

氧含量可控的单晶硅和硅晶圆、单晶硅生长方法及系统

相关申请的交叉引用

本公开主张在 2024 年 08 月 29 日在中国提交的中国专利申请 No.202411201430.X 的优先权，其全部内容通过引用包含于此。

技术领域

本申请涉及硅片制造技术领域，尤其涉及氧含量可控的单晶硅和硅晶圆、单晶硅生长方法及系统。

背景技术

在半导体制造领域，单晶硅的生产是制作高性能电子器件的基础。单晶硅生长技术，特别是通过直拉法（如柯克拉尔法或 Czochralski 法）生长单晶硅的技术，是半导体生产中的重要步骤。

一般来说，单晶硅头部的氧含量较高，而尾部的氧含量较低。这种现象的可能原因是随着晶体的生长，石英坩埚与硅熔体的接触面积逐渐减少，炉体周边热环境发生变化以及硅熔体流动变化，三者共同导致氧元素进入熔体的量发生变化。在单晶硅的生长过程中，晶体生长异常引起的回熔和加热时间过长，可能会对单晶硅中的氧含量产生影响，不能满足客户的需求和产品规格，造成产品产能下降和良率损失。

基于此，本申请提供了氧含量可控的单晶硅和硅晶圆、单晶硅生长方法及系统，以改进相关技术。

发明内容

本申请的目的在于提供氧含量可控的单晶硅和硅晶圆、单晶硅生长方法及系统，能够监控石英坩埚的实际加热时长，并据此调整控制参数集及其配置参数值，控制氧元素在单晶硅中的分布。

本申请的目的采用以下技术方案实现：

第一方面，本申请提供了一种单晶硅生长方法，所述方法包括：

在单晶硅的生长过程中，获取石英坩埚的实际加热时长；

根据所述实际加热时长和目标加热时长之间的差值所在的差值范围，确定控制参

数集及其配置参数值；所述控制参数集包括晶体转速和/或坩埚转速，不同的差值范围对应的控制参数集不同；

基于所述控制参数集的配置参数值，自动配置相应的控制参数，以使所述单晶硅的氧含量和目标氧含量之间的氧含量偏差为-10%~10%。

在一些实施例中，确定所述控制参数集的过程包括：

在所述差值所在的差值范围为第一类差值范围的情况下，将晶体转速作为所述控制参数集中的控制参数；

在所述差值所在的差值范围为第二类差值范围的情况下，将晶体转速和坩埚转速作为所述控制参数集中的控制参数；所述第二类差值范围的最小值不小于所述第一类差值范围的最大值。

在一些实施例中，确定所述控制参数集的配置参数值的过程包括：

针对每个控制参数，执行以下处理：

基于所述差值所在的差值范围，确定所述控制参数的配置参数值与目标参数值之间的对应关系；不同的差值范围对应的对应关系不同；

根据所述控制参数的目标参数值和所述对应关系，计算得到所述控制参数的配置参数值。

在一些实施例中，所述对应关系采用对应公式或者对应模型表示。

在一些实施例中，所述对应关系采用对应公式表示，所述对应公式中的一个或多个补偿系数根据所述差值所在的差值范围确定。

在一些实施例中，所述控制参数的目标参数值基于单晶硅长度所在的长度范围确定。

在一些实施例中，所述方法还包括：

基于单晶硅长度所在的长度范围，将所述单晶硅的生长过程划分为多个生长阶段；在每个生长阶段中，测试所述单晶硅的氧含量，并计算得到所述单晶硅的氧含量和目标氧含量之间的氧含量偏差。

第二方面，本申请提供了一种单晶硅生长系统，包括：

控制模块，用于执行上述任一项方法；

加热模块，用于对容纳原料的石英坩埚进行加热；

晶体旋转模块，用于旋转单晶硅；

坩埚旋转模块，用于旋转所述石英坩埚。

在一些实施例中，所述控制模块包括：

数据处理单元，用于在单晶硅的生长过程中，获取所述石英坩埚的实际加热时长；根据所述实际加热时长和目标加热时长之间的差值所在的差值范围，确定控制参数集及其配置参数值；所述控制参数集包括所述晶体旋转模块的晶体转速和/或所述坩埚旋转模块的坩埚转速，不同的差值范围对应的控制参数集不同；

系统控制单元，用于基于所述控制参数集的配置参数值，自动配置相应的控制参数，以使所述单晶硅的氧含量和目标氧含量之间的氧含量偏差为-10%~10%。

在一些实施例中，所述数据处理单元采用以下方式确定所述控制参数集：

在所述差值所在的差值范围为第一类差值范围的情况下，将晶体转速作为所述控制参数集中的控制参数；

在所述差值所在的差值范围为第二类差值范围的情况下，将晶体转速和坩埚转速作为所述控制参数集中的控制参数；所述第二类差值范围的最小值不小于所述第一类差值范围的最大值。

第三方面，本申请还提供了一种氧含量可控的单晶硅，所述单晶硅的氧含量和目标氧含量之间的氧含量偏差为-10%~10%，所述单晶硅采用上述任一项方法制备得到，或者采用上述任一项系统制备得到。

第四方面，本申请还提供了一种氧含量可控的硅晶圆，所述硅晶圆采用单晶硅加工得到，所述单晶硅的氧含量和目标氧含量之间的氧含量偏差为-10%~10%，所述单晶硅采用上述任一项方法制备得到，或者采用上述任一项系统制备得到。

本申请提供了氧含量可控的单晶硅和硅晶圆、单晶硅生长方法及系统，在单晶硅生长过程中监控石英坩埚的实际加热时长，并计算其与目标加热时长之间的差值。根据该差值所在的差值范围，确定相应的控制参数集及其配置参数值，包括晶体转速和/或坩埚转速。不同的差值范围对应不同的控制参数集及其配置参数值，基于这些控制参数的配置参数值自动调整相应的控制参数，从而调节单晶硅的生长条件，确保单晶硅的氧含量和目标氧含量之间的氧含量偏差为-10%~10%。本申请采用自动增益控制逻辑来控制晶体生长过程中的控制参数。通过监控实际加热时长与目标加热时长的差值，采用梯级管理方式，分阶段自动调整晶体转速、坩埚转速等控制参数，有效控制氧元素在单晶硅中的分布，使得不同加热时长产出的晶体氧含量基本一致，保证产品质量。其次，通过精确控制控制参数，可以减少晶体生长异常和石英坩埚加热时间过长对单晶硅氧含量的影响，减少晶体生长过程中的波动和缺陷，提高晶体的结构完

