ICS 31.030
CCS L 90

T/CWDPA

团 体 标 准

T/CWDPA XXXX—2026

光伏用高纯多晶硅材料 低碳制备技术规范

Technical specification for low-carbon preparation of high purity polysilicon material for photovoltaic applications

（征求意见稿）

2026－XX－XX 发布 2026－XX－XX 实施

中国西部开发促进会 发 布

目　　次

前　　言 III
1 范围 1
2 规范性引用文件 1
3 术语和定义 1
4 原材料要求 1
5 仪器设备要求 2
5.1 一般要求 2
5.2 主要生产设备 2
5.3 分析检测设备 3
6 低碳制备工艺 3
6.1 一般要求 3
6.2 三氯氢硅还原法制备工艺 3
6.3 硅烷流化床法制备工艺 4
6.4 低碳控制关键措施 4

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。

本文件由中国西部开发促进会提出。

本文件由中国西部开发促进会归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

光伏用高纯多晶硅材料 低碳制备技术规范

1 范围

本文件规定了光伏用高纯多晶硅材料低碳制备的术语和定义、原材料要求、仪器设备要求、低碳制备工艺。

本文件适用于采用三氯氢硅还原法生产的光伏用棒状高纯多晶硅材料的低碳制备过程，也适用于采用硅烷流化床法生产的光伏用颗粒状高纯多晶硅材料的低碳制备过程。

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 191 包装储运图示标志
GB/T 2881 工业硅
GB/T 3634.2 氢气 第2部分：纯氢、高纯氢和超纯氢
GB/T 6003.1 试验筛 技术要求和检验 第1部分：金属丝编织网试验筛
GB/T 15909 电子工业用气体 硅烷
GB 17167 用能单位能源计量器具配备和管理通则
GB/T 25074 太阳能级硅多晶
GB/T 28654 工业三氯氢硅
GB/T 32151.10 碳排放核算与报告要求 第10部分:化工生产企业
GB/T 38867 电子工业用四氯化硅

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

三氯氢硅还原法 Trichlorosilane reduction method

一种生产多晶硅的主流工艺方法，以三氯氢硅为主要原料，在高温还原炉内与氢气发生化学气相沉积反应，在硅芯表面沉积生长形成棒状多晶硅的工艺过程。

3.2

硅烷流化床法 silane fluidized bed process

一种生产多晶硅的工艺方法，以硅烷为原料，在流化床反应器内与氢气发生分解反应，在硅颗粒表面沉积生长形成颗粒状多晶硅的工艺过程。

3.3

产品碳足迹 product carbon footprint

从原材料获取、生产制造到成品出厂的产品生命周期阶段中，直接和间接产生的温室气体排放总量，折算为二氧化碳当量表示。

4 原材料要求

原材料均应符合关键技术指标及依据如下表所示。

表 1　原材料要求

序号	材料名称	执行标准	关键技术指标
1	工业硅	GB/T 2881	选用 Si5530 及以上牌号，名义硅≥99.5%，，铁≤0.5%，铝≤0.5%，钙≤0.3%；硅粉粒度 100μm～300μm
2	氯化氢	——	纯度≥99.999%，水分≤2×10^{-6}（体积分数），氧≤1×10^{-6}（体积分数）
3	氢气	GB/T 3634.2	高纯氢，纯度≥99.999%，水分≤3×10^{-6}（体积分数），氧≤1×10^{-6}（体积分数）
4	三氯氢硅	GB/T 28654	精馏后三氯氢硅组分≥99.99%，杂质四氯化硅≤0.005%，
5	四氯化硅	GB/T 38867	冷氢化回收提纯级，物料纯度≥99.9%，主组分四氯化硅≥99.9%
6	硅烷	GB/T 15909	纯度≥99.994%，水分≤1×10^{-6}（体积分数），氧≤1×10^{-6}（体积分数）
7	冷氢化催化剂	行业通用标准	反应转化率≥35%，选择性≥98%，使用寿命≥12 个月
8	硅芯	——	高纯度多晶硅或单晶硅，直径 8mm～12mm，电阻率 100Ω·cm～1000Ω·cm

5　仪器设备要求

5.1　一般要求

多晶硅低碳制备过程中使用的所有仪器设备应符合国家相关安全、环保和节能标准的要求，具有良好的可靠性、稳定性和安全性。仪器设备应定期进行维护、保养和校准，确保其正常运行和测量精度。能源计量设备应符合GB/T 17167的要求，配备率和检定率均应达到100%。

