

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

F16K 31/12 (2006.01)

F16K 31/36 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200580007455.5

[43] 公开日 2007年3月14日

[11] 公开号 CN 1930413A

[22] 申请日 2005.2.1

[21] 申请号 200580007455.5

[30] 优先权

[32] 2004.3.9 [33] US [31] 10/796,723

[86] 国际申请 PCT/US2005/003613 2005.2.1

[87] 国际公布 WO2005/093304 英 2005.10.6

[85] 进入国家阶段日期 2006.9.8

[71] 申请人 MKS 仪器公司

地址 美国马萨诸塞

[72] 发明人 阿里·沙吉 西达尔斯·纳加尔卡蒂

[74] 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

代理人 韩 宏

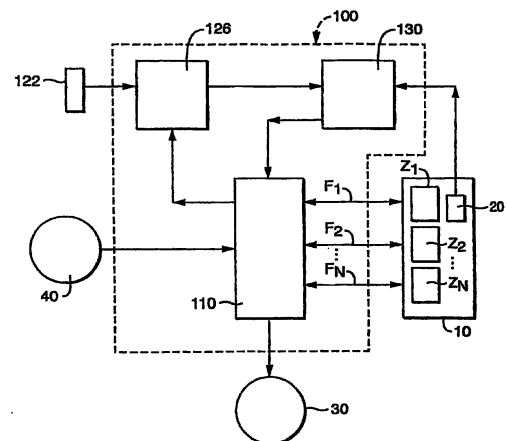
权利要求书 7 页 说明书 11 页 附图 5 页

[54] 发明名称

控制远程区域中压力的系统和方法

[57] 摘要

通过 i 条线路控制流量的系统，其中所述 i 条线路通过管道分别与所述 i 个区域连接，并且其中 $i = 1, 2, \dots, N$ 。所述系统包括在所述 i 条线路中每一条上的至少一个阀门和压力传感器，控制所述阀门的控制设备，以及区域压力估计器。所述区域压力估计器连接到所述压力传感器并且编程为计算区域 i 中的压力估计值并且将压力估计值提供给所述控制设备。



1. 通过 i 条线路控制流量的系统，其中所述 i 条线路通过管道可分别与 i 个区域连接，并且其中 $i=1,2,\dots,N$ ，所述系统包括：

在所述 i 条线路中每一条上的至少一个阀门；

有效连接到所述 i 条线路中每一条的压力传感器；

用于接收所述系统特性的第一输入设备；

区域压力估计器，连接到所述压力传感器和第一输入设备并且编程为对所述 i 条线路中每一条从所述压力传感器接收所测量的流量线路 i 中的压力，从所述第一输入设备接收所述系统的特性，并且计算区域 i 的压力估计值；

用于接收所述 i 个区域中每一个的压力设定点的第二输入设备，控制设备，连接到所述线路 i 的阀门、所述区域压力估计器，以及所述第二输入设备，并且编程为，

从所述第二输入设备接收所述区域 i 的压力设定点，

从所述区域压力估计器接收所述区域 i 的压力估计值，以及将所述区域 i 的压力设定点与所述区域 i 的压力估计值比较，并且如果所述估计值不等于所述设定点，则操作所述线路 i 的阀门直到所述估计值等于所述设定点。

2. 根据权利要求 1 所述的系统，进一步包括连接到所述 i 条线路的入口的压力歧管。

3. 根据权利要求 1 所述的系统，进一步包括连接到所述 i 条线路的出口的真空歧管。

4. 根据权利要求 1 所述的系统，其中所述 i 条线路中每一条的阀门包括用于将压力源与所述线路连接的入口阀门，以及用于将真空源与所述线路连接的出口阀门，并且其中所述控制设备连接到所述入口阀门和出口阀门，并且编程为操作所述线路 i 的入口阀门和出口阀门直到所述压力估计值等于所述压力设定点。

5. 根据权利要求4所述的系统,进一步包括连接到所述入口阀门的压力源。

6. 根据权利要求5所述的系统,进一步包括将所述压力源连接到所述入口阀门的压力歧管。

7. 根据权利要求4所述的系统,进一步包括连接到所述出口阀门的真空源。

8. 根据权利要求7所述的系统,进一步包括将所述真空源连接到所述出口阀门的真空歧管。

9. 根据权利要求8所述的系统,其中所述真空歧管包括文氏管。

10. 根据权利要求1所述的系统,其中所述*i*个区域具有刚性壁。

11. 根据权利要求1所述的系统,其中所述*i*个区域具有柔性壁。

12. 根据权利要求1所述的系统,其中所述*i*个区域被连通。

13. 根据权利要求1所述的系统,其中所述*i*个区域未被连通。

14. 根据权利要求1所述的系统,其中所述第一输入设备包括键盘。

15. 一种机器,其包含根据权利要求1所述的系统,并且进一步包括通过管道分别连接到所述*i*条线路的*i*个区域,其中*i* = 1,2,..., N。

16. 根据权利要求 15 所述的机器，进一步包括连接到所述第二输入设备并且编程为提供所述机器的 i 个区域中每一个的压力设定点的机器控制设备。

17. 根据权利要求 15 所述的机器，进一步包括包含所述 i 个区域的 CMP 载体头。

18. 根据权利要求 17 所述的机器，其中所述载体头的区域至少部分通过弹性囊形成。

19. 根据权利要求 18 所述的机器，其中所述载体头的区域互相压迫。

20. 根据权利要求 1 所述的系统，其中所述系统的特性包括与将线路 i 连接到区域 i 的管道关联的常数 ($C_{\text{tube}, i}$ 和 $\tau_{\text{tube}, i}$)，各个区域 i 的体积 ($V_{z, i}$)，各个区域 i 在 STP 条件下的初始体积 ($V_{z0, i}$)，体积膨胀/收缩时间常数 (τ_v)，区域 i 的膨胀/收缩系数 γ_{ii} ，以及区域 i 和区域 j 之间的连通系数 (γ_{ij})。

21. 根据权利要求 20 所述的系统，其中所述压力估计器编程为计算所述区域 i 的压力估计值的第 n 个采样， $\hat{P}_{z, i}^{(n)}$ ，其中 n 为时间相关的，并且

$$\hat{P}_{z, i}^{(n)} = \hat{P}_{z, i}^{(n-1)} + \Delta t \left(\frac{P_{STP}}{\hat{V}_{z, i}^{(n)}} \hat{Q}_{z, i}^{(n)} + \frac{\hat{P}_{z, i}^{(n-1)}}{\tau_v \hat{V}_{z, i}^{(n)}} \left[\hat{V}_{z, i}^{(n)} - V_{z0, i} - \gamma_{ii} (\hat{P}_{z, i}^{(n-1)} - P_{STP}) - \sum_{i \neq j} \gamma_{ij} (\hat{P}_{z, i}^{(n-1)} - \hat{P}_{z, j}^{(n-1)}) \right] \right)$$

$$\hat{Q}_{z, i}^{(n)} = \frac{\hat{Q}_{z, i}^{(n-1)} + \Delta t C_{\text{pipe}, i} (P_{b, i}^{(n)} - \hat{P}_{z, i}^{(n-1)})}{\left(1 + \frac{\Delta t}{\tau_{\text{pipe}, i}} \right)}$$

以及

$$\hat{P}_{z,i}^{(n)} = \frac{\hat{P}_{z,i}^{(n-1)} + \frac{\Delta t}{\tau_v} \left[V_{z0,i} + \gamma_{ii} (\hat{P}_{z,i}^{(n-1)} - P_{STP}) + \sum_{i \neq j} \gamma_{ij} (\hat{P}_{z,i}^{(n-1)} - \hat{P}_{z,j}^{(n-1)}) \right]}{\left(1 + \frac{\Delta t}{\tau_v} \right)}$$

