



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 115008335 B

(45) 授权公告日 2024. 09. 03

(21) 申请号 202210212981.0
 (22) 申请日 2022.03.04
 (65) 同一申请的已公布的文献号
 申请公布号 CN 115008335 A
 (43) 申请公布日 2022.09.06
 (30) 优先权数据
 63/157,508 2021.03.05 US
 (73) 专利权人 应用材料公司
 地址 美国加利福尼亚州
 (72) 发明人 B·切里安 S·德汉达帕尼
 (74) 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公
 司 31100
 专利代理师 汪骏飞 侯颖嫒

(51) Int.Cl.
 B24B 37/005 (2012.01)
 G05D 5/03 (2006.01)
 H01L 21/67 (2006.01)
 (56) 对比文件
 US 2007224915 A1, 2007.09.27
 CN 100577361 C, 2010.01.06
 US 2012100781 A1, 2012.04.26
 CN 105745743 A, 2016.07.06
 审查员 韩胜南

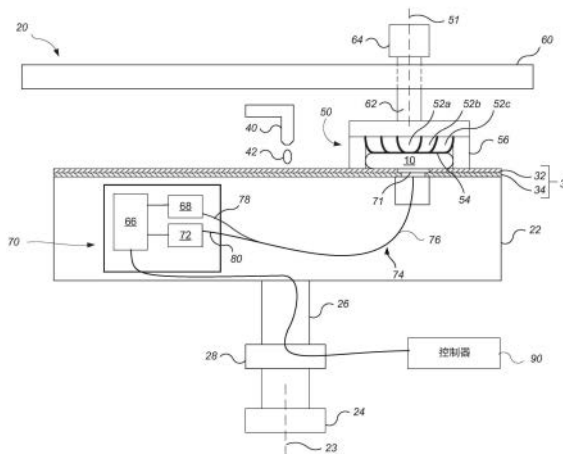
权利要求书5页 说明书14页 附图6页

(54) 发明名称

使用成本函数或预期的未来参数变化对基板抛光期间的处理参数的控制

(57) 摘要

本申请公开了使用成本函数或预期的未来参数变化对基板抛光期间的处理参数的控制。控制抛光系统包括：针对正由抛光系统处理的基板上的多个区域中的每个区域，从原位监测系统接收针对该区域的表征值的序列。对于每个区域，针对该区域确定抛光速率，并且针对至少一个处理参数计算调整。计算调整包括使成本函数最小化，该成本函数针对每个区域包括：i) 针对该区域的当前表征值与目标表征值之间的差异、或针对该区域的在预期终点时刻的预期表征值与目标表征值之间的差异；以及ii) 针对该区域的随时间推移的多个预测的未来压力变化、和/或针对该区域的随时间推移的预测的未来压力与基线压力之间的多个差异。



CN 115008335 B

1. 一种用于控制抛光系统的计算机程序产品,所述计算机程序产品驻留在非瞬态计算机可读介质上,所述计算机程序产品包括用于使一个或多个计算机执行以下步骤的指令:

针对正由所述抛光系统处理的基板上的多个区域中的每个区域,从原位监测系统接收针对所述区域的表征值的序列;

对于每个区域,确定针对所述区域的抛光速率;以及针对多个参数更新时刻中的每个特定参数更新时刻,计算针对所述抛光系统的至少一个处理参数的调整,其中,所述调整的计算包括使成本函数最小化,所述成本函数针对每个区域包括以下各项:

i) 针对所述区域的当前表征值与目标表征值之间的差异、或针对所述区域的在预期终点时刻的预期表征值与目标表征值之间的差异;以及

ii) 针对所述区域的在所述特定参数更新时刻之后的参数更新时刻发生的多个预测的未来压力变化、或针对所述区域的在所述特定参数更新时刻之后的参数更新时刻发生的预测的未来压力与基线压力之间的多个差异。

2. 如权利要求1所述的计算机程序产品,其中,所述成本函数针对每个区域包括以下各项:针对所述区域的在所述特定参数更新时刻之后的参数更新时刻发生的所述多个预测的未来压力变化、以及针对所述区域的在所述特定参数更新时刻之后的参数更新时刻发生的预测的未来压力与所述基线压力之间的所述多个差异。

3. 如权利要求2所述的计算机程序产品,其中,所述成本函数是以下各项的函数:针对所述区域的在抛光结束时的预期表征值与所述目标表征值之间的每个差异的平方、每个预测的未来压力变化的平方的函数、预测的未来压力与所述基线压力之间的每个差异的平方、以及预期的未来抛光速率的加权向量范数。

4. 如权利要求3所述的计算机程序产品,其中,所述成本函数包括针对每个区域的第一常数,并且所述成本函数是所述第一常数乘以针对所述区域的所述预期表征值与所述目标表征值之间的差异的平方所得结果的函数。

5. 如权利要求4所述的计算机程序产品,其中,所述成本函数包括针对每个区域的第二常数,并且所述成本函数是所述第二常数乘以每个预测的未来压力变化的平方所得结果的函数。

6. 如权利要求4所述的计算机程序产品,其中,所述成本函数受制于状态演变约束。

7. 如权利要求4所述的计算机程序产品,其中,所述成本函数通过线性二次调节来优化。

8. 一种用于控制抛光系统的方法,所述方法包括:

针对正被处理的基板上的多个区域中的每个区域,从原位监测系统接收针对所述区域的表征值的序列;

对于每个区域,确定针对所述区域的抛光速率;以及

针对多个参数更新时刻中的每个特定参数更新时刻,计算针对所述抛光系统的至少一个处理参数的调整,其中,所述调整的计算包括使成本函数最小化,所述成本函数针对每个区域包括以下各项:

i) 针对所述区域的当前表征值与目标表征值之间的差异、或针对所述区域的在预期终点时刻的预期表征值与目标表征值之间的差异;以及

ii) 针对所述区域的在所述特定参数更新时刻之后的参数更新时刻发生的多个预测的

未来压力变化、和/或针对所述区域的在所述特定参数更新时刻之后的参数更新时刻发生的预测的未来压力与基线压力之间的多个差异。

9. 一种抛光系统,包括:

工作台,所述工作台用于支撑抛光垫;

承载头,所述承载头用于将基板固持为与所述抛光垫接触;

电机,所述电机用于生成所述承载头与所述抛光垫之间的相对运动;

原位监测系统,所述原位监测系统用于针对正被抛光的所述基板上的多个区域中的每个区域,生成针对所述区域的表征值的序列;

控制器,所述控制器被配置成用于:

针对每个区域,接收所述表征值的序列;

对于每个区域,确定针对所述区域的抛光速率;以及

针对多个参数更新时刻中的每个特定参数更新时刻,计算针对所述抛光系统的至少一个处理参数的调整,其中,所述调整的计算包括使成本函数最小化,所述成本函数针对每个区域包括以下各项:

i) 针对所述区域的当前表征值与目标表征值之间的差异、或针对所述区域的在预期终点时刻的预期表征值与目标表征值之间的差异;以及

ii) 针对所述区域的在所述特定参数更新时刻之后的参数更新时刻发生的多个预测的未来压力变化、和/或针对所述区域的在所述特定参数更新时刻之后的参数更新时刻发生的预测的未来压力与基线压力之间的多个差异。

10. 一种用于控制半导体处理系统的计算机程序产品,所述计算机程序产品驻留在非瞬态计算机可读介质上,所述计算机程序产品包括用于使一个或多个计算机执行以下步骤的指令:

针对正被处理的基板上的多个区域中的每个区域,从原位监测系统接收针对所述区域的表征值的序列;

对于每个区域,确定针对所述区域的表征值的变化速率;以及

针对多个参数更新时刻中的每个特定参数更新时刻,计算针对抛光系统的至少一个处理参数的调整,其中,所述调整的计算包括使成本函数最小化,所述成本函数针对每个区域包括以下各项:

i) 针对所述区域的当前表征值与目标表征值之间的差异、或针对所述区域的在预期终点时刻的预期表征值与目标表征值之间的差异;以及

ii) 针对所述区域的在所述特定参数更新时刻之后的参数更新时刻发生的对处理参数的多个预测的未来变化、和/或针对所述区域的在所述特定参数更新时刻之后的参数更新时刻发生的预测的未来参数值与基线参数值之间的多个差异。

11. 一种用于控制抛光系统的计算机程序产品,所述计算机程序产品驻留在非瞬态计算机可读介质上,所述计算机程序产品包括用于使一个或多个计算机执行以下步骤的指令:

针对正由所述抛光系统处理的基板上的多个区域中的每个区域,从原位监测系统接收针对所述区域的表征值的序列;

对于每个区域,确定针对所述区域的抛光速率;以及

计算针对至少一个处理参数的调整,其中,所述调整的计算包括使成本函数最小化,所述成本函数针对每个区域包括:针对所述区域的当前表征值与目标表征值之间的差异、或针对所述区域的在预期终点时刻的预期表征值与目标表征值之间的差异,并且其中,所述成本函数的优化受制于至少一个约束。

12. 如权利要求11所述的计算机程序产品,其中,所述成本函数的优化受制于至少一个区间约束。

13. 如权利要求12所述的计算机程序产品,其中,所述区间约束包括区之间的处理参数的最大差异。

14. 如权利要求13所述的计算机程序产品,其中,所述区间约束包括相邻区之间的处理参数的最大差异。

15. 如权利要求11所述的计算机程序产品,其中,所述成本函数的优化受制于参数约束。

16. 如权利要求15所述的计算机程序产品,其中,所述参数约束包括最大参数值或最小参数值。

17. 如权利要求11所述的计算机程序产品,其中,所述一个或多个约束包括线性不等式约束。

18. 一种抛光系统,包括:

工作台,所述工作台用于支撑抛光垫;

承载头,所述承载头用于将基板固持为与所述抛光垫接触;

电机,所述电机用于生成所述承载头与所述抛光垫之间的相对运动;

