

一种单晶炉用的导流筒装置、单晶炉以及单晶硅棒

相关申请的交叉引用

本申请主张在 2023 年 06 月 13 日在中国提交的中国专利申请 No. 202310701935.1 的优先权，其全部内容通过引用包含于此。

技术领域

本申请实施例涉及单晶制备技术领域，尤其涉及一种单晶炉用的导流筒装置、单晶炉以及单晶硅棒。

背景技术

单晶硅棒大部分采用切克劳斯基（Czochralski, CZ）法，又或被称之为直拉法制造。该方法是运用熔体的冷凝固晶驱动原理，在固体和液体的交界面处，由于熔体温度下降产生由液体转换成固体的相变化。在该方法中，通过将固态的多晶硅原料放置在石英坩埚内并通过石墨加热器加热使得盛放于石英坩埚中的多晶硅原料熔化，之后经过试温、引晶、放肩、转肩、等径和收尾等工艺过程，最终完成了无位错单晶硅棒的拉制。

另一方面，单晶硅棒按照掺杂剂的不同可以分为 P 型单晶硅棒和 N 型单晶硅棒。其中，N 型单晶硅棒通常由 V 族元素掺杂获得，红磷是重掺 N 型单晶硅棒主要选择的掺杂剂。众所周知的，红磷具有易挥发、易燃易爆、分凝系数高等特性。因此在多晶硅原料熔融后，通常采用气相掺杂的方式进行磷掺杂。

但是，根据经验，在拉制 N 型单晶硅棒时，约 50% 的红磷掺杂剂会离开液面发生挥发，再加之硅熔液与石英坩埚反应产生的氧化硅的挥发，因此在 N 型单晶硅棒拉制过程中会产生大量的挥发物，这些挥发物如果不能及时排出单晶炉则会沉积到上部热场部件表面；此外，向炉体通入惰性气体时，在惰性气体的吹撒作用下这些沉积到上部热场部件表面的挥发物则可能会掉落至硅熔液中，进而发生热冲击，热冲击波及至固液界面后会引引起断线，从而导致单晶硅棒发生结构变化（Structure Loss），最终影响成晶率。

发明内容

有鉴于此，本申请实施例期望提供一种单晶炉用的导流筒装置、单晶炉以及单晶硅棒；能够及时有效地将拉晶过程中的挥发物排出单晶炉，以保证单晶硅棒的成晶率，提升单晶硅棒的品质；

其次，能够及时有效地将氧均匀地带入至固液界面，保证了单晶硅棒中氧的均一性；并能够保证固液界面处径向方向上温度场的均一性，以有效减少孪晶的产生机率，提高单晶硅棒的良率。