并且

其中 P_b 为测量的压力，并且

其中所述控制设备编程为从所述第二输入设备接收所述 i 个区域中每一个区域的第 n 个压力设定点，并且从所述区域压力估计器接收所述 i 个区域中每一个区域的压力估计值的第 n 个采样，并且将所述 i 个区域中每一个区域的第 n 个压力设定点与所述区域 i 的压力估计值的第 n 个采样比较，并且如果第 n 个采样不等于第 n 个设定点，则操作所述阀门直到所述采样等于所述设定点。

22. 通过 i 条线路控制流量的方法，其中所述 i 条线路通过管道可分别连接到 i 个区域，并且其中 $i=1, 2, \dots, N$ ，所述方法包括：

接收所述流量线路中测量的压力；

接收所述系统的特性；

基于所述系统的特性计算所述区域 i 的压力估计值；

接收所述 i 个区域中每一个区域的压力设定点；以及

将所述 i 个区域中每一个区域的压力设定点与所述 i 个区域中每一个区域的压力估计值相比较，并且如果所述压力估计值不等于所述设定点，则通过所述流量线路 i 改变流量直到所述压力估计值等于所述设定点。

23. 根据权利要求 22 所述的方法，其中所述 i 个区域具有刚性壁。

24. 根据权利要求 22 所述的方法，其中所述 i 个区域具有柔性壁。

25. 根据权利要求 22 所述的方法，其中所述 i 个区域被连通。

26. 根据权利要求 22 所述的系统，其中所述 i 个区域未被连通。

27. 根据权利要求 22 所述的方法，其中所述系统特性包括与将线路连接到区域 i 的管道关联的常数 ($C_{\text{tube}, i}$ 和 $\tau_{\text{tube}, i}$)，各个区域的体积 ($V_{z,i}$)，各个区域在 STP 条件下的初始体积 ($V_{z0,i}$)，体积膨胀/收缩时间常数 (τ_v)，区域 i 的膨胀/收缩系数 γ_{ii} ，以及区域 i 和区域 j 之间的连通系数 (γ_{ij})。

28. 根据权利要求 27 所述的系统，其中计算所述区域 i 的压力估计值的第 n 个采样 $\hat{P}_{z,i}^{(n)}$ ，其中 n 为时间相关的，并且

$$\hat{P}_{z,i}^{(n)} = \hat{P}_{z,i}^{(n-1)} + \Delta t \left(\frac{P_{STP}}{\hat{V}_{z,i}^{(n)}} \hat{Q}_{z,i}^{(n)} + \frac{\hat{P}_{z,i}^{(n-1)}}{\tau_v \hat{V}_{z,i}^{(n)}} \left[\hat{V}_{z,i}^{(n)} - V_{z0,i} - \gamma_{ii} (\hat{P}_{z,i}^{(n-1)} - P_{STP}) - \sum_{i \neq j} \gamma_{ij} (\hat{P}_{z,i}^{(n-1)} - \hat{P}_{z,j}^{(n-1)}) \right] \right)$$

$$\hat{Q}_{z,i}^{(n)} = \frac{\hat{Q}_{z,i}^{(n-1)} + \Delta t C_{\text{pipe},j} (P_{b,j}^{(n)} - \hat{P}_{z,i}^{(n-1)})}{\left(1 + \frac{\Delta t}{\tau_{\text{pipe},i}} \right)}$$

以及

$$\hat{V}_{z,i}^{(n)} = \frac{\hat{V}_{z,i}^{(n-1)} + \frac{\Delta t}{\tau_v} \left[V_{z0,i} + \gamma_{ii} (\hat{P}_{z,i}^{(n-1)} - P_{STP}) + \sum_{i \neq j} \gamma_{ij} (\hat{P}_{z,i}^{(n-1)} - \hat{P}_{z,j}^{(n-1)}) \right]}{\left(1 + \frac{\Delta t}{\tau_v} \right)}$$

而且

其中 P_b 为测量的压力，并且

接收所述 i 个区域中每一个区域的第 n 个压力设定点，并且将所述 i 个区域中每一个区域的第 n 个压力设定点与所述区域 i 的压力估计值的第 n 个采样比较，并且如果第 n 个采样不等于第 n 个设定点，则改变通过流量线路的流量直到所述采样等于所述设定点。

29. 通过控制可分别连接到 i 个区域的 i 条线路中每一条线路内的相应压力而远程控制所述 i 个区域中每一个区域内的压力的系统，

其中 $i = 1, 2, \dots, N$, 所述系统包括:

连接的至少一个控制阀门, 用于控制通过各个线路的流体流量;

连接的压力传感器, 用于测量各个线路中压力;

区域压力估计器, 其连接到所述各个压力传感器并且编程为对所述 i 条线路中每一条线路从所述压力传感器接收所测量的流量线路 i 中的压力, 并且计算作为系统预定特性和通过所述压力传感器提供的压力测量值的函数的区域 i 内的压力估计值; 以及

控制设备, 其连接到所述相应线路 i 的各个阀门和所述区域压力估计器, 并且编程为操作所述阀门以控制作为压力设定点和来自所述区域压力估计器的区域 i 内的压力估计值的函数的对应线路 i 中的流体流量。

30. 一种机器, 其包含根据权利要求 29 所述的系统, 并且进一步包括分别连接到所述 i 条线路的 i 个区域。

31. 根据权利要求 31 所述的机器, 进一步包括连接到所述控制设备并且编程为所述机器的 i 个区域中每一个区域提供压力设定点的机器控制设备。

32. 根据权利要求 31 所述的机器, 进一步包括包含 i 个区域的 CMP 载体头。

33. 根据权利要求 32 所述的机器, 其中所述载体头的区域至少部分通过弹性囊形成。

34. 根据权利要求 33 所述的机器, 其中所述载体头的区域互相压迫。

35. 通过控制可分别连接到 i 个区域的 i 条流量线路中每一条线路内的相应压力而远程控制所述 i 个区域中每个区域内的压力的方

法，其中 $i=1, 2, \dots, N$ ，包括：

利用至少一个控制阀门控制通过各个线路的流体流量；

测量各个线路中的压力；

计算作为系统预定特性和所测量的对应流量线路 i 中的压力的函数的区域 i 内的压力估计值；以及

操作所述阀门以控制作为设定点和区域 i 内的压力估计值的函数的对应流量线路 i 中的流体流量。

控制远程区域中压力的系统和方法

技术领域

本发明通常涉及压力控制系统，并且尤其涉及一种为如半导体加工设备中的远程区域的远程腔室或者区域加压和抽空的系统和方法。所述远程区域可以具有刚性壁或者柔性壁，并且可以连通或者不连通。

背景技术

很多机械和设备具有在设备工作期间加压或者抽空的腔室或者区域。在此所述的区域等效于封闭体积。远程区域可以具有刚性壁或者柔性壁，并且可以互相连通或者不连通。

多个区域之间的连通可以包括当区域壁为柔性并且一个区域扩张压迫另一个区域时的体积连通。当连接到区域的真空压力偏移时发生出口连通，其导致出口流量改变并且产生流量转换。当大量流量流入歧管导致线压力下降（暂时现象）从而影响由相同源注入的所有其他区域时，发生入口连通。

化学机械抛光（CMP）机为包含使用中加压或者抽空的区域的机器示例。CMP 是将基底尤其是硅晶圆平面化的方法，其作为半导体制造过程的一部分。这种基底通常是通过导体、半导体或者绝缘层的顺序沉积并且接着蚀刻这些层以产生电路图案而形成的。由于顺次沉积和蚀刻了多个层，基底的外部或者最上层表面变得越来越非平面。因此需要周期性对基底表面进行平面化。

