



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101978245 B

(45) 授权公告日 2013. 08. 21

(21) 申请号 200980109388. 6

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2009. 01. 21

G01F 25/00 (2006. 01)

(30) 优先权数据

(56) 对比文件

12/050, 597 2008. 03. 18 US

US 20060283254 A1, 2006. 12. 21, 说明书第 [0002]-[0054] 段, 权利要求 1-21, 附图 1.

(85) PCT 申请进入国家阶段日

US 5526674 A, 1996. 06. 18, 全文.

2010. 09. 16

CN 2251715 Y, 1997. 04. 09, 全文.

(86) PCT 申请的申请数据

WO 0233361 A2, 2002. 04. 25, 全文.

PCT/US2009/031496 2009. 01. 21

WO 2006017116 A2, 2006. 02. 16, 全文.

(87) PCT 申请的公布数据

WO 2006099576 A1, 2006. 09. 21, 全文.

W02009/117169 EN 2009. 09. 24

WO 2007008509 A2, 2007. 01. 18, 全文.

(73) 专利权人 MKS 仪器公司

审查员 宋艳杰

地址 美国马萨诸塞州

(72) 发明人 丁军华 K·扎尔卡

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

代理人 蔡胜利

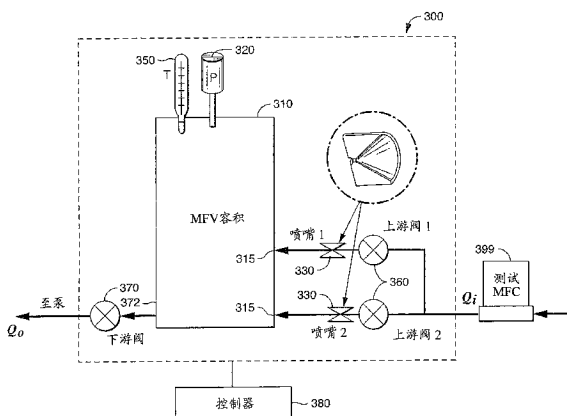
权利要求书4页 说明书7页 附图3页

(54) 发明名称

具有多个入口的高精度质量流量检验器

(57) 摘要

公开了一种用于检验由流体输送设备进行的流量测量的高精度质量流量检验器 (HAMFV), 其提供在具有低入口压强的宽流量检验范围上的高测量精度。HAMFV 包括界定具有上游阀的数量为 N 的入口的腔室、具有下游阀的出口、构造成分别测量腔室内的流体的压强和温度的压强传感器以及温度传感器。数量为 N 的临界流量喷嘴放置在相应上游阀附近。HAMFV 进一步包括控制器, 该控制器构造成根据期望的流量检验范围和流体类型, 通过打开相应的上游阀并关闭其它所有的上游阀来启动数量为 N 的临界流量喷嘴中的一个。数量为 N 的临界流量喷嘴中的至少两个具有不同的截面面积。



CN 101978245 B

1. 一种质量流量检验器,用于检验由流体输送设备进行的流体的流量测量,所述质量流量检验器包括:

腔室,其界定数量为 N 的入口,所述腔室构造成在所述入口中的每个处接收来自所述设备的流体的流;

压强传感器,其构造成测量所述腔室内的所述流体的压强;

数量为 N 的临界流量喷嘴,每个临界流量喷嘴位于所述入口中的对应一个附近,每个临界流量喷嘴沿着从所述设备穿过对应入口至所述腔室的所述流体的流动路径位于所述腔室的上游;

其中,对于所有的 i 而言,第 i 个临界流量喷嘴构造成在关于所述第 i 个临界流量喷嘴的临界流量时期 $t_{cf,i}$ 内保持流过所述第 i 个临界流量喷嘴的流体的流率基本上恒定,其中 $i=1, \dots, N$; 并且基本上不受所述腔室内的压强变化影响,以及所述的质量流量检验器进一步包括控制器,所述控制器被构造成根据期望的流率检验范围以及根据所述流体的流体类型来选择性地启动所述数量为 N 的临界流量喷嘴中的一个,以便由所述质量流量检验器进行流量检验操作。

2. 根据权利要求 1 所述的质量流量检验器,进一步包括数量为 N 的上游阀,每个上游阀与所述临界流量喷嘴中的对应一个相关联;

其中,通过打开对应的上游阀并关闭其它所有的上游阀,能够启动所述临界流量喷嘴中的每一个。

3. 根据权利要求 2 所述的质量流量检验器,其中,每个临界流量喷嘴位于对应的上游阀之前或之后。

4. 根据权利要求 2 所述的质量流量检验器,其中,每个临界流量喷嘴位于对应的上游阀附近。

5. 根据权利要求 2 所述的质量流量检验器,进一步包括构造成开启或关闭来自所述腔室的出口的所述流体的流量的下游阀。

6. 根据权利要求 1 所述的质量流量检验器,其中,对于所有的 i 而言,所述第 i 个临界流量喷嘴的所述临界流量时期 $t_{cf,i}$ 与所述第 i 个临界流量喷嘴的截面面积 A_i 成反比,其中 $i=1, \dots, N$; 并且

其中,所述数量为 N 的临界流量喷嘴中的至少两个具有不同的截面面积。

7. 根据权利要求 6 所述的质量流量检验器,其中,当所述期望的流率检验范围较高时,具有较大尺寸的临界流量喷嘴构造成向质量流量检测器提供较低的入口压强。

8. 根据权利要求 6 所述的质量流量检验器,其中,当所述期望的流率检验范围较低时,具有较小尺寸的临界流量喷嘴构造成增加测量时间,由此增加测量精度。

9. 根据权利要求 1 所述的质量流量检验器,进一步包括构造成测量所述腔体内的所述流体的温度的温度传感器。

10. 根据权利要求 1 所述的质量流量检验器,其中,所述第 i 个临界流量喷嘴构造成在其的临界流量时期 $t_{cf,i}$ 内使得流过的流体满足临界流量条件,其中 $i=1, \dots, N$; 并且其中,对于所述 N 个临界流量喷嘴中的每一个,所述临界流量条件由

$$\frac{P_d}{P_u} \leq \alpha_{pc} = \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

