



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111902786 B

(45) 授权公告日 2024.09.03

(21) 申请号 201880091709.3

(73) 专利权人 伊利诺斯工具制品有限公司

(22) 申请日 2018.11.20

地址 美国伊利诺伊州

(65) 同一申请的已公布的文献号

(72) 发明人 约翰·勒尔 安东尼·基奥
伯温·班纳斯

申请公布号 CN 111902786 A

(74) 专利代理机构 上海脱颖律师事务所 31259
专利代理人 脱颖

(43) 申请公布日 2020.11.06

(51) Int.CI.

(30) 优先权数据

G05D 7/06 (2006.01)
G01F 1/88 (2006.01)

62/624,059 2018.01.30 US

16/195,432 2018.11.19 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

(56) 对比文件

2020.09.23

US 2016195415 A1, 2016.07.07
US 2010070240 A1, 2010.03.18

(86) PCT国际申请的申请数据

审查员 王彬蓉

PCT/US2018/062127 2018.11.20

(87) PCT国际申请的公布数据

W02019/152089 EN 2019.08.08

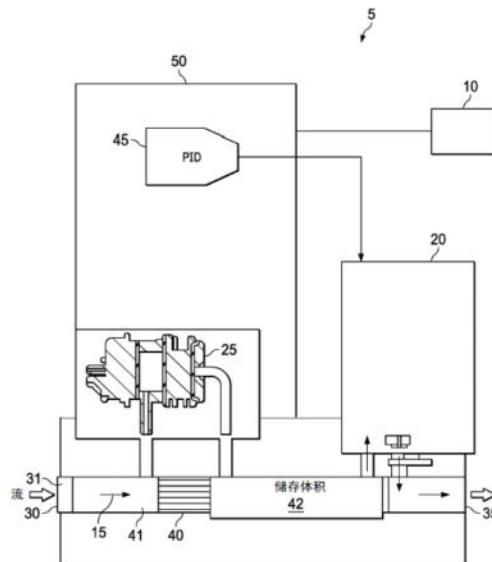
权利要求书2页 说明书8页 附图4页

(54) 发明名称

具有绝对压力和差压换能器的质量流量控制器

(57) 摘要

示例质量流量控制器包含流动通路、层流元件和压力换能器组件，流动通路包含第一腔体和第二腔体，压力换能器组件包含绝对压力换能器和差压换能器，绝对压力换能器暴露于第三腔体中的绝对压力，该第三腔体与第一腔体流体连通，差压换能器暴露于第三腔体与第二腔体之间的差压。质量流量控制器还包含流量控制阀，该流量控制阀在层流元件下游，并且根据压力换能器组件所感测到压力来致动。



1. 一种质量流量控制器，包含：

穿过所述质量流量控制器的流动通路；所述流动通路包含第一腔体和第二腔体，

与所述第一腔体和所述第二腔体相邻的层流元件；其中所述第一腔体在所述层流元件的上游，而所述第二腔体在所述层流元件的下游，

组合式绝对压力和差压换能器组件，所述组合式绝对压力和差压换能器组件包含：

第三腔体，所述第三腔体与所述第一腔体流体连通，

绝对压力换能器，所述绝对压力换能器具有绝对压力膜，并且暴露于所述第三腔体中的绝对压力，以及

差压换能器，所述差压换能器具有第一差压膜和第二差压膜，并且暴露于所述第三腔体与所述第二腔体之间的差压，以及

流量控制阀组件，所述流量控制阀组件被配置为控制流体通过所述流动通路的流动；其中所述流量控制阀组件在所述层流元件以及所述组合式绝对压力和差压换能器组件的下游。

2. 根据权利要求1所述的质量流量控制器，进一步包含入口孔块。

3. 根据权利要求2所述的质量流量控制器，其中，所述入口孔块的入口直径为0.010英寸至0.070英寸。

4. 根据权利要求1所述的质量流量控制器，进一步包含控制器。

5. 根据权利要求4所述的质量流量控制器，其中，所述控制器被配置为：将所述绝对压力、所述差压以及流体属性和层流元件特性的知识转换成指示通过所述层流元件的质量流量的信号；接收指示通过所述层流元件的期望流量的设定点信号；以及控制阀驱动信号，使得指示通过所述层流元件的质量流量的所述信号基本上匹配所接收的设定点信号。

6. 根据权利要求5所述的质量流量控制器，其中，所述设定点信号的所述期望流量小于或等于10%。

7. 根据权利要求5所述的质量流量控制器，其中，所述流动通路进一步包含出口，并且其中所述出口的压力高于2psia。

8. 根据权利要求1所述的质量流量控制器，进一步包含电路板。

9. 根据权利要求1所述的质量流量控制器，其中，所述组合式绝对压力和差压换能器组件被配置为在所述流动通路上游感测所述绝对压力和所述差压。

10. 根据权利要求1所述的质量流量控制器，其中，所述第三腔体填充有流体。

11. 一种控制流体的流量的方法，所述方法包含：

提供质量流量控制器，所述质量流量控制器包含：

穿过所述质量流量控制器的流动通路；所述流动通路包含第一腔体和第二腔体，

与所述第一腔体和所述第二腔体相邻的层流元件；其中，所述第一腔体在所述层流元件的上游，而所述第二腔体在所述层流元件的下游，

组合式绝对压力和差压换能器组件，所述组合式绝对压力和差压换能器组件包含：

第三腔体，所述第三腔体与所述第一腔体流体连通，

绝对压力换能器，所述绝对压力换能器具有绝对压力膜，并且

暴露于所述第三腔体中的绝对压力,以及
差压换能器,所述差压换能器具有第一差压膜和第二差压膜,
并且暴露于所述第三腔体与所述第二腔体之间的差压,以及
流量控制阀组件,所述流量控制阀组件包含控制阀,并且被配置为控制流体通过
所述流动通路的流动;其中所述流量控制阀组件在所述层流元件和所述组合式绝对压力
和差压换能器组件的下游;

