

一种半导体热处理设备及其温度控制方法

技术领域

本申请涉及半导体技术领域，尤其是涉及一种半导体热处理设备及其温度控制方法。

背景技术

外延生长是指在晶圆的基础上，经过外延工艺生长出特定的外延薄膜，晶圆和外延薄膜合称外延片。目前主要采用化学气相沉积（Chemical Vapor Deposition，简称 CVD）的方法进行碳化硅的外延层生长，具体化学反应是 SiH_4 与 C_3H_8 (C_2H_4) 在高温下（1600 摄氏度以上）、减压下（100 mbar 左右）发生裂解反应生成 Si 原子和 C 原子，然后在晶圆表面重新结合生成 SiC。热化学蒸馏法被广泛应用于生长外延层中，温度是重要的影响因素，对其掺杂均匀性、膜厚均匀性起到重要影响。温度如果偏离了设定工艺温度，会对工艺参数产生很大的负面影响。

但是，相关的半导体设备，在工艺工程中无法保证晶圆处于腔室中温度最高处，进而无法保证晶圆温度的均匀性。

发明内容

有鉴于此，本申请的目的在于提供一种半导体热处理设备及其温度控制方法，能够保证工艺过程中晶圆中心与线圈的中心重合，从而使晶圆始终处于温度最高点处，保证了晶圆区域温度的均匀性。

为了实现上述目的，本申请实施例采用的技术方案如下：

第一方面，本申请实施例提供了一种半导体热处理设备，包括：线圈、腔室、第一温度传感器、第二温度传感器和温度控制器；所述腔室用于放置

待加工晶圆，所述线圈环绕所述腔室设置并为所述腔室提供热场，所述腔室上设置有第一测温孔和第二测温孔，所述第一测温孔和所述第二测温孔分布在所述腔室的中心区域；所述第一温度传感器用于通过所述第一测温孔检测所述腔室的温度，记为第一温度；所述第二温度传感器用于通过所述第二测温孔检测所述腔室的温度，记为第二温度；所述温度控制器用于获取所述第一温度和所述第二温度，当所述腔室的温度达到稳态时，基于所述第一温度和/或所述第二温度判断所述线圈的中心位置是否偏离所述腔室的中心点，如果是，基于所述第一温度和/或所述第二温度控制所述线圈沿中心轴线平移，直至所述线圈的中心位置到达所述腔室的中心点。

进一步，所述温度控制器还用于判断所述第一温度与所述第二温度是否相等，若所述第一温度与所述第二温度不相等，确定所述线圈的中心位置偏离所述腔室的中心点；基于所述第一温度和所述第二温度控制所述线圈沿中心轴线平移，直至所述第一温度等于所述第二温度，确定所述线圈的中心位置到达所述腔室的中心点。

进一步，所述腔室包括多个区域，且每个所述区域中的线圈匝数相同，所述温度控制器中存储有所述腔室的温度达到稳态时的温度梯度分布曲线，所述温度梯度分布曲线为各所述区域对应的腔室温度；所述温度控制器还用于获取所述腔室上所述第一测温孔的所在区域，记为第一设置区域；确定所述第一设置区域在所述温度梯度分布曲线中对应的腔室温度，记为第一目标温度；判断所述第一温度与所述第一目标温度是否相等，若所述第一温度与所述第一目标温度不相等，确定所述线圈的中心位置偏离所述腔室的中心点；
和/或，

所述温度控制器还用于获取所述腔室上所述第二测温孔的所在区域，记为第二设置区域；确定所述第二设置区域在所述温度梯度分布曲线中对应的腔室温度，记为第二目标温度；判断所述第二温度与所述第二目标温度是否

相等，若所述第二温度与所述第二目标温度不相等，确定所述线圈的中心位置偏离所述腔室的中心点。

进一步，所述半导体热处理设备还包括：驱动件，所述驱动件与所述线圈连接，所述驱动件用于带动所述线圈平移；

所述温度控制器还用于基于所述第一目标温度和所述第一温度计算所述线圈的平移量和平移方向；基于所述平移量和平移方向控制所述驱动件带动所述线圈平移，直至所述线圈的中心点与所述腔室的中心点重合；

和/或，

所述温度控制器还用于基于所述第二目标温度和所述第二温度计算所述线圈的平移量和平移方向；基于所述平移量和平移方向控制所述驱动件带动所述线圈平移，直至所述线圈的中心点与所述腔室的中心点重合。

进一步，所述温度控制器为可编程逻辑控制器，所述可编程逻辑控制器分别与所述第一温度传感器、所述第二温度传感器及所述线圈的感应电源通信连接。

第二方面，本申请实施例提供了一种半导体热处理设备的温度控制方法，应用于第一方面所述的半导体热处理设备，所述温度控制方法包括：

获取所述第一温度传感器检测到的第一温度，获取所述第二温度传感器检测到的第二温度；

当所述腔室的温度达到稳态时，基于所述第一温度和/或所述第二温度判断所述线圈的中心位置是否偏离所述腔室的中心点；

如果是，基于所述第一温度和/或所述第二温度控制所述线圈沿中心轴线平移，直至所述线圈的中心位置到达所述腔室的中心点。

进一步，所述基于所述第一温度和/或所述第二温度判断所述线圈的中心位置是否偏离所述腔室的中心点，包括：

判断所述第一温度与所述第二温度是否相等，若所述第一温度与所述第

二温度不相等，确定所述线圈的中心位置偏离所述腔室的中心点；

和/或，

所述基于所述第一温度和/或所述第二温度控制所述线圈沿中心轴线平移，直至所述线圈的中心位置到达所述腔室的中心点，包括：

当所述第一温度大于所述第二温度时，控制所述线圈向第一方向平移，直至所述第一温度等于所述第二温度；其中，所述第一方向为所述第二测温孔所在的方向；

当所述第一温度小于所述第二温度时，控制所述线圈向第二方向平移，直至所述第一温度等于所述第二温度；其中，所述第二方向为所述第一测温孔所在的方向

进一步，所述温度控制方法还包括：

计算所述腔室在预设工艺温度下的趋肤深度，获取所述线圈的交流电流值，基于所述线圈的匝数将所述腔室划分为多个区域，基于所述趋肤深度及所述交流电流值计算所述腔室中各所述区域的热源强度；其中，每个所述区域中的线圈匝数相同；

获取所述腔室的温度达到稳态时所述腔室两端的环境温度，基于所述环境温度及各所述区域的热源强度计算各所述区域的腔室温度，得到所述腔室的温度梯度分布曲线。

进一步，所述基于所述环境温度及各所述区域的热源强度计算各所述区域的腔室温度，包括：

从所述腔室任意一端的第一个区域开始，基于所述第一个区域的热源强度及所述环境温度计算工艺过程达到稳态时所述第一个区域的腔室温度；

将所述第一个区域的腔室温度作为相邻的下一个区域的环境温度，基于所述下一个区域的环境温度及所述下一个区域的热源强度计算工艺过程达到稳态时所述下一个区域的腔室温度，直至计算出所述腔室的中心点所在区域

的腔室温度；

基于所述第一个区域至所述中心点所在区域的各腔室温度对称性得到所述腔室中心点所在区域至所述腔室另一端的各区域的腔室温度。

进一步，所述腔室温度的计算公式为：

$$T_{i1} = \sqrt[4]{\frac{F_i * V_i}{\sigma * \varepsilon * A} + T_{i2}^4}$$

其中， T_{i1} 为第*i*个区域的腔室温度， F_i 为第*i*个区域的热源强度， σ 为斯托克斯常数， ε 为腔室表面热辐射率， A 为所述腔室的内表面积， T_{i2} 为第*i*个区域对应的环境温度， V_i 为第*i*个区域的体积。