所述平面化方法通常需要将基底安装在载体或者 CMP 机的抛光头上。基底的暴露表面置于载体头的旋转抛光垫旁边，并且载体头在基底上提供可控制的压力以将其推向抛光垫。向旋转抛光垫的表面提供抛光剂，所述抛光剂包括至少一种化学反应药剂并且在某些情况下包括研磨颗粒。

通常的载体头的内部腔室或者区域至少部分的通过弹性囊而形成,所述弹性囊在区域被加压时扩张并且当区域中抽空产生真空时收缩。例如,可以使用对载体头中的区域加压而将基底压迫向旋转抛光垫,同时可以通过在区域中产生真空以在将基底移向抛光垫或者移开抛光垫时提供将基底保持靠在载体头的吸力。各个区域中的压力可以被控制以使得抛光垫对载体头保持的基底施加所需作用力。

控制载体头的远程区域中压力的气力控制系统可以包括具有压力传感器和可控阀门的流量控制线。所述气力控制系统的流量控制线可以通过相对较长的如一米或者更长的管道连接到所述载体头的区域。所述气力控制系统将载体头的区域连接到至少一个真空源和至少一个压力源,并且适当的连接到计算机,所述计算机编程为从压力传感器接收测量值,并且对阀门发出指令以将载体头的远程区域选择性的连接到真空源和压力源,并且由此气力驱动所述载体头。

与现有技术中的气力控制系统相关的一个问题是所述系统仅依赖于通过置于气力控制系统的流量控制线中的传感器测量的压力。所述传感器仅能测量系统中的压力而不能测量远程连接的载体头区域中的压力。因此,所述控制系统假定气力控制系统中的压力与载体头的远程连接区域中的压力相同。然而这显然不是实际情况,当气力控制系统中发生局部压力瞬变时,将会导致系统性能严重下降。

因此仍然需要一种新的改进的压力控制系统和方法,其用于但并不限于对如 CMP 载体头的腔室的远程连接区域进行加压和抽空,并且补偿在远程连接到所述区域的线路中进行的压力测量。优选的,所述新的改进的气力控制系统可以用于对多区域系统进行加压和抽空,其中所述区域具有刚性壁或者柔性壁,并且其中所述区域连通或者不连通。

发明内容

本公开提供了一种基于模型的压力观测器,可以在多区域系统的任何压力控制方案中使用,其中所述区域的数量可以在 $i=1$ 至 N 之间变化。而且,所述区域可以具有刚性壁或者柔性壁并且所述区域可以

连通或者不连通。

根据本公开的一个示例性实施例，提供了通过 i 条线路控制流量的系统，其中所述 i 条线路可以通过管道分别与所述 i 个区域连接，并且其中 $i=1,2,\dots,N$ 。所述系统在所述 i 条线路中的每一条上包括至少一个阀门和压力传感器，控制所述阀门的控制设备，以及估计所述 i 个区域中的压力的区域压力估计器。

所述区域压力估计器连接到所述压力传感器和第一输入设备，并且编程为从所述压力传感器接收所测量的流量线路中的压力 (P_b)，从所述第一输入设备接收与将所述线路连接到所述区域的管道相关的常数 ($C_{tube,i}$ 和 $\tau_{tube,i}$)，每个区域的体积 ($V_{z,i}$)，各个区域在标准温度和压力 (STP) 条件下的初始体积 ($V_{z0,i}$)，体积膨胀/收缩时间常数 (τ_v)，区域 i 的膨胀/收缩系数 (γ_{ii})，区域 i 和区域 j 之间的连通系数 (γ_{ij})，并且计算区域 i 的估计压力的第 n 个采样，其中 n 为时间变量，并且根据下面详细描述公式计算估计压力。

所述控制设备连接到所述线路的阀门、区域压力估计器以及第二输入设备。所述控制设备编程为从第二输入设备接收所述 i 个区域中的每个区域的第 n 个压力设定点，并且从所述区域压力估计器接收所述 i 个区域中的每个区域的估计压力的第 n 个采样。所述控制设备还编程为将所述 i 个区域中的每个区域的第 n 个压力设定点与所述区域压力估计的第 n 个采样比较，并且如果第 n 个采样不等于第 n 个设定点，则操作所述阀门直到所述采样等于所述设定点。

根据本公开的一个方面，所述多区域系统的所有区域由单个源供给，并且排出到单个真空排出口，所述区域的体积可以膨胀和收缩，并且所述区域的体积互相接触（压迫）。

在本公开的其他方面和优点中，所述系统可以用于但是并不限于对远程连接的如 CMP 载体头的腔室的多个区域进行加压和抽空。所述系统补偿在远程连接到所述区域的线路中进行的压力测量，并且可以用于对多区域系统进行加压和抽空，其中所述区域具有刚性壁或者柔性壁，并且其中所述区域连通或者不连通。

本发明的其他方面和优点可以通过下面的详细描述而对于本领域

域技术人员更加清楚明白，其中仅通过示例方式显示并且描述了本发明的示例性实施例。如可理解的，本发明可以实施为其他不同的实施例并且其若干细节可以在各个明显的方面进行修改而不背离本发明。因此，附图和描述仅应被认为是示例性的而非限制性的。

附图说明

附图将作为参考附图，其中具有相同参考符号的元件表示相似的元件，其中：

图 1 为显示根据本发明公开构造的、用于控制将真空源和压力源连接到机械例如化学机械平面化（CMP）机等远程区域的气动气力控制系统的系统和方法的示例实施例的图示；

图 2 为图 1 中系统的集管歧管的示例性实施例的图示，其包括示为将真空和压力源连接到远程区域的流量体控制线路，这些远程区域在示例实施例中显示为互相耦合连通；

图 3 为 CMP 机示例的部分截面的正侧视图，包括通过旋转接头连接到图 1 所示的气动气力控制系统的远程区域；以及

图 4 至图 7 为显示图 1 所示的气动气力控制系统和现有技术的气动气力控制系统的各个在不同体积和压力下的压力响应时间的图示。

具体实施方式

图 1 显示了根据本发明构造的用于控制将真空源 30 和压力源 40 连接到如化学机械平面化（CMP）机 10 的机械的远程区域 Z_i 的气力歧管 110 的系统 100 的示例实施例，其中 $i=1$ 至 N 。区域 Z_i 可以具有刚性或者柔性壁，并且区域 Z_i 可以连通或者不连通。

除了歧管 110，图 1 中的系统 100 还包括区域压力估计器 120，以及控制设备 130。区域压力估计器 120 和系统控制设备 130 均包括单独提供或者作为集成单元提供的计算机。例如，本公开的区域压力估计器 120 可以提供为单独设备并且添加到现有的压力控制系统作为“售后”部件，或者可以在新制造的压力控制系统中与系统控制设备 130 一起提供为集成单元。

如图 2 所示, 系统歧管 110 包括流量控制线路“ b_i ”, 其中 $i=1$ 至 N 并且对应于远程区域 Z_i 的数量。流量控制线路 b_i 连接在入口歧管“L”和具有文氏管 (venturi) 的歧管“man”之间, 并且将真空源 30 和压力源 40 连接到远程区域 Z_i 。各个流量控制线路 b_i 包括用于将压力源 40 连接到远程区域 Z_i 的入口阀门 112, 用于测量流量控制线路 b_i 中的压力的压力传感器 114, 以及用于将远程区域 Z_i 连接到真空源 30 的出口阀门 116。

