



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116759347 A

(43) 申请公布日 2023. 09. 15

(21) 申请号 202311034993.X

(22) 申请日 2023.08.17

(71) 申请人 浙江求是创芯半导体设备有限公司

地址 311103 浙江省杭州市临平区杭州余杭经济技术开发区顺达路500号1幢103室

(72) 发明人 曹建伟 沈文杰 张文浩 朱凌锋

段智方 傅加兴 李月洲 汤承伟

(74) 专利代理机构 北京品源专利代理有限公司

11332

专利代理师 魏亚南

(51) Int. Cl.

H01L 21/67 (2006.01)

H01L 21/02 (2006.01)

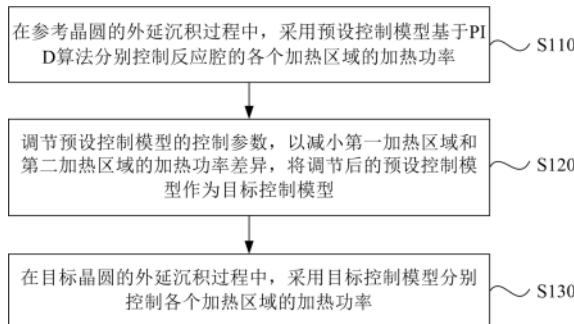
权利要求书3页 说明书14页 附图7页

## (54) 发明名称

外延工艺的控制方法及控制装置、半导体加工设备

## (57) 摘要

本发明涉及半导体工艺技术领域,尤其涉及一种外延工艺的控制方法及控制装置、半导体加工设备。外延工艺的控制方法包括:在参考晶圆的外延沉积过程中,采用预设控制模型基于PID算法分别控制反应腔的各个加热区域的加热功率;调节预设控制模型的控制参数,以减小第一加热区域和第二加热区域的加热功率差异,将调节后的预设控制模型作为目标控制模型;在目标晶圆的外延沉积过程中,采用目标控制模型分别控制各个加热区域的加热功率。本发明的技术方案,通过减小反应腔的相邻加热区域的加热功率差异,有助于减弱相邻加热区域之间的温度补偿,从而提升反应腔的温场均匀性,减少滑移线的产生。



1. 一种外延工艺的控制方法,其特征在于,包括:

在参考晶圆的外延沉积过程中,采用预设控制模型基于PID算法分别控制反应腔的各个加热区域的加热功率;

调节所述预设控制模型的控制参数,以减小第一加热区域和第二加热区域的加热功率差异,将调节后的所述预设控制模型作为目标控制模型;其中,所述第一加热区域为任一所述加热区域,所述第二加热区域与所述第一加热区域相邻,所述控制参数包括应用于所述第一加热区域和/或所述第二加热区域的所述PID算法中的比例参数、积分参数和微分参数中的至少一者;

在目标晶圆的外延沉积过程中,采用所述目标控制模型分别控制各个所述加热区域的加热功率。

2. 根据权利要求1所述的外延工艺的控制方法,其特征在于,所述调节所述预设控制模型的控制参数,以减小第一加热区域和第二加热区域的加热功率差异,包括:

在所述第一加热区域的加热功率变化率与第二加热区域的加热功率变化率的差异程度大于预设差异程度时,不断调节应用于所述第一加热区域和/或所述第二加热区域的所述PID算法中的比例参数、积分参数和微分参数中的至少一者,直到所述第一加热区域的加热功率变化率与第二加热区域的加热功率变化率的差异程度小于或等于所述预设差异程度,得到调节后的所述预设控制模型。

3. 根据权利要求2所述的外延工艺的控制方法,其特征在于,所述第一加热区域的加热功率变化率与第二加热区域的加热功率变化率的差异程度大于预设差异程度,包括:

所述第一加热区域的加热功率变化率和所述第二加热区域的加热功率变化率中的一者为正数,另一者为负数;和/或,所述第一加热区域的加热功率变化率与所述第二加热区域的加热功率变化率的差值的绝对值大于或等于预设差值。

4. 根据权利要求3所述的外延工艺的控制方法,其特征在于,在所述第一加热区域的加热功率变化率与第二加热区域的加热功率变化率的差异程度大于预设差异程度时,不断调节应用于所述第一加热区域和/或所述第二加热区域的所述PID算法中的比例参数、积分参数和微分参数中的至少一者,直到所述第一加热区域的加热功率变化率与第二加热区域的加热功率变化率的差异程度小于或等于所述预设差异程度,包括:

在所述第一加热区域的加热功率变化率为正数,所述第二加热区域的加热功率变化率为负数的情况下,不断增大应用于所述第一加热区域的所述PID算法中的比例参数,并减小应用于所述第二加热区域的所述PID算法中的比例参数,直到所述第一加热区域的加热功率变化率与所述第二加热区域的加热功率变化率的差值的绝对值小于预设差值,或者,直到应用于所述第一加热区域和所述第二加热区域的所述PID算法中的比例参数均已调节至对应的限值;

若应用于所述第一加热区域和所述第二加热区域的所述PID算法中的比例参数均已调节至对应的限值,且所述第一加热区域的加热功率变化率与所述第二加热区域的加热功率变化率的差值的绝对值大于或等于预设差值,则不断调节应用于所述第一加热区域和/或所述第二加热区域的所述PID算法中的积分参数,直到所述第一加热区域的加热功率变化率与所述第二加热区域的加热功率变化率的差值的绝对值小于预设差值,或者,直到应用于所述第一加热区域和所述第二加热区域的所述PID算法中的积分参数均已调节至对应的

限值；

若应用于所述第一加热区域和所述第二加热区域的所述PID算法中的积分参数均已调节至对应的限值，且所述第一加热区域的加热功率变化率与所述第二加热区域的加热功率变化率的差值的绝对值大于或等于预设差值，则不断调节应用于所述第一加热区域和/或所述第二加热区域的所述PID算法中的微分参数，直到所述第一加热区域的加热功率变化率与所述第二加热区域的加热功率变化率的差值的绝对值小于预设差值，或者，直到应用于所述第一加热区域和所述第二加热区域的所述PID算法中的微分参数均已调节至对应的限值。

5. 根据权利要求1所述的外延工艺的控制方法，其特征在于，所述采用所述目标控制模型分别控制各个所述加热区域的加热功率，包括：

基于每个所述加热区域调节后的所述比例参数、所述积分参数或所述微分参数，采用所述目标控制模型基于所述PID算法控制各个所述加热区域的加热功率。

6. 根据权利要求1所述的外延工艺的控制方法，其特征在于，还包括：

采用预设控制模型基于PID算法分别控制各个所述加热区域的加热功率，以使每个所述加热区域的温度达到对应的目标温度，所述目标温度为设定温度与预设偏移值之和；

在所述参考晶圆的外延沉积完成后，若所述参考晶圆的外延层存在滑移线，则调整至少一个所述加热区域对应的所述预设偏移值，并基于调整后的所述预设偏移值控制其他所述参考晶圆的外延沉积过程，直到所述参考晶圆的外延层不存在滑移线；

将不存在滑移线的所述参考晶圆对应的各个所述加热区域的所述预设偏移值作为目标偏移值，基于所述目标偏移值控制所述目标晶圆的外延沉积。

7. 根据权利要求1-6中任一所述的外延工艺的控制方法，其特征在于，所述加热区域包括中心加热区域和至少两个边缘加热区域，所述中心加热区域的位置与晶圆中心的位置对应，所述边缘加热区域与晶圆边缘的位置对应，所述第一加热区域为所述中心加热区域和所述边缘加热区域中的任一者。

8. 根据权利要求1-6中任一所述的外延工艺的控制方法，其特征在于，每个所述加热区域均采用加热装置进行加热，所述加热区域的加热功率为所述加热区域的所述加热装置的输出功率。

9. 一种外延工艺的控制装置，其特征在于，包括：

参考晶圆控制模块，用于在参考晶圆的外延沉积过程中，采用预设控制模型基于PID算法分别控制反应腔的各个加热区域的加热功率；

控制模型调节模块，用于调节所述预设控制模型的控制参数，以减小第一加热区域和第二加热区域的加热功率差异，将调节后的所述预设控制模型作为目标控制模型；其中，所述第一加热区域为任一所述加热区域，所述第二加热区域与所述第一加热区域相邻，所述控制参数包括应用于所述第一加热区域和/或所述第二加热区域的所述PID算法中的比例参数、积分参数和微分参数中的至少一者；

目标晶圆控制模块，用于在目标晶圆的外延沉积过程中，采用所述目标控制模型分别控制各个所述加热区域的加热功率。

10. 一种半导体加工设备，其特征在于，采用权利要求1-8中任一所述的外延工艺的控制方法进行控制，所述半导体加工设备包括：

反应腔,用于对晶圆进行外延沉积,具有至少两个加热区域;  
加热装置,与所述加热区域对应设置,用于对所述加热区域进行加热。

## 外延工艺的控制方法及控制装置、半导体加工设备

### 技术领域

[0001] 本发明实施例涉及半导体工艺技术领域,尤其涉及一种外延工艺的控制方法及控制装置、半导体加工设备。

### 背景技术

[0002] 外延(epitaxy)是指在单晶衬底上淀积一层薄的单晶层,以形成外延层的工艺。在硅外延工艺中,温场的均匀性对外延生长过程中滑移线的产生有着重要影响。现有研究认为,对于晶圆来说,晶圆中心温度和边缘温度的温度差需控制在一定范围内,以实现无滑移线的外延生长。