本申请实施例的技术方案是这样实现的：

第一方面，本申请实施例提供了一种单晶炉用的导流筒装置，所述导流筒装置包括沿径向方向呈波浪状起伏变化的底面，从而以惰性气体的流速增大的方式引导所述惰性气体。

可选地，在一些可能的实施方式中，所述底面被构造成从靠近单晶硅棒端到远离所述单晶硅棒端的径向方向上，所述底面的波谷与硅熔液的液面之间的距离呈渐开型减小。

可选地，在一些可能的实施方式中，所述底面的波谷与所述硅熔液的液面之间的距离最大为 65mm~75mm，所述距离最小为 35mm~42mm。

可选地，在一些可能的实施方式中，所述导流筒装置的材质为石墨。

可选地，在一些可能的实施方式中，所述导流筒装置的表面沉积有热解氮化硼涂层。

第二方面，本申请实施例提供了一种单晶炉，所述单晶炉包括如第一方面所述的导流筒装置。

可选地，在一些可能的实施方式中，所述单晶炉还包括石墨坩埚和石英坩埚；其中，

所述石英坩埚设置于所述石墨坩埚内，所述导流筒装置设置于所述石英坩埚的正上方。

第三方面，本申请实施例提供了一种单晶硅棒，所述单晶硅棒采用第二方面所述的单晶炉拉制得到。

本申请实施例提供了一种单晶炉用的导流筒装置、单晶炉以及单晶硅棒；在本申请实施例中，通过将导流筒装置的底面设置成沿径向方向呈波浪状起

伏变化，从而以惰性气体的流速增大的方式引导惰性气体，进而能够及时地带走拉晶过程中产生的挥发物，保证拉晶的正常进行。

此外，波浪状的底面使得沿着在径向方向上导流筒装置与液面的距离不断变化，可以获知地，一方面，液面间距的大小以及变化在拉晶过程中非常重要，其直接影响熔体对流，进而影响熔体中浸入单晶硅棒中的有效氧含量。

另一方面，液面间距的起伏变化使得靠近液面的径向对流加剧，以及及时有效地将氧均匀地带入至固液界面，保证了单晶硅棒中氧的均一性，同时径向方向上熔体对流的加剧，保证了固液界面径向方向上温度场的均一性，这不仅可以有效减少孪晶的产生机率，也提高了单晶硅棒的良率。

附图说明

图 1 为相关技术中单晶硅棒拉制用的单晶炉的结构示意图；

图 2 为本申请实施例提供的一种单晶炉用的导流筒装置的结构示意图；

图 3 为本申请实施例提供的导流筒装置的底面与液面之间的距离变化示意图；

图 4 为本申请实施例提供的一种单晶炉的结构示意图。

具体实施方式

下面将结合本申请实施例中的附图，对本申请实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述。

在对本申请的技术方案进行详细阐述之前，需要说明的是，除非另作定义，本申请中使用的技术术语或者科学术语应当为本申请所属领域内具有一般技能的人士所理解的通常意义。

此外，需要说明的是，本申请的说明书和权利要求书中的术语“包括”以及它的任何变形，意图在于覆盖不排除的包含，例如，包含了一系列步骤或单元的过程、方法、系统、产品或设备不必限于清楚地列出的那些步骤或单元，而是可包括没有清楚地列出的或对于这些过程、方法、产品或设备固有的其它步骤或单元。

参见图 1，其示出了现有单晶硅棒制造用的单晶炉 1 的结构示意图，如

图 1 所示，该单晶炉 1 包括：

炉体 10，所述炉体 10 用于限定出炉体空腔；

石英坩埚 20，所述石英坩埚 20 设置在炉体 10 限定出的炉体空腔底部并用于在制备单晶硅棒 S 的初始阶段容纳固态的多晶硅原料（或可称之为多晶硅熔料）；

石墨加热器 30，所述石墨加热器 30 分布于石英坩埚 20 四周；

在具体制造单晶硅棒的过程中，当设定质量的多晶硅原料装盛于石英坩埚 20 内之后，通过石墨加热器 30 对石英坩埚 20 内的多晶硅原料进行加热并使得多晶硅原料熔化从而形成硅熔液 MS；

倒锥筒状的导流筒 40，所述导流筒 40 一方面主要用于隔绝石墨加热器 30 对单晶硅棒 S 的热辐射，保证单晶硅棒 S 生长所需要的温度梯度，进而保证单晶硅棒 S 的结晶率；另一方面用于将比如氩气的惰性保护气体从上至下引导至石英坩埚 20 中的硅熔液的上方，以加速液面表面的气体流速，从而加快带走挥发杂质；

进气口 50，所述进气口 50 用于在拉晶过程中通入惰性气体，例如氩气；

排气口 60，所述排气口 60 用于在惰性气体的作用下将拉晶过程中的挥发物排出炉体 10。

可以理解地，单晶炉 1 的结构中还包括：籽晶缆 70；其中，

在单晶硅棒 S 的拉制过程中，在石英坩埚 20 中会装入设定质量的多晶硅原料后，当加热石英坩埚 20 使得多晶硅原料熔化形成硅熔液 MS 且硅熔液 MS 液面的温度稳定后，通过籽晶缆 70 下降籽晶 ZJ 至硅熔液 MS 的固液界面处并开始引晶、缩颈、放肩、等径生长以及收尾等工序，最终得到一定长度的单晶硅棒 S。