整性和电性能，从而提高单晶硅的产品质量。自动化控制减少了人为干预的需要以及人为操作的不确定性，提高了生产过程的稳定性和一致性，减少了调整和修正时间，提升了生产效率。采用实时监控和动态调整方式，可以灵活应对单因素和多因素变量变化，提供更多的优化选择，适应生产需求和生产条件的不同变化。

附图说明

下面结合说明书附图和具体实施方式进一步说明本申请。

图1是本申请实施例提供的一种单晶硅生长系统的结构示意图。

图2是本申请实施例提供的一种单晶硅生长方法的流程示意图。

图3是本申请实施例提供的另一种单晶硅生长方法的流程示意图。

图中：1、加热模块；2、坩埚旋转模块；3、数据处理单元；4、系统控制单元；5、晶体旋转模块。

具体实施方式

下面将结合本申请中的附图，对本申请实施方式中的技术方案进行清楚、完整的描述，显然，所描述的实施方式仅仅是本申请一部分实施方式，而不是全部的实施方式。基于本申请中的实施方式，本领域技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施方式，都属于本申请保护的范围。

在本申请实施方式的描述中，需要理解的是，术语“第一”、“第二”仅用于描述目的，而不能理解为指示或暗示相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量。由此，限定有“第一”、“第二”的特征可以明示或者隐含地包括一个或者更多个所述特征。在本申请实施方式的描述中，“多个”的含义是两个或两个以上，除非另有明确具体的限定。

单晶硅生长过程例如包括装料、熔料、引晶、缩颈、放肩、转肩、等径生长和收尾等。通常情况下，单晶硅中的氧的主要来源是石英坩埚，单晶硅的生长通常使用石英坩埚（ SiO_2 ），在高温下，石英坩埚与硅熔体反应，生成 SiO 气体， SiO 气体进一步溶解在硅熔体中，随着晶体的生长，硅熔体与石英坩埚的接触面积逐渐减少、炉体周边环境发生变化以及硅熔体流动变化，三者引起氧元素进入熔体的量发生变化，因此单晶硅头部的氧含量高而尾部氧含量低。另外，由于多次的晶体生长异常引起的回熔和加热时间过长也会导致晶体最终生长结束后氧含量轴向整体降低很多，不能达

到特定需求和产品规格，造成一定的产品产能和良率损失。

具体来说，在晶体生长过程中，随着拉晶工艺的进行，硅熔体与石英坩埚的接触面积逐渐减少，因此总体呈现单晶硅头部的氧含量高而尾部氧含量低的现象，进一步地，在晶体生长异常的情况下采用的回熔和加热时间过长也会对单晶硅的氧含量产生影响。

首先，晶体生长异常的情况下采取回熔的操作以确保晶体品质并减少损失，但由此会引起晶体中氧含量的重新分布。根据氧在硅中的偏析系数 (k) 小于 1，可知在晶体生长过程中，氧在液相中的扩散速度比在固相中快，氧更容易留在熔体中而不是进入晶体中。回熔操作会导致氧从固相重新进入液相后，在熔体中的氧含量经过再分布，下一次生长过程中，由于偏析系数的影响，氧更倾向于留在熔体中，因此新生长的晶体中氧含量会进一步降低，因此，晶体重新生长后晶体中的氧含量降低。

其次，氧在硅熔体中的溶解度和扩散系数较高，能够很好地溶解在高温的硅熔体并且能够迅速在硅熔体中达到均匀分布状态。也就是说，在回熔操作过程中，重新进入熔体的氧会迅速在熔体中均匀分布，由于扩散作用，这些氧重新分布在整个熔体中，使得熔体中的氧含量在短时间内增加，并且由于均匀分布，氧含量相对降低。

此外，来自石英坩埚的氧在高温下以 SiO 气体形式存在，有 98% 氧会被氩气气流带走，只有 2% 的氧以 SiO 气体形式进一步溶解在硅熔体中，进入晶体中。而且加热时间过长会影响氧含量的分布和总体水平，加热时间过长可能导致氧的过度挥发，特别是在高温区域，氧会从晶体表面逸出，从而降低整体氧含量，而晶体重新生长时对应的氧也会随着氩气气流带走，进一步导致进入溶液的氧减少，从而导致再次生长的晶体内部氧含量进一步降低，以及长时间的高温会促使氧在晶体内重新分布，使得部分区域氧含量降低。

下面将对本申请的实施方式的具体说明。

在相关的单晶硅生长方法中，当实际加热时长超过目标加热时长时，可能导致晶体中氧含量分布不均匀，特别是轴向整体氧含量较低，难以满足客户的需求和产品规格。相关技术难以准确调整相关控制参数，导致产品质量和生产效率下降。因此，亟需一种改进的单晶硅生长方法，通过自动调节控制参数，优化氧含量的分布，确保单晶硅的产品质量。

参见图 1 至图 3，图 1 是本申请实施例提供的一种单晶硅生长系统的结构示意图，图 2 是本申请实施例提供的一种单晶硅生长方法的流程示意图，图 3 是本申请实施例

提供的另一种单晶硅生长方法的流程示意图。

为了改进相关技术，如图 2 所示，本申请实施例提供了一种单晶硅生长方法，所述方法包括步骤 S101~S103。

步骤 S101：在单晶硅的生长过程中，获取石英坩埚的实际加热时长。

步骤 S102：根据所述实际加热时长和目标加热时长之间的差值所在的差值范围，确定控制参数集及其配置参数值；所述控制参数集包括晶体转速和/或坩埚转速，不同的差值范围对应的控制参数集不同。

步骤 S103：基于所述控制参数集的配置参数值，自动配置相应的控制参数，以使所述单晶硅的氧含量和目标氧含量之间的氧含量偏差为-10%~10%。

其中，所述单晶硅的氧含量和目标氧含量之间的氧含量偏差为-10%~10%，例如是指，单晶硅的氧含量和目标氧含量之间的差值（即氧含量偏差）与目标氧含量的比值位于-10%~10%的范围内。

在一些实施例中，上述单晶硅生长方法可以适用于单晶硅生长系统的控制模块，单晶硅生长系统还可以包括加热模块、晶体旋转模块和坩埚旋转模块，加热模块用于对容纳原料的石英坩埚进行加热，晶体旋转模块用于旋转单晶硅，坩埚旋转模块用于旋转石英坩埚。