图 1 中的区域压力估计器 120 编程为从如图 2 所示的系统歧管 110 的压力传感器 114 接收压力测量值, 并且接收系统 100 的物理参数。物理参数可以由操作员通过如图 1 所示的第一输入设备 122 输入。输入设备 122 例如可以包括键盘, 鼠标以及监视器。区域压力估计器 120 进一步编程为使用所述压力测量值和物理参数通过下面将更加详细描述算法来计算并且提供各个区域 Z_i 的压力估计值。

图 1 中的系统控制设备 130 编程为从区域压力估计器 120 接收区域压力估计值, 并且接收各个远程区域 Z_i 的压力设定点, 并且使用所述区域压力估计值和压力设定点控制如图 2 所示的系统歧管 110 的阀门 112、116。所述压力设定点可以由操作员通过第二输入设备 (或者第一输入设备) 输入和/或通过如图 1 所示的加工机器 10 的控制设备 20 输入。

在图 2 的示例性实施例中, 所有区域 Z_i 由单个压力源 40 供给并且排处到单个真空排出口 30。远程区域 Z_i 具有可以膨胀和收缩的体积, 并且区域 Z_i 的体积互相作用 (压迫)。

作为本发明的系统使用示例, 图 3 显示了连接到 CMP 机 10 的载体头 16 的旋转接头 18 的图 1 中的气力控制系统 100。载体头 16 绕着其自身轴独立旋转, 并且具有将旋转电机 14 连接到载体头 16 的载体传动轴 12。驱动电机 14 顶部的旋转接头 18 将流量线路 F_i 连通到传动轴 12 中的通道 C_i , 其中 $i=1$ 至 N , 对应于远程区域 Z_i 的数量。区域 C_i 分别顺次连接到载体头 16 中包含的远程区域 Z_i 。

尽管没有明确显示, 载体头 16 的远程区域 Z_i 至少部分通过弹性囊形成, 所述弹性囊在区域 Z_i 被加压时膨胀并且在区域 Z_i 中产生真

空时收缩。例如，可以通过对载体头 16 中的区域 Z_i 加压而将基底压迫向旋转抛光垫，相反的可以通过在区域 Z_i 中产生真空而提供吸力以在将基底移至和移开抛光垫时将基底保持靠在载体头 16。而且，各个区域 Z_i 中的压力可以控制以使得抛光垫施加所需作用力给载体头 16 保持的基底。气力控制系统 100 连接从旋转接头 18 延伸到真空源 30 和压力源 40 的流量线路 F_i ，并且气力控制系统 100 的控制设备 130 被编程为操作可控阀门 112、116 以选择性的将载体头 16 的远程区域 Z_i 连接到真空源 30 和压力源 40，由此气力驱动载体头 16。

与现有技术中的气力控制系统相关的一个问题是所述系统仅依赖于通过置于系统歧管 110 的流量控制线路 b_i 中的传感器 114 测量的压力。然而流量控制线路 b_i 中的传感器 114 仅能测量这些线路中的压力而不能测量远程连接的载体头 16 的区域 Z_i 中的压力。因此，控制系统 130 假定流量控制线路 b_i 中的压力与载体头 16 的远程连接区域 Z_i 中的压力相同。这显然不是实际情况，当流量控制线路 b_i 中发生局部压力瞬变时，将会导致系统性能严重下降。

本公开提供了一种新的改进的压力控制系统 100，其用于但不限于对如 CMP 载体头 16 的半导体加工设备的远程连接区域 Z_i 进行加压和抽空，并且补偿在远程连接到区域 Z_i 的流量控制线路 b_i 中进行的压力测量。所述新的改进的气力控制系统 100 可以用于对多区域系统进行加压和抽空，其中区域 Z_i 的数量可以在 $i=1$ 至 $i=N$ 之间变化。并且，所述新的改进的气力控制系统 100 可以应用到具有刚性壁或者柔性壁并且互相连通或者不连通的远程连接区域 Z_i 。

各个区域 Z_i 之间的连通可以分为三种方式。体积膨胀/收缩和体积之间的接触而产生区域的体积连通。所述接触可以通过一个区域膨胀并且压迫向另一个区域而产生，从而增加第二个区域内的压力。在此情况下，区域壁为柔性的（并且可以膨胀和收缩）。

当真空压力漂移引起出口流量改变并且在极端情况下导致流量在阻塞和非阻塞之间转换时产生排出口处的出口连通。这在注入大量流量的文氏管排出到文氏管线路的情况下特别重要。在此情况下，所述区域壁可以为刚性或者柔性的。

当一个区域中的设定点设定得足够高使得具有大量的涌入流量进入其歧管导致线压力下降（暂时现象）时产生入口连通。这种线压力下降会影响由所述源的所有其他区域。同样的，所述区域壁可以为刚性或者柔性的。

应当注意，仅具有一个区域和刚性壁的系统被认为是“非连通单区域系统”。由独立入口供给并且排出到独立排出口的这种刚性区域的多个实体为“非连通多区域系统”的示例。具有可以膨胀或收缩的柔性壁的区域被认为是“连通的单区域系统”。图 1 和图 2 所示的系统 100 为“连通的多区域系统”，其中连通级别可以基于入口、出口、体积连通而量化。

区域压力估计器 120 用于通过使用系统歧管 110 中的压力传感器 114 的压力测量、气力控制系统 100 的物理参数以及基于模型的算法而估计各个区域 Z_i 中的压力从而准确估计区域 Z_i 的压力。一个直接的后果是，在闭环中使用区域压力估计器 120 以控制区域 Z_i 中压力的气力控制系统 100 克服了区域 Z_i 中自身可能发生的系统歧管 110 中的局部压力瞬变，由此很大程度上改进了闭环控制性能。

并且，区域压力估计器 120 很容易集成到高级控制系统至，并且补偿具有入口压力/流量、出口压力/流量以及区域体积接触的静态和/或动态连通的多个区域 Z_i 。区域压力估计器 120 对于远程区域 Z_i 的尺寸没有限制。区域压力估计器 120 还可以应用到具有刚性/柔性壁的区域 Z_i 以及具有柔性壁的区域。区域压力估计器 120 对于不同范围的压力设定点有效，并且当结合到高级控制系统中时可以确保一致的瞬态和稳态行为。

用于操作区域压力估计器 120 的基于模型的算法是基于系统歧管 110 的动力学以及远程区域 Z_i 的动力学和体积连通的。

系统歧管动力学

系统歧管 110 的各个流量线路 b_i 内的有效压力定义为：

$$\frac{dP_{b,i}}{dt} = \frac{P_{STP}}{V_{b,i}} (Q_{in,i} - Q_{o,i} - Q_{z,i}) \quad \forall i = 1, 2, \dots, N, \quad (1)$$

其中 $P_{b,i}$ 是由测量室中的压力传感器 114 测量的第 i 个区域的压

力, PSTP 为标准温度和压力 (STP) 条件下的压力, $Q_{in,i}$ 表示输入流量并且 $Q_{o,i}$ 和 $Q_{z,i}$ 表示输出流量。具体的, $Q_{o,i}$ 为从第 i 个流量线路 b_i 流到文氏歧管的流量, 并且 $Q_{z,i}$ 为流到第 i 个区域的流量。在 (1) 中, $V_{b,i}$ 表示第 i 个区域的流量线路 b_i 体积。

流到文氏歧管 “man” 的输出流量可以表示为:

$$Q_{o,i} = f(P_{b,i}, P_{man}, d_{orifice,i}) \quad \forall i = 1, 2, \dots, N, \quad (2)$$

其中 $d_{orifice,i}$ 表示供给文氏歧管的测量流量线路 b_i 中的固定孔的直径并且 P_{man} 表示连接到真空泵 30 的文氏歧管中的压力。应当注意, 流过所述固定孔的流量依赖于通过所述固定孔的压力差可以被阻塞或者未阻塞。

