料固体含量的测定试验按 GB/T 17473 的规定进行。

6.4 浆料细度的测定试验按 GB/T 17473 的规定进行。

6.5 浆料黏度的测定试验按 GB/T 17473 的规定进行。

6.6 焊接拉力测定试验

焊接拉力的测定按照附录 A 的规定进行。

6.7 附着力测定试验

低温固化型浆料附着力的测定按照附录 B 的规定进行。

6.8 体积电阻率测定试验

浆料体积电阻率的测定按照附录 C 的规定进行。

6.9 接触电阻率测定试验

浆料接触电阻率的测定按照附录 D 的规定进行。

6.10 耐老化测定试验

浆料耐老化测定按照附录 E 的规定进行。

6.11 可靠性测定试验

银包铜浆料可靠性的测定按照附录 F 的规定进行。

6.12 浆料 VOCs 测定试验按 GB/T 17473 的规定进行。

7 检验规则

7.1 检查和验收

7.1.1 浆料应由供方质量管理部门或第三方进行检验，保证产品质量符合本文件（或订货合同）的规定，并填写质量证明书。

7.1.2 需方应对收到的产品按本文件的规定进行检验。若检验结果与规定不符合时，应在收到产品之日起一个月内向供方提出，由供需双方协商解决。如需仲裁，可委托双方认可的单位进行取样检验。

7.2 组批

浆料应成批提交验收，每批应由同一个牌号、同一批号的产品组成，批重不限。

7.3 检验项目

每批浆料应进行浆料外观、固体含量、细度、黏度、固化/烧成后外观、方阻、焊接拉力/附着力、体积电阻率、接触电阻率、耐老化性能及 VOCs 测试的检验。需方提出的其他检验项目，由供需双方协商确定。

7.4 取样

每批产品在 100 瓶以下时随机抽取一瓶未开封的产品；每批产品在 100 瓶以上，每增加 100 瓶（不足 100 瓶时以 100 瓶计）检验样品增加一瓶。

7.5 检验结果的判定

当试验结果中有检验项目不合格时，应从该批产品中另取双倍数量的试样进行不合格项目的重复试验。重复试验结果全部合格时，则判该批产品合格。若重复试验结果仍有不合格，则判该批产品不合格。

8 标志、包装、运输、贮存及随行文件

8.1 标志

8.1.1 产品标志

浆料用带密封盖的瓶子分装，每瓶浆料的重量由供需双方自行约定。每瓶浆料均应贴上标签，注明：

- a) 供方名称；
- b) 产品名称；
- c) 产品牌号；
- d) 产品批号；
- e) 瓶重；
- f) 产品净重量；
- g) 储存条件、生产日期和保质期；
- h) 警示标识或警示说明。

8.1.2 包装标志

包装箱上应贴上标签，注明：

- a) 产品名称；
- b) 产品牌号；
- c) 产品批号；
- d) 瓶数和规格；
- e) 生产日期；
- f) 生产单位；
- g) “易碎”、“防潮”和“防热”标志。

8.2 包装、运输、贮存

8.2.1 包装瓶应耐浆料腐蚀，不易破损。瓶口应用胶带缠绕密封，然后装入包装箱中，包装瓶四周应充填安全物质。外包装参照 GB/T 19445 的规定进行。

8.2.2 运输应防污染、防火、防潮、防热。有特殊需求时，在订货合同中注明。

8.2.3 高温浆料一般应在 5℃~25℃下贮存，低温浆料贮存温度-30℃~-5℃，保质期限为 6 个月，对于特殊要求浆料的运输及贮存条件需双方协商，并在订货合同中注明。

8.3 随行文件

每批浆料产品应附产品合格证，注明：

- a) 供方名称；
- b) 产品名称；
- c) 产品牌号；
- d) 批号；
- e) 净重；
- f) 各项检验结果和技术监督部门印章；
- g) 产品对应的标准编号；
- h) 生产日期。