在一些实施例中，所述控制参数集还可以包括加热器的功率。

石英坩埚的实际加热时长是指在单晶硅生长过程中，加热模块实际运行的时间，即加热模块对石英坩埚进行加热的累计时长。目标加热时长例如是预先设定的加热时长，以确保晶体中的氧含量满足需求。作为示例，目标加热时长可以是连续运行之后，石英坩埚的氧含量没有出现明显降低的最小加热时长。目标加热时长可以通过一次或多次实验得到，也可以通过训练好的预测模型预测得到。控制参数集例如包括用于调节单晶硅生长过程的一个或多个控制参数，可以包括晶体转速和/或坩埚转速。不同的控制参数组合能够优化晶体的生长条件。晶体转速指在单晶硅生长过程中，晶体（即，单晶硅）旋转的速度。坩埚转速指在单晶硅生长过程中，石英坩埚旋转的速度。

通过调整晶体转速和/或坩埚转速，可以优化氧含量在单晶硅中的分布。晶体转速和/或坩埚转速的调整可以改变晶体-熔体界面的形状，进而影响氧在界面处的分布和传输。合理的转速组合可以保持界面稳定，有助于均匀氧含量。不同的转速组合会改变熔体中的对流模式。适当的对流有助于均匀氧含量，防止局部氧浓度过低。由于石英坩埚在高温下与硅熔体的反应使氧进入单晶硅，因此通过调整晶体转速、坩埚转

速等控制参数，可以有效地控制氧含量进入单晶硅的速度和量，确保单晶硅的氧含量和目标氧含量之间的氧含量偏差为-10%~10%。

在单晶硅生长过程中，石英坩埚在高温下与硅熔体的相互作用会产生 SiO 气体，这些气体部分溶解在硅熔体中，并在晶体生长过程中逐步进入晶体内。上述方法通过实时监测石英坩埚的实际加热时长，并将其与目标加热时长进行比较，根据差值确定相应的控制参数集（包括晶体转速和/或坩埚转速），以自动调整生长过程中的控制参数。具体来说，不同的差值范围对应不同的控制参数集。根据实际加热时长与目标加热时长的差值，可以精确调节晶体转速和坩埚转速，以控制 SiO 气体在硅熔体中的溶解和扩散情况。随着晶体生长的推进，石英坩埚与硅熔体的接触面积逐渐减小，同时热环境和硅熔体流动也在变化，这些因素共同影响着氧含量的波动。通过控制参数的调整，可以减少这些波动的影响，使单晶硅的氧含量趋于均匀。在晶体生长异常或需要进行回熔操作时，该方法可以通过精确调控相关的控制参数，重新分配硅熔体中的氧含量，减少因回熔或长时间加热导致的氧含量异常波动。氧在液相中的扩散速度较快，因此通过调节坩埚转速和晶体转速，可以加速或减缓氧的分布速率，从而达到氧含量的控制目标。基于所述控制参数集的配置参数值，系统能够自动配置相应的控制参数，确保单晶硅中的氧含量始终维持在目标氧含量的-10%至 10%的范围内。这种自动化控制不仅减少了人工干预的误差，还能够根据实时的生长条件进行优化，提高生产效率和产品质量。

通过实时监测和调整控制参数，本方法能够显著减少单晶硅中氧含量的波动，确保氧含量在预设的目标范围内。在晶体生长的不同阶段，特别是在头部与尾部的氧含量差异较大时，本方法能够实现基于时间维度的自动增益控制，通过自动调节相关转速来平衡氧含量的分布，改善了由于氧含量不均导致的晶体性能不一致的问题。在晶体生长异常或需要进行回熔操作时，本方法通过精确控制氧含量的重新分布，减少了因氧含量过低或过高导致的晶体质量问题，降低了废品率和生产损耗。该方法减少了对人工操作的依赖，提升了生产过程的稳定性和效率，更好地适应不同的生产需求，显著提高单晶硅的良率，减少生产过程中的不合格品，同时提高了产品的一致性，最终提升了整体产能。

本申请实施例对目标氧含量不作限定，可以根据实际需要选取。作为示例，目标氧含量例如是 8.5ppma、10ppma、11ppma、11.5ppma、12ppma、14.5ppma 等。其中，ppma 代表百万分之一（Parts Per Million by Atomic），表示在 1 百万个原子中特定元

素原子的个数。例如，如果单晶硅的氧含量为 10ppma，则意味着在 1000000 个原子中，有 10 个氧原子。

在一些实施例中，可以采用梯级管理方式，将差值所在的差值范围划分为多个差值范围。作为一个示例，差值所在的差值范围可以被划分为 $(-\infty, 0h]$ 、 $(0h, 60h]$ 、 $(60h, 140h]$ 等。作为另一个示例，差值所在的差值范围可以被划分为 $(-\infty, 0h]$ 、 $(0h, 30h]$ 、 $(30h, 60h]$ 、 $(60h, 100h]$ 、 $(100h, 140h]$ 等。其中，h 为小时，时间单位的一种，符号 ∞ 表示无穷大。

上述实施例在单晶硅生长过程中实时获取实际加热时长，并计算其与目标加热时长之间的差值。根据该差值所在的差值范围，确定相应的控制参数集及其配置参数值，包括晶体转速和/或坩埚转速。不同的差值范围对应不同的控制参数集及其配置参数值，基于这些控制参数的配置参数值自动调整相应的控制参数，从而调节单晶硅的生长条件，确保单晶硅的氧含量和目标氧含量之间的氧含量偏差为-10%~10%。

上述实施例采用自动增益控制逻辑来控制晶体生长过程中的控制参数。通过监控实际加热时长与目标加热时长的差值，采用梯级管理方式，分阶段自动调整晶体转速、坩埚转速等控制参数，有效控制氧元素在单晶硅中的分布，使得不同加热时长产出的晶体氧含量基本一致，保证产品质量。其次，通过精确控制控制参数，可以减少晶体生长异常和石英坩埚加热时间过长对单晶硅氧含量的影响，减少晶体生长过程中的波动和缺陷，提高晶体的结构完整性和电性能，从而提高单晶硅的产品质量。自动化控制减少了人为干预的需要以及人为操作的不确定性，提高了生产过程的稳定性和一致性，减少了调整和修正时间，提升了生产效率。采用实时监控和动态调整方式，可以灵活应对单因素和多因素变量变化，提供更多的优化选择，适应生产需求和生产条件的不同变化。

为了根据实际加热时长与目标加热时长的差值范围，自动调整控制参数集，以优化氧含量的分布，在一些实施例中，确定所述控制参数集的过程可以包括：在所述差值所在的差值范围为第一类差值范围的情况下，将坩埚转速作为所述控制参数集中的控制参数；在所述差值所在的差值范围为第二类差值范围的情况下，将晶体转速和坩埚转速作为所述控制参数集中的控制参数；所述第二类差值范围的最小值不小于所述第一类差值范围的最大值。