使流体流动通过所述流动通路;以及
致动所述控制阀。

12. 根据权利要求11所述的方法,其中,所述质量流量控制器进一步包含入口;其中,入口孔块被设置在所述入口内。

13. 根据权利要求12所述的方法,其中,所述入口孔块的入口直径为0.010英寸至0.070
英寸。

14. 根据权利要求11所述的方法,进一步包含PID控制器。

15. 根据权利要求14所述的方法,其中,所述PID控制器:将所述绝对压力、所述差压以
及流体属性和层流元件特性的知识转换成指示通过所述层流元件的质量流量的信号;接收
指示通过所述层流元件的期望流量的设定点信号;以及控制阀驱动信号,使得指示通过所
述层流元件的质量流量的所述信号基本上匹配所接收的设定点信号。

16. 根据权利要求15所述的方法,其中,所述设定点信号的所述期望流量小于或等于
10%。

17. 根据权利要求15所述的方法,其中,所述流动通路进一步包含出口,并且其中所述
出口的压力高于2psia。

18. 根据权利要求11所述的方法,进一步包含电路板。

19. 根据权利要求11所述的方法,其中,所述组合式绝对压力和差压在所述流量控制阀
组件上游感测所述绝对压力和差压。

20. 根据权利要求11所述的方法,其中,所述第三腔体填充有流体。

21. 根据权利要求11所述的方法,其中,所述流体是在半导体工艺中使用的流体。

具有绝对压力和差压换能器的质量流量控制器

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求于2018年1月30日提交的标题为“Mass Flow Controller with Absolute and Differential Pressure Transducer(具有绝对压力和差压换能器的质量流量控制器)”的美国临时专利申请第62/624,059号的优先权,该美国临时专利申请的全部内容出于所有目的而通过引用全部并入本文。

技术领域

[0003] 本发明总体上涉及用于控制流体的质量流量的方法和系统,并且更具体地涉及用于气体和其他可压缩流体的质量流量控制器和质量流量计的操作。

背景技术

[0004] 许多工业过程需要精确控制各种过程流体。例如,在半导体工业中,质量流量计及其相关联的控制器可能能够精确测量和控制引入处理室的过程流体的量。可使用各种各样的技术来测量这些装置中的质量流量,这种技术包括热、超声飞行时间、科氏力和基于压力的技术。

[0005] 基于压力的质量流量计使用限定的流量限制来响应于要测量的流量产生压降,并使用对温度、所产生的压降和(对于可压缩流体)绝对压力的测量,结合流体的属性和流量限制的知识来计算质量流量。

[0006] 虽然半导体工艺(诸如,蚀刻)可以在接近零的出口压力(被称为“硬真空”,例如,低于约2psia)下操作,但是诸如化学气相沉积之类的某些半导体工艺有时可能经历大背压偏移,其中在控制阀下游的压力达到大气压力或更大。这些压力方面的大下游变化可使得有必要在基于压力的质量流量控制器上使用绝对压力传感器以及下游层流元件。另外,在具有下游流量传感器的装置中,从接近零的出口压力到大气出口压力的向上摆动可以使流量限制器的低流动压降降低50倍或更多。因此,这种转变可以使所得到的流量传感器信号潜在地降低50倍或更多。降低的流量传感器信号会进一步导致流量传感器信噪比和稳定性降级,这可能导致在低设定值时,高于接近零的出口压力的操作条件的可重复性和精度很差。

发明内容

[0007] 在一个实施例中,提供了一种质量流量控制器。示例质量流量控制器包含穿过质量流量控制器的流动通路;该流动通路包含第一腔体和第二腔体。质量流量控制器进一步包含与第一腔体和第二腔体相邻的层流元件;其中第一腔体在层流元件的上游,而第二腔体在层流元件的下游。所述质量流量控制器另外还包含组合式绝对压力和差压换能器组件,所述组合式绝对压力和差压换能器组件包含:第三腔体,所述第三腔体与第一腔体流体连通;绝对压力换能器,所述绝对压力换能器具有绝对压力膜并且暴露于该第三腔体中的绝对压力;以及,差压换能器,所述差压换能器具有第一差压膜和第二差压膜并且暴露于

第三腔体与第二腔体之间的差压。所述质量流量控制器还包含流量控制阀组件，所述流量控制阀组件被配置为控制流体通过流动通路的流动；其中所述流量控制阀组件在层流元件以及组合式绝对压力和差压换能器组件的下游。

[0008] 附加地或可选地，质量流量控制器可以单独地或组合地包括以下特征中的一者或多者。质量流量控制器可以进一步包含入口孔块。入口孔块的入口直径可以为约0.010英寸至约0.070英寸。质量流量控制器可以进一步包含PID控制器。PID控制器可以被配置为：将绝对压力、差压以及流体属性和层流元件特性的知识转换成指示通过该层流元件的质量流量的信号；接收指示通过层流元件的期望流量的设定点信号；以及控制阀驱动信号，使得指示通过层流元件的质量流量的信号基本上匹配所接收的设定点信号。设定点信号的期望流量可以小于或等于10%。流动通路可以进一步包含出口，并且其中所述出口的压力高于2psia。质量流量控制器可以进一步包含电路板。组合式绝对压力和差压换能器组件可以被配置为在流量控制阀组件的上游感测绝对压力和差压。第三腔体可以填充有流体。

[0009] 在一个实施例中，提供了一种控制流量的方法。示例方法包含提供质量流量控制器，所述质量流量控制器包含：穿过所述质量流量控制器的流动通路；所述流动通路包含第一腔体和第二腔体，与所述第一腔体和所述第二腔体相邻的层流元件；其中，所述第一腔体在所述层流元件的上游，而第二腔体在所述层流元件的下游，组合式绝对压力和差压换能器组件，所述组合式绝对压力和差压换能器包含：第三腔体，所述第三腔体与第一腔体流体连通；绝对压力换能器，所述绝对压力换能器具有绝对压力膜并暴露于第三腔体中的绝对压力，以及差压换能器，所述差压换能器具有第一差压膜和第二差压膜并暴露于第三腔体和第二腔体之间的差压，以及流量控制组件，所述流量控制组件包含控制阀，并且被配置为控制流体通过流动通路的流动；其中流量控制阀组件在层流元件和组合式绝对压力和差压换能器组件的下游。该方法进一步包含：使流体流动通过该流动通路；以及致动控制阀。

