

新品速递 | 【追光系列 3】初识多晶硅

原创 陈薪伊 费逸凡 物产中大期货研究 2024年12月17日 11:18 浙江



物产中大
WZ GROUP

物产中大期货有限公司
WUCHAN ZHONGDA FUTURES CO.,LTD.

一、基础性质与分类

多晶硅是单质硅的一种形态。熔融的单质硅在过冷条件下凝固时，硅原子以金刚石晶格形态排列成许多晶核，如这些晶核长成晶面取向不同的晶粒，则这些晶粒结合起来，就结晶成多晶硅。如晶核长成晶面取向相同的晶粒，则形成单晶硅。当前市场中流通的主要是单晶硅，这与主流工艺相关。

多晶硅有灰色金属光泽，室温下质脆，切割时易碎裂。常温下不活泼，熔点在1410℃，1300℃时明显变形，高温下与氧、氮、硫等反应，具有化学活泼性。其因具有半导体性质而成为了重要的优良半导体材料，但微量的杂质会大大影响其导电性。

多晶硅可按照纯度、表面质量、生产工艺、掺入杂质等标准分类：

1、按纯度分类：

按纯度分类，多晶硅可分为冶金级、太阳能级和电子级。纯度可以简单理解为硅含量，例如纯度5N可以理解硅含量为99.999%。纯度越高，杂质含量越少。

冶金级多晶硅：纯度在5N-6N的多晶硅，应用在航空、军事特种材料、建筑、纺织等领域。

太阳能级多晶硅：纯度在6N-9N的多晶硅，对应光伏产品的生产，按标准分为特级品、1级品、2级品和3级品。

电子级多晶硅：纯度在9N以上的多晶硅，对应半导体芯片的生产，按标准分为特级品、1级品、2级品和3级品。

图1 太阳能级多晶硅标准

	特级品	1 级品	2 级品	3 级品
施主杂质浓度/ 10^{-9} (ppba)	≤ 0.68	≤ 1.4	≤ 2.61	≤ 6.16
受主杂质浓度/ 10^{-9} (ppba)	≤ 0.26	≤ 0.54	≤ 0.88	≤ 2.66
氧浓度/(atoms/ cm^3)	$\leq 0.2 \times 10^{17}$	$\leq 0.5 \times 10^{17}$	$\leq 1.0 \times 10^{17}$	$\leq 1.0 \times 10^{17}$
碳浓度/(atoms/ cm^3)	$\leq 2.0 \times 10^{16}$	$\leq 2.5 \times 10^{16}$	$\leq 3.0 \times 10^{16}$	$\leq 4.0 \times 10^{16}$
少数载流子寿命/ μs	≥ 300	≥ 200	≥ 100	≥ 50
基体金属杂质含量 / (ng/g) (Fe、Cr、Ni、Cu、Zn、Na)	≤ 15	≤ 50	≤ 100	≤ 100
表面金属杂质含量 / (ng/g) (Fe、Cr、Ni、Cu、Zn、Na)	≤ 30	≤ 100	≤ 100	≤ 100

来源：国家标准化管理委员会、物产中大期货研究院

图2 电子级多晶硅标准

	特级品	1 级品	2 级品	3 级品
施主杂质浓度/ cm^{-3}	$\leq 0.15 \times 10^{13}$	$\leq 0.25 \times 10^{13}$	$\leq 0.5 \times 10^{13}$	$\leq 1.5 \times 10^{13}$
受主杂质浓度/ cm^{-3}	$\leq 0.5 \times 10^{12}$	$\leq 1.5 \times 10^{12}$	$\leq 2.5 \times 10^{12}$	$\leq 5.0 \times 10^{12}$
碳浓度/ cm^{-3}	$\leq 1.0 \times 10^{15}$	$\leq 2.5 \times 10^{15}$	$\leq 2.5 \times 10^{15}$	$\leq 5.0 \times 10^{15}$
基体金属杂质含量 (Fe、Cr、Ni、Cu、Zn、Na 总含量) (ng/g) (ppbw)	≤ 0.1	≤ 0.3	≤ 0.5	≤ 2.0
表面金属杂质含量 (Fe、Cr、Ni、Cu、Zn、Al、K、Na、Ti、Mo、W、Co 总含量) (ng/g) (ppbw)	≤ 0.1	≤ 0.5	≤ 1.0	≤ 5.0