区域动力学和体积连通

流入到各个区域 Z_i 的流量可以通过下面的动力学公式描述(通过纳维尔-斯多克斯 (Navier-Stokes) 公式推导得到):

$$\frac{dQ_{z,i}}{dt} = (P_{b,i} - P_{z,i}) C_{tube,i} - \frac{Q_{z,i}}{\tau_{tube,i}} \quad \forall i = 1, 2, \dots, N, \quad (3)$$

其中 $Q_{z,i}$ 和 $P_{z,i}$ 分别表示入口流量和第 i 个区域中的压力, 并且 $C_{tube,i}$ 和 $\tau_{tube,i}$ 为与从测量流量线路 b 至区域 Z_i 的管道相关的常数。

各个区域 Z_i 内的压力动力学可以描述如下:

$$\frac{dP_{z,i}}{dt} = \frac{P_{STP}}{V_{z,i}} Q_{z,i} - \frac{P_{z,i}}{V_{z,i}} \frac{dV_{z,i}}{dt}, \quad (4)$$

其中各个区域 Z_i 的体积表示为 $V_{z,i}$ 并且由于多个区域 Z_i 之间的连通产生的动态体积交互可以数学描述如下:

$$\tau_v \frac{dV_{z,i}}{dt} + V_{z,i} = \left[V_{z0,i} + \gamma_{ii} (P_{z,i} - P_{STP}) + \sum_{i \neq j} \gamma_{ij} (P_{z,j} - P_{z,i}) \right], \quad (5)$$

其中 $V_{z0,i}$ 为各个区域在标准温度和压力 (STP) 条件下的初始体积, τ_v 为体积膨胀/收缩时间常数, 并且 γ_{ii} 表示膨胀/收缩系数, 以及 γ_{ij} 表示区域 i 和区域 j 之间的连通系数。应当注意, 质量/惯性效

应被认为是可以忽略的（因此没有加速项）。

区域压力估计器

控制目标是控制远程区域 Z_i 内的压力。然而，压力传感器 114 封装在系统歧管 110 的流量线路 b 内（与区域相对）。如图 1 所示，系统歧管 110 通过长管道 F_i 与远程区域 Z_i 分隔。

一种解决方案是将区域流量公式（3）重写为离散形式：

$$\hat{Q}_{z,i}^{(n)} = \frac{\hat{Q}_{z,i}^{(n-1)} + \Delta t C_{pipe,i} (P_{b,i}^{(n)} - \hat{P}_{z,i}^{(n-1)})}{\left(1 + \frac{\Delta t}{\tau_{pipe,i}}\right)} \quad (6)$$

其中 $\hat{Q}_{z,i}^{(n)}$ 表示第 i 个区域的流量估计的第 n 个采样。应当注意， P_b 为通过流量线路压力传感器 114 测量的压力。

这样可以得到公式（5）如下的离散解：

$$\hat{V}_{z,i}^{(n)} = \frac{\hat{V}_{z,i}^{(n-1)} + \frac{\Delta t}{\tau_v} \left[V_{z0,i} + \gamma_{ii} (\hat{P}_{z,i}^{(n-1)} - P_{STP}) + \sum_{i \neq j} \gamma_{ij} (\hat{P}_{z,i}^{(n-1)} - \hat{P}_{z,j}^{(n-1)}) \right]}{\left(1 + \frac{\Delta t}{\tau_v}\right)} \quad (7)$$

其中 $\hat{V}_{z,i}^{(n)}$ 表示第 i 个区域的体积估计的第 n 个采样。基于公式（4），（6）和（7），区域压力估计器 120 的算法构建如下：

$$\hat{P}_{z,i}^{(n)} = \hat{P}_{z,i}^{(n-1)} + \Delta t \left(\frac{P_{STP}}{\hat{V}_{z,i}^{(n)}} \hat{Q}_{z,i}^{(n)} + \frac{\hat{P}_{z,i}^{(n-1)}}{\tau_v \hat{V}_{z,i}^{(n)}} \left[\hat{V}_{z,i}^{(n)} - V_{z0,i} - \gamma_{ii} (\hat{P}_{z,i}^{(n-1)} - P_{STP}) - \sum_{i \neq j} \gamma_{ij} (\hat{P}_{z,i}^{(n-1)} - \hat{P}_{z,j}^{(n-1)}) \right] \right) \quad (8)$$

其中 $\hat{P}_{z,i}^{(n)}$ 表示第 i 个区域的压力估计的第 n 个采样， $\hat{Q}_{z,i}^{(n)}$ 是通过（6）定义的流量估计而获得的或者在可用时涌直接流量测量 Q_z 代替，并且 $\hat{V}_{z,i}^{(n)}$ 是通过（7）获得的。

对于固定体积（即刚性壁），其构建为不能产生体积膨胀，因此不具有容积连通 $\gamma_{ij} = 0 \forall i, j = 1, 2, \dots, N$ 。因此，（5）中的公式约简为 $V_{z,i} = V_{z0,i}$ 和 $\hat{V}_{z,i}^{(n)} = V_{z0,i} \forall n$ 。因此，通过（8），具有刚性壁的固定体积的压力估计 $\hat{P}_{z,i}^{(n)}$ 可以重新表示为：

$$\hat{P}_{z,i}^{(n)} = \hat{P}_{z,i}^{(n-1)} + \Delta t \frac{P_{STP}}{V_{z0,i}} \hat{Q}_{z,i}^{(n)} \quad (9)$$

应当注意，估计器方程的离散形式可以为显式或者隐式的并且只要离散形式满足已知的稳定条件，其对系统性能没有任何可察觉的影响。

控制算法

为了验证区域压力估计器 120 的性能，(6)，(7) 和 (8) 中定义的计算被集成到编程到区域压力估计器 120 中的控制算法中，并且使用如图 1 所示的系统 100 和根据现有技术构建的系统（即不包含区域压力估计器 120）进行下面的实验。通过图 4 至图 7，可以清楚看到对于一定范围的体积和压力设定点，线条“X”表示的图 1 的基于估计器的控制设备 100 的稳态性能显著优于线条“Y”表示的根据现有技术构建的系统的稳态性能，基于估计器的控制设备 100 产生可以忽略的振荡和远远更小的稳态偏差。

针对 N_2 （氮）的通过 1.2m 长内径 4mm 的管道连接到各个测量腔室的远程区域 Z_i 的系统参数的示例如下：

PSTP=14.7 磅/平方英寸	STP 条件下的压力
ρ STP=1.16kg/m ³	STP 条件下的密度
$\gamma = 1.4$	比热比
$T_1=300^\circ \text{K}$	工作温度
$R=297 \text{ J/kg-K}$	理想气体常数
$\mu = 1.77 \times 10^{-4}$ 泊	粘度系数
$C_{\text{tube}} \approx 65400 \text{ kg/cc}$	管道参数
$\tau_{\text{tube}} \approx 3\text{ms}$	管道时间常数

系统控制设备 130 连接到线路 b_i 的阀门 112、116，区域压力估计器 120 以及如 CMP 机 10 的控制设备 20 的第二输入设备。通常，系统控制设备 130 编程为从第二输入设备 20 接收各区域 i 的第 n 个压力设定点，从区域压力估计器 120 接收各个区域 i 的区域压力估计值的第 n 个采样，并且将各个区域 i 的第 n 个压力设定点与区域压力估计值的第 n 个采样比较，如果采样不等于设定点，则操作阀门 112、116 直到采样等于设定点。