[0003] 现有技术通常在反应腔中采用多温区控温的方式进行温场控制,然而,多温区控温系统中各个温区的温度会相互影响,形成强耦合系统。采用各温区独立控温的方式,各个温区之间的功率存在补偿现象,从而使得晶圆表面各个区域实际获得的温度和能量存在较大差异,最终在晶圆表面形成滑移线。

### 发明内容

[0004] 本发明实施例提供了一种外延工艺的控制方法及控制装置、半导体加工设备,以减弱反应腔的相邻加热区域之间的温度补偿,从而提升反应腔的温场均匀性,减少滑移线的产生。

[0005] 第一方面,本发明实施例提供了一种外延工艺的控制方法,包括:

[0006] 在参考晶圆的外延沉积过程中,采用预设控制模型基于PID算法分别控制反应腔的各个加热区域的加热功率;

[0007] 调节所述预设控制模型的控制参数,以减小第一加热区域和第二加热区域的加热功率差异,将调节后的所述预设控制模型作为目标控制模型;其中,所述第一加热区域为任一所述加热区域,所述第二加热区域与所述第一加热区域相邻,所述控制参数包括应用于所述第一加热区域和/或所述第二加热区域的所述PID算法中的比例参数、积分参数和微分参数中的至少一者;

[0008] 在目标晶圆的外延沉积过程中,采用所述目标控制模型分别控制各个所述加热区域的加热功率。

[0009] 可选地,所述调节所述预设控制模型的控制参数,以减小第一加热区域和第二加热区域的加热功率差异,包括:

[0010] 在所述第一加热区域的加热功率变化率与第二加热区域的加热功率变化率的差异程度大于预设差异程度时,不断调节应用于所述第一加热区域和/或所述第二加热区域的所述PID算法中的比例参数、积分参数和微分参数中的至少一者,直到所述第一加热区域的加热功率变化率与第二加热区域的加热功率变化率的差异程度小于或等于所述预设差异程度,得到调节后的所述预设控制模型。

[0011] 可选地,所述第一加热区域的加热功率变化率与第二加热区域的加热功率变化率

的差异程度大于预设差异程度,包括:

[0012] 所述第一加热区域的加热功率变化率和所述第二加热区域的加热功率变化率中的一者为正数,另一者为负数;和/或,所述第一加热区域的加热功率变化率与所述第二加热区域的加热功率变化率的差值的绝对值大于或等于预设差值。

[0013] 可选地,在所述第一加热区域的加热功率变化率与第二加热区域的加热功率变化率的差异程度大于预设差异程度时,不断调节应用于所述第一加热区域和/或所述第二加热区域的所述PID算法中的比例参数、积分参数和微分参数中的至少一者,直到所述第一加热区域的加热功率变化率与第二加热区域的加热功率变化率的差异程度小于或等于所述预设差异程度,包括:

[0014] 在所述第一加热区域的加热功率变化率为正数,所述第二加热区域的加热功率变化率为负数的情况下,不断增大应用于所述第一加热区域的所述PID算法中的比例参数,并减小应用于所述第二加热区域的所述PID算法中的比例参数,直到所述第一加热区域的加热功率变化率与所述第二加热区域的加热功率变化率的差值的绝对值小于预设差值,或者,直到应用于所述第一加热区域和所述第二加热区域的所述PID算法中的比例参数均已调节至对应的限值;

[0015] 若应用于所述第一加热区域和所述第二加热区域的所述PID算法中的比例参数均已调节至对应的限值,且所述第一加热区域的加热功率变化率与所述第二加热区域的加热功率变化率的差值的绝对值大于或等于预设差值,则不断调节应用于所述第一加热区域和/或所述第二加热区域的所述PID算法中的积分参数,直到所述第一加热区域的加热功率变化率与所述第二加热区域的加热功率变化率的差值的绝对值小于预设差值,或者,直到应用于所述第一加热区域和所述第二加热区域的所述PID算法中的积分参数均已调节至对应的限值;

[0016] 若应用于所述第一加热区域和所述第二加热区域的所述PID算法中的积分参数均已调节至对应的限值,且所述第一加热区域的加热功率变化率与所述第二加热区域的加热功率变化率的差值的绝对值大于或等于预设差值,则不断调节应用于所述第一加热区域和/或所述第二加热区域的所述PID算法中的微分参数,直到所述第一加热区域的加热功率变化率与所述第二加热区域的加热功率变化率的差值的绝对值小于预设差值,或者,直到应用于所述第一加热区域和所述第二加热区域的所述PID算法中的微分参数均已调节至对应的限值。

[0017] 可选地,所述采用所述目标控制模型分别控制各个所述加热区域的加热功率,包括:

[0018] 基于每个所述加热区域调节后的所述比例参数、所述积分参数或所述微分参数,采用所述目标控制模型基于所述PID算法控制各个所述加热区域的加热功率。

[0019] 可选地,所述外延工艺的控制方法还包括:

[0020] 采用预设控制模型基于PID算法分别控制各个所述加热区域的加热功率,以使每个所述加热区域的温度达到对应的目标温度,所述目标温度为设定温度与预设偏移值之和;

[0021] 在所述参考晶圆的外延沉积完成后,若所述参考晶圆的外延层存在滑移线,则调整至少一个所述加热区域对应的所述预设偏移值,并基于调整后的所述预设偏移值控制其

他所述参考晶圆的外延沉积过程,直到所述参考晶圆的外延层不存在滑移线;

[0022] 将不存在滑移线的所述参考晶圆对应的各个所述加热区域的所述预设偏移值作为目标偏移值,基于所述目标偏移值控制所述目标晶圆的外延沉积。

[0023] 可选地,所述加热区域包括中心加热区域和至少两个边缘加热区域,所述中心加热区域的位置与晶圆中心的位置对应,所述边缘加热区域与晶圆边缘的位置对应,所述第一加热区域为所述中心加热区域和所述边缘加热区域中的任一者。

[0024] 可选地,每个所述加热区域均采用加热装置进行加热,所述加热区域的加热功率为所述加热区域的所述加热装置的输出功率。

[0025] 第二方面,本发明实施例提供了一种外延工艺的控制装置,包括:

[0026] 参考晶圆控制模块,用于在参考晶圆的外延沉积过程中,采用预设控制模型基于PID算法分别控制反应腔的各个加热区域的加热功率;

[0027] 控制模型调节模块,用于调节所述预设控制模型的控制参数,以减小第一加热区域和第二加热区域的加热功率差异,将调节后的所述预设控制模型作为目标控制模型;其中,所述第一加热区域为任一所述加热区域,所述第二加热区域与所述第一加热区域相邻,所述控制参数包括应用于所述第一加热区域和/或所述第二加热区域的所述PID算法中的比例参数、积分参数和微分参数中的至少一者;

[0028] 目标晶圆控制模块,用于在目标晶圆的外延沉积过程中,采用所述目标控制模型分别控制各个所述加热区域的加热功率。

[0029] 第三方面,本发明实施例提供了一种半导体加工设备,采用第一方面所述的外延工艺的控制方法进行控制,所述半导体加工设备包括:

[0030] 反应腔,用于对晶圆进行外延沉积,具有至少两个加热区域;

[0031] 加热装置,与所述加热区域对应设置,用于对所述加热区域进行加热。

[0032] 本发明实施例提供的外延工艺的控制方法及控制装置、半导体加工设备,在参考晶圆的外延沉积过程中,采用预设控制模型基于PID算法分别控制反应腔的各个加热区域的加热功率,调节预设控制模型的控制参数,以减小第一加热区域和第二加热区域的加热功率差异,将调节后的预设控制模型作为目标控制模型,在目标晶圆的外延沉积过程中,采用目标控制模型分别控制各个加热区域的加热功率,以在晶圆的外延沉积过程中,使各个加热区域的加热功率趋于一致,有助于减弱相邻的加热区域之间的温度补偿,从而提升反应腔的温场均匀性,减少滑移线的产生,进而扩大无滑移线的外延生长的工艺窗口。

[0033] 应当理解,本部分所描述的内容并非旨在标识本发明的实施例的关键或重要特征,也不用于限制本发明的范围。本发明的其它特征将通过以下的说明书而变得容易理解。

## 附图说明

[0034] 为了更清楚地说明本发明实施例中的技术方案,下面将对实施例描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,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。

[0035] 图1是本发明实施例提供的一种外延工艺的控制方法的流程示意图;

[0036] 图2是本发明实施例提供的一种反应腔的结构示意图;

- [0037] 图3是本发明实施例提供的一种反应腔的加热装置的结构示意图；
- [0038] 图4是本发明实施例提供的另一种外延工艺的控制方法的流程示意图；
- [0039] 图5是本发明实施例提供的另一种外延工艺的控制方法的流程示意图；
- [0040] 图6是第一组对比实验得到的曲线图；
- [0041] 图7是第二组对比实验得到的曲线图；
- [0042] 图8是第一组对比实验得到的外延片的局部俯视图；
- [0043] 图9是第二组对比实验得到的外延片的局部俯视图；
- [0044] 图10是本发明实施例提供的一种外延工艺的控制装置的结构示意图。

### 具体实施方式

[0045] 为了使本技术领域的人员更好地理解本发明方案，下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本发明一部分的实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都应当属于本发明保护的范围。

[0046] 需要说明的是，本发明的说明书和权利要求书及上述附图中的术语“第一”、“第二”等是用于区别类似的对象，而不必用于描述特定的顺序或先后次序。应该理解这样使用的数据在适当情况下可以互换，以便这里描述的本发明的实施例能够以除了在这里图示或描述的那些以外的顺序实施。此外，术语“包括”和“具有”以及他们的任何变形，意图在于覆盖不排他的包含，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。

