

一种在直拉法拉制晶棒的过程中使用的导流筒及拉晶炉

相关申请的交叉引用

本申请主张在 2023 年 05 月 26 日在中国提交的中国专利申请 No. 202310611770.9 的优先权，其全部内容通过引用包含于此。

技术领域

本申请涉及半导体硅片生产领域，尤其涉及一种在直拉法拉制晶棒的过程中使用的导流筒及拉晶炉。

背景技术

用于生产集成电路等半导体电子元器件的硅片，主要通过将直拉法拉制的单晶硅棒切片而制造出。直拉法包括使由石英制成的坩埚中的多晶硅熔化以获得硅熔体，将单晶晶种浸入硅熔体中，以及连续地提升晶种移动离开硅熔体表面，由此在移动过程中在相界面处生长出单晶硅棒。

拉制出的单晶硅棒中的氧浓度是影响硅片性能的重要因素。单晶硅棒中的氧能够增强硅片的强度，或者可以在硅片中形成体微缺陷（Bulk Micro Defect, BMD），BMD 的作用在于，能够吸收加工过程中产生的金属杂质。然而，氧沉淀也可能会破坏电子器件的性能，例如容易导致漏电流及器件的击穿等危害。因此，对于具有不同用途的电子器件，对其氧含量的大小及分布情况也有着不同的要求，而且这些要求是相对苛刻的，这使得要在晶体生长中能够更好地控制晶体内的氧的含量。

单晶硅棒中的氧主要来自石英坩埚的溶解，其溶解速度与温度及熔体对流情况相关。目前通常通过控制对石英坩埚的加热温度来控制拉制出的单晶硅棒中的氧的浓度，但另一方面，石英坩埚的加热温度又应当满足比如生产效率的要求，由此导致单晶硅棒中的氧浓度要求与比如生产效率要求之间产生干涉。因此，如何提供一种与石英坩埚的加热温度控制不同的方式来控制拉制出的单晶硅棒中的氧浓度成为本领域亟需解决的问题。

发明内容

为解决上述技术问题，本申请实施例期望提供一种在直拉法拉制晶棒的过程中使用的导流筒及拉晶炉，能够实现以与对石英坩埚的加热温度进行控制不同的方式来控制拉制出的单晶硅棒中的氧浓度。

本申请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在直拉法拉制晶棒的过程中使用的导流筒，所述导流筒的底部具有凹口，所述凹口用于通过所述导流筒绕自身的纵向轴线转动使在基准径向上流经熔体的液面的保护性气体的流量发生变化。

在施加至熔体的水平磁场的方向为上述的基准径向的情况下，当导流筒处于凹口在竖向上与熔体的液面中与水平磁场平行的径向相对的位置时，在水平磁场的方向上，保护性气体会经由导流筒的底部的凹口流动，因此流量会相对较大，由此会促进熔体中的氧的挥发，导致更少的氧到达晶棒与熔体之间的固液界面处，使晶棒中的氧浓度减小，而当导流筒处于凹口在竖向上不与熔体的液面中与水平磁场平行的径向相对的位置时，在水平磁场的方向上，保护性气体无法经由导流筒的底部的凹口流动，只能经由导流筒的底部中未形成有凹口的部分与熔体的液面之间的间隙流动，因此流量会相对较小，由此会抑制熔体中的氧的挥发，导致更多的氧到达晶棒与熔体之间的固液界面处，使晶棒中的氧浓度增大。

可选地，所述凹口的数量为两个并且在所述导流筒的径向上对置。

由于对于熔体中的氧的挥发而言，能够受到流经熔体的液面的保护性气体的流量影响的区域是存在于整个径向上的，因此，两个径向上对置的凹口能够充分利用这样的区域，比如在需要使拉制出的晶棒中的氧浓度较低的情况下，与导流筒仅具有单个凹口相比，导流筒具有两个径向上对置的凹口更加能够促使氧从熔体中挥发进而将氧浓度降低。

可选地，所述导流筒被设置成使得两个所述凹口之间的连接线与施加至所述熔体的水平磁场平行。

在这种情况下，对于流经熔体的液面的保护性气体而言，在与水平磁场平行的方向上，流量是最大的，因为保护性气体能够经由导流筒的底部的凹

口流动，或者说，在导流筒的整个周向上，底部中形成有凹口的部分与熔体的液面之间的间隙是最大的，由此能够获得氧浓度尽可能低的晶棒。

并且在这种情况下，最大程度地减小了晶棒在周向上的氧浓度的不均匀性。

可选地，所述导流筒被设置成使得两个所述凹口之间的连接线与施加至所述熔体的水平磁场垂直。

在这种情况下，对于流经熔体的液面的保护性气体而言，在与水平磁场平行的方向上，流量是最小的，因为保护性气体只能够经由导流筒的底部中未形成有凹口的部分与熔体的液面之间的间隙流动，或者说只能够经由导流筒的底部中相对于凹口为凸起的部分与熔体的液面之间的间隙流动，而这个间隙在导流筒的整个周向上是最小的，由此能够获得氧浓度尽可能高的晶棒。

