

## 一种定向凝固生长晶体硅的铸锭炉及应用

本申请要求于 2019 年 5 月 8 日提交中国专利局、申请号为 201910379853.3 发明名称为“一种定向凝固生长晶体硅的铸锭炉及应用”的中国专利的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

### 技术领域

本发明涉及晶体硅铸锭炉技术领域，特别是涉及一种定向凝固生长晶体硅的铸锭炉及应用。

### 背景技术

太阳能光伏发电是一种最具潜力的可再生能源利用方式之一。其中，晶体硅太阳能电池由于其转换效率高，技术成熟而继续保持领先地位。晶体硅太阳能电池的光电转换效率、衰减率和成本等与使用晶体硅的质量有密切关系，这要求在晶体硅的制造过程中控制各种影响晶体硅质量包括晶相、缺陷、杂质等的条件。

目前工业上，铸锭炉是制备晶体硅主要设备。但是传统的铸锭炉普遍存在加热的不均匀性，导致铸锭单晶生长的界面也存在不均匀性；并且制备得到的硅锭四个面存在大量不均匀的凹凸界面，造成硅锭存在大量的尾部红区，严重影响硅锭的质量和出材率。

### 发明内容

有鉴于此，本发明实施例提供了一种定向凝固生长晶体硅的铸锭炉及应用，该定向凝固生长晶体硅的铸锭炉实现对坩埚的均匀加热，可以大大改善硅锭各个侧面上存在的大量凹凸界面，可以显著减少制备得到的硅锭尾部红区，提高熔体排杂的效果，提升硅锭的质量和出材率。

第一方面，本发明提供了一种定向凝固生长晶体硅的铸锭炉，包括：

炉体，所述炉体包括相互配合的上炉体和下炉体，所述下炉体底部设置一轴孔；

支撑台，所述支撑台包括旋转轴和固定在所述旋转轴一端的热交换台，所述热交换台上设有坩埚；所述旋转轴的另一端穿过所述轴孔，且与设置在所述下炉体外部的旋转驱动装置连接，所述旋转驱动装置用于驱动所述旋转轴旋转以带动所述坩埚旋转；所述旋转轴内还设有冷却液循环管道，所述冷却液循环管道用于通入冷却液并供所述冷却液循环流动，以实现所述旋转轴的循环冷却；

护板，所述护板设置在所述坩埚的外侧壁上；

隔热笼，以及设置在所述隔热笼内的加热器。

可选地，所述下炉体外部还设有冷却液供液系统，所述冷却液供液系统与所述冷却液循环管道连通。

可选地，还包括密封装置，所述密封装置用于密封所述旋转轴与所述轴孔内壁之间的

缝隙。

可选地，所述密封装置包括磁流体密封装置，所述磁流体密封装置套设于所述旋转轴上，且固定在所述下炉体底部。

可选地，所述护板包括侧部护板和底部护板，所述底部护板设于所述坩埚底部和所述热交换台之间，所述底部护板表面设有防滑纹路。

可选地，还包括多个散热块，所述散热块设置在靠近所述热交换台的一侧，每个所述散热块通过一支撑杆固定在所述下炉体底部。

可选地，所述旋转轴靠近所述热交换台的一端设置有一连接板，所述连接板上设有多个连接杆，所述连接杆与所述热交换台固定连接。

可选地，所述加热器包括顶部加热器和侧部加热器，所述顶部加热器设置在所述坩埚的顶部，所述侧部加热器设置在所述坩埚的侧壁外侧，当所述坩埚旋转时，所述侧部加热器与所述坩埚不接触；所述侧部加热器的截面形状包括圆形、正方形或多边形。

可选地，所述隔热笼由顶部隔热板、侧部隔热板和底部隔热板构成一密封的热场腔室，所述顶部隔热板、所述侧部隔热板和/或所述底部隔热板包括至少一层保温层。

本发明第一方面所述的定向凝固生长晶体硅的铸锭炉，可实现对坩埚的旋转加热，使坩埚内各处的受热分布均匀，可以大大改善硅锭各个侧面上存在的大量凹凸界面，可以显著减少制备得到的硅锭尾部红区，提高熔体排杂的效果，提升硅锭的质量和出材率。所述定向凝固生长晶体硅的铸锭炉内还可以实现循环冷却，可以一定程度地改善铸锭炉内的散热问题；所述定向凝固生长晶体硅的铸锭炉还通过磁流体密封装置实现炉体与外界隔离，避免外界杂质的污染以及炉体内温度的不稳定。