来源：国家标准化管理委员会、物产中大期货研究院

1 2、按表面质量分类：

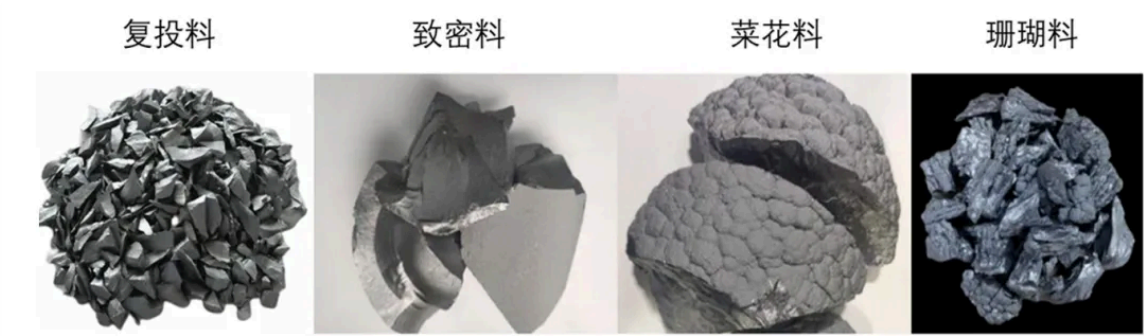
按表面质量分类，多晶硅可分为复投料、致密料、菜花料和珊瑚料。

复投料：拉晶过程中所产生的边皮料，块径相对小一些，由于品质较好，可以二次循环参与制备单晶硅，价格较高。

致密料：表面颗粒凹陷深度小于5mm，表面更光滑，结构紧密，多晶硅产成品中占比最大，主要用于拉制单晶硅片，价格较高。

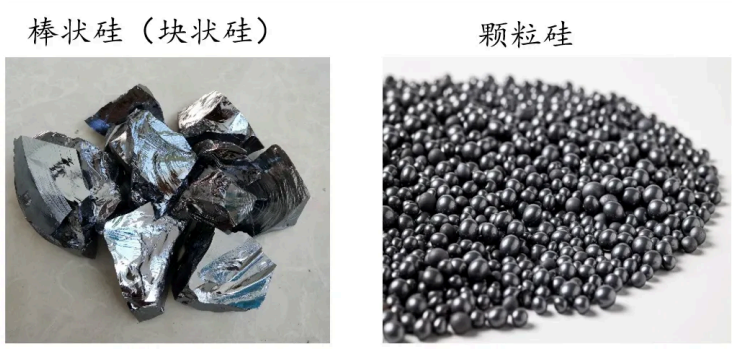
菜花料：表面颗粒凹陷深度约为5-20mm，表面呈菜花状，结构较紧密，可与致密料共同参与制备单晶硅，价格偏低。

珊瑚料：表面颗粒凹陷深度大于20mm，形状似珊瑚，结构不紧密，断面疏松，质量不良，一般价格比较低。



1 3、按生产工艺分类：

按生产工艺分类，多晶硅可分为棒状硅和颗粒硅。首先最为直观的是两者形态的不同，一个是棒状破碎成块状，一个呈颗粒状，这与两者的生产工艺相关，分别采用的是改良西门子法和硅烷流化床法。在工艺上，两者第一步都是将工业硅制成三氯氢硅，但后续棒状硅是在硅芯上沉积形成，而颗粒硅是在硅籽晶上沉积形成，所以呈现的形状不同。目前生产颗粒硅的主要有两家企业，分别是协鑫科技和天宏瑞科。其余市场中的厂商基本采用改良西门子法。