以数学方式给出,其中,

P_d 是所述腔室内的所述流体的压强,并且也是所述第 i 个临界流量喷嘴的下游压强,

P_u 是所述第 i 个临界流量喷嘴上游的所述流体的压强,

γ 是定义为 $\gamma = C_p/C_v$ 的所述流体的比热比,其中 C_p 是在恒定压强下的所述流体的热容,而 C_v 是在恒定容积下的所述流体的热容,以及

α_{pc} 是临界压强比,表示 P_d 和 P_u 之间的最大容许比率,此时流过所述 N 个临界喷嘴中的每一个的流体的流量将保持基本上恒定,并且基本上不受所述腔室内的的压强的任何变化影响。

11. 根据权利要求 5 所述的质量流量检验器,其中,所述控制器进一步构造成控制所述下游阀、所述上游阀、所述压强传感器和所述温度传感器;并且

其中,所述控制器进一步构造成在所述下游阀关闭之后测量所述腔室内的所述流体的压强的上升率,利用所测量的上升率来计算从所述设备进入所述腔室的所述流体的流率,由此检验由所述设备进行的测量。

12. 根据权利要求 11 所述的质量流量检验器,其中,所述第 i 个临界流量喷嘴的所述临界流量时期 $t_{cf,i}$ 定义在当所述下游阀关闭的时间点到当 P_d 和 P_u 之间的比率超过临界压强比极限 α_{pc} 的时间点之间,这由

$$t_{cf,i} = \frac{V_c \cdot (\alpha_{pc} - \alpha_{p0})}{C_i \cdot A_i \cdot f_g(M, \gamma, T)}$$

给出,其中

V_c 是在所述质量流量检验器的所述腔室的容积,

α_{p0} 是在所述下游阀关闭之前的时刻,所述喷嘴的上游与下游之间的初始压强比,

C_i 是第 i 个临界流量喷嘴的流量系数,其中 $i=1, \dots, N$,

A_i 是所述第 i 个喷嘴的喷嘴喉部的截面面积,其中 $i=1, \dots, N$,

$f_g(M, \gamma, T)$ 是气体特性的函数,定义为

$$f_g(M, \gamma, T) = \left(\frac{RT}{M} \frac{2\gamma}{\gamma+1} \right)^{1/2} \cdot \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{1/(\gamma-1)}$$

其中

M 是所述流体的分子量,

R 是普适气体常数,

T 是所述流体的温度,以及

γ 是所述流体的比热比。

13. 根据权利要求 12 所述的质量流量检验器,其中,在所述控制器启动所述第 i 个临界流量喷嘴时,所述压强传感器和所述温度传感器构造成在所述临界时期 $t_{cf,i}$ 内对所述第 i 个临界流量喷嘴进行测量,以至于所述质量流量检验器的流量检验与变化的腔室压强以及所述质量流量检验器和被测设备之间的外部容积基本无关。

14. 根据权利要求 12 所述的质量流量检验器,其中,在所述第 i 个临界流量喷嘴启动时,所述控制器构造成由如下步骤检验所述设备的测量,其中 $i=1, \dots, N$:

a) 打开所述下游阀,并且根据从主控制器或用户接收到的所述期望的流量检验范围和所述流体类型来启动第 i 个上游阀;

b) 由所述主控制器或所述用户设定被测设备的流量设置点;

c) 等待,直至所述腔室内的压强达到稳定状态并且稳定化;

d) 开始测量所述腔室内的所述流体的压强和温度,以便进行流量检验计算;

e) 关闭所述下游阀,以至于所述腔室内的压强上升;

f) 在小于关于所述第 i 个临界流量喷嘴的临界流量时期 $t_{cf,i}$ 的时期,保持测量所述腔室内的所述流体的压强和温度,用于流量检验;

g) 在当所述下游阀关闭时测量的临界时期内,打开所述下游阀;以及

h) 计算进入所述腔室的所述流体的流率,利用

$$Q_{in} = \frac{k_0 \cdot T_{stp} \cdot V_c}{P_{stp}} \frac{d\left(\frac{P}{T}\right)}{dt}$$

其中 V_c 是所述质量流量检验器的腔室容积,

T_{stp} 是标准气体温度,其为 273.15K,

P_{stp} 是标准气体压强,其为 1.01325e5Pa,

k_0 是 6×10^7 , 单位为标准立方厘米每分钟,以及 6×10^4 , 单位为标准升每分钟,

P 是由所述压强传感器测量的所述流体的压强,

T 是由所述温度传感器测量的所述流体的温度。

15. 根据权利要求 1 所述的质量流量检验器,其中,所述设备包括如下之一:质量流量计;质量流量控制器;以及流量比率控制器。

16. 一种用于检验由设备进行的流体的流量测量的方法,包括:

沿着在质量流量检验器的腔室和所述设备之间的所述流体的流动路径放置数量为 N 的临界流量喷嘴;

根据所述期望的流率检验范围以及根据所述流体的流体类型来选择性地启动 N 个临界流量喷嘴的第 i 个,以至于在为所述第 i 个喷嘴定义的临界流量时期 $t_{cf,i}$ 内,流过所述第 i 个喷嘴的所述流体的流量与所述第 i 个喷嘴上游的所述流体的压强基本上稳定,并且基本上不受所述腔室内的压强上升影响,其中 $i=1, \dots, N$;

当所述腔室上游的入口阀和所述腔室下游的出口阀保持打开时,引起所述流体沿着从所述设备穿过第 i 个入口进入所述腔室的流动路径流动;

允许进入所述腔室的所述流体的流率和所述腔室内的所述流体的压强达到稳定状态;

关闭所述腔室下游的所述出口阀,以至于所述腔室内的所述流体的压强开始上升;以及

在所述临界流量时期 $t_{cf,i}$ 内,测量流体压强和流体温度,以测量所述腔室内的所述流体的压强的上升率,并利用所测的压强的上升率来计算所述流体的流率以及流体温度的测量。

17. 根据权利要求 16 所述的方法,其中,所述 N 个临界流量喷嘴中的每一个构造和布置

成使得对于所述第 i 个喷嘴,流过该喷嘴的流体的流量在关于该喷嘴的临界流量时期 $t_{cf,i}$ 内受到限制,以至于在 $t_{cf,i}$ 内满足临界流量条件,其中 $i=1, \dots, N$ 。

18. 根据权利要求 16 所述的方法,其中,计算所述流体的流率的行为包括利用下面给出的数学公式:

$$Q_m = \frac{k_0 \cdot T_{stp} \cdot V_c}{P_{stp}} \frac{d\left(\frac{P}{T}\right)}{dt}$$