9 订货单内容

- a) 产品名称；
- b) 产品牌号；
- c) 产品主要技术指标；
- d) 产品重量；
- e) 产品对应的标准编号；
- f) 包装形式及要求；
- g) 运输方式；
- h) 特殊要求。

附 录 A

焊接拉力测试

A.1 范围

本附录规定了晶体硅光伏电池用高温烧结型浆料焊接拉力的测定方法。

本附录适用于晶体硅光伏电池用高温烧结型浆料焊接拉力的测定试验。

A.2 仪器设备

所需仪器与设备如下：

- a) 拉力试验机：量程涵盖（0~50）N，测量与记录所施加拉力的精确度应达到 $\pm 5\%$ ；
- b) 焊接装置：控温烙铁（90~150）W，或者太阳能电池片自动串焊机；
- c) 温控板：能够在（50 $\pm$ 5）℃控温；
- d) 丝网印刷机；
- e) 烘箱；
- f) 隧道烧结炉；
- g) 秒表。

A.3 材料

所需材料如下：

- a) 未印刷电极的晶体硅电池片；
- b) 焊带：含常规焊带、0.18-0.30mm 超细焊带、圆形焊带，符合 GB/T 31985 要求；
- c) 助焊剂：符合 SJ/T 11549 的要求。

A.4 试样制备

A.4.1 将待测浆料充分搅拌均匀，使用丝网印刷机在晶体硅电池片上印刷电极，按照制造商提供的工艺条件烘干并经隧道烧结炉高温烧结。

A.4.2 电极焊接：焊接偏移应控制在 15%以内。可分为以下两种焊接方式：

a) 手动焊接

- 1) 清洁恒温焊台的台面，将待焊接的晶体硅电池片放在温控板上。
- 2) 选择与印刷电极宽度匹配的焊带，将焊带浸润于助焊剂，按照制造商推荐的焊接温度，用控温烙铁将焊带焊接到烧结好的电极上。

3) 每份样品至少有 3 个试样（以每一条焊带焊接的连续或者分段电极作为 1 个试样），测试结果可有效读取。

b) 自动焊接：

- 1) 开启太阳能电池片自动串焊机的总电源，按要求设置好设备的各项参数、选择与印刷电极宽度匹配的焊带。
- 2) 选择合适的焊接功率和焊接时间，设置所需要的焊接条件。
- 3) 预热底板温度（一级预热、二级预热），当前温度需保持在上下限温度范围内 1 分钟以上。
- 4) 按照料盒号，放入对应电池片，并开始自动焊接电池片。

A.5 焊接拉力测试

将试样夹在拉力试验机上，沿 180°方向（见图 A.1），以（200 $\pm$ 50）mm/min 的速度均匀地从电池片上拉焊带，记录拉力值相对稳定区间的平均拉力，以平均拉力作为破坏拉力。

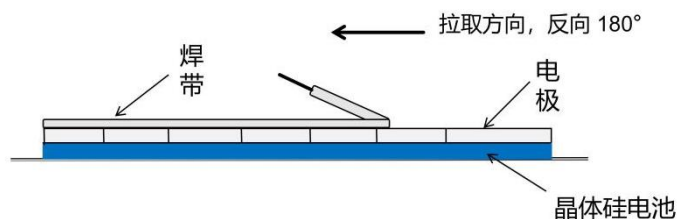


图 A.1 焊接拉力测试示意图

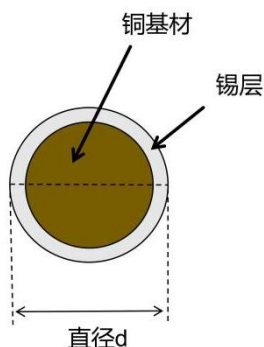


图 A.2 圆型焊带示意图

A. 6 测试结果处理

按照公式（A.1）计算平均破坏拉力：

$$F_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{n} \dots\dots\dots \text{式 A.1}$$