[0010] 附加地或可选地，该方法可以单独地或组合地包括以下特征中的一者或多者。质量流量控制器可以进一步包含入口孔块。入口孔块的入口直径可以为约0.010英寸至约0.070英寸。质量流量控制器可以进一步包含PID控制器。PID控制器可以被配置为：将绝对压力、差压以及流体属性和层流元件特性的知识转换成指示通过该层流元件的质量流量的信号；接收指示通过层流元件的期望流量的设定点信号；以及控制阀驱动信号，使得指示通过层流元件的质量流量的信号基本上匹配所接收的设定点信号。设定点信号的期望流量可以小于或等于10%。流动通路可以进一步包含出口，并且其中所述出口的压力包含高于2psia。质量流量控制器可以进一步包含电路板。组合式绝对压力和差压换能器组件可以在流量控制阀组件的上游感测绝对压力和差压。第三腔体可以填充有流体。该流体可以在半导体工艺中使用。

附图说明

[0011] 下面将参考附图详细描述本公开的说明性示例，这些附图通过引用并入本文，并且其中：

[0012] 图1是根据本公开的某些实施例的在阀的上游具有流量传感器的基于压力的质量流量控制器的示意图的图示；

[0013] 图2是根据本公开的某些实施例的可用于设定入口孔块的入口孔的尺寸的示例物理符号模型；

[0014] 图3是根据本公开的某些实施例的组合式绝对压力和差压换能器组件的示意图的说明；以及

[0015] 图4是根据本公开的某些实施例的在阀的上游具有流量传感器的基于压力的质量流量控制器的另一个实施例的示意图的图示。

[0016] 所示出的附图仅是示例性的，而不旨在断言或暗示关于其中可以实现不同示例的环境、架构、设计或过程的任何限制。

具体实施方式

[0017] 本发明总体上涉及用于控制流体的质量流量的方法和系统，并且更具体地涉及用于气体和其他可压缩流体的质量流量控制器和质量流量计的操作。

[0018] 除非另有说明，否则在本说明书和相关联的权利要求中使用的表达组分的量、属性(诸如分子重量)、反应条件等的所有数字应理解为在所有情况下由术语“约”修饰。因此，除非相反地指示，否则在以下说明书和所附权利要求书中阐述的数字参数是近似值，其可取决于寻求通过本发明的示例获得的所需特性而变化。至少，并且不试图将等同原则的应用限制于权利要求的范围，每个数值参数至少应该根据所报告的有效位数的数目并且通过应用普通的四舍五入技术来解释。应当注意，当“约”处在数值列表的开始处时，“约”修饰该数值列表的每个数字。此外，在范围的一些数值列表中，列出的一些下限可以大于列出的一些上限。本领域的技术人员将认识到，所选择的子集将需要选择超过所选择的下限的上限。

[0019] 术语“流体”在本文中用于描述处于能够流动的任何状态的任何类型的物质。术语“气体”在本文中用于描述密度基本上取决于绝对压力的任何流体，诸如理想气体或非理想气体、蒸气和超临界流体。术语“液体”在本文中用于描述密度基本上不取决于绝对压力的任何流体。

[0020] 基于压力的质量流量控制器(下文中称为“MFC”)和质量流量计(下文中称为“MFMs”)在用于控制气体流量时通常可利用某种形式的流量限制器以及放置在控制阀下游的适当位置处的两个或更多个绝对压力换能器，以允许计算流量限制器上游和下游的绝对压力。例如，许多基于压力的MFM使用一种类型的被称为层流元件的流量限制器，其性能主要由其层流特性确定，而不是由速位差(在限流器中将气体加速到其速度所需的压降)确定。首先，理想气体通过层流元件的流量可以如等式1所示计算：

$$Q_s = K * (P_i^2 - P_o^2) \quad (\text{等式1})$$

[0022] 其中：

[0023] Q_s 是质量流量

[0024] K 是取决于温度、粘度、气体的可压缩性和层流元件的几何形状的值

[0025] P_i 是层流元件上游入口处的绝对压力

[0026] P_o 是层流元件下游出口处的绝对压力

[0027] 然而，如上所述，在一些半导体工艺中，在控制阀下游具有流量传感器的那些装置中，从接近零的出口压力(例如，低于约2psia)到大气出口压力的向上摆动可以使流量传感器的低流动压降偏移多达50倍或更多。因此，这种转变可以引起所得到的流量传感器信号

潜在地降低50倍或更多。流量传感器信号的降低会使流量传感器的信噪比和稳定性降低，从而导致在低设定值时，高于接近零的出口压力的操作条件的可重复性和精度很差。

[0028] 利用控制阀上游的流量传感器，计量精度和装置满刻度流量范围可以变得对控制阀下游的压力不敏感。例如，在当前MFC设计中，对在 P_i 和 P_o 压力分别为7.0psia和0.1psia时具有为100sccm的满标度 N_2 参考流量的MFC求解K，会提供约为2.0412的K。如果使用该K来求解在 N_2 流量为1sccm且所确定的 P_o 为0.1psia时将出现的 P_i ，则获得为0.707psia的 P_i ，这等于0.607psia的差压。该差压正好在由绝对压力传感器常规性地测量到的约0.01psid的最小可分辨差压之外。因此，当MFC在接近零的出口压力(即，低于约2psia)下操作时，对于低设定值，应该可获得用于MFC的合理低误差值。然而，如果 P_o 增加到约14.7psia(在诸如化学气相沉积之类的某些半导体工艺中常规发生的典型值)，则使在该同一装置上具有为1sccm的 N_2 流量所需的相应 P_i 将等于约14.7167psia。这仅仅是0.0167psia的差值，其非常接近于典型的绝对压力传感器可获得的最小精度。由此，这些在控制阀下游具有层流元件和绝对压力传感器的MFC可能无法在低设定值时用明显高于硬真空的出口压力有效地操作。例如，流量传感器的信噪比和稳定性可能降级。