需要说明的是，在单晶炉 1 炉体的最上方还设置有与籽晶缆 70 相连接的提拉头 80；其中，

提拉头 80 主要是用于实现籽晶 ZJ 的旋转以及提升，以及可以记录籽晶 ZJ 的位移等数据。

可以理解地，图 1 所示的单晶炉 1 中还可以包括其他图 1 中未示出的结构，比如，坩埚升降装置等，本申请实施例不作具体的阐述。

具体来说, 当使用单晶炉 1 拉制单晶硅棒 S 时, 首先, 将高纯度的多晶硅原料放入石英坩埚 20 中, 并在坩埚旋转机构 (图中未示出) 驱动石英坩埚 20 旋转的同时通过石墨加热器 30 对石英坩埚 20 不断进行加热, 以将容纳在石英坩埚 20 中的多晶硅原料熔化成熔融状态, 即熔化成硅熔液 MS。

其中, 加热温度维持在大约一千多摄氏度, 炉中的气体通常是惰性气体, 使多晶硅原料熔化, 同时又不会产生不需要的化学反应。

可以理解地, 在拉晶过程中惰性气体从进气口 50 进入炉体 10 内, 并沿着导流筒 40 内部吹下掠过单晶硅棒 S 的表面, 途径硅熔液 MS 的固液界面后转向吹撒液面, 之后沿着石英坩埚 20 的内壁向上以绕过石英坩埚 20 沿着石墨坩埚 (图中未示出) 外壁向下直至吹到排气口 60。

在整个的拉晶过程中会产生大量的挥发物, 例如在拉制 N 型单晶硅棒时, 挥发物不仅包括硅熔液与石英坩埚反应产生的氧化硅, 还同时包括掺杂剂红磷的挥发物, 在整个拉晶过程中这些大量的挥发物可能会沉积到导流筒 40 的表面, 由此在惰性气体的流动过程中以将这些挥发物吹撒并带出炉体 10。但是, 在一些情况下由于惰性气体吹撒力度不足的原因, 这些挥发物可能会掉落至硅熔液中从而影响单晶硅棒的产品质量。

可以理解地, 正常情况下可增加进气口惰性气体流速来提高吹撒力度, 进而吹扫挥发物, 但是当惰性气体的流速过大时会引起籽晶提拉系统及单晶硅棒的晃动, 这种晃动会引起固液界面的波动, 固液界面的波动会导致单晶硅棒中孪晶等缺陷的产生, 同时还会导致氧含量不均一, 剧烈晃动还会导致单晶硅棒的结构发生变化。

因此, 基于上述阐述, 为了避免单晶硅棒晃动且及时有效地带走挥发物, 保证拉晶的正常进行, 本申请实施例期望提供一种底面呈波浪状的导流筒, 以使得当惰性气体经固液界面且掠过硅熔液的液面时, 根据拉瓦尔效应, 惰性气体流速会被不断加速, 增加惰性气体的流速, 进而及时地带走挥发物, 保证拉晶的正常进行。

同时, 通过本申请事实来提供的导流筒装置避免了从进气口处增加惰性气体的流速, 避免引起了单晶硅棒 S 的晃动。

具体来说, 参见图 2, 其示出了本申请实施例提供的一种单晶炉用的导流

筒装置 2，所述导流筒装置 2 包括沿径向方向呈波浪状起伏变化的底面 21，从而以惰性气体的流速增大的方式引导所述惰性气体。

可以理解地，在本申请实施例中，通过将导流筒装置 2 的底面 21 设置成沿径向方向呈波浪状起伏变化，从而以惰性气体的流速增大的方式引导惰性气体，进而能够及时地带走拉晶过程中产生的挥发物，保证拉晶的正常进行。