5.2　主要生产设备

5.2.1　冷氢化反应器

采用大型化、加压流化床设计，单台反应器处理能力不低于30万吨/年。反应器应具有良好的传热和传质性能，反应温度控制在450℃～550℃之间，反应压力控制在2.5MPa～3.5MPa之间。反应器应配备完善的自动控制系统和余热回收装置，反应热回收率不低于80%。

5.2.2　精馏装置

采用差压耦合精馏技术，实现热能的梯级利用，降低蒸汽消耗。精馏塔的塔板效率应不低于80%，三氯氢硅产品的纯度应达到99.999%以上。精馏装置应配备完善的在线分析系统，实时监测各馏分的组成和纯度，确保产品质量稳定。

5.2.3　还原炉

采用 40 对棒及以上大型节能型还原炉，单炉年产量不低于1500吨。还原炉应采用钟罩式结构，配备高效的石墨加热体和热能回收系统，还原尾气的热能回收率不低于90%。还原炉的电耗应不高于42kWh/kg-Si，沉积速度不低于12μm/min。还原炉应配备完善的自动控制系统，实现一键启动、自动进料、自动控温、自动停炉等功能。

5.2.4　尾气回收装置

采用干法回收技术，实现氯硅烷、氢气和氯化氢的高效分离和回收利用。氯硅烷的回收率应不低于99.6%，氢气的回收率应不低于99.5%，氯化氢的回收率应不低于99.0%。尾气回收装置应配备完善的在线监测系统，确保尾气排放符合国家相关环保标准的要求。

5.2.5　硅烷流化床反应器

采用连续化、大型化设计，单台反应器的生产能力不低于1万吨/年。反应器应具有良好的流化性能和温度均匀性，反应温度控制在600℃～700℃之间，反应压力控制在0.5MPa～1.0MPa之间。硅烷的分解率应不低于99%，产品的颗粒度应控制在0.3mm～1.5mm之间。

5.3 分析检测设备

应配备电感耦合等离子体质谱仪（ICP-MS）、气相色谱仪（GC）、傅里叶变换红外光谱仪（FTIR）、电阻率测试仪、寿命测试仪等分析检测设备，用于检测原材料和产品的化学成分及物理性能。所有分析检测设备应定期进行校准和检定，确保测量结果的准确性。

6 低碳制备工艺

6.1 一般要求

多晶硅低碳制备过程应采用全闭环生产工艺，实现物料和能量的闭路循环，最大限度减少污染物排放和能源消耗。生产过程应严格控制各项工艺参数，确保产品质量符合GB/T 25074的要求。

应优先使用可再生能源电力，绿电使用比例应不低于80%。采用三氯氢硅还原法生产的多晶硅单位产品综合能耗应不高于5.0 kgce/kg，产品碳足迹应不高于16 kgCO_2e/kg；采用硅烷流化床法生产的多晶硅单位产品综合能耗应不高于3.0 kgce/kg，产品碳足迹应不高于10 kgCO_2e/kg。

6.2 三氯氢硅还原法制备工艺

6.2.1 原料预处理

工业硅粉应经过干燥处理，水分含量不高于 0.1%。干燥后的工业硅粉应输送至料仓储存，料仓应采用氮气保护，防止工业硅粉氧化。氯化氢和氢气应经过净化处理，去除其中的杂质和水分，确保符合表 1 的要求。

6.2.2 合成与冷氢化工序

将预处理后的工业硅粉和氯化氢气体送入合成反应器，在280℃～320℃、0.2MPa～0.4MPa条件下反应生成粗三氯氢硅。反应生成的粗三氯氢硅气体经过除尘、冷凝后，与冷氢化反应生成的三氯氢硅一起送入精馏装置进行提纯。冷氢化反应在450℃～550℃、2.5MPa～3.5MPa条件下进行，转化率应不低于 35%，选择性应不低于98%。

6.2.3 精馏工序

粗三氯氢硅送入精馏装置进行多级精馏提纯，去除其中的杂质和其他氯硅烷组分。精馏过程采用差压耦合精馏技术，将高压塔塔顶蒸汽作为低压塔塔底再沸器的热源，实现热能的梯级利用，降低蒸汽消耗 30% 以上。精馏后的三氯氢硅纯度应达到 99.999% 以上，符合表1的要求。

6.2.4 还原工序

将提纯后的三氯氢硅和氢气按体积比1:(3～5)混合后，送入还原炉。在1050℃～1150℃、0.4MPa～0.6MPa条件下，三氯氢硅与氢气发生化学气相沉积反应，在硅芯表面沉积生长形成棒状多晶硅。还原炉采用变频控制技术，根据沉积过程的不同阶段调整功率，降低电耗。还原反应生成的尾气送入尾气回收装置进行处理。

