

1. 一种用于安装在流量控制装置的下游的气体流量检验单元,该气体流量检验单元包括:

第一截止阀,其包括用于连接到所述流量控制装置以输入气体的第一输入端口、用于输出所述气体的第一输出端口、以及用于使所述第一输入端口和所述第一输出端口连通的第一阀座;

第二截止阀,其包括用于输入气体的第二输入端口、用于输出所述气体的第二输出端口、以及用于使所述第二输入端口和所述第二输出端口连通的第二阀座;

连通件,其用于连接到所述第一输出端口和所述第二输入端口,以将所述第一截止阀和所述第二截止阀相互连通,其中所述第二输入端口通过所述连通件连接到所述流量控制装置;

压力检测器,其用于检测在所述第一截止阀和所述第二截止阀之间供应的气体的压力;

温度检测器,其用于检测在所述第一截止阀和所述第二截止阀之间供应的气体的温度;以及

控制装置,其用于通过利用所述压力检测器检测到的压力结果和所述温度检测器检测到的温度结果而检验流过所述流量控制装置的气体的流量,其中

从所述第一阀座到所述第二阀座的气体的体积不大于从所述流量控制装置的出口到所述第一阀座的体积。

2. 根据权利要求1所述的气体流量检验单元,其中

所述连通件为通道组件,所述通道组件形成有与所述第一输出端口连通的第一端口、与所述第二输入端口连通的第二端口、以及与所述压力检测器连通的第三端口,所述第一至第三端口在相同的侧表面中开口,且还形成有将所述第一端口、所述第二端口和所述第三端口相互连通的内通道。

3. 根据权利要求2所述的气体流量检验单元,其中

所述温度检测器为杆状温度传感器,而且

所述通道组件具有安装部分,所述安装部分内安装有所述温度传感器。

4. 根据权利要求1所述的气体流量检验单元,其容纳在气体盒内,所述气体盒包括气体单元,所述气体单元内安装有所述流量控制装置。

5. 根据权利要求1所述的气体流量检验单元,其中

所述控制装置包括体积测量装置,该体积测量装置用于通过以下方式测量由从所述流量控制装置的出口到所述第一阀座的通道所限定的系统通道体积,即,在所述第一截止阀打开而所述第二截止阀关闭的情况下气体以目标压力填充在所述流量控制装置的出口和所述第二阀座之间时,计算从所述压力检测器检测到固定初始压力的时刻到所述压力检测器检测到所述目标压力的时刻之间的每单位时间的增加压力值;通过所述温度检测器检测在压力检测时的气体温度;通过利用所述压力增加值和所述气体温度而测量由从所述流量控制装置的出口到所述第二阀座之间的通道所限定的储器体积;以及从所述储器体积减去由从所述第一阀座到所述第二阀座的通道所限定的已知体积。

6. 根据权利要求1所述的气体流量检验单元,其中

所述第二输出端口连接至真空泵,而且

所述控制装置包括体积测量装置,该体积测量装置用于通过以下方式测量从所述流量控制装置的出口到所述第一阀座的通道所限定的系统通道体积,即,当在所述第一截止阀关闭而所述第二截止阀打开的状态下由所述真空泵在所述第一和第二阀座之间形成真空,并进而通过将所述第一截止阀从阀关闭状态打开而将填充在所述流量控制装置的出口和所述第一阀座之间的气体排出在所述第一和第二截止阀之间时,利用所述第一和第二阀座之间的压力变化和温度变化而测量由从所述流量控制装置的出口到所述第二阀座的通道所限定的储器体积;以及从所述储器体积减去由从所述第一阀座到所述第二阀座的通道所限定的已知体积。

7. 根据权利要求 1 所述的气体流量检验单元,其中

所述控制装置以预定间隔对由所述压力检测器检测的压力值进行采样,以计算新采样压力值和在该新采样压力值之前的采样压力值之间的梯度,并在所计算的梯度变为位于可测量范围内时检验气体的流量。

8. 根据权利要求 1 所述的气体流量检验单元,其中

所述控制装置以预定间隔对由所述压力检测器检测的压力值进行采样,以计算相对于新采样压力值的梯度的相关系数,并在所计算的相关系数变为位于可测量范围内时检验气体的流量。

9. 根据权利要求 2 所述的气体流量检验单元,其容纳在气体盒内,所述气体盒包括气体单元,所述气体单元中安装有所述流量控制装置。

10. 根据权利要求 2 所述的气体流量检验单元,其中

所述控制装置包括体积测量装置,该体积测量装置用于通过以下方式测量由从所述流量控制装置的出口到所述第一阀座的通道所限定的系统通道体积,即,在所述第一截止阀打开而所述第二截止阀关闭的情况下气体以目标压力填充在所述流量控制装置的出口和所述第二阀座之间时,计算从所述压力检测器检测到固定初始压力的时刻到所述压力检测器检测到所述目标压力的时刻之间的每单位时间的增加压力值;通过所述温度检测器检测在压力检测时的气体温度;通过利用所述压力增加值和所述气体温度而测量由从所述流量控制装置的出口到所述第二阀座之间的通道所限定的储器体积;以及从所述储器体积减去由从所述第一阀座到所述第二阀座的通道所限定的已知体积。

11. 根据权利要求 2 所述的气体流量检验单元,其中

所述第二输出端口连接至真空泵,而且

所述控制装置包括体积测量装置,该体积测量装置用于通过以下方式测量由从所述流量控制装置的出口到所述第一阀座的通道所限定的系统通道体积,即,当在所述第一截止阀关闭而所述第二截止阀打开的状态下由所述真空泵在所述第一和第二阀座之间形成真空,并进而通过将所述第一截止阀从阀关闭状态打开而将填充在所述流量控制装置的出口和所述第一阀座之间的气体排出在所述第一和第二截止阀之间时,利用所述第一和第二阀座之间的压力变化和温度变化而测量由从所述流量控制装置的出口到所述第二阀座的通道所限定的储器体积;以及从所述储器体积减去由从所述第一阀座到所述第二阀座的通道所限定的已知体积。

12. 根据权利要求 2 所述的气体流量检验单元,其中

所述控制装置以预定间隔对由所述压力检测器检测的压力值进行采样,以计算新采样

压力值和在该新采样压力值之前的采样压力值之间的梯度,并在所计算的梯度变为位于可测量范围内时检验气体的流量。

13. 根据权利要求 3 所述的气体流量检验单元,其中

所述控制装置以预定间隔对由所述压力检测器检测的压力值进行采样,以计算新采样压力值和在该新采样压力值之前的采样压力值之间的梯度,并在所计算的梯度变为位于可测量范围内时检验气体的流量。

14. 根据权利要求 4 所述的气体流量检验单元,其中

所述控制装置以预定间隔对由所述压力检测器检测的压力值进行采样,以计算新采样压力值和在该新采样压力值之前的采样压力值之间的梯度,并在所计算的梯度变为位于可测量范围内时检验气体的流量。

15. 根据权利要求 2 所述的气体流量检验单元,其中

所述控制装置以预定间隔对由所述压力检测器检测的压力值进行采样,以计算相对于新采样压力值的梯度的相关系数,并在所计算的相关系数变为位于可测量范围内时检验气体的流量。

16. 根据权利要求 3 所述的气体流量检验单元,其中

所述控制装置以预定间隔对由所述压力检测器检测的压力值进行采样,以计算相对于新采样压力值的梯度的相关系数,并在所计算的相关系数变为位于可测量范围内时检验气体的流量。

17. 根据权利要求 4 所述的气体流量检验单元,其中

所述控制装置以预定间隔对由所述压力检测器检测的压力值进行采样,以计算相对于新采样压力值的梯度的相关系数,并在所计算的相关系数变为位于可测量范围内时检验气体的流量。