其中 P 和 T 由所述压强传感器和所述温度传感器在检验时期测量,所述检验时期在所述临界流量时期内,以至于变化的腔室压强不会影响到被测设备的下游压强,其中:

V_c 是所述质量流量检验器的腔室容积,

T_{stp} 是标准气体温度,其为 273.15K,

P_{stp} 是标准气体压强,其为 1.01325e5Pa,

k_0 是 6×10^7 ,单位为标准立方厘米每分钟,以及 6×10^4 ,单位为标准升每分钟。

19. 一种增加质量流量检验器的精度和工作流量范围的方法,所述质量流量检验器检验由流体的流率的流量测量设备进行的测量,所述质量流量检验器包括构造成接收来自所述流量测量设备的流体的流的腔室、构造成测量所述腔室内的所述流体的压强的压强传感器以及构造成测量所述腔室内的所述流体的温度的温度传感器,所述方法包括:

在所述流量测量设备和所述腔室之间提供数量为 N 的临界流量喷嘴;以及

根据期望的流率检验范围以及根据所述流体的流体类型来通过打开对应的上游阀和关闭其它所有的上游阀,选择性地启动所述 N 个临界流量喷嘴中的一个。

20. 根据权利要求 19 所述的方法,进一步包括:根据期望的流量检验范围、流体类型和质量流量检测器的最大入口压强要求来选择所述临界流量喷嘴的最佳孔口尺寸。

具有多个入口的高精度质量流量检验器

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请是如下申请的部分继续申请：1) 于2005年3月25日提交的第11/090,120号美国专利申请(“'120”申请),代理人案号MKS-155,题为“External Volume Insensitive Flow Verification”;2) 于2006年6月30日提交的第11/479,092号美国专利申请(“'092”申请),代理人案号MKS-180,题为“Critical Flow Based Mass Flow Verifier”;3) 于2007年6月27日提交的第11/769,435号美国专利申请(“'435”申请),代理人案号MKS-188,题为“Mass Flow Verifier Capable of Providing Different Volumes, And Related Methods”。通过引用,将这些申请的内容全部合并于此,视同完整地阐明。

[0003] 背景

[0004] 在诸如半导体晶元制造和其它类型的材料加工的应用中,高精度流体输送和测量系统,例如质量流量控制器(MFC)、质量流量比率控制器(FRC)和质量流量计(MFM),是有用的。在许多情况下,需要检验这些流体输送系统的精度。

[0005] 质量流量检验器(MFV)可用于检验MFC、FRC、MFM或其它被测设备(DUT)的精度。一种类型的质量流量检验器是上升率(ROR)流量检验器。典型的ROR流量检验器可包括腔室容积(chamber volume)、压强传感器、温度传感器和两个隔离阀,一个上游和一个下游。阀可在空闲时关闭,并且当启动运行时可打开,以使流体从MFC(或MFM)流过流量检验器。一旦流体流量已经稳定,下游阀可关闭,所以容积内的压强可开始上升。压强传感器可测量到压强的上升。这一测量可用于计算MFV的入口流率,由此检验DUT的流量精度性能。

[0006] MFV的精度可通过增加测量时间来提高。然而,构造提供在非常低流率范围上的高测量精度并且同时还提供具有低入口压强的宽流量检验范围的MFV,更有挑战性。

[0007] 因此,希望一种提供在较宽流量范围上的改良精度,而不会超过期望的入口压强的MFV。

[0008] 概要

[0009] 用于检验流体输送设备的流量测量的高精度质量流量检验器(HAMFV)包括腔室容积,腔室容积界定数量为N的入口和一出口。HAMFV可包括用于N个入口中的每一个的上游阀,以及用于出口的下游阀。HAMFV可进一步包括构造成测量腔室容积内的流体的压强的压强传感器。

[0010] HAMFV可进一步包括数量为N的临界流量喷嘴(critical flownozzle)。每一个临界流量喷嘴可放置在入口之一的相应上游阀附近。HAMFV可进一步包括控制器,该控制器构造成根据期望的流量检验范围和流体类型,通过打开相应的上游阀并关闭其它所有的上游阀来选择性地启动数量为N的临界流量喷嘴中的一个。数量为N的临界流量喷嘴中的至少两个可以具有不同的截面面积。

[0011] HAMFV能够提供在具有低入口压强的宽流量检验范围上的高测量精度。

[0012] 附图简要说明

[0013] 图1说明了包括单个临界流量喷嘴的质量流量检验器。

[0014] 图2是说明临界流量时期的曲线图。

[0015] 图 3 说明了根据本公开内容的一个实施方式的包括多个入口和临界流量喷嘴的高精度质量流量检验器。

[0016] 详述

[0017] 在本公开内容中,所描述的高精度质量流量检验器使用不同尺寸的多个临界流量喷嘴。多个临界流量喷嘴的使用允许 HAMFV 运行于较宽流量范围而不会超过 HAMFV 的入口压强要求。对于较高的流率检验范围,具有较大尺寸的喷嘴向 HAMFV 提供较低的入口压强,以便 HAMFV 满足 MFV 的最大入口压强要求(安全要求)。对于较低的流率检验范围,具有较小尺寸的喷嘴提供较大的临界流量时期或长的测量时间,由此改善压强信噪比,从而提高流量检验的精度。

[0018] 图 1 说明了包括单个临界流量喷嘴的质量流量检验器,例如在 MKS-180 母申请中所描述的。在图 1 所说明的实施方式中, MFV 100 是上升率类型的 MFV,其中流入封闭腔室的流体的压强的上升率被测量且用于检验进入腔室的流率。特别地, MFV 100 是基于临界流量的 MFV,包括流量限流器 140,在所说明的实施方式中,该限流器为临界流量喷嘴 140。

[0019] 如下面进一步描述的,临界流量喷嘴 140 保持经过喷嘴 140 的流量稳定,以至于 MFV 100 所检测的质量流量基本上不受腔室内的上升压强影响。因此,临界流量喷嘴 140 大大地最小化对 DUT 的下游压强扰动,以至于 DUT 具有在流量检验过程中的最小化流量波动。临界流量喷嘴 140 还借助 MFV 100 来实施质量流量检验,这基本上不受临界流量喷嘴 140 和 DUT 之间的任意外部容积影响。实际上,临界流量喷嘴 140 和 DUT 之间的外部容积与由基于临界流量的 MFV 所进行的流率检验或其它计算无关。这一特性被称为外部容积不敏感(EVI)。基于临界流量的 MFV 的 EVI 特性大大地简化了 MFV 至半导体制造工具上的气体显示屏的集成,因为不需要确定在具有不同流动路径的基于临界流量的 MFV 和 DUT 之间的外部容积。

