

# 行业标准《再生硅料》

## 编制说明（讨论稿）

### 一、工作简况

#### 1. 立项目的与意义

近年来光伏产业快速发展，年均复合增长率超过 25%。截止 2022 年末光伏新增装机已突破 250GW。光伏各环节产能同样在快速扩张，2022 年底多晶硅产能突破 125 万吨，产量突破 90 万吨；硅片产能突破 600GW，产量突破 300GW。

由于光伏组件大多为单晶硅组件，其硅基材（即单晶硅片）是直拉法生长的单晶圆棒经过切方、线切割后产出的硅片。因此在硅片生产过程中会产出极大的次级品或副产物，比如直拉法单晶硅棒生产过程中由于尺寸、电性能指标等不合格产生的次级品、圆棒切方后留下的边皮料、线切割环节产生的厚片等。这些次级品或副产物经过一定处理可从新用于直拉法单晶硅生产，因此被称为“再生硅料”。考虑直拉法单晶硅片生产的成品率损失、圆棒至方棒的切除损失、破碎损失、切片损失等，2022 年底硅片企业所产生的再生硅料在 25 万吨以上。

再生硅料产出巨大且品类复杂，因此有必要建立合理标准，规范其的使用。通过利用该部分硅料，可降低企业原料成本及产业链综合成本，提升资源及能源利用率。

针对再生硅料的相关标准为 YS/T 840-2012《再生硅料分类和技术条件》，经过多年的发展，光伏行业取得了长足的技术进步，多晶硅杂质含量、电池/组件技术路线及对单晶硅片电性能指标的要求亦有了明显差异，原标准对再生硅料的等级划分、技术要求已无法满足市场的实际需求，无法指导企业的生产和销售。

通过对此标准的修订，能够更加贴合市场实际情况，有效的指导国内厂商对再生硅料的分级和应用，降低企业原料成本及产业链综合成本，提升资源及能源利用率。

#### 2. 任务来源

本标准修订需求源于近年来行业技术方向的巨大变化。原标准形成时，硅基光伏路线为 Al-BSF，电池转换效率普遍在 18%以下。由于 Al-BSF 结构的固有的界面高复合速率、P 型基底制备 N 型结时的掺杂浓度及深度等缺陷的存在，加之彼时国内多晶硅产品杂质含量偏高，因此彼时硅基光伏对硅基材（即直拉法单晶硅片，下文简称单晶硅片）的要求不高。彼时单晶硅片普遍具有高阻（即基材电阻率范围为  $1-3 \Omega \cdot \text{cm}$ ）、硼掺杂、少子寿命偏低（多晶硅原料以及直拉单晶生产过程中引入较多过渡族金属导致，单晶硅

片对少子寿命的控制线仅为 $\geq 5 \mu s$ )。随着技术水平的发展,目前量产电池转换效率已突破 25%,具有低衰减、高效率的掺镓 P 型硅和 N 型硅得到大规模应用,因此对于单晶硅片的要求极大改变。单晶硅片向掺镓/掺磷、低阻化(P 型单晶硅片主流电阻率  $0.4-1.2 \Omega \cdot cm$ , N 型为  $0.3-2 \Omega \cdot cm$ ),高少子寿命(P 型掺镓单晶硅片少子寿命规格为 $\geq 50 \mu s$ , N 型则更高)。因此单晶硅片生产过程中的工艺参数(如掺杂、生长速度等)、原材料(如多晶硅原料、热场材料等)明显不同,导致产生的再生硅料明显不同。

因此为了更好的利用这些再生硅料,企业内部根据现场实际情况制定了相关的内部文件。考虑到产出和应用再生硅料的企业很多,有必要结合行业内实际情况统一行程规范化的文件,帮助企业与行业提升综合效能。