第二方面，本发明还提供了一种如本发明第一方面所述的铸锭炉在单晶硅、多晶硅或类单晶硅制备方面的应用。

例如，本发明一实施方式中，提供了一种硅锭的制备方法，包括：

提供如本发明第一方面所述的铸锭炉，在所述铸锭炉的所述坩埚内铺设籽晶层；

在所述籽晶层上方填装硅料，加热使所述坩埚内所述硅料熔化成硅熔体；待所述籽晶层未完全融化时，调节热场形成过冷状态，使所述硅熔体在所述籽晶层基础上开始长晶；

待全部所述硅熔体结晶完后，经退火冷却得到单晶硅锭。

本发明另一实施方式中，还可以用所述定向凝固生长晶体硅的铸锭炉可用于制备得到多晶硅锭或类单晶硅锭。

采用本发明所述铸锭炉制备得到的硅锭，相比于传统硅锭具有更少的底部红区和更出色的半导体性能；所述铸锭炉可以提高熔体排杂的效果，因此制备得到的硅锭具有更少的杂质。并且，由所述定向凝固生长晶体硅的铸锭炉制得的所述硅锭的各个表面上的凹凸界面大大减少，大大提升了产品的出材率，同时也大大降低的生产成本。

本发明的优点将会在下方的说明书中部分阐明，一部分根据说明书是显而易见的，或者可以通过本发明实施例的实施而获知。

## 附图说明

为更清楚地阐述本发明的内容，下面结合附图与具体实施例来对其进行详细说明。

图 1 为本发明一实施例提供的定向凝固生长晶体硅的铸锭炉 100 的截面结构示意图；

图 2 为本发明一实施例提供的定向凝固生长晶体硅的铸锭炉的局部横向截面示意图。

图 3 为本发明另一实施例提供的定向凝固生长晶体硅的铸锭炉的局部横向截面示意图；

图 4 为本发明另一实施例提供的定向凝固生长晶体硅的铸锭炉的局部横向截面示意图；

图 5 为本发明另一实施例提供的定向凝固生长晶体硅的铸锭炉 200 的截面结构示意图。

### 具体实施方式

以下所述是本发明实施例的优选实施方式，应当指出，对于本技术领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明实施例原理的前提下，还可以做出若干改进和润饰，这些改进和润饰也视为本发明实施例的保护范围。

本申请说明书、权利要求书和附图中出现的术语“包括”和“具有”以及它们任何变形，意图在于覆盖不排他的包含。例如包含了一系列步骤或单元的过程、方法、系统、产品或设备没有限定于已列出的步骤或单元，而是可选地还包括没有列出的步骤或单元，或可选地还包括对于这些过程、方法、产品或设备固有的其它步骤或单元。

本发明一实施例提供了一种定向凝固生长晶体硅的铸锭炉 100，参见图 1，包括：

炉体 10，所述炉体 10 包括相互配合的上炉体 11 和下炉体 12，所述上炉体 11 具有第一开口，所述下炉体 12 具有第二开口，所述第一开口与所述第二开口相对设置；所述下炉体 12 底部设置一轴孔 13；

支撑台 20，所述支撑台 20 包括旋转轴 21 和固定在所述旋转轴 21 一端的热交换台 22，所述热交换台 22 上设有坩埚 23；所述旋转轴 21 的另一端穿过所述轴孔 13，且与设置在所述下炉体 12 外部的旋转驱动装置 24 连接，所述旋转驱动装置 24 用于驱动所述旋转轴 21 旋转以带动所述坩埚旋转 23；所述旋转轴 21 内还设有冷却液循环管道 211，所述冷却液循环管道 211 用于通入冷却液并供所述冷却液循环流动，以实现所述旋转轴 21 的循环冷却；

隔热笼 30，以及设置在所述隔热笼 30 内的加热器 40；

护板 50，所述护板 50 设置在所述坩埚 23 外侧壁上。

本发明实施方式中，所述隔热笼 30 由顶部隔热板 31、侧部隔热板 32 和底部隔热板 33 构成一密封的热场腔室。所述坩埚 23、所述热交换台 22、所述护板 50 和所述加热器 40 均设于所述隔热笼 30 内。