由此本公开提供了一种新的改进的气力控制系统 100，可以用于

但并不限于对如 CMP 载体头 10 的半导体加工设备的远程连接区域进行加压和抽空，并且补偿在远程连接到区域的腔室中进行的压力测量。并且，本公开的气力控制系统 100 可以用于对多区域系统进行加压和抽空，其中区域的数量可以在 $i=1$ 至 $i=N$ 之间变化，其中所述区域可以具有刚性壁或者柔性壁并且互相连通或者不连通。

应当注意，本公开设计了一种气力控制系统 100，其可以与 CMP 机一起使用或者作为其一部分。然而本公开的气力控制系统 100 并不限于与 CMP 机一起使用或者作为其一部分，气力控制系统 100 可以应用到除了 CMP 机之外的气力操作机械、设备的远程区域。

本说明书中描述的示例实施例仅为示例性的而非限制性的，并且本领域技术人员可以做出各种修改、结合和替换而不背离本发明的更为广泛的由权利要求书给出的实质和范围。

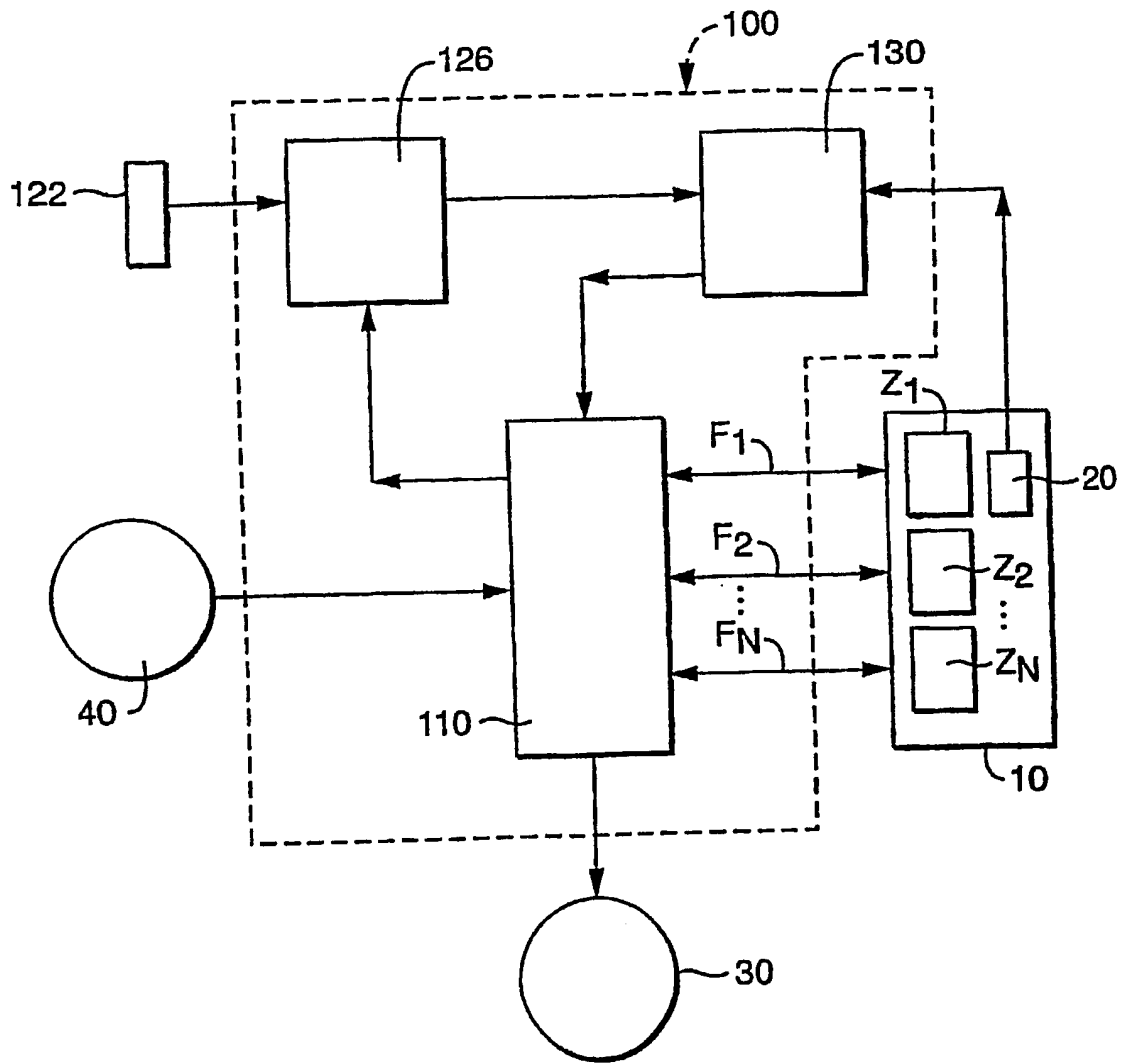


图1

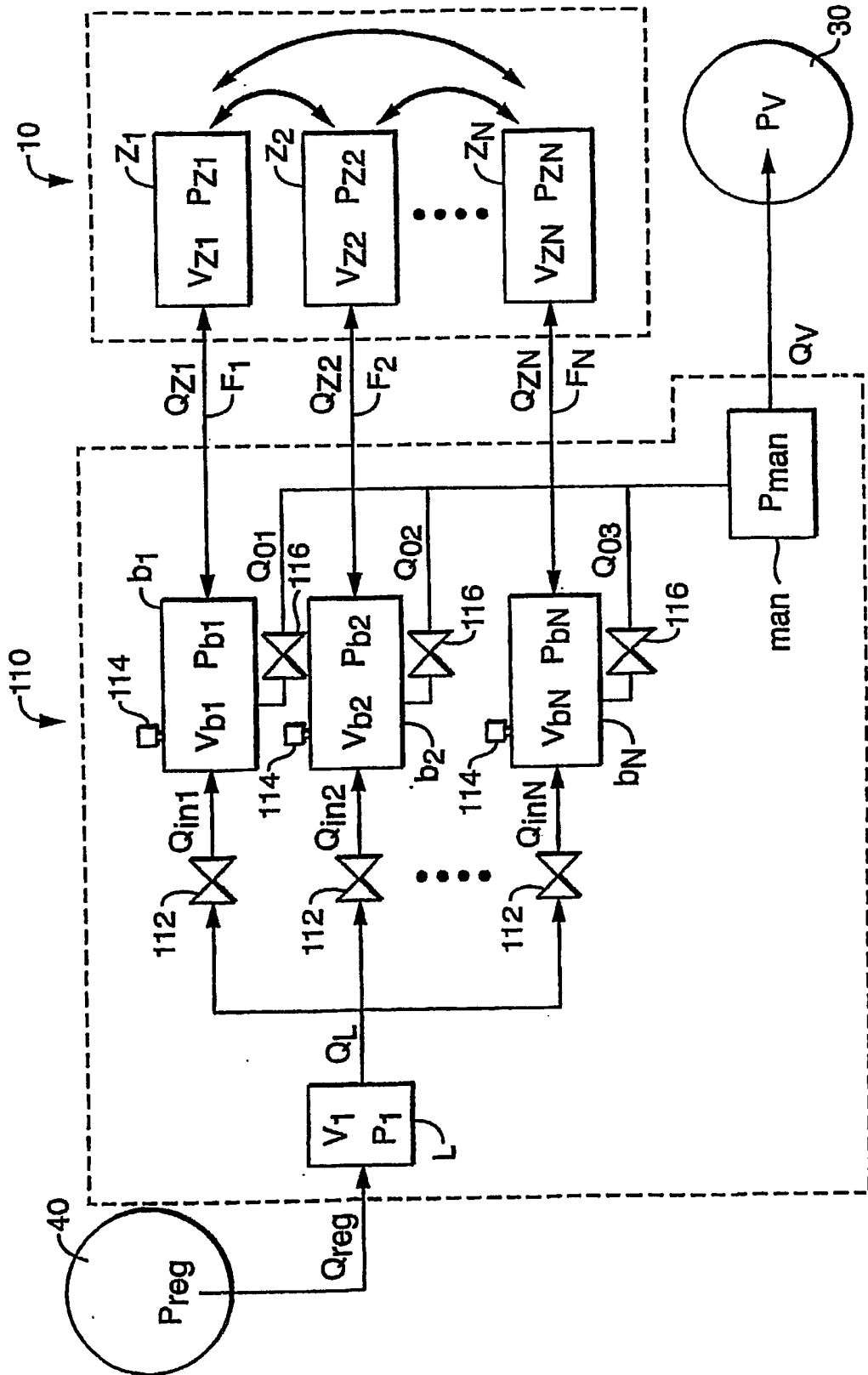