在一些实施例中，所述方法还可以包括：在所述差值所在的差值范围为第三类差值范围的情况下，基于晶体转速的目标参数值自动配置晶体转速，基于坩埚转速的目

标参数值自动配置坩埚转速。

作为示例，第一类差值范围例如包括(0h, 30h]和(30h, 60h]，即，将这两种差值范围均划分为第一类差值范围。第二类差值范围例如包括(60h, 100h]和(100h, 140h]，即，将这两种差值范围均划分为第二类差值范围。第三类差值范围例如包括 $(-\infty, 0h]$ ，即，在实际加热时长小于或等于目标加热时长的情况下，直接采用晶体转速和坩埚转速的目标参数值对相应的控制参数（即，晶体转速和坩埚转速）进行自动配置，控制方式简单有效。

作为示例，在差值所在的差值范围为(0h, 30h]或者(30h, 60h]的情况下，将坩埚转速 C/R（即，Crucible Rotation Speed）作为控制参数集中的控制参数。在差值所在的差值范围为(60h, 100h]或者(100h, 140h]的情况下，将坩埚转速 C/R 和晶体转速 S/R（即，Silicon Rotation Speed）作为控制参数集中的控制参数。

不同的差值范围对应不同的控制策略，以确保晶体中的氧含量始终保持稳定。在上述实施例中，当差值 ΔT 位于第一类差值范围（例如，(0h, 30h]或者(30h, 60h]）时，仅设定坩埚转速（C/R）作为控制参数；当差值 ΔT 位于第二类差值范围（例如，(60h, 100h]或者(100h, 140h]）时，既设定坩埚转速（C/R）作为控制参数，又设定晶体转速（S/R）作为控制参数。通过这种梯级管理方式，自动配置控制参数集，以实现氧含量的精确控制，确保单晶硅的氧含量和目标氧含量之间的氧含量偏差为-10%~10%。采用上述单晶硅生长方法，通过分阶段自动调整晶体和坩埚的转速，能够更精确地控制氧元素在单晶硅中的分布，确保氧含量更加均匀。该方法能够根据不同的差值范围，灵活调整控制参数，减少晶体生长过程中的氧含量波动，提高单晶硅的产品质量。自动增益方式减少了人为干预的需要，通过优化控制策略，提升了生产效率，同时降低了计算量和控制复杂性，能够更好地满足客户对产品规格和质量的要求。

其中，在实际加热时长与目标加热时长的差值较小时，仅调整坩埚转速 C/R。当差值较大时，同时调整坩埚转速 C/R 和晶体转速 S/R。这种分阶段的控制策略使得控制过程更加灵活。在差值较小时，只需调整一个控制参数（坩埚转速），控制方式相对简单，易于实现。只有在差值较大时，才需要综合考虑多个控制参数（晶体转速和坩埚转速）。随着差值的增加，控制策略从单一参数调整过渡到多参数调整，这种渐进式的调整方式可以更好地适应不同的加热时长差值，确保控制的准确性。由此，在差值较小时，仅调整坩埚转速，可以减少系统的调整频率和复杂性，降低控制成本，减少了不必要的复杂操作。只调整一个控制参数时，计算量较小，系统响应速度快，

能够快速适应相对较小范围的加热时长差异，提高了整体的控制效率。在差值较大时，通过同时调整晶体转速和坩埚转速，可以更全面地优化氧含量的分布，确保控制的准确性。分阶段控制策略在保证控制效果的同时，提高了系统的运行效率。根据实际加热时长与目标加热时长的差值所在的差值范围，动态调整控制策略，能够灵活应对不同的生产情况，确保在各种条件下都能获得高质量的单晶硅。通过这种控制方法，不仅能够有效地控制氧含量，还能够在提高生产效率的同时降低系统复杂性和运行成本，使得整个单晶硅生长过程更加经济高效。

相关的单晶硅生长方法在控制氧含量时，缺乏针对不同差值范围的精细化控制策略，且计算量较大，控制效率较低，不适用于复杂的生长过程。在一些实施例中，确定所述控制参数集的配置参数值的过程可以包括：针对每个控制参数，执行以下处理：基于所述差值所在的差值范围，确定所述控制参数的配置参数值与目标参数值之间的对应关系；不同的差值范围对应的对应关系不同；根据所述控制参数的目标参数值和所述对应关系，计算得到所述控制参数的配置参数值。

在一些实施例中，所述对应关系可以采用对应公式或者对应模型表示。

其中，配置参数值是指通过计算或标定得到的用于对控制参数进行配置的具体数值，这些数值用于实现所需的控制目标。目标参数值是指控制参数应达到的参考数值，以确保单晶硅生长过程满足实际需要。对应关系是指控制参数的配置参数值与目标参数值之间的数学关系，例如以对应公式或对应模型的形式表示。对应公式或对应模型考虑到差值的影响，可以根据差值所在的差值范围确定。本申请实施例对对应模型不作限定，其例如可以是基于深度学习的模型。

为了确定控制参数的配置参数值，根据配置参数值与目标参数值之间的对应关系，通过对应公式或对应模型和目标参数值计算得到配置参数值，以确保控制参数的配置参数值能够满足生长过程的需求。

在一些实施例中，所述对应关系可以采用对应公式表示，所述对应公式中的一个或多个补偿系数根据所述差值所在的差值范围确定。

其中，对应公式例如是数学表达式，用于计算单晶硅生长过程中控制参数的配置参数值。对应公式中包含的补偿系数使得参数值的调整可以基于实际的差值情况进行灵活调节。补偿系数是对应公式中的系数，用以调整控制参数以适应实际加热时长与目标加热时长之间的差值。补偿系数根据差值所在的差值范围变化，以实现更精确的控制。

本申请实施例对各个控制参数的目标参数值不作限定，其可以根据单晶硅长度所在的长度范围、实际生产过程中的设备性能和产品需求等影响因素选取合理数值。作为示例，坩埚转速的目标参数值（即，目标坩埚转速 C/R Target）的取值范围例如是 0.2-1.1RPM（即，每分钟的转数），晶体转速的目标参数值（即，目标晶体转速 S/R Target）的取值范围例如是 6-16RPM。对于不同产品规格、不同保温材质的炉子，其晶体转速和坩埚转速的目标参数值可以是不同的。