[0029] 然而，如果绝对流量传感器和层流元件在控制阀的上游，则控制阀下游的变化可能对上游绝对流量传感器没有影响。此外，在典型的半导体工艺环境中，上游压力通常保持在标称入口压力的±10%内。此外，为了在上游压力位置和下游压力位置之间的差压小的情况下提供更好的精度，可以用差压换能器代替绝对压力换能器之一。这样，通过使用差压换能器，等式1现在可以被如下重写：

[0030] $Q_s = K * (2P_i - \Delta P) \Delta P$ (等式2)

[0031] $Q_s = K * (2P_o + \Delta P) \Delta P$ (等式3)

[0032] 其中：

[0033] $\Delta P = P_i - P_o$

[0034] 等式2可在绝对压力换能器位于层流元件上游的实施例中使用。等式3可在绝对压力换能器在层流元件下游的实施例中使用。对于在典型 P_i 为35psia且 ΔP 为0.86psid(允许1psid范围换能器的合理裕度)时在该满刻度流量下为100sccm的 N_2 流量求解方程2，从而得到K为1.6818。在已知K的情况下，可以在 P_i 为30、35和40psia时，对1sccm下的 ΔP 求解等式2。所得值为在30psia压力入口处为0.0099psid的压降、在35psia压力入口处为0.0085psid的压降，并且在40psia压力入口处为0.0074psid的压降。这样，对于典型的上游入口压力变化，控制阀上游的层流元件的差压变化可以远小于下游层流元件及其相关联的下游压力变化。此外，可以选择具有0.0005psid的典型差压精度的差压换能器，从而提供比绝对压力换能器当前可获得的精度大得多的精度。因此，与在控制阀的下游使用流量限制器以及两个绝对压力传感器相反，在控制阀的上游使用差压传感器以及绝对换能器和流量限制器可以在入口压力变化时在期望的低设定值处产生更可重复的流量估计。

[0035] 尽管以下讨论主要应用于气体流量计，但是本文公开的组合式绝对压力和差压换能器也可用于液体流量控制器(其中它可提供对控制系统有用的信息)，即使液体流量计对绝对压力相对不敏感，因此通常仅使用差压传感器来很好地服务。

[0036] 图1示出了根据本公开的某些实施例的在阀门上游具有流量传感器的基于压力的MFC 5的示意图。MFC 5基于以下原理操作：流体流量的变化引起流量限制器(诸如层流元

件)上游和/或下游的流体压力的变化,根据该液体压力的变化可以计算出流体流量。

[0037] 在所描述的实施例中,MFC 5包含功率供应连接器10、流动通道15、流量控制阀组件20,以及组合式绝对压力和差压换能器组件25的至少一个实施例。MFC 5进一步包含用于将流体引入该装置的入口端口30以及流体从其流出(例如,进入处理室)的出口端口35。在一些实施例中,入口端口30可以进一步包含入口孔块31,该入口孔块设置在入口端口30内并且阻挡流体的至少一部分从该入口端口流过。流体可以经由入口端口30进入MFC 5并且在MFC 5内沿着流动通路15流动。在一些实施例中,流动通路15可以维持在恒定温度下。该流量控制阀组件20沿着流动通路15定位在出口端口35附近并且在层流元件40和组合式绝对压力和差压换能器组件25两者的下游。流量控制阀组件20可以包含比例控制阀(例如,螺线管或压动控制阀),其可以调节以控制通过MFC5的流体量。流量控制阀组件20可以足以控制通过流量控制阀组件20的流量的任何期望速率致动控制阀。此外,致动速率可以是可编程的和可调节的,使得控制阀可以被连续地致动或以阶梯式过程致动。

[0038] 入口孔块31可以包含入口,该入口的尺寸被设置成确保当例如60psia的入口压力被施加到入口端口30,同时MFC 5处于接近零的压力并且流量控制阀组件20被关闭时,或者当接近零的压力被施加到入口端口30并且MFC 5处于例如60psia而且流量控制阀组件20被关闭时,差分换能器(如下面的图3所示)两端的压降无法超过10psid。尽管图1描绘了使用入口孔块31,但是应理解的是,可以使用其他流量限制装置来保护差压换能器免受压力尖峰。可以通过用下面描述的PID控制器45实现的固件检查来减轻出口35处过大的压力尖峰。该固件检查可用于在压降超过10psid时关闭流量控制阀组件20的阀。

[0039] 入口孔的尺寸设置要求求解控制流体流量的两个主要微分方程:

[0040] 1.质量守恒。

[0041] 2.流体流量动量守恒。

[0042] 该解可通过使用诸如Matlab的Simscape物理建模软件包之类的可用工具构造物理符号模型来获得。图2是可用于设置入口孔的尺寸的示例性物理符号模型。插入用于各种机械部件的典型值,然后使MFC 5中可以使用的各种气体循环通过,导致MFC的以下被设计成以标称N₂流量操作的孔尺寸,如下面表1中所示。

[0043] 应当注意,表1中所示的结果仅代表MFC 5的这种机械配置。更新要使用的Matlab Simscape模型反映这些不同的机械配置将导致不同的入口孔尺寸。

表 1

防止 dp 传感器因 60 psi 的压力瞬变而损坏的典型入口孔尺寸

N ₂ 流量 (sccm)	入口孔直径 (英寸)
30	0.010
100	0.011
1000	0.021
10000	0.063

[0044] 入口孔可以用于防止在典型的机器启动(例如,对MFC充电)或停机(例如,抽空MFC)期间对差压换能器的永久机械损坏。入口孔块31的示例入口的直径为约0.010英寸至约0.070英寸。