式中：

F ——单个试样的破坏拉力，单位为牛顿（N）；

F_{avg} ——平均破坏拉力，单位为牛顿（N）；

n ——测定次数。

计算平均破坏拉力时，数值修约按照 GB/T 8170 的规定进行，结果保留两位有效数字。

附着力为焊接界面单位宽度的破坏拉力，按照公式（A.2）计算：

$$f = \frac{F_{avg}}{d} \dots\dots\dots \text{式 A.2}$$

式中：

f ——附着力，单位为牛顿每毫米（N/mm）；

F_{avg} ——平均破坏拉力，单位为牛顿（N）；

d ——电极与焊带焊接接触面宽度，单位为毫米（mm）。

注：接触面积宽度大小约等于焊条宽度。

A. 7 圆形互联条焊接拉拔拉力判定标准：

正面、背面统一要求：总不合格点数≤总焊点数量的 20%；单根焊带不合格点≤2 个；连续不合格点≤2 个。

附录 B

主栅附着力测试

B.1 范围

本附录规定了晶体硅光伏电池用低温固化型浆料主栅附着力的测试方法。

本附录适用于晶体硅光伏电池用低温固化型浆料主栅附着力的测定试验。

B.2 仪器与设备

所需仪器与设备如下：

- 拉力试验机：量程涵盖（0~50）N，测量与记录所施加拉力的精确度应达到 $\pm 2\%$ ；
- 焊接装置：控温烙铁（90~150）W，能够在 $290\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 控温；或者太阳能电池片自动串焊机；
- 温控板：能够在 $(50 \pm 5)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 控温；
- 丝网印刷机；
- 烘箱；
- 隧道烧结炉；
- 秒表。

B.3 材料

所需材料如下：

- 未印刷电极的晶体硅电池片；
- 焊带：低温焊带（传统纯铜焊带）、直径范围在 $0.20\text{ mm} \sim 0.32\text{ mm}$ 之间，符合 GB/T 31985 中对光伏涂锡焊带外观、力学性能、电学性能、抗腐蚀性、耐老化及可焊性的要求；
- 助焊剂：符合 SJ/T 11549 的要求。

B.4 试样制备

B.4.1 将待测固化型银浆充分搅拌均匀，使用丝网印刷机在晶体硅蓝膜片上印刷主栅电极，推荐长度不低于 15 cm 、宽度 $(0.4 \sim 1)\text{ mm}$ 、厚度 $(11 \sim 15)\text{ }\mu\text{m}$ 。

B.4.2 按照制造商提供的工艺条件烘干并经隧道烧结炉固化。

B.4.3 将焊带置于助焊剂中浸泡（5~15）min，取出后室温晾干。

B.4.4 将电池片放置于温控板，升温至 $(50 \pm 5)\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；选用匹配焊带，按厂商推荐温度焊接，手动焊接匀速操作，单次焊接时长不超过 30 s ；也可使用自动串焊机按推荐工艺焊接。焊接偏移严格控制在 $\leq 15\%$ 。

B.4.5 每份样品至少有 3 个试样（以每一条焊接焊带的电极作为 1 个试样）测试结果可有效读取。

B.5 附着力测试

将试样夹在拉力试验机上，沿 180° 方向（见图 B.1），以 $(200 \pm 50)\text{ mm/min}$ 的速度均匀地从电池片上拉焊带，记录拉力值相对稳定区间的平均拉力，以平均拉力作为破坏拉力。

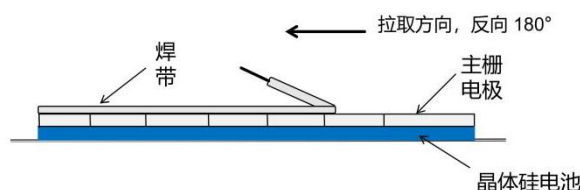


图 B.1 主栅附着力测试示意图

B.6 测试结果处理

按照公式 (B.1) 计算平均破坏拉力:

$$F_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{n} \dots\dots\dots \text{式 B.1}$$