下面对控制参数的自动配置过程进行举例说明。如图 3 所示，假设在单晶硅生长过程中，使用单晶硅生长系统进行连续生产。在生长得到上一个单晶硅（例如，硅锭 ingot）后，可以对其进行氧含量测试，并记录其氧含量。在本次的单晶硅生长过程中，对石英坩埚的实际加热时长（即， T_x ）进行监控，并将其与目标加热时长（即， T_0 ）进行比对。假设目标加热时长 T_0 为连续运行之后，石英坩埚的氧含量没有出现明显降低的最小加热时长。假设实际加热时长 T_x 和目标加热时长 T_0 的差值 ΔT （例如，10h）所在的差值范围为(0h, 30h]，将坩埚转速 C/R 作为控制参数集中的控制参数，此时，控制参数集中包括 1 个控制参数。其中， $\Delta T = T_x - T_0$ 。然后，基于差值范围（即，(0h, 30h]），获取坩埚转速 C/R 的配置参数值（即，配置坩埚转速 C/R_{set}）与目标参数值（即，目标坩埚转速 C/R_{target}）之间的对应关系（例如，对应公式），假设对应公式为： $C/R_{set} = C/R_{target} \times (1 + c_1)$ 。其中， c_1 是差值范围(0h, 30h]对应的坩埚转速补偿系数。假设 c_1 为 15%，则坩埚转速的配置参数值与目标参数值之间的对应公式为： $C/R_{set} = C/R_{target} \times (1 + 15\%)$ 。接下来，可以根据坩埚转速的目标参数值（例如，0.94RPM）和对应公式，计算得到坩埚转速的配置参数值为： $C/R_{set} = 0.94RPM \times (1 + 15\%) = 1.08RPM$ 。

类似地，假设实际加热时长 T_x 和目标加热时长 T_0 的差值 ΔT （例如，50h）所在的差值范围为(30h, 60h]，将坩埚转速 C/R 作为控制参数集中的控制参数，此时，控制参数集中包括 1 个控制参数。然后，基于差值范围（即，(30h, 60h]），获取坩埚转速 C/R 的配置参数值（即，配置坩埚转速 C/R_{set}）与目标参数值（即，目标坩埚转速 C/R_{target}）之间的对应关系（例如，对应公式），假设对应公式为： $C/R_{set} = C/R_{target} \times (1 + c_2)$ 。其中， c_2 是差值范围(30h, 60h]对应的坩埚转速补偿系数。假设 c_2 为 25%，则坩埚转速的配置参数值与目标参数值之间的对应公式为： $C/R_{set} = C/R_{target} \times (1 + 25\%)$ 。接下来，可以根据坩埚转速的目标参数值（例如，0.94RPM）和对应公式，计算得到坩埚转速的配置参数值为： $C/R_{set} = 0.94RPM \times (1 + 25\%) = 1.18RPM$ 。

假设实际加热时长 T_x 和目标加热时长 T_0 的差值 ΔT （例如，80h）所在的差值范

围为(60h, 100h], 将坩埚转速 C/R 和晶体转速 S/R 作为控制参数集中的控制参数, 此时, 控制参数集中包括 2 个控制参数。然后, 基于差值范围 (即, (60h, 100h]), 获取坩埚转速 C/R 的配置参数值 (即, 配置坩埚转速 C/R_{set}) 与目标参数值 (即, 目标坩埚转速 C/R_{target}) 之间的对应关系 (例如, 对应公式), 假设对应公式为: $C/R_{set}=C/R_{target} \times (1+c_3)$ 。其中, c_3 是差值范围(60h, 100h]对应的坩埚转速补偿系数。假设 c_3 为 30%, 则坩埚转速的配置参数值与目标参数值之间的对应公式为: $C/R_{set}=C/R_{target} \times (1+30\%)$ 。接下来, 可以根据坩埚转速的目标参数值 (例如, 0.94RPM) 和对应公式, 计算得到坩埚转速的配置参数值为: $C/R_{set}=0.94RPM \times (1+30\%)=1.22RPM$ 。以及, 基于差值范围 (即, (60h, 100h]), 获取晶体转速 S/R 的配置参数值 (即, 配置晶体转速 S/R_{set}) 与目标参数值 (即, 目标晶体转速 S/R_{target}) 之间的对应关系 (例如, 对应公式), 假设对应公式为: $S/R_{set}=S/R_{target} \times (1-s_1)$ 。其中, s_1 是差值范围(60h, 100h]对应的晶体转速补偿系数。假设 s_1 为 15%, 则晶体转速的配置参数值与目标参数值之间的对应公式为: $S/R_{set}=S/R_{target} \times (1-15\%)$ 。接下来, 可以根据晶体转速的目标参数值 (例如, 16RPM) 和对应公式, 计算得到晶体转速的配置参数值为: $S/R_{set}=16RPM \times (1-15\%)=13.6RPM$ 。

假设实际加热时长 T_x 和目标加热时长 T_0 的差值 ΔT (例如, 120h) 所在的差值范围为(100h, 140h], 将坩埚转速 C/R 和晶体转速 S/R 作为控制参数集中的控制参数, 此时, 控制参数集中包括 2 个控制参数。然后, 基于差值范围 (即, (100h, 140h]), 获取坩埚转速 C/R 的配置参数值 (即, 配置坩埚转速 C/R_{set}) 与目标参数值 (即, 目标坩埚转速 C/R_{target}) 之间的对应关系 (例如, 对应公式), 假设对应公式为: $C/R_{set}=C/R_{target} \times (1+c_4)$ 。其中, c_4 是差值范围(100h, 140h]对应的坩埚转速补偿系数。假设 c_4 为 35%, 则坩埚转速的配置参数值与目标参数值之间的对应公式为: $C/R_{set}=C/R_{target} \times (1+35\%)$ 。接下来, 可以根据坩埚转速的目标参数值 (例如, 0.94RPM) 和对应公式, 计算得到坩埚转速的配置参数值为: $C/R_{set}=0.94RPM \times (1+35\%)=1.27RPM$ 。以及, 基于差值范围 (即, (100h, 140h]), 获取晶体转速 S/R 的配置参数值 (即, 配置晶体转速 S/R_{set}) 与目标参数值 (即, 目标晶体转速 S/R_{target}) 之间的对应关系 (例如, 对应公式), 假设对应公式为: $S/R_{set}=S/R_{target} \times (1-s_2)$ 。其中, s_2 是差值范围(100h, 140h]对应的晶体转速补偿系数。假设 s_2 为 15%, 则晶体转速的配置参数值与目标参数值之间的对应公式为: $S/R_{set}=S/R_{target} \times (1-15\%)$ 。接下来, 可以根据晶体转速的目标参数值 (例如, 16RPM) 和对应公式, 计算得到晶体转速的配置参数值为: $S/R_{set}=16RPM \times (1-15\%)=13.6RPM$ 。

