[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
C30B 29/06 (2006.01)
C30B 15/00 (2006.01)
C30B 15/14 (2006.01)

[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200810211493.8

[43] 公开日 2009 年 5 月 20 日

[11] 公开号 CN 101435107A

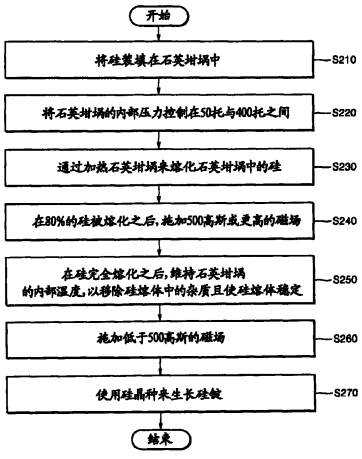
[22] 申请日 2008.9.26
[21] 申请号 200810211493.8
[30] 优先权
[32] 2007.10.4 [33] KR [31] 10-2007-0099677
[71] 申请人 硅得荣株式会社
地址 韩国庆尚北道龟尾市临洙洞 274
[72] 发明人 黄晟河 崔日洙 金尚熹
[74] 专利代理机构 北京中原华和知识产权代理有限责任公司
代理人 寿 宁 张华辉
权利要求书 2 页 说明书 8 页 附图 7 页

[54] 发明名称

用于生长硅锭的方法

[57] 摘要

本发明提供一种用于生长硅锭的方法。根据示范性方法，所述方法包含：将硅装填在石英坩埚中；通过加热所述石英坩埚和在所述石英坩埚中施加 500 高斯或更高的磁场来使所述硅熔化；以及从所述熔化的硅生长单晶硅锭，同时在所述石英坩埚中施加低于 500 高斯的磁场。因此，通过适当地控制所述石英坩埚的内部压力或所述磁场的施加时间和量值，有可能容易地加速所述石英坩埚的内部表面的结晶化，从而防止晶体的剥落。因此，有可能生长具有良好特性的硅锭。



1、一种用于生长硅锭的方法，其特征在于所述方法包括：

将硅装填在石英坩埚中；

通过加热所述石英坩埚和在所述石英坩埚中施加 500 高斯或更高的磁场来使所述硅熔化；以及

从所述熔化的硅生长单晶硅锭，同时在所述石英坩埚中施加低于 500 高斯的磁场。

2、根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于所述石英坩埚的内部压力被控制在 50 托与 400 托之间。

3、根据权利要求 2 所述的方法，其特征在于与在所述单晶硅锭的所述生长期间相比，在所述硅的所述熔化期间，所述石英坩埚的所述内部压力较高。

4、根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于所述磁场包括勾形磁场、平行于所述石英坩埚的底表面的磁场或垂直于所述石英坩埚的所述底表面的磁场。

5、一种用于生长硅锭的方法，其特征在于所述方法包括：

将硅装填在石英坩埚中；

通过加热所述石英坩埚和在 80％的所述硅被熔化之前施加低于 500 高斯的磁场并在 80％的所述硅被熔化之后施加 500 高斯或更高的磁场来使所述硅熔化；以及

从所述熔化的硅生长单晶硅锭，同时在所述石英坩埚中施加低于 500 高斯的磁场。

6、根据权利要求 5 所述的方法，其特征在于所述石英坩埚的内部压力被控制在 50 托与 400 托之间。

7、根据权利要求 6 所述的方法，其特征在于与在所述单晶硅锭的所述生长期间相比，在所述硅的所述熔化期间，所述石英坩埚的所述内部压力较高。

8、根据权利要求 5 所述的方法，其特征在于所述磁场包括勾形磁场、平行于所述石英坩埚的底表面的磁场或垂直于所述石英坩埚的所述底表面的磁场。

9、一种用于生长硅锭的方法，其特征在于所述方法包括：

将硅装填在石英坩埚中；

通过加热所述石英坩埚和使所述石英坩埚的内部压力维持在 50 托到 400 托的范围内的第一压力来使所述硅熔化；以及

从所述熔化的硅生长单晶硅锭，且使所述石英坩埚的所述内部压力维

持在 50 托到 400 托的范围内的第二压力。

10、根据权利要求 9 所述的方法，其特征在于所述第一压力高于所述第二压力。

用于生长硅锭的方法

技术领域

本发明涉及一种半导体制造工艺,且更明确地说,涉及半导体芯片制造工艺。

背景技术

通常通过使用切克劳斯基（Czochralski）工艺生长单晶硅来制造硅(Si)芯片。切克劳斯基工艺是一种用于通过以下方式来生长单晶硅的方法:使多晶硅熔化在石英坩埚中以制备硅熔体，将安装在缆线上的硅籽晶浸渍在所述硅熔体中，缓慢地上拉所述缆线同时旋转所述缆线以获得圆柱形单晶硅块。此单晶硅块被称为硅锭。通过垂直于晶体生长方向切割所述硅锭的切片、移除在切片期间所造成的残损的研磨以及向粗糙的芯片表面提供较高平整度的抛光来制备硅芯片。因此，为了制造高质量芯片，生长高质量硅锭是最重要的。