原位监测系统,所述原位监测系统用于针对正被抛光的所述基板上的多个区域中的每个区域,生成针对所述区域的表征值的序列;以及

控制器,所述控制器被配置成用于:

针对所述基板上的多个区域中的每个区域,从所述原位监测系统接收针对所述区域的所述表征值的序列;

对于每个区域,确定针对所述区域的抛光速率;以及

计算针对至少一个处理参数的调整,其中,所述调整的计算包括使成本函数最小化,所述成本函数针对每个区域包括:针对所述区域的当前表征值与目标表征值之间的差异、或针对所述区域的在预期终点时刻的预期表征值与目标表征值之间的差异,并且其中,所述成本函数的优化受制于至少一个约束。

19. 一种用于控制抛光系统的方法,所述方法包括:

针对正由所述抛光系统处理的基板上的多个区域中的每个区域,从原位监测系统接收针对所述区域的表征值的序列;

对于每个区域,确定针对所述区域的抛光速率;以及

计算针对至少一个处理参数的调整,其中,计算所述调整包括使成本函数最小化,所述成本函数针对每个区域包括:针对所述区域的当前表征值与目标表征值之间的差异、或针对所述区域的在预期终点时刻的预期表征值与目标表征值之间的差异,并且其中,所述成本函数的优化受制于至少一个约束。

20. 一种用于控制半导体处理系统的计算机程序产品,所述计算机程序产品驻留在非

瞬态计算机可读介质上,所述计算机程序产品包括用于使一个或多个计算机执行以下步骤的指令:

针对正由所述处理系统处理的基板上的多个区域中的每个区域,从原位监测系统接收针对所述区域的表征值的序列;

对于每个区域,确定针对所述区域的表征值的变化速率;以及

计算针对至少一个处理参数的调整,其中,所述调整的计算包括使成本函数最小化,所述成本函数针对每个区域包括:针对所述区域的当前表征值与目标表征值之间的差异、或针对所述区域的在预期终点时刻的预期表征值与目标表征值之间的差异,并且其中,所述成本函数的优化受制于至少一个约束。

21. 一种用于控制抛光系统的计算机程序产品,所述计算机程序产品驻留在非瞬态计算机可读介质上,所述计算机程序产品包括用于使一个或多个计算机执行以下步骤的指令:

针对正由所述抛光系统处理的基板上的多个区域中的每个区域,从原位监测系统接收针对所述区域的表征值的序列;

对于每个区域,从所述区域的表征值的序列确定针对所述区域的抛光速率;以及

对于抛光终点之前的多个参数更新时刻中的每个特定的参数更新时刻,计算所述抛光系统的至少一个可控处理参数的调整,其中,计算在来自所述多个参数更新时刻中的所述特定的参数更新时刻作出的调整包括:计算在所述特定的参数更新时刻之后的一个或多个未来参数更新时刻作出的所述至少一个可控处理参数的预期的未来调整。

22. 如权利要求21所述的计算机程序产品,包括用于使所述多个参数更新时刻按规则的间隔发生的指令。

23. 如权利要求21所述的计算机程序产品,包括用于使所述多个参数更新时刻每3至30秒发生的指令。

24. 如权利要求21所述的计算机程序产品,其中,计算针对倒数第二个更新时刻之前的给定的参数更新时刻的调整包括:计算针对所述给定的参数更新时刻之后的至少两个未来参数更新时刻的预期的未来参数变化。

25. 如权利要求21所述的计算机程序产品,其中,用于计算针对所述特定的参数更新时刻的调整的指令包括:用于计算针对所述特定的参数更新时刻之后的每个未来参数更新时刻的预期的未来参数变化的指令。

26. 如权利要求21所述的计算机程序产品,其中,用于计算所述调整的指令包括用于使成本函数最小化的指令,所述成本函数针对每个区域包括第一项,所述第一项包括针对所述区域的当前表征值与目标表征值之间的差异、或针对所述区域的在预期终点时刻的预期表征值与目标表征值之间的差异。

27. 如权利要求26所述的计算机程序产品,其中,所述成本函数包括第二项,所述第二项包括未来参数变化。

28. 一种抛光系统,包括:

工作台,所述工作台用于支撑抛光垫;

承载头,所述承载头用于将基板固持为与所述抛光垫接触;

电机,所述电机用于生成所述承载头与所述抛光垫之间的相对运动;

原位监测系统,所述原位监测系统用于针对正被抛光的所述基板上的多个区域中的每个区域,生成针对所述区域的表征值的序列;以及

控制器,所述控制器被配置成用于:

针对所述多个区域中的每个区域,从所述原位监测系统接收针对所述区域的表征值的序列;

对于每个区域,从所述区域的表征值的序列确定针对所述区域的抛光速率;以及

对于抛光终点之前的多个参数更新时刻中的每个特定的参数更新时刻,计算所述抛光系统的至少一个可控处理参数的调整,其中,计算在来自所述多个参数更新时刻中的所述特定的参数更新时刻作出的调整包括:

计算在所述特定的参数更新时刻之后的一个或多个未来参数更新时刻作出的所述至少一个可控处理参数的预期的未来调整。

29.一种用于控制抛光系统的方法,所述方法包括:

针对正由所述抛光系统处理的基板上的多个区域中的每个区域,从原位监测系统接收针对所述区域的表征值的序列;

对于每个区域,从所述区域的表征值的序列确定针对所述区域的抛光速率;以及

对于抛光终点之前的多个参数更新时刻中的每个特定的参数更新时刻,计算所述抛光系统的至少一个可控处理参数的调整,其中,计算在来自所述多个参数更新时刻中的所述特定的参数更新时刻作出的调整包括:计算在所述特定的参数更新时刻之后的一个或多个未来参数更新时刻作出的所述至少一个可控处理参数的预期的未来调整。

30.一种用于控制半导体处理系统的计算机程序产品,所述计算机程序产品驻留在非瞬态计算机可读介质上,所述计算机程序产品包括用于使一个或多个计算机执行以下步骤的指令:

针对正由所述处理系统处理的基板上的多个区域中的每个区域,从原位监测系统接收针对所述区域的表征值的序列;

对于每个区域,从所述区域的表征值的序列确定针对所述区域的表征值的变化速率;以及

对于抛光终点之前的多个参数更新时刻中的每个特定的参数更新时刻,计算抛光系统的至少一个可控处理参数的调整,其中,计算在来自所述多个参数更新时刻中的所述特定的参数更新时刻作出的调整包括:计算在所述特定的参数更新时刻之后的一个或多个未来参数更新时刻作出的所述至少一个可控处理参数的预期的未来调整。

使用成本函数或预期的未来参数变化对基板抛光期间的处理参数的控制

技术领域

[0001] 本公开总体上关于对化学机械抛光期间处理参数的控制。

背景技术

[0002] 集成电路典型地通过在硅晶片上顺序地沉积导电层、半导电层或绝缘层而被形成在基板上。一个制造步骤涉及在非平面表面上沉积填料层并使该填料层平面化,例如,直到经图案化的层的顶表面被暴露或预定的厚度保留在非平面表面上方。此外,基板表面的平面化对于光刻通常是必需的。

[0003] 化学机械抛光(CMP)是一种公认的平面化方法。该平面化方法典型地要求基板被安装在承载头上。基板的暴露表面典型地被放置为抵靠具有耐用粗糙表面的旋转抛光垫。承载头提供基板上的可控载荷,从而将其推到抵靠抛光垫。抛光液,诸如具有研磨颗粒的浆料,典型地被供应到抛光垫的表面。

[0004] CMP的一个问题是使用适当的抛光速率以获得期望的轮廓,例如,已经被平面化至期望的扁平度或厚度的基板层,或已去除期望量的材料。基板层的初始厚度、浆料组成、抛光垫状况、抛光垫与基板之间的相对速度以及基板上的载荷的变化可引起跨基板的以及基板与基板之间的材料去除速率的变化。

发明内容

[0005] 计算机程序产品、方法、或具有控制器的抛光系统进行操作,以:针对正由抛光系统处理的基板上的多个区域中的每个区域,从原位监测系统接收针对该区域的表征值的序列。对于每个区域,针对该区域确定抛光速率,并且针对至少一个处理参数计算调整。

[0006] 一方面,计算调整包括使成本函数最小化,该成本函数针对每个区域包括:i)针对该区域的当前表征值与目标表征值之间的差异、或针对该区域的在预期终点时刻的预期表征值与目标表征值之间的差异;以及ii)针对该区域的随时间推移的多个预测的未来压力变化、和/或针对该区域的随时间推移的预测的未来压力与基线压力之间的多个差异。

[0007] 另一方面,计算调整包括使成本函数最小化,该成本函数针对每个区域包括:针对该区域的当前表征值与目标表征值之间的差异、或针对该区域的在预期终点时刻的预期表征值与目标表征值之间的差异,并且成本函数的最小化受制于至少一个约束。

[0008] 又一方面,对于多个参数更新时刻中的每个参数更新时刻,针对至少一个处理参数计算调整,其中,计算针对来自多个参数更新时刻中的特定的参数更新时刻的调整包括:计算针对在特定的参数更新时刻之后的一个或多个未来参数更新时刻的预期的未来参数变化。

[0009] 实现方式可包括以下特征中的一项或多项。表征值可以是厚度。参数可以是抛光系统的承载头中的腔室的压力。

[0010] 成本函数可包括与以下对应的项:

$$[0011] \quad J = \sum_{\tau=0}^{\tau=T-1} x(\tau)^T Q(\tau)x(\tau) + u(\tau)^T R u(\tau) + x(T)^T Q_f x(T)$$