5%)=13.6RPM。

如上所述，在 ΔT 不超过 60h 的情况下，可以通过调整坩埚转速 C/R 来改善氧含量。这是因为在较短的加热时间内，主要需要控制氧在晶体内的均匀分布，防止局部氧浓度过低。 $c_1 \sim c_4$ 均大于 0，意味着增加坩埚转速。增加坩埚转速可以提高熔体的对流，促进氧的均匀分布。合适的坩埚转速能够保持晶体-熔体界面的稳定，有助于均匀吸收氧。

而在 ΔT 超过 60h 但不超过 140h 的情况下，除了调整坩埚转速 C/R，还可以优化晶体转速 S/R。这是因为较长的加热时间会导致更显著的氧逸出和再分布，需通过综合控制来改善氧含量。此时，一方面，通过调整晶体转速来促进氧的均匀分布。另一方面，增加坩埚转速可以增强熔体对流，进一步促进氧的均匀分布和吸收。结合调整晶体转速和坩埚转速，可以更有效地控制氧的逸出和再分布，确保氧含量在轴向均匀分布。

在一些实施例中，所述控制参数的目标参数值可以基于单晶硅长度所在的长度范围确定。

也就是说，根据单晶硅的长度所在的长度范围，将单晶硅的生长过程划分为多个生长阶段，不同的长度范围对应不同的生长阶段，不同的生长阶段对应不同的目标参数值。假设单晶硅的生长过程包括 n 个生长阶段， n 为正整数，图 3 中的第 n 次 body 生长，对应第 n 个生长阶段。

在一些实施例中，所述方法还可以包括：基于单晶硅长度所在的长度范围，将所述单晶硅的生长过程划分为多个生长阶段；在每个生长阶段中，测试所述单晶硅的氧含量，并计算得到所述单晶硅的氧含量和目标氧含量之间的氧含量偏差。

举例说明，可以使用数据表的方式存储（单晶硅长度所在的）长度范围与（控制参数的）目标参数值之间的对应关系。在实际应用中，可以查询数据表，以确定长度范围相应的（控制参数的）目标参数值。作为示例，当单晶硅长度所在的长度范围为 0mm-300mm 时，相应的坩埚转速的目标参数值 C/R_{target} 为 0.94RPM，相应的晶体转速的目标参数值 S/R_{target} 为 16RPM；当单晶硅长度所在的长度范围为 300mm-600mm 时，相应的坩埚转速的目标参数值 C/R_{target} 为 0.58RPM，相应的晶体转速的目标参数值 S/R_{target} 为 10RPM；当单晶硅长度所在的长度范围为 600mm-900mm 时，相应的坩埚转速的目标参数值 C/R_{target} 为 0.22RPM，相应的晶体转速的目标参数值 S/R_{target} 为 6RPM；当单晶硅长度所在的长度范围为 900mm-1200mm 时，相应的坩埚转速的目标参数值 C

$/R_{\text{target}}$ 为 0.64RPM, 相应的晶体转速的目标参数值 S/R_{target} 为 6RPM; 当单晶硅长度所在的长度范围为 1200mm-1500mm 时, 相应的坩埚转速的目标参数值 C/R_{target} 为 1.06RPM, 相应的晶体转速的目标参数值 S/R_{target} 为 6RPM。

在实际的单晶硅生长过程中, 针对每个生长阶段, 申请人测试得到该生长阶段的单晶硅的氧含量, 并计算得到氧含量和目标氧含量之间的氧含量偏差, 结果如下所示。

第一生长阶段, 当单晶硅长度所在的长度范围为 0mm-300mm 时: 在加热时长相应的差值 ΔT 所在的差值范围为(0h, 30h]的情况下, 计算得到的氧含量偏差为 0.11ppma; 在加热时长相应的差值 ΔT 所在的差值范围为(30h, 60h]的情况下, 计算得到的氧含量偏差为 0.12ppma; 在加热时长相应的差值 ΔT 所在的差值范围为(60h, 100h]的情况下, 计算得到的氧含量偏差为 0.22ppma; 在加热时长相应的差值 ΔT 所在的差值范围为(100h, 140h]的情况下, 计算得到的氧含量偏差为 0.46ppma。

第二生长阶段, 当单晶硅长度所在的长度范围为 300mm-600mm 时: 在加热时长相应的差值 ΔT 所在的差值范围为(0h, 30h]的情况下, 计算得到的氧含量偏差为 0.11ppma; 在加热时长相应的差值 ΔT 所在的差值范围为(30h, 60h]的情况下, 计算得到的氧含量偏差为 0.12ppma; 在加热时长相应的差值 ΔT 所在的差值范围为(60h, 100h]的情况下, 计算得到的氧含量偏差为 0.23ppma; 在加热时长相应的差值 ΔT 所在的差值范围为(100h, 140h]的情况下, 计算得到的氧含量偏差为 0.45ppma。

第三生长阶段, 当单晶硅长度所在的长度范围为 600mm-900mm 时: 在加热时长相应的差值 ΔT 所在的差值范围为(0h, 30h]的情况下, 计算得到的氧含量偏差为-0.10ppma; 在加热时长相应的差值 ΔT 所在的差值范围为(30h, 60h]的情况下, 计算得到的氧含量偏差为-0.10ppma; 在加热时长相应的差值 ΔT 所在的差值范围为(60h, 100h]的情况下, 计算得到的氧含量偏差为 0.15ppma; 在加热时长相应的差值 ΔT 所在的差值范围为(100h, 140h]的情况下, 计算得到的氧含量偏差为 0.39ppma。

第四生长阶段, 当单晶硅长度所在的长度范围为 900mm-1200mm 时: 在加热时长相应的差值 ΔT 所在的差值范围为(0h, 30h]的情况下, 计算得到的氧含量偏差为-0.07ppma; 在加热时长相应的差值 ΔT 所在的差值范围为(30h, 60h]的情况下, 计算得到的氧含量偏差为-0.07ppma; 在加热时长相应的差值 ΔT 所在的差值范围为(60h, 100h]的情况下, 计算得到的氧含量偏差为 0.38ppma; 在加热时长相应的差值 ΔT 所在的差值范围为(100h, 140h]的情况下, 计算得到的氧含量偏差为 0.62ppma。

第五生长阶段, 当单晶硅长度所在的长度范围为 1200mm-1500mm 时: 在加热时

长相应的差值 ΔT 所在的差值范围为(0h, 30h]的情况下, 计算得到的氧含量偏差为-0.07ppma; 在加热时长相应的差值 ΔT 所在的差值范围为(30h, 60h]的情况下, 计算得到的氧含量偏差为-0.07ppma; 在加热时长相应的差值 ΔT 所在的差值范围为(60h, 100h]的情况下, 计算得到的氧含量偏差为 0.16ppma; 在加热时长相应的差值 ΔT 所在的差值范围为(100h, 140h]的情况下, 计算得到的氧含量偏差为 0.37ppma。