进一步，所述基于所述第一温度和/或所述第二温度判断所述线圈的中心位置是否偏离所述腔室的中心点，包括：

获取所述腔室上所述第一测温孔的所在区域，记为第一设置区域；确定所述第一设置区域在所述温度梯度分布曲线中对应的腔室温度，记为第一目标温度；判断所述第一温度与所述第一目标温度是否相等，若所述第一温度与所述第一目标温度不相等，确定所述线圈的中心位置偏离所述腔室的中心点；

和/或，

获取所述腔室上所述第二测温孔的所在区域，记为第二设置区域；确定所述第二设置区域在所述温度梯度分布曲线中对应的腔室温度，记为第二目标温度；判断所述第二温度与所述第二目标温度是否相等，若所述第二温度与所述第二目标温度不相等，确定所述线圈的中心位置偏离所述腔室的中心点。

进一步，所述半导体热处理设备还包括驱动件，所述驱动件与所述线圈连接，所述驱动件用于带动所述线圈平移；所述基于所述第一温度和/或所述第二温度控制所述线圈沿中心轴线平移，直至所述线圈的中心位置到达所述

腔室的中心点，包括：

基于所述第一目标温度和所述第一温度计算所述线圈的平移量和平移方向；基于所述平移量和平移方向控制所述驱动件转动，以带动所述线圈平移直至所述线圈的中心位置与所述腔室的中心点重合；

和/或，

基于所述第二目标温度和所述第二温度计算所述线圈的平移量和平移方向；基于所述平移量和平移方向控制所述驱动件转动，以带动所述线圈平移直至所述线圈的中心位置与所述腔室的中心点重合。

本申请实施例提供了一种半导体热处理设备及其温度控制方法，该半导体热处理设备包括：线圈、腔室、第一温度传感器、第二温度传感器和温度控制器；腔室用于放置待加工晶圆，线圈环绕腔室设置并为腔室提供热场，腔室上设置有第一测温孔和第二测温孔，第一测温孔和第二测温孔分布在腔室的中心区域；第一温度传感器用于通过第一测温孔检测腔室的温度，记为第一温度；第二温度传感器用于通过第二测温孔检测腔室的温度，记为第二温度；温度控制器用于获取第一温度和第二温度，当腔室的温度达到稳态时，基于第一温度和/或第二温度判断线圈的中心位置是否偏离腔室的中心点，如果是，基于第一温度和/或第二温度控制线圈沿中心轴线平移，直至线圈的中心位置到达腔室的中心点。本申请通过在腔室上设置两个温度传感器，并在腔室的温度达到稳态时，基于第一温度传感器检测到的第一温度和/或第二温度传感器检测到的第二温度判断线圈的中心位置是否偏离腔室的中心点，可以判断晶圆的中心点是否位于温度最高点，通过在晶圆偏离线圈中心位置时移动线圈使线圈的中心位置到达腔室的中心点，以保证工艺过程中晶圆中心与线圈的中心重合，从而使晶圆始终处于温度最高点处，保证了晶圆温度的均匀性。

本申请实施例的其他特征和优点将在随后的说明书中阐述，或者，部分

特征和优点可以从说明书推知或毫无疑义地确定，或者通过实施本申请实施例的上述技术即可得知。

为使本申请的上述目的、特征和优点能更明显易懂，下文特举较佳实施例，并配合所附附图，作详细说明如下。

附图说明

为了更清楚地说明本申请具体实施方式或现有技术中的技术方案，下面将对具体实施方式或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图是本申请的一些实施方式，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。

图1示出了相关的半导体热处理设备的腔室结构示意图；

图2a示出了本申请实施例所提供的一种腔室结构正视图；

图2b示出了本申请实施例所提供的一种腔室结构侧视图；

图3示出了本申请实施例所提供的一种腔室各区域的腔室温度分布曲线图；

图4示出了本申请实施例所提供的一种半导体热处理设备的温度控制方法流程图；

图5示出了本申请实施例所提供的一种腔室中各区域的热源强度分布示意图。

具体实施方式

为使本申请实施例的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合附图对本申请的技术方案进行描述，显然，所描述的实施例是本申请一部分实施例，而不是全部的实施例。

相关的晶圆加热技术，通常采用感应加热作为碳化硅外延的主要升温方

式，该方式具有加热速度快、加热效率高、启动快、节能等各种优点，被广泛应用于半导体行业。在碳化硅外延工艺期间需要严格要求衬底附近温度的均匀性以及温度的精准性。线圈作为产生磁场的媒介，直接影响到加热过程中温场的分布。

线圈中通入交流电产生对应磁场并产生磁通量，放置在线圈内的腔室（诸如可以是中空桶状结构的石墨件）产生感应电动势，从而使涡流流过腔室，腔室中心位置预留晶圆位置。反应气体从线圈的一端沿水平方向流过腔室，从另一端被泵抽走，导致腔室在水平方向上靠近边缘区域的环境温度较低，腔室处于低压真空状态时，根据热辐射原理，线圈两侧温度较低，晶圆处于线圈中心位置时，温场中的最高点与晶圆中心重合。但是，由于线圈内部的腔室为不完全固定的形式安装在线圈内部，在人为安装且缺少可靠固定的情况下，会导致晶圆偏离线圈的中心。因此，相关的半导体设备，在工艺工程中无法保证晶圆处于腔室中温度最高处，进而无法保证晶圆温度的均匀性。

参见如图 1 所示的相关的半导体热处理设备的腔室结构示意图，该腔室为石墨件，石墨件腔室为中空筒状结构，通过两个半圆形的分体进行拼接构成完整的筒状，石墨件中线正中间预留晶圆放置位置。由于目前平行进气碳化硅外延设备无法直接测量晶圆温度，红外测温仪通过图 1 中的测温孔间接测量腔室温度，该测温孔通常位于晶圆放置位置的正上方，如图 1 所示的测温点所在位置。石墨件外侧为线圈，线圈匝数及间距固定，线圈中通入交流电流产生对应磁场及磁通量，放置在线圈内的石墨件产生感应电动势，从而使得涡流流过石墨件。电流流过石墨件时会由于电阻产生一个相反的力，导致能量以热量的形式通过石墨件，从而实现对石墨件及其内部的晶圆的加热。相关的半导体热处理设备技术还存在以下缺点：

缺点一：由于反应气体从图 1 中线圈右侧沿水平方向流过石墨件，从线

圈左侧被泵抽走，石墨件左右两侧的环境温度较低，腔室处于低压真空状态时，根据热辐射原理，线圈两边温度较低。反应气体的流量大小、腔室的压力大小以及泵的抽力都会影响到石墨件中心位置的温度均匀性。由于线圈的位置无法调节，匝间距以及线圈匝数固定，只能通过调节通过线圈的交流电的大小调节石墨件中心位置的温度，既耗费电力，也会增加调温的时间。

缺点二：由于线圈内部的石墨件为不完全固定的形式安装在线圈内部，在缺少可靠固定的情况下，会导致石墨件中心点偏离线圈的中心位置。在线圈位置无法调节的情况下，影响了石墨件中心位置的温度均匀性。

缺点三：平行进气碳化硅外延设备无法直接测量晶圆温度，采用测量晶圆正上方的石墨件的温度，来间接对晶圆进行温度检测，测量石墨件的温度会随着温场的变化而变化，而且采用单个测温孔测量石墨件温度无法保证温度测量的可靠性。