[0020] MFV 100 包括容纳来自 DUT 110 的流体流的封闭腔室容积 130。DUT110 是提供流体流率的典型质量流量控制器或质量流量比率控制器。下游出口阀 150 开启和关闭来自腔室 130 的流体流。上游入口阀 120 开启和关闭从 DUT 110 进入腔室 130 内的流体流。MFV 100 进一步包括构造成分别测量腔室 130 内的流体的压强和温度的压强传感器 170 和温度传感器 180。

[0021] ROR MFV 的基本原理是在腔室 130 上的质量平衡。利用质量平衡方程,并且对腔室中的气体应用理想气体定律,根据下面等式,通过测量在 MFV 的腔室中的气体压强和气体温度,能够得到入口气体流率:

$$[0022] \quad Q_{in} = \frac{k_0 \cdot T_{stp} \cdot V_c}{P_{stp}} \frac{d}{dt} \left(\frac{P}{T} \right) \quad (1)$$

[0023] 其中, k_0 是转换常数,即 6×10^7 , 单位为 sccm(标准立方厘米每分钟),或者 6×10^4 , 单位为 slm(标准升每分钟); P_{stp} 是标准压强 (1.01325×10^5 Pa), T_{stp} 是标准温度 (273.15K), 其中 P 是腔室气体压强, V_c 是腔室容积,而 T 是气体温度。

[0024] MFV 100 包括控制器 160,控制器 160 接收来自压强传感器 170 和温度传感器 180 的输出信号,并且控制上游阀 120 和下游阀 150 的运行。在关闭下游阀之后,控制器 160 测量腔室内的流体的压强的上升率,并且利用所测量的随时间和温度变化的压强上升率,根据等式 (1), 计算从 DUT 进入腔室的流体的流率,由此检验 DUT 的流量测量。

[0025] 典型的质量流量检验步骤如下：

[0026] 1. 打开上游阀 120 和下游阀 150；

[0027] 2. 设定 DUT 的流量设置点；

[0028] 3. 等待，直至腔室压强处于稳定状态；

[0029] 4. 开始记录腔室气体压强和腔室气体温度，以便进行流量计算；

[0030] 5. 关闭下游阀 150，以至于腔室压强上升；

[0031] 6. 等待用于流量检验的一段时期；

[0032] 7. 打开下游阀 150；

[0033] 8. 停止记录腔室气体压强和腔室气体温度；

[0034] 9. 根据等式 (1)，计算并报告所检验的流量。

[0035] 临界流量喷嘴 140 构造成保持流体流为临界流量，此时改变腔室压强或喷嘴的下游压强将不会影响进入腔室容积的入口质量流量。在临界流量状态下，经过喷嘴的流量 (Q_{in}) 只由喷嘴的上游压强 (P_u) 所决定，并且不会受到喷嘴的下游压强 (P_d) 所影响，如下面等式所描述：

$$[0036] \quad Q_{in} = C \cdot A \cdot P_u \cdot f_g(M, \gamma, T) \quad (2)$$

$$[0037] \quad \text{对于} \frac{P_d}{P_u} \leq \alpha_{pc} = \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} \quad (3)$$

$$[0038] \quad \text{其中} f_g(M, \gamma, T) = \left(\frac{R \cdot T}{M} \frac{2\gamma}{\gamma + 1} \right)^{1/2} \cdot \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{1/(\gamma - 1)} \quad (4)$$

[0039] 在上面等式中，C 是喷嘴的流量系数，A 是喷嘴孔口的截面面积， P_u 是喷嘴的上游压强， P_d 是喷嘴的下游压强，并且还是 MFV 100 的腔室压强，R 是普适气体常数，T 是气体温度，M 是气体分子量，而 γ 是定义为 $\gamma = C_p/C_v$ 的气体比热比，其中 C_p 是在恒定压强下的流体的热容，而 C_v 是在恒定容积下的流体的热容。为了满足临界流量条件，喷嘴的上游压强与下游压强之间的比值必须小于临界压强比 α_{pc} ，根据等式 (3)， α_{pc} 由腔室内的流体或气体的特性所决定。

[0040] 只要等式 (3) 的临界流量条件保持，喷嘴下游压强或腔室压强将不会影响流过限流器的质量流率，且根据等式 (2)，增加流率的唯一方式是增加上游压强。

[0041] 基于临界流量的 MFV 具有在 ROR 检验器的腔室入口处的临界流量喷嘴或孔口，如在图 1 中所说明。如果 MFV 100 的上游阀 120 和下游阀 150 都打开且 DUT 的流量处于稳定状态，以及临界喷嘴的尺寸适当设计，那么在限流器的下游压强（腔室压强）和限流器的上游压强之间的压强比小于临界压强比 α_{pc} 。因此，根据等式 (2)，流过流量限流器的流量是临界流量，并且与腔室压强无关。在这一稳定状态下，流过限流器的流量等于 DUT 所输送的流量，并且限流器的上游压强（DUT 的下游压强）是常数。当下游阀 150 关闭以便流量检验时，腔室压强上升。

[0042] 只要在腔室压强和限流器的上游压强之间的压强比小于临界压强比 α_{pc} ，流过限流器的流量仍然是临界流量，且与上升的腔室压强无关。因此，流过限流器的流量不变，限流器的上游压强不变，并且没有对 DUT 的下游压强扰动，即使当腔室压强增加时。如果增加的腔室压强超过临界压强比 (α_{pc})，那么流过限流器的流量不是临界流量，且它取决于限流

器的上游压强和下游压强。结果,流过限流器的流量不等于 DUT 所输送的流量,限流器的上游压强改变,并且对 DUT 有下游压强扰动。

[0043] MFV 的临界流量时期定义为在下游阀完全关闭的时刻和上升的腔室压强超过临界压强比 α_{pc} 的时刻之间的这段时期。在临界流量时期,流过限流器的流量是恒定的临界流量,且与腔室压强无关。临界流量时期 t_{cf} 可从如下得出:

$$[0044] \quad t_{cf} = \frac{V_c \cdot (\alpha_{pc} - \alpha_{p0})}{C' \cdot A \cdot f_g(M, \gamma, T)} \quad (5)$$