隆基绿能科技股份有限公司拥有多年单晶硅生产经验,结合自身对于再生硅料的研究和应用情况,在 2021 年提出了更新原有标准的申请并提交了行业标准项目建议书。

### 3. 主要参加单位和工作成员及其所做工作

#### 3.1 主要参加单位情况

标准主要起草单位隆基绿能科技股份有限公司基于多年单晶生产经验,结合自身对于再生硅料的研究和应用情况提出了标准更新的申请及草案。

天津中环半导体股份有限公司、弘元新材料有限公司在草案编辑期间提出了具有建设性的意见。

#### 3.2 主要工作成员所负责的工作情况

本标准主要起草人及工作职责见表 1。(待确定)

表 1 主要起草人及工作职责

| 起草人 | 工作职责           |
|-----|----------------|
| 邓浩  | 负责标准的工作指导、组织协调 |
| 韩伟  | 负责标准内容的编写、审核   |
| 付楠楠 | 负责标准内容的编写、审核   |

### 4. 主要工作过程

#### 4.1 立项阶段

2021 年 12 月,隆基绿能科技股份有限公司向全体委员会议提交了《再生硅料》标准项目建议书、标准草案及标准立项说明等材料,委员会议论证结果为同意行业标准申报立项。

## 4.2 起草阶段

本项目自下达计划之日起，在隆基绿能科技股份有限公司内部成立了标准编制组，召开了关于标准起草的工作会议，布置了标准起草的相关工作，产品测试和数据收集有序展开。2023年6月完成了标准标准讨论稿1及编制说明。

### 二、 标准编制原则

本标准完全按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作原则 第1部分：标准的结构与编写》、GB/T 20001.10-2015《标准编写规则 第10部分：产品标准》的要求进行编写。

- (1) 更改了标准名称，将“再生硅料分类和技术条件”更改为“再生硅料”；将英文标准名“Classification and technical specification for renewable crystal silicon”更改为“Recycling Silicon Material”；
- (2) 更改了再生硅料类别，增加边皮料、切片废料、墩塌料、沫子料、回收单晶料，修改锅底料、晶体硅样块、原生型废硅片描述；
- (3) 更改了规范性引用文件，将《GB/T 1551 硅单晶电阻率测定方法》更改为《GB/T 1551 硅单晶电阻率的测定 直排四探针法和直流两探针法》；
- (4) 增加了规范性引用文件《GB/T 37049 电子级多晶硅中基体金属杂质含量的测定 电感耦合等离子体质谱法》；
- (5) 更改了再生硅料的线性尺寸，由不小于 3mm 更改为不小于 1mm；
- (6) 更改了再生硅料中 N 型再生硅料的电阻率等级指标，一档至三档的电阻率范围由  $>40$ 、 $20\sim 40$ 、 $1\sim 2$  更改为  $>2$ 、 $0.3\sim 2$ 、 $0.01\sim 0.3\ \Omega\cdot\text{cm}$ ；
- (7) 更改了再生硅料中 P 型再生硅料的电阻率等级指标，一档至三档的电阻率范围由  $>10$ 、 $1\sim 10$ 、 $0.35\sim 1$  更改为  $>2$ 、 $0.4\sim 1.2$ 、 $0.001\sim 0.4\ \Omega\cdot\text{cm}$ ；
- (8) 增加了按导电型号分类再生硅料的分类方法；
- (9) 更改了再生硅料受主杂质浓度等级，由  $\leq 20$ 、 $\leq 300$ 、 $\leq 1000$  改为  $[\leq 2$  (N 型)， $\leq 250$  (P 型)]、 $[\leq 50$  (N 型)， $\leq 850$  (P 型)]、 $[\leq 10$  (N 型)， $\leq 2.5\text{E}+5$  (P 型)]，单位为 ppba；
- (10) 更改了再生硅料施主杂质浓度等级，由  $\leq 2$ 、 $\leq 50$ 、 $\leq 100$  改为  $[\leq 50$  (N 型)， $\leq 2$  (P 型)]、 $[\leq 350$  (N 型)， $\leq 5$  (P 型)]、 $[\leq 9\text{E}+4$  (N 型)， $\leq 10$  (P 型)]，单位为 ppba；
- (11) 更改了再生硅料碳杂质浓度等级，由  $\leq 0.5$ 、 $\leq 2$ 、 $\leq 4$  改为  $\leq 0.5$ 、 $\leq 1$ 、 $\leq 2$ ，单位为 ppm。