如上文所述，为了使用切克劳斯基工艺来生长硅锭，需要将多晶硅熔化在石英坩埚中,且因此需要将含有多晶硅的石英坩埚加热至较高温度。最初,石英坩埚为非晶相（即，玻璃相）。然而，在热力学上，石英坩埚可能在用于生长单晶硅的温度下经历从非晶相（玻璃）到晶相(方晶石)的相变。也就是说，在制造单晶硅锭期间，石英坩埚可能经历部分结晶化。石英坩埚的结晶化通常发生在表面能较高且材料扩散比在石英坩埚内部容易的表面上，尤其是在石英坩埚接触硅熔体的内表面上。

在硅的熔化和核的生长期间的特定时间处通过成核作用来执行石英坩埚的内表面的结晶化。成核作用发生在特定时间处,且接着不再发生。也就是说，在成核作用时间之后,石英坩埚的内表面的结晶化仅通过核的生长来执行。因此，因为结晶化不是均匀地在石英坩埚的内表面上执行,所以结晶化部分与非结晶化部分之间的结构差异可能导致结晶化部分的剥落。剥落的晶体难以熔化，且因此它们不溶解在硅熔体中，而是通过对流而漂流在硅熔体中。因此，剥落的晶体可能导致多结晶化,从而减少硅锭的产量。

因此,为了改进硅锭的生产率，应防止石英坩埚内表面的剥落。为此,正在研究一种用于防止石英坩埚内表面的结晶化的方法以及一种用于加速石英坩埚内表面的结晶化的方法。上述两种方法经设计以防止由玻璃相与晶体相之间的结构差异造成的剥落。通常从制备坩埚的阶段应用上述两种方法。也就是说，需要额外工艺以向石英坩埚提供特定内表面。这可能会

增加工艺成本。此外，即使石英坩埚已经具备所需的特定内表面，所述特定内表面也可能不会根据单晶体生长过程的变化而良好地起作用。

发明内容

本发明的目的在于，克服现有的生长硅锭的方法存在的缺陷，而提供一种新的用于生长硅锭的方法，所要解决的技术问题是使其可在无需额外工艺的情况下防止石英坩埚内表面的剥落。

本发明的目的及解决其技术问题是采用以下技术方案来实现的。为达到上述目的，根据示范性实施例，一种用于生长硅锭的方法包含：将硅装填在石英坩埚中；通过加热石英坩埚和在石英坩埚中施加 500 高斯或更高的磁场来使所述硅熔化；以及从所述熔化的硅生长单晶硅锭，同时在石英坩埚中施加低于 500 高斯的磁场。

本发明的目的及解决其技术问题还采用以下的技术方案来实现。为达到上述目的，根据另一示范性实施例，一种用于生长硅锭的方法包含：将硅装填在石英坩埚中；通过加热石英坩埚和在 80％的硅熔化之前施加低于 500 高斯的磁场并在 80％的硅熔化之后施加 500 高斯或更高的磁场来使硅熔化；以及从所述熔化的硅生长单晶硅锭，同时在石英坩埚中施加低于 500 高斯的磁场。

本发明的目的及解决其技术问题另外还采用以下技术方案来实现。为达到上述目的，根据又一示范性实施例，一种用于生长硅锭的方法包含：将硅装填在石英坩埚中；通过加热石英坩埚和使石英坩埚的内部压力维持在 50 托到 400 托的范围内的第一压力来熔化所述硅；以及从所述熔化的硅生长单晶硅锭，且使石英坩埚的内部压力维持在 50 托到 400 托的范围内的第二压力。

本发明与现有技术相比具有明显的优点和有益效果。借由上述技术方案，本发明用于生长硅锭的方法至少具有下列优点及有益效果：

根据示范性实施例，有可能通过在熔化硅期间和生长硅锭期间适当地控制石英坩埚的内部压力以及磁场的施加时间和量值来容易地加速石英坩埚的内表面的结晶化。因此，在制备石英坩埚期间不需要额外的工艺。另外，因为石英坩埚的内表面的结晶化得到加速，所以可防止石英坩埚的剥落。因此，有可能改进硅锭的特性和产量。

综上所述，本发明本发明提供一种用于生长硅锭的方法。根据示范性方法，所述方法包含：将硅装填在石英坩埚中；通过加热所述石英坩埚和在所述石英坩埚中施加 500 高斯或更高的磁场来使所述硅熔化；以及从所述熔化的硅生长单晶硅锭，同时在所述石英坩埚中施加低于 500 高斯的磁场。因此，通过适当地控制所述石英坩埚的内部压力或所述磁场的施加时间和

量值，有可能容易地加速所述石英坩埚的内部表面的结晶,从而防止晶体的剥落。因此，有可能生长具有良好特性的硅锭。

上述说明仅是本发明技术方案的概述，为了能够更清楚了解本发明的技术手段，而可依照说明书的内容予以实施，并且为了让本发明的上述和其他目的、特征和优点能够更明显易懂，以下特举较佳实施例，并配合附图,详细说明如下。