[0047] 本发明实施例提供了一种外延工艺的控制方法。图1是本发明实施例提供的一种外延工艺的控制方法的流程示意图。本实施例可适用于对外延工艺进行控制的情况，该方法可以由外延工艺的控制装置来执行，该外延工艺的控制装置可以采用硬件和/或软件的形式实现，该外延工艺的控制装置可配置于电子设备中。参见图1，该方法具体包括如下步骤：

[0048] S110、在参考晶圆的外延沉积过程中，采用预设控制模型基于PID算法分别控制反应腔的各个加热区域的加热功率。

[0049] 其中，预设控制模型可以是基于PID算法的控制模型。在外延沉积过程中，采用预设控制模型基于PID算法分别控制各个加热区域的加热功率，以使每个加热区域的温度均达到对应的目标温度。PID算法是基于输入的偏差值，按照比例(P)、积分(I)、微分(D)的函数关系进行运算，得到运算结果用以控制输出的算法，以纠正控制对象的偏差，使其达到稳态。其中，比例控制的作用在于，当偏差值一旦产生，立即进行控制以减小偏差值。积分控制的作用在于消除静差提高系统的无差度。微分控制能够反映偏差信号的变化趋势，并能在偏差信号的值变得太大之前，在系统中引入一个有效的早期修正信号，从而加快系统的动作速度，减小调节时间。本实施例中，可以根据每个加热区域的实际温度与目标温度的差异，采用预设控制模型基于PID算法分别控制各个加热区域的加热功率，以使每个加热区域的温度均达到对应的目标温度。



[0050] 图2是本发明实施例提供的一种反应腔的结构示意图;图3是本发明实施例提供的一种反应腔的加热装置的结构示意图。结合图2和图3,反应腔用于对晶圆进行外延沉积,反应腔具有至少两个加热区域,加热装置14与反应腔的加热区域对应设置,用于对相应的加热区域进行加热。示例性地,反应腔可以是石英腔,反应腔具体包括基座1、基座环2、腔体上层3、进气法兰4和排气法兰5。其中,基座1可以是石墨基座,用于承载晶圆。反应腔的各个加热区域与晶圆的不同位置相对应,也即与基座1的不同位置相对应。

[0051] 在参考晶圆的外延沉积阶段,利用基座1承载参考晶圆,同时控制加热装置14对反应腔的每个加热区域进行加热,加热装置14的输出功率即为对应的加热区域的加热功率,采用预设控制模型基于PID算法分别控制各个加热区域对应的加热装置14的输出功率。

[0052] S120、调节预设控制模型的控制参数,以减小第一加热区域和第二加热区域的加热功率差异,将调节后的预设控制模型作为目标控制模型。

[0053] 其中,第一加热区域为任一加热区域,第二加热区域与第一加热区域相邻,控制参数包括应用于第一加热区域和/或第二加热区域的PID算法中的比例参数、积分参数和微分参数中的至少一者。

[0054] 具体地,在第一加热区域的加热功率变化率与第二加热区域的加热功率变化率的差异程度大于预设差异程度时,可以对应用于第一加热区域的PID算法中的比例参数、积分参数和微分参数中的至少一者,和/或应用于第二加热区域的PID算法中的比例参数、积分参数和微分参数中的至少一者进行调节,以减小第一加热区域和第二加热区域的加热功率差异。其中,加热功率变化率为设定时长内加热功率的变化量与设定时长的比值,加热功率变化率能够反映加热功率的变化趋势和变化速度。由于反应腔的各个加热区域的温度会相互影响产生耦合作用,使得各个加热区域的加热功率存在相互补偿的现象,因此,可以实时获取各个加热区域的加热功率,并根据各个加热区域的加热功率变化率判断各个加热区域是否会相互影响。在第一加热区域的加热功率变化率与第二加热区域的加热功率变化率的差异程度大于预设差异程度时,表明第一加热区域的加热功率与第二加热区域的加热功率差异较大,为避免第一加热区域的加热功率与第二加热区域的加热功率相互补偿,可以对应用于第一加热区域和/或第二加热区域的PID算法中的比例参数、积分参数和微分参数中的至少一者进行调整,以减小第一加热区域和第二加热区域的加热功率差异,从而减弱第一加热区域与第二加热区域之间的相互补偿,提升各个加热区域的温场均匀性。

[0055] 对应用于第一加热区域和/或第二加热区域的PID算法中的比例参数、积分参数和微分参数中的至少一者进行调整,使得第一加热区域和第二加热区域的加热功率差异减小之后,得到调节后的预设控制模型,调节后的预设控制模型包括调节后的控制参数,可以将调节后的预设控制模型作为目标控制模型。

[0056] S130、在目标晶圆的外延沉积过程中,采用目标控制模型分别控制各个加热区域的加热功率。

[0057] 具体地,目标晶圆与参考晶圆的尺寸相同,二者的区别在于,参考晶圆作为试验晶圆,而目标晶圆为待加工的晶圆。在对目标晶圆进行外延沉积之前,采用目标控制模型基于PID算法分别控制各个加热区域对应的加热装置14,若步骤S120中已对应用于某个加热区域的PID算法中的比例参数、积分参数或微分参数进行调整,则基于调整后的参数控制该加热区域的加热装置14的输出功率,若部分加热区域的加热功率未进行调整,则基于原有的

参数控制该加热区域的加热装置14的输出功率,以在目标晶圆的外延沉积过程中,控制各个加热区域的加热装置14进行加热。

[0058] 本发明实施例的技术方案,在参考晶圆的外延沉积过程中,采用预设控制模型基于PID算法分别控制反应腔的各个加热区域的加热功率,调节预设控制模型的控制参数,以减小第一加热区域和第二加热区域的加热功率差异,将调节后的预设控制模型作为目标控制模型,在目标晶圆的外延沉积过程中,采用目标控制模型分别控制各个加热区域的加热功率,以在晶圆的外延沉积过程中,使各个加热区域的加热功率趋于一致,有助于减弱相邻的加热区域之间的温度补偿,从而提升反应腔的温场均匀性,减少滑移线的产生,进而扩大无滑移线的外延生长的工艺窗口。

[0059] 在上述实施例的基础上,可选地,步骤S120中,调节预设控制模型的控制参数,以减小第一加热区域和第二加热区域的加热功率差异,包括:

[0060] 在第一加热区域的加热功率变化率与第二加热区域的加热功率变化率的差异程度大于预设差异程度时,不断调节应用于第一加热区域和/或第二加热区域的PID算法中的比例参数、积分参数和微分参数中的至少一者,直到第一加热区域的加热功率变化率与第二加热区域的加热功率变化率的差异程度小于或等于预设差异程度,得到调节后的预设控制模型。

[0061] 具体地,在第一加热区域的加热功率变化率与第二加热区域的加热功率变化率的差异程度大于预设差异程度时,可以不断调节预设控制模型中应用于第一加热区域的PID算法中的比例参数(P值)、积分参数(I值)和微分参数(D值)中的至少一者,和/或应用于第二加热区域的PID算法中的比例参数、积分参数和微分参数中的至少一者,以不断减小第一加热区域和第二加热区域的加热功率差异,并在调节的过程中实时判断第一加热区域的加热功率变化率与第二加热区域的加热功率变化率的差异程度是否小于或等于预设差异程度。若第一加热区域的加热功率变化率与第二加热区域的加热功率变化率的差异程度仍然大于预设差异程度,则继续调节预设控制模型中应用于第一加热区域的PID算法中的比例参数、积分参数和微分参数中的至少一者,和/或应用于第二加热区域的PID算法中的比例参数、积分参数和微分参数中的至少一者。若第一加热区域的加热功率变化率与第二加热区域的加热功率变化率的差异程度小于或等于预设差异程度,则停止调节预设控制模型中应用于第一加热区域和第二加热区域的PID算法中的比例参数、积分参数和微分参数,得到调节后的预设控制模型。在实际应用中,可以根据PID算法中比例控制、积分控制和微分控制的作用,选择比例参数、积分参数和微分参数中的至少一者进行调整,以减小第一加热区域和第二加热区域的加热功率差异。

[0062] 可选地,在一种实施方式中,第一加热区域的加热功率变化率与第二加热区域的加热功率变化率的差异程度大于预设差异程度,包括:

[0063] 第一加热区域的加热功率变化率和第二加热区域的加热功率变化率中的一者为正数,另一者为负数;和/或,第一加热区域的加热功率变化率与第二加热区域的加热功率变化率的差值的绝对值大于或等于预设差值。

[0064] 示例性地,在第一加热区域的加热功率变化率为正数,第二加热区域的加热功率变化率为负数的情况下,表明第一加热区域的加热功率正在不断增大,而第二加热区域的加热功率正在不断减小,使得二者的变化趋势差异较大,需要对第一加热区域的加热功率

和第二加热区域的加热功率中的至少一者进行调整,例如可以对预设控制模型中应用于第一加热区域的PID算法中的比例参数、积分参数和微分参数中的至少一者进行调整,以减慢第一加热区域的加热功率的增大速度,同时对预设控制模型中应用于第二加热区域的PID算法中的比例参数、积分参数和微分参数中的至少一者进行调整,以减慢第二加热区域的加热功率的减小速度,从而减小第一加热区域和第二加热区域的加热功率差异。