6.2.5 尾气回收与循环利用

还原尾气经过冷却、压缩后，送入尾气回收装置进行处理。采用干法回收技术，将尾气中的氯硅烷冷凝分离后送入精馏装置进行提纯，氢气经过变压吸附净化后返回还原工序和冷氢化工序循环使用，氯化氢经过吸收解吸净化后返回合成工序循环使用。整个系统实现氯硅烷、氢气和氯化氢的全闭环循环，物料利用率达到99%以上。

6.2.6 后处理工序

还原炉停炉后，取出多晶硅棒，经过破碎、清洗、烘干、检验、包装等工序，制成成品多晶硅。破碎过程采用无污染的金刚石破碎设备，防止引入杂质。清洗过程采用超纯水和高纯化学品进行清洗，确保产品表面清洁。烘干过程采用真空烘干或氮气保护烘干，防止产品氧化。

6.3 硅烷流化床法制备工艺

6.3.1 硅烷制备

采用三氯氢硅歧化法制备硅烷。三氯氢硅在催化剂作用下发生歧化反应，生成硅烷和四氯化硅。反应温度控制在50℃～100℃之间，反应压力控制在0.5MPa～1.5MPa之间。生成的硅烷经过多级精馏提纯后，纯度应达到99.999% 以上，符合表1的要求。四氯化硅全部送入冷氢化装置进行处理，实现物料循环利用。

6.3.2 流化床反应工序

将提纯后的硅烷和氢气按体积比1:(10～20)混合后，送入流化床反应器。在600℃～700℃、0.5MPa～1.0MPa条件下，硅烷发生分解反应，在硅颗粒表面沉积生长形成颗粒状多晶硅。流化床反应器采用连续进料和连续出料设计，实现生产过程的连续化。硅烷的分解率应不低于 99%，产品的颗粒度应控制在0.3mm～1.5mm之间。

6.3.3 尾气回收与循环利用

流化床反应尾气经过冷却、除尘后，送入尾气回收装置进行处理。采用干法回收技术，将尾气中的未反应硅烷分离后返回流化床反应器循环使用，氢气经过净化后返回流化床反应器和硅烷制备工序循环使用。硅烷的回收率应不低于99%，氢气的回收率应不低于99.5%。

6.3.4 后处理工序

从流化床反应器中取出颗粒状多晶硅，经过冷却、筛分、清洗、烘干、检验、包装等工序，制成成品多晶硅。筛分过程采用标准筛进行分级，标准筛的筛孔尺寸应符合GB/T 6003.1的要求。清洗过程采用超纯水和高纯化学品进行清洗，确保产品表面清洁。烘干过程采用真空烘干或氮气保护烘干，防止产品氧化。

6.4 低碳控制关键措施

6.4.1 能源结构优化

多晶硅生产企业应优先使用水电、风电、光伏等可再生能源电力，鼓励在厂区内建设分布式光伏发电系统和风力发电系统，实现自发自用。鼓励与可再生能源发电企业签订长期购电协议，确保绿电的稳定供应。逐步减少化石能源的使用，采用天然气、生物质能等清洁能源替代煤炭和石油。

6.4.2 热能梯级利用

建立完善的热能梯级利用系统，将还原炉、冷氢化反应器等高温设备产生的高品位余热用于产生高压蒸汽，驱动汽轮机发电或作为精馏装置的热源；中品位余热用于产生中压蒸汽，用于加热和保温；低品位余热用于采暖、制冷、生活热水等。热能的综合利用率应不低于85%。

6.4.3 物料循环利用

建立完善的氯硅烷和氢气循环利用系统，实现物料的闭路循环。氯硅烷的总回收率应不低于99.6%，氯元素的循环利用率应不低于99.0%；氢气的总回收率应不低于99.5%，氢元素的循环利用率应不低于98.0%。加强对工业硅粉、催化剂、石墨件、石英件等其他物料的回收利用，工业硅粉的回收率应不低于95%，催化剂的再生率应不低于90%。

6.4.4 碳足迹管理

按照GB/T 32151.10的要求，建立完善的温室气体排放核算体系，定期核算企业的温室气体排放量和产品碳足迹。建立碳足迹数据管理系统，确保碳足迹数据的准确性和可追溯性。鼓励企业通过购买碳信用、参与碳交易等方式，进一步降低产品的碳足迹。