[0012] 其中, τ 表示预测的未来压力变化的序列中的序号, $x(\tau)$ 表示 τ 处的厚度与目标厚度之间的差异、 τ 处的抛光速率、以及 τ 处的基线压力与 τ 处的估计压力之间的差异、以及 τ 处的表征值的目标值与 τ 处的所测量的表征值之间的差异; $Q(\tau)$ 表示用于 $x(\tau)$ 的加权矩阵; $u(\tau)$ 表示 τ 处的估计压力变化; 并且 R 表示用于 $u(\tau)$ 的加权矩阵; $x(T)$ 表示包括以下各项的向量: 在最终时刻 T 处的表征值的目标值与针对最终时刻 T 的估计表征值之间的差异、在最终时刻 T 处的估计速率、以及在最终时刻 T 处的估计压力与基线压力之间的差异; 并且 Q_f 表示用于 $x(T)$ 的加权矩阵。 $x(\tau+1)$ 可计算为 $Ax(\tau) + Bu(\tau)$, 其中, A 和 B 是预定义的值。

[0013] 区间约束可包括相邻区之间的压力的最大差异。区间约束可包括区中压力与多个区的平均压力的最大差异。参数约束可以是最大压力。

[0014] 可确定速率变化。可使用经逆转的普雷斯頓 (Preston) 矩阵从速率变化往回计算压力计算。

[0015] 实施方式可以包括以下的一个或多个潜在优势。

[0016] 可同时针对多个目标“优化”控制输入, 这些目标包括除简单地使未来时刻的预测的厚度与目标厚度之间的差异最小化之外的一个或多个目标。例如, 这些目标可包括: 减小压力变化, 和/或使从基线压力的偏离最小化。这准许控制输入以能够避免欠阻尼或过阻尼行为的方式的演变。

[0017] 该优化可在输入影响基板上的重叠区域时被执行。这准许以改善的空间分辨率对抛光轮廓的控制, 并且减小晶片内非均匀性 (WIWNU) 并减小边缘排除。

[0018] 该优化可在各种约束 (例如, 一般线性不等式约束) 下被执行。在控制输入时承载头中的腔室中的压力的情况下, 这准许限制相邻腔室之间的压力差异, 这可跨抛光区边界提供更平滑的压力过渡, 并因此减小晶片内非均匀性 (WIWNU)。

[0019] 该优化可实时地 (即, 当在抛光期间数据被收集时) 且足够快地被执行, 以准许以足够高的频率 (例如, 每 2-20 秒) 修改控制输入, 从而准许许多抛光过程的多次调整。这可准许抛光过程可靠地达到目标厚度, 同时还平衡其他目标的需求。

[0020] 应当理解, 优化 (或最小化) 受制于实际约束, 例如, 优化算法可受制于可能的处理功率和时间。

[0021] 在以下所附附图和描述中阐述一个或多个实施例的细节。根据说明书和附图以及根据权利要求书, 其他特征、目的以及优点将显而易见。

附图说明

[0022] 图1图示抛光装置的示例的示意性横截面视图。

[0023] 图2图示具有多个区的基板的示意性俯视图。

[0024] 图3A图示抛光垫的俯视图, 并示出在基板上取得原位测量之处的区域。

[0025] 图3B图示相对于基板的多个区取得原位测量之处的多个区域的分布的示意性俯视图。

[0026] 图4A是从针对受控区和参考区的原位测量导出的厚度的绘图。

- [0027] 图4B是图示假定控制输入中随时间推移的多个变化而计算的预测厚度的绘图。
- [0028] 图5是生成期望的基板轮廓的方法的流程图。
- [0029] 各个附图中相同的附图标记指示相同的要素。

具体实施方式

[0030] 抛光参数(例如,承载头的不同腔室中的压力以及因此基板上的不同区上的压力)可被控制,以改善抛光均匀性或使基板被抛光成更接近目标轮廓。已提出了基于多个抛光参数来确定一个区中的抛光速率的控制算法。例如,一区中的抛光速率可由该区正上方的腔室的压力以及相邻区上方的腔室中的压力两者确定。然而,当考虑来自多个参数的贡献时,控制参数可能仅在参数之间的某些约束下才是准确的。例如,来自腔室中的针对相邻区的压力对一个区的抛光速率的影响仅在区之间的压力差是小的(例如,小于2psi的)的情况下才是准确的。常规控制器并不适当地考虑此类一般线性不均等约束。另一方面,如果约束被忽略,则算法会选择导致不期望的结果或实际上增加非均匀性的抛光参数值。然而,如果参数简单地被钳定以设置于最大值或最小值,则抛光将不按算法所计算来继续进行。

[0031] 在抛光参数的控制中出现的另一问题是欠阻尼或过阻尼行为。例如,对于欠阻尼,控制算法可能将抛光参数设置于对来自目标的变化过补偿的值,并因此导致参数值的振荡。另一方面,对于欠阻尼,控制算法可能将抛光参数设置于对来自目标的变化欠补偿的值,这可能导致基板实际上没有达到目标。

[0032] 这两个问题中的任一问题或这两个问题可通过执行对一般成本函数的受约束优化的控制算法来解决,该一般成本函数包括未来参数值的计算和源自未来参数的所得的估计的抛光轮廓。在基板的抛光过程期间,用于每个区的处理参数可使用包括对控制输入的各种约束的方式实时地计算,即可控抛光参数,诸如,所施加的腔室压力、工作台或承载头旋转速率等。

[0033] 图1图示抛光装置20的示例。所述抛光装置20可包括可旋转盘形工作台22,抛光垫30位于该可旋转盘形工作台22上。工作台可操作以绕轴线23旋转。例如,电机24可以转动驱动轴26以使工作台22旋转。抛光垫30可以(例如,通过粘合剂层)可拆卸地固定到工作台22。抛光垫30可以是具有外抛光层32和较软的背衬层34的双层抛光垫。

[0034] 抛光装置20可以包括抛光液供应端口40,以将抛光液42(诸如,研磨料浆)分配到抛光垫30上。抛光装置20还可包括抛光垫调节盘,用于研磨抛光垫30,以将抛光垫30维持在一一致的研磨状态。

[0035] 承载头50可操作以将基板10固持抵靠抛光垫30。承载头50可包括多个独立可控的可加压腔室(例如,三个腔室52a-52c),这些可加压腔室独立地将可控压力施加至基板10上的相关联的区148a-148c(参见图2)。

[0036] 参考图2,中心区148a可以是基本上圆形的,并且其余的区148a-148c可以是围绕中心区148a的同心环形区。

[0037] 返回图1,腔室52a-52c可由柔性膜54限定,该柔性膜54具有底表面,基板10安装到该底面。承载头50还可包括保持环56以将基板10保持在柔性膜54下方。尽管为了易于说明,在图1中仅图示三个腔室,但也可以具有两个腔室、或四个或更多个腔室,例如,五个腔室。此外,可以在承载头50中使用用于调整施加到基板的压力的其他机制(例如,压电致动器)。

[0038] 每个承载头50从支撑结构60(例如,转盘或轨道)悬挂,并通过驱动轴62连接到承载头旋转电机64,使得承载头可以绕轴线51旋转。任选地,每个承载头50可以通过沿轨道运动、或通过转盘本身的旋转振荡,例如在转盘上的滑块上横向地振荡。在操作中,工作台22围绕其中心轴线23旋转,并且承载头50围绕其中心轴线51旋转,并且跨抛光垫30的顶表面横向地平移。

[0039] 虽然仅示出一个承载头50,但是可提供更多承载头以固持附加的基板,使得可高效地使用抛光垫的表面积。

[0040] 抛光装置还可包括原位监测系统70,该原位监测系统70可用于确定调整抛光速率还是调整对抛光速率的调整,如下文所讨论。原位监测系统70可包括光学监测系统,例如,光谱监测系统或涡流监测系统。

[0041] 在一个实施例中,监测系统70是光学监测系统。通过包括缝隙(即,穿过抛光垫的孔)或实心窗口71,提供了通过该垫的光学通路。实心窗口71可以固定至抛光垫30,例如,作为填充抛光垫中的缝隙的插塞,例如,被模制到抛光垫或粘附地固定至抛光垫,但是在一些实现方式中,实心窗口可以支撑在工作台22上,并伸出到抛光垫上的缝隙中。

[0042] 光学监测系统70可包括光源68、光检测器72和用于在远程控制器90(例如,计算机)与光源68和光检测器72之间发射和接收信号的电路66。可以用一根或更多根光纤将光从光源68传输到抛光垫中的光学通路,并将从基板10反射的光传输到检测器72。例如,分叉光纤74可用于将光从光源68传输至基板10并往回传输至检测器72。分叉光纤74可包括定位在光学通路附近的主干76、以及分别连接至光源68和检测器72的两个分支78和80。

[0043] 在一些实现方法中,工作台的顶表面可包括凹槽,光学头适配在该凹槽中,该光学头固持分叉光纤的主干的一端。光学头可以包括用于调节主干的顶部与实心窗口之间的垂直距离的机制。

[0044] 电路66的输出可以是数字电子信号,该数字电子信号通过驱动轴26中的旋转耦合器(例如,滑环)传递到用于光学监测系统的控制器90。类似地,可以响应于数字电子信号中的控制命令来打开或关闭光源,该数字电子信号从控制器90通过旋转耦合器传递到光学监测系统70。替代地,电路66可通过无线信号与控制器90通信。

[0045] 光源68可以可操作地发射白光。在一个实现方式中,所发射的白光包括具有200-800纳米的波长的光。合适的光源是氙灯或汞灯。

[0046] 光检测器72可以是光谱仪。光谱仪是用于测量电磁谱的一部分上的光强度的光学仪器。合适的光谱仪是光栅光谱仪。光谱仪的典型输出是作为波长(或频率)的函数的光强度。

[0047] 如前所述,光源68和光检测器72可连接至可操作用于控制其操作和接收其信号的计算设备,例如,控制器90。计算设备可包括位于抛光装置附近的微处理器,例如,可编程计算机。关于控制,计算设备可例如使光源的激活与工作台22的旋转同步。