[0065] 在第一加热区域和第二加热区域的加热功率变化率同为正数(或者同为负数),且二者的差值的绝对值大于或等于预设差值的情况下,表明第一加热区域和第二加热区域的加热功率变化速度差异较大,需要对预设控制模型中应用于第一加热区域和/或第二加热区域的PID算法中的比例参数、积分参数和微分参数中的至少一者进行调整,例如当第一加热区域和第二加热区域的加热功率变化率同为正数,第一加热区域的加热功率变化率大于第二加热区域的加热功率,且二者的差值的绝对值大于或等于预设差值时,第一加热区域和第二加热区域的加热功率均在不断增大,且第一加热区域的加热功率的增大速度相对较大,可以对预设控制模型中应用于第一加热区域的PID算法中的比例参数、积分参数和微分参数中的至少一者进行调整,以减慢第一加热区域的加热功率的增大速度,从而减小第一加热区域和第二加热区域的加热功率差异。

[0066] 可选地,在另一种实施方式中,第一加热区域的加热功率变化率与第二加热区域的加热功率变化率的差异程度大于预设差异程度,包括:

[0067] 根据各个加热区域的加热功率得到每个加热区域的加热功率随时间变化的曲线(为便于描述,下文称之为加热功率曲线);在设定时长内,若第一加热区域对应的加热功率曲线和第二加热区域对应的加热功率曲线中的一者呈上升趋势,另一者呈下降趋势,则确定第一加热区域的加热功率变化率与第二加热区域的加热功率变化率的差异程度大于预设差异程度。

[0068] 示例性地,在第一加热区域对应的加热功率曲线呈上升趋势,第二加热区域对应的加热功率曲线呈下降趋势的情况下,第一加热区域的加热功率变化率为正数,第二加热区域的加热功率变化率为负数,第一加热区域的加热功率正在不断增大,第二加热区域的加热功率正在不断减小,据此可以确定第一加热区域和第二加热区域的加热功率的变化趋势差异较大,需要对预设控制模型中应用于第一加热区域和/或第二加热区域的PID算法中的比例参数、积分参数和微分参数中的至少一者进行调整,实现对第一加热区域和/或第二加热区域的加热功率进行调整,以减小二者的加热功率差异。本实施例的技术方案,基于加热功率曲线确定不同加热区域的加热功率之间的差异程度,在不同加热区域的加热功率曲线有增有减,相互补偿的情况下,对相应的加热区域的加热功率进行调整,以使各个加热区域的加热功率曲线趋于一致,有利于减弱不同加热区域之间的相互耦合作用。

[0069] 可选地,在第一加热区域的加热功率变化率与第二加热区域的加热功率变化率的差异程度大于预设差异程度时,不断调节应用于第一加热区域和/或第二加热区域的PID算法中的比例参数、积分参数和微分参数中的至少一者,直到第一加热区域的加热功率变化率与第二加热区域的加热功率变化率的差异程度小于或等于预设差异程度,包括:

[0070] 在第一加热区域的加热功率变化率为正数,第二加热区域的加热功率变化率为负数的情况下,不断增大应用于第一加热区域的PID算法中的比例参数,并减小应用于第二加热区域的PID算法中的比例参数,直到第一加热区域的加热功率变化率与第二加热区域的

加热功率变化率的差值的绝对值小于预设差值,或者,直到应用于第一加热区域和第二加热区域的PID算法中的比例参数均已调节至对应的限值;

[0071] 若应用于第一加热区域和第二加热区域的PID算法中的比例参数均已调节至对应的限值,且第一加热区域的加热功率变化率与第二加热区域的加热功率变化率的差值的绝对值大于或等于预设差值,则不断调节应用于第一加热区域和/或第二加热区域的PID算法中的积分参数,直到第一加热区域的加热功率变化率与第二加热区域的加热功率变化率的差值的绝对值小于预设差值,或者,直到应用于第一加热区域和第二加热区域的PID算法中的积分参数均已调节至对应的限值;

[0072] 若应用于第一加热区域和第二加热区域的PID算法中的积分参数均已调节至对应的限值,且第一加热区域的加热功率变化率与第二加热区域的加热功率变化率的差值的绝对值大于或等于预设差值,则不断调节应用于第一加热区域和/或第二加热区域的PID算法中的微分参数,直到第一加热区域的加热功率变化率与第二加热区域的加热功率变化率的差值的绝对值小于预设差值,或者,直到应用于第一加热区域和第二加热区域的PID算法中的微分参数均已调节至对应的限值。

[0073] 示例性地,在第一加热区域的加热功率变化率为正数,第二加热区域的加热功率变化率为负数的情况下,第一加热区域对应的加热功率曲线呈上升趋势,第二加热区域对应的加热功率曲线呈下降趋势,第一加热区域的加热功率正在不断增大,第二加热区域的加热功率正在不断减小,使得二者的变化趋势差异较大。在此情况下,首先不断增大预设控制模型中应用于第一加热区域的PID算法中的比例参数,也即增大P值,从而增大第一加热区域的比例控制的响应速度,缩短响应时间,同时不断减小预设控制模型中应用于第二加热区域的PID算法中的比例参数,也即减小P值,从而减小第二加热区域的比例控制的响应速度,延长响应时间,以减小第一加热区域和第二加热区域的加热功率差异,使各个加热区域的加热功率趋于一致,有助于减弱相邻的加热区域之间的温度补偿,从而提升反应腔的温场均匀性,减少滑移线的产生。例如,可以按设定步长来增大应用于第一加热区域的PID算法中的P值,并按设定步长来减小应用于第二加热区域的PID算法中的P值,同时计算第一加热区域和第二加热区域的加热功率变化率,观察第一加热区域和第二加热区域对应的加热功率曲线的趋势,直到第一加热区域的加热功率变化率与第二加热区域的加热功率变化率的差值的绝对值小于预设差值,使得第一加热区域和第二加热区域对应的加热功率曲线趋于一致时,停止对应用于第一加热区域和第二加热区域的PID算法中的P值进行调节,得到调节后的预设控制模型,或者,直到应用于第一加热区域和第二加热区域的PID算法中的P值均已调节至对应的限值时,停止对应用于第一加热区域和第二加热区域的PID算法中的P值进行调节。

[0074] 若应用于第一加热区域和第二加热区域的PID算法中的P值均已调节至对应的限值,且第一加热区域的加热功率变化率与第二加热区域的加热功率变化率的差值的绝对值大于或等于预设差值,使得第一加热区域和第二加热区域对应的加热功率曲线的变化趋势差异仍然较大,则不断调节预设控制模型中应用于第一加热区域和/或第二加热区域的PID算法中的积分参数,也即调节I值,从而减小第一加热区域和第二加热区域的加热功率差异,使各个加热区域的加热功率趋于一致,并缓解第一加热区域和/或第二加热区域对应的加热功率曲线的震荡情况。例如,可以按设定步长来调节预设控制模型中应用于第一加热

区域和/或第二加热区域的PID算法中的I值,同时计算第一加热区域和第二加热区域的加热功率变化率,观察第一加热区域和第二加热区域对应的加热功率曲线的趋势,直到第一加热区域的加热功率变化率与第二加热区域的加热功率变化率的差值的绝对值小于预设差值,使得第一加热区域和第二加热区域对应的加热功率曲线趋于一致时,停止对应用于第一加热区域和第二加热区域的PID算法中的I值进行调节,得到调节后的预设控制模型,或者,直到应用于第一加热区域和第二加热区域的PID算法中的I值均已调节至对应的限值时,停止对应用于第一加热区域和第二加热区域的PID算法中的I值进行调节。

[0075] 若应用于第一加热区域和第二加热区域的PID算法中的D值均已调节至对应的限值,且第一加热区域的加热功率变化率与第二加热区域的加热功率变化率的差值的绝对值大于或等于预设差值,使得第一加热区域和第二加热区域对应的加热功率曲线的变化趋势差异仍然较大,则不断调节预设控制模型中应用于第一加热区域和/或第二加热区域的PID算法中的微分参数,也即调节D值,从而减小第一加热区域和第二加热区域的加热功率差异,使各个加热区域的加热功率趋于一致,并提升第一加热区域和/或第二加热区域对应的加热功率曲线的稳定性。例如,可以按设定步长来调节预设控制模型中应用于第一加热区域和/或第二加热区域的PID算法中的D值,同时计算第一加热区域和第二加热区域的加热功率变化率,观察第一加热区域和第二加热区域对应的加热功率曲线的趋势,直到第一加热区域的加热功率变化率与第二加热区域的加热功率变化率的差值的绝对值小于预设差值,使得第一加热区域和第二加热区域对应的加热功率曲线趋于一致时,停止对应用于第一加热区域和第二加热区域的PID算法中的D值进行调节,得到调节后的预设控制模型,或者,直到应用于第一加热区域和第二加热区域的PID算法中的D值均已调节至对应的限值时,停止对应用于第一加热区域和第二加热区域的PID算法中的D值进行调节。

[0076] 在上述各实施例的基础上,步骤S130具体包括:在目标晶圆的外延沉积过程中,基于每个加热区域调节后的比例参数、积分参数或微分参数,采用目标控制模型基于PID算法控制各个加热区域的加热功率。

[0077] 基于参考晶圆的外延沉积过程,得到目标控制模型之后,在对目标晶圆进行外延沉积之前,采用目标控制模型基于PID算法分别控制各个加热区域的加热功率,在执行步骤S130之前,若已对应用于某个加热区域的PID算法中的比例参数、积分参数或微分参数进行调整,则将调整后的参数作为该加热区域所采用的PID算法所应用的参数,若部分加热区域所采用的PID算法中的参数未进行调整,则将原有的参数作为该加热区域所采用的PID算法所应用的参数,以在目标晶圆的外延沉积过程中,控制各个加热区域的加热装置进行加热。