可以看到, 即便实际加热时长和目标加热时长之间的差值 ΔT 所在的差值范围不同, 但在单晶硅生长过程中的各个生长阶段, 计算得到的氧含量偏差的最小值为-0.10ppma, 最大值为 0.62ppma, 不仅单晶硅的氧含量与目标氧含量之间的氧含量偏差与目标氧含量之间的比值位于-10%~10%之间, 并且, 氧含量偏差也始终处于目标氧含量偏差范围(例如, [-0.25ppma, 0.75ppma])内。

此外, 申请人还发现, 在加热时长相应的差值 ΔT 所在的差值范围为(0h, 30h]的情况下, 若 c_1 大于 15%或小于 15%, 则计算得到的氧含量偏差将大于 ± 0.3 ppma; 在加热时长相应的差值 ΔT 所在的差值范围为(30h, 60h]的情况下, 若 c_2 大于 25%或小于 25%, 则计算得到的氧含量偏差将大于 ± 0.3 ppma; 在加热时长相应的差值 ΔT 所在的差值范围为(60h, 100h]的情况下, 若 c_3 大于 30%或小于 30%, 且 s_1 大于 15%或小于 15%, 则计算得到的氧含量偏差将大于 ± 0.4 ppma, 且会导致晶体缺陷生成; 在加热时长相应的差值 ΔT 所在的差值范围为(100h, 140h]的情况下, 若 c_4 大于 35%或小于 35%, 且 s_2 大于 15%或小于 15%, 则计算得到的氧含量偏差将大于 ± 0.7 ppma。其中, ± 0.3 ppma 是指[-0.3ppma, 0.3ppma]的数值范围, 其他类似表述的含义与之相类似, 此处不再赘述。

在大尺寸单晶硅的生长过程中, 根据申请人的经验, 在保证原始控制参数对应的产品结果不发生变化的情况下, 尤其是为了维持界面稳定性, 坩埚转速补偿系数一般不超过 40%; 为改善晶体氧含量, 但又想控制良好的晶体晶格堆叠品质, 晶体转速补偿系数一般不超过 15%。

采用上述单晶硅生长方法, 在单晶硅的生长过程中, 对石英坩埚的实际加热时长 T_x 和目标加热时长 T_0 的差值 ΔT 进行监控锚定, 对 ΔT 进行梯级管理, 对晶体生长的控制参数进行自动增益控制。对 ΔT 进行梯级管理而进行的控制参数调节, 使得不同 ΔT 产出的单晶硅氧含量基本可以控制在同等水平。梯级管理对应的控制参数配置例如包括晶体转速和坩埚转速的不同组合, 在单因素变量和多因素变量交叉中为产品氧含量优化提供更多的可选择性。

上述单晶硅生长方法能够优化氧含量在单晶硅中的分布，特别是轴向分布。具体来说，通过实时获取实际加热时长，并根据与目标加热时长的差值，动态调整控制参数，形成了一个闭环控制系统。该系统能够迅速响应工艺条件的变化，进行实时调整，避免了相关静态控制方法中的滞后和不准确问题，确保单晶硅的氧含量和目标氧含量之间的氧含量偏差为-10%~10%。这种实时调整机制可以精确控制氧含量，避免因加热时间变化引起的氧含量不均。

采用差值分级控制策略，根据差值的大小分别调整晶体转速和坩埚转速。通过这种精细化的控制策略，可以在差值较小时减少控制复杂度，避免过度调整；在差值较大时进行更全面的调整，确保控制的精度和稳定性。这种差值分级控制策略不仅提高了控制效率，还兼顾了控制精度，避免了过度调整引起的不必要波动。

根据单晶硅长度所在的长度范围，将单晶硅生长过程划分为多个生长阶段，不同的长度范围对应不同的目标参数值，使得基于目标参数值所计算得到的配置参数值也不同。通过基于单晶硅长度的分级控制方法，不同长度范围对应不同的（控制参数的）目标参数值和目标氧含量，使得每个生长阶段的控制更加有针对性。这种方法能够针对单晶硅生长过程中的不同阶段，进行更有针对性的优化，确保每个生长阶段的氧含量分布均匀。

将单晶硅生长过程划分为多个生长阶段，并在每个生长阶段中测试单晶硅的氧含量，根据测试结果和目标氧含量之间的氧含量偏差，允许在后续的自动增益控制过程中进一步优化相关的控制参数。

因此，上述单晶硅生长方法通过实时监控、精细化控制策略、阶段性优化与动态调整相结合，有效地优化了单晶硅中的氧含量分布，特别是轴向分布，提高了单晶硅的质量和生产效率。

如图 1 所示，本申请实施例还提供了一种单晶硅生长系统，包括控制模块、加热模块 1、晶体旋转模块 5 和坩埚旋转模块 2。控制模块用于执行上述任一项方法。加热模块 1 用于对容纳原料的石英坩埚进行加热。晶体旋转模块 5 用于旋转单晶硅。坩埚旋转模块 2 用于旋转所述石英坩埚。

在一些实施例中，所述控制模块可以包括数据处理单元 3 和系统控制单元 4。数据处理单元 3 用于在单晶硅的生长过程中，获取所述石英坩埚的实际加热时长；根据所述实际加热时长和目标加热时长之间的差值所在的差值范围，确定控制参数集及其配置参数值；所述控制参数集包括所述晶体旋转模块 5 的晶体转速和/或所述坩埚旋转

模块 2 的坩埚转速，不同的差值范围对应的控制参数集不同。系统控制单元 4 用于基于所述控制参数集的配置参数值，自动配置相应的控制参数，以使所述单晶硅的氧含量和目标氧含量之间的氧含量偏差为-10%~10%。

在上述实施例中，单晶硅生长系统的控制模块采用分体化设计，包括数据处理单元 3 和系统控制单元 4。数据处理单元 3 专注于数据处理，例如，获取实际加热时长并将其与目标加热时长进行比对，确定相应的控制参数集，计算相关控制参数的配置参数值。系统控制单元 4 可以接收来自数据处理单元 3 的控制参数集及其配置参数值，自动配置单晶硅生长系统的相关硬件的控制参数。例如，调整晶体旋转模块 5 的晶体转速和坩埚旋转模块 2 的坩埚转速，确保单晶硅的氧含量以和目标氧含量之间的氧含量偏差为-10%~10%。采用分体化设计的数据处理单元 3 和系统控制单元 4，数据处理单元 3 可以专门优化处理速度和效率，实现高速数据处理和即时的参数决策。系统控制单元 4 可以迅速接收数据处理单元 3 的输出，并实时调整单晶硅生长系统的操作，减少了延迟，提高了系统的整体反应速度。分体化设计允许每个单元专注于其核心功能，减少了模块间的功能重叠和潜在的冲突，从而提高了系统的稳定性和可靠性。这种设计也使得未来升级和维护更为容易。例如，可以单独升级数据处理单元 3 以采用更先进的数据处理算法，而不必重新设计整个控制模块。通过更快地调整和更精确地控制生长参数，系统能够更有效地生产高质量的单晶硅材料，同时降低废品率和生产成本。