[0048] 在一些实现方式中,原位监测系统70的光源68和检测器72被安装于工作台22中并随该工作台22旋转。在这种情况下,工作台的运动将使传感器跨每个基板扫描。具体而言,当工作台22旋转时,控制器90可使光源68在恰在每个基板10在光学通路上方经过开始且恰在每个基板在光学通路上方经过之后结束的时间发射一系列的闪光。替代地,计算设备可使光源68在恰在每个基板10在光学通路上方经过开始且恰在每个基板在光学通路上方经

过之后结束的时间连续地发射光。在任一情况下,来自检测器的信号能以足够高的频率(例如,每2-20秒)修改控制输入,以准许对抛光过程的多个调整。

[0049] 在操作中,控制器90可接收例如承载描述由光检测器接收的光的光谱的信息的信号,该光由光检测器针对光源的特定闪光或检测器的时间帧而接收。因此,该光谱是在抛光期间原位地测量的光谱。

[0050] 如图3A中所示,检测器被安装在工作台中,则由于工作台的旋转(由箭头204所示),当窗口108在一个承载头(例如,固持基板10的承载头)下方行进时,光学监测系统以采样频率进行光谱测量将使光谱测量在跨越基板10的弧线中的位置201处被取得。例如,点201a-201k中的每一个点表示由基板10的监测系统进行的光谱测量的位置(点的数量是说明性的;取决于采样频率,可采用比所图示的更多或更少的测量)。如图所示,对于工作台的一次旋转,从基板10上的不同半径获得光谱。也就是说,一些光谱从更靠近中心的位置获得,并且一些光谱从更靠近边缘的位置获得。因此,对于光学监测系统基于时序、电机编码器信息、以及基板和/或保持环的边缘的光学检测跨基板10的任何给定扫描,控制器90针对来自扫描的每个所测量的光谱计算(相对于基板10的中心的)径向位置。抛光系统还可包括旋转位置传感器,用于提供附加数据以用于确定所测量的光谱在基板上的位置,该旋转位置传感器例如凸缘,该凸缘附连至将经过固定式光学断续器的工作台的边缘。控制器90因此可将所测量的光谱与基板10上的区1485a-148c(参见图2)相关联。在一些实现方式中,光谱测量的时间可被用作对径向位置的精确计算的替代。

[0051] 作为示例,参考图3B,在工作台的一次旋转中,由光检测器72收集与不同区域203a-203o对应的光谱。基于区域203a-203o的径向位置,在区域203a-203b和203m-203o处收集的五个光谱与外区148c相关联;在区域203c-203e和203k-203l处收集的五个光谱与中区148b相关联;并且在区域203f-203j处收集的五个光谱与内区148a相关联。虽然该示例示出每个区域相同数量的光谱相关联,但是这些区也可基于原位测量而与不同数量的光谱相关联。与每个区相关联的光谱的数量从工作台的一次旋转到另一次旋转可能改变。当然,上文给出的区域的数量仅是说明性的,因为与每个区相关联的光谱的实际数量将至少取决于采样率、工作台的旋转速率、以及每个区的径向宽度。

[0052] 不限于任何特定理论,从基板10反射的光的光谱由于最外层的厚度的变化随抛光进展(例如,对于工作台的多次旋转,不在跨基板的单次扫描期间)而演变,因此产生时变光谱的序列。此外,特定光谱通过层堆叠的特定厚度来展现。

[0053] 对于每个所测量的压力,控制器90可计算表征值。该表征值典型地是外层的厚度,但也可以是相关的特性(诸如,去除的厚度)。此外,表征值可以是除厚度以外的物理属性,例如,金属线电阻此外,表征值可以是基板通过抛光过程的进展的更一般的表示,例如,索引值,其表示在预定进展之后的抛光过程中将预期观察到光谱所处于的时刻或工作台旋转的数量。

[0054] 一种用于计算表征值的技术如下:对于每个所测量的光谱,从参考光谱的库标识匹配的参考光谱。库中的每个参考光谱可具有相关联的标准值,例如,厚度值、或索引值,该索引值指示预期参考光谱将发生所处于的时刻或工作台旋转的数量。通过确定针对匹配的参考光谱的相关联的表征值,可生成表征值。该技术在美国专利公布第2010-0217430号中描述。

[0055] 另一技术是将光学模型拟合到所测量的光谱。具体而言,光学模型的参数被优化以提供模型对所测量的光谱的最佳拟合。针对所测量的光谱生成的参数值生成表征值。该技术在美 国专利申请第2013-0237128号中描述。光学模型的可能输入参数可包括层中的每个层的厚度、折射率和/或消光系数、基板上的重复特征的间距和/或宽度。

[0056] 输出光谱与所测量的光谱之间的差异的计算可以是:所测量的光谱与输出光谱之间的绝对差的和、或者所测量的光谱与参考光谱之间的平方差的和。用于计算差异的其他技术是可能的,例如,可计算所测量的光谱与输出光谱之间的互相关性。

[0057] 另一技术是分析来自所测量的光谱的光谱特征的特性,例如,所测量的光谱中的峰或谷的波长或宽度。来自所测量的光谱的特征的波长或宽度值提供表征值。该技术在美 国专利公布第2011-0256805号中描述。

[0058] 另一技术是对所测量的光谱执行傅里叶变换。测量来自经变换的光谱的峰中的一个峰的位置。针对所测量的光谱生成的位置值生成表征值。该技术在美 国专利公布第2013-0280827号中描述。

[0059] 基于在工作台的一次旋转期间测量的光谱,可基于与每个区相关联的多个(例如,在图3B中示出的示例中为5个)光谱导出多个表征值。为了下文的讨论简单,我们假定表征值是厚度值(在下文的讨论中简称为“厚度”)。然而,讨论也适用于取决于厚度的其他类型的表征值,例如,索引值,其表示将预期观察到光谱所处于的时刻或工作台旋转的数量。例如,也可在确定抛光过程期间的抛光速率调整时以与下文讨论的厚度类似的方式或相同的方式来使用其他类型的表征值。类似地,抛光速率不必是厚度的变化率,而可以是标志值的变化率。

[0060] 出于该讨论的目的,直接从原位测量的结果导出的厚度值被称为导出厚度。在光学监测的示例中,每个导出厚度与所测量的光谱对应。名称“(多个)导出厚度”不旨在提供对此类厚度的任何含义。相反,该名称仅被选择用于将这些厚度值与其他类型的厚度(例如,下文进一步讨论的从其他源或从附加的数据处理获得的厚度)区分开。可选择其他名称用于该相同目的。

[0061] 针对一区的多个导出厚度可以是不同的,例如,由于相同区中的不同区域处的实际(或物理)厚度差异、测量误差、和/或数据处理误差。在一些实现方式中,在误差容限内,工作台的给定旋转中的区的所谓“所测量的厚度”可基于给定旋转中的多个导出厚度来计算。给定旋转中的区的所测量的厚度可以是该给定旋转中的多个导出厚度的平均值或中位数值。替代地,给定旋转中的区的所测量的厚度可通过以下方式来生成:将函数(例如,多项式函数、线性函数)拟合到来自多次旋转的多个导出厚度,并且在给定旋转处计算该函数的值。当拟合函数时,可仅使用自从最近的压力/抛光速率调整起的导出厚度来执行计算。

[0062] 无论使用哪种技术来对于工作台的多次旋转、针对每个基板的每个区计算所测量的“厚度”,都可随时间推移获得所测量的厚度的序列。在一些实现方式中,可由来自抛光装置的操作员的、通过图形用户界面(例如,无线电按钮)的用户输入来选择哪种技术用于计算所测量的“厚度”。

[0063] 基于原位测量的压力控制

[0064] 控制器90存储期望的厚度轮廓,期望在针对基板的抛光过程的结束时(或者在当抛光过程停止时的终点时刻)实现该期望的厚度轮廓。期望的厚度轮廓可具有针对基板10

上的所有区均匀的厚度,或者可具有针对基板10上的不同区不同的厚度。期望的厚度轮廓限定基板的所有区在终点时刻的相对厚度关系。

[0065] 当基板正在被抛光时,基板的不同区之间的抛光速率变化会导致不同区在不同时刻达到它们的目标厚度。通过根据优化算法控制抛光参数,可实现期望的厚度轮廓。用于一个或多个区的处理参数可被调整以促进基板实现更接近的终点条件。“更接近的终点条件”意指:相比不具有此类调整,基板的各区将更接近同时地达到它们的目标厚度;或者相比不具有此类调整,基板的各区在终点时刻将具有更接近它们的目标厚度的厚度。在抛光过程期间,控制区中的抛光(并因此控制基板的最终厚度轮廓)的抛光参数通过优化成本函数(例如,使成本函数最小化)实时地被计算。优化方式可包括对这些抛光参数的值的各种约束。优化算法可使用能够以线性矩阵等式或不等式的形式构造这些约束来解决线性或非线性凸优化问题(例如,内点或作用集方式)的任何合适的算法。

[0066] 通过调整由抛光头施加至基板区的压力来将基板区的抛光速率调整到期望的抛光速率。压力调整可通过期望的抛光速率与当前抛光速率之间的差异、同时将抛光参数约束考虑在内来确定,抛光参数约束诸如,针对承载头的最小和最大压力约束。在一些实现方式中,针对一个区的压力调整的计算将其他区上的压力对包括重叠区的这一个区的抛光速率的影响考虑在内,例如,使用普雷斯顿矩阵。在抛光过程期间,针对工作台的每次旋转、基于(多次)完成的旋转的原位测量,可确定多个区的所测量的厚度和所测量的抛光速率。所测量的厚度之间的关系可与相对厚度关系进行比较,并且实际抛光速率可被调整,使得实际(物理)厚度在(多次)未来旋转中被改变已更接近地遵循相对厚度关系。与实际厚度和所测量的/导出厚度类似,实际抛光速率由所测量的抛光速率表示。在一个示例中,某些区的实际抛光速率可通过改变对应腔室的压力来改变,并且压力变化的量可从要改变的抛光速率的量导出,如下文进一步所解释。