气体流量检验单元

技术领域

[0001] 本发明涉及一种对半导体制造工艺中的气体系统内使用的流量控制装置的流量进行检验的气体流量检验单元。

背景技术

[0002] 在半导体制造工艺的膜沉积装置或干蚀刻装置中采用诸如硅烷或磷化氢的特殊气体、诸如含氯气体的腐蚀性气体、诸如氢气的可燃烧气体等等。

[0003] 应严格地控制这些气体的流量。

[0004] 其原因在于,气体流量直接影响到工艺的质量。具体而言,气体流量极大地影响膜沉积工艺中的膜质量或蚀刻工艺中的电路加工的质量,从而气体流量的精确度决定了半导体产品的产率。

[0005] 另一个原因在于,这些气体中的大多数对人体和环境是有害的,或者具有爆炸性。这些气体在使用后不能直接处理到大气中,从而半导体制造工艺中采用的装置应根据气体的种类而设有去毒装置。然而,上述去毒装置通常只具有有限的处理能力。因此,当超过容许值的流量流动时,去毒装置不能理想地处理气体,从而会有有害气体流出到大气中,或者去毒装置可能会被破坏。

[0006] 而且,因为这些气体、特别是能在半导体制造工艺中使用的高纯度无尘气体比较昂贵,并且因为某些气体由于自然变质而在其使用上受到限制,从而不能大量储存这些气体。

[0007] 有鉴于此,传统上在半导体制造工艺回路中安装有用作流量控制装置的公知质量流控制器,以使每种气体都以最佳的流量进行流动。上述质量流控制器通过改变所施加的电压而改变设定流量,这样来响应工艺配方的变化。

[0008] 然而,半导体制造工艺中使用的这些气体,特别是所谓工艺气体中的用于膜沉积的原料气体会由于其性质而使固体物质在气体管路中析出,这样流量会发生变化。质量流控制器在内部设置有毛细管,从而高精度地提供固定流量。即使在这一部分上的固体物质的少量析出会降低待被供应的气体的流量精度。而且,因为流动的气体具有用于蚀刻工艺等的高腐蚀性,从而即使采用诸如不锈钢等之类的耐腐蚀性高的材料,也不能避免质量流控制器的腐蚀。结果,会产生长期的劣化,从而会降低流量精度。

[0009] 如上所述,在质量流控制器中,所施加的电压与实际流量之间的关系发生变化,从而可能会改变实际流量。因此,质量流控制器需要定期地进行流量检验的校准。

[0010] 基本上是利用膜式流量计来进行质量流控制器的流量检验。然而,该测量要在卸下一部分管道的情况下进行。在测量之后,要将管道组装为原始状态,还要进行泄漏检查。因此,工作非常耗时。从而理想的是能在不拆除管道的情况下进行流量检验。

[0011] 专利文献 1 公开了一种用于在管道组装的情况下进行流量检验的方法,在该方法中,在质量流控制器的下游安装气体流量检验单元 U,从而构成气体质量流测量系统。图 19 示出了一种气体质量流检验系统的框图。

[0012] 如图 19 所示,该气体质量流检验系统包括气体流量检验单元 U,该气体流量检验单元 U 包括阀部件 151、腔室 153、变换器组件 154、以及阀部件 152,并安装在质量流控制器 10 的下游。该腔室 153 具有已知体积。变换器组件 154 连接到腔室 153 下游的气体流动线路 150,而阀部件 151 和 152 连接到位于变换器组件 154 下游和上游的气体流动线路 150,从而使体积恒定。变换器组件 154 基于阀部件 151 和 152 之间的压力和温度而输出直接表示 PV/RT 的信号。这里,P 代表压力,V 代表体积,R 代表气体常数,而 T 代表绝对温度。

[0013] 上述气体质量流检验系统基于从变换器组件 154 输出的表示 PV/RT 的信号而测量质量流控制器 10 的实际流量,而无需单独测量腔室 153 的压力和温度。气体质量流检验系统对该实际流量和质量流控制器 10 的预设流量进行比较,从而检验质量流控制器 10 的流量。

[0014] 专利文献 1 :日本专利 No. 3022931

发明内容

[0015] 本发明要解决的问题

[0016] 然而,当发明人对传统的气体流量检验单元 U 进行评估测试时,确认传统单元 U 在质量流控制器 10 的流量控制方面具有变化较大的检验精度,从而可靠性较低,如图 10(iii) 所示。

[0017] 具体而言,发明人进行了评估测试,其中用高流量精度的流量计测量了质量流控制器 10 的流量,并将测量值与通过传统的气体流量检验单元 U 测得的流量进行比较。如图 10(iii) 所示,在传统单元 U 中要供应到质量流控制器 10 的气体 N_2 的流量为 100sccm 的情况下,传统单元 U 计算出的流量与质量流控制器 10 控制的流量之间的误差为 0.012%。另一方面,在将 500sccm 的 N_2 气体供应到质量流控制器 10 的情况下,传统单元 U 计算出的流量与供应至质量流控制器的实际流量之间的误差为 1.150%。因此,随着传统单元 U 内流量的增加,传统单元 U 测量的流量的误差变大,从而导致可靠性较差。

[0018] 这样,如果气体流量检验单元 U 的检验精度随着质量流控制器 10 控制的流量而变化,则可能出现这样的情形,即,在质量流控制器 10 被供应有用来控制较大流量 (500sccm) 的电压时,即使质量流控制器 10 没有将气体流量控制为预设流量 (500sccm),气体流量检验单元 U 仍然测量出 500sccm,从而错误地认为质量流控制器 10 的流量是精确的。而且有这样的可能性,即,即使质量流控制器 10 将气体流量精确地控制为预设流量 (500sccm) 时,气体流量检验单元 U 却不能测量出 500sccm 的流量,从而要对质量流控制器 10 进行不必要的校准。这样的缺陷直接影响到半导体制造工艺的产量等,从而非常成问题。

[0019] 针对上述情况作出本发明,且本发明的目的在于克服上述问题,从而提供能提高流量检验可靠性的气体流量检验单元。

[0020] 解决问题的手段

[0021] 根据本发明的气体流量检验单元设有以下结构。

[0022] (1) 一种安装在流动控制装置下游的气体流量检验单元包括:第一截止阀,其连接至所述流量控制装置,用于输入气体;第二截止阀,其用于输出气体;连通件,其用于将所述第一截止阀和所述第二截止阀相互连通;压力检测器,其用于检测在所述第一截止阀和所述第二截止阀之间供应的气体的压力;温度检测器,其用于检测在所述第一截止阀和

所述第二截止阀之间供应的气体的温度；以及控制装置，其用于通过利用由所述压力检测器检测到的压力结果和所述温度检测器检测到的温度结果而检验流动通过所述流量控制装置的气体的流量，而且从所述第一截止阀到所述第二截止阀的体积不大于从所述流量控制装置的出口到所述第一截止阀的体积。

[0023] (2) 优选的是，在根据 (1) 的本发明中，所述连通件为通道组件，其中与所述第一截止阀的输出口连通的第一端口、与所述第二截止阀的输入端口连通的第二端口、以及与所述压力检测器连通的第三端口在相同侧表面上开口，且还形成有将所述第一端口、所述第二端口和所述第三端口相互连通的内通道。

[0024] (3) 优选的是，在根据 (2) 的本发明中，所述温度检测器为杆状温度传感器，而且所述通道组件具有其内安装有所述温度传感器的安装部分。

[0025] (4) 优选的是，在根据 (1) 至 (3) 中任一项的本发明中，所述气体流量检验单元容纳在气体盒内，该气体盒包括气体单元，该气体单元内安装有所述流量控制装置。

[0026] (5) 优选的是，在根据 (1) 至 (4) 中任一项的本发明中，所述控制装置包括体积测量装置，该体积测量装置用于通过以下方式测量从所述流量控制装置到所述第一截止阀的体积，即，当气体以目标压力填充在所述流量控制装置和所述第二截止阀之间时，计算从所述压力检测器检测到固定初始压力的时刻到所述压力检测器检测到目标压力的时刻之间的每单位时间的增加压力值；通过所述温度检测器检测在压力检测时的气体的温度；通过利用所述压力增加值和所述气体温度而测量从所述流量控制装置到所述第二截止阀之间的储器内的气体体积（储器体积）、以及从所述储器体积减去从所述第一截止阀到所述第二截止阀的所述体积。