为了解决上述问题之一，本实施例提供了一种半导体热处理设备，包括：线圈、腔室、第一温度传感器、第二温度传感器和温度控制器；

上述腔室用于放置待加工晶圆，线圈环绕腔室设置并为腔室提供热场，参见如图 2a 所示的腔室结构正视图和图 2b 所示的腔室结构侧视图，腔室上设置有第一测温孔 21 和第二测温孔 22，第一测温孔 21 和第二测温孔 22 分布在腔室的中心区域；待加工晶圆 20 的位置设置在使待加工晶圆 20 的中心点与腔室的中心点重合的位置，即腔室的中心点与晶圆的中心点为同一点。

第一温度传感器用于通过第一测温孔 21 检测腔室的温度，记为第一温度；

第二温度传感器用于通过第二测温孔 22 检测腔室的温度，记为第二温度；

温度控制器用于获取第一温度和第二温度，当腔室的温度达到稳态时，基于第一温度和/或第二温度判断线圈的中心位置是否偏离腔室的中心点，如

果是，基于第一温度和/或第二温度控制线圈沿中心轴线平移，直至线圈的中心位置到达腔室的中心点。容易理解的是，线圈的中心轴线与腔室的中心轴线重合。

工艺开始后，向线圈中通入电流对腔室进行恒功率加热，加热一定时长后（诸如加热 30min 后），腔室的温度达到所需的工艺温度，判断腔室的温度在预设时长内的波动幅度是否小于设定幅度，如果是，则确定腔室的温度达到稳态。在一种具体的实施方式中，可以基于第一温度传感器和/或第二温度传感器实时检测腔室的温度，当腔室的温度达到设定工艺温度，且在 1min 之内的波动幅度小于 0.2°C 时，确定腔室的温度达到稳态。基于第一温度传感器和第二温度传感器监测腔室的温度（也即腔室的内壁温度）。

发明人研究发现，腔室的温度达到稳态时，温度最高点在线圈的中心点或者分布在腔室的中心区域内，该中心区域是以腔室的中心点为中心，且边缘距离该中心一定距离（例如 5mm）的区域，在该中心区域内的温度都可以被视为是温度最高点，也就是说，该中心区域内的温度与真实的温度最高点之间的差值在允许偏差范围内。当第一温度传感器和第二温度传感器分布在腔室的中心区域时，若腔室中心点与线圈的中心点重合，即晶圆中心点与线圈的中心点重合时，第一温度传感器和第二温度传感器检测到的温度值相等，或者二者的差值在允许偏差范围内。

在一种实施方式中，通过判断第一温度传感器和第二温度传感器检测到第一温度与第二温度是否相等或者二者的差值在允许偏差范围内，可以判断出线圈的中心位置是否偏离所述腔室的中心点或者偏离中心点的距离超出允许偏差范围，进而可以判断出晶圆的中心点是否偏离了线圈的中心位置。

在一些实施例，第一测温孔 21 和第二测温孔 22 分布在腔室的中心两侧，在一个优选的实施例，第一测温孔 21 和第二测温孔 22 相对于腔室的中心对称分布，这样可以使第一温度传感器和第二温度传感器等距分布在晶

圆中心区域并且呈中心对称，若腔室中心点与线圈的中心点重合，即晶圆中心点与线圈的中心点重合时，第一温度传感器和第二温度传感器检测到的温度值相等，通过判断第一温度传感器和第二温度传感器检测到第一温度与第二温度是否相等，可以判断出线圈的中心位置是否偏离所述腔室的中心点，进而可以判断出晶圆的中心点是否偏离了线圈的中心位置。

需要说明的是，在本实施例中，第一测温孔 21 和第二测温孔 22 均为一个，但是，本申请实施例并不局限于此，在实际应用中，第一测温孔 21 和第二测温孔 22 还可以均为多个，且成对设置，每对第一测温孔 21 和第二测温孔 22 分布在腔室的中心区域。在此基础上，第一温度传感器和第二温度传感器成对设置，且每对第一温度传感器和第二温度传感器分别与每对第一测温孔 21 和第二测温孔 22 一一对应。

在另一种实施方式中，可以获取腔室的温度达到稳态时的腔室温度分布曲线图，通过基于腔室温度分布曲线图判断第一温度传感器检测到的第一温度或者第二温度传感器检测到的第二温度是否合理（例如第一温度或第二温度是否与腔室温度分布曲线图中的温度对应相等），可以判断出线圈的中心位置是否偏离腔室的中心点或者偏离中心点的距离超出允许偏差范围，进而可以判断出晶圆的中心点是否偏离了线圈的中心位置。

本实施例提供的上述半导体热处理设备，通过在腔室上设置两个测温孔，并在腔室的温度达到稳态时，基于第一温度传感器检测到的第一温度和/或第二温度传感器检测到的第二温度判断线圈的中心位置是否偏离腔室的中心点或者偏离中心点的距离超出允许偏差范围，可以判断晶圆的中心点是否位于温度最高点，通过在晶圆偏离线圈中心位置时移动线圈使线圈的中心位置到达腔室的中心点，以保证工艺过程中晶圆中心与线圈的中心重合，从而使晶圆始终处于温度最高点处，保证了晶圆温度的均匀性。

在一个实施例中，本实施例提供的温度控制器还用于判断第一温度与第

二温度是否相等，或者二者的差值在允许偏差范围内，若第一温度与第二温度不相等，或者二者的差值超出允许偏差范围，确定线圈的中心位置偏离腔室的中心点；基于第一温度和第二温度控制线圈沿中心轴线平移，直至第一温度等于第二温度，或者二者的差值在允许偏差范围内，确定线圈的中心位置到达腔室的中心点。

当第一温度传感器和第二温度传感器检测到的温度值不相等，或者二者的差值超出允许偏差范围时，表明腔室的中心点与线圈的中心点没有重合，即晶圆中心点偏离了线圈的中心位置或者偏离中心位置的距离超出允许偏差范围，控制线圈沿中心轴线平移（即将套在腔室外侧的线圈沿腔室中心轴线平移，平移过程中线圈与腔室外壁之间的间距不变，例如保持线圈的中心轴线与腔室的中心轴线重合），以平移线圈的中心位置，直至第一温度传感器和第二温度传感器检测到的温度值相等，或者二者的差值在允许偏差范围内，确定线圈的中心位置到达腔室的中心点，即线圈的中心位置到达晶圆中心点，晶圆到达温度最高点处。

在另一个实施例中，本实施例提供的腔室包括多个区域，且每个区域中的线圈匝数相同，温度控制器中存储有腔室的温度达到稳态时的温度梯度分布曲线，温度梯度分布曲线为各区域对应的腔室温度；基于腔室外线圈的匝数将线圈平均划分为多个区域，诸如，可以将总匝数为 10 的线圈内部的腔室划分为 10 个区域，每个区域中线圈的匝数为 1。参见如图 3 所示的腔室各区域的腔室温度分布曲线图，图 3 的曲线图中横轴为区域编号，纵轴为腔室温度（单位为 k），从图 3 中可以看出，腔室到达稳态后的腔室温度为轴对称非线性分布，温度的最高点在线圈的中心点位置，也就是腔室和晶圆的中心点。因此，当两个测温点分布在腔室的中心区域，优选等距分布在腔室中心区域并且呈中心对称时，若线圈的中心点与腔室中心点重合，两个测温点测出的温度相等，或者二者的差值在允许偏差范围内，可以通过两个测温点的温度