[0045] 其中, α_{p0} 是在关闭下游阀之前稳定入口流量时在腔室压强与限流器的上游压强之间的初始压强比。

[0046] 从等式 (5) 可知,临界流量时期 t_{cf} 取决于气体特性、气体温度和包括有临界流量喷嘴和腔室容积的 MFV 的几何尺寸。如果 MFV 的检验时间在临界流量时期内,那么流过喷嘴的流量是恒定的临界流量,并且上升的腔室压强不会干扰 DUT 的下游压强。这大大地最小化对 DUT 的下游扰动。

[0047] 只要等式 (3) 的临界流量条件成立,诸如临界流量喷嘴或孔口的流量限流器将 ROR 检验器的腔室与 DUT 的外部管道设备相隔离。如果流量检验时期在临界时期内,那么流过限流器的临界流量等于 DUT 的流率,并且沿着从 DUT 到 MFV 的路径的压强分布是稳定的。显然,临界流量喷嘴和 DUT 之间的外部容积与等式 (1) 的流量计算无关。并不需要建立标定过程来确定用于流量检验计算的在流量限流器和 DUT 之间的外部容积。这与传统 ROR MFV 相反,传统 ROR MFV 在入口处没有流量限流器。对于传统 ROR MFV,在流量检验时期,压强分布沿着从 DUT 到 MFV 的路径变化。因此,必须确定 DUT 和 MFV 之间的外部容积,并且将此外部容积作为等式 (1) 中的腔体容积 (V_c) 的因子,以便进行流量计算。

[0048] 图 2 是说明临界流量时期和基于临界流量的 MFV 100 的响应的曲线图。曲线图 210 表示腔室内的流体的压强,当下游阀关闭时,此流体压强上升。曲线图 220 表示穿过临界喷嘴的流体流率或者进入腔室容积的入口流量。MFV 的临界流量时期在图 2 中用标号 230 指示。如图 2 所见,在临界流量时期,流过喷嘴的入口流量是临界流量或阻流,上升的腔室压强将不会影响到入口流量和喷嘴的上游压强(这也是 DUT 的下游压强)。在临界流量时期期满后,入口流率下降,并且 DUT 的下游压强变化。

[0049] 如果腔室压强能够在流量检验期间保持一直低于临界压强比极限,那么经过喷嘴的流量将一直处于临界流量状态,且变化的腔室压强将不会干扰 DUT 的下游压强,这大大地最小化 DUT 的实际流量波动。穿过喷嘴至腔室容积的入口流量等于 DUT 的流率。并不需要确定用于流量检验的在 DUT 和 MFV 之间的外部容积。

[0050] 图 3 说明了根据本公开内容的一个实施方式的包括多个入口和多个临界流量喷嘴的高精度质量流量检验器 (HAMFV) 300。HAMFV 300 构造成检验由设备 399 进行的流体流率的测量,举例来说,设备 399 例如 MFC、MFM 或 / 和 FRC。HAMFV 300 包括腔室容积 310、压强传感器 320、温度传感器 350、具有下游阀 370 的出口 372 以及数量为 N 的入口 315,入口 315 具有上游阀 360 和用于每个入口的临界流量喷嘴 370。腔室 310 能够容纳从 DUT 流过 N 个入口中的任意一个的流体流。

[0051] 数量为 N 的临界流量喷嘴 330 中的每一个喷嘴都位于入口 315 中的相应一个附近。在图 3 所说明的实施方式中, $N = 2$, 即所说明的实施方式包括两个入口和两个临界流

量喷嘴,在每个入口处都有一个喷嘴。当然,应当理解,N并不限制于2,在其它实施方式中,腔室可具有大于2个的入口和相应数量(大于2)的临界流量喷嘴。

[0052] 数量为N的临界流量喷嘴330中的每一个喷嘴都位于上游阀360中的相应一个附近。在图3所说明的实施方式中,临界喷嘴位于上游阀之后。当然,应当理解,在其它实施方式中,临界流量喷嘴还能够位于上游阀之前。根据流率范围和气体(或其它流体)类型,选择打开上游阀中的一个,并且在整个流量检验时期关闭所有其它的上游阀。因此,在流量检验时期,只有一个临界流量喷嘴启动。

[0053] 数量为N的临界流量喷嘴330中的每一个喷嘴构造成在当其启动时关于某喷嘴的临界流量时期 t_{cf}^i ($i = 1, \dots, N$)内保持流过临界流量喷嘴的流体流率基本上恒定,并且基本上不受腔室内的压强变化影响,构造方式如在上面图1所描述的。第*i*个临界流量喷嘴的临界流量时期 $t_{cf,i}$ 的数学表达式通过对等式(5)的类推容易得出:

$$[0054] \quad t_{cf,i} = \frac{V_c \cdot (\alpha_{pc} - \alpha_{p0})}{C_i \cdot A_i \cdot f_g(M, \gamma, T)} \quad (6)$$

[0055] 其中, A_i ($i = 1, \dots, N$)是第*i*个喷嘴的喷嘴喉部的截面面积, C_i 是第*i*个喷嘴的流量系数,而所有其它变量如结合上面的等式(5)所较早定义的。注意到,临界流量时期 $t_{cf,i}$ 定义在当关闭下游阀时的时间点到当 P_d 和 P_u 之间的比率超过临界压强比极限 α_{pc} 且第*i*个临界流量喷嘴启动时的时间点之间。

[0056] 如等式(6)所见,对于所有*i*($i = 1, \dots, N$),第*i*个临界流量喷嘴的临界流量时期 $t_{cf,i}$ ($i = 1, \dots, N$)与第*i*个临界流量喷嘴的截面面积 A_i 成反比。因此,通过减小喷嘴尺寸,能够增加第*i*个喷嘴($i = 1, \dots, N$)的临界流量时期 $t_{cf,i}$ 。

[0057] 通过增加临界流量时期,HAMFV 300能够充满更多的容积,以便增加压强变化(ΔP),由此增加信噪比。更长的检验时期还能够提供更多的测量数据样本以用于过滤测量噪声。在这两种方式中,大值的临界流量时期能够改善用于质量流量检验的精度和可重复性,特别用于低流量范围,例如1-100sccm氮(N₂)等价流量。因此,如果HAMFV 300具有带不同尺寸的临界流量喷嘴的多个入口,那么HAMFV 300能够选择具有较小尺寸的临界流量喷嘴的入口,这一入口提供用于低流量检验的大 $t_{cf,i}$ 。