[0067] 在一些实现方式中,基本的一个区被选择为所谓的参考区。参考区可以被选择为提供最可靠的原位厚度测量和/或具有对抛光的最可靠控制的区。例如,参考区可以从工作台的每次旋转从其收集最大数量的光谱的区。参考区可以偶控制器或计算机基于原位测量数据来选择。参考区的所测量的厚度可被视为以相对高的分辨率表示参考区的实际厚度。此类所测量的厚度提供用于基板中的所有其他区(其可被称为受控区)的参考厚度点。例如,基于工作台的给定旋转中的参考区的所测量的厚度,针对工作台的该给定旋转的受控区的期望厚度可基于它们相对于参考区的相对厚度关系来确定。

[0068] 在一些实现方式中,控制器和/或计算机可调度对(多个)受控区的(多个)抛光速率的调整。例如,调整可被调度为以预定速率发生,该预定速率例如,每个给定的转数,例如,每5转至50转,或每个给定的秒数,例如,每3秒至30秒。在一些理想的情况下,在预先调度的调整时刻,调整可以为零。在其他实现方式中,能以原位地确定的速率作出调整。例如,不同区的所测量的厚度与期望的厚度关系显著地不同,则控制器和/或计算机可决定进行针对抛光速率的更频率调整。

[0069] 参考图4A,针对参考区和受控区对导出宽度(或从原位测量(诸如,光学光谱)导出的厚度)绘图,以促进用于调整受控区域的腔室压力和抛光速率的过程的可视化。可类似地执行任何其他受控区的腔室压力和抛光速率。处理器数据的控制器和/或计算机可以制作或显示图4A中示出的绘图,或可以不制作或显示图4A中示出的绘图。

[0070] 具体地,沿时间轴(水平轴),已标记两个预定的原理更新时刻 t_0 和 t_1 。时间轴也可被映射到由工作台完成的旋转的数量。绘图中示出的抛光过程的当前时刻是 t_1 ,在该时刻,工作台已完成 $k+n$ 次旋转,其中的 $(n+1)$ 次旋转已在两个压力更新时刻 t_0 (排除)与 t_1 (包含)之间被完成。在绘图中示出的示例中, n 为9,并且总共10次旋转已在时间段 t_1-t_0 中完成。当然,取决于执行调整所按照的速率以及工作台的旋转速率, n 可以是除9以外的值,例如,5或更大。

[0071] 针对受控区的腔室压力调整和抛光速率调整将被确定,使得在时间段 t_1 至 t_2 期间(在图4B中示出),受控区以经调整的抛光速率(函数412的斜率)被抛光。在压力更新时刻 t_0 之前,零个或一个或多个腔室压力/抛光速率更新可能已经以与要确定的且要在 t_1 处作出的调整类似的方式针对受控区执行。类似地,在压力更新时刻 t_1 之后,零个或一个或多个附加的压力更新也能够以与所确定且要在 t_1 处作出的调整类似的方式例如在时刻 $t_2 \cdots t_N$ 处执行,直到抛光过程的终点时刻(在图4B中示出)。

[0072] 在时间段 t_0-t_1 中的工作台的 $n+1$ 次旋转期间的受控区和参考区的导出厚度在针对时间段 t_2-t_1 中的受控区域确定以下各项时被使用:每次旋转中的所测量的厚度、每次旋转中的所测量的抛光速率、在 t_1 之后的期望抛光速率、要对抛光速率作出的调整的量、以及因此腔室压力调整的量。对于每次旋转 $k, \dots, k+n$,受控区和参考区的导出厚度在绘图中分布通过圆形和方形来表示。例如,对于旋转 k ,针对受控区和参考区中的每个区绘制四个导出厚度;对于旋转 $k+1$,针对受控区绘制四个导出厚度,并且针对参考区绘制四个导出厚度;并且以此类推。

[0073] 测量厚度和抛光速率

[0074] 如先前简要地所解释,对于每个区,每次旋转中的所测量的厚度可被确定为在该旋转中的所有导出厚度的平均值或中位数值,或者可以是固定值。可在每次旋转中使用拟合每个区的导出厚度的函数来确定针对每个区的所测量的抛光速率。

[0075] 在一些实现方式中,已知阶的多项式函数(例如,线性函数)可被拟合到时间段 t_0 至 t_1 之间的每个区的所有导出厚度。例如,该拟合可使用强健的线性拟合来执行。在一些实现方式中,该函数被拟合到少于所有导出厚度,例如,该函数可被拟合到来自每次旋转的中位数值。在最小二乘计算被用于拟合的情况下,这可被称为“最小二乘中位数拟合”。

[0076] 基于可被表示为针对受控区或参考区的函数 $F_{\text{control}}(\text{time})$ 或 $F_{\text{ref}}(\text{time})$ 的经拟合的函数,工作台的第 $(k+i)$ 次(其中 $i=0, \dots, n$)旋转中的所测量的抛光速率分布针对受控区和针对参考区可分别被计算为 $\frac{\partial F_{\text{control}}(\text{time})}{\partial \text{time}} \Big|_{\text{time}=\text{工作台的}(k+i)\text{次旋转}}$ 和 $\frac{\partial F_{\text{ref}}(\text{time})}{\partial \text{time}} \Big|_{\text{time}=\text{工作台的}(k+i)\text{次旋转}}$ 。

[0077] 任选地,所测量的厚度可基于经拟合的函数来计算。例如,针对受控区或参考区,第 $(k+i)$ 次旋转的所测量的厚度为 $F_{\text{control}}(t=\text{工作台的第}(k+i)\text{次旋转})$ 或 $F_{\text{ref}}(t=\text{工作台的第}(k+i)\text{次旋转})$ 。然而,虽然所确定的抛光速率基于经拟合的函数来确定,但是所测量的厚度不必基于经拟合的函数来确定。替代地,如上文所讨论,所测量的厚度可被确定为工作台的对应旋转中的导出厚度的平均值或中位数值。

[0078] 在图4A中示出的示例中,针对每个区,一阶函数(即,线400、402)被拟合到每组厚

度数据。线400、402的斜率分别表示在时间段 t_0-t_1 期间针对受控区和参考区的恒定的抛光速率 r_{control} 和 r_{ref} 。这两条线400、402在与工作台的第 k 次、 \dots 、或第 $k+n$ 次旋转对应的每个时刻的厚度值表示在对应的旋转中相应区的所测量的厚度。作为示例,受控区和参考区在工作台的第 $k+n$ 次旋转时的所测量的厚度分别以放大的圆形404和放大的方形406来强调。替代地,针对第 $n+1$ 次旋转的所测量的厚度可独立于线400、402而被计算为例如相应旋转的导出厚度的平均数值或中位数值。

[0079] 一般而言,任何合适的拟合机制都可用于确定在时刻 t_0 与 t_1 之间在多次旋转中的所测量的厚度和所测量的抛光速率。在一些实现方式中,拟合机制基于导出厚度中的噪声来选择,该噪声可源自测量中、数据处理和/或抛光装置的操作中的噪声。作为示例,当导出厚度包含相对大量的噪声时,可选择最小二乘拟合来确定所测量的抛光速率和/或所测量的厚度;当导出厚度包含相对少量的噪声时,可选择多项式拟合。

[0080] 对于后续的时间段,例如, t_1-t_2 、 t_2-t_3 等,受控区和参考区的导出厚度可使用在该时间段内累积的厚度值、可能结合来自一个或多个在先时间段的厚度值来计算。

[0081] 在一些实现方式中,可由来自抛光装置的操作员的、通过图形用户界面(例如,无线电按钮)的用户输入来选择用于计算所测量的“抛光速率”的技术。

[0082] 基于所测量的厚度和所测量的抛光速率的期望抛光速率

[0083] 基于包括控制输入的变化的每个区的所测量的厚度和所测量的抛光速率,可针对从 t_1 至 t_n 的时间段确定预测厚度。结合图4A-图4B中示出的示例数据,在图5中示出示例过程500。控制器接收基板的状态信息(例如,每个区的厚度和抛光速率)。控制器还可存储期望的抛光轮廓以及设置期望的抛光参数(例如,针对每个区的期望的压力)的配方。

[0084] 控制器和/或计算机从原位监测系统接收针对基板上的每个区的表征值(例如,厚度)的序列(502)。预期终点时刻或预期终点时刻处的预期厚度可通过表征值的序列来计算。预期终点时刻可以是预设时刻,或者可通过确定拟合到参考区的数据的线性函数(由线402示出)何时等于目标厚度来计算。针对一个或多个区(例如,受控区)的预期厚度可通过将经拟合的厚度函数402延伸到终点来确定。在图4B中示出的示例中,线400以恒定的斜率被延伸到终点时刻,并且针对受控区的预期厚度被确定为曲线在该时刻的竖直值。

[0085] 控制器计算至少一个处理参数的调整(506),以实现更接近的终点条件。具体而言,可调整至少一个抛光参数,使得受控区与参考曲同时达到目标厚度。计算至少一个处理参数的调整包括:使包含来自每个区域的输入的成本函数最小化。

[0086] 在一些先前的控制算法中,在抛光速率此后将不被调整的假定下针对受控区计算期望的抛光速率。例如,在图4B中,虚线410的斜率表示受控区的所计算的期望的抛光速率 r_{res} ,以在预期终点处将受控区带到目标厚度。

[0087] 相比之下,在求解对抛光参数的当前调整时,本技术在成本函数下计算所有预期未来抛光参数变化。这将每个压力更新时刻的预期抛光速率和对抛光参数的未来改变考虑在内。例如,在图4B中,点线412表示将对抛光参数的预测的未来调整考虑在内的、表征值随时间推移的预测。该技术准许目标抛光轮廓更一致地被实现,同时避免其他问题,诸如,突然的压力变化、承载头腔室中的压力不平衡,等等。