差值进行线圈位置的调整，即可将温场的温度最高点与晶圆的中心重合。

在一些实施例中，温度控制器还用于获取腔室上第一测温孔的所在区域，记为第一设置区域；确定第一设置区域在温度梯度分布曲线中对应的腔室温度，记为第一目标温度；判断第一温度与第一目标温度是否相等，或者二者的差值在允许偏差范围内，若第一温度与第一目标温度不相等或者超出允许偏差范围，确定线圈的中心位置偏离腔室的中心点；上述第一目标温度为腔室中心点与线圈中心点重合时第一温度传感器应检测到的温度。

在一些实施例中，温度控制器还用于获取腔室上第二测温孔的所在区域，记为第二设置区域；确定第二设置区域在温度梯度分布曲线中对应的腔室温度，记为第二目标温度；判断第二温度与第二目标温度是否相等，或者二者的差值在允许偏差范围内，若第二温度与第二目标温度不相等或者超出允许偏差范围，确定线圈的中心位置偏离腔室的中心点。上述第二目标温度为腔室中心点与线圈中心点重合时第二温度传感器应检测到的温度。

需要说明的是，温度控制器既可以获取第一设置区域，并确定第一设置区域在温度梯度分布曲线中对应的腔室温度，若第一温度与第一目标温度不相等或者超出允许偏差范围，确定线圈的中心位置偏离腔室的中心点。也可以获取第二设置区域，并确定第二设置区域在温度梯度分布曲线中对应的腔室温度，若第二温度与第二目标温度不相等或者超出允许偏差范围，确定线圈的中心位置偏离腔室的中心点。还可以获取第一设置区域和第二设置区域，以及确定二者在温度梯度分布曲线中对应的腔室温度，若第一温度与第一目标温度不相等或者超出允许偏差范围，和/或第二温度与第二目标温度不相等或者超出允许偏差范围，确定线圈的中心位置偏离腔室的中心点。若第一温度等于第一目标温度或者二者的差值在允许偏差范围内，且第二温度等于第二目标温度或者二者的差值在允许偏差范围内，表明腔室中心点与线圈中心点重合，线圈位置未发生偏移。

以图3中所示的腔室温度分布曲线图为例,假设第一测温孔的第一设置区域为区域8,第二测温孔的第二设置区域为区域2,根据腔室温度分布曲线图可知,当腔室中心点与线圈中心点重合时,第一测温孔的第一设置区域8在温度梯度分布曲线中对应的第一目标温度为 1550°C ,第二测温孔的第二设置区域2在温度梯度分布曲线中对应的第二目标温度为 1550°C 。因此,当腔室的温度达到稳态时,判断第一温度传感器检测到的第一温度是否等于第一目标温度,若第一温度与第一目标温度不相等,表明线圈位置发生偏离,腔室中心点与线圈中心点未重合;判断第二温度传感器检测到的第二温度是否等于第二目标温度,若第二温度与第二目标温度不相等,表明线圈位置发生偏离,腔室中心点与线圈中心点未重合。若第一温度传感器检测到的第一温度等于第二温度传感器检测到的第二温度且均等于 1550°C ,表明腔室中心点与线圈中心点重合,线圈位置未发生偏移。

在一个实施例中,本实施例提供的半导体热处理设备,还包括:驱动件,驱动件与线圈连接,驱动件用于带动线圈平移;该驱动件例如包括电机等。

在一种实施方式中,温度控制器还用于基于第一目标温度和第一温度计算线圈的平移量和平移方向;基于平移量和平移方向控制驱动件带动线圈平移,直至线圈的中心点与腔室的中心点重合。

当第一温度传感器当前实际检测到的第一温度大于第一目标温度时,表明线圈中心点距离第一测温孔较近,导致第一温度传感器检测到的温度高于线圈中心未偏离时应该检测到的第一目标温度,控制线圈向第二测温孔方向(即腔室中心点指向第二测温孔的方向)平移,平移量与第一温度与第一目标温度的差值相关,该差值越大则平移量越大;反之,若第一温度小于第一腔室温度,表明线圈中心点距离第二测温孔较近,导致第一温度传感器检测到的温度低于线圈中心未偏离时应该检测到的第一目标温度,控制线圈向第一测温孔方向(即腔室中心点指向第一测温孔的方向)平移,平移量与(第

一腔室温度与第一温度的差值) 相关, 第一腔室温度与第一温度的差值越大则平移量越大。

示例性的, 以图 3 所示的腔室温度分布曲线图为例, 假设第一测温孔设置于区域 8 中, 当腔室中心点与线圈中心点重合时, 如图 3 所示, 第一温度传感器应该检测到的第一目标温度为 1550°C , 若在腔室温度达到稳态时, 第一温度传感器检测到的第一温度为 1600°C , 表明图 3 中的曲线向第一测温孔方向 (区域 2 指向区域 8 的方向) 平移了一个区域, 即腔室向第二测温孔平移了一个区域, 线圈中心距离第一测温孔的距离较近, 控制线圈向第二测温孔方向 (区域 8 指向区域 2 的方向) 平移一个区域长度 (诸如为 30mm), 以使第一温度和第二温度均恢复至 1550°C 。

在一些实施例中, 以驱动件包括旋转电机和传动结构为例, 通过控制旋转电机的正转反转, 并通过传动结构将旋转电机提供的动力转换为直线动力, 并传递给线圈, 以控制线圈的平移方向。当然, 在实际应用中, 驱动件还可以包括直线电机等。

在另一种实施方式中, 温度控制器还用于基于第二目标温度和第二温度计算线圈的平移量和平移方向; 基于平移量和平移方向控制电机转动, 以带动线圈平移直至线圈的中心点与腔室的中心点重合。

当第二温度传感器当前实际检测到的第二温度大于第二目标温度时, 表明线圈中心点距离第二测温孔较近, 距离第一测温孔较远, 导致第二温度传感器检测到的第二温度高于线圈中心未偏离时应该检测到的第二目标温度, 控制线圈向第一测温孔方向平移, 平移量与 (第二温度与第二腔室温度的差值) 相关, 第二温度与第二腔室温度的差值越大则平移量越大; 反之, 若第二温度小于第二目标温度, 表明线圈中心点距离第一测温孔较近, 距离第二测温孔较远, 导致第二温度传感器检测到的第二温度低于线圈中心未偏离时应该检测到的第二目标温度, 控制线圈向第二测温孔方向平移, 平移量与 (第

二腔室温度与第二温度的差值) 相关, 第二腔室温度与第二温度的差值越大则平移量越大。

示例性的, 以图 3 所示的腔室温度分布曲线图为例, 假设第二测温孔设置于区域 2 中, 当腔室中心与线圈中心重合时, 如图 3 所示, 第二温度传感器应该检测到的第二目标温度为 1550°C , 若在腔室温度达到稳态时, 第二温度传感器检测到的第二温度为 1500°C , 表明图 3 中的曲线向第一测温孔方向 (即区域 2 指向区域 8 的方向) 平移了一个区域, 即腔室向第二测温孔方向平移了一个区域, 线圈中心距离第一测温孔的距离较近, 线圈中心距离第二测温孔的距离较远, 控制线圈向第二测温孔方向 (即区域 8 指向区域 2 的方向) 平移一个区域长度 (诸如为 30mm), 以使第一温度和第二温度均恢复至 1550°C 。

在一个实施例中, 本实施例提供的温度控制器为可编程逻辑控制器, 可编程逻辑控制器分别与第一温度传感器、第二温度传感器及线圈的感应电源通信连接, 从而可以获取到第一温度传感器检测的第一温度、第二温度传感器检测的第二温度以及通过线圈的交流电流 I 和电流频率 f 。