式中:

F ——单个试样的破坏拉力, 单位为牛顿 (N);

F_{avg} ——平均破坏拉力, 单位为牛顿 (N);

n ——测定次数。

计算平均破坏拉力时, 数值修约按照 GB/T 8170 的规定进行, 结果保留两位有效数字。

附着力为焊接界面单位宽度的破坏拉力, 按照公式 (B.2) 计算:

$$f = \frac{F_{avg}}{d} \dots\dots\dots \text{式 B.2}$$

式中:

f ——附着力, 单位为牛顿每毫米 (N/mm);

F_{avg} ——平均破坏拉力, 单位为牛顿 (N);

d ——电极与焊带焊接接触面宽度, 单位为毫米 (mm)。

附 录 C

体积电阻率测试

C.1 范围

本附录规定了晶体硅光伏电池用浆料体积电阻率的测试方法。
本附录适用于晶体硅光伏电池用浆料体积电阻率的测定试验。

C.2 仪器与设备

所需仪器与设备如下：

- a) 定制印刷网版；
- b) 电阻测试仪（电阻测试范围： $1\mu\Omega\sim 20k\Omega$ ）；
- c) 隧道烧结炉；
- d) 厚度检测设备：台阶仪/激光共聚焦显微镜，厚度测量精度 $\pm 0.1\mu\text{m}$ 。

C.3 材料

未印刷电极的晶体硅电池片。

C.4 试样制备

C.4.1 将待测浆料充分搅拌均匀，使用定制网版手动在晶体硅蓝膜片上印刷浆料样条，如示意图 C.1 所示。推荐长度（3~8）cm、宽度（3~8）mm、厚度（25~50） μm 。

C.4.2 按照制造商提供的工艺条件烘干并经隧道烧结炉低温固化/高温烧结。

C.4.3 每份样品至少有 3 个试样，测试结果可有效读取。

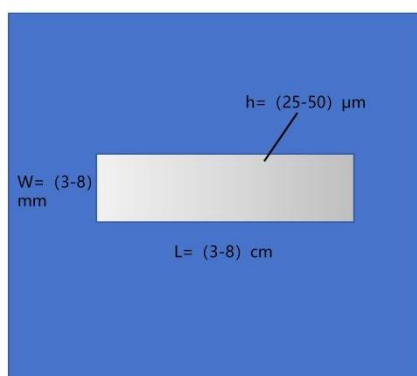


图 C.1 体积电阻率印刷示意图

C.5 体积电阻率的测试

C.5.1 用直尺与笔标记待测区间长度 L ，然后采用四线法将探针搭接在标记区间的两端，读出电阻读数记为 R 。

C.5.2 测量浆料固化后样条的宽度 W （精确到 0.01 mm）及厚度 h （精确到 0.01 μm ），并计算出样条的横截面积为 $S=W\times h$ 。

C.6 测试结果处理

根据公式（C.1）处理测试结果，计算浆料的体积电阻率。

$$\rho = \frac{R \times S}{L} \times 10^6 \dots\dots\dots \text{式 C.1}$$

式中：

ρ ——体积电阻率，单位为微欧厘米（ $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ ）；

R ——电阻，单位为欧姆（ Ω ）；

S ——浆料样条的横截面积，单位为平方厘米（ cm^2 ）；

L ——浆料样条的长度，单位为厘米（ cm ）。

附录 D

接触电阻率测试

D.1 范围

本附录规定了晶体硅光伏电池用浆料接触电阻率的测试方法。

本附录适用于晶体硅光伏电池用浆料接触电阻率的测定试验。

D.2 仪器与设备

所需仪器与设备如下：

- a) 定制印刷网版；
- b) TLM 接触电阻测试仪；
- c) 烘箱；
- d) 隧道烧结炉。

D.3 材料与试样

未印刷电极的晶体硅电池片。

D.4 试样制备

D.4.1 将待测浆料充分搅拌均匀,使用定制网版手动在晶体硅蓝膜片上印刷相同形状,不同间隔的样条,样品长为 L ($10\text{ mm} \leq L \leq 15\text{ mm}$),如图 D.1 所示。