来源：公开信息整理、物产中大期货研究院

1 4、按掺入杂质分类：

按掺入杂质分类，多晶硅可以分为P型和N型。P型料掺杂的是3价元素，如硼、铝、镓，会构成空穴导电。N型料掺杂的是5价元素，如磷、砷、锑，会构成电子导电。以N型料制成的N型电池片转化效率高于以P型料制成的P型电池片，以PERC电池（P型）和TOPCon电池（N型）为例，PERC电池的理论转换效率为24.5%，TOPCon电池的理论转换效率为29.1%。简单来说，N型料是高品质的致密料，且N、P型的划分实际是根据下游的应用情况。

硅料类别	N 型硅料	P 型硅料
导电类型	电子导电	空穴导电
掺入杂质	施主杂质为主	受主杂质为主
掺杂元素	5 价元素 磷（P）、砷（As）、锑（Sb）	3 价元素 硼（B）、铝（Al）、镓（Ga）
质量标准	电子 2 级及以上	电子 3 级及太阳级
表面质量	致密料	致密料、菜花料、珊瑚料
工艺流程	无明显差异	

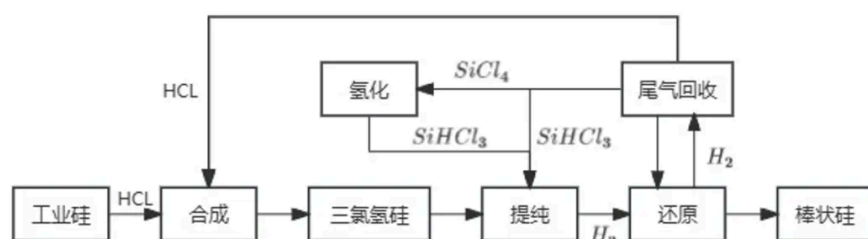
来源：公开信息整理、物产中大期货研究院

二、生产工艺

多晶硅的生产工艺分为改良西门子法和硅烷流化床法，分别产出的是棒状硅和颗粒硅，按市场占比来看，改良西门子法是目前多晶硅生产的主流技术，其所生产的棒状硅占83%；硅烷流化床法所生产的颗粒硅占17%。

改良西门子法的工艺流程第一步是合成，通过将氯化氢和工业硅反应生成三氯氢硅。第二步是提纯，采用多级分馏塔技术，对得到的三氯氢硅进行提纯，达到分离杂质的效果；最后，在氢还原炉内，经过提纯的三氯氢硅会发生还原反应，沉积在硅芯上形成多晶硅棒。

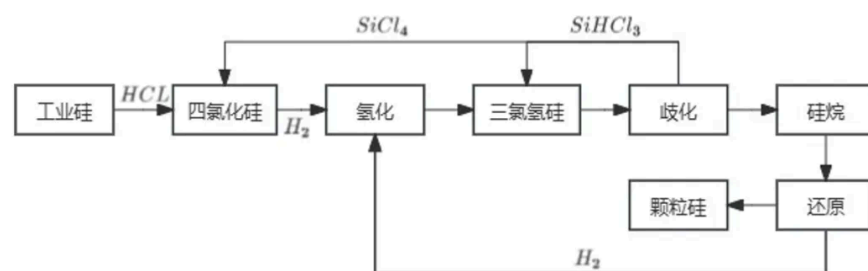
图3 改良西门子法流程图



来源：SMM、物产中大期货研究院

硅烷流化床法制备颗粒硅的工艺主要包含三个关键步骤：首先是“氢化”过程，在此阶段，金属硅与氯化氢发生化学反应，生成三氯氢硅；接着是“歧化”步骤，通过催化剂的作用，将三氯氢硅转化为二氯二氢硅，再进一步变成硅烷气以及其他副产物；最后是“还原”阶段，硅烷气在流化床反应炉中连续热分解，硅籽晶经过沉积反应后，最终得到所需的颗粒硅产品。