本实施例提供的上述半导体热处理设备, 可以根据腔室内的温度分布曲线及两个温度传感器检测的温度调整平移线圈, 保证线圈中心点的温度最高点与晶圆中心点重合, 保证晶圆生长时的温度均匀性; 腔室温度控制简便且计算速度快, 提升了调温效率; 且采用两个温度传感器检测腔室内的温度, 可以更加有效可靠地进行温度测量, 两个测温孔的位置可以作为线圈位置调节的判断条件, 可以保证晶圆区域的温度均匀性。

对应于上述实施例提供的半导体热处理设备, 本实施例提供了一种半导体热处理设备的温度控制方法, 应用于上述实施例提供的半导体热处理设备, 参见图 4 所示的半导体热处理设备的温度控制方法流程图, 该方法主要包括以下步骤:

步骤 S402, 获取第一温度传感器检测到的第一温度, 获取第二温度传感器检测到的第二温度;

温度控制器分别与第一温度传感器和第二温度传感器通信连接, 并实时获取第一温度传感器检测到的第一温度和第二温度传感器检测到的第二温度。

步骤 S404, 当腔室的温度达到稳态时, 基于第一温度和/或第二温度判断线圈的中心位置是否偏离腔室的中心点;

工艺开始后, 向线圈中通入电流对腔室进行恒功率加热, 加热一定时长后 (诸如加热 30min 后), 腔室的温度达到所需的工艺温度, 判断腔室的温度在预设时长内的波动幅度是否小于设定幅度, 如果是, 则确定腔室的温度达到稳态。

当腔室的温度达到稳态时, 在腔室中心点与线圈中心点重合的情况下, 第一温度传感器和第二温度传感器检测到的温度值相等, 在一种实施方式中, 通过判断第一温度传感器和第二温度传感器检测到第一温度与第二温度是否相等或者二者的差值在允许偏差范围内, 可以判断出线圈的中心位置是否偏离所述腔室的中心点, 进而可以判断出晶圆的中心点是否偏离了线圈的中心位置。

在另一种实施方式中, 通过基于腔室温度分布曲线图判断第一温度传感器检测到的第一温度或者第二温度传感器检测到的第二温度是否合理 (例如第一温度或第二温度是否与腔室温度分布曲线图中的温度对应相等), 可以判断出线圈的中心位置是否偏离腔室的中心点, 进而可以判断出晶圆的中心点是否偏离了线圈的中心位置。

步骤 S406, 如果是, 基于第一温度和/或第二温度控制线圈沿中心轴线平移, 直至线圈的中心位置到达腔室的中心点。

在一种实施方式中, 基于第一温度和第二温度控制线圈沿中心轴线平

移，直至第一温度等于第二温度或者二者的差值在允许偏差范围内，确定线圈的中心位置到达腔室的中心点；在另一种实施方式中，可以获取腔室的温度达到稳态时的腔室温度分布曲线图，基于第一温度或第二温度控制线圈沿中心轴线平移，当第一温度或第二温度与腔室温度分布曲线图中的温度对应相等时，确定线圈的中心位置到达腔室的中心点。

本实施例提供的上述半导体热处理设备的温度控制方法，通过在腔室上设置两个测温孔，并在腔室的温度达到稳态时，基于第一温度传感器检测到的第一温度和/或第二温度传感器检测到的第二温度判断线圈的中心位置是否偏离腔室的中心点，可以判断晶圆的中心点是否位于温度最高点，通过在晶圆偏离线圈中心位置时移动线圈使线圈的中心位置到达腔室的中心点，以保证工艺过程中晶圆中心与线圈的中心重合，从而使晶圆始终处于温度最高点处，保证了晶圆温度的均匀性。

在一个实施例中，本实施例提供了基于第一温度和第二温度判断晶圆线圈的中心位置是否偏离腔室的中心点的一种具体实施方式：判断第一温度与第二温度是否相等或者二者的差值在允许偏差范围内，若第一温度与第二温度不相等或者二者的差值超出允许偏差范围，确定线圈的中心位置偏离腔室的中心点。

在一个实施例中，本实施例提供了基于第一温度和第二温度控制线圈沿中心轴线平移，直至线圈的中心位置到达腔室的中心点的实施方式，具体可参照如下步骤执行：

步骤（1）：当第一温度大于第二温度时，控制线圈向第一方向平移，直至第一温度等于第二温度；其中，第一方向为第二测温孔所在的方向。

若第一温度大于第二温度，表明第一温度传感器检测到的温度较高，线圈中心点偏向第一测温孔所在的方向，控制线圈向第二测温孔所在的方向（即第一测温孔所在区域指向第二测温孔所在区域的方向）平移，以使第一温度

等于第二温度。

以图 2b 所示的腔室为例，当第一温度大于第二温度时，表明线圈中心点距离第一测温孔 21 较近，线圈中心点在腔室中心点的右侧，控制线圈向第二测温孔所在的方向平移，即控制线圈向左平移，直到第一温度等于第二温度，晶圆中心点与线圈中心点重合。

步骤 (2)：当第一温度小于第二温度时，控制线圈向第二方向平移，直至第一温度等于第二温度；其中，第二方向为第一测温孔所在的方向。

若第一温度小于第二温度，表明第二温度传感器检测到的温度较高，线圈中心点距离第二测温孔较近，控制线圈向第一测温孔所在的方向平移，以使第一温度等于第二温度。

以图 2b 所示的腔室为例，当第一温度小于第二温度时，表明线圈中心点离第二测温孔 22 距离较近，线圈中心点在腔室中心点的左侧，控制线圈向第一测温孔 21 所在的方向平移，即控制线圈向右平移，直到第一温度等于第二温度，晶圆中心点与线圈中心点重合。

在一个实施例中，为了证明温度最高点在线圈的中心位置，本实施例提供的方法还包括以下步骤：

步骤 1)：计算腔室在预设工艺温度下的趋肤深度，获取线圈的交流电流值，基于线圈的匝数将腔室划分为多个区域，基于趋肤深度及交流电流值计算腔室中各区域的热源强度；其中，每个区域中的线圈匝数相同；

对线圈的温场进行分析，以确定腔室中的最高温度位置。首先，对腔室进行磁场强度的分析，腔室上作用的磁场强度的计算公式为：

$$H_{m0} = \sqrt{2} * \left(\frac{n}{Z_0}\right) \quad (\text{公式一})$$

其中， n 为线圈的匝数， Z_0 为线圈的卷曲长度。作用在腔室内表面上的涡电流密度为：

$$\delta_{m0} = \sqrt{2} * \frac{H_{m0}}{\Delta} = 2 * \frac{1}{\Delta} * (e^{\frac{r-r_0}{\Delta}}) \quad (\text{公式二})$$

其中， δ_{m0} 为腔室表面的涡电流密度， Δ 为趋肤深度， H_{m0} 为磁场强度， r 为被测点的半径， r_0 为腔室的圆筒半径。

趋肤深度的计算公式为：

$$\Delta = \sqrt{\frac{2}{\omega * \mu * \gamma}} \quad (\text{公式三})$$

其中， ω 为角频率（ $\omega = 2\pi f$ (rad/s)，频率 $f = 4900$ Hz）， μ 为磁导率（ $\mu = 4\pi * 10^7$ ）， γ 为电导率（诸如可以是 83333 S/m）。