[0045] 继续参考图1,MFC 5还包含在流量控制阀组件20上游的层流元件40。在流量控制阀组件20上游具有层流元件40并被设计用于与低范围差分换能器一起使用的MFC能够以与相应的基于压力的MFC相比低得多的入口压力操作,该基于压力的MFC在流量控制阀组件25下游具有层流元件,但被设计用于在类似范围的出口压力范围内操作。层流元件40可以被配置为确保小流动通道内的层流由于流体内的剪切力而产生压降。组合式绝对压力和差压换能器组件25可以在流量控制阀组件20的上游耦合至流动通路15。组合式绝对压力和差压换能器组件25包含至少一个绝对压力换能器和至少一个差压换能器(在下图3中示出)。组合式绝对压力和差压换能器组件25确定绝对压力以及层流元件40两边的差压降。这样,层流元件40将流动通路15分成包含单独腔体的两个部分。层流元件40的上游是流动通路15的第一部分,即被称为供给体积41的第一腔体。供给体积41包含供给到MFC 5的入口端口30中的流体体积,所述流体体积没有前进通过层流元件40。层流元件40的下游设置有流动通路15的第二部分,即被称为储存体积42的第二腔体,到流量控制阀组件20的流动从该第二腔体行进。储存体积42包含已经前进通过层流元件40的流体体积。供给体积41和储存体积42的两个腔体可以是介质隔离的并且根据需要填充有硅油或其他合适的液体。供给体积41内的流体体积相对于储存体积42可被最大化,因为组合式绝对压力和差压换能器组件25上游的流体体积可有助于减缓MFC 5中响应于流体流量的故意变化的压力瞬变或者由入口孔块31上游的压力变化引起的压力瞬变。储存体积42中的流体体积相对于供给体积41内的流体体积可被最小化,因为储存体积42中相对于供给体积41增加的流体体积可不利地影响一些应用中的性能,因为该增加的流体体积可影响MFC 5对压力瞬变的灵敏度。由此,相对于在层流元件40和组合式绝对压力和差压换能器组件25下游的储存体积42,被称为供给体积41的上游腔体可以被配置为更大和/或包含更大的流体体积。

[0046] 继续看图1,MFC 5进一步包含比例-积分-导数(下文称为“PID”)控制器45,其可以包含逻辑、电路系统、存储器和一个或多个处理元件(处理器)。虽然在该具体示例中示出了

PID控制器,但是应当理解,PID控制器仅仅是许多可能的阀控制器中的一个,这对于本领域的普通技术人员是显而易见的。例如,在一些实施例中,PID控制器45可以替代超前-滞后控制器、增益-超前-滞后控制器(例如,如通过引用整体并入本文的美国专利第6,962,164号中所描述),或足以用于本申请的任何其他控制器。该控制器可以实施为硬件或固件。该PID控制器45被配置为用于根据指示期望质量流量的设定点来控制该流量控制阀组件20内的阀的位置。例如,在一个实施例中,PID控制器45从组合式绝对压力和差压换能器组件25接收绝对压力和差压以及指示通过层流元件40的期望流量的设定点信号。PID控制器45使用所接收的信息将绝对压力、差压以及流体属性和层流元件40的特性两者的知识转换成指示通过层流元件40的质量流量的信号。例如,在一个实施例中,PID控制器45被配置为使用等式1来将压降与体积流量相关联,然后可以使用给定温度和压力下的密度校正将该体积流量转换成质量流量。然后,PID控制器45可生成阀驱动信号,该阀驱动信号用于控制流量控制阀组件20,使得指示通过层流元件40的质量流量的信号基本上与所接收的设定点信号匹配。例如,在一个实施例中,阀驱动信号是基于误差信号和反馈信号来生成的,该误差信号是指示流体的期望质量流量的设定点信号和与由PID控制器45使用组合式绝对压力和差压换能器组件25确定的实际质量流量相关的反馈信号之间的差。在一些示例中,设定点信号的期望流量小于或等于10%。在一些示例中,出口压力可高于约2psia。

[0048] 在一个实施例中,电路板50可以附接到组合式绝对压力和差压换能器组件25的背面。在某些实施例中,电路板50可以包括闪存和柔性电缆连接器。电路板50还可以提供用于安装任何换能器专用平衡或其他调整电阻器的位置。在一些实施例中,电路板50可以具有存储器部件,这些存储器部件被配置为存储数据,例如但不限于用于组合式绝对压力和差压换能器组件25的校准数据。电路板50可以包括一个或多个加速计,以允许自动校正重力或加速度对测量压力的影响。电路板50还可以包括仪器放大器或被配置为放大绝对压力换能器和差压换能器的输出信号的其他放大器,以及其他部件。电路板50可以由来自组合式绝对压力和差压换能器组件25的销支撑,这些销提供与包含在组合式绝对压力和差压换能器组件25内的绝对压力换能器和差压换能器的电连接。在一些实施例中,电路板50可以包括一个或多个凹口或孔,以在任何绝对和差动换能器安装螺钉头周围提供间隙。

[0049] 图3示出了组合式绝对压力和差压换能器组件25的示意图。组合式绝对压力和差压换能器组件25包含主体100,该主体具有一个被称为换能器组件腔体105的腔体,该腔体105与供给体积41流体连通。在一些实施例中,换能器组件腔体105由将绝对传感器连接到差压传感器的上游侧的组件25形成。另外,在差压传感器的下游侧存在另一个较小的腔体。在下游的较小的腔体是由下游差压换能器的焊接封盖形成的腔体。组合式压力传感器的上游部分和下游部分中的体积也对供给体积和储存体积有贡献。换能器组件腔体105可经由压力端口110暴露于层流元件(例如,如图1所示的层流元件40)上游的压力。作为示例,在一个实施例中,压力端口110是被机加工到本体100的面中的密封件细节。邻近换能器组件腔体105的是绝对压力膜115和上游差压膜120。绝对压力膜115是绝对压力换能器125的部件。上游差压膜120是差压换能器130的部件,该差压换能器130还包含下游差压膜135,该下游差压膜通过压力端口140暴露于层流元件(例如,如图1所示的层流元件40)下游的压力。绝对压力膜115、上游差压膜120和下游差压膜135可以包含柔性波纹状金属膜片。换能器组件腔体105可以是介质隔离的并且填充有硅油或其他合适的液体。绝对压力

换能器125可以报告换能器组件腔体105中的绝对压力。在一个实施例中，绝对压力换能器125可以包含压阻半导体压力传感器，但是可以使用其他技术。在所公开的实施例中，差压换能器130报告层流元件的相对侧的差压。在一个实施例中，差压换能器130可以包含压阻半导体压力换能器，但是可以使用其他技术。