此外，波浪状的底面 21 使得沿着在径向方向上导流筒装置 2 与液面 YM 的距离不断变化，可以获知地，一方面，液面间距的大小以及变化在拉晶过程中非常重要，其直接影响熔体对流，进而影响熔体中浸入单晶硅棒 S 中的有效氧含量。

另一方面，液面间距的起伏变化使得靠近液面 YM 的径向对流加剧，以及时有效地将氧均匀地带入至固液界面，保证了单晶硅棒 S 中氧的均一性，同时径向方向上熔体对流的加剧，保证了固液界面径向方向上温度场的均一性，这不仅可以有效减少孪晶的产生机率，也提高了单晶硅棒的良率。

对于图 1 所述的技术方案，在一些可能的实施方式中，如图 3 所示，所述底面 21 被构造成从靠近单晶硅棒 S 端到远离所述单晶硅棒 S 端的径向方向上（图中虚线箭头所示），所述底面 21 的波谷 31 与硅熔液的液面 YM 之间的距离呈渐开型减小。

可以理解地，上述的底面 21 的波谷 31 与液面 YM 之间的距离呈渐开型减小指的是底面 21 的波谷 31 与液面 YM 之间的距离是不断逐渐减小的。具体来说，当惰性气体从进气口 50 进入炉体 10 内时，惰性气体沿着导流筒装置 2 的内壁吹下并掠过单晶硅棒 S 的表面，途径硅熔液 MS 的固液界面后掠过液面 YM，根据拉瓦尔效应，当惰性气体流经波谷 31 时，此处液面间距变小，因此压力减小，进而惰性气体的流速增加。

也就是说，在从靠近单晶硅棒 S 端到远离单晶硅棒 S 端的径向方向上，底面 21 的波谷 31 与液面 YM 之间的距离越来越小，有助于惰性气体流的不断加速，以快速带走氧化物。

可以理解地，随着底面 21 的波谷 31 与液面 YM 之间的距离越来越小时，底面 21 与液面 YM 之间的压力也越来越小，因此惰性气体的流速也会越来越大，随着惰性气体流速的不断加速，进而能够及时带走拉晶过程中的挥发物，

保证拉晶的正常进行。

对于上述的实施方式，在一些示例中，所述底面 21 的波谷 31 与所述硅熔液的液面 YM 之间的距离最大为 65mm~75mm，所述距离最小为 35mm~42mm。

从靠近单晶硅棒 S 端到远离所述单晶硅棒 S 端的径向方向上，将底面 21 的波谷 31 与液面 YM 之间的距离设置成呈渐开型减小，且距离最大为 65mm~75mm，最小为 35mm~42mm。可选地，在具体实施过程中，从靠近单晶硅棒 S 端到远离所述单晶硅棒 S 端的径向方向上，底面 21 的波谷 31 与液面 YM 之间的距离最大为 75mm，最小为 42mm。

需要说明的是，从靠近单晶硅棒 S 端到远离单晶硅棒 S 端的径向方向上，底面 21 的波谷 31 与液面 YM 之间的距离的设定需要根据液面间距（Melt Gap）的目标要求来定，可以理解地，液面间距的大小直接决定了固液界面处的轴向温度差，轴向温度差与晶体生长拉速需要匹配，当底面 21 的波谷 31 与液面 YM 之间的距离数值在设定范围内时，轴向温度差可以很好地匹配晶体生长拉速，实现晶体的平稳生长。

举例来说，例如本申请实施例提供的导流筒装置 2 如图 3 所示时，那么考虑到轴向温度差与晶体生长拉速的匹配，从靠近单晶硅棒 S 端到远离单晶硅棒 S 端的径向方向上，每个波谷 31 与液面 YM 之间的距离 D 分别为 75mm，65mm，55mm，这种变化能够使得惰性气体流经导流筒装置 2 与液面 YM 之间时，惰性气体的流速不断地增加，以保证及时且稳定地将拉晶过程中的挥发物带出。