[0088] 被调整的处理参数典型地是承载头的腔室中的压力,但是该技术适用于其他参数,诸如,工作台旋转速率或承载头旋转速率。

[0089] 成本函数中的变量可包括：针对每个区的当前表征值与目标表征值之间的差异（或更一般地，当前抛光轮廓与目标抛光轮廓之间的差异）、针对每个区的在抛光结束时的预测表征值与目标表征值之间的差异、针对一个或多个区域的随时间推移的抛光参数的变化的幅度（例如，随时间推移的多个压力变化的幅度）、每个区中的抛光速率、和/或针对一个或多个区域的随时间推移的预测的未来抛光参数（例如，压力）与随时间推移的抛光参数（例如，压力）的基线配方之间的多个差异。

[0090] 普雷斯頓矩阵（即，表达所施加的压力和抛光速率之间的普雷斯頓关系的矩阵）被用于将归一化的压力变化转换为归一化的速率变化。这些单元可通过将普雷斯頓矩阵与标称抛光速率相乘来修改。经逆转的普雷斯頓矩阵可被用于从速率变化往回计算压力变化。

[0091] 控制器在优化期间可进一步服从于用户指定的约束。例如，用户可定义最大可允许压力变化或最小和最大绝对压力。如果当前区压力由 p 表示，并且所施加的压力变化由 u 表示，则约束可表示如下：

[0092] $|u_k| \leq \Delta p_k^{\max}$ (最大步长变化限制)

[0093] $u_k + p_k \leq p_k^{\max}$ (最大绝对压力)

[0094] $u_k + p_k \geq p_k^{\min}$ (最小绝对压力)

[0095] 此外，保持环 (RR) 压力被计算为充当用于维持如由用户所定义的RR比率或输出压力的参考压力。在一些实现方式中，所计算的RR压力在500ms的延迟之后被施加。例如，当RR压力较高时（或者如果RR较低，则膜压力），如果RR比率约束不被满足，则压力变化调整将不由控制器应用。

[0096] 然而，完成对处理参数的调整以实现若干目标。目标可包括以下一项或多项：在预测终点处在每个区中实现目标厚度；在不远距离偏离基线压力的情况下应用小压力变化；减小压力从预设压力配方的偏离；以及减小压力从跨承载头的平均压力的偏离。

[0097] 目标可通过定义包括针对每个目标的项的成本函数来实现。成本函数根据控制输入 (u)（例如，要计算的抛光参数）和状态 (x) 来定义，用于控制输入 (u) 和状态 (x) 的矩阵的示例在下文示出。

[0098] 作为示例，成本函数包括对于每个区域具有针对该区域的当前表征值与目标表征值之间的差异的项。这可表示在预测终点处在每个区中达到目标厚度的目标。

[0099] 作为另一示例，成本函数包括针对每个区域具有针对该区域的随时间推移的多个预测的未来压力变化的项。这可表示在不远距离偏离基线压力的情况下应用压力变化的目标。

[0100] 作为另一示例，成本函数包括针对每个区域具有针对该区域的随时间推移的预测的未来压力与基线压力之间的多个差异的项。这可表示减小压力从预设压力配方的偏离的目标。

[0101] 作为另一示例，成本函数可包括针对每个区域具有该区域的压力与承载头中的平均压力之间的差异的项。这可表示减小压力从跨承载头的平均压力的偏离的目标。

[0102] 在一些实现方式中，控制输入列向量 (u) 包括与区 Z_1 、 \dots 、 Z_N 对应的 N 个压力变化，并且状态列向量 (x) 包括以下各项：针对每个区的当前厚度与针对该区的目标厚度之间的差异（例如， Z_1 厚度- Z_1 目标厚度）、每个区中的抛光速率、以及针对区的当前压力与基线压力

(例如,来自配方的压力)之间的差异(例如, Z_1 压力- Z_1 基线压力)。

$$[0103] \quad x \equiv \begin{bmatrix} Z_1 \text{厚度} - Z_1 \text{目标厚度} \\ \vdots \\ Z_N \text{厚度} - Z_N \text{目标厚度} \\ Z_1 \text{速率} \\ \vdots \\ Z_N \text{速率} \\ Z_1 \text{压力} - Z_1 \text{基线压力} \\ \vdots \\ Z_N \text{压力} - Z_N \text{基线压力} \end{bmatrix}$$

$$[0104] \quad u \equiv \begin{bmatrix} Z_1 \text{压力变化} \\ \vdots \\ Z_N \text{压力变化} \end{bmatrix}$$

[0105] 为使每个区在成本函数最小化时达到其目标,状态中的项中的一项或多项可被定义为偏移。例如,为使区达到目标厚度,成本函数是针对该区的当前表征值与目标表征值的每个差异的平方的函数。例如,为使区达到目标压力,成本函数是每个预测的未来压力变化的平方、以及预测的未来压力与基线压力之间的每个差异的平方的函数。

[0106] 进一步地,成本方式能以不同方式对各种目标加权。

[0107] 例如,成本函数可包括针对每个区域的第一常数。成本函数可包括该第一常数乘以针对该区域的当前表征值与目标表征值之间的差异的平方所得结果的函数。

[0108] 在另一示例中,成本函数包括针对每个区域的第二常数,并且成本函数是该第二常数乘以每个预测的未来压力变化的平方所得结果的函数。

[0109] 在第三示例中,成本函数是各种速率的二次函数,并且该二次函数以使得每个区的速率从所有区的平均速率的偏离导致成本函数的增加的方式来定义。

[0110] 以下矩阵 Q_f 示出对抛光结束时在状态内可能重要的参数的加权方式。被排除的参数在该矩阵中用0表示。源自 Q_f 加权内积的项以针对变量 J_f 的等式来呈现,该变量 J_f 对这些项求和,并且所得的和与针对每个区的从目标厚度的平方偏离对应。

$$[0111] \quad Q_f \equiv \begin{bmatrix} Q_{ff} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$[0112] \quad Q_{ff} \equiv \begin{bmatrix} f_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & f_N \end{bmatrix}$$

$$[0113] \quad J_f = x(T)^T Q_f x(T)$$

$$[0114] \quad J_f = f_1 x_1^2 + \dots + f_N x_N^2 \text{ 在 } \tau = T \text{ 处}$$

[0115] 控制输入以能够避免欠阻尼或过阻尼行为的方式的演变由如下的总成本函数表示:

$$[0116] \quad J = \sum_{\tau=0}^{\tau=T-1} x(\tau)^T Q(\tau) x(\tau) + u(\tau)^T R u(\tau) + x(T)^T Q_f x(T)$$

[0117] 对状态演变的约束由定义卡尔曼(Kalman)滤波器的相同等式表达。因此,状态 $x(\tau)$ 受制于处于以下约束的演变:

[0118] $x(\tau+1) = Ax(\tau) + Bu(\tau)$

[0119] 其中, A和B是具有恒定值或预定义的时变值的矩阵。

[0120] 控制器计算使上述总成本函数最小化的 $u(\tau)$ 的值。当组合如上文所述的状态的线性方式时, 成本函数可通过线性二次调节器(LQR)来优化。LQR是以最小成本允许动态系统的操作的反馈控制器。

[0121] Q和R可基于控制器的期望的激进性, 其中, R的较大值典型地与较不激进的控制对应, 并且Q中的较大值典型地与较激进的控制对应。

[0122] 上述成本函数还基于去除速率量的分数来设置Qf的值。例如, 包含 Q_f 的值的项保持相对大, 以防止阶段成本占主导。

[0123] 成本函数还可受制于区间约束、或以我们在上文针对每个区遵循的类似方式将它们整合而产生的对平均压力的约束。

[0124] 如在本说明书中所使用, 术语基板可包括例如, 产品基板(例如, 其包括多个存储器或处理器管芯)、测试基板、裸基板和选通基板。基板可以处于集成电路制造的各种阶段, 例如, 基板可以是裸晶片, 或者基板可包括一个或多个经沉积和/或图案化的层。术语基板可包括圆盘和矩形薄片。

[0125] 可以在各种抛光系统中应用上文描述的抛光装置和方法。抛光垫、或承载头、或这两者可移动以提供抛光表面与基板之间的相对运动。例如, 工作台可以绕轨道运行, 而不是旋转。抛光垫可以是固定到工作台的圆形的(或某个其他形状的)衬垫。端点检测系统的一些方面可适用于线性抛光系统, 例如, 其中抛光垫是线性移动的连续的或卷对卷的带。抛光层可以是标准(例如, 具有或不具有填料的聚氨酯)抛光材料、软材料或固定研磨材料。使用相对定位的术语; 应当理解, 抛光表面和基板能以竖直取向或某个其他取向来固持。

[0126] 尽管上文描述集中于化学机械抛光系统的控制, 但用于确定针对处理参数的调整的技术可以适用于其他类型的基板处理系统, 例如, 蚀刻或沉积系统。

[0127] 本说明书中描述的主题和功能操作的实施例, 诸如, 过滤过程, 可以在数字电子电路中、在有形地被具体化的计算机软件或固件中、在计算机硬件中实现, 包括本说明书中公开的结构及其结构等效物, 或者是其中的一者或多者的组合。本说明书中描述的主题的实施例可被实现为一个或多个计算机程序, 即, 编码在有形的非瞬态存储介质上的一条或多条计算机程序指令, 用于由数据处理装置执行或控制数据处理装置的操作。替代地或附加地, 程序指令可被编码在人工生成的传播信号(例如, 计算机生成的电、光或电磁信号)上, 该信号被生成以便对信息进行编码, 从而传输到合适的接收器装置以供数据处理装置执行。计算机存储介质可以是机器可读存储设备、机器可读存储基板、随机或串行存取存储设备, 或它们中的一者或多者的组合。