[0050] 在一个实施例中，绝对压力膜115、上游差压膜120和下游差压膜135可以包含由任何合适的金属（诸如高纯度不锈钢或 **Hastelloy[®]**（哈氏合金国际公司（Haynes International）的注册商标）或其他合适的材料制成的薄柔性膜片。薄金属膜片可被制造成具有精确指定的轮廓（例如，指定为+/- 0.15mm的轮廓），并被定位成从绝对压力换能器125或差压换能器130的面略微突出。

[0051] 在所示实施例中，压力端口110和140定位在一起。使端口110和140定位在一起可以是用于高流量应用的优选实施例，在该高流量应用中，速位差可以是压降的重要贡献者，并且在该高流量应用中，端口位置的小变化可以使所感测的压力发生显著变化。

[0052] 图4示出了MFC（通常为305）的替换实施例。MFC 305基本上类似于图1的MFC 5；然而，图1的组合式绝对压力和差压换能器组件25已经被差压换能器组件310替代，该差压换能器组件310包含与图3的上游差压膜120、下游差压膜135和差压换能器130类似的上游差压膜、下游差压膜和差压换能器。然而，在该特定实施例中，没有与差压换能器定位在一起的绝对压力换能器。相反，绝对压力换能器可与差压换能器组件310分开地定位在层流元件40上游的位置处，例如定位在与供给体积41流体连通的位置315处；或者可选地定位在层流元件40下游的位置处，例如定位在与储存体积42流体连通的位置320处。

[0053] 将绝对压力换能器定位在层流元件40的上游，即定位在位置315处或如图1所示使其与绝对压力换能器定位在一起，可通过最小化储存体积42的体积来改进一些应用中的性能。这样，上游绝对压力传感器位置是MFC 5的优选位置，并且在某些实施例中是MFC 305的优选位置；然而，应当理解的是，将绝对压力换能器定位在层流元件40的下游，例如定位在位置320处仍然提供了足以适用于大多数应用的MFC。

[0054] 呈现了并入本文所公开的示例的一个或多个说明性示例。为了清楚起见，在本申请中没有描述或示出物理实现的所有特征。因此，所公开的系统和方法很好地适于获得所提及的目的和优点，以及其中固有的目的和优点。上文所公开的特定示例仅为说明性的，因为本公开的教示可以不同但等效的方式修改和实践，这对于受益于本文中的教示的所属领域的技术人员来说是显而易见的。此外，除了在下面的权利要求书中所描述的之外，不期望对在此示出的构造或设计的细节进行限制。因此，明显的是，可以改变、组合或修改以上公开的具体说明性示例，并且所有此类变化被认为在本公开的范围内。本文说明性公开的系统和方法可以在不存在本文未具体公开的任何要素和/或本文公开的任何任选要素的情况下适当地实施。