附图说明

图 1 是根据示范性实施例的用于生长硅锭的方法中所使用的硅锭生长设备的示意性截面图。

图 2 是说明根据示范性实施例的用于生长硅锭的方法的流程图。

图 3A 到图 3C 是说明根据示范性实施例的用于生长硅锭的方法中用于熔化石英坩埚中的硅的操作的示意性截面图。

图 4 是说明根据示范性实施例的用于生长硅锭的方法中硅熔体中的氧对石英坩埚的结晶化的影响的示意性截面图。

图 5A 说明在根据示范性实施例的用于生长硅锭的方法中当施加低于 500 高斯的磁场时对流形式的模拟结果，且图 5B 说明在所述方法中施加高于 500 高斯的磁场时对流形式的模拟结果。

图 6 说明在根据示范性实施例的用于生长硅锭的方法中施加磁场时的热转移过程。

图 7A 到图 7C 是说明在根据示范性实施例的用于生长硅锭的方法中石英坩埚中的剥落量的照片。

具体实施方式

在下文中，将参看附图详细描述特定实施例。然而，本发明可以不同形式实施，且不应被解释为局限于本文所陈述的实施例。而是，提供这些实施例是为了使本发明将是彻底且完整的，且将向所属领域的技术人员全面传达本发明的范围。在图中，为了说明清楚起见夸示元件的形状,且相同参考标号始终指代相同元件。

图 1 是根据示范性实施例的用于生长硅锭的方法中所使用的硅锭生长设备的示意性截面图。

参看图 1 所示，硅锭生长设备 100 包含主体 110、石英坩埚 120、支撑件 125、上部电磁体 130、下部电磁体 140、加热器 150、绝热壁 160 以及缆线 170。

上述的主体 110 包括：形成在其中的接纳部分；以及出口 111,其安置在主体 110 的上部中以用于拉出所生长的硅锭 180。主体 110 进一步包含：

进气口（图未示出），其用于将惰性气体（例如氩气（Ar）、氖气（Ne）和氮气（N_2））供应到硅熔体 190；以及出气口 112，其用于从其排出气体。

将具有接纳部分的该石英坩埚 120 放置在主体 110 中。多晶硅包含在石英坩埚 120 的接纳部分中。当石英坩埚 120 由加热器 150 加热时，多晶硅在石英坩埚 120 中熔化为硅熔体。

上述的支撑件 125 由环绕石英坩埚 120 且固定在旋转轴 126 上的石墨形成。旋转轴 126 由驱动器（图未示出）旋转且上下移动，使得石英坩埚 120 可在旋转的同时向上移动。石英坩埚经由旋转轴 126 上下移动，以使硅锭 180 与硅熔体 190 之间的界面保持在预定高度。

上述的上部电磁体 130 安置在主体 110 外部的上部中，且下部电磁体 140 安置在主体 110 外部的下部中。如果上部电磁体 130 和下部电磁体 140 如图 1 所示那样安置，且向其施加电流或电压，那么在石英坩埚 120 中形成勾形磁场，如由箭头所指示。

上述的加热器 150 形成为圆柱形形状以环绕支撑件 125 的侧表面，两者之间具有预定间隙。加热器 150 可将石英坩埚 120 的内部加热到约 1500 ℃以上，以熔化石英坩埚内部的多晶硅。

上述的绝热壁 160 完全环绕加热器 150 和支撑件 125。绝热壁 160 防止从加热器 150 发射的热量扩散到主体 110 的外表面，从而改进热效率。另外，绝热壁 160 遮蔽主体 110 的外壁使其远离高温辐射，保持主体 110 内部的温度，且维持硅熔体 190 的状态。

上述的缆线 170 通过拉出硅锭 180 的出口 111 延伸到主体 110 的上部。用于旋转和上下移动缆线 170 的驱动器（图未示出）连接到缆线 170 的上端。缆线 170 的下端上安装有硅籽晶，其浸渍到硅熔体 190 中以生长硅锭 180。在硅锭生长期间，驱动器（图未示出）向上拉动缆线 170，同时旋转缆线 170。此处，缆线 170 在与支撑件 120 的旋转相反的方向上旋转。

图 2 是说明根据示范性实施例的用于生长硅锭的方法的流程图。

参看图 1 和图 2，在操作 S210 中，将多晶硅装填在石英坩埚 120 中。一般来说，多晶硅包含块状多晶硅或颗粒多晶硅。还可将掺杂剂与多晶硅一起装填在石英坩埚 120 中。掺杂剂决定所生长的硅锭变成 n 型硅锭还是 p 型硅锭。为了生长 n 型硅锭，可使用磷（P）或锑（Sb）作为掺杂剂。为了生长 p 型硅锭，可使用硼（B）作为掺杂剂。

在操作 S220 中，将石英坩埚 120 的内部压力控制在 50 托与 400 托之间，优选地在 50 托与 100 托之间。可通过经由进气口（未图示）供应惰性气体（例如氩气、氖气和氮气）来控制石英坩埚 120 的内部压力。

在操作 S230 中，由加热器 150 加热石英坩埚 120，以熔化石英坩埚 120 中的硅。

图 3A 到图 3C 是说明根据示范性实施例的用于生长硅锭的方法中用于熔化石英坩埚中的硅的操作 S230 的示意性截面图。如图 3A 中所示，来自加热器 150 的热量集中到石英坩埚 120 中的硅的特定部分 310，使得部分 310 首先被熔化。随着熔化的硅的量增加，第一倒塌(collapse)发生，且熔化的硅从底部开始填充石英坩埚，如图 3B 中所示。随后，如图 3C 中所示，未熔化的硅倒塌且熔化。此处，使用未熔化的硅周围的热硅熔体的热量来熔化未熔化的硅。也就是说，未熔化的硅用于降低硅熔体的温度。因此，除非从加热器 150 供应足够的热量，否则未熔化的硅不会熔化，而是仍维持在固体状态。