D.4.2 按照制造商提供的工艺条件烘干并经隧道烧结炉低温固化/高温烧结。

D.4.3 每份样品至少有 3 个试样,测试结果可有效读取。

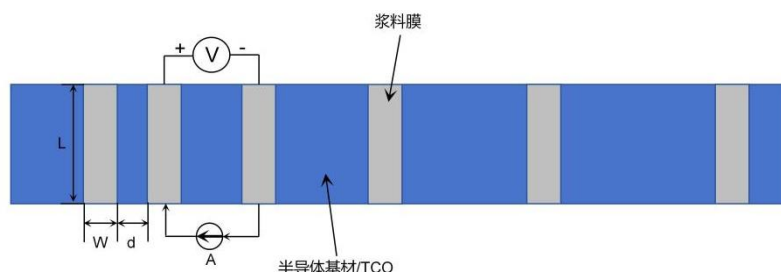


图 D.1 接触电阻率测试示意图

D.5 接触电阻率的测试

使用 TLM 接触电阻测试仪测试不同间隔的样条的电阻。样条的宽度及间隔大小由供需双方决定（样条宽度 W 推荐为 1 mm , 间距设置为 0.5 mm 、 1 mm 、 1.5 mm 、 2 mm 、 2.5 mm ）。

D.6 测试结果处理

D.6.1 按对应不同的距离 d_n 测出一组 R_T , 做出的 $R_T=f(d)$ 曲线, 这些点可以拟合成一条直线, 拟合优度 R^2 大于 0.99 。

D.6.2 当 $d_n=0$ 时, 在 R_T 轴上的交点为 $2R_c$, 即可得到 R_c 值。

D.6.3 直线的斜率为 R_{sh}/L , 即可得到 R_{sh} 值。

D.6.4 在推荐宽度 $W=1\text{ mm}$ 情况下, W 大于有效传输距离 L_T 的 3 倍, 可按照公式 (D.1) 处理测试结果, 计算接触电阻率:

$$\rho_c = \frac{Rc^2 \times L^2}{R_{sh}} \dots\dots\dots \text{式 D.1}$$

式中：

ρ_c ——金属与半导体接触电阻率，单位为毫欧姆平方厘米（ $\text{m}\Omega \cdot \text{cm}^2$ ）；

R_{sh} ——半导体基材本身的方块电阻，单位为欧姆每方块（ $\text{m}\Omega/\square$ ）；

Rc ——金属与半导体接触电阻，单位为欧姆（ $\text{m}\Omega$ ）；

L ——样条长度，单位为厘米（ cm ）。

附录 E

耐老化测试方法

E.1 范围

本附录规定了晶体硅光伏电池（不包括异质结太阳能电池）用浆料耐老化的测试方法。
本附录适用于晶体硅光伏电池（不包括异质结太阳能电池）用浆料耐老化的测定试验。

E.2 仪器与设备

所需仪器与设备如下：

- 恒温环境箱：可控温（ 85 ± 2 ）℃；
- 密封容器：耐高温、耐醋酸腐蚀，推荐 PP 塑料材质，配套多层镂空承载架；
- 电池片承载架：四面镂空、耐酸耐高温多层支架，用于分层放置电池；
- 电子天平：称量精度 0.01g；
- I-V 测试仪：满足 IEC 60904-1 标准，可在 STC 条件测试电池电流 - 电压特性；
- EL 电致发光测试设备：符合 T/CPIA 0020-2020 要求；
- 密封缠绕膜；
- 量筒、烧杯：用于醋酸腐蚀溶液配制。