[0055] 虽然已经详细描述了本公开及其优点，但是应当理解，在不脱离由所附权利要求限定的本公开的精神和范围的情况下，可以进行各种改变、替换和变更。

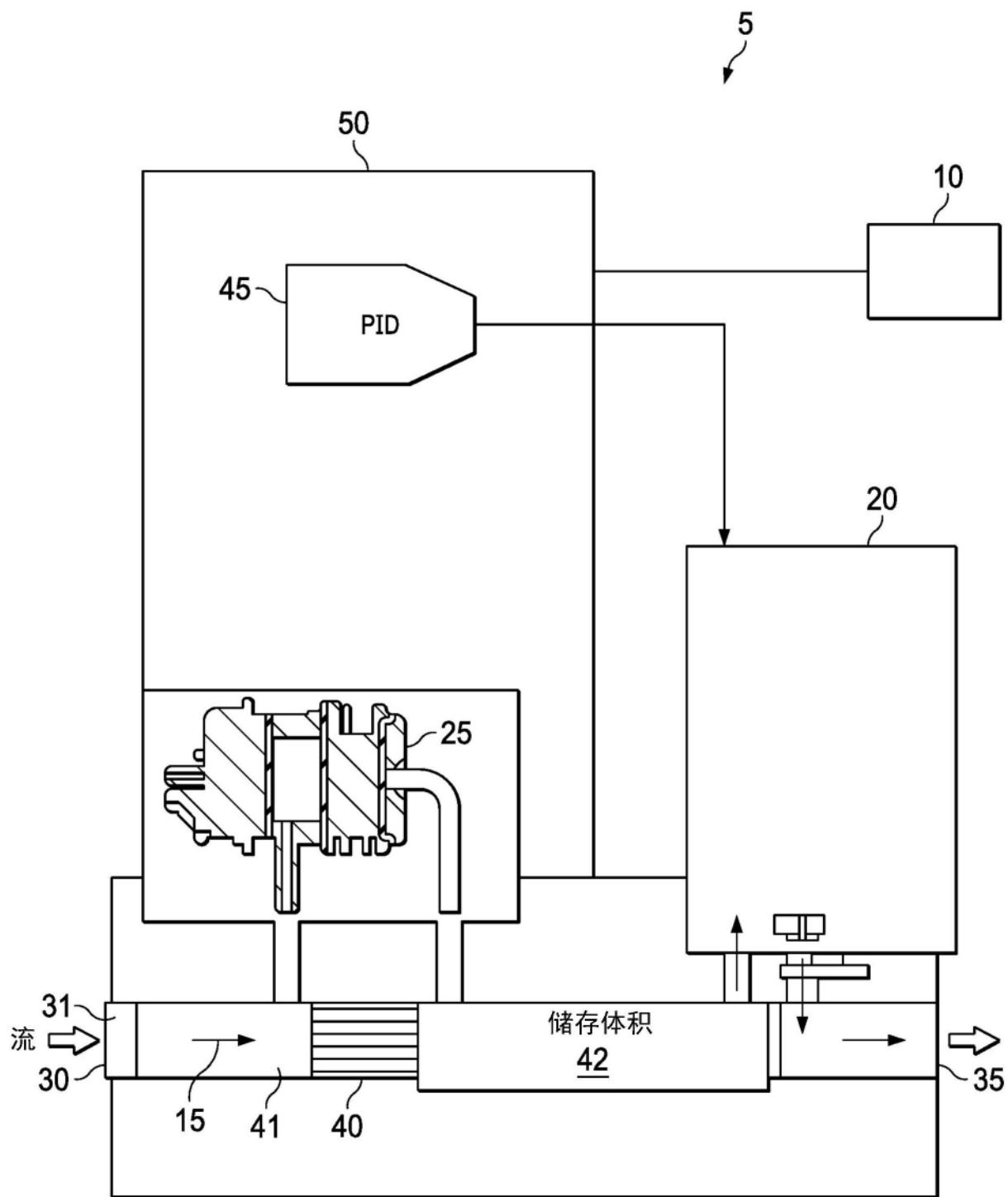


图1