表 1 列举石英坩埚 120 的内表面根据石英坩埚 120 的内部压力的结晶化程度。石英坩埚 120 的内表面的结晶化程度由整个过程进行完之后石英坩埚 120 的内部底表面中 5 cm × 5 cm 的面积中未剥落面积的面积分数表示。此处，从硅熔化到硅锭生长，始终将磁场控制为低于 300 高斯。

表 1

	硅熔化期间的压力（托）	硅锭生长期间的压力（托）	未剥落面积的分数（%）
实例 1	≤ 15	≤ 40	26
实例 2	15 ~ 50	50 ~100	74
实例 3	50 ~ 100	50 ~ 100	88
实例 4	≥ 400	≥ 400	-

如表 1 中所说明，当在硅锭生长期间将石英坩埚 120 的内部压力控制在 50 托与 100 托之间（实例 2 和 3）时，石英坩埚 120 的内部表面中未剥落面积的分数为从 74% 到 88%。然而，当将石英坩埚 120 的内部压力控制为低于 40 托（实例 1）时，石英坩埚 120 的内部表面中未剥落面积的分数仅为 26%。尽管表 1 中未绘示，但石英坩埚 120 的内部压力被控制在 100 托与 400 托之间的情况显示与内部压力被控制在 50 托与 100 托之间的情况类似的结果。

从上文所述的结果发现，石英坩埚 120 的内部压力越高，石英坩埚 120 的内部表面中所发生的剥落就越少。这意味着随着石英坩埚 120 的内部压力增加，在石英坩埚 120 的内部表面中加速结晶化。这可能是由于硅熔体中的氧浓度引起的。图 4 中绘示硅熔体中的氧对石英坩埚的结晶化的影响。

请参阅图 4 所示，当硅熔化时，不可避免地产生氧。因此，在硅熔体 410 内部形成富氧层 420。当石英坩埚的内部表面 440 与富氧层 420 起反应时，方晶石相的生长可得到加速。同时，随着石英坩埚 120 的内部压力增加，防止氧从硅熔体发射出来。因此，随着石英坩埚 120 的内部压力增加，石英坩埚的内表面 440 的结晶化得到加速。

因此，为了使更多的氧保留在石英坩埚 120 中的硅熔体 190 中，优选的

是增加石英坩埚120的内部压力。更优选的是将内部压力控制在50托以上，如表1中所示。如果石英坩埚120的内部压力大于400托，如实例4中所述，那么可能在锭生长设备100内部显著增加污染物。因此，优选地将石英坩埚120的内部压力控制在从50托到400托，且更优选地从50托到100托。

明确地说，因为硅的熔化不是用于生长单晶体的工艺，所以在从50托到400托，优选地从50托到100托的压力下，不可能产生多晶体或者氧化物不可能产生缺陷。因此，优选的是与在单晶硅的生长（其将在稍后描述）期间相比，在硅的熔化期间将压力控制为较高。

请再参阅图2所示，在操作S240中，在硅的80％或更多熔化之后，在石英坩埚120中施加高于500高斯的磁场。此处，使用勾形磁场，其通过将电流施加到上部电磁体130和下部电磁体140而产生，如图1中所示。通过在熔化硅的同时施加磁场，有可能减少熔体内部的对流。明确地说，如果所施加的磁场高于500高斯，那么对流显著减少，其在图5A和图5B中绘示。

图5A说明在根据示范性实施例的用于生长硅锭的方法中施加低于500高斯的磁场时的对流形式的模拟结果，且图5B说明在所述方法中施加高于500高斯的磁场时的对流形式的模拟结果。

对石英坩埚120中的硅熔体510a和510b的谨慎研究显示当施加低于500高斯的磁场时，硅熔体510a经历活跃的对流（图5A），而当磁场增加到高于500高斯时，硅熔体510b经历减小的对流（图5B）。也就是说，当施加500高斯或更高的磁场时，硅熔体中的对流减少，从而导致硅熔体中的热量转移较弱。

如上文所述，当施加500高斯或更高的磁场时，电子630通过磁场而偏离热量转移路径620，如图6中所示。这使得硅熔体中的热量转移较为困难。也就是说，经由支撑件125和石英坩埚120从加热器150到硅熔体510b的热量转移得到减少。因此，与典型情况相比，硅熔体510b的外围部分（即，硅熔体510b在石英坩埚120附近的部分）的温度得到增加，这可加速石英坩埚120的内表面的结晶化。然而，当所施加的磁场低于500高斯时，此影响不明显，且因此对石英坩埚120的内表面的结晶化无显著影响。