E.3 材料与试样

E.3.1 试验溶液

体积分数 3% 醋酸 + 饱和氯化钾混合水溶液

E.3.2 电池试样要求

- 试验电池片：5~10 片，同批次未经过任何后处理金属化电池，每片独立编号；
- 控制电池片：5 片，与试验电池同批次，常温暗环境真空干燥箱/氮气柜存放，全程不参与腐蚀试验；
- 辅助电池片：2 片，与试验电池尺寸一致，分别放置承载架最上层、最下层，隔绝上下层醋酸蒸汽干扰。

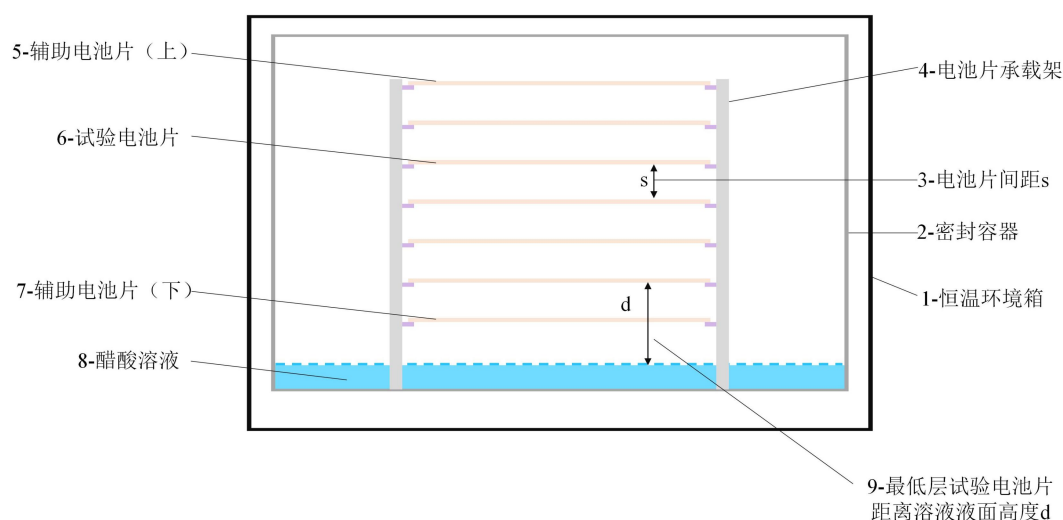


图 E.1 醋酸腐蚀试验装置示意图

E.4 试验前预处理

E.4.1 在 STC 标准测试条件下, 使用 I-V 测试仪分别测试全部试验电池、控制电池的 I-V 曲线, 记录初始最大功率 P_1 。

E.4.2 依据 T/CPIA 0020-2020 完成所有电池 EL 成像检测, 确认电极、硅片无隐裂、发黑、断栅等初始异常, 留存初始 EL 照片。

E.4.3 实验室环境控制: 温度 $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$, 相对湿度 $(50 \pm 10)\%$ 。

E.5 试样装架与溶液配制

E.5.1 将承载架分层摆放电池: 上下两层为辅助电池, 中间层放置全部试验电池, 电池正面朝上; 所有电池片间距统一 $s=(8 \sim 12)\text{mm}$ 。

E.5.2 装入密封容器后, 调整液面高度, 保证最低一层试验电池距离醋酸溶液液面高度 $d=(45 \sim 70)\text{mm}$ 。

E.5.3 溶液配比: 以 10L 容积密封容器为例, 加入配制好的醋酸腐蚀溶液 $(200 \pm 2)\text{mL}$; 其他容积密封容器按相同溶液/容器体积比例等比例增减溶液用量。