可选地，所述凹口呈矩形。这样，对于流经熔体的液面的保护性气体而言，在比如需要精确计算导流筒的周向上的不同位置处的流量值时，能够使计算过程简化。

可选地，所述凹口朝向所述导流筒的底部渐扩。这样，在凹口通过去除材料获得的情况下，能够使具有凹口的导流筒更容易制造出。

第二方面，本申请实施例还提供了一种在直拉法拉制晶棒的过程中使用的拉晶炉，所述拉晶炉包括根据第一方面所述的导流筒。

可选地，所述拉晶炉还包括：

炉体，所述炉体限定出炉体空腔；

坩埚，所述坩埚设置在所述炉体空腔中，所述熔体容纳在所述坩埚中。

可选地，所述拉晶炉还包括加热器，所述加热器设置在所述炉体空腔中并且设置在所述坩埚的外周以对所述坩埚进行加热，从而使容纳在所述坩埚中的固态原料熔化成所述熔体。

可选地，所述拉晶炉还包括保温元件，所述保温元件设置在所述炉体的内壁处以抑制所述坩埚加热器产生的热量经由所述炉体散失。

附图说明

图1为常规的用于拉制晶棒的拉晶炉的结构示意图；

图 2 为在图 1 中示出的加热器和水平磁场的共同作用下熔体流动的迹线的示意图；

图 3 为根据本申请的实施例的在直拉法拉制晶棒的过程中使用的导流筒的立体示意图；

图 4 为根据本申请的实施例的导流筒相对于水平磁场处于第一位置时的截面示意图；

图 5 为根据本申请的实施例的导流筒相对于水平磁场处于第二位置时的截面示意图；

图 6 为在图 1 中示出的加热器的作用下熔体在与液面平行的平面中的温度分布示意图；

图 7 为根据本申请的另一实施例的在直拉法拉制晶棒的过程中使用的导流筒的正视示意图；

图 8 为根据本申请的实施例的在直拉法拉制晶棒的过程中使用的拉晶炉的结构示意图。

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。

首先参见图 1，其示出了常规的用于拉制晶棒 R 的拉晶炉 1A。该拉晶炉主要可以包括：炉体 20A；坩埚 30A，该坩埚 30A 设置在炉体 20A 内部并用于容纳熔体 M；加热器 40A，该加热器 40A 用于对坩埚 30A 进行加热以将比如固态多晶硅之类的固态原材料熔化成熔体 M 以及使熔体 M 保持所需要的温度；导流筒 10A，该导流筒 10A 用于将图 1 中未详细示出的保护性气体比如氩气引导至熔体 M 的液面处以避免熔体 M 发生不期望的化学反应。

拉制出的晶棒 R 中所含有的氧，主要来自于坩埚 30A。具体地，坩埚 30A 在熔体 M 的高温的作用下，会产生溶解，坩埚 30A 中含有的氧便会进入到熔体 M 中，而熔体 M 中的氧如果到达晶棒 R 与熔体 M 之间的固液界面处的话，便会进入到晶棒 R 中。

另一方面，在拉晶炉 1A 中，在加热器 40A 的加热作用下，容纳在坩埚

30A 中的熔体 M 会产生热对流, 热对流导致的熔体 M 的不稳定性会影响拉晶。为了降低熔体 M 中的对流的强度, 会对熔体 M 施加磁场, 通过洛伦兹力减缓熔体 M 中的对流。所施加磁场类型可分为垂直磁场、水平磁场以及勾型磁场等。这些磁场有各自相关优缺点, 而如图 1 中示出的水平磁场 HM 由于所需线圈直径相比于其它两种磁场较小, 所以可以提供强度最高的磁场 (最高 0.4T)。但是, 水平磁场 HM 存在的问题是, 相比于其它两种磁场其提供的是非中心对称的磁场, 这导致熔体 M 中的对流出现了复杂的非对称性。

