

多晶硅系列专题（二）多晶硅的分类与国家标准

张秀睿 F03099436 Z0021022

国投安信期货研究院

导读：多晶硅期货预期今年在广州期货交易所上市。多晶硅不仅是工业硅主要的消费下游，也是光伏产业的核心原材料。为帮助投资者了解多晶硅基础知识，我们计划推出多晶硅专题系列报告，本文作为第二篇，将重点阐述多晶硅的分类与国家标准。

一、多晶硅的分类

（一）形态：块状硅、颗粒硅

1. 块状硅

块状硅的形态类似岩石，其尺寸范围从几厘米到几十厘米不等，品质相对稳定，便于长期储存。根据表面的光滑程度，块状硅可以分为致密料、菜花料和珊瑚料三种类型。

（1）致密料

致密料外表光滑，表面颗粒的凹陷程度通常小于 5mm，不含氧化夹层。由于其高品质，致密料的价格在三者中是最高的，主要用途是拉制单晶硅。复投料也被归类为致密料的一种，来源于拉晶过程中产生的头尾或边皮料，品质通常较好，可以作为填充硅料进行二次使用。

（2）菜花料

菜花料呈现灰色调，表面略粗糙，颗粒凹陷程度介于 5 至 20 毫米之间。断面适中，价格定位在中档水平。

（3）珊瑚料

珊瑚料表面凹陷深度超过 20 毫米，断面结构较为疏松，价格是三者中最低的。

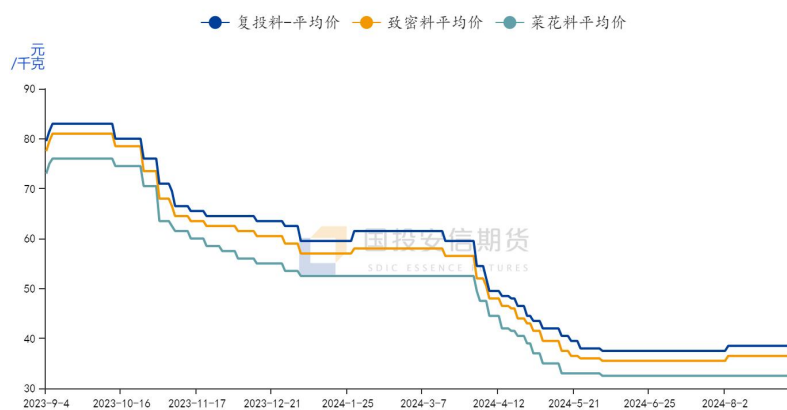
从应用上看，致密料因其高纯度通常被广泛应用于生产高品质的单晶硅片。菜花料和珊瑚料因其相对较低的纯度和不均匀的结构，主要被用于制造低品质的多晶硅片。在实际的生产过程中，企业为了进一步降低成本，会将高纯度的致密料与相对廉价的菜花料进行混合用于生产单晶硅片。

图：块状硅分类

致密料	外表光滑，表面颗粒凹陷程度最低，小于 5mm，无氧化夹层，价格在三者中最高。	
菜花料	颜色偏灰、表面粗糙，颗粒凹陷程度—5-20mm 之间，断面适中，价格中档。	
珊瑚料	表面凹陷深度大于 20mm，断面疏松，价格最低。	

资料来源：公开信息

图：多晶硅块状硅各品位均价



数据来源：SMM

2. 颗粒硅

多晶硅呈颗粒形态，直径大约为 2 毫米，能够省略破碎步骤。与空气接触的表面积较大，在运输和加工过程中易受污染，通常采用真空包装，在库存状态下，真空状态通常维持 3-4 个月。

图： 颗粒硅



资料来源：公开信息

（二）纯度：冶金级、太阳能级、电子级

1. 冶金级多晶硅（MG-Si）

通常情况下，冶金级多晶硅的纯度介于 99.999% 至 99.9999%（即 5N 至 6N 级别），主要用途涵盖建筑、纺织、汽车以及机械等多个领域。

2. 太阳能级多晶硅（SoG-Si）

太阳能级多晶硅纯度位于冶金级硅与电子级硅之间，通常介于 99.9999% 至 99.9999999%（即 6N 至 9N）之间。太阳能级多晶硅作为光伏晶硅电池的关键原料，其纯度的提高对于增进光伏电池的转换效率具有至关重要的作用。