E.5.4 将配制完成的醋酸溶液倒入密封容器底部, 放入装好电池的承载架, 使用缠绕膜多层密封容器开口。

E.5.5 密封完成后使用电子天平称重, 记录初始总质量 M_1 。

E.6 老化试验

E.6.1 将密封容器平稳放入恒温环境箱, 设置箱内温度 $(85 \pm 2)^\circ\text{C}$, 升温完成后开始计时:

a) P 型晶体硅电池: 试验时长 15h;

b) N 型晶体硅电池: 试验时长 8h。

E.6.2 试验全程保持箱体温度稳定, 不得中途开启箱门、拆装密封容器。

E.7 试验后取样及测试

E.7.1 达到规定试验时长后, 将密封容器从恒温箱取出, 室温自然冷却至环境温度。

E.7.2 冷却后再次称量密封容器总质量, 记录 M_2 ; 判定要求: M_1 与 M_2 质量差值 $<$ 配制溶液中醋酸组分总重量, 超出则本次试验失效, 需重新测试。

E.7.3 取出全部试验电池片, 在出箱后 2h~4h 内完成检测: 1) STC 条件复测 I-V 曲线, 记录腐蚀后最大功率 P_2 ; 2) 复测 EL 图像, 对比初始 EL 记录电极腐蚀、栅线脱落、硅片发黑、隐裂等失效形貌, 同步拍照留存。

E.7.4 同步复测控制电池片 I-V 与 EL, 用于排除环境、设备带来的性能漂移干扰。

E.8 测试结果处理

a) 按公式 (E.1) 计算每片电池最大功率衰减比例:

$$P_{\max} = (P_1 - P_2) / P_1 \times 100\% \dots \dots \dots \text{式 E.1}$$

式中:

$P_{\max}$ ——最大功率的衰减率;

P_1 ——STC 条件下最大输出功率, 单位为瓦 (W);

P_2 ——醋酸腐蚀试验后 STC 条件下最大输出功率, 单位为瓦 (W)。

附录 F

可靠性测试方法

F.1 范围

本附录规定了晶体硅光伏电池用银包铜浆料可靠性的测试方法。

本附录规定了晶体硅光伏电池用银包铜浆料可靠性的测定试验。

F.2 仪器与设备

所需仪器与设备如下：

- a) 80 mL 烧杯若干；
- b) 电子天平；
- c) 标准色卡；
- d) Image-J 图像灰度处理软件；
- e) 拍照设备。

F.3 试剂与材料

- a) 待测银包铜导电浆料；
- b) 硝酸银试剂，配制成 0.1 mol/L 硝酸银标准溶液，避光环境储存。

F.4 可靠性试验

F.4.1 记录待测浆料信息：浆料型号、生产批次、银含量；

F.4.2 配制 0.1 mol/L 硝酸银标准溶液，避光保存备用；

F.4.3 称取待测浆料 3.0 ± 0.1 g，平铺于 80 mL 烧杯杯底，浆料尽量平铺，避免沾附烧杯侧壁；

F.4.4 另取 80 mL 烧杯量取 20 mL 硝酸银标准溶液，将 20 mL 硝酸银溶液缓慢倾倒至盛放待测浆料的试验烧杯中；

F.4.5 将试验烧杯放置于通风橱内，烧杯底部及背景为白色。开始计时，每间隔 10 min 观察溶液颜色变化；试验进行至 30 min 时对溶液进行拍照；

F.4.6 拍照时，将比色卡竖直放置，色卡与烧杯中心切面处于同一平面（拍摄要求：摄像头镜头平行于烧杯液面；镜头距离烧杯外壁 30 cm~50 cm；拍摄角度偏差 $\pm 10^\circ$ ；避免阴影遮挡溶液与色卡区域。）

F.5 测试结果处理

F.5.1 对拍摄图片进行图像裁切，裁切范围包含 C10 色卡区域与烧杯中清液区域；

F.5.2 使用灰度软件 Image-J 进行处理；

F.5.3 判定规则：试样溶液灰度值 $\geq$ C10 卡灰度-10，判定合格；试样溶液灰度值 $<$ C10 卡灰度-10，判定不合格。