[0027] (6) 优选的是，在根据 (1) 至 (4) 中任一项的本发明中，所述第二截止阀连接至真空泵，而且所述控制装置包括体积测量装置，该体积测量装置用于通过以下方式测量从所述流量控制装置到所述第一截止阀的体积，即，通过在由所述真空泵排空所述第一和第二截止阀之间的部分并进而将填充在所述流量控制装置和所述第一截止阀之间的气体排出到所述第一和第二截止阀之间时利用在所述第一和第二截止阀之间的压力变化和温度变化而测量从所述流量控制装置到所述第二截止阀的储器体积，以及从所述储器体积减去从所述第一截止阀到所述第二截止阀的体积。

[0028] (7) 优选的是，在根据 (1) 至 (4) 中任一项的本发明中，所述控制装置以预定间隔对由所述压力检测器检测到的压力值进行采样，以计算新采样的压力值和在该新采样压力值之前的采样压力值之间的梯度，并在所计算的梯度变为位于可测量范围内时检验气体流量。

[0029] (8) 优选的是，根据 (1) 至 (4) 中任一项的本发明中，所述控制装置以预定间隔对由所述压力检测器检测到的压力值进行采样，以计算相对于新采样压力值的梯度的相关系数，并在所计算的相关系数变为位于可测量范围内时检验气体的流量。

[0030] 本发明的优点

[0031] 在具有上述构造的本发明气体流量检验单元中，从所述第一截止阀到所述第二截止阀的体积不大于从所述流量控制装置的出口到所述第一截止阀的体积，从而即使从所述流量控制装置供应到所述第一和第二截止阀之间部分的气体流量发生变化，所述第一和第二截止阀之间的压力也趋于是均匀的。因此，本发明的气体流量检验单元能通过压力检测

器和温度检测器正确地检测所述第一截止阀和所述第二截止阀之间的压力和温度,并能通过压力检测结果和温度检测结果而检验气体流量。因此,根据本发明的气体流量检验单元,可降低测量流量相对于控制流量变化的误差,从而能提高流量检验的可靠性。

[0032] 在具有上述构造的本发明气体流量检验单元中,所述第一截止阀、第二截止阀以及所述压力检测器安装在所述通道组件内,从而以如下的方式形成整体,即,所述第一截止阀的输出端口与所述通道组件的第一端口连通,所述第二截止阀的输入端口与所述通道组件的第二端口连通,且所述压力检测器与所述通道组件的第三端口连通。因此,能减小所述第一和第二截止阀之间的体积,从而减小所述气体流量检验单元的尺寸。而且,通过减小所述第一和第二截止阀之间的体积,能缩短所述第一和第二截止阀之间的压力达到目标压力的时间,从而缩短了气体流量的检验时间。

[0033] 在根据本发明的气体流量检验单元中,在所述通道组件的安装部分内安装有杆状温度传感器,以测量所述通道组件的温度,从而检测供应在所述第一和第二截止阀之间的气体的温度。因此,所述温度传感器可安装在所述气体流量检验单元内,这减小了所述第一和第二截止阀之间的体积。

[0034] 在具有上述构造的本发明气体流量检验单元中,所述气体流量检验单元容纳在气体盒内,该气体盒包括气体单元,该气体单元内安装有所述流量控制装置,从而无需改变结构或所述气体盒的外部管道来为所述气体流量检验单元设置出安装空间。因此,本发明的气体流量检验单元能提供优良的安装特性。

[0035] 在具有上述构造的本发明气体流量检验单元中,所述控制装置包括体积测量装置。在气体以目标压力填充在所述流量控制装置和所述第二截止阀之间时,该体积测量装置计算从所述压力检测器检测到固定初始压力的时刻到所述压力检测器检测到目标压力的时刻之间的每单位时间的增加压力值。同时,在该体积测量装置中,通过所述温度检测器检测压力检测期间的气体温度。然后,在通过利用所述压力增加值和所述气体温度而测量从所述流量控制装置到所述第二截止阀之间的储器体积之后,从所述储器体积减去从所述第一截止阀到所述第二截止阀的所述体积,以测量出从所述流量控制装置到所述第一截止阀的体积。因此,在本发明的气体流量检验单元中,即使从所述流量控制装置的出口到所述第一截止阀的体积随着其内安装有所述单元的系统结构而变化,也可消除由所述变化带来的影响,从而能将所述气体流量检验单元的精度保持在满意程度。

[0036] 在具有上述构造的本发明气体流量检验单元中,所述第二截止阀连接到真空泵,且所述控制装置连接到对所述流量控制装置的出口和所述第一截止阀之间的压力进行检测的压力传感器。所述控制装置包括体积测量装置。在该体积测量装置中,在通过所述真空泵排空所述第一截止阀和所述第二截止阀之间的部分并进而将填充在所述流量控制装置和所述第一截止阀之间的气体排空在所述第一和第二截止阀之间时,通过利用所述第一截止阀和所述第二截止阀之间的压力变化和温度变化而测量从所述流量控制装置到所述第二截止阀的储器体积,以从所述储器体积减去从所述第一截止阀到所述第二截止阀的体积,从而测量出从所述流量控制装置到所述第一截止阀的体积。因此,根据本发明的气体流量检验单元,即使从所述流量控制装置到所述第一截止阀的体积随着其内安装有所述单元的系统结构而变化,也可消除该变化带来的影响,从而能将所述气体流量检验单元的精度保持在满意程度。

[0037] 在具有上述构造的本发明气体流量检验单元中,计算出由所述压力检测器检测到的压力值梯度或相对于压力值梯度的相关系数,并且在所计算出的梯度或相关系数变为位于可测量范围内时检验气体的流量。因此,无需等到使压力检测器稳定的死时间(dead time)就可进行流量检验以检测测量开始压力,从而缩短了流量检验时间。

附图说明

[0038] 图 1 为其内集成有根据本发明第一实施例的气体流量检验单元的气体盒的示意性结构图;

[0039] 图 2 为图 1 所示的气体单元的侧视图;

[0040] 图 3 为图 1 所示的气体流量检验单元的侧视图;

[0041] 图 4 为图 1 所示的气体流量检验单元的俯视图;

[0042] 图 5 为气体流量检验单元沿着图 4 的线 A-A 截取的剖面图;

[0043] 图 6 为图 1 所示的控制器的电框图;

[0044] 图 7 为流程图,其示出了根据第一实施例的气体流量检验单元所执行的流量检验方法;

[0045] 图 8 为评估装置的框图;

[0046] 图 9 为一曲线图,其示出了压力和时间之间的关系,其中,纵向轴线表示压力,横向轴线表示时间;

[0047] 图 10 为一曲线图,其示出了三个评估装置的每一个评估装置中由气体流量检验单元计算的流量与由高精度流量计测量的流量之间的误差,其中,黑点表示在流量为 100sccm 的情况下的误差,而黑三角表示在流量为 500sccm 情况下的误差,且每个评估测试是在相同的条件(5-13kPa)下进行的;

[0048] 图 11 为示出了设有根据本发明第二实施例的气体流量检验单元的气体供应集成单元的一个示例的框图;

[0049] 图 12 为图 11 所示的控制器的电框图;

[0050] 图 13 为一流程图,其示出了根据第三实施例的气体流量检验单元所执行的气体流量检验方法;

[0051] 图 14 为一曲线图,其示出了在根据本发明第三实施例的气体流量检验单元中通过以预定时间间隔对由压力传感器检测到的压力值进行采样而获得的数据;

[0052] 图 15 为一曲线图,其示出了在根据本发明第三实施例的气体流量检验单元中通过以预定压力间隔对由压力传感器检测到的压力值进行采样而获得的数据;

[0053] 图 16 为示出了图 14 或图 15 所示的数据的梯度之间关系以及可测量范围的视图;