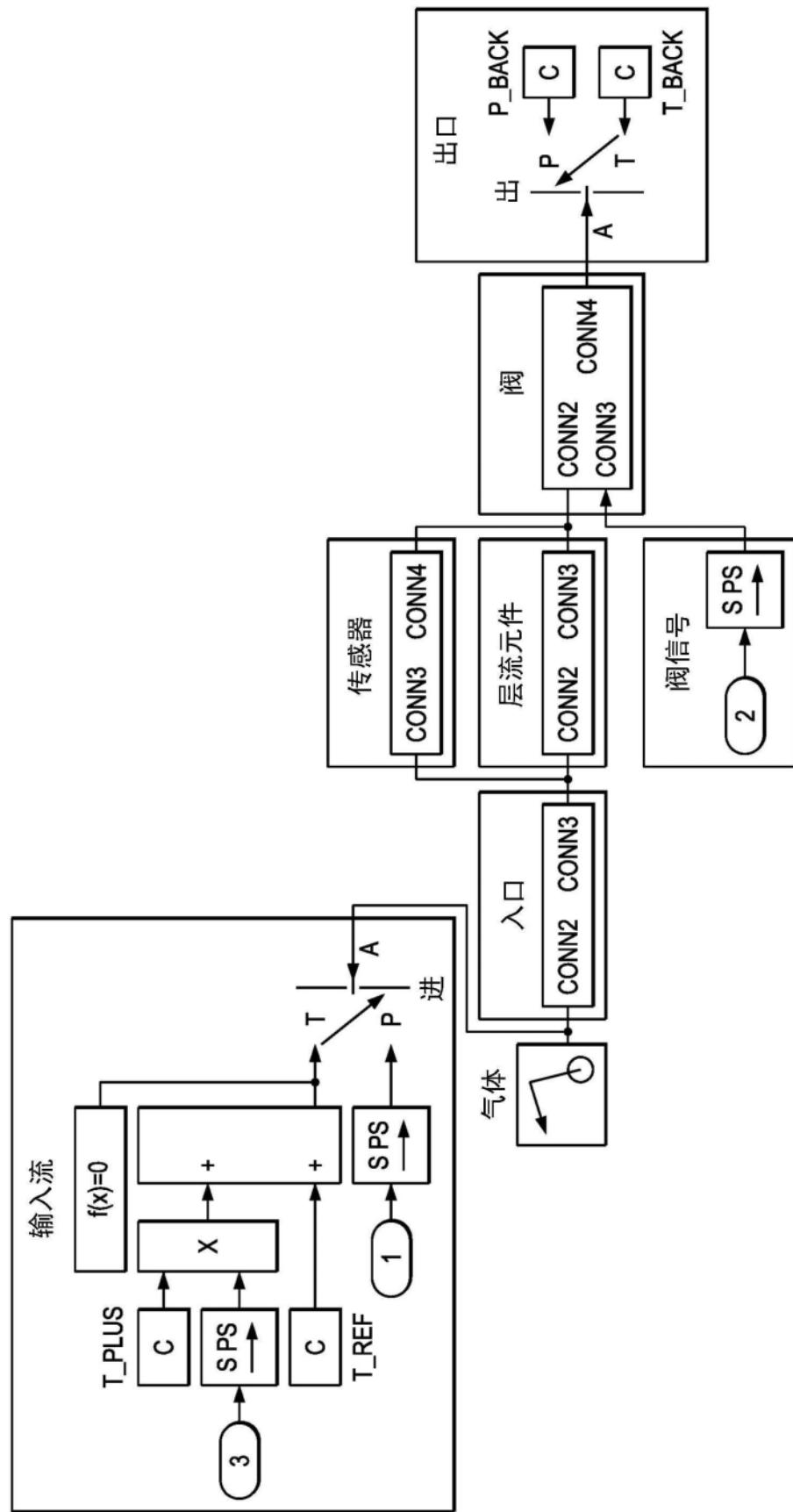


图2

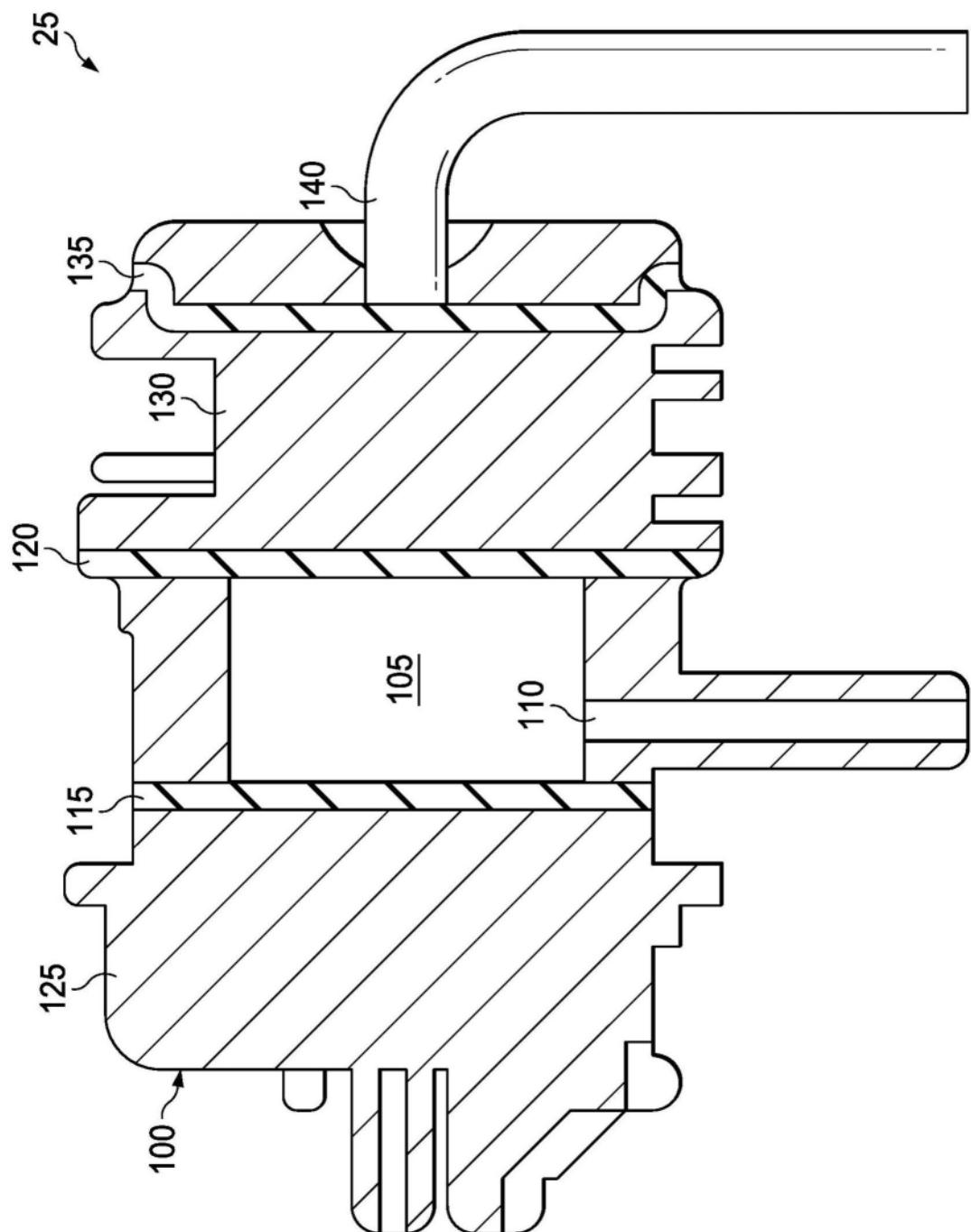


图3

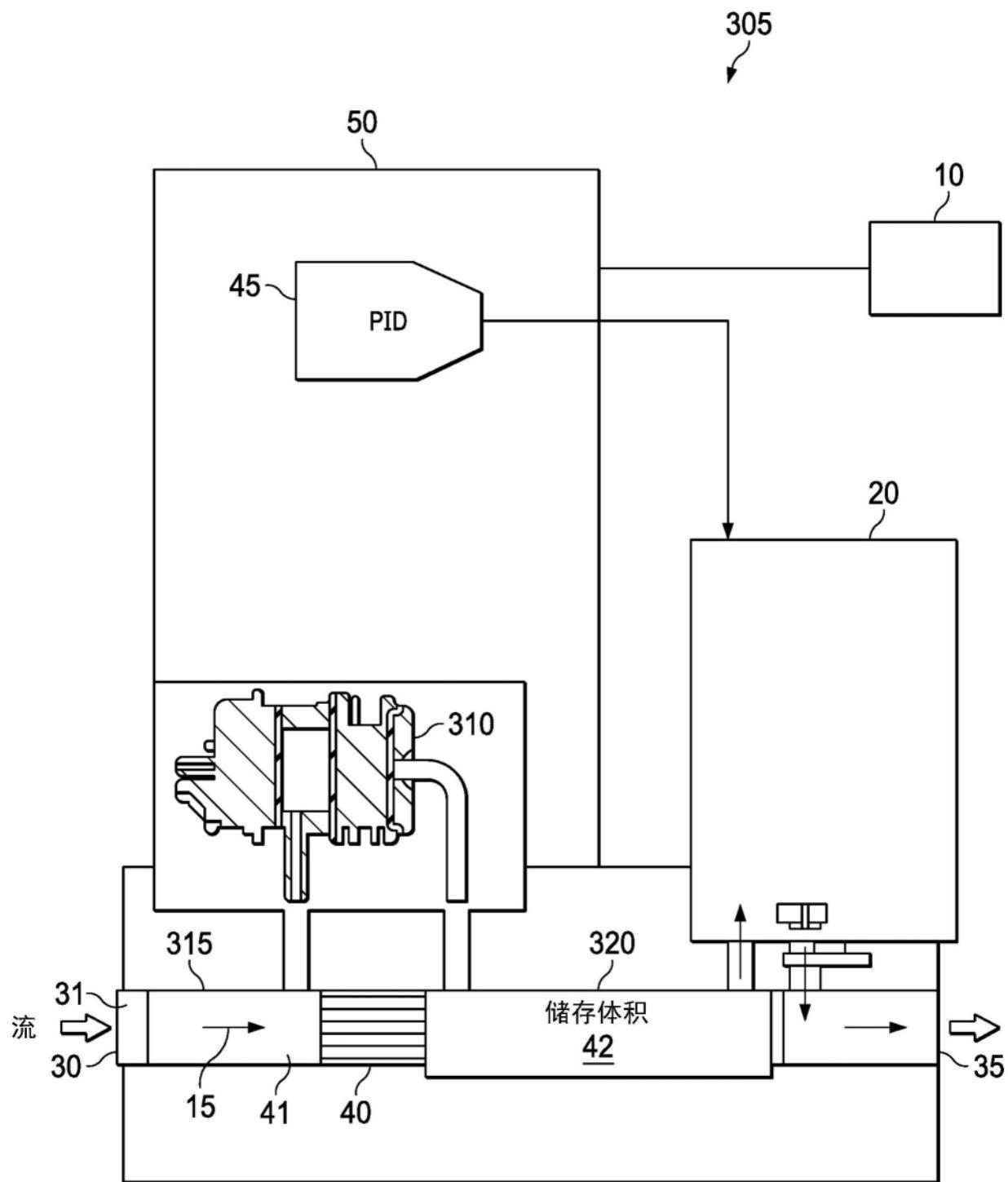


图4