[0078] 图4是本发明实施例提供的另一种外延工艺的控制方法的流程示意图。在上述实施例的基础上,本实施例对外延工艺的控制方法进行了优化。参见图4,该方法具体包括如下步骤:

[0079] S210、在参考晶圆的外延沉积过程中,采用预设控制模型基于PID算法分别控制反应腔的各个加热区域的加热功率,以使每个加热区域的温度达到对应的目标温度。

[0080] 其中,各个加热区域的目标温度为设定温度与预设偏移值之和。

[0081] 可选地,反应腔的加热区域包括中心加热区域和至少两个边缘加热区域,中心加热区域的位置与晶圆中心的位置对应,边缘加热区域与晶圆边缘的位置对应,第一加热区域为中心加热区域和边缘加热区域中的任一者。

[0082] 在一种实施方式中,反应腔的加热区域包括中心加热区域、第一边缘加热区域、第二边缘加热区域、第三边缘加热区域和第四边缘加热区域,第一边缘加热区域与第二边缘加热区域相对设置,第三边缘加热区域和第四边缘加热区域相对设置。示例性地,结合图2和图3,反应腔中包括第一温度测量点6、第二温度测量点7、第三温度测量点8、第四温度测量点9和第五温度测量点10,其中,基座1所承载的晶圆的中心及边缘的位置,与基座1的中心及侧边的位置相对应。第一温度测量点6位于基座1的中心,与中心加热区域的位置对应。第二温度测量点7位于基座1的前部,与第一边缘加热区域的位置对应。第三温度测量点8位于基座1的后部,与第二边缘加热区域的位置对应。第四温度测量点9位于基座1的左侧,与第三边缘加热区域的位置对应。第五温度测量点10位于基座1的右侧,与第四边缘加热区域的位置对应。反应腔中还包括第一热电偶11、第二热电偶12、第三热电偶13和第四热电偶(图中未示出),通过第一热电偶11测量第二温度测量点7和第五温度测量点10的温度,得到第一边缘加热区域和第四边缘加热区域的温度,通过第二热电偶12测量第三温度测量点8的温度,得到第二边缘加热区域的温度,通过第三热电偶13测量第四温度测量点9的温度,得到第三边缘加热区域的温度,通过第四热电偶测量一温度测量点6的温度,得到中心加热区域的温度。

[0083] 在一种实施方式中,中心加热区域的预设偏移值可以是0,也即中心加热区域的目标温度等于对应的设定温度。第一边缘加热区域至第四边缘加热区域的设定温度均为中心加热区域的目标温度,第一边缘加热区域至第四边缘加热区域的预设偏移值可以相同,或者不同。通过设置中心加热区域的目标温度和各个边缘加热区域的预设偏移值,能够实现晶圆表面温场的均匀性。可选地,在参考晶圆的外延沉积过程中,采用PID算法分别控制各个加热区域的加热功率,以使每个加热区域的温度达到对应的目标温度。

[0084] S220、获取反应腔的各个加热区域的加热功率。

[0085] S230、调节预设控制模型的控制参数,以减小第一加热区域和第二加热区域的加热功率差异,将调节后的预设控制模型作为目标控制模型。

[0086] 其中,第一加热区域为任一加热区域,第二加热区域与第一加热区域相邻,控制参数包括应用于第一加热区域和/或第二加热区域的PID算法中的比例参数、积分参数和微分参数中的至少一者。

[0087] S240、在参考晶圆的外延沉积完成后,若参考晶圆的外延层存在滑移线,则调整至少一个加热区域对应的预设偏移值,并基于调整后的预设偏移值控制其他参考晶圆的外延沉积过程,直到参考晶圆的外延层不存在滑移线。

[0088] S250、将不存在滑移线的参考晶圆对应的各个加热区域的预设偏移值作为目标偏移值,基于目标偏移值和目标控制模型控制目标晶圆的外延沉积。

[0089] 具体地,在参考晶圆的外延沉积完成后,若参考晶圆的外延层存在滑移线,则可以将至少一个加热区域对应的预设偏移值调整为原有的预设偏移值与设定调整值之和,并基于调整后的预设偏移值重复执行步骤S210至步骤S240进行多次试验,以控制其他参考晶圆的外延沉积过程,直到参考晶圆的外延层不存在滑移线,将各个加热区域当前的预设偏移值作为目标偏移值,基于目标偏移值控制目标晶圆的外延沉积,即各个加热区域的目标温度为设定温度与目标偏移值之和。

[0090] 本发明实施例的技术方案,基于参考晶圆的外延层是否存在滑移线来调整各个加

热区域的预设偏移值,据此控制目标晶圆的外延沉积,有助于减少滑移线的产生,进而扩大无滑移线的外延生长的工艺窗口。

[0091] 图5是本发明实施例提供的另一种外延工艺的控制方法的流程示意图。在上述各实施例的基础上,本实施例对外延工艺的控制方法进行了优化。参见图5,该方法具体包括如下步骤:

[0092] S310、获取反应腔的各个加热区域的温度值。

[0093] 示例性地,结合图2和图3,通过第一热电偶11测量第二温度测量点7和第五温度测量点10的温度,得到第一边缘加热区域和第四边缘加热区域的温度,通过第二热电偶12测量第三温度测量点8的温度,得到第二边缘加热区域的温度,通过第三热电偶13测量第四温度测量点9的温度,得到第三边缘加热区域的温度,通过第四热电偶测量一温度测量点6的温度,得到中心加热区域的温度。

[0094] S320、在参考晶圆的外延沉积过程中,采用PID算法控制各个加热区域对应的加热装置的输出功率,以使每个加热区域的温度达到对应的目标温度。

[0095] 其中,各个加热区域的目标温度为设定温度与预设偏移值之和。

[0096] 可选地,中心加热区域设置有第一加热装置组21,第一边缘加热区域设置有第二加热装置组22,第二边缘加热区域设置有第三加热装置组23,第三边缘加热区域设置有第四加热装置组24,第四边缘加热区域设置有第五加热装置组25。每个加热装置组均包括至少一个加热装置14,加热装置14可以是灯管15。

[0097] S330、基于烘烤后的离子注入片的电阻率判断参考晶圆表面温度的均匀性,据此调整各个加热区域的预设偏移值。

[0098] 在实施过程中,将离子注入片在高温下进行烘烤,通过离子注入片上的电阻率判断晶圆表面的温度均匀性,通过经验公式给定各个边缘加热区的预设偏移值,以使晶圆表面的温场尽可能均匀。

[0099] S340、基于调整后的预设偏移值控制其他参考晶圆的外延沉积过程,并获取反应腔的各个加热区域的温度值。

[0100] 具体地,将各个加热区域的预设偏移值改为依据步骤S330进行调整得到的数值,据此控制其他参考晶圆的外延沉积过程,并获取反应腔的各个加热区域的温度值,以确定各个加热区域的温度是否达到相应的目标温度,以及各个加热区域的温度波动范围。

[0101] S350、获取反应腔的各个加热区域的加热功率曲线,基于加热功率曲线对各个加热区域的采用的PID算法中的参数进行调整,以减小各个加热区域的加热功率差异。

[0102] S360、在参考晶圆的外延沉积完成后,若参考晶圆的外延层存在滑移线,则调整至少一个加热区域对应的预设偏移值,并基于调整后的预设偏移值控制其他参考晶圆的外延沉积过程,直到参考晶圆的外延层不存在滑移线。

[0103] S370、将不存在滑移线的参考晶圆对应的各个加热区域的预设偏移值作为目标偏移值,基于目标偏移值控制目标晶圆的外延沉积。

[0104] 本发明实施例的技术方案,有助于减弱相邻的加热区域之间的温度补偿,从而提升反应腔的温场均匀性,减少滑移线的产生,进而扩大无滑移线的外延生长的工艺窗口。

[0105] 为了验证本发明的技术方案所具有的有益效果,可进行如下两组对比实验。

[0106] 在第一组对比实验中,采用如下流程进行晶圆的外延沉积:

[0107] 步骤一、设定各个加热区域采用的PID算法的参数为默认值,将外延炉反应腔的温度设置为1170℃,采用高流量20 SLM HCl和5 SLM H<sub>2</sub>对反应腔石墨组件进行刻蚀清洁40秒后,将H<sub>2</sub>流量提高至60 SLM处理25秒,清除腔体残留的反应物,保证腔体内部环境的清洁;

[0108] 步骤二、将反应腔的温度冷却至850℃,将525um重掺As的抛光片装入反应腔;

[0109] 步骤三、将反应腔的温度提升至1135℃,设置第一边缘加热区域的预设偏移值为22℃,第二边缘加热区域的预设偏移值为14℃,第三边缘加热区域和第四边缘加热区域的预设偏移值为17℃,在60 SLM H<sub>2</sub>的氛围下沉积Si外延120秒,并设置基座转速为35r/min;

[0110] 步骤四、沉积完成后,将反应腔的温度冷却至850℃,卸载出外延片;

[0111] 步骤五、采用金相显微镜观察晶圆表面是否存在滑移线。

[0112] 在第二组对比实验中,采用如下流程进行晶圆的外延沉积:

[0113] 步骤一、基于第一组对比实验得到的加热功率曲线,采用本发明的技术方案对各个加热区域采用的PID算法的参数进行调整;