可选地，顶部隔热板 31、侧部隔热板 32 和/或底部隔热板 33 包括至少一层保温层。例如，本发明一实施方式中，所述顶部隔热板 31、所述侧部隔热板 32 和所述底部隔热板 33 包括两层保温层。本发明另一实施方式中，所述顶部隔热板 31、所述侧部隔热板 32 和所述底部隔热板 33 还可以包括三层保温层。

本发明实施方式中，所述顶部隔热板 31 和侧部隔热板 32 连接在一起形成一保温罩，所述保温罩可与所述底部隔热板 33 分开。所述侧部隔热板 32 的内壁表面上，且靠近底部隔热板处还设有多个保温条 34。所述保温条 34 可用于对所述侧部隔热板 32 与底部隔热板

33 之间的缝隙形成遮盖及保温作用。

本发明实施方式中，所述坩埚 23 可以但不限于为现有坩埚产品。例如，所述坩埚可以为石英坩埚、石墨坩埚或陶瓷坩埚。可选地，所述坩埚的底部和侧壁表面可以但不限于都设有氮化硅涂层。

进一步地，所述坩埚 23 的截面形状可以为圆形、正方形或多边形。例如，所述坩埚可以为现有多种规格的坩埚产品，例如 G5 坩埚，G6 坩埚、或 G7 坩埚。由于本发明所述铸锭炉可以使坩埚旋转加热，因此，各种截面形状的坩埚在本发明所述的铸锭炉内都可以实现均匀的加热。为了减小硅锭材料的浪费，所述坩埚优选为具有规定标准尺寸或截面形状的坩埚。

可选地，热交换台 22 可以为 DS 板。例如，所述热交换台可以为 DS 块 (DS-Block)。所述热交换台 22 可以良好地实现坩埚的底部的散热以使坩埚内的硅溶体进行定向长晶。

可选地，所述护板 50 包括侧部护板 51 和底部护板 52，所述底部护板 52 设于所述坩埚 23 底部和所述热交换台 22 之间。所述护板 50 紧贴着所述坩埚 23。所述护板 50 和坩埚 23 之间的空隙区域可以但不限于填充石墨软毡。通过填充石墨软毡可以有效使护板与坩埚之间相贴合匹配，进一步使坩埚的同一水平面热量分布更均匀，不易形成热量死角。

可选地，所述底部护板 52 分别与坩埚 23 和热交换台 22 之间具有良好的传热和较大的摩擦系数。

本发明实施方式中，所述底部护板 52 的表面设有防滑纹路。所述防滑纹路包括防滑凹槽或防滑凸起。所述防滑纹路的形状可以为规则形状或无规则形状。所述防滑纹路可以均匀分布在所述底部护板的整个表面。所述防滑纹路也可以主要分布在所述底部护板的某片区域。所述防滑纹路有利于增加底部护板 52 与坩埚 23 和热交换台 22 之间的摩擦，更容易促使旋转轴带动所述坩埚旋转。

可选地，所述底部护板的表面设有所述防滑凹槽，所述防滑凹槽的形状可以为圆环形凹槽、线形凹槽、方形凹槽或多边形凹槽。进一步地，所述防滑凹槽内填充有导热材料。通过设置防滑凹槽和导热材料可以一方面增大底部护板与坩埚 23 和热交换台 22 之间的摩擦系数，使旋转轴更好地带动坩埚的旋转；另一方面可以进一步提升热交换台与坩埚之间的传热性能。

本发明实施方式中，所述坩埚底部表面也可以设置防滑纹路。例如防滑凹槽或防滑凸起。所述热交换台表面也可以具有与所述底部护板相匹配的防滑纹路，以防止热交换台表面与所述底部护板之间滑动。