随着半径的变化，被测点的涡电流密度的计算公式为：

$$\delta_{mr} = \delta_{m0} * e^{\frac{r-r_0}{\Delta}} \quad (\text{公式四})$$

在考虑半径 r 上的微小面积 ds 时，通过微小面积的涡电流的计算公式为：

$$dI_r = \delta_{mr} * dS \quad (\text{公式五})$$

则涡电流发生的功率的计算公式为：

$$dP = (dI_r)^2 * dR * \frac{1}{J} \quad (\text{公式六})$$

其中， dR 为通过微小面积的涡电流的材料的有效电阻值， J 为换算参数（ $J = 4.18$ cal/w）。

基于上述公式五和公式六可以计算热源强度，基于线圈的匝数将腔室平均划分为多个区域，每个区域中包括的线圈匝数相同，诸如，当线圈匝数为 30 时，若将腔室划分为 10 个区域，则每个区域中的线圈匝数为 3；当线圈匝数为 10 时，若将腔室划分为 10 个区域，每个区域中线圈的匝数 $n_i = 1$ ，每个区域线圈的卷曲长度 $Z_i = 30$ mm，则腔室第 i 个区域的热源强度的计算公式为：

$$F_i = \frac{dP}{dV} = \frac{4 * \rho * I^2}{\Delta^2 * J * e^{\frac{2 * r_0}{\Delta}}} * \left(\frac{n_i}{Z_i}\right) * e^{\frac{2 * r}{\Delta}} \quad (\text{公式七})$$

其中， ρ 为腔室材料的电阻率， I 为通入线圈的交流电流， F_i 为第*i*个区域的热源强度。

由于每个区域的线圈匝数相同且线圈长度一定，经过仿真计算可以得出，每个区域的热源强度相等，假设腔室厚度为15mm，被测点 $r = 0.085 \text{ m}$ ，参见如图5所示的腔室中各区域的热源强度分布示意图，可以计算得到 $F_1 = F_2 = F_3 = \dots = F_{10} = 3.9511 * 10^4 \text{ W/m}^3$ ，即腔室内各区域的热源强度相同。

步骤3): 获取腔室的温度达到稳态时腔室两端的环境温度，基于环境温度及各区域的热源强度计算各区域的腔室温度，得到腔室的温度梯度分布曲线。

基于各区域的热源强度计算各区域的热量：

$$Q_i = F * V_i * t \quad (\text{公式八})$$

其中， Q_i 为第*i*个区域的热量， V_i 为第*i*个区域的体积， t 为发热时间。

在没有任何外力干扰的情况下，腔室内部的热源强度稳定的情况下，腔室内部能量均匀一致，需要考虑环境温度对于腔室内部温场的影响，腔室环境对于腔室的影响可以使用下述公式九进行热量流失的计算仿真。在考虑环境温度与腔室内部温度处于平衡状态的情况下，腔室前后的温度稳定，腔室产生的热量与腔室前后吸收的热量相等。

$$Q = \sigma * \varepsilon * A * (T_1^4 - T_2^4) \quad (\text{公式九})$$

其中， Q 为热辐射导致的腔室环境热量的变化量， σ 为斯托克斯常数，为腔室表面热辐射率， A 为所述腔室的内表面积， T_2 为环境温度， T_1 为达到稳态后的腔室温度（即腔室内表面温度）。

设发热时间 $t = 1 \text{ s}$ ，则述腔室温度的计算公式为：

$$T_1 = \sqrt[4]{\frac{F * V}{\sigma * \varepsilon * A}} + T_2^4 \quad (\text{公式十})$$

在一种具体的实施方式中，本实施例提供了基于环境温度及各区域的热源强度计算各区域的腔室温度的实施方式，具体可参照如下步骤执行：

步骤 1，从腔室任意一端的第一个区域开始，基于第一个区域的热源强度及环境温度计算工艺过程达到稳态时第一个区域的腔室温度；

从腔室一端的第一个区域开始，以图 2b 中的腔室为例，诸如可以在线圈匝数为 10 时，将腔室划分为 10 个区域，从图 2b 中腔室最左端的第一个区域开始，第一个区域的腔室温度的计算公式为：

$$T_{11} = \sqrt[4]{\frac{F_1 * V_1}{\sigma * \varepsilon * A}} + T_{12}^4$$

其中， T_{11} 为第 1 个区域的腔室温度， F_1 为第 1 个区域的热源强度， σ 为斯托克斯常数， ε 为腔室表面热辐射率， A 为所述腔室的内表面积， T_{12} 为第 1 个区域对应的环境温度（即腔室两端的环境温度，可以基于测温仪实际检测得到）， V_1 为第 1 个区域的体积。

步骤 2，将第一个区域的腔室温度作为相邻的下一个区域的环境温度，基于下一个区域的环境温度及下一个区域的热源强度计算工艺过程达到稳态时下一个区域的腔室温度，直至计算出腔室的中心点所在区域的腔室温度；

将第一个区域的腔室温度作为相邻的下一个区域的环境温度，即 $T_{22} = T_{11}$ ，下一个区域（即第二个区域）的腔室温度的计算公式为：

$$T_{21} = \sqrt[4]{\frac{F_2 * V_2}{\sigma * \varepsilon * A}} + T_{22}^4$$

其中， T_{21} 为第 2 个区域的腔室温度， F_2 为第 1 个区域的热源强度， T_{22} 为第 2 个区域对应的环境温度（即将第一个区域的腔室温度作为相邻的第二

个区域的环境温度), V_2 为第 2 个区域的体积。

将第二个区域的腔室温度作为相邻的第三区域的环境温度, 以此类推, 依次计算出从第一个区域到腔室的中心点所在区域中各个区域的腔室温度。

$$T_{i1} = \sqrt[4]{\frac{F_i * V_i}{\sigma * \varepsilon * A} + T_{i2}^4}$$

其中, T_{i1} 为第 i 个区域的腔室温度, F_i 为第 i 个区域的热源强度, σ 为斯托克斯常数, ε 为腔室表面热辐射率, A 为腔室的内表面积, T_{i2} 为第 i 个区域对应的环境温度, V_i 为第 i 个区域的体积。

步骤 3, 基于腔室一端的第一个区域至中心点所在区域的各腔室温度对称性得到腔室中心点所在区域至腔室另一端的各区域的腔室温度。

由腔室温度的对称性, 由第一个区域到腔室的中心点所在区域的腔室温度的曲线图可以得到相对称的另一半区域的腔室温度曲线图。

当腔室内达到稳定状态时, 参见如图 3 所示的腔室各区域的腔室温度分布曲线图, 图 3 的曲线图中横轴为区域编号, 纵轴为腔室温度 (单位为 k), 从图 3 中可以看出, 腔室到达稳态后的温度模型为轴对称非线性分布, 温度的最高点在线圈的中心点位置, 也就是腔室和晶圆的中心点。因此, 当两个测温孔等距分布在腔室中心点区域并且呈中心对称时, 在线圈的中心点与腔室中心点重合时, 两个温度传感器测出的温度相等。

在一个实施例中, 本实施例提供了基于第一温度和/或第二温度判断线圈的中心位置是否偏离腔室的中心点的两种实施方式:

在一种实施方式中, 获取腔室上第一测温孔的所在区域, 记为第一设置区域; 确定第一设置区域在温度梯度分布曲线中对应的腔室温度, 记为第一目标温度; 判断第一温度与第一目标温度是否相等, 若第一温度与第一目标温度不相等, 确定线圈的中心位置偏离腔室的中心点;