### 三、 标准主要内容的确定依据

#### 1、第3章 术语及定义

GB/T 14264 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

结合隆基绿能科技股份有限公司生产实际情况，以下所列举的条目可覆盖绝大部分经简单处理后正常使用的再生硅料。

##### 3.1

碳极多晶硅（碳头料） carbon end polysilicon

在多晶硅生产过程中，包围在 U 型多晶硅棒的碳极周围，沾连有石墨的不规则形状多晶硅料。

##### 3.2

头尾料 monocrystalline top and tail

在光伏行业拉制单晶硅棒过程中形成的头尾圆锥体；拉制单晶失败（断棱，即失去单晶特性）产生的多晶硅棒和位错单晶；单晶/多晶铸锭顶部及底部切除部分。

##### 3.3

边皮料 monocrystalline side cuts

光伏行业拉制单晶无位错圆棒切方过程中产生的边缘部分；单晶/多晶铸锭与坩埚接触侧面的切除部分。

##### 3.4

切片废料 slicing scrap

光伏硅锭切片过程每根方棒产生的厚片，或异常问题产生的废方棒。

##### 3.5

墩塌料 abnormal pot poly

光伏行业因长晶过程中出现设备异常、操作异常、工艺异常、原辅料异常导致墩塌剩料。

##### 3.6

沫子料 crushing scrap

光伏行业破碎复拉料/破碎多晶料过程中产生线性尺寸在 1-3mm 之间的硅料。

##### 3.7

回收料 recycled silicon

光伏行业长晶过程中尺寸、电性能等指标不合格的硅锭。

### 3.8

#### 锅底料 pot scrap

光伏行业在拉制单晶硅棒的过程中，残留在石英坩埚中的硅料。

### 3.9

#### 晶体硅样块 test silicon material

光伏行业在晶体硅棒的检测和评估中作为测试用的样块。

### 3.10

#### 原生型废硅片 process scrap

在硅棒切割、研磨或抛光过程中产生的碎片或不合格硅片。。

## 2、第4章 技术要求

再生硅料可按电阻率或按杂质浓度进行分档，需经供需双方协商一致。每一档的产品应该同时满足本档的要求，若某项指标超出标准，则降为下一档。按电阻率分，各档不同导电类型的相关参数应符合表 1 的规定；按杂质浓度分，各档的相关参数应符合表 2 的规定。

表 1

| 导电类型 | 电阻率范围 ( $\Omega\cdot\text{cm}$ ) |         |           |
|------|----------------------------------|---------|-----------|
|      | 一档                               | 二档      | 三档        |
| N型   | >2                               | 0.3-2   | 0.01-3    |
| P型   | >1.2                             | 0.4-1.2 | 0.001-0.4 |

表 2

| 项目                                  | 一档         |            | 二档         |            | 三档          |               |
|-------------------------------------|------------|------------|------------|------------|-------------|---------------|
|                                     | N型         | P型         | N型         | P型         | N型          | P型            |
| 受主杂质浓度, ppba                        | $\leq 2$   | $\leq 250$ | $\leq 5$   | $\leq 850$ | $\leq 10$   | $\leq 2.5E+5$ |
| 施主杂质浓度, ppba                        | $\leq 50$  | $\leq 2$   | $\leq 350$ | $\leq 5$   | $\leq 9E+4$ | $\leq 10$     |
| 碳浓度, ppma                           | $\leq 0.5$ |            | $\leq 1$   |            | $\leq 2$    |               |
| 体金属杂质 (Fe、Cr、Ni、Cu、Zn、Na) 总含量, ppba | $\leq 50$  |            | $\leq 100$ |            | $\leq 200$  |               |