[0128] 术语“数据处理装置”是指数据处理硬件, 并且包含用于处理数据的各种装置、设备和机器, 例如包括可编程数字处理器、数字计算机或多个数字处理器或计算机。该装置还可以是或进一步包括专用逻辑电路, 例如FPGA(现场可编程逻辑门阵列)或ASIC(专用集成电路)。除了硬件之外, 该装置还可任选地包括为计算机程序创建执行环境的代码, 例如, 构成处理器固件、协议栈、数据库管理系统、操作系统、或它们中的一者或多者的组合的代码。

[0129] 计算机程序(其也可称为或描述为程序、软件、软件应用、模块、软件模块、脚本或代码)能以包括编译语言或解释语言、或声明性语言或过程性语言的任何形式的编程语言

来编写,并且其能以各种形式被部署,包括作为独立程序或作为模块、组件、子例程或适于在计算环境中使用的其他单元。计算机程序可以但不必与文件系统中的文件对应。程序可以被存储在保存其他程序或数据的文件的一部分中,例如,存储在标记语言文档中的一个或多个脚本,在专用于所讨论的程序的单个文件中,或在多个协调文件(例如,存储一个或多个模块、子程序或代码的部分的文件)中。计算机程序可被部署以在位于一个地点的一个计算机上执行,或在跨多个地点且由数据通信网络互连的而分布的多个计算机上执行。

[0130] 本说明书中描述的过程和逻辑流可由一个或多个可编程计算机执行,该一个或多个可编程计算机执行一个或多个计算机程序以通过对输入数据进行操作并生成输出来执行功能。过程和逻辑流程也可以由专用逻辑电路来执行,并且装置也可被实现为专用逻辑电路,该专用逻辑电路例如,FPGA(现场可编程门阵列)或ASIC(专用集成电路)。对于一个或多个计算机的系统,“被配置成”执行特定的操作或动作意味着该系统已在其上安装了软件、固件、硬件、或它们的组合,在操作中,这些软件、固件、硬件、或它们的组合使该系统执行操作或动作。对于一个或多个计算机程序,被配置成执行特定的操作或动作着这一个或多个计算机程序包括指令,这些指令当由数据处理装置执行时,使装置执行操作或动作。

[0131] 适用于执行计算机程序的计算机包括,并且作为示例可基于通用微处理器、或专用微处理器、或这两者、或任何其他中的中央处理单元。一般而言,中央处理单元将从只读存储器、或随机存取存储器、或这两者接收指令和数据。计算机的基本元件是用于运行或执行指令的中央处理单元、以及用于存储指令和数据的一个或多个存储器设备。一般而言,计算机还将包括用于存储数据的一个或多个大容量存储设备(例如,磁盘、磁光盘、或光盘),或者可操作地被耦合以从一个或多个大容量存储设备接收数据或将数据传递到一个或多个大容量存储设备或既从一个或多个大容量存储设备接收数据又将数据传递到一个或多个大容量存储设备。然而,计算机不必具有此类设备。此外,计算机可以被嵌入在另一设备中,该另一设备例如,移动电话、个人数字助理(PDA)、移动音频或视频播放器、游戏控制台、全球定位系统(GPS)接收器,或便携式存储设备,例如,通用串行总线(USB)闪存驱动器,仅举数例。

[0132] 适于存储计算机程序指令和数据的计算机可读介质包括所有形式的非易失性存储器、介质和存储器设备,例如包括:半导体存储器设备,例如,EPROM、EEPROM和闪存存储器设备;磁盘,例如,内部硬盘或可移除盘;磁光盘;以及CD ROM和DVD-ROM盘。处理器和存储器可由专用逻辑电路补充和/或并入专用逻辑电路中。

[0133] 对本说明书中描述的各种系统和过程、或其部分的控制能以计算机程序产品来实现,该计算机程序产品包括存储在一个或多个非瞬态计算机可读存储介质中的指令,并且这些指令在一个或多个处理设备上是可执行的。本说明书中描述的系统或其部分可以被实现为装置、方法或电子系统,这些装置、方法或电子系统可包括一个或多个处理设备和存储器,该存储器用于存储用于执行本说明书中所描述的操作的可执行指令。

[0134] 尽管本说明书包含许多特定的实现细节,但是这些实现细节不应被解释为对任何发明的范围或者可能要求保护的内容的范围的限制,而应被解释为对可特定于具体发明的具体实施例的特征的描述。也可将在本说明书中描述的、在各单独实施例的上下文中的某些特征以组合形式实现在单个实施例中。相反,也可单独地在多个实施例中、或在任何合适的子组合中实现在单个实施例的上下文中所描述的各种特征。此外,虽然在上文中可能将

特征描述为以某些组合的方式起作用,且甚至最初是如此要求保护的,但是在一些情况下,可将来自要求保护的组合的一个或多个特征从该组合中删除,并且要求保护的组合可以涉及子组合或子组合的变型。

[0135] 类似地,虽然在附图中以特定顺序描绘了多个操作,但不应当将此理解为要求按所示的特定顺序或顺序地执行此类操作,或者要求要执行所有图示的操作以实现期望的结果。在某些情况下,多任务处理和并行处理可能是有利的。此外,不应当将上文所描述的实施例中的各种系统模块和组件的分开理解为在所有实施例中都要求此类分开,并且应当理解,一般可将所描述的程序组件和系统一起集成在单个软件产品中,或将其封装到多个软件产品中。

[0136] 已经描述了主题的具体实施例。其他实施例在所附权利要求的范围内。例如,可以按不同顺序执行权利要求书中记载的动作,并且仍然实现期望结果。作为一个示例,在附图中描绘的过程不一定要求示出的特定顺序或相继顺序,以实现可期望的结果。在一些情况下,多任务处理和并行处理可能是有利的。