[0058] 对于MFV,存在着最大入口压强要求,例如MFV的最大入口压强应当在3000sccm N₂等价流量下小于100Torr。根据等式(2),基于临界流量的MFV的入口压强为临界流量喷嘴的上游压强,该入口压强是用于相同量的入口流量的喷嘴喉部 A_i 的截面面积的逆。HAMFV 300能够选择具有较大尺寸的临界流量喷嘴的入口,该尺寸满足用于高流量检验的最大入口压强要求。这样,HAMFV 300能够将其流率检验范围延伸到非常高的流率,而不会违犯最大入口压强要求。因此,数量为N的临界流量喷嘴中的至少两个具有不同的截面面积。当然,在一些实施方式中,N个临界流量喷嘴中的多于两个具有不同的截面面积。在一些实施方式中,全部N个临界流量喷嘴都具有不同的截面面积。

[0059] HAMFV 300包括控制器380,控制器380构造成通过打开相应的第*i*个上游阀($i = 1, \dots, N$)以及关闭其它所有的上游阀360来选择性地启动N个临界流量喷嘴330之一(比方说第*i*个喷嘴)以便进行流量检验操作。在一个实施方式中,第*i*个喷嘴的选择是根据期望的流率检验范围和流体或气体类型,这由用户所提供。

[0060] 在一个实施方式中,控制器380接收来自主控制器或用户的流量检验命令。流量

检验命令可包括期望的工作流量范围和流体类型的信息。在这个实施方式中,控制器 380 于是根据其所接收到的关于期望的工作流量范围和流体或气体类型的信息来选择性地启动数量为 N 的临界流量喷嘴中的一个。在本申请中,“启动”临界流量喷嘴指:使得流体(其流率将由 HAMFV 所检验)能够流过此临界流量喷嘴。当然,流过临界流量喷嘴的流体的流量将满足上面所讨论的临界流量条件。在一个实施方式中,通过只打开与临界流量喷嘴相对应的上游阀并且关闭其它所有的上游阀,可启动该临界流量喷嘴。

[0061] 在第 i 个临界流量喷嘴 ($i = 1, \dots, N$) 启动时,控制器构造以在上面段落中所描述的方式来检验 DUT 的流率。当控制器 380 选择了第 i 个临界流量喷嘴 ($i = 1, \dots, N$) 时,来自设备 399 的流体流过所选择的第 i 个喷嘴,该流量使得满足在喷嘴的临界流量时期 $t_{cf,i}$ 内的临界流量条件。

[0062] 在一个实施方式中,控制器 380 进一步构造成控制下游阀 370、上游阀 360、压强传感器 320 和温度传感器 350 的操作,使得控制器 380 能够测量和确定在下游阀关闭之后腔室内的流体的压强的上升率。控制器 380 在适当的时候启动(和/或停用,如果有的话)下游阀 370 和上游阀 360,以至于控制器 380 能够通过分别使用压强传感器 320 和温度传感器 350 来测量在腔室内的流体的压强和温度。于是,控制器 380 使用压强和温度的上升率,根据等式 (1),测量这一上升率以计算从设备进入腔室内的流体的流率,由此检验设备 399 的流量测量。

[0063] 在控制器 380 启动第 i 个临界流量喷嘴时,压强传感器和温度传感器构造成在临界时期 $t_{cf,i}$ 内对第 i 个临界流量喷嘴进行测量,以至于质量流量检验器的流量检验与变化的腔室压强以及在质量流量检验器和 DUT 之间的外部容积基本无关。

[0064] 在运行中,一种检验由设备进行的流体流量的测量的方法可包括沿着在质量流量检验器的腔室和设备(DUT)之间的流体的流动路径放置数量为 N 的临界流量喷嘴,然后根据期望的流率检验范围和气体类型,通过打开第 i 个上游阀且关闭其它所有的上游阀来启动 N 个临界流量喷嘴中的第 i 个喷嘴 ($i = 1, \dots, N$)。

[0065] 在开始流量检验期间,第 i 个上游阀和下游阀保持打开以便流量(沿着从设备经过第 i 个入口进入腔室的流动路径)稳定,即沿着这一流动路径没有压强变化,以及进入腔室的流体的流率达到稳定状态。然后,关闭在腔室出口处的下游阀,以至于在腔室内的流体的压强开始上升。接着,测量在临界流量时期 $t_{cf,i}$ 内进入腔室内的流体的压强和温度,用于根据等式 (1) 计算流体的流率,由此检验 DUT 的流量测量。因为 MFV 的流率检验时期在定义为第 i 个喷嘴的临界流量时期 $t_{cf,i}$ 内,所以流过第 i 个喷嘴的流体流量和第 i 个喷嘴上游的流体压强基本上保持不变,并且基本上不受腔室内的压强上升影响。此外,不需要确定用于计算流率的在 DUT 和 MFV 之间的外部容积。

[0066] 总之,一种增加质量流量检验器的精度和工作流量范围的方法检验由流体输送设备进行的流量测量,该方法可包括提供在流量测量设备和腔室之间的数量为 N 的临界流量喷嘴,然后可选择地启动 N 个临界流量喷嘴之一,以限制流过所选喷嘴的流体的流量。这样,只要喷嘴的下游压强和喷嘴的上游压强的比值小于临界流量压强比 α_{pc} ,经过所选喷嘴的流体的流率基本上不受腔室内的压强变化影响。这个方法可进一步包括根据期望的流量检验范围、流体类型和 MFV 的最大入口压强要求来选择临界流量喷嘴的最佳孔口尺寸。

[0067] 上面所描述的方法和系统改善了质量流量检验的精度和可重复性,特别对于低流

量范围（举例来说，1-100sccm N₂ 等价物）。对于这一范围，已经实现高达大约 +/-0.5% 读数误差的精度。而且，这些方法和系统能够增加流量检验范围（举例来说，1-3000sccm N₂ 等价物），而不会超过最大入口压强（举例来说，对于 N₂ 等价物的所有流量范围，100torr）。因为使用了临界流量喷嘴，所以能够实现外部容积不敏感。利用单个压力计可实现上面所描述的改进，由此减少了部件成本。总之，能够向在半导体和其它材料加工中使用的工具提供高精度原位质量流量检验器。