[0114] 步骤二、将外延炉反应腔的温度设置为1170℃,采用高流量20 SLM HCl和5 SLM H<sub>2</sub>对反应腔石墨组件进行刻蚀清洁40秒后,将H<sub>2</sub>流量提高至60 SLM处理25秒,清除腔体残留的反应物,保证腔体内部环境的清洁;

[0115] 步骤三、将反应腔的温度冷却至850℃,将525um重掺As的抛光片装入反应腔;

[0116] 步骤四、将反应腔的温度提升至1135℃,设置第一边缘加热区域的预设偏移值为22℃,第二边缘加热区域的预设偏移值为14℃,第三边缘加热区域和第四边缘加热区域的预设偏移值为17℃,在60 SLM H<sub>2</sub>的氛围下沉积Si外延120秒,并设置基座转速为35r/min;

[0117] 步骤五、沉积完成后,将反应腔的温度冷却至850℃,卸载出外延片;

[0118] 步骤六、采用金相显微镜观察晶圆表面是否存在滑移线。

[0119] 表1是各个加热区域采用的PID算法的参数表。其中,优化前的参数为第一组对比实验采用的参数,优化后的参数为第二组对比实验采用的参数。

[0120] 表1

加热区域	比例参数 (P)		积分参数 (I)		微分参数 (D)	
	优化前	优化后	优化前	优化后	优化前	优化后
中心加热区域	0.5	0.65	0.045	0.045	1.34	1.34
第一边缘加热区域	0.618	0.65	0.0284	0.035	0.92	0.92
第二边缘加热区域	0.6	0.5	0.032	0.025	1	1
第三/四边缘加热区域	0.64	0.64	0.03	0.03	0	0

[0121] 图6是第一组对比实验得到的曲线图;图7是第二组对比实验得到的曲线图。其中,



横坐标为时间,左侧的纵坐标表示温度,右侧的纵坐标表示功率,t1至t20表示外延沉积过程中的各项工艺流程,L1表示中心加热区域的加热功率曲线,L2表示第一边缘加热区域的加热功率曲线,L3表示第二边缘加热区域的加热功率曲线,L4表示第三边缘加热区域/第四边缘加热区域的加热功率曲线,L5表示中心加热区域的目标温度曲线,L6表示中心加热区域的实际温度曲线,L7表示各项工艺流程的时间曲线。由图6和图7可见,基于各个加热区域的加热功率曲线,采用本发明的技术方案对各个加热区域采用的PID算法的参数进行调整之后,使得各个加热区域的加热功率曲线趋于一致,有利于减弱不同加热区域之间的相互耦合作用,从而减弱相邻的加热区域之间的温度补偿,提升反应腔的温场均匀性,减少滑移线的产生,进而扩大无滑移线的外延生长的工艺窗口。

[0122] 图8是第一组对比实验得到的外延片的局部俯视图;图9是第二组对比实验得到的外延片的局部俯视图。经对比,在第一组对比实验中,外延片四周存在多条深浅不一的滑移线。在第二组实验中,经过加热功率监控和PID参数优化后,相同预设偏移值条件下,外延片周围无滑移线,且存在10℃以上的无滑移线的工艺温度窗口。

[0123] 基于同一发明构思,本发明实施例还提供了一种外延工艺的控制装置。图10是本发明实施例提供的一种外延工艺的控制装置的结构示意图。参见图10,该装置包括:参考晶圆控制模块410、控制模型调节模块420和目标晶圆控制模块430。

[0124] 参考晶圆控制模块410用于在参考晶圆的外延沉积过程中,采用预设控制模型基于PID算法分别控制反应腔的各个加热区域的加热功率。

[0125] 控制模型调节模块420用于调节预设控制模型的控制参数,以减小第一加热区域和第二加热区域的加热功率差异,将调节后的预设控制模型作为目标控制模型;其中,第一加热区域为任一加热区域,第二加热区域与第一加热区域相邻,控制参数包括应用于第一加热区域和/或第二加热区域的PID算法中的比例参数、积分参数和微分参数中的至少一者。

[0126] 目标晶圆控制模块430用于在目标晶圆的外延沉积过程中,采用目标控制模型分别控制各个加热区域的加热功率。

[0127] 本发明实施例所提供的外延工艺的控制装置,可执行本发明任意实施例所提供的外延工艺的控制方法,具备执行方法相应的功能模块和有益效果,这里不再赘述。

[0128] 可选地,外延工艺的控制装置还包括:

[0129] 加热功率控制模块,用于采用预设控制模型基于PID算法分别控制各个加热区域的加热功率,以使每个加热区域的温度达到对应的目标温度,目标温度为设定温度与预设偏移值之和;

[0130] 预设偏移值调整模块,用于在参考晶圆的外延沉积完成后,若参考晶圆的外延层存在滑移线,则调整至少一个加热区域对应的预设偏移值,并基于调整后的预设偏移值控制其他参考晶圆的外延沉积过程,直到参考晶圆的外延层不存在滑移线;

[0131] 外延沉积控制模块还用于将不存在滑移线的参考晶圆对应的各个加热区域的预设偏移值作为目标偏移值,基于目标偏移值控制目标晶圆的外延沉积。

[0132] 基于同一发明构思,本发明实施例还提供了一种半导体加工设备,该半导体加工设备可采用本发明任意实施例提供的外延工艺的控制方法进行控制,结合图2和图3,该半导体加工设备包括:

[0133] 反应腔,用于对晶圆进行外延沉积,具有至少两个加热区域;

[0134] 加热装置14,与加热区域对应设置,用于对加热区域进行加热。

[0135] 本发明实施例的技术方案,在参考晶圆的外延沉积过程中,采用预设控制模型基于PID算法分别控制反应腔的各个加热区域的加热功率,调节预设控制模型的控制参数,以减小第一加热区域和第二加热区域的加热功率差异,将调节后的预设控制模型作为目标控制模型,在目标晶圆的外延沉积过程中,采用目标控制模型分别控制各个加热区域的加热功率,以在晶圆的外延沉积过程中,使各个加热区域的加热功率趋于一致,有助于减弱相邻的加热区域之间的温度补偿,从而提升反应腔的温场均匀性,减少滑移线的产生,进而扩大无滑移线的外延生长的工艺窗口。

[0136] 应该理解,可以使用上面所示的各种形式的流程,重新排序、增加或删除步骤。例如,本发明中记载的各步骤可以并行地执行也可以顺序地执行也可以不同的次序执行,只要能够实现本发明的技术方案所期望的结果,本文在此不进行限制。

[0137] 上述具体实施方式,并不构成对本发明保护范围的限制。本领域技术人员应该明白的是,根据设计要求和因素,可以进行各种修改、组合、子组合和替代。任何在本发明的精神和原则之内所作的修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明保护范围之内。