## 4.2 尺寸范围

再生硅料的线性尺寸不小于 1mm。

## 4.3 外观特征

再生硅料的外观应无色斑，氧化层以及其它的污染物等。

### 3、第 5 章 试验方法

再生硅料中碳含量测量按照 GB/T 1558 进行测试。

再生硅料中 III-V 族杂质含量按照 GB/T 24574 或 SEMI PV1 或 GB/T 24581 进行测试。

再生硅料中的体金属杂质含量按照 GB/T 37049 进行测试。

再生硅料的尺寸分布范围用筛网检验，或由供需双方商定的方法检验。

再生硅料的表面质量用目视/放大镜检查。

再生硅料的导电类型测试方法按照 GB/T 1550 进行测试。

再生硅料的电阻率测定按照 GB/ T1551 进行测试。

### 四、 标准中涉及专利的情况

本标准不涉及专利问题。

### 五、 标准水平分析

经查，本标准目前无国际标准，通过新旧标准对比，标准内容本标准技术内容达到国际先进水平，标准水平分析见表 3

表 3 《再生硅料》标准水平分析

| 项目                                     | 本标准   | 原标准  | 水平综合判定   |
|--|---|--|--|
| 术语及定义                                  | 碳极多晶硅（碳头料）、头尾料、边皮料、切片废料、墩塌料、沫子料、回收单晶料、塌底料、晶体硅样块、原生型废硅片  | 碳极多晶硅（碳头料）、头尾料、边皮料、切片废料、塌底料、晶体硅样块、原生型废硅片   | 增加墩塌料、沫子料、回收单晶料，在目前再生硅料产出占比中超过 10%，必须增加，达到国际领先水平 |
| 技术要求                                   | 结合导电类型、施主/受主杂质浓度区分等级  | 仅按电阻率或杂质浓度区分等级   | 国际领先水平   |
| 技术要求-电阻率分档（ $\Omega \cdot \text{cm}$ ） | P 型电阻率分档为 $>1.2$ 、 $0.4 \sim 1.2$ 、 $0.001 \sim 0.4$ ；N 型电阻率分档为 $>2$ 、 $0.3 \sim 2$ 、 $0.01 \sim 0.3$ | P 型电阻率分档为 $>10$ 、 $1 \sim 10$ 、 $0.35 \sim 1$ ；N 型电阻率分档为 $>40$ 、 $20 \sim 40$ 、 $1 \sim 2$ | 充分考虑掺磷/掺镓；低阻化，达到国际领先水平                           |

|                |            |            |        |
|----------------|------------|------------|--------|
| 技术要求-施主/受主杂质分档 | 同电阻率分档     | 同电阻率分档     | 国际先进水平 |
| 技术要求-碳含量(ppma) | ≤0.5、≤1、≤2 | ≤0.5、≤2、≤4 | 国际先进水平 |
| 技术要求-尺寸范围      | ≥1mm       | ≥3mm       | 国际领先水平 |

#### 六、与现行法律、法规和强制性国家标准及相关标准协调配套情况

本标准的制定过程、技术指标选定、检验项目的设置等符合现行法律、法规及相关的国家标准或行业标准。

#### 七、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

#### 八、标准性质的建议说明

建议该标准为推荐性行业标准。

#### 九、贯彻标准的要求和措施建议

起草单位应及时与各单晶硅生产厂商沟通再生硅料品类及定义，不同品类再生硅料的应用情况，将沟通情况应用于标准撰写。。

#### 十、废止现行有关标准的建议

在本标准发布实施之日起，代替 YS/T 840-2012《再生硅料分类和技术条件》，原标准废止。

#### 十一、其他应予说明的事项

无。

标准编制组

2023年5月