当施加500高斯或更高的磁场时，在硅熔体510b中防止产生对流，且因此来自加热器150的热量不被有效地转移到多晶硅和硅熔体510b。因此，硅的熔化花费额外的约两个小时到约五个小时。因此，如果从熔化的初始阶段开始施加500高斯或更高的磁场，那么用于熔化硅的时间会增加，且因此总工艺时间也会增加。另外，因为在硅熔化的初始阶段中，局部施加热量以使温度快速地从室温增加到约1,500℃或更高，所以硅熔化时间的增加可能导致石英坩埚120变形。因此，优选的是在80％或更多的硅被熔化之后，施加500高斯或更高的磁场，而不是从硅熔化的初始阶段开始施加500

高斯或更高的磁场。当 80％或更多的硅被熔化时，未熔化的硅漂浮在硅熔体的表面上。因此，即使施加 500 高斯或更高的磁场，熔化时间也不会显著增加。

表 2 列举石英坩埚的内表面根据石英坩埚 120 中所施加的磁场的量值的结晶化程度。石英坩埚 120 的内表面的结晶化程度由进行整个工艺之后石英坩埚 120 的内部底表面中的 5 cm × 5 cm 面积中未剥落面积的面积分数表示，如上文所述。此处，将石英坩埚内部的压力控制在 10 托与 50 托之间。在硅锭生长期间，施加 300 高斯或更低的磁场。

表 2

	硅熔化的初始阶段处的磁场（高斯）	80％的硅被熔化之后的磁场（高斯）	未剥落面积的分数（％）
实例 5	≤ 300	≤ 300	26
实例 6	< 500	≥ 500	100
实例 7	≥ 500	≥ 500	74

如表 2 中所列举，当从硅熔化的初始阶段开始一贯施加 300 高斯或更低的磁场时（实例 5），未剥落面积的分数较低（例如，26％），且因此石英坩埚 120 的内表面的结晶化未得到加速。然而，当在 80％的硅被熔化之后施加 500 高斯或更高的磁场时（实例 6 和实例 7），未剥落面积的分数与实例 5 相比显著增加。这意味着 500 高斯或更高的磁场防止产生对流，且因此加速了石英坩埚 120 的内表面的结晶化，如上文所述。

然而，如果从硅熔化的初始阶段开始施加 500 高斯或更高的磁场，那么总工艺时间增加，如上文所述。因此，更优选的是，如实例 6 中所列举，在硅熔化的初始阶段中施加低于 500 高斯的磁场，且在 80％的硅被熔化之后施加 500 高斯或更高的磁场。当磁场高于 500 高斯，那么不管其为 500 高斯还是 1000 高斯，磁场的影响都不再得到改进。因此，磁场可具有锭生长设备 100 可允许的任何量值范围。然而，因为随着磁场的量值增加，工艺成本也增加，所以优选的是施加可防止石英坩埚 120 的剥落的最低磁场。

为了确定磁场的影响，在从 10 托到 50 托的典型压力下执行表 2 中的实例 5 到实例 7。然而，将内部压力控制在 50 托与 400 托之间，优选地在 50 托与 100 托之间，对晶体生长来说是有利的。这是因为照那样的话，有可能增加石英坩埚 120 的内表面处的氧浓度，以及石英坩埚 120 的内表面与硅熔体的中心之间的温度差。

图 7A 到图 7C 分别是大小为 5 cm × 5 cm 的实例 6、实例 3 和实例 5 的

样本的照片。在实例 6 的实验条件下，未观察到剥落，如图 7A 中所示。在实例 3 的实验条件下，在特定面积 710 中观察到剥落，所述特定面积 710 对应于总面积的 12％，如图 7B 中所示。相反，在实例 5 的实验条件下，大部分的面积 720 剥落掉。

在操作 S250 中，在熔化了所有硅之后，石英坩埚 120 的内部温度保持恒定，以移除杂质，且使硅熔体 190 稳定。

此后，在操作 S260 中，在石英坩埚 120 中施加低于 500 高斯的磁场。在硅锭生长期间，如果施加 500 高斯或更高的磁场，那么硅锭的生长速率和直径控制受到很大影响，且因此难以生长所需的单晶体。因此，在操作 S250 之后，使磁场减小到低于 500 高斯，优选地低于 300 高斯。然而，将压力维持在 50 托到 400 托，优选地在 50 托到 100 托。

尽管上文已描述了在石英坩埚中施加勾形磁场的情况，但本发明并不限于此。举例来说，本发明还可应用于平行或垂直于石英坩埚 120 的底表面而施加磁场的情况。

此后，在操作 S270中，通过执行用于使连接到缆线170的硅籽晶与硅熔体接触的浸渍工艺、用于生长单晶硅锭180的成颈工艺、成肩工艺以及用于使所生长的硅锭180与硅熔体190分离的成尾工艺来制备硅锭180。

根据示范性实施例，有可能通过在熔化硅期间和生长硅锭期间适当地控制石英坩埚的内部压力以及磁场的施加时间和量值来容易地加速石英坩埚的内表面的结晶化。因此，在制备石英坩埚期间不需要额外的工艺。另外，因为石英坩埚的内表面的结晶化得到加速，所以可防止石英坩埚的剥落。因此，有可能改进硅锭的特性和产量。