[0054] 图 17 为示出了图 14 或图 15 所示的数据的相关系数与可测量范围之间关系的视图;

[0055] 图 18 为示出了第一和第三实施例的气体流量检验单元的流量检验精度的试验结果的视图;而且

[0056] 图 19 为传统的流量控制装置、绝对流量检查系统的框图。

[0057] 附图标记

[0058] 1 气体盒

- [0059] 2 气体单元
- [0060] 10 质量流控制器（流量控制装置）
- [0061] 11 气体流量检验单元
- [0062] 12 第一截止阀
- [0063] 13 第二截止阀
- [0064] 14 压力传感器（压力检测器）
- [0065] 15 温度传感器（温度检测器）
- [0066] 16 控制器（控制装置）
- [0067] 18 通道组件（连通件）
- [0068] 21 第二端口（输出端口）
- [0069] 26 第一端口（输入端口）
- [0070] 47 体积测量程序（体积测量装置）
- [0071] 58 真空泵
- [0072] 62 体积测量程序（体积测量装置）

具体实施方式

[0073] 以下将参照附图说明根据本发明的气体流量检验单元的实施例。

[0074] （第一实施例）

[0075] 图 1 为其内结合有气体流量检验单元 11 的气体盒 1 的示意性结构图。图 2 为图 1 所示的气体单元 2 的侧视图。

[0076] 如图 1 所示，气体流量检验单元 11 例如安装在气体盒 1 内。气体盒 1 呈盒式形状，并具有气体供应集成单元，该气体供应集成单元内集成有多个（在图 1 中为 12 个）气体单元 2。如图 1 和图 2 所示，每个气体单元 2 包括诸如调节器 3 的流体控制装置、压力计 4、输入截止阀 5、作为“流量控制装置”的一个示例的质量流控制器 10、输出截止阀 6 等，这些装置都固定在通道组件 7 的上表面上且串联地结合成一体。

[0077] 如图 1 所示，在气体单元 2 和气体盒 1 之间设有用于安装管道 8 的安装空间，该管道 8 用于从每个气体单元 2 充入工艺气体。在该安装空间内，管道 8 的周围是死区。气体盒 1 构造成使得气体流量检验单元 11 可利用螺栓等固定到该死区。气体流量检验单元 11 与每个气体单元 2 的质量流控制器 10 连通，以便检验质量流控制器 10 的流量。气体流量检验单元 11 的部件制造成一个单元，从而气体流量检验单元 11 能一体地附连到气体盒 1 上，或一体地从气体盒 1 卸下。

[0078] < 气体流量检验单元的结构 >

[0079] 图 3 为图 1 所示的气体流量检验单元 11 的侧视图。图 4 为图 1 所示的气体流量检验单元 11 的俯视图。

[0080] 如图 3 和图 4 所示，气体流量检验单元 11 包括第一截止阀 12、第二截止阀 13、作为“压力检测器”的压力传感器 14、作为“温度检测器”的温度传感器 15、作为“控制装置”的控制器 16 等等。在气体流量检验单元 11 中，旋紧有传感器盖 17 以覆盖压力传感器 14，从而防止由于安装单元时使用者接触到压力传感器 14 而改变设置。

[0081] 图 5 为沿着图 4 中的线 A-A 截取的气体流量检验单元 11 的剖面图。应注意，图 5

是仅示出了主要部件的剖面图。在图 5 中应示出有控制器 16, 但是因为要用图 5 来说明通道的结构从而省略了控制器 16。

[0082] 第一截止阀 12、压力传感器 14 和第二截止阀 13 通过螺栓 40 固定在用作“连通件”的通道组件 18 的上表面上。温度传感器 15 安装在通道组件 18 内。

[0083] 第一截止阀 12 和第二截止阀 13 为具有相同结构的电磁阀。第一截止阀 12 和第二截止阀 13 的外部结构制造为使得驱动部分 24 和 30 联接到金属机体 19 和 25 上。作为“输入端口”的第一端口 20 和 26 以及作为“输出端口”的第二端口 21 和 27 分别设于机体 19 和 25, 在所述机体中还设有阀座 22 和 28 以分别将第一端口 20 和 26 与第二端口 21 和 27 连通。膜 23 和 29 以可移位的方式安装在机体 19 和 25 与驱动部分 24 和 30 之间。第一截止阀 12 和第二截止阀 13 的 Cv 值理想的是不小于 0.09, 以降低对气体流动的影响。在该第一实施例中, 第一截止阀 12 和第二截止阀 13 的 Cv 值设置为 0.10。

[0084] 压力传感器 14 为电容式压力计。压力传感器 14 保持金属膜 31, 该金属膜 31 形成较薄, 具有约 0.1mm 的厚度, 以便根据输入到检测端口 39 的气体压力而移位。在膜 31 的背压侧固定有金属基板 32。在该金属基板 32 上布设有导电电极。金属基板 32 布置成在金属基板 32 和膜 31 之间形成预定的空间。在上述压力传感器 14 中, 当膜 31 的受压表面受到气体压力作用并移位时, 金属基板 32 和膜 31 之间的空间发生变化, 从而改变了金属基板 32 的电容。因此, 检测到电容的变化, 就检测到气体压力的变化。

[0085] 温度传感器 15 为杆状热电偶。

[0086] 通道组件 18 由成形为直角平行六边形的诸如不锈钢的金属形成。在图中通道组件 18 的上表面形成有第一端口 33、第二端口 34 和第三端口 35。在通道组件 18 中形成有从图中右侧贯穿的主通道 36。在该通道组件 18 中, 通过使第一端口 33、第二端口 34 和第三端口 35 与主通道 36 连通而形成“内部通道”。主通道 36 上焊接有栓塞 37, 以确保通道的气密。通道组件 18 的内部通道形成为其截面面积基本等于与第一截止阀 12 的第二端口 21 和与第二截止阀 13 的第一端口 26 连通的通道的截面面积。这是为了使得供应到气体流量检验单元 11 的气体的压力在通道组件 18 中容易均匀。在该第一实施例中, 将内部通道 (主通道 36 等) 的截面直径设置为 4mm。而且, 在主通道 36 的外侧处从侧表面开始沿着垂直于主通道 36 的方向钻出插入孔 38, 该插入孔 38 是“安装部分”的一个示例。

[0087] 第一截止阀 12 内的机体 19 的第二端口 21 通过未示出的垫圈连接到通道组件 18 的第一端口 33, 而且第一截止阀 12 通过螺栓 40 从图中上方旋入, 从而将第一截止阀 12 固定到通道组件 18 在图中的上表面上, 同时压紧未示出的垫圈。

[0088] 第二截止阀 13 中的机体 25 的第一端口 26 通过未示出的垫圈连接到通道组件 18 的第二端口 34, 而且第二截止阀 13 通过螺栓 40 从图中上方旋入, 从而将第二截止阀 13 固定到通道组件 18 在图中的上表面上, 同时压紧未示出的垫圈。

[0089] 压力传感器 14 的检测端口 39 通过未示出的垫圈连接到通道组件 18 的第三端口 35, 且压力传感器 14 通过螺栓 40 从图中的上方旋入, 从而将压力传感器 14 固定到通道组件 18 在图中的上表面上, 同时压紧未示出的垫圈。

[0090] 温度传感器 15 被插入到插入孔 38, 从而安装在通道组件 18 内。

[0091] 因此, 在该气体流量检验单元 11 中, 第一截止阀 12、第二截止阀 13、压力传感器 14 和温度传感器 15 一体地安装在一个通道组件 18 中, 如图 5 所示。上述气体流量检验单元

11 的控制器 16 固定到通道组件 18 的侧表面,如图 3 和图 4 所示。

[0092] < 控制装置的电结构 >

[0093] 图 6 为控制器 16 的电框图。

[0094] 控制器 16 具有计算机功能,其包括 CPU 41、输入 / 输出接口 42、ROM 43、RAM 44 以及硬盘驱动器 (以下称为“HDD”)45。