3. 电子级多晶硅（SEG-Si）

电子级多晶硅通常要求硅的纯度至少达到 99.9999999%（即 9N 级别），主要用于半导体硅片制造，生产中必须严格控制杂质，确保产品纯净度。电子领域对纯净度要求更为严苛，须达到 11N 级别或更高。随着光伏产业技术的不断进步，目前电子级标准已在光伏领域得到更为广泛地应用。

（三）技术：P 型多晶硅、N 型多晶硅

在光伏产业链中，多晶硅的直接下游为硅片。随着光伏电池片技术的进步，硅片的应用正从 P 型转向 N 型，这推动了 N 型多晶硅市场份额的快速增长。

光伏电池片原材料主要包括 P 型硅片和 N 型硅片两类别，其中 P 型电池主要采用 BSF（背表面场）和 PERC（钝化发射极背表面电池）两种主流技术。而 N 型电池则包括 TOPCon（隧穿氧化物钝化接触）、HJT（异质结技术）和 IBC（交叉背接触）等技术路径，选择合适的制造技术对光伏电池的效率上限具有决定性的影响。

在光伏电池技术的发展历程中，BSF 电池在 2015 年前主导市场，但 2016 年 PERC 技术的引入通过增加 2-3 个生产步骤，解决了 BSF 电池的背面光学与电学损失问题，提高了电池效率。到 2020 年，PERC 电池成为主流，市场份额超 85%，主要为双面电池片。而 P 型 PERC 电池的理论效率上限为 24.5%，目前实际量产效率约为 23.3%，再提升空间有限。尽管 N 型电池生产复杂且成本高，但其转换效率高，发电衰减率低，市场需求得到快速增长。

在 2022 至 2023 年期间，下游 N 型电池和硅片的发展促进了多晶硅产业的升级。N 型多晶硅料的市场份额显著增长，从 4% 跃升至 50%，预计到 2024 年，其市场占有率将接近 70%。

目前，我国光伏行业对于 N 型硅料的应用尚未形成完整且统一的标准。据多晶硅企业调研，参照国家标准，N 型光伏多晶硅已不再仅限于太阳能级，而是需要满足电子级指标二级的要求。

二、多晶硅的国家标准

（一）质量技术指标

多晶硅，作为半导体材料，其性能受到杂质的双重影响。一方面，引入特定的杂质能够显著提升多晶硅的电导率和光电转换效率；另一方面，多晶硅中固有的杂质会对其电气性能、稳定性和使用寿命产生负面影响。杂质对多晶硅质量评估至关重要，下面解释几个主要的质量技术指标：

1. 施主杂质

也称负杂质，如磷、砷或锑，是能提供额外价电子的五价元素。在硅晶体中掺入这些杂质，多余的价电子成为自由电子，提升其导电性，形成 N 型半导体。

2. 受主杂质

也称正杂质，如硼、铝、镓和铟等三价元素，掺入硅晶体取代硅原子，因缺少价电子形成空穴和负电中心，产生空穴载流子，形成 P 型半导体。

3. 基体金属杂质

多晶硅材料中所含的金属元素杂质，通常源自原料、生产设备以及工艺流程等途径。

4. 表面金属杂质

附着在多晶硅表面的金属元素，会导致电导率下降，直接影响电池的电流输出。

（二）国家标准

目前国家制定了电子级、太阳能级多晶硅和颗粒硅的三项标准，对各项质量技术指标进行了详细要求。其中，电子级多晶硅的标准最为严格，其纯度和杂质含量控制均需达到极高的水平，太阳能级多晶硅要求则稍低。

1. 电子级多晶硅

电子级多晶硅是三类国标中纯度要求最高的，分为特级品、1级品、2级品和3级品共4级，主要用于制造集成电路（IC）、晶体管、太阳能电池和其他高端电子元件。目前随着光伏行业的竞争，电子级标准已经更多地应用在光伏多晶硅上。

表：电子级多晶硅技术指标要求

	特级品	电子1级	电子2级	电子3级
施主杂质浓度/cm ⁻³	≤0.15*10 ¹³	≤0.25*10 ¹³	≤0.5*10 ¹³	≤1.5*10 ¹³
受主杂质浓度/cm ⁻³	≤0.5*10 ¹²	≤1.5*10 ¹²	≤2.5*10 ¹²	≤5.0*10 ¹²
碳含量/cm ⁻³	≤1.0*10 ¹⁵	≤2.5*10 ¹⁵	≤2.5*10 ¹⁵	≤5.0*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