以上所述，仅是本发明的较佳实施例而已，并非对本发明作任何形式上的限制，虽然本发明已以较佳实施例揭露如上，然而并非用以限定本发明，任何熟悉本专业的技术人员，在不脱离本发明技术方案范围内，当可利用上述揭示的技术内容作出些许更动或修饰为等同变化的等效实施例，但凡是未脱离本发明技术方案内容，依据本发明的技术实质对以上实施例所作的任何简单修改、等同变化与修饰，均仍属于本发明技术方案的范围内。

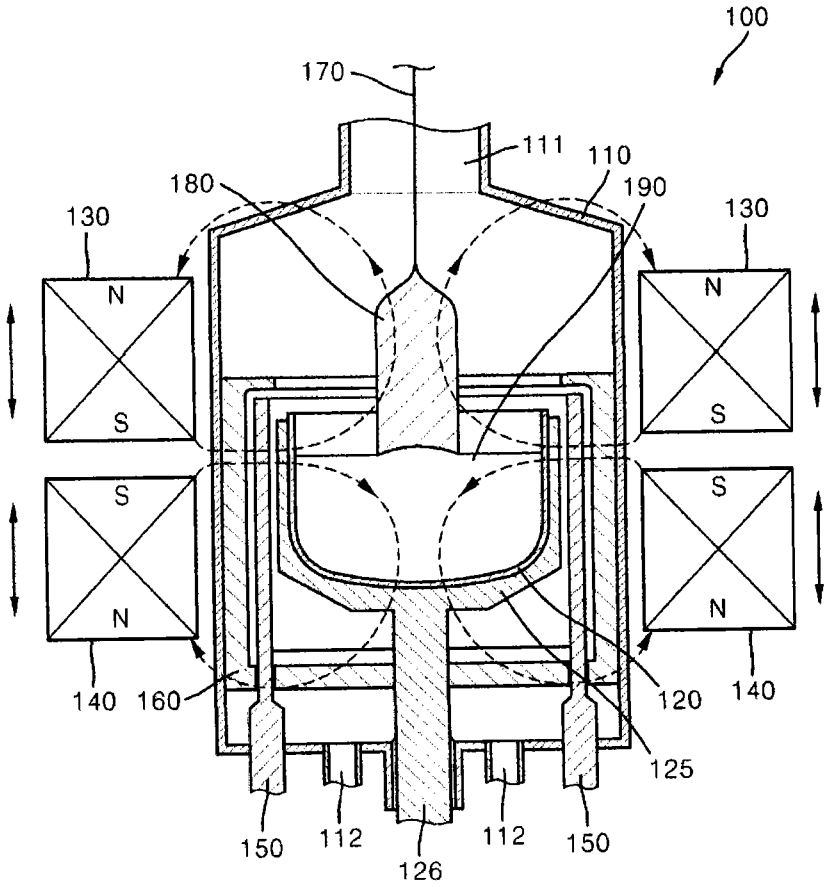

100
170
111
110
180
190
130
130
N
S
S
N
S
N
S
N
140
160
120
140
125
150
112
126
112
150

图1

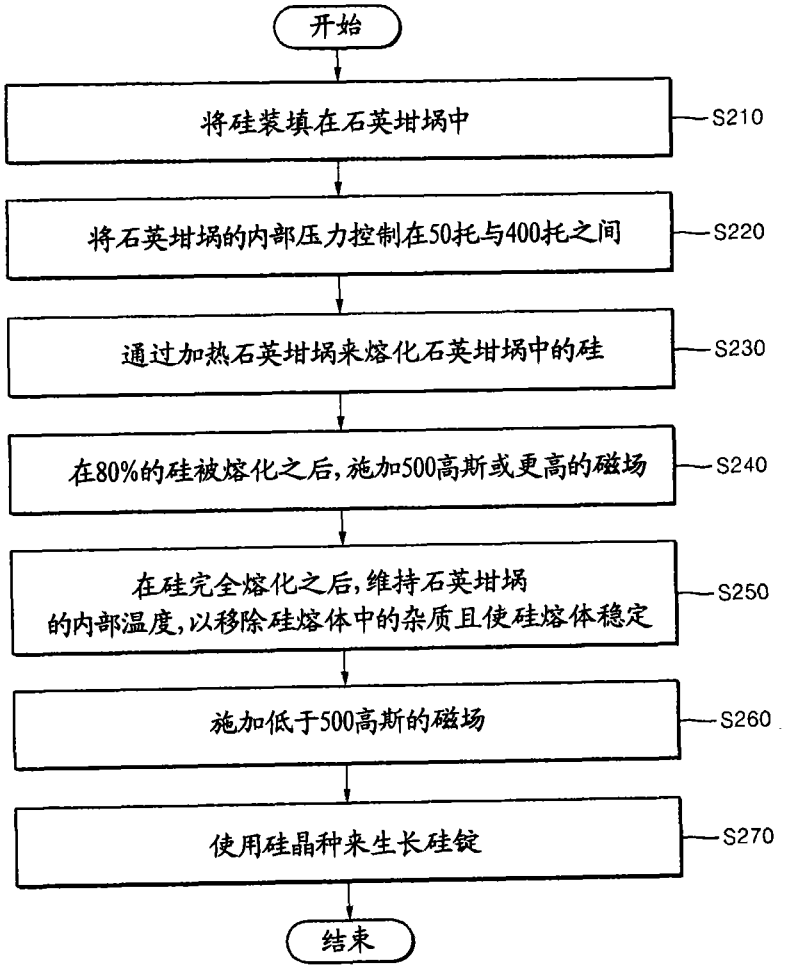

开始
将硅装填在石英坩埚中
S210
将石英坩埚的内部压力控制在50托与400托之间
S220
通过加热石英坩埚来熔化石英坩埚中的硅
S230
在80%的硅被熔化之后，施加500高斯或更高的磁场
S240
在硅完全熔化之后，维持石英坩埚
的内部温度，以移除硅熔体中的杂质且使硅熔体稳定
S250
施加低于500高斯的磁场
S260
使用硅晶种来生长硅锭
S270
结束