图4 硅烷流化床法流程图



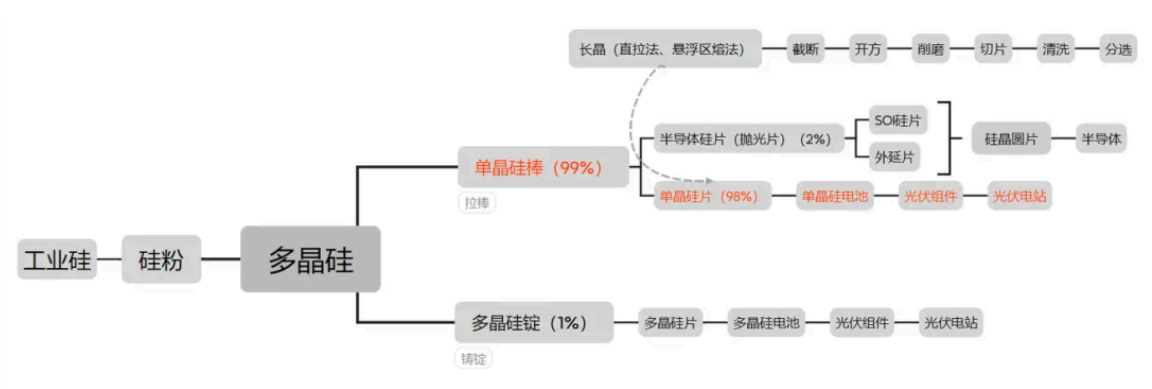
来源：SMM、物产中大期货研究院

两种工艺的优势不同，改良西门子法的工艺比较成熟，产出的多晶硅纯度较高，且可以大量生产。但劣势在于整体生产的能耗较高，而单电耗成本就占到了总成本的42%，且棒状硅产出后需进一步破碎成块状硅。相反，硅烷流化床法的优势就在于其成本相较前者更低，单位电耗仅为前者的四分之一。但缺点在于生产的安全性差一些，且颗粒硅表面更容易吸附杂质。

三、产业链情况

多晶硅产业链比较清晰，上游原料各牌号工业硅按一定配比磨成硅粉，硅粉的含硅量通常在99%左右。在用硅粉制成多晶硅后，通过长晶、截断、开方、倒角、切片等工艺处理得到硅片，硅片进一步制成电池片、组件，最后应用在光伏电站的搭建上。值得注意的是，当前市场上的主流工艺是单晶硅工艺，多晶硅制成的单晶硅棒占比达到99%，原因在于以单晶硅为原料制成的电池片转换效率更高。单晶硅棒98%应用在光伏行业，仅2%应用在芯片半导体行业中。

图5 多晶硅产业链图

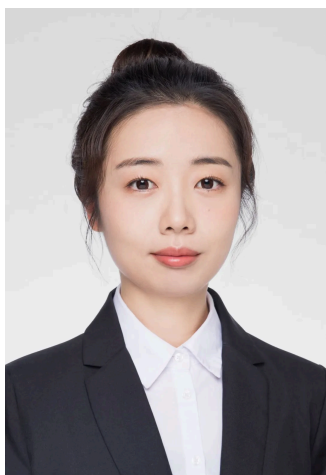


来源：物产中大期货研究院

四、概述

综合来看，多晶硅有多种分类方法，从实际下游应用的角度来看，当前更多以N、P型来划分；技术路径方面，制备多晶硅的主流技术是改良西门子法，对应棒状硅。此外就是硅烷流化床法，对应颗粒硅；多晶硅的主产业链同样比较清晰，采用单晶硅技术，主要应用于光伏行业。

分析师简介



有色新能源组组长
有色高级分析师
陈薪伊

期货从业资格：
F03094252
投资咨询资格：
Z0020042
邮箱：
chenxy14@wzgroup.cn

联系人：费逸凡
联系方式：
feiyf@wzgroup.cn

免责声明

本报告非交易咨询类项目，仅供参考，不直接构成投资建议。投资者据此进行投资责任自负，与我公司和分析师无关。文中所有数据、信息均为公开信息或调研所得。版权仅为物产中大期货有限公司所有，未经许可，不得转载。

编辑：余瑶/F03124004/

审核：赵晖/F0200914、Z0000914/



《财富》世界500强成员企业
600704.SH

打造具有创新力、
竞争力的新时代期货行业窗口企业



长按关注二维码

有色新能源组 10 多晶硅 6 追光系列 7 2024新品种上市 5

有色新能源组 · 目录

上一篇

工业硅减产风云实录：寻底篇

下一篇

新品速递 | 【追光系列 4】多晶硅供给篇