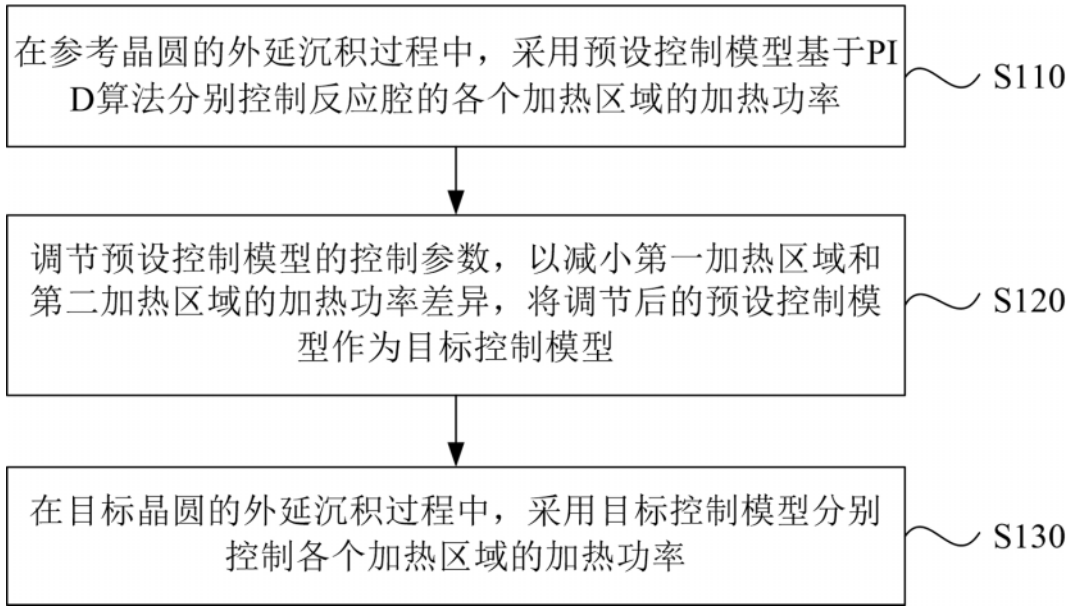


图 1

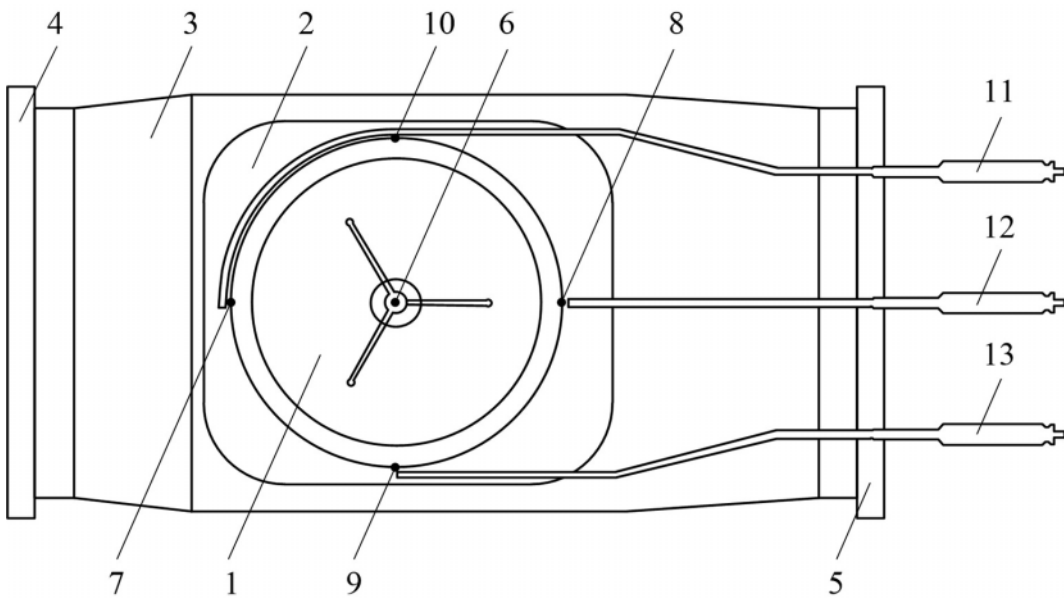


图 2

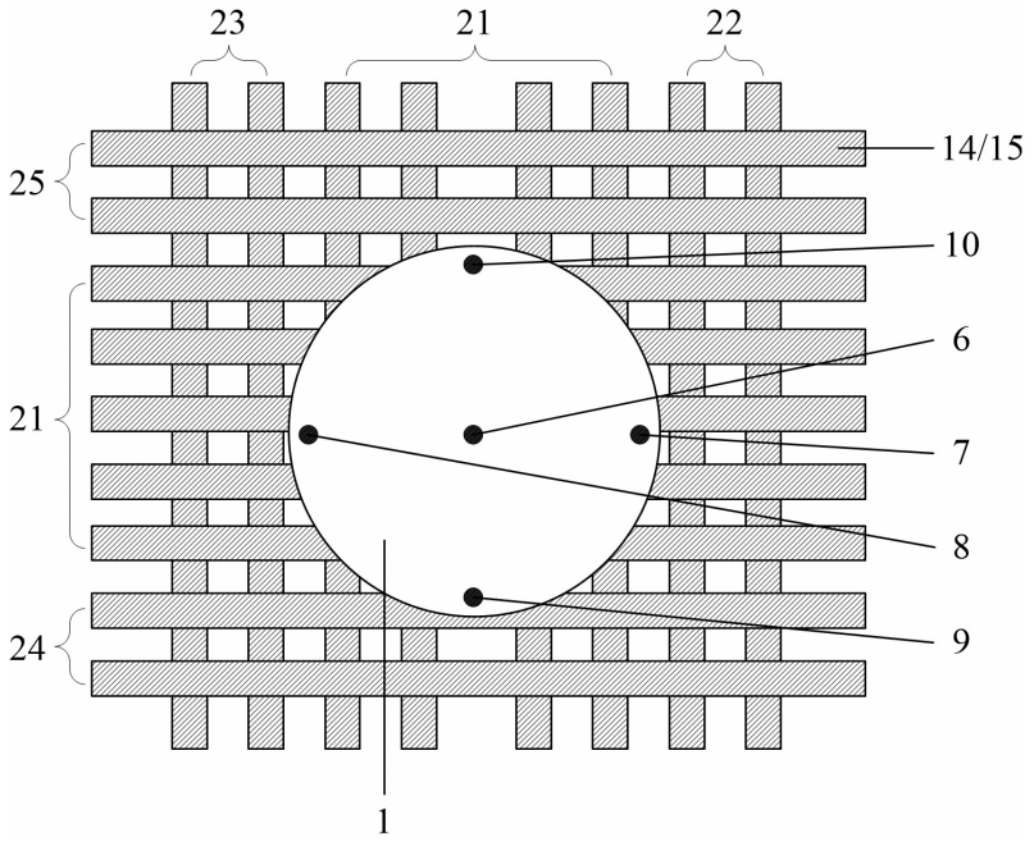


图 3

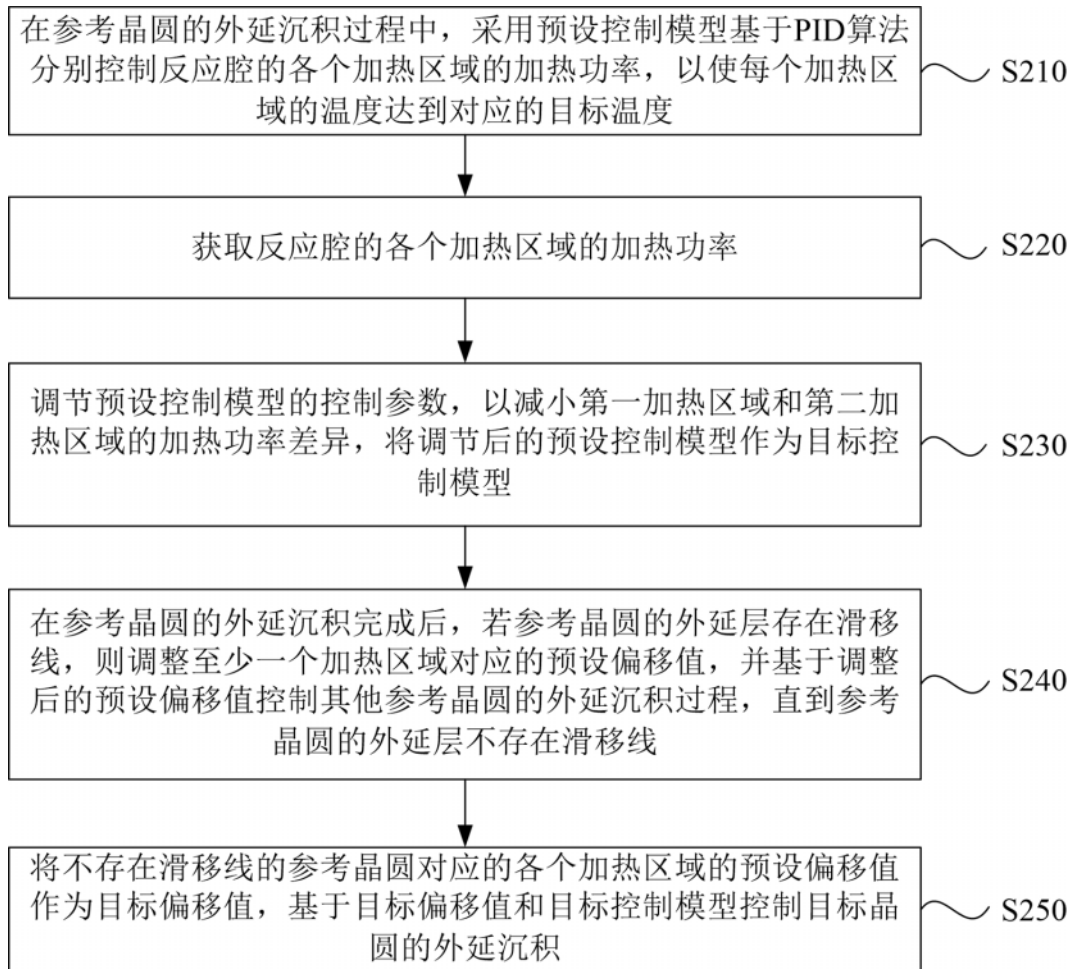


图 4

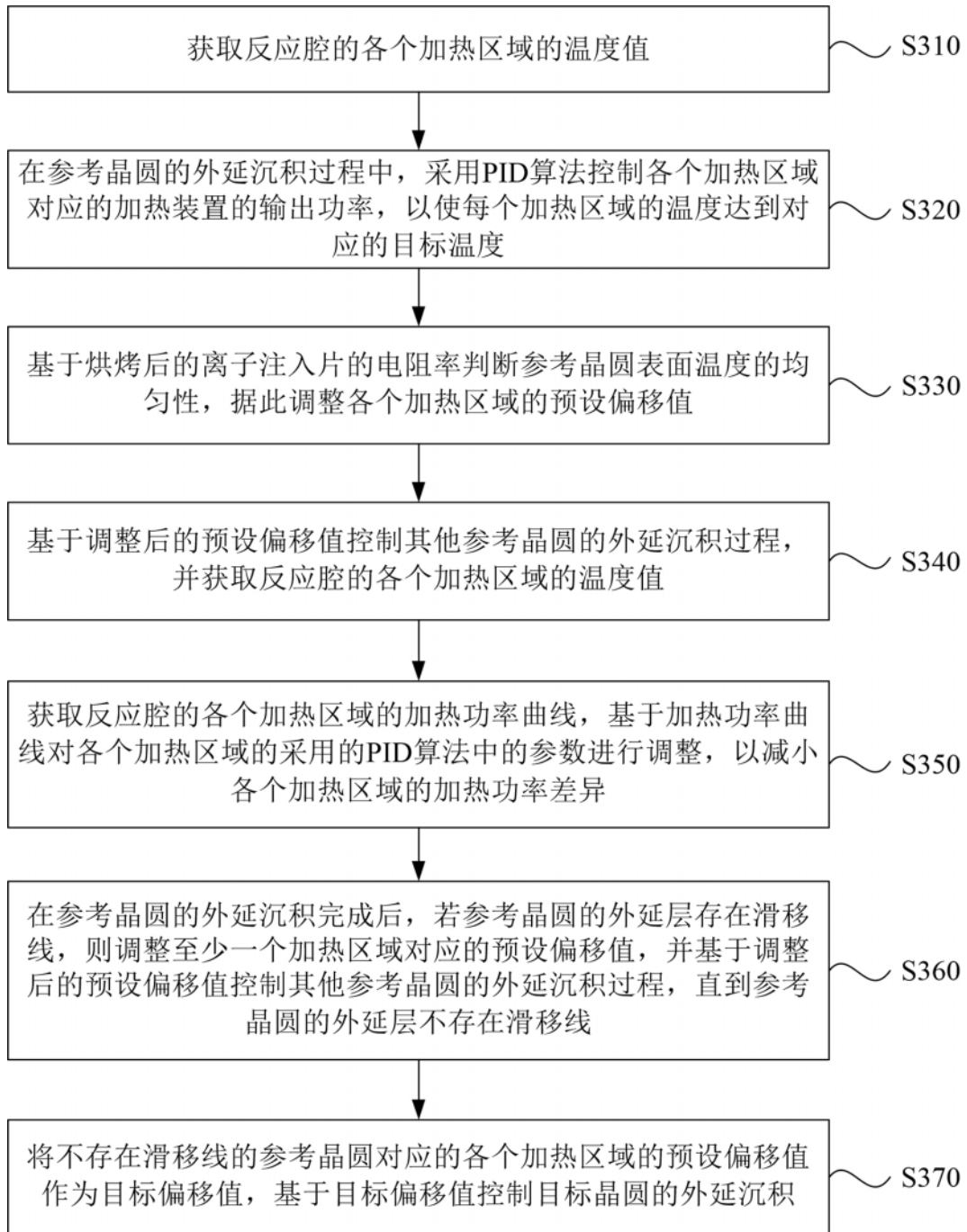