图2

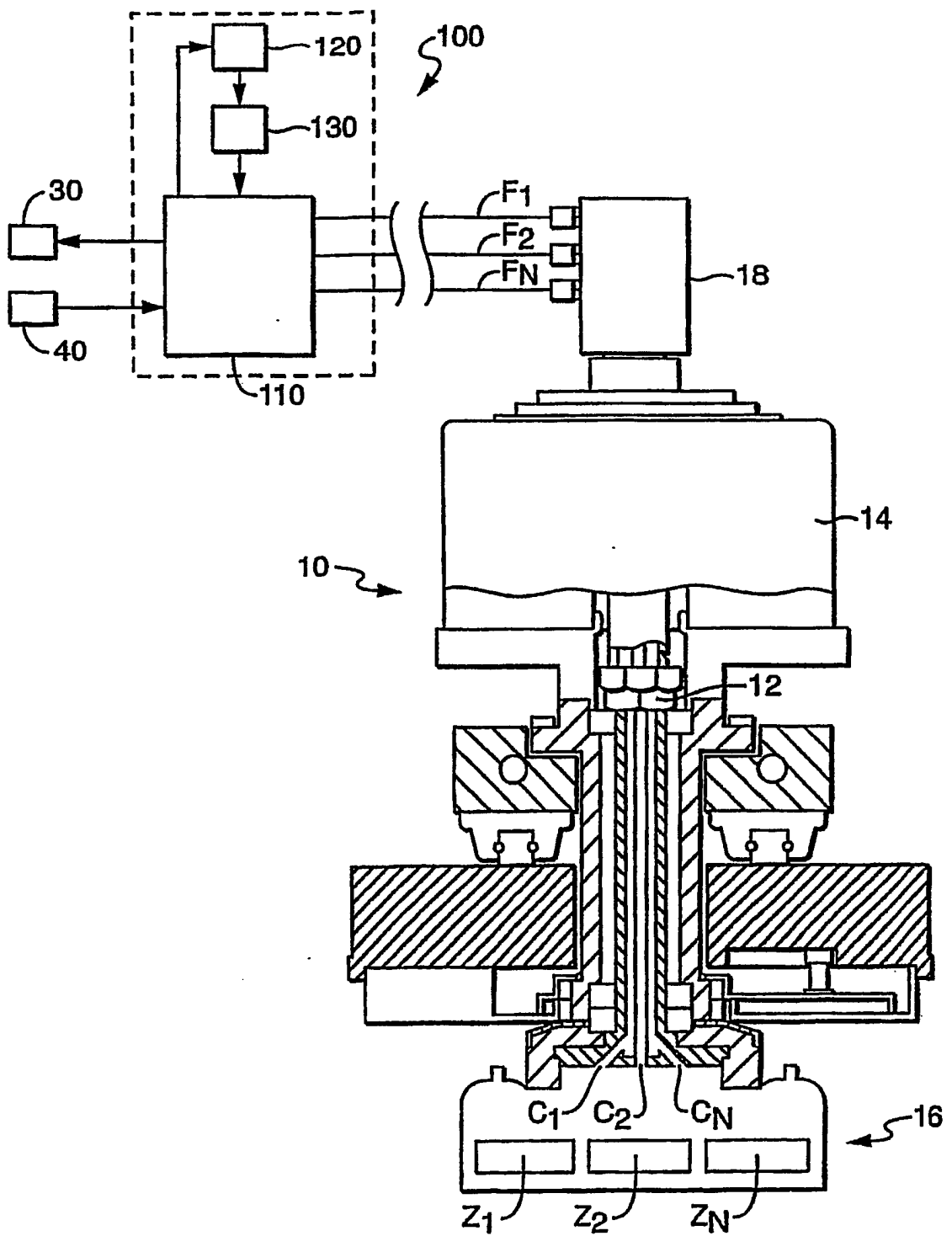


图3

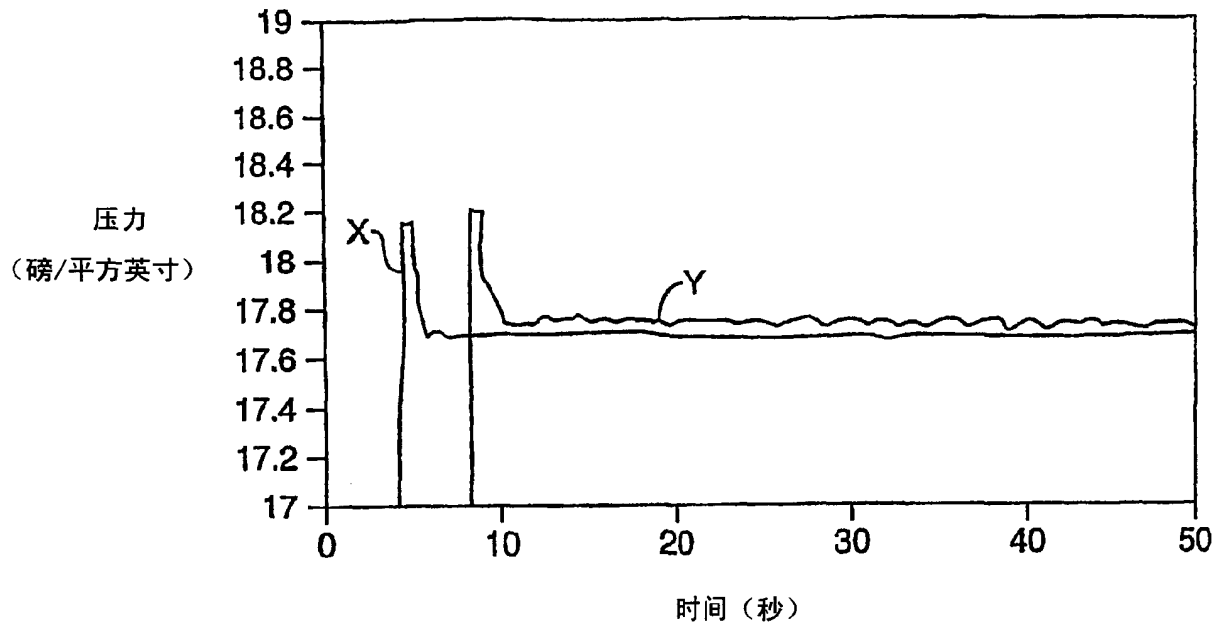


图4

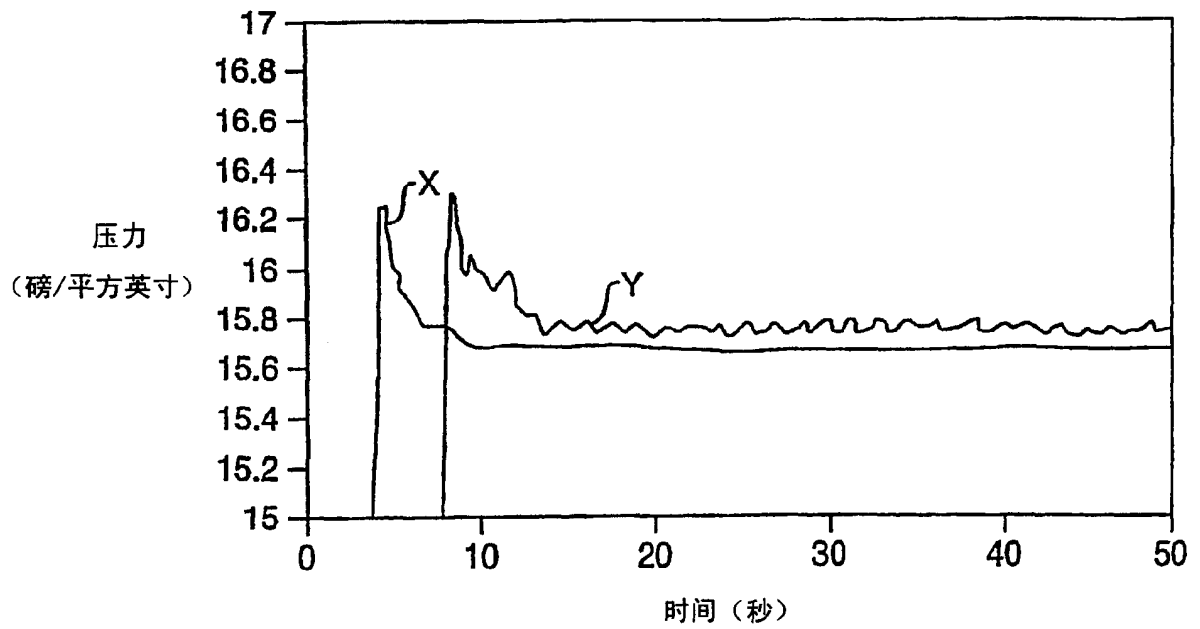


图5

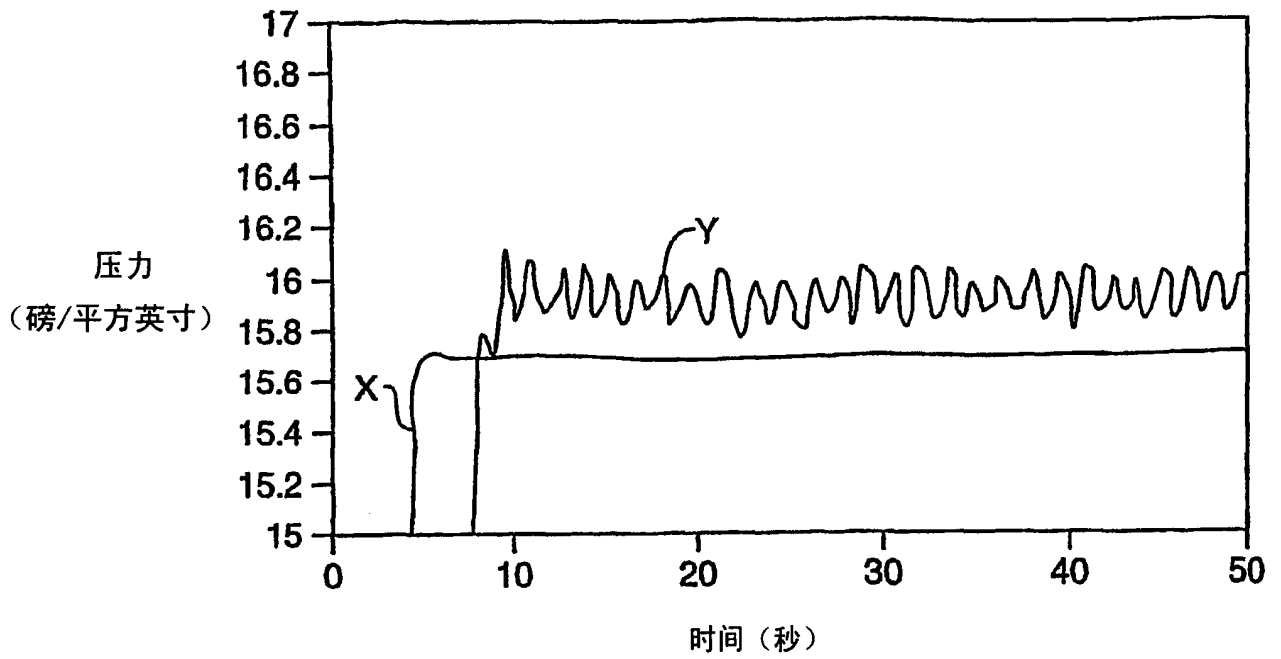


图6

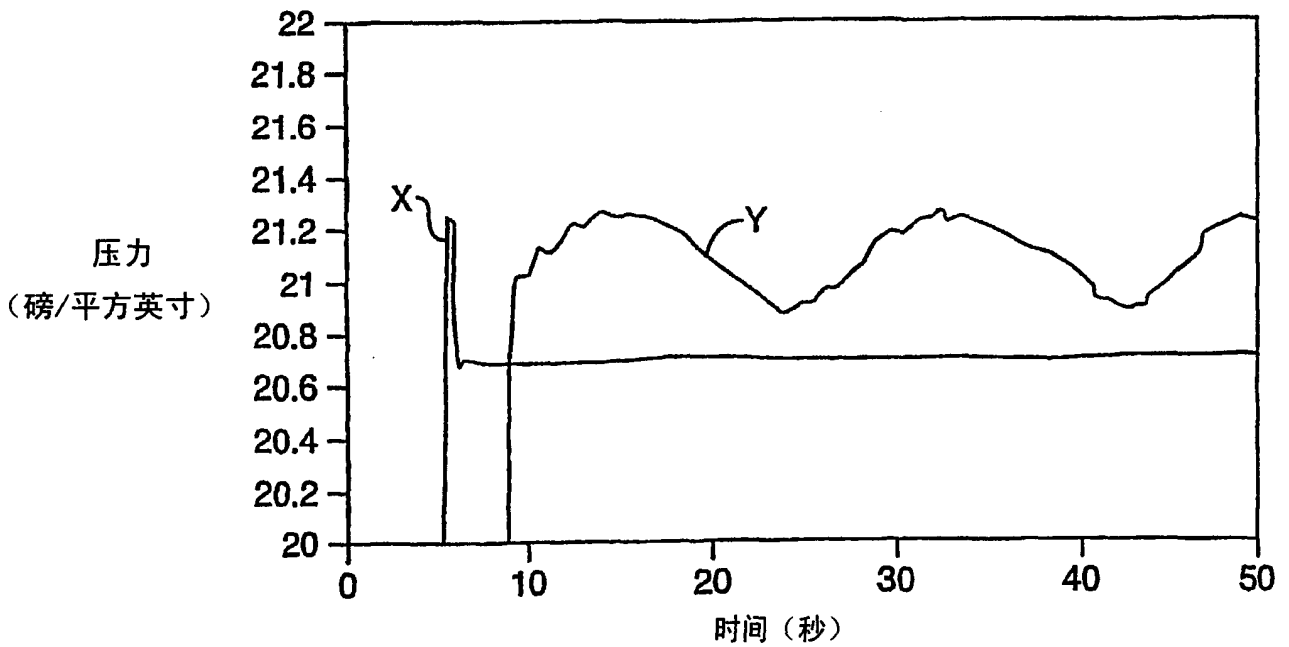


图7