上述测温孔在腔室上的设置位置通常不变, 获取第一测温孔的所在区

域，记为第一设置区域，确定温度梯度分布曲线中第一设置区域对应的腔室温度，即腔室温度达到稳态时，线圈中心点与腔室中心点重合时第一温度传感器理论上应该检测到的温度，记为第一目标温度。若第一温度与第一目标温度相等，确定线圈的中心位置未偏离腔室的中心点，晶圆位于温度最高点处。

在另一种实施方式中，获取腔室上第二测温孔的所在区域，记为第二设置区域；确定第二设置区域在温度梯度分布曲线中对应的腔室温度，记为第二目标温度；判断第二温度与第二目标温度是否相等，若第二温度与第二目标温度不相等，确定线圈的中心位置偏离腔室的中心点。

获取第二测温孔的所在区域，记为第二设置区域，确定温度梯度分布曲线中第二设置区域对应的腔室温度，即腔室温度达到稳态时，线圈中心点与腔室中心点重合时第二温度传感器理论上应该检测到的温度，记为第二目标温度。若第二温度与第二目标温度相等，确定线圈的中心位置未偏离腔室的中心点，晶圆位于温度最高点处。

在一个实施例中，本实施例提供的半导体热处理设备还包括驱动件，驱动件与线圈连接，驱动件用于带动线圈平移本实施例提供了基于第一温度和/或第二温度控制线圈沿中心轴线平移，直至线圈的中心位置到达腔室的中心点的两种实施方式，具体可参照如下实施方式一和实施方式二执行：

实施方式一：

基于第一目标温度和第一温度计算线圈的平移量和平移方向；基于平移量和平移方向控制驱动件转动，以带动线圈平移直至线圈的中心位置与腔室的中心点重合。

当第一温度传感器当前实际检测到的第一温度大于第一目标温度时，表明线圈中心点距离第一测温孔较近，导致第一温度传感器检测到的温度高于线圈中心未偏离时应该检测到的第一目标温度，控制线圈向第二测温孔方向

(即腔室中心点指向第二测温孔的方向)平移, 平移量与第一温度与第一目标温度的差值相关, 该差值越大则平移量越大; 反之, 若第一温度小于第一腔室温度, 表明线圈中心点距离第二测温孔较近, 导致第一温度传感器检测到的温度低于线圈中心未偏离时应该检测到的第一目标温度, 控制线圈向第一测温孔方向(即腔室中心点指向第一测温孔的方向)平移, 平移量与(第一腔室温度与第一温度的差值)相关, 该差值越大则平移量越大。

实施方式二:

基于第二目标温度和第二温度计算线圈的平移量和平移方向; 基于平移量和平移方向控制驱动件转动, 以带动线圈平移直至线圈的中心位置与腔室的中心点重合。

当第二温度传感器当前实际检测到的第二温度大于第二目标温度时, 表明线圈中心点距离第二测温孔较近, 距离第一测温孔较远, 导致第二温度传感器检测到的第二温度高于线圈中心未偏离时应该检测到的第二目标温度, 控制线圈向第一测温孔方向平移, 平移量与(第二温度与第二腔室温度的差值)相关, 该差值越大则平移量越大; 反之, 若第二温度小于第二目标温度, 表明线圈中心点距离第一测温孔较近, 距离第二测温孔较远, 导致第二温度传感器检测到的第二温度低于线圈中心未偏离时应该检测到的第二目标温度, 控制线圈向第二测温孔方向平移, 平移量与(第二腔室温度与第二温度的差值)相关, 该差值越大则平移量越大。

本实施例提供的上述半导体热处理设备的温度控制方法, 可以根据腔室内的温度分布曲线及两个温度传感器检测的温度调整平移线圈, 保证线圈中心点的温度最高点与晶圆中心点重合, 保证晶圆生长时的温度均匀性; 腔室温度控制简便且计算速度快, 提升了调温效率; 且采用两个温度传感器检测腔室内的温度, 可以更加有效可靠地进行温度测量, 两个测温孔的位置可以作为线圈位置调节的判断条件, 可以保证晶圆的温度均匀性。

本实施例所提供的方法，其实现原理及产生的技术效果和前述实施例相同，为简要描述，方法实施例部分未提及之处，可参考前述设备实施例中相应内容。

本申请实施例提供了一种计算机可读介质，其中，所述计算机可读介质存储有计算机可执行指令，所述计算机可执行指令在被处理器调用和执行时，所述计算机可执行指令促使所述处理器实现上述实施例所述的方法。

所属领域的技术人员可以清楚地了解到，为描述的方便和简洁，上述描述的系统具体工作过程，可以参考前述实施例中的对应过程，在此不再赘述。

本申请实施例所提供的半导体热处理设备的温度控制方法的计算机程序产品，包括存储了程序代码的计算机可读存储介质，所述程序代码包括的指令可用于执行前面方法实施例中所述的方法，具体实现可参见方法实施例，在此不再赘述。

另外，在本申请实施例的描述中，除非另有明确的规定和限定，术语“安装”、“相连”、“连接”应做广义理解，例如，可以是固定连接，也可以是可拆卸连接，或一体地连接；可以是机械连接，也可以是电连接；可以是直接相连，也可以通过中间媒介间接相连，可以是两个元件内部的连通。对于本领域的普通技术人员而言，可以根据具体情况理解上述术语在本申请中的具体含义。

所述功能如果以软件功能单元的形式实现并作为独立的产品销售或使用，可以存储在一个计算机可读存储介质中。基于这样的理解，本申请的技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分或者该技术方案的部分可以以软件产品的形式体现出来，该计算机软件产品存储在一个存储介质中，包括若干指令用以使得一台计算机设备（可以是个人计算机，服务器，或者网络设备）执行本申请各个实施例所述方法的全部或部分步骤。而前述的存储介质包括：U 盘、移动硬盘、只读存储器（ROM，Read-Only Memory）、

随机存取存储器（RAM，Random Access Memory）、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

在本申请的描述中，需要说明的是，术语“中心”、“上”、“下”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“内”、“外”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系，仅是为了便于描述本申请和简化描述，而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作，因此不能理解为对本申请的限制。此外，术语“第一”、“第二”、“第三”仅用于描述目的，而不能理解为指示或暗示相对重要性。

最后应说明的是：以上所述实施例，仅为本申请的具体实施方式，用以说明本申请的技术方案，而非对其限制，本申请的保护范围并不局限于此，尽管参照前述实施例对本申请进行了详细的说明，本领域的普通技术人员应当理解：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，其依然可以对前述实施例所记载的技术方案进行修改或可轻易想到变化，或者对其中部分技术特征进行等同替换；而这些修改、变化或者替换，并不使相应技术方案的本质脱离本申请实施例技术方案的精神和范围，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. 一种半导体热处理设备，其特征在于，包括：线圈、腔室、第一温度传感器、第二温度传感器和温度控制器；
- 5 所述腔室用于放置待加工晶圆，所述线圈环绕所述腔室设置并为所述腔室提供热场，所述腔室上设置有第一测温孔和第二测温孔，所述第一测温孔和所述第二测温孔分布在所述腔室的中心区域；
- 所述第一温度传感器用于通过所述第一测温孔检测所述腔室的温度，记为第一温度；
- 10 所述第二温度传感器用于通过所述第二测温孔检测所述腔室的温度，记为第二温度；
- 所述温度控制器用于获取所述第一温度和所述第二温度，当所述腔室的温度达到稳态时，基于所述第一温度和/或所述第二温度判断所述线圈的中心位置是否偏离所述腔室的中心点，如果是，基于所述第一温度和/或所述第二
- 15 温度控制所述线圈沿中心轴线平移，直至所述线圈的中心位置到达所述腔室的中心点。
2. 根据权利要求 1 所述的半导体热处理设备，其特征在于，所述温度控制器还用于判断所述第一温度与所述第二温度是否相等，若所述第一温度
- 20 与所述第二温度不相等，确定所述线圈的中心位置偏离所述腔室的中心点；
- 基于所述第一温度和所述第二温度控制所述线圈沿中心轴线平移，直至所述第一温度等于所述第二温度，确定所述线圈的中心位置到达所述腔室的中心点。
- 25 3. 根据权利要求 1 所述的半导体热处理设备，其特征在于，所述腔室包括多个区域，且每个所述区域中的线圈匝数相同，所述温度控制器中存储有所述腔室的温度达到稳态时的温度梯度分布曲线，所述温度梯度分布曲线