因坩埚 30A 在熔体 M 的高温的作用下溶解所产生的氧主要存在于坩埚 30A 的内壁处, 并会随着在水平磁场 HM 的作用下形成的熔体 M 的对流一起流动, 从而到达晶棒 R 与熔体 M 之间的固液界面处。下面结合在水平磁场 HM 的作用下形成的熔体 M 的对流来对存在于坩埚 30A 的内壁处的氧到达晶棒 R 与熔体 M 之间的固液界面处的情况进行详细描述。

参见图 2, 其示出了在图 1 中示出的加热器 40A 和水平磁场 HM 的共同作用下熔体 M 流动的迹线的示意图, 其中图 1 中示出的拉晶炉 1A 与图 2 中示出的流动迹线处于同一坐标系 XYZ 中。结合图 1 和图 2 中可以看出: 在垂直于水平磁场 HM 的 XZ 平面内, 由于存在一个较大稳定涡流, 在坩埚 30A 的内壁处溶解的氧将随着涡流很快到达熔体 M 的自由表面而快速挥发掉; 但是, 在平行于水平磁场 HM 的竖向平面即 XY 平面内, 在坩埚 30A 的内壁处的熔体 M 有向着整个熔体 M 的中心流动的趋势, 也就是说, 在该平面内, 从坩埚 30A 溶解出的氧很难及时流动到熔体 M 的自由表面而挥发, 从而更容易流动到固液界面处造成晶棒 R 的氧浓度的升高。

在这种情况下, 容易理解的是, 如果想要通过流经熔体 M 的液面的保护性气体的流量来影响熔体 M 中的氧的挥发的话: 假设保护性气体是在 Z 轴的方向上流动的, 或者说是与水平磁场 HM 垂直的方向上流动的, 则无论保护性气体的流量如何都不会对氧的挥发产生影响, 因为在该方向上, 熔体 M 中的氧已经主要地到达熔体 M 的自由表面而挥发掉; 但是, 假设保护性气体是在 Y 轴的方向上流动的, 或者说是与水平磁场 HM 平行的方向上流动的, 则在保护性气体的流量较大的情况下, 会促进熔体 M 中的氧的挥发, 由此导致更少的氧到达晶棒 R 与熔体 M 之间的固液界面处, 使晶棒 R 中的氧浓度

减小，在保护性气体的流量较小的情况下，会抑制熔体 M 中的氧的挥发，由此导致更多的氧到达晶棒 R 与熔体 M 之间的固液界面处，使晶棒 R 中的氧浓度增大。

在此基础上，参见图 3 至图 5，本申请实施例提供了一种在直拉法拉制如图 1 中示出的晶棒 R 的过程中使用的导流筒 10，如在图 3 的立体图和图 4 的截面图中示出的，所述导流筒 10 的底部 10B 可以具有凹口 10N，所述凹口 10N 用于通过所述导流筒 10 绕自身的纵向轴线 10X 转动使在基准径向上流经熔体 M 的液面 L 的保护性气体 PG 的流量发生变化。具体地，假设水平磁场 HM 的方向为上述的基准径向，当导流筒 10 相对于水平磁场 HM 处于图 4 中所示位置时，在水平磁场 HM 的方向上，或者说在图 1 和图 2 中示出的 Y 轴的方向上，保护性气体 PG 会经由导流筒 10 的底部 10B 的凹口 10N 流动，因此流量会相对较大，由此如前所述会促进熔体 M 中的氧的挥发，导致更少的氧到达晶棒 R 与熔体 M 之间的固液界面处，使晶棒 R 中的氧浓度减小，而当导流筒 10 相对于水平磁场 HM 处于图 5 中所示位置时，在水平磁场 HM 的方向上，或者说在图 1 和图 2 中示出的 Y 轴的方向上，保护性气体 PG 无法经由导流筒 10 的底部 10B 的凹口 10N 流动，只能经由导流筒 10 的底部 10B 中未形成有凹口 10N 的部分与熔体 M 的液面 L 之间的间隙流动，因此流量会相对较小，由此如前所述会抑制熔体 M 中的氧的挥发，导致更多的氧到达晶棒 R 与熔体 M 之间的固液界面处，使晶棒 R 中的氧浓度增大。

也就是说，本申请实施例提供了一种底部 10B 具有凹口 10N 的导流筒 10，能够通过该导流筒 10 绕自身的纵向轴线 10X 转动来对拉制出的晶棒 R 中的氧浓度进行控制。

在本申请的可选实施例中，参见图 3 和图 4，所述凹口 10N 的数量可以为两个并且在所述导流筒 10 的径向上对置。如前所述，对于熔体 M 中的氧的挥发而言，能够受到流经熔体 M 的液面 L 的保护性气体 PG 的流量影响的区域是存在于整个径向上的，因此，两个径向上对置的凹口 10N 能够充分利用这样的区域，比如在需要使拉制出的晶棒 R 中的氧浓度较低的情况下，与导流筒 10 仅具有单个凹口 10N 相比，导流筒 10 具有两个径向上对置的凹口 10N 更加能够促使氧从熔体 M 中挥发进而将氧浓度降低。