图2

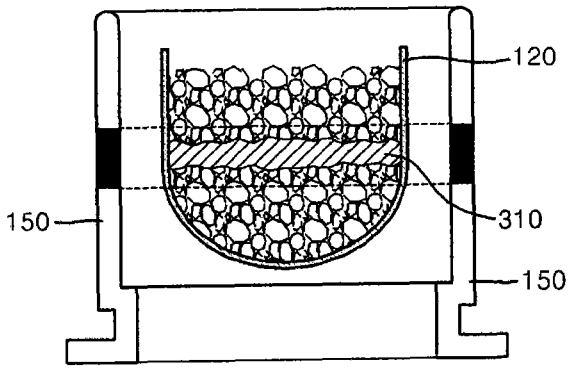


图3A

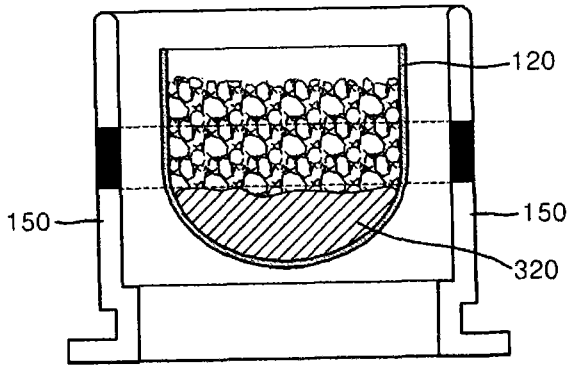


图3B

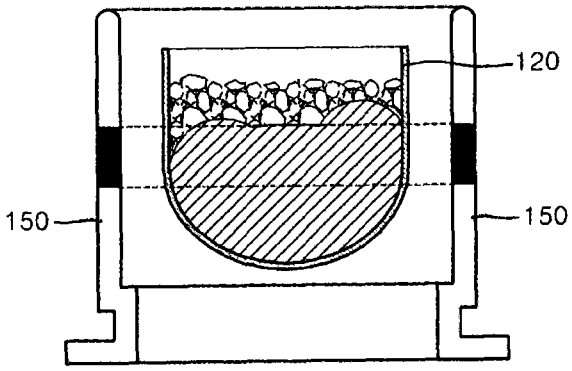


图3C

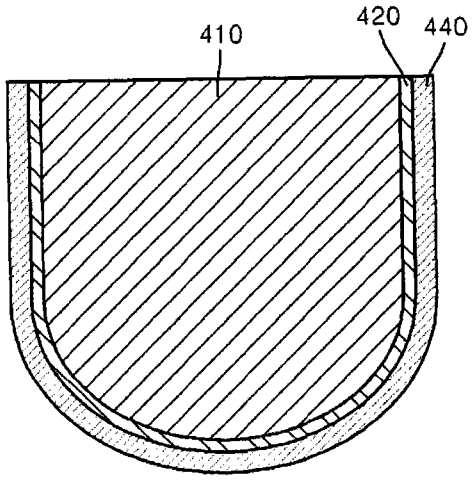


图4

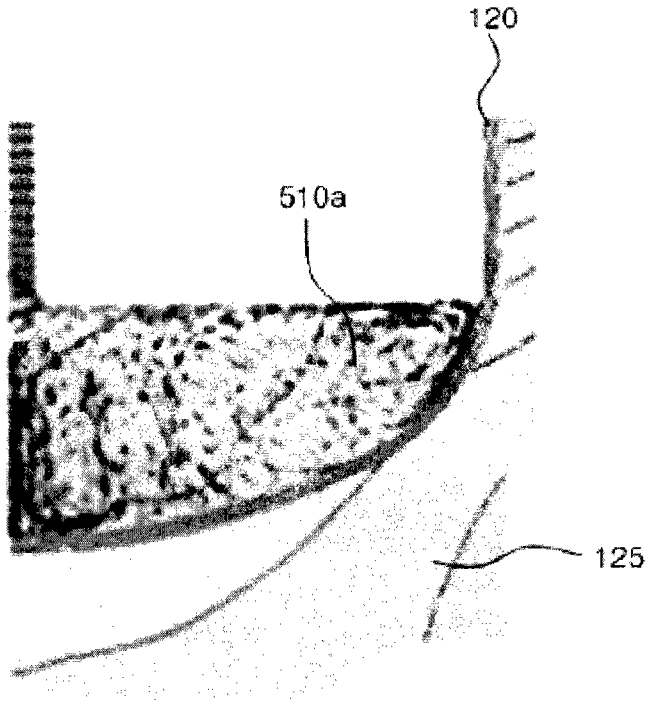