[0095] 输入 / 输出接口 42 连接到第一截止阀 12、第二截止阀 13、压力传感器 14 和温度传感器 15 以接收和发送信号。

[0096] 体积存储装置 46 设置在 HDD 45 内。在该体积存储装置 46 内存储有已知体积 V_k 、系统通道体积 V_e 以及储器体积 V (储器内气体的体积)。“已知体积 V_k ”表示第一截止阀 12 和第二截止阀 13 之间的体积,更加具体而言,即为当第一截止阀 12 和第二截止阀 13 关闭时在第一截止阀 12 的阀座 22 和第二截止阀 13 的阀座 28 之间形成的密封空间的体积。“系统通道体积 V_e ”表示从质量流控制器 10 的出口到第一截止阀 12 的体积,更加具体而言,即为当第一截止阀 12 关闭时从质量流控制器 10 的出口到第一截止阀 12 的阀座 22 的体积。“储器体积 V ”表示当第一截止阀 12 打开而第二截止阀 13 关闭时从质量流控制器 10 的出口到第二截止阀 13 的阀座 28 的体积。该已知体积 V_k 在制造气体流量检验单元 11 之后即可测量得知,从而在制造气体流量检验单元 11 之后在将其安装在外部系统中之前预先存储在体积存储装置 46 内。另一方面,系统通道体积 V_e 和储器体积 V 不能在将气体流量检验单元 11 安装在外部系统内之前测量得知。因此,在制造气体流量检验单元 11 并将其安装在外部系统之后对它们进行置后 (ex-post) 测量,随后将它们存储在体积存储装置 46 内。

[0097] ROM 43 存储流量检验程序 48 和作为“体积测量装置”的体积测量程序 47。流量检验程序 48 适当地控制第一截止阀 12 和第二截止阀 13 的打开和关闭操作,以通过压力传感器 14 和温度传感器 15 检测第一截止阀 12 和第二截止阀 13 之间的压力和温度,并根据检测结果对质量流控制器 10 进行流量检验。体积测量程序 47 测量系统通道体积 V_e 和储器体积 V 。

[0098] < 已知体积和系统通道体积之间的关系 >

[0099] 如图 3、图 4 和图 5 所示,第一实施例中的气体流量检验单元 11 不具有传统技术中设置的腔室。在该气体流量检验单元 11 中,已知体积 V_k 设置成等于或小于系统通道体积 V_e 。已知体积 V_k 被设定为等于或小于系统通道体积 V_e 的原因在于防止从质量流控制器 10 输出的气体的压力由于气体流量检验单元 11 中通道减小而在气体流量检验单元 11 中发生变化 (分散)。因此,理想的是,气体流量检验单元 11 中的已知体积 V_k 在安装了第一截止阀 12、压力传感器 14、温度传感器 15 以及第二截止阀 13 之后尽可能减小。在第一实施例中,在图 1 所示的气体盒 1 中将从每个气体单元 2 的质量流控制器 10 的出口到构成气体流量检验单元 11 的第一截止阀 12 的阀座 22 的系统通道体积 V_e 设置为 100cc,而将从构成气体流量检验单元 11 的第一截止阀 12 的阀座 22 (参见图 5) 到第二截止阀 13 的阀座 28 (参见图 5) 的已知体积 V_k 设置为 10cc。

[0100] < 检验方法 >

[0101] 以下将说明根据第一实施例的气体流量检验单元 11 所实施的检验方法的要点。在这里说明要点是因为稍后在说明评估测试中将具体描述该检验方法。图 7 为示出了由根据第一实施例的气体流量检验单元 11 所执行的流量检验方法的流程图。

[0102] 气体流量检验单元 11 针对气体单元 2 的每一个线路进行流量检验。具体而言,在步骤 101(以下称为“S101”),系统被初始化,以删除先前的流量检验获取的数据。在 S102 中,清洗气体供应集成单元以除去通道内的不必要的气体。

[0103] 在 S103 中确定是否已经测量储器体积。在确定还没有测量储器体积的情况下(S103:否),在 S104 中测量储器体积 V ,然后程序前进至 S105。另一方面,在确定已经测量储器体积的情况下(S103:是)下,程序直接前进至 S105。

[0104] 在 S105 中确定由压力传感器 14 所检测到的压力值是否等于或大于固定测量开始压力 P_1 。在所检测到的压力值小于该固定测量开始压力 P_1 的情况下(S105:否),控制器 16 一直等到压力传感器 14 测量出该固定测量开始压力 P_1 。另一方面,在压力传感器 14 测量出该固定测量开始压力 P_1 的情况下(S105:是),在步骤 S106 中确定由压力传感器 14 所检测的压力值是否为目标压力 P_2 。控制器 16 一直等到压力传感器 14 检测到该目标压力 P_2 (S106:否)。具体而言,气体流量检验单元 11 一直等到压力传感器 14 检测到目标压力 P_2 。在压力传感器 14 检测到目标压力 P_2 (S106:是)之后,在 S107 中控制器 16 计算流量 Q 。

[0105] 因此,通过 S105 到 S107 的处理来测量流量 Q 。测量储器体积 V 和流量 Q 的方法将在评估测试中详细说明。

[0106] 然后,在 S108 中,将检验次数 e_k 加 1,并且在 S109 中,确定该检验次数 e_k 是否为固定的检验次数 e 。在检验次数 e_k 不为固定的检验次数 e 的情况下(S109:否),控制器 16 返回到 S102,重复进行清洗和对流量 Q 的测量。对储器体积 V 和流量 Q 进行测量一直到检验次数 e_k 变为固定的检验次数 e (S109:是),之后,在 S110 中对流量 Q 的测量值求平均,并将平均值与质量流控制器 10 的设定流量进行比较,以进行检验。检验之后,根据需要设置流量 Q 的校正值。这样就完成了对一个气体单元 2 的流量检验。

[0107] 在 S111 中,将已进行检验的气体单元的数量 u_k 加 1,并在 S112 中确定已检验了的气体单元的数量 u_k 是否达到了安装在气体供应集成单元中的气体单元 2 的总量 u 。在已检验了的气体单元的数量 u_k 没有达到总量 u 的情况下(S112:否),这一情况表明还有气体单元 2 没有被检验,于是控制器 16 返回 S102 以对安装在下一个气体单元 2 内的质量流控制器 10 进行流量检验。另一方面,在已检验了的气体单元数量 u_k 已经达到总量 u 的情况下(S112:是),这一情况表明已经完成了对安装在气体供应集成单元内的所有气体单元 2 的检验,则结束流量检验过程。

[0108] < 评估测试 >

[0109] 发明人对根据第一实施例的气体流量检验单元 11 进行了评估测试。图 8 为评估装置 50 的框图。

[0110] 评估装置 50 是通过将四个气体单元 2A、2B、2C 和 2D 并行地连接到气体流量检验单元 11 上而构成的。在以下说明中,如果没有必要区分每个气体单元,则将四个气体单元总称为“气体单元 2”。构成气体单元 2 的流体控制装置仅用数字表示,省略了附属的字母“A”、“B”、“C”和“D”。

[0111] 通过从上游侧开始串联地一体联接过滤器 51、手动阀 52、调节器 53 和压力温度计 54、质量流控制器 10 以及输出截止阀 55 而形成气体单元 2。在气体单元 2A 中,在压力温度计 54A 和质量流控制器 10A 之间设置有高精度流量计 56,以精确测量质量流控制器 10A 的

受控流量。气体单元 2A、2B、2C 和 2D 并行地连接到气体供应阀 57,并通过该气体供应阀 57 而联接到真空泵 58。在连通气体单元 2 与气体供应阀 57 的系统通道上设置有压力计 59,用于检测系统通道内的压力。气体流量检验单元 11 设置在从系统通道分支出且联接在气体供应阀 57 和真空泵 58 之间的支路通道上。