对于拉制出的晶棒 R 而言,可能需要其氧浓度是较高的。对此,在本申请的可选实施例中,参见图 5,所述导流筒 10 可以被设置成使得两个所述凹口 10N 之间的连接线与施加至所述熔体 M 的水平磁场 HM 垂直,其中,由于图 5 为截面图因此并未示出凹口 10N,但可以理解的是,导流筒 10 的两个凹口 10N 之间的连接线与示出图 5 的页面垂直。在这种情况下,对于流经熔体 M 的液面 L 的保护性气体 PG 而言,在与水平磁场 HM 平行的方向上,流量是最小的,因为保护性气体 PG 只能够经由导流筒 10 的底部 10B 中未形成有凹口 10N 的部分与熔体 M 的液面 L 之间的间隙流动,或者说只能够经由导流筒 10 的底部 10B 中相对于凹口 10N 为凸起的部分与熔体 M 的液面 L 之间的间隙流动,而这个间隙在导流筒 10 的整个周向上是最小的。

对于拉制出的晶棒 R 而言,可能需要其氧浓度是较低的,另外,除了晶棒 R 整体的氧浓度的要求之外,还可能需要氧浓度在晶棒 R 的周向上是均匀的。

对此,在本申请的可选实施例中,参见图 4,所述导流筒 10 可以被设置成使得两个所述凹口 10N 之间的连接线与施加至所述熔体 M 的水平磁场 HM 平行,其中,图 4 为在图 5 的基础上将导流筒 10 绕自身的纵向轴线 10X 转动 90°后的截面示意图,或者说,图 5 为在图 4 的基础上将导流筒 10 绕自身的纵向轴线 10X 转动 90°后的截面示意图,因此在图 4 中,导流筒 10 的两个凹口 10N 之间的连接线处于截面中。

在这种情况下,对于流经熔体 M 的液面 L 的保护性气体 PG 而言,在与水平磁场 HM 平行的方向上,流量是最大的,因为保护性气体 PG 能够经由导流筒 10 的底部 10B 的凹口 10N 流动,或者说,在导流筒 10 的整个周向上,底部 10B 中形成有凹口 10N 的部分与熔体 M 的液面 L 之间的间隙是最大的。

对于氧浓度在晶棒 R 的周向上的均匀性而言,如前所述,晶棒 R 中的氧主要来自于因坩埚 30A 在高温下溶解而进入到熔体 M 中的氧,但是,在水平磁场 HM 的作用下,熔体 M 在自身的周向上的温度是不均匀的,具体地,参见图 6,其示出了在图 1 中示出的加热器 40A 的作用下熔体 M 在与液面平行的平面中的温度分布示意图。从图 6 可知,在平行于水平磁场 HM 的方向上,坩埚 30A 附近的熔体 M 的温度较高,因此坩埚 30A 会发生较多的溶解,更

多的氧会进入到熔体 M 中，而在垂直于水平磁场 HM 的方向上，坩埚 30A 附近的熔体 M 的温度较低，因此坩埚 30A 会发生较少的溶解，更少的氧会进入到熔体 M 中。在不考虑因水平磁场 HM 导致的如图 2 中示出的对流的情况下，或者说，假设进入到熔体 M 中的氧到达晶棒 R 与熔体 M 之间的固液界面处的可能性是一致的，那么，在平行于水平磁场 HM 的方向上，由于更多的氧会进入到熔体 M 中，因此更多的氧会进入到晶棒 R 中，而在垂直于水平磁场 HM 的方向上，由于更少的氧会进入到熔体 M 中，因此更少的氧会进入到晶棒 R 中，由此使得晶棒 R 在周向上的氧浓度是不均匀的并且更具体地在平行于水平磁场 HM 的方向上的氧浓度大于在垂直于水平磁场 HM 的方向上的氧浓度。另一方面，在如图 2 中示出的对流的作用下，如前所述，在平行于水平磁场 HM 的方向上，熔体 M 中的氧很难挥发会使晶棒 R 的氧浓度升高，在垂直于水平磁场 HM 的方向上，熔体 M 中的氧容易挥发会抑制晶棒 R 的氧浓度升高。也就是说，进一步加剧了或者说恶化了晶棒 R 在周向上的氧浓度的不均匀性。在本实施例中，如前所述流经熔体 M 的液面 L 的保护性气体 PG 在与水平磁场 HM 平行的方向上的流量得到了最大化，由此最大程度地促进了熔体 M 中的氧的挥发，最少的氧到达晶棒 R 与熔体 M 之间的固液界面处，使晶棒 R 中与水平磁场 HM 平行的径向上的氧浓度得到最小化，由此，最大程度地减小了晶棒 R 在周向上的氧浓度的不均匀性。