图5A

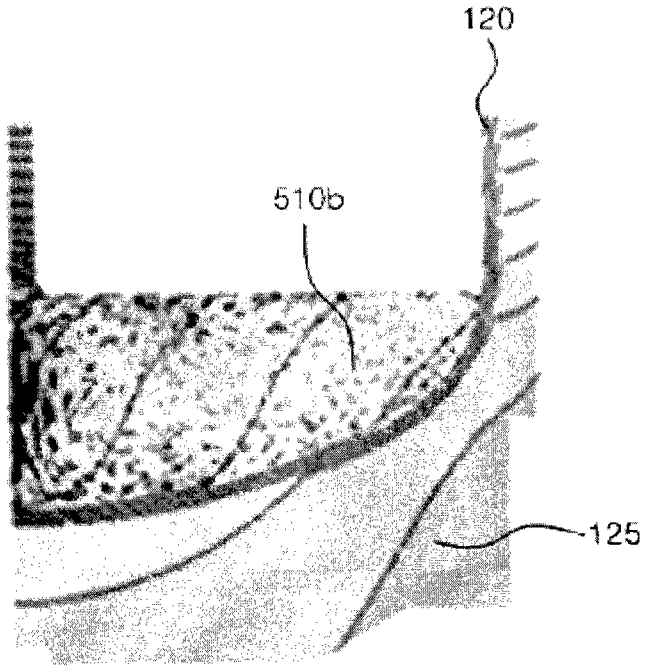


图5B

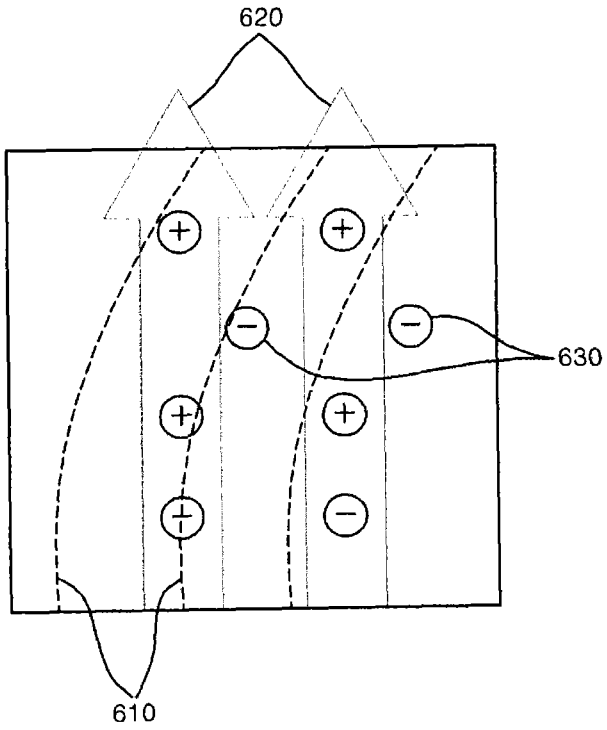


图6

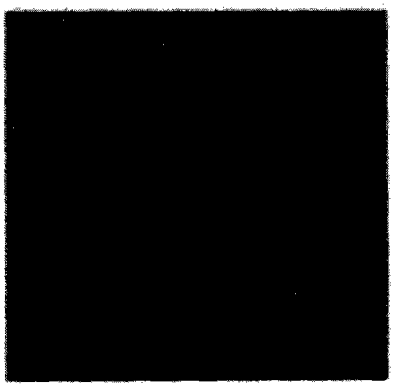


图7A

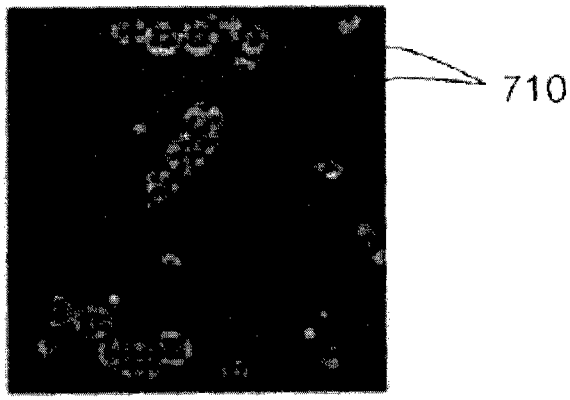


图7B

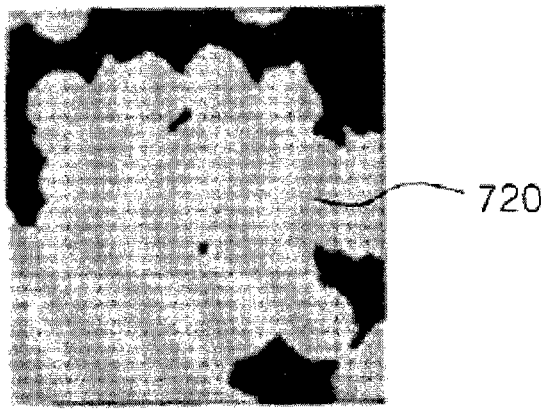


图7C