图 5

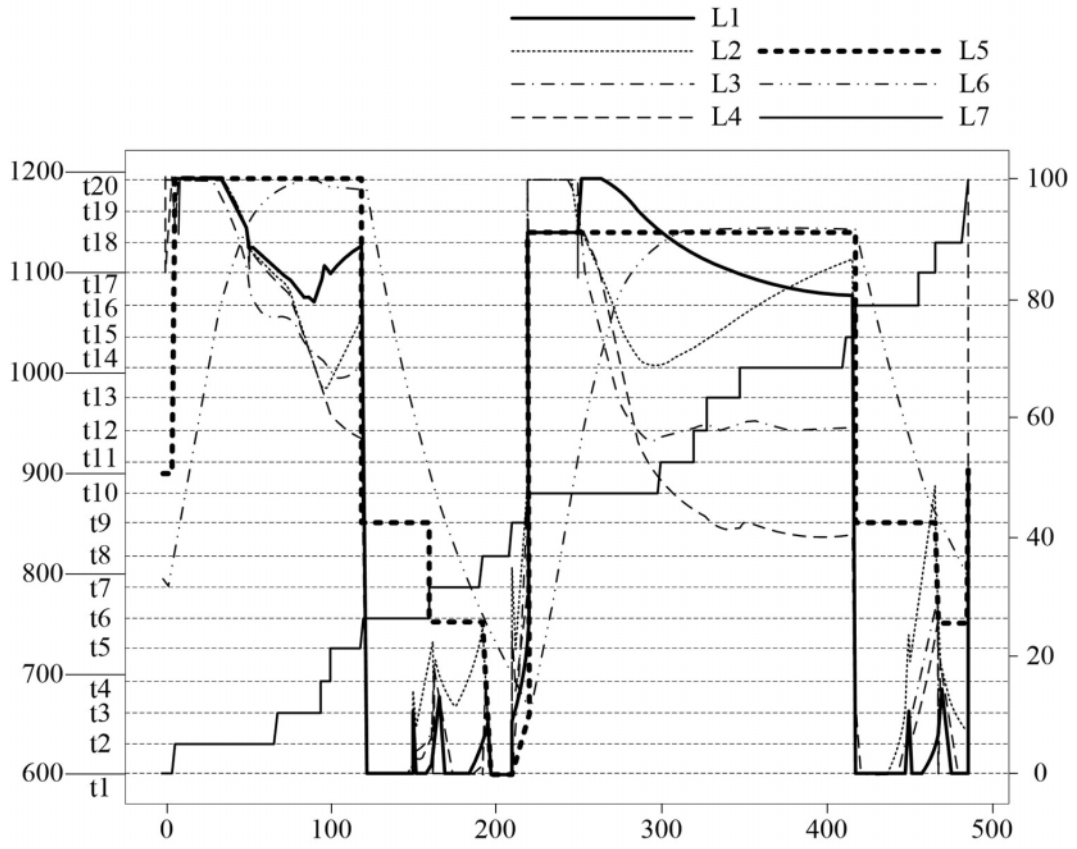


图 6

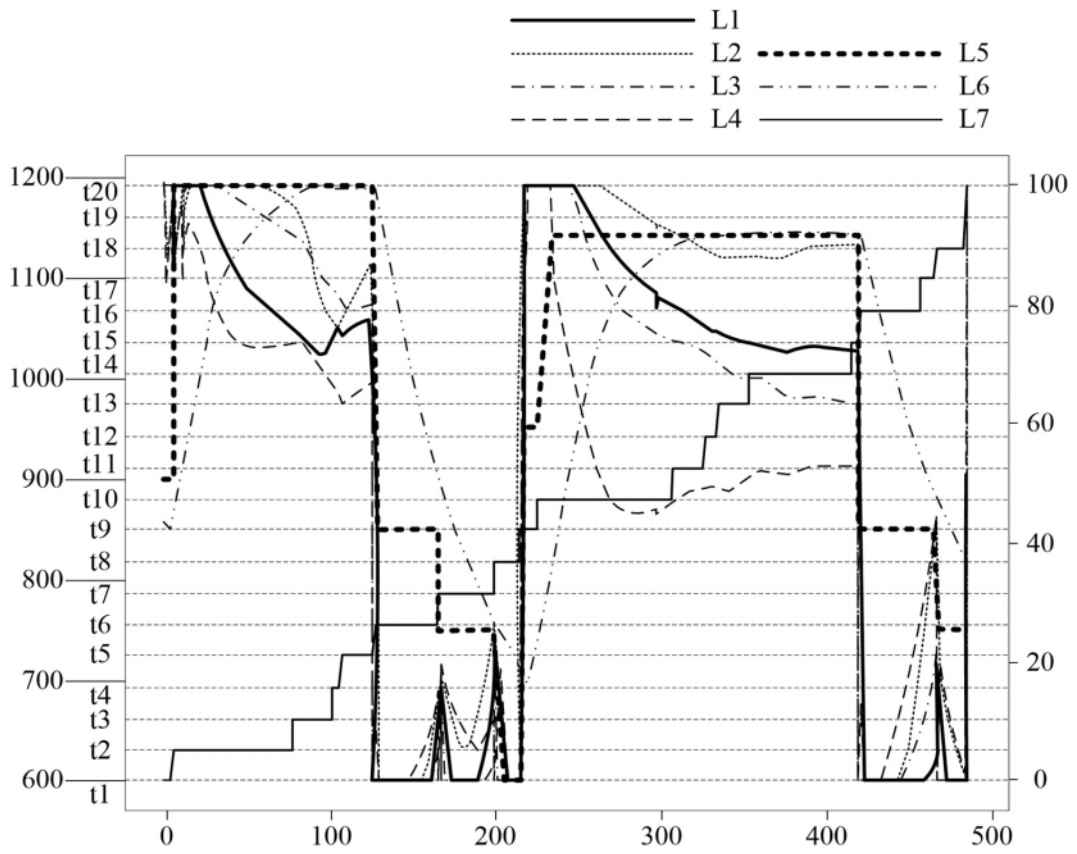


图 7

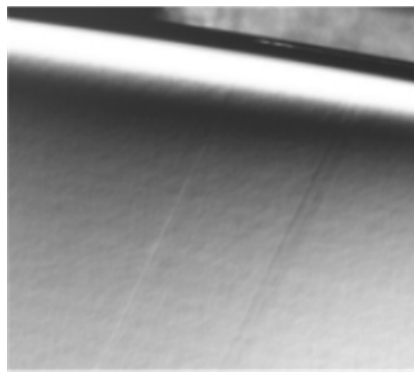


图 8





图 9

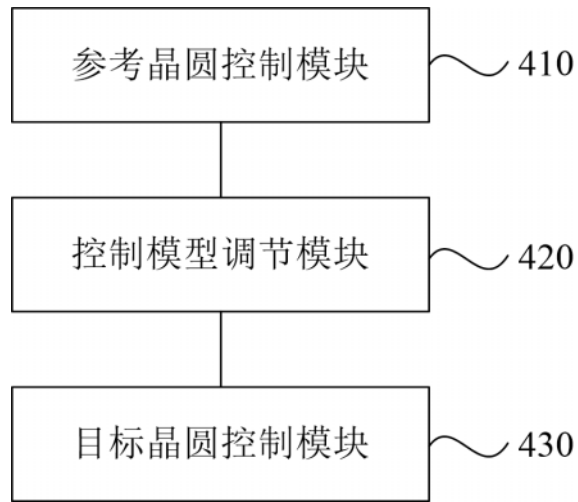


图 10