[0112] 通过适当地改变评估装置 50 的结构而进行评估测试。具体而言,在评估测试中采用以下描述的装置:(i) 评估装置 50A,其构造成利用与图 8 所示相同的气体流量检验单元 11;(ii) 评估装置 50B,其构造成使得在气体流量检验单元 11 中安装有 500cc 的腔室 60,如图 8 的虚线所示与通道组件 18 的主通道 36 连通;以及(iii) 评估装置 50C,其通过用图 19 所示的传统气体流量检验单元 U 来替换图 8 所示的气体流量检验单元 11 而构成。

[0113] < 评估测试方法 >

[0114] 对 (i)、(ii) 和 (iii) 中所采用的评估装置进行评估测试。在评估测试中,首先测量储器体积 $V(V_e+V_k)$ 和系统通道体积 V_e ,随后重复进行五次误差测量,以计算误差的平均值。通过计算由气体流量检验单元所计算的流量与由高精度流量计 56 所测量的流量之间产生的误差而进行误差测量。在其中质量流控制器 10 的控制流量设定为较大流量(500sccm)的情况下和在其中质量流控制器 10 的控制流量设定为较小流量(100sccm)的情况下分别测量误差。如图 10 所示,对每一情形 (i)、(ii) 和 (iii) 下的误差测量结果进行比较。以下将具体描述评估测试的方法。

[0115] < 体积的测量 >

[0116] 在将气体流量检验单元 11 连接到外部系统上时,从质量流控制器 10 的出口到构成气体流量检验单元 11 的第一截止阀 12 的阀座 22 的系统通道体积 V_e 随着外部系统的通道的结构而变化。换言之,储器体积 V 随着外部系统而变化。因此,在进行气体流量检验之前,气体流量检验单元 11 要测量储器体积 V 和系统通道体积 V_e 。控制器 16 执行体积测量程序 47,以测量储器体积 V 和系统通道体积 V_e 。

[0117] 在测量储器体积 V 的过程中,关闭气体单元 2B、2C 和 2D 的输出截止阀 55B、55C 和 55D 以及气体供应阀 57,而打开气体单元 2A 的手动阀 52A 和输出截止阀 55A、以及气体流量检验单元 11 的第一截止阀 12 和第二截止阀 13,然后,以 50sccm 的增量将 N_2 气体供应到质量流控制器 10A 中,同时通过利用真空泵 58 而抽成真空。在流量稳定之后,关闭气体流量检验单元 11 的第二截止阀 13。因此,系统通道内的压力以及气体流量检验单元 11 的通道内的压力上升,使得压力传感器 14 所检测到的压力值上升。在此情况下,在关闭第二截止阀 13 之后,计量从压力传感器 14 测量到测量开始压力 P_1 (在第一实施例中为 5kPa) 到压力传感器 14 测量到目标压力 P_2 (在第一实施例中为 13kPa) 的时间,并通过温度传感器 15 测量温度。

[0118] 如图 9 所示,通过从目标压力 P_2 减去固定测量开始压力 P_1 而获得压力增加量 ΔP ,该压力增加量是从固定测量开始压力 P_1 到目标压力 P_2 的增量。压力传感器 14 以恒定间隔(例如以 0.1 秒的间隔)检测压力。因此,通过计数从压力传感器 14 检测到测量开始压力 P_1 到压力传感器 14 检测到目标压力 P_2 期间所进行的压力测量的次数,从而获得第一截止阀 12 和第二截止阀 13 之间的压力从 P_1 增加到 P_2 期间的测量时间 Δt 。将压力增加量 ΔP 除以测量时间 Δt ,从而获得单位时间的压力增量 $\Delta P/\Delta t$ 。将所采用气体(在第一实施例中为 N_2 气体)的气体常数作为气体常数 R 。由温度传感器 15 的检测获得 T 。通过

输入质量流控制器 10 的设定流量（高精度的流量计 56 所测量的流量（在第一实施例中为 50sccm））而获得流量 Q。因此，将所获得的数值代入到作为式 1 变型的式 2 中，该式 1 是计算流量的基础，从而计算出储器体积 V。

[0119] 式 1

$$[0120] \quad \text{流量} Q = \frac{\Delta P}{\Delta t} \times \frac{V}{RT}$$

[0121] 在该式中， ΔP 表示压力 (Pa)， Δt 表示测量时间 (s)，V 表示储器体积 (m^3)，R 表示气体常数 ($\text{J/mol} \cdot \text{K}$)，而 T 表示气体温度 (K)。

[0122] 式 2

[0123]

$$V = \frac{\Delta t \cdot \text{流量} Q \cdot RT}{\Delta P}$$

[0124] 如上所述，对储器体积 V 重复测量十次，并计算出储器体积 V 的平均值。将该平均值定义为储器体积 V，并将其存储在控制器 16 的体积存储装置 46 内。

[0125] 储器体积 V 对应于通过将已知体积 V_k 和系统通道体积 V_e 相加而获得的体积。该已知体积 V_k 已经预先存储在体积存储装置 46 内。因此，从储器体积 V 减去已知体积 V_k 可测出系统通道体积 V_e 。所测出的系统通道体积 V_e 被存储在体积存储装置 46 内。

[0126] < 误差的测量 >

[0127] 通过以下的方式测量误差，即，控制器 16 执行流量检验程序，以进行流量检验，并比较由气体流量检验单元计算的流量和由高精度流量计 56 所测量的流量。

[0128] 在进行气体单元 2A 的流量检验时，气体单元 2B、2C 和 2D 的输出截止阀 55B、55C 和 55D 以及气体供应阀 57 关闭，与此同时，气体单元 2A 的手动阀 52A 和输出截止阀 55A 以及气体流量检验单元 11 的第一截止阀 12 和第二截止阀 13 打开。在此状态下，将 N_2 气体供应到质量流控制器 10A。在供应 N_2 气体 30 秒之后，关闭气体流量检验单元 11 的第二截止阀 13，以使质量流控制器 10A 的控制流量稳定。

[0129] 因此，气体流量检验单元 11 内的压力增加。然后，计量出从压力传感器 14 测量出测量开始压力 P_1 (5kPa) 到压力传感器 14 测量出目标压力 P_2 (13kPa) 的时间。计量该时间的原因在于，压力增加时间随着流量而变化。具体而言，在流量为 100sccm 的情况下，压力从 5kPa 增加到 13kPa 的时间为 7.5 秒，而在流量为 500sccm 的情况下，该时间为 1.5 秒。在压力传感器 14 检测到 13kPa 之后，打开第二截止阀 13，进入到下一流量检验。

[0130] 气体流量检验单元 11 如下计算流量。通过从目标压力 P_2 减去固定的测量开始压力 P_1 获得第一截止阀 12 和第二截止阀 13 之间的压力增加量 ΔP 。压力传感器 14 以恒定间隔（例如以 0.1 秒的间隔）检测压力。因此，通过计数从压力传感器 14 检测到测量开始压力 P_1 到压力传感器 14 检测到目标压力 P_2 期间所进行的压力测量的次数，获得第一截止阀 12 和第二截止阀 13 之间的压力从 P_1 增加到 P_2 期间的测量时间 Δt 。将压力增加量 ΔP 除以测量时间 Δt ，从而可获得单位时间的压力增加值 $\Delta P / \Delta t$ 。将所采用气体（在第一实施例中为 N_2 气体）的气体常数作为气体常数 R。从温度传感器 15 的检测而获得气体温度 T。因为已经通过上述体积测量将储器体积 V 存储在体积存储装置 46 内，从而该储器体积 V 是已知的。因此，将所获得的数值（单位时间的压力增量 $\Delta P / \Delta t$ 、气体常数 R、温度 T 以

及储器体积 V) 代入式 1 可计算出流量 Q 。

[0131] 气体流量检验单元 11 对计算出的流量 Q 与质量流控制器 10 的设定流量加以比较。在它们彼此相符时,就断定质量流控制器 10 正确地控制了流量。如果它们彼此不相符,则断定质量流控制器 10 没有正确控制流量,从而按需要执行质量流控制器 10 的校准。