本发明实施方式中，所述底部护板与所述热交换台之间可以设置固定螺栓或其他部件，以增强所述底部护板与所述热交换台稳固性。

本发明实施方式中，所述旋转轴 21 内的冷却液循环管道 211 包括进水管道和出水管道。所述旋转轴 21 和所述冷却液循环管道 211 均具有良好的导热性能。

本发明实施方式中，所述下炉体 12 外部还设有冷却液供液系统 60，所述冷却液供液系统 60 与所述冷却液循环管道 211 连通。所述冷却液供液系统 60 用于为所述冷却液循环管道 211 提供充足的冷却液。可选地，所述冷却液可以为水。例如，本实用一新型实施方式中，所述冷却液供液系统 60 提供充足的冷却水，所述冷却水从冷却液循环管道的进水管

道进入，然后从出水管流出，通过冷却液循环管道实现热量交换并维持旋转轴的温度在预设范围内。

可选地，所述旋转轴 21 上还设有温度监控组件，所述温度监控组件可以持续监控所述旋转轴 21 上的温度，当所述旋转轴 21 的温度超过一定的阈值时，所述温度监控组件可以指示开启所述冷却液供液系统 60。

本发明实施方式中，所述冷却液供液系统 60 可以为现有常规冷却水机组装置。例如，所述冷却液供液系统 60 可以但不限于包括温度控制器、水泵和水槽和冷却塔等组件。所述冷却液供液系统 60 还可以为其他现有装置，本发明不再一一列举。

可选地，所述旋转驱动装置 24 可以为旋转电机，或其他伺服电机。所述旋转驱动装置 24 和所述旋转轴 21 通过皮带传动或齿轮传动。

优选地，所述旋转驱动装置 24 和所述旋转轴 21 通过皮带传动。本发明所述旋转驱动装置 24 通过皮带传动可以使旋转轴 21 获得更稳定的旋转输出。所述皮带传动也可以使旋转轴 21 的转速调整更灵敏。由于所述旋转轴 21 可以实现循环冷却，保持较低的温度，因此，可以更好地保护皮带传动的相关组件，防止皮带在高温中的损坏。例如，通过调节所述旋转驱动装置 24，所述皮带传动组件可以即时地带动旋转轴 21 旋转，转速变化范围广、安全性能高和成本低。

可选地，所述旋转轴 21 的转速可以根据实际制备过程中进行任意调整。例如发明一实施方式中，所述旋转轴 21 的转速为 0-15 转/分钟。具体地，所述旋转轴 21 的转速为 5 转/分钟，或为 10 转/分钟，15 转/分钟。所述旋转轴 21 可以在制备硅锭的加热过程中实现旋转，也可以在其他阶段进行旋转。所述旋转轴 21 的转速变化可以使匀速，也可以是递增或递减的变化。

本发明实施方式中，所述定向凝固生长晶体硅的铸锭炉还包括密封装置，所述密封装置用于密封所述旋转轴与所述轴孔内壁之间的缝隙。

可选地，所述密封装置包括磁流体密封装置，所述磁流体密封装置套设于所述旋转轴上，且固定在所述下炉体底部。所述磁流体密封装置还可以设置保护套，所述保护套可以为波纹管。所述磁流体密封装置可以通过所述保护套固定在所述下炉体的底部。

如图 1 所示，所述下炉体 12 底部的轴孔 13 内壁边缘含有法兰结构，所述波纹管 70 固定在所述法兰结构上，所述磁流体密封装置 71 设置在波纹管 70 内，所述旋转轴 21 穿过磁流体密封装置 71 以及所述波纹管 70。

可选地，或所述波纹管 70 还可以通过焊接方式固定在所述轴孔 13 的内壁上。

本发明所述磁流体密封装置 71 内设有极靴、磁体和磁流体，在磁体产生的磁场作用下，旋转轴 21 与极靴顶端缝隙间的磁流体加以集中，使其形成一个所谓的“O”形环，将缝隙通道堵死而达到密封的目的。所述磁流体密封装置 71 既不影响旋转轴 21 的旋转传动，也可以使下炉体 12 的开口 13 实现封闭。本发明所述磁流体密封装置 71 可以为现有产品。

由于本发明所述旋转轴 21 可以实现循环冷却，保持较低的温度，可以正常维持所述磁流体密封装置 71 的正常工作，不会因产生高温而使所述磁流体密封装置 71 的密封性能较弱。