在本申请的可选实施例中，参见图 3，所述凹口 10N 可以呈矩形。这样，对于流经熔体 M 的液面 L 的保护性气体 PG 而言，在比如需要精确计算导流筒 10 的周向上的不同位置处的流量值时，能够使计算过程简化。

在本申请的可选实施例中，参见图 7，所述凹口 10N 可以朝向所述导流筒 10 的底部 10B 渐扩。这样，在凹口 10N 通过去除材料获得的情况下，能够使具有凹口 10N 的导流筒 10 更容易制造出。

参见图 8，本申请实施例还提供了一种在直拉法拉制晶棒 R 的过程中使用的拉晶炉 1，所述拉晶炉 1 可以包括根据本申请上述各实施例所述的导流筒 10。

在本申请的可选实施例中，所述拉晶炉 1 还可以包括：

炉体 20，所述炉体 20 限定出炉体空腔 20C；

坩埚 30，所述坩埚 30 设置在所述炉体空腔 20C 中，所述熔体 M 容纳在所述坩埚 30 中。

在本申请的可选实施例中，参见图 8，所述拉晶炉 1 还可以包括加热器 40，所述加热器 40 设置在所述炉体空腔 20C 中并且设置在所述坩埚 30 的外周以对所述坩埚 30 进行加热，从而使容纳在所述坩埚 30 中的固态原料熔化成所述熔体 M。

在本申请的可选实施例中，参见图 8，所述拉晶炉 1 还可以包括保温元件 50，所述保温元件 50 设置在所述炉体 20 的内壁处以抑制所述加热器 40 产生的热量经由所述炉体 20 散失。

除非另外定义，本申请使用的技术术语或者科学术语应当为本实用新型所属领域内具有一般技能的人士所理解的通常意义。本公开中使用的“第一”、“第二”以及类似的词语并不表示任何顺序、数量或者重要性，而只是用来区分不同的组成部分。“包括”或者“包含”等类似的词语意指出现该词前面的元件或者物件涵盖出现在该词后面列举的元件或者物件及其等同，而不排除其他元件或者物件。“连接”或者“相连”等类似的词语并非限定于物理的或者机械的连接，而是可以包括电性的连接，不管是直接的还是间接的。“上”、“下”、“左”、“右”等仅用于表示相对位置关系，当被描述对象的绝对位置改变后，则该相对位置关系也可能相应地改变。

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、一种在直拉法拉制晶棒的过程中使用的导流筒，所述导流筒的底部具有凹口，所述凹口用于通过所述导流筒绕自身的纵向轴线转动使在基准径向上流经熔体的液面的保护性气体的流量发生变化。

2、根据权利要求1所述的导流筒，其中，所述凹口的数量为两个并且在所述导流筒的径向上对置。

3、根据权利要求2所述的导流筒，其中，所述导流筒被设置成使得两个所述凹口之间的连接线与施加至所述熔体的水平磁场平行。

4、根据权利要求2所述的导流筒，其中，所述导流筒被设置成使得两个所述凹口之间的连接线与施加至所述熔体的水平磁场垂直。

5、根据权利要求1至4中任一项所述的导流筒，其中，所述凹口呈矩形。

6、根据权利要求1至4中任一项所述的导流筒，其中，所述凹口朝向所述导流筒的底部渐扩。

7、一种在直拉法拉制晶棒的过程中使用的拉晶炉，所述拉晶炉包括根据权利要求1至6中任一项所述导流筒。

8、根据权利要求7所述的拉晶炉，其中，所述拉晶炉还包括：

炉体，所述炉体限定出炉体空腔；

坩埚，所述坩埚设置在所述炉体空腔中，所述熔体容纳在所述坩埚中。

9、根据权利要求8所述的拉晶炉，其中，所述拉晶炉还包括加热器，所述加热器设置在所述炉体空腔中并且设置在所述坩埚的外周以对所述坩埚进行加热，从而使容纳在所述坩埚中的固态原料熔化成所述熔体。

10、根据权利要求9所述的拉晶炉，其中，所述拉晶炉还包括保温元件，所述保温元件设置在所述炉体的内壁处以抑制所述加热器产生的热量经由所述炉体散失。