[0137] 其他实施例在所附权利要求的范围内。

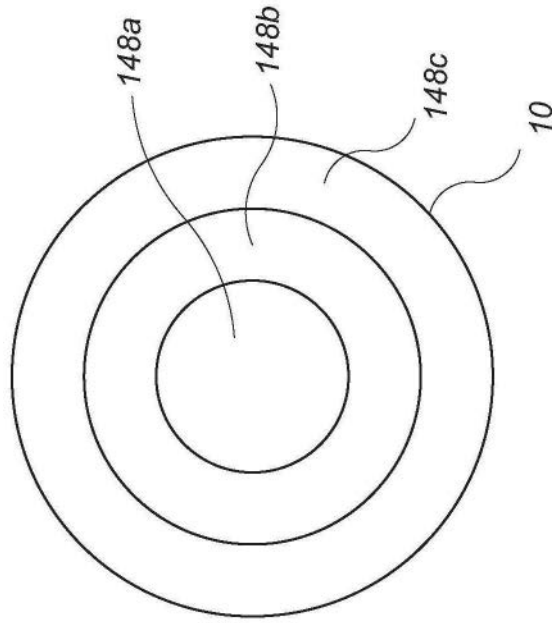


图2

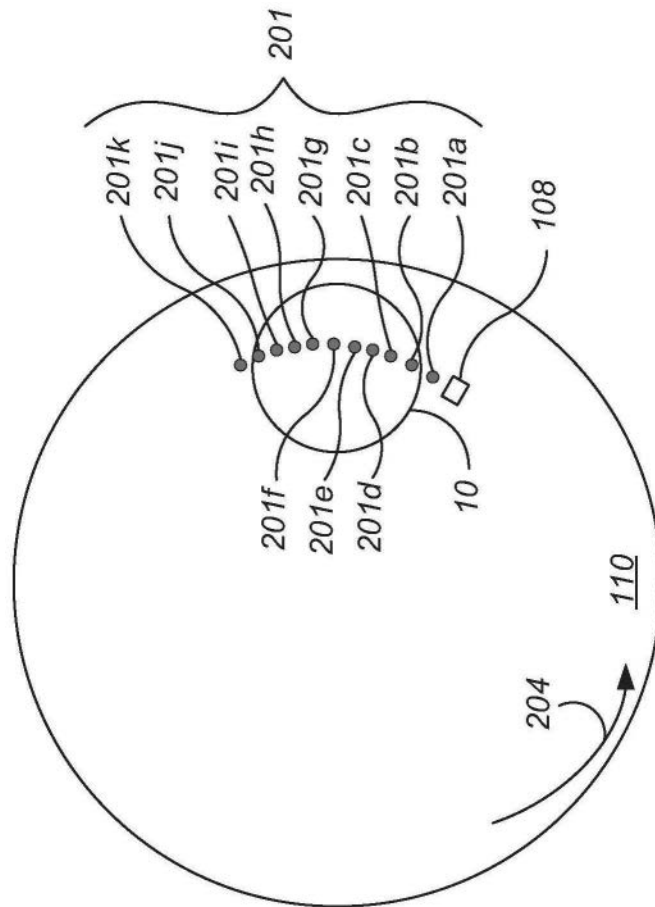


图3A

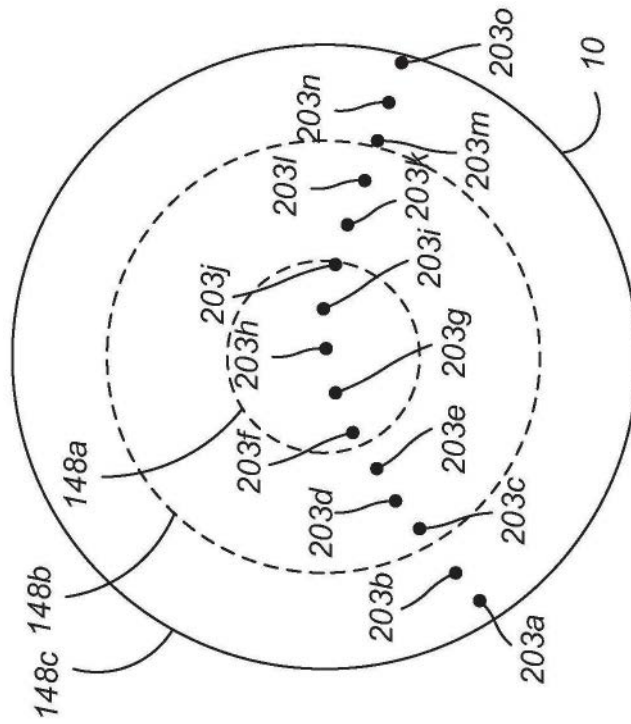


图3B

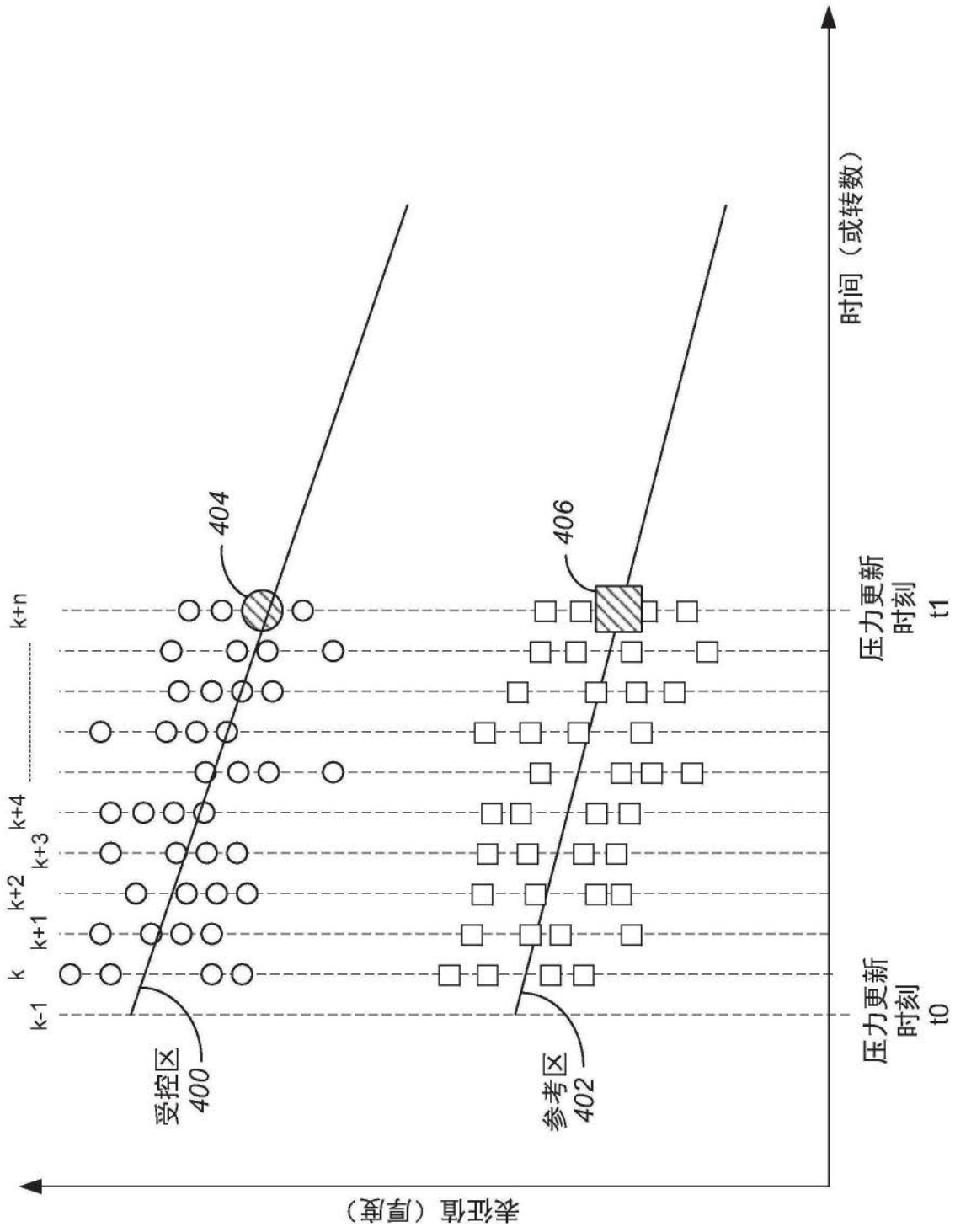


图4A

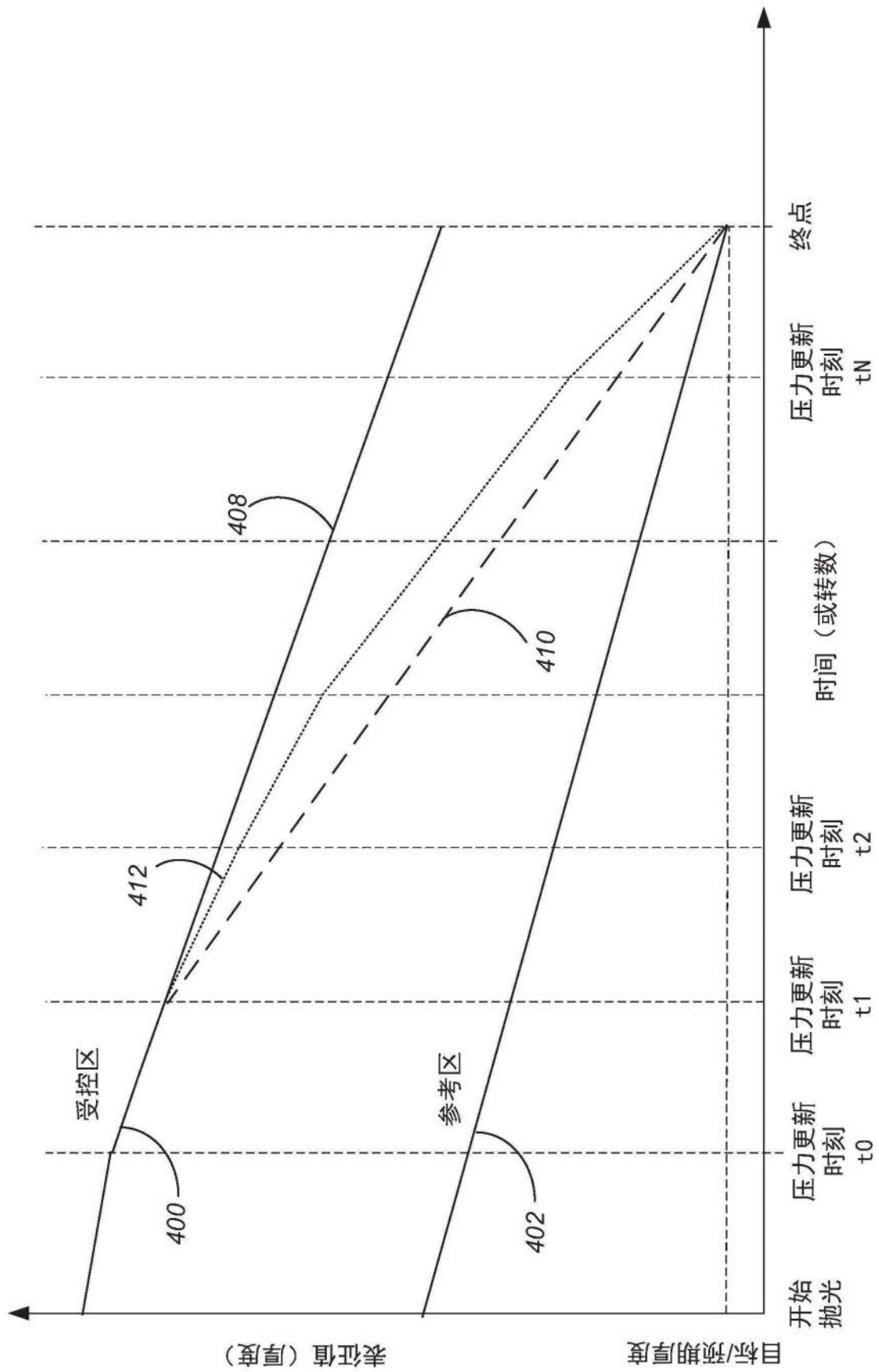


图4B

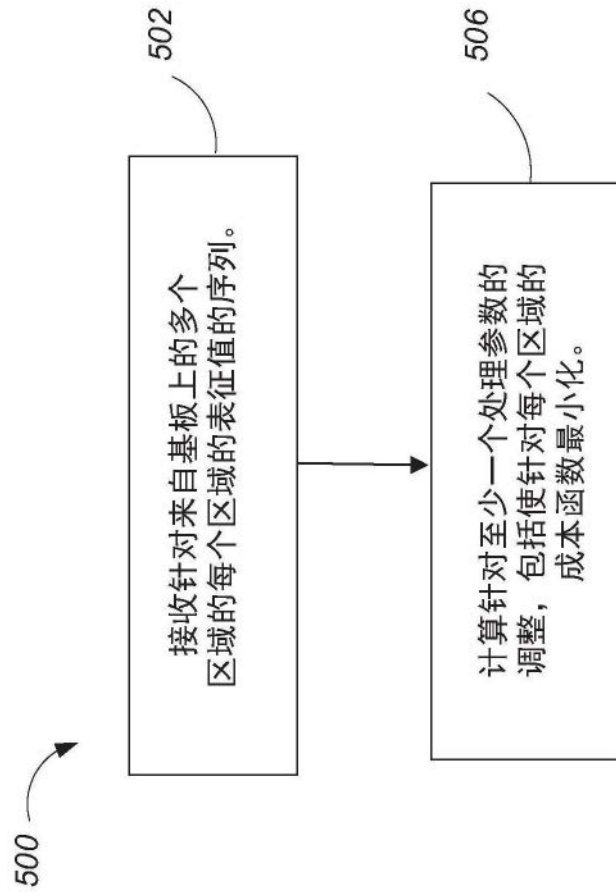


图5