可选地，所述顶部隔热板 31 上设置有进气孔和出气孔。所述进气孔和出气孔有利于硅

锭的制备过程中对气压和惰性气体环境的要求。

可选地，所述坩埚 23 上还设有石墨盖板。所述石墨盖板上可以但不限于设有导热孔或导气孔。所述顶部隔热板的进气孔和出气孔可依次穿过所述加热器和所述石墨盖板。

可选地，所述加热器 40 包括顶部加热器 41 和侧部加热器 42，所述顶部加热器 41 设置在坩埚 23 的顶部，所述侧部加热器 42 设于所述坩埚 23 的侧壁外侧。本发明实施方式中，所述侧部加热器 42 设于所述护板 50 与所述隔热笼 30 之间的空隙中。所述顶部加热器 41 和侧部加热器 42 可对坩埚 23 进行加热，使坩埚 23 内部的硅料融化形成硅熔体。

本发明实施方式中，所述坩埚 23 会相对于加热器 40 进行旋转，当所述坩埚 23 旋转时，所述侧部加热器 42 与所述坩埚 23 不接触。

可选地，所述侧部加热器 42 与所述坩埚 23 之间的距离大于 40mm。例如，所述侧部加热器 42 与所述坩埚 23 之间的距离可以为 40mm，或为 45mm，或为 50mm，或为 55mm，或为 60mm。此处忽略了护板的厚度，当所述坩埚含有较厚的护板时，所述侧部加热器 42 与所述坩埚 23 之间的距离可以适当调整。

本发明实施方式中，所述侧部加热器 42 与所述坩埚 23 存在一定距离的间距，所述侧部加热器 42 不会影响所述坩埚 23、护板 50 和热交换台 22 的旋转。

进一步地，所述加热器的形状可以是对称的。具体地，所述侧部加热器 42 的形状可以呈圆柱形或 N 棱柱形，N 为 4-20 的正整数。所述 N 棱柱形的加热器可以由 N 块加热板拼接而成，每块所述加热板包括若干个 U 形加热电阻单元组成。可选地，所述圆柱形的加热器可以由环形加热板组成。当通电之后，所述加热器可以围绕所述护板和坩埚进行加热。

进一步地，所述侧部加热器 42 的截面形状可以为圆形、正方形或多边形。所述多边形可以为六边形、八边形等。本发明一实施方式中，所述多边形可为八边形。

参见图 2 所示，本发明一实施方式中，所述隔热笼 30 的截面形状可为圆形，所述侧部加热器 42 的截面形状可以为八边形；所述侧部加热器 42 包括 4 块侧边加热器和 4 块侧角加热器，每块侧边加热器和侧角加热器之间通过转角连接片相互连接，所述坩埚的截面形状为正方形，所述侧部加热器 42 与所述坩埚 23 之间的距离可以为 L。

参见图 3 所示，本发明另一实施方式中，所述隔热笼 30 的截面形状可为圆形，所述侧部加热器 42 的截面形状也为圆形，所述坩埚的截面形状为八边形。

参见图 4 所示，本发明另一实施方式中，所述隔热笼 30 的截面形状可为八边形，所述侧部加热器 42 的截面形状也为八边形，所述坩埚的截面形状为正方形。

本发明另一例还提供了一种定向凝固生长晶体硅的铸锭炉 200，与所述定向凝固生长晶体硅的铸锭炉 100 的区别在于：

所述旋转轴 21 靠近所述热交换台 22 的一端设置有一连接板 212，所述连接板 212 上设有多个连接杆 213，所述连接杆 213 与所述热交换台 22 固定连接，参见图 5。

可选地，所述连接板 212 和所述连接杆 213 可以均具有良好的导热和散热功能。

本发明实施方式中，所述铸锭炉还包括多个散热块，所述散热块设置在靠近所述热交换台的一侧，每个所述散热块通过一支撑杆固定在所述下炉体底部。

如图 5 所示，所述下炉体 12 底部上还设有支撑杆 121，所述支撑杆 121 靠近热交换台 22 的一端含有散热块 122，所述散热块 122 靠近所述热交换台 22 的底部表面。所述散热块

122 具有良好的散热功能，可以对热交换台 22 的热量进行进一步地分散。可选地，所述散热块 122 与所述热交换台 22 的材质可以相同。

可选地，所述散热块 122 与所述热交换台 22 一侧表面之间的距离为 50-100mm。例如，所述散热块 122 与所述热交换台 22 一侧表面之间的距离可以为 50mm，或为 60mm，或为 70mm，或为 80mm，或为 90mm，或为 100mm。