[0068] 虽然已经描述了提供在宽流量范围和低入口压强下的高精度流量检验的系统和方法的某些实施方式，但是应当理解到，在这些实施方式中内含的概念还可用于其它实施方式。本申请的保护范围仅由当前如下的权利要求所限定。

[0069] 在这些权利要求中，所提及的单数元件并不意味着指示“一个且仅一个”，除非特别陈述，而是指“一个或多个”。在整个公开内容中描述的各种实施方式的元件的所有结构和功能等价物都是本领域的普通技术人员公知或稍后已知的，并通过引用清楚地合并于此，并且意图由权利要求所包含。而且，此处公开的任何内容都不是要奉献给公众，不管这些公开内容是否明确地记载在权利要求中。没有要求保护的元件将基于 35U. S. C. § 112 的第六段的规定进行解释，除非该元件使用短语“用于... 装置”来清楚叙述，或者在方法权利要求中，该元件利用短语“用于... 步骤”来叙述。

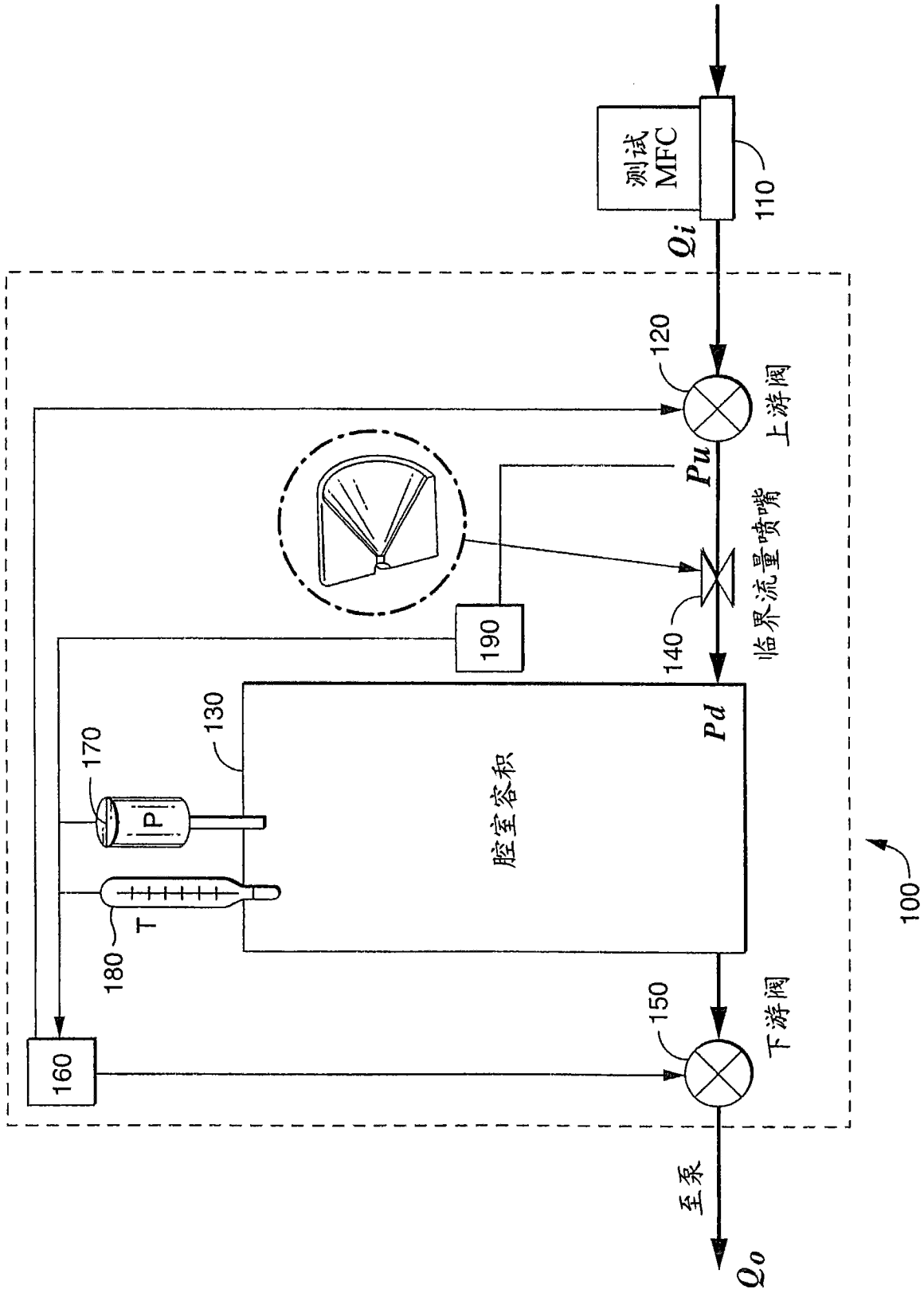


图 1

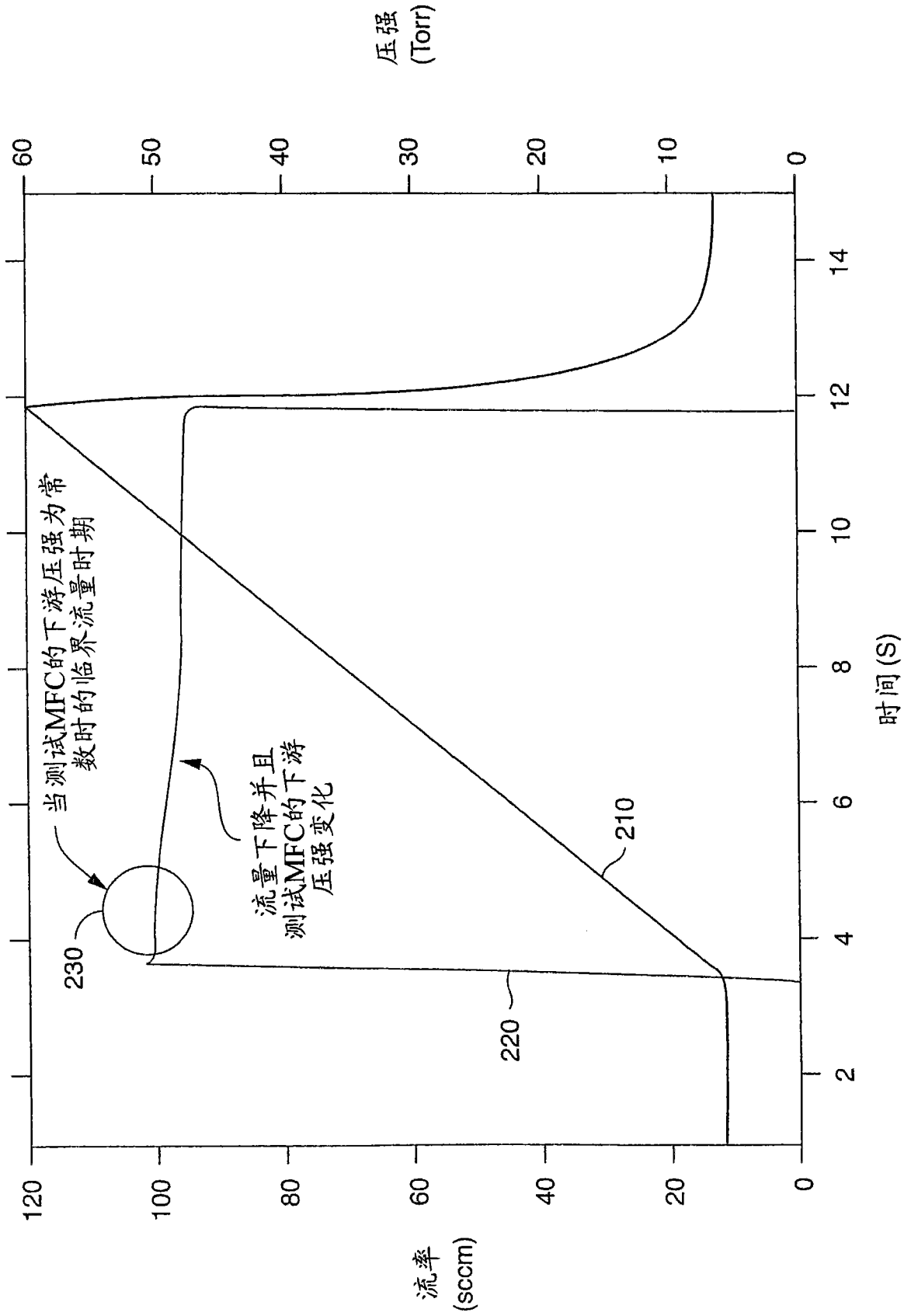


图 2

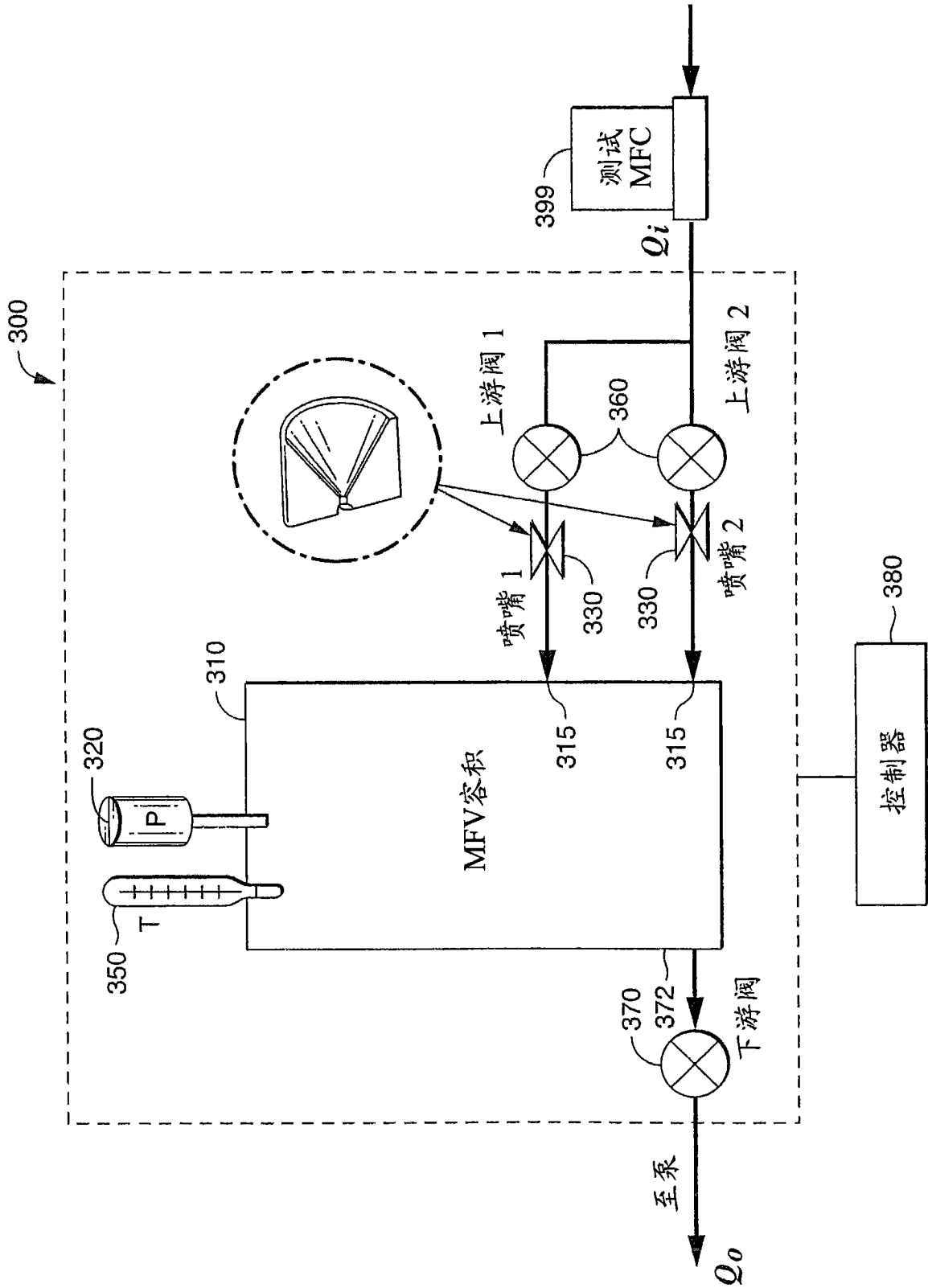


图 3