除此之外，上述的底面 21 的波谷 31 与所述液面 YM 之间的距离设置成逐渐变化，使得惰性气体速度稳定增加，也有利于拉晶过程中熔体对流的稳定变化，从而使得拉晶过程中温度场的均一变化，更有利于单晶硅棒中氧含量的均一性控制。

需要说明的是，在本申请实施例中，“示例性地”或者“举例来说”等词用于表示作例子、例证或说明。本申请实施例中被描述为“示例性的”或者“举例来说”的任何实施例或设计方案不应被解释为比其它实施例或设计方案更优选或更具优势。确切而言，使用“示例性地”或者“举例来说”等词旨

在以具体方式呈现相关概念。

对于图 1 所述的技术方案，在一些可能的实施方式中，所述导流筒装置 2 的材质为石墨。

可以理解地，将导流筒装置 2 的材质设置为石墨，能够保证在拉晶过程中隔绝石墨加热器 30 对单晶硅棒 S 的热辐射，保证单晶硅棒 S 生长所需要的温度梯度，进而保证单晶硅棒 S 的成晶率。

对于上述的实施方式，在一些示例中，根据权利要求 2 所述的导流筒装置，在导流筒装置 2 的表面沉积有热解氮化硼涂层，该热解氮化硼涂层高温条件下稳定性好，同时化学稳定性高，不会与拉晶过程中的挥发物发生化学反应，因此在这种高挥发物的环境下很适合使用，可提高导流筒的使用寿命。

其次，参见图 4，其示出了本申请实施例提供的一种单晶炉 4，所述单晶炉 4 包括如前述技术方案所述的导流筒装置 2。

对于图 4 所述的单晶炉 4，在一些可能的实施方式中，所述单晶炉 4 还包括石墨坩埚 90 和石英坩埚 20；其中，

所述石英坩埚 20 设置于所述石墨坩埚 90 内，所述导流筒装置 2 设置于所述石英坩埚 20 的正上方。

最后，本申请实施例还提供了一种单晶硅棒，所述单晶硅棒采用前述技术方案所述的单晶炉 4 拉制得到。

需要说明的是：本申请实施例所记载的技术方案之间，在不冲突的情况下，可以任意组合。

以上所述，仅为本申请的具体实施方式，但本申请的保护范围并不局限于此，任何熟悉本技术领域的技术人员在本申请揭露的技术范围内，可轻易想到变化或替换，都应涵盖在本申请的保护范围之内。因此，本申请的保护范围应以所述权利要求的保护范围为准。

权 利 要 求 书

1. 一种单晶炉用的导流筒装置，所述导流筒装置包括沿径向方向呈波浪状起伏变化的底面，从而以惰性气体的流速增大的方式引导所述惰性气体。

2. 根据权利要求1所述的导流筒装置，其中，所述底面被构造成从靠近单晶硅棒端到远离所述单晶硅棒端的径向方向上，所述底面的波谷与硅熔液的液面之间的距离呈渐开型减小。

3. 根据权利要求2所述的导流筒装置，其中，所述底面的波谷与所述硅熔液的液面之间的距离最大为65mm~75mm，所述距离最小为35mm~42mm。

4. 根据权利要求1所述的导流筒装置，其中，所述导流筒装置的材质为石墨。

5. 根据权利要求2所述的导流筒装置，其中，所述导流筒装置的表面沉积有热解氮化硼涂层。

6. 一种单晶炉，所述单晶炉包括如权利要求1至5任一项所述的导流筒装置。

7. 根据权利要求6所述的单晶炉，其中，所述单晶炉还包括石墨坩埚和石英坩埚；其中，

所述石英坩埚设置于所述石墨坩埚内，所述导流筒装置设置于所述石英坩埚的正上方。

8. 一种单晶硅棒，所述单晶硅棒采用权利要求6或7所述的单晶炉拉制得到。