可选地，所述散热块的大小尺寸可以依据热交换台 22 大小进行调节，所述所述散热块不影响所述热交换台 22 的旋转。

由于传统的硅铸锭炉很难实现对坩埚内硅料的均匀的加热，存在局部辐射热量不足情况，造成制备得到的硅锭四个面存在大量不均匀的凹凸界面，存在大量的尾部红区；本发明实施方式中所述的定向凝固生长晶体硅的铸锭炉，可实现对坩埚的旋转加热，使坩埚内各处的受热分布均匀，可以大大改善硅锭各个侧面上存在的大量凹凸界面，可以显著减少制备得到的硅锭尾部红区，提升硅锭的质量和出材率。所述定向凝固生长晶体硅的铸锭炉内还可以实现循环冷却，可以一定程度地改善铸锭炉内的散热问题；所述的定向凝固生长晶体硅的铸锭炉还通过磁流体密封装置实现炉体与外界的隔离，避免外界杂质的污染以及炉体内温度的不稳定。

本发明提供的定向凝固生长晶体硅的铸锭炉可以用于制备多种类型的硅锭，例如单晶硅锭、多晶硅锭或类单晶硅锭。

本发明另一实施例还提供了一种硅锭的制备方法，包括：

提供定向凝固生长晶体硅的铸锭炉，在所述铸锭炉的坩埚内铺设籽晶层；

在所述籽晶层上方填装硅料，加热使所述坩埚内所述硅料熔化成硅熔体；待所述籽晶层未完全融化时，调节热场形成过冷状态，使所述硅熔体在所述籽晶层基础上开始长晶；

待全部所述硅熔体结晶完后，经退火冷却得到硅锭。

其中，所述单晶硅锭、多晶硅锭和类单晶硅锭之间的具体制备过程中仍存在一定的区别，包括硅料、温度、反应时间及其他区别。

通过使用本发明实施方式提供的定向凝固生长晶体硅的铸锭炉制备得到的硅锭，其质量和良品率远远高于传统的铸锭炉，并且，本发明所述制备方法简便且高效，成本低，大大减少硅锭的尾部红区可，提升生成的出材率。

实施例 1 一种单晶硅锭的制备方法，包括：

提供本发明实施例所述的定向凝固生长晶体硅的铸锭炉，采用 G6 规格的坩埚，坩埚内径为 1000mm\*1000mm；坩埚的底部和侧壁喷涂有氮化硅涂层，在坩埚底部铺设一层厚度为 20mm 的单晶籽晶层；

在籽晶层上方填装硅料，开启循环冷却水系统，并开启旋转电机让坩埚旋转加热，并使所述坩埚内所述硅料熔化成硅熔体；待所述籽晶层未完全融化时，调节热场形成过冷状态，使所述硅熔体在所述籽晶层基础上开始长晶；

待全部所述硅熔体结晶完后，经退火冷却得到单晶硅锭。

效果实施例

将按实施例 1 所述方法制备得到的单晶硅锭和采用常规晶体硅铸锭炉且在相同操作流

程下制备得到的硅锭分别开方成硅块后进行外貌和少子寿命的测试。

结果显示，传统铸锭炉制备得到的硅锭的表面以及其四周边缘均出现大大小小的凹凸界面，而本发明所述铸锭炉制备得到单晶硅锭各个表面平整。并且，传统铸锭炉制备得到的单晶硅锭的硅块尾部红区高度更高，而本发明所述铸锭炉制备得到单晶硅锭的硅块尾部红区高度更低，硅块的少子图谱更干净，反映出由本发明所述铸锭炉制得的单晶硅锭质量更出色。相比于传统铸锭炉制备得到的单晶硅锭，本发明实施例 1 所述制备方法制得的单晶硅锭的出材率提升 8% 以上。

需要说明的是，根据上述说明书的揭示和阐述，本发明所属领域的技术人员还可以对上述实施方式进行了变更和修改。因此，本发明并不局限于上面揭示和描述的具体实施方式，对本发明的一些等同修改和变更也应当在本发明的权利要求的保护范围之内。此外，尽管本说明书中使用了一些特定的术语，但这些术语只是为了方便说明，并不对本发明构成任何限制。