[0132] 将由气体流量检验单元 11 计算出的流量 Q 与由高精度流量计 56 所测量的流量加以比较,以确定误差。其原因如下,高精度流量计 56 具有非常高的检测精度,从而由该高精度流量计 56 测量出的流量极为接近由质量流控制器 10A 所控制的流量的真实值。因此,在将由气体流量检验单元 11 计算出的流量 Q 与由高精度流量计 56 测量出的流量加以比较而得到误差时,可以确定气体流量检验单元 11 的气体流量检验精度。

[0133] < 评估结果 >

[0134] 以下将参照图 10 说明通过误差测量而得到的评估结果。当发明人通过利用评估装置 50C 而评估传统气体流量检验单元 U 时,发现在质量流控制器 10A 的流量为 100sccm 的情况下,由该传统气体流量检验单元 U 计算出的流量 Q_{13} 与由高精度流量计 56 测量出的质量流控制器 10A 的真实值之间的误差较小,例如为 0.012% (参见图 10 中的黑点),如图 10(iii) 所示。本发明人认为,在传统单元 U 中流量检验精度非常好的原因在于,如图 19 所示,设置了腔室 153。

[0135] 具体而言,通常,在阀部件 151 和 152 彼此靠近时,它们之间的体积降低,从而压力在短时间内上升。当单位时间内增加的压力值 (图 9 中的曲线的梯度) 变得太大时,阀部件 152 在转换器组件 154 输出直接表示 PV/RT 的信号之前就打开,从而导致不可能进行流量检验。因此,本发明人认为,为了确保能执行流量检验,在阀部件 151 和阀部件 152 之间需要有腔室来增加已知体积 V_k 。

[0136] 还期望能降低单位时间的增加的压力值 (图 9 中的曲线的梯度) 以高精度地执行流量检验。然而,在增加的压力值降低得过多时,会产生流量检验时间变长的问题。因此,本发明人认为,为了确保压力测量时间,必须在考虑半导体制造工艺所容许的流量检验时间的情况下确定腔室 153 的体积。

[0137] 另一方面,本发明人已经设想通过将第一截止阀 12、第二截止阀 13、压力传感器 14 和温度传感器 15 结合到通道组件 18 内而构造气体流量检验单元 11,这样就使气体流量检验单元 11 的尺寸比其中利用管道连接阀部件 151 和 152 的传统气体流量检验单元 U 更紧凑。本发明人通过将腔室 60 安装在气体流量检验单元 11 内而制成评估装置 50B,以提高流量检验的精度。在此情况下,本发明人在气体流量检验单元 11 内安装了体积为 500cc 的腔室 60,以显著地提高流量检验精度,该腔室 60 大于传统气体流量检验单元 U 中使用的腔室 153。

[0138] 当本发明人利用评估装置 50B 进一步执行评估测试时,发现在质量流控制器 10A 的流量为 100sccm 的情况下,由设置有腔室 60 的气体流量检验单元所计算出的流量 Q_{12} 与真实值之间的误差为 0.099% (参见图中的黑点),如图 10(ii) 所示。考虑到设置腔室的意义,由于腔室 60 的体积大于腔室 153 的体积,流量检验的精度应该会有提高。然而,设有腔室 60 的气体流量检验单元的评估结果却比传统气体流量检验单元 U 的评估结果差。

[0139] 当本发明人利用评估装置 50A 进行评估测试时,发现在质量流控制器 10A 的流量为 100sccm 的情况下,由气体流量检验单元 11 计算出的流量 Q_{11} 与真实值之间的误差为

0.014% (参见图中的黑点),如图 10(i) 所示。考虑到设置腔室的意义,气体流量检验单元 11 的评估结果一定会比传统气体流量检验单元 U 的评估结果差,而且还一定会比设有腔室 60 的气体流量检验单元的评估结果差。然而,该评估结果却比设有腔室 60 的气体流量检验单元的评估结果更令人满意,并且进一步地,该评估结果仅仅比传统气体流量检验单元 U 的评估结果差 0.002%。

[0140] 从上述评估结果,本发明人发现气体流量检验的精度不取决于是否设有腔室。

[0141] 为了在可检验流量范围内检查流量检验精度,本发明人在流量增加到 500sccm 的情况下,利用评估装置 50A、50B 和 50C 对流量检验精度进行了评估。

[0142] 在向评估装置 50A 供应 500sccm 的 N_2 气体的情况下,由气体流量检验单元 11 计算出的流量 Q21 与真实值之间的误差为 0.515% (参见图中的实心黑三角),如图 10(i) 所示。比较在流动有 100sccm 的少量 N_2 气体的情况下的误差 (0.0014%) 和在流动有 500sccm 的大量 N_2 气体的情况下的误差 (0.515%),它们之间的差为 0.501%。

[0143] 在向评估装置 50B 供应 500sccm 的 N_2 气体的情况下,由设有腔室 60 的气体流量检验单元 U 计算出的流量 Q22 与真实值之间的误差为 0.982% (参见图中的实心黑三角),如图 10(ii) 所示。比较在流动有 100sccm 的少量 N_2 气体的情况下的误差 (0.099%) 和在流动有 500sccm 的大量 N_2 气体的情况下的误差 (0.982%),它们之间的差为 0.883%。

[0144] 在向评估装置 50C 供应 500sccm 的 N_2 气体的情况下,由传统气体流量检验单元 U 计算出的流量 Q23 与真实值之间的误差为 1.150% (参见图中的实心黑三角),如图 10(iii) 所示。比较在流动有 100sccm 的少量 N_2 气体的情况下的误差 (0.012%) 和在流动有 500sccm 的大量 N_2 气体的情况下的误差 (1.150%),它们之间的差为 1.138%。

[0145] 考察评估结果,发现在可检验流量范围内提供最稳定流量检验精度的单元是气体流量检验单元 11,提供最不稳定精度的单元是传统气体流量检验单元 U。如果流量可检验范围内流量检验精度的变化是由于腔室造成的,则设置有 500cc 腔室 60 的气体流量检验单元所产生的流量检验精度的变化一定会大于由传统气体流量检验单元 U 所产生的流量检验精度的变化。然而,在评估结果中,由传统气体流量检验单元 U 所产生的流量检验精度的变化大于设置有 500cc 腔室 60 的气体流量检验单元所产生的流量检验精度的变化。从该评估结果,本发明人确认气体流量检验单元 11 的单元结构在尺寸紧凑的方面优于传统气体流量检验单元 U,而且进一步地,在减少流量检验精度的变化方面优于传统气体流量检验单元 U。

[0146] 以下将考察气体流量检验单元 11 的流量检验精度优于传统气体流量检验单元 U 的原因。

[0147] 第一个原因在于,已知体积 V_k 不大于系统通道体积 V_e 。系统通道体积 V_e 为 100cc,而气体流量检验单元 11 的已知体积 V_k 为 10cc。设有腔室 60 的气体流量检验单元的已知体积 V_k 大于 500cc,且传统气体流量检验单元 U 的已知体积 V_k 大于 250cc。换言之,只有气体流量检验单元 11 的已知体积 V_k 小于系统通道体积 V_e 。在设置腔室来增加已知体积 V_k 的情况下,只要流量较小,气体就会缓慢地流入到腔室内,从而气体流量检验单元内的压力平衡容易均匀。然而,在流量变大时,第一截止阀 12 (阀部件 151) 与第二截止阀 13 (阀部件 152) 之间的压力在气体进入腔室以增加压力之前就急剧上升,从而使得气体流量检验单元内的压力平衡不均匀。因此,在检测腔室的压力和温度以进行流量检验时,随着

流量的增加而不能正确检测到第一截止阀 12(阀部件 151) 与第二截止阀 13(阀部件 152) 之间的压力和温度,其结果被认为是容易在由气体流量检验单元所检验的流量和真实值之间产生误差。因此,认为通过将已知体积 V_k 设置为等于或小于系统通道体积 V_e 可提高流量检验精度。