在一些实施例中，所述数据处理单元 3 可以采用以下方式确定所述控制参数集：在所述差值所在的差值范围为第一类差值范围的情况下，将晶体转速作为所述控制参数集中的控制参数；在所述差值所在的差值范围为第二类差值范围的情况下，将晶体转速和坩埚转速作为所述控制参数集中的控制参数；所述第二类差值范围的最小值不小于所述第一类差值范围的最大值。

在一些实施例中，所述数据处理单元 3 可以采用以下方式确定所述控制参数集的配置参数值：针对每个控制参数，执行以下处理：基于所述差值所在的差值范围，确定所述控制参数的配置参数值与目标参数值之间的对应关系；不同的差值范围对应的对应关系不同；根据所述控制参数的目标参数值和所述对应关系，计算得到所述控制参数的配置参数值。

在一些实施例中，所述对应关系可以采用对应公式或者对应模型表示。

在一些实施例中，所述对应关系可以采用对应公式表示，所述对应公式中的一个

或多个补偿系数根据所述差值所在的差值范围确定。

在一些实施例中，所述控制参数的目标参数值可以基于单晶硅长度所在的长度范围确定。

在一些实施例中，所述数据处理单元 3 还可以用于基于单晶硅长度所在的长度范围，将所述单晶硅的生长过程划分为多个生长阶段；在每个生长阶段中，测试所述单晶硅的氧含量，并计算得到所述单晶硅的氧含量和目标氧含量之间的氧含量偏差。

本申请实施例还提供了一种氧含量可控的单晶硅，所述单晶硅的氧含量和目标氧含量之间的氧含量偏差为-10%~10%，所述单晶硅采用上述任一项方法制备得到，或者采用上述任一项系统制备得到。

本申请实施例还提供了一种氧含量可控的硅晶圆，所述硅晶圆采用单晶硅加工得到，所述单晶硅的氧含量和目标氧含量之间的氧含量偏差为-10%~10%，所述单晶硅采用上述任一项方法制备得到，或者采用上述任一项系统制备得到。

需要说明，本说明书中的各个实施例均采用递进的方式描述，各个实施例之间相同相似的部分互相参见即可，每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处。尤其，对于产品实施例而言，由于其基本相似于方法实施例，所以描述得比较简单，相关之处参见方法实施例的部分说明即可。

除非另外定义，本公开使用的技术术语或者科学术语应当为本公开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。

可以理解，当诸如层、膜、区域或基板之类的元件被称作位于另一元件“上”或“下”时，该元件可以“直接”位于另一元件“上”或“下”，或者可以存在中间元件。

在上述实施方式的描述中，具体特征、结构、材料或者特点可以在任何的一个或多个实施例或示例中以合适的方式结合。

以上所述，仅为本公开的具体实施方式，但本公开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公开揭露的技术范围内，可轻易想到变化或替换，都应涵盖在本公开的保护范围之内。因此，本公开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、一种单晶硅生长方法，所述方法包括：

在单晶硅的生长过程中，获取石英坩埚的实际加热时长；

根据所述实际加热时长和目标加热时长之间的差值所在的差值范围，确定控制参数集及其配置参数值；所述控制参数集包括晶体转速和/或坩埚转速，不同的差值范围对应的控制参数集不同；

基于所述控制参数集的配置参数值，自动配置相应的控制参数，以使所述单晶硅的氧含量和目标氧含量之间的氧含量偏差为-10%~10%。

2、根据权利要求 1 所述的单晶硅生长方法，其中，确定所述控制参数集的过程包括：

在所述差值所在的差值范围为第一类差值范围的情况下，将坩埚转速作为所述控制参数集中的控制参数；

在所述差值所在的差值范围为第二类差值范围的情况下，将晶体转速和坩埚转速作为所述控制参数集中的控制参数；所述第二类差值范围的最小值不小于所述第一类差值范围的最大值。

3、根据权利要求 1 所述的单晶硅生长方法，其中，确定所述控制参数集的配置参数值的过程包括：

针对每个控制参数，执行以下处理：

基于所述差值所在的差值范围，确定所述控制参数的配置参数值与目标参数值之间的对应关系；不同的差值范围对应的对应关系不同；

根据所述控制参数的目标参数值和所述对应关系，计算得到所述控制参数的配置参数值。

4、根据权利要求 3 所述的单晶硅生长方法，其中，所述对应关系采用对应公式或者对应模型表示。

5、根据权利要求 3 所述的单晶硅生长方法，其中，所述对应关系采用对应公式表示，所述对应公式中的一个或多个补偿系数根据所述差值所在的差值范围确定。

6、根据权利要求 3 所述的单晶硅生长方法，其中，所述控制参数的目标参数值基于单晶硅长度所在的长度范围确定。

7、根据权利要求 1 所述的单晶硅生长方法，其中，所述方法还包括：

基于单晶硅长度所在的长度范围，将所述单晶硅的生长过程划分为多个生长阶段；
在每个生长阶段中，测试所述单晶硅的氧含量，并计算得到所述单晶硅的氧含量和目标氧含量之间的氧含量偏差。

8、一种单晶硅生长系统，包括：

控制模块，用于执行权利要求 1 至 7 中任一项所述的方法；

加热模块，用于对容纳原料的石英坩埚进行加热；

晶体旋转模块，用于旋转单晶硅；

坩埚旋转模块，用于旋转所述石英坩埚。

9、一种氧含量可控的单晶硅，所述单晶硅的氧含量和目标氧含量之间的氧含量偏差为-10%~10%，所述单晶硅采用权利要求 1-7 中任一项所述的方法制备得到，或者采用权利要求 8 的系统制备得到。

10、一种氧含量可控的硅晶圆，所述硅晶圆采用单晶硅加工得到，所述单晶硅的氧含量和目标氧含量之间的氧含量偏差为-10%~10%，所述单晶硅采用权利要求 1-7 中任一项所述的方法制备得到，或者采用权利要求 8 中的系统制备得到。