资料来源：国家标准化管理委员会

2. 太阳能级多晶硅

太阳能级多晶硅国家标准将其分为四个等级：特级、1级、2级和3级，与电子级不同的是，特别强调了氧浓度和少数载流子寿命指标：多晶硅的氧浓度越低，少数载流子在材料中的存活时间会更长，即少数载流子寿命会增加，有助于高效光能转电能。

表：太阳能级多晶硅等级指标

	特级品	1级品	2级品	3级品
施主杂质浓度/10 ⁻⁹	≤0.68	≤1.40	≤2.61	≤6.16
受主杂质浓度/10 ⁻⁹	≤0.26	≤0.54	≤0.88	≤2.66
氧浓度/(atoms·cm ⁻³)	≤0.2*10 ¹⁷	≤0.5*10 ¹⁷	≤1.0*10 ¹⁷	≤1.0*10 ¹⁷
碳浓度/(atoms·cm ⁻³)	≤2.0*10 ¹⁶	≤2.5*10 ¹⁶	≤3.0*10 ¹⁶	≤4.0*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	≤15	≤50	≤100	≤100
表面金属杂质含量/(ng/g) Fe、Cr、Ni、Cu、Zn、Na	≤30	≤100	≤100	≤100

资料来源：国家标准化管理委员会

3. 颗粒硅

颗粒硅为多晶硅的一种新产品，主要用于光伏领域，有其单独的国家标准。《流化床法颗粒硅》（GB/T35307-2023）于2024年3月1日开始实施，总金属含量指标较2017版国标

更加严苛，检测范围达到 11 种金属元素，对颗粒硅品质提出了更高要求。协鑫科技作为颗粒硅国标的起草单位之一，2023 年底全面停产棒状硅，产能转移生产颗粒硅，目前协鑫科技颗粒硅市场占有率已超过 20%，成为国内最大的颗粒硅生产商。

表：颗粒硅的技术指标要求

	特级品	1级品	2级品	3级品
施主杂质浓度/cm ⁻³	≤1.5*10 ¹³	≤3.5*10 ¹³	≤5.0*10 ¹³	≤7.0*10 ¹³
受主杂质浓度/cm ⁻³	≤9.0*10 ¹²	≤1.2*10 ¹³	≤2.5*10 ¹³	≤6.6*10 ¹³
碳含量/cm ⁻³	≤1.5*10 ¹⁶	≤2.5*10 ¹⁶	≤4.0*10 ¹⁶	≤5.0*10 ¹⁶
氢含量/μg/g	≤25	≤30	≤30	≤30
总金属杂质含量/ng/g (Fe、Cr、Ni、Cu、Na、K、Zn、Ti、Mo、W、Co)	≤13	≤30	≤50	≤70

资料来源：国家标准化管理委员会

免责声明

国投安信期货有限公司是经中国证监会批准设立的期货经营机构，已具备期货投资咨询业务资格。本报告仅供国投安信期货有限公司（以下简称“本公司”）的机构或个人客户（以下简称“客户”）使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。如接收人并非国投安信期货客户，请及时退回并删除。本报告是基于本公司认为可靠的已公开信息，但本公司不保证该等信息的准确性或完整性。本报告所载的资料、意见及推测只提供给客户作参考之用。本报告所载的资料、意见及推测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，本报告所指的期货或期权的价格、价值可能会波动。在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。客户不应视本报告为其做出投资决策的唯一因素。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议。在任何情况下，本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容所导致的任何损失负任何责任。本报告可能附带其它网站的地址或超级链接，本公司不对其内容的真实性、合法性、完整性和准确性负责。本报告提供这些地址或超级链接的目的纯粹是为了客户使用方便，链接网站的内容不构成本报告的任何部分，客户需自行承担浏览这些网站的费用或风险。本报告的版权归本公司所有。本公司对本报告保留一切权利。除非另有书面显示，否则本报告中的所有材料的版权均属本公司。未经本公司事先书面授权，本报告的任何部分均不得以任何方式制作任何形式的拷贝、复印件或复制品，或再次分发给任何其他人，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。