为各所述区域对应的腔室温度；

所述温度控制器还用于获取所述腔室上所述第一测温孔的所在区域，记为第一设置区域；确定所述第一设置区域在所述温度梯度分布曲线中对应的腔室温度，记为第一目标温度；判断所述第一温度与所述第一目标温度是否相等，若所述第一温度与所述第一目标温度不相等，确定所述线圈的中心位置偏离所述腔室的中心点；

和/或，

所述温度控制器还用于获取所述腔室上所述第二测温孔的所在区域，记为第二设置区域；确定所述第二设置区域在所述温度梯度分布曲线中对应的腔室温度，记为第二目标温度；判断所述第二温度与所述第二目标温度是否相等，若所述第二温度与所述第二目标温度不相等，确定所述线圈的中心位置偏离所述腔室的中心点。

4. 根据权利要求3所述的半导体热处理设备，其特征在于，还包括：
驱动件，所述驱动件与所述线圈连接，所述驱动件用于带动所述线圈平移；

所述温度控制器还用于基于所述第一目标温度和所述第一温度计算所述线圈的平移量和平移方向；基于所述平移量和平移方向控制所述驱动件带动所述线圈平移，直至所述线圈的中心点与所述腔室的中心点重合；

和/或，

所述温度控制器还用于基于所述第二目标温度和所述第二温度计算所述线圈的平移量和平移方向；基于所述平移量和平移方向控制所述驱动件带动所述线圈平移，直至所述线圈的中心点与所述腔室的中心点重合。

5. 根据权利要求1所述的半导体热处理设备，其特征在于，所述温度控制器为可编程逻辑控制器，所述可编程逻辑控制器分别与所述第一温度传感器、所述第二温度传感器及所述线圈的感应电源通信连接。

6. 一种半导体热处理设备的温度控制方法，其特征在于，应用于权利要求 1-5 任一项所述的半导体热处理设备，所述温度控制方法包括：

获取所述第一温度传感器检测到的第一温度，获取所述第二温度传感器检测到的第二温度；

5 当所述腔室的温度达到稳态时，基于所述第一温度和/或所述第二温度判断所述线圈的中心位置是否偏离所述腔室的中心点；

如果是，基于所述第一温度和/或所述第二温度控制所述线圈沿中心轴线平移，直至所述线圈的中心位置到达所述腔室的中心点。

10 7. 根据权利要求 6 所述的方法，其特征在于，所述基于所述第一温度和/或所述第二温度判断所述线圈的中心位置是否偏离所述腔室的中心点，包括：

判断所述第一温度与所述第二温度是否相等，若所述第一温度与所述第二温度不相等，确定所述线圈的中心位置偏离所述腔室的中心点；

15 和/或，

所述基于所述第一温度和/或所述第二温度控制所述线圈沿中心轴线平移，直至所述线圈的中心位置到达所述腔室的中心点，包括：

当所述第一温度大于所述第二温度时，控制所述线圈向第一方向平移，直至所述第一温度等于所述第二温度；其中，所述第一方向为所述第二测温孔所在的方向；

20 当所述第一温度小于所述第二温度时，控制所述线圈向第二方向平移，直至所述第一温度等于所述第二温度；其中，所述第二方向为所述第一测温孔所在的方向。

25 8. 根据权利要求 6 所述的方法，其特征在于，还包括：

计算所述腔室在预设工艺温度下的趋肤深度，获取所述线圈的交流电流

值，基于所述线圈的匝数将所述腔室划分为多个区域，基于所述趋肤深度及所述交流电流值计算所述腔室中各所述区域的热源强度；其中，每个所述区域中的线圈匝数相同；

获取所述腔室的温度达到稳态时所述腔室两端的环境温度，基于所述环境温度及各所述区域的热源强度计算各所述区域的腔室温度，得到所述腔室的温度梯度分布曲线。

9. 根据权利要求8所述的方法，其特征在于，所述基于所述环境温度及各所述区域的热源强度计算各所述区域的腔室温度，包括：

10 从所述腔室任意一端的第一个区域开始，基于所述第一个区域的热源强度及所述环境温度计算工艺过程达到稳态时所述第一个区域的腔室温度；

将所述第一个区域的腔室温度作为相邻的下一个区域的环境温度，基于所述下一个区域的环境温度及所述下一个区域的热源强度计算工艺过程达到稳态时所述下一个区域的腔室温度，直至计算出所述腔室的中心点所在区域

15 域的腔室温度；

基于所述第一个区域至所述中心点所在区域的各腔室温度对称性得到所述腔室中心点所在区域至所述腔室另一端的各区域的腔室温度。

10. 根据权利要求9所述的方法，其特征在于，所述腔室温度的计算公式为：

20

$$T_{i1} = \sqrt[4]{\frac{F_i * V_i}{\sigma * \varepsilon * A} + T_{i2}^4}$$

其中， T_{i1} 为第*i*个区域的腔室温度， F_i 为第*i*个区域的热源强度， σ 为斯托克斯常数， ε 为腔室表面热辐射率， A 为所述腔室的内表面积， T_{i2} 为第*i*个区域对应的环境温度， V_i 为第*i*个区域的体积。

25

11. 根据权利要求 8 所述的方法，其特征在于，所述基于所述第一温度和/或所述第二温度判断所述线圈的中心位置是否偏离所述腔室的中心点，包括：

获取所述腔室上所述第一测温孔的所在区域，记为第一设置区域；确定
5 所述第一设置区域在所述温度梯度分布曲线中对应的腔室温度，记为第一目标温度；判断所述第一温度与所述第一目标温度是否相等，若所述第一温度与所述第一目标温度不相等，确定所述线圈的中心位置偏离所述腔室的中心点；

和/或，

10 获取所述腔室上所述第二测温孔的所在区域，记为第二设置区域；确定所述第二设置区域在所述温度梯度分布曲线中对应的腔室温度，记为第二目标温度；判断所述第二温度与所述第二目标温度是否相等，若所述第二温度与所述第二目标温度不相等，确定所述线圈的中心位置偏离所述腔室的中心点。

15

12. 根据权利要求 11 所述的方法，其特征在于，所述半导体热处理设备还包括驱动件，所述驱动件与所述线圈连接，所述驱动件用于带动所述线圈平移；所述基于所述第一温度和/或所述第二温度控制所述线圈沿中心轴线平移，直至所述线圈的中心位置到达所述腔室的中心点，包括：

20 基于所述第一目标温度和所述第一温度计算所述线圈的平移量和平移方向；基于所述平移量和平移方向控制所述驱动件带动所述线圈平移直至所述线圈的中心位置与所述腔室的中心点重合；

和/或，

25 基于所述第二目标温度和所述第二温度计算所述线圈的平移量和平移方向；基于所述平移量和平移方向控制所述驱动件带动所述线圈平移直至所述线圈的中心位置与所述腔室的中心点重合。