[0148] 第二个原因在于通道结构简单。设有腔室 60 的气体流量检验单元与传统气体流量检验单元 U 的相同之处在于,它们都具有腔室,不同之处在于,在设有腔室 60 的气体流量检验单元中通道由通道组件 18 构成,而在传统气体流量检验单元 U 中,通道由管道构成。与传统气体流量检验单元 U 相比,设有腔室 60 的气体流量检验单元在控制小流量时的流量检验精度较差。然而,在控制大流量时,设有腔室 60 的气体流量检验单元的流量检验精度优于传统气体流量检验单元 U 的流量检验精度。由此认为,与其中通道由管形成的情况相比,其中气体流量检验单元通道由通道组件 18 形成的结构简化了通道结构,从而能提高在控制大流量时的气体流量检验精度。

[0149] 第三个原因在于减小了通道截面积的变化。气体流量检验单元 11 与设有腔室 60 的气体流量检验单元的不同之处在于,后者具有腔室 60。对于小流量时的误差进行比较可知,气体流量检验单元 11 的误差比设有腔室 60 的气体流量检验单元的误差小 0.085%,对于大流量时的误差进行比较可知,气体流量检验单元 11 的误差比设有腔室 60 的气体流量检验单元的误差小 0.467%。具体而言,仅通过不设置腔室 60 来降低小流量时和大流量时的气体流量检验单元 11 的误差,而且进一步地,该误差随着流量增加而降低。由此认为,因为在没有设置腔室 60 的情况下,通道 18 与内部通道之间在通道截面积上没有变化,使得气体的流动稳定,从而提高了流量检验的精度,而且进一步地,即使流量增加,也能抑制流量检验的精度误差。

[0150] < 根据第一实施例的气体流量检验单元的操作和效果 >

[0151] 因此,因为在根据第一实施例的气体流量检验单元 11 中,已知体积 V_k 不大于系统通道体积 V_e ,从而第一截止阀 12 和第二截止阀 13 之间的压力容易均匀,即使在第一截止阀 12 和第二截止阀 13 之间供应的流量从 100sccm 的小流量变化为 500sccm 的大流量也是如此。因此,即使在第一截止阀 12 和第二截止阀 13 之间供应的气体流量增加,第一实施例的气体流量检验单元 11 也能通过压力传感器 14 和温度传感器 15 正确地检测到压力和温度,因此利用由压力传感器 14 检测到的压力结果以及由温度传感器 15 检测到的温度结果,能精确计算并检验气体流量。因此,根据第一实施例的气体流量检验单元 11,所测流量与由质量流控制器 10 所控制的流量之间的误差降低了(参见图 10(i)),从而能提高针对流量检验的可靠性。

[0152] 根据第一实施例的气体流量检验单元 11,因为第一截止阀 12、第二截止阀 13、压力传感器 14 通过螺栓 40 从上方旋紧到通道组件 18 的上表面从而结合在一起(参见图 5),从而可减小第一截止阀 12 和第二截止阀 13 之间的已知体积 V_k ,以减小气体流量检验单元 11 的尺寸。具体而言,取消了腔室,且将装置 12、13 和 14 结合在通道组件 18 上,从而第一实施例的气体流量检验单元 11 形成的台面空间比传统气体流量检验单元 U 小 2/3。因为减小了第一截止阀 12 和第二截止阀 13 之间的已知体积 V_k ,从而能缩短第一截止阀 12 和第二截止阀 13 之间的压力达到目标压力所花的时间,借此缩短了气体流量的检验时间。

[0153] 在第一实施例的气体流量检验单元 11 中,杆状温度传感器 15 被插入到通道组件

18 的插入孔 38 内,以测量通道组件 18 的温度,从而检测到在第一截止阀 12 和第二截止阀 13 之间(参见图 5)供应的气体的温度变化。因此,能将温度传感器 15 安装在气体流量检验单元 11 内,其中第一截止阀 12 和第二截止阀 13 之间的已知体积 V_k 减少了。

[0154] 根据第一实施例的气体流量检验单元 11,通过利用在其内安装有质量流控制器 10 的气体单元 2 与气体盒 1 之间形成的死空间将气体流量检验单元 11 容纳在气体盒 1 内。因此,无需为了为气体流量检验单元 11 安排出安装空间而改变气体盒 1 的外部管道的结构。因此第一实施例的气体流量检验单元 11 能提供非常好的安装性能。

[0155] 在第一实施例的气体流量检验单元 11 中,在控制器 16 执行体积测量程序 47 时对系统通道体积 V_e 进行测量。具体而言,在仅通过目标压力 P_2 将气体填充在质量流控制器 10 和第二截止阀 13 之间时,计算出从压力传感器 14 检测到固定测量开始压力 P_1 时到压力传感器 14 检测到目标压力 P_2 时这一时段内单位时间的压力增加值 $\Delta P/\Delta T$,且温度传感器 15 检测当压力达到目标压力 P_2 时的气体温度 T 。然后,将压力增加值 $\Delta P/\Delta T$ 和气体温度 T 与质量流控制器 10 的控制流量 Q 和气体常数 R 一起代入到式 1 中,以测出从质量流控制器 10 到第二截止阀 13 的储器体积 V 。之后,从体积存储装置 46 读取已知体积 V_k ,并从储器体积 V 减去已知体积 V_k ,从而测量出系统通道体积 V_e 。因此,根据第一实施例的气体流量检验单元 11,即使系统通道体积 V_e 随着其内安装有单元的系统机构而变化,也可消除该变化带来的影响,从而能将气体流量检验的精度保持为令人满意。

[0156] (第二实施例)

[0157] 以下将参照附图说明根据本发明的气体流量检验单元的第二实施例。图 11 为示出了设有气体流量检验单元 11A 的气体供应集成单元 63 的一个示例的框图。

[0158] 根据第二实施例的气体流量检验单元 11A 用于对图 11 所示的气体供应集成单元 63 进行流量检验。气体供应集成单元 63 的电路结构与在第一实施例中描述的评估装置 50(参见图 8)的电路结构相同,从而在流体控制装置中采用与评估装置 50 中的附图标记相同的附图标记。根据第二实施例的气体流量检验单元 11A 中的控制器 16 的结构与第一实施例的控制器 16 不同。因此,将主要说明与第一实施例的不同之处,附图中相同的部件采用与第一实施例中相同的附图标记,以适当地省略对它们的说明。

[0159] <控制器的电结构>

[0160] 图 12 为根据第二实施例的气体流量检验单元 11A 中使用的控制器 61 的电框图。

[0161] 控制器 61 与第一实施例中的控制器 16(参见图 6)的不同之处在于,气体供应集成单元 63 的压力计 59、真空泵 58 以及输出截止阀 55 连接到输入/输出界面 42。压力计 59 检测通过气体供应阀 57 与气体单元 2 连通的系统通道(参见 11)的压力,并将压力检测信号输出到控制器 61。真空泵 58 在接收到来自控制器 61 的指令后排空气体供应集成单元 63。接收到来自控制器 61 的指令后关闭或打开输出截止阀 55,以控制气体单元 2 内的工艺气体的输出。

[0162] 控制器 61 将体积测量程序 62 存储到 ROM 43 中,该体积测量程序 62 是“体积测量装置”。体积测量程序 62 与第一实施例的体积测量程序 47 在方法上的不同之处在于,体积测量程序 62 利用组合气体定律(Boyle-Charles 定律)来计算系统通道体积 V_e 和储器体积 V ,而测量程序 47 利用式 2 来计算储器体积 V 。

[0163] <体积的测量>

[0164] 通过利用控制器 61 执行体积测量程序 62 而测量储器体积 V 和系统通道体积 V_e 。这里,将通过利用气体供应集成单元 63(参见图 11) 测量体积的情形作为示例而加以说明,该气体供应集成单元 63 包括与评估装置 50(参见图 8) 中的电路结构相同的电路结构。

[0165] 首先,图 11 所示的输出截止阀 55A、55B、55C 和 55D 以及气体供应阀 57 关闭,而气体流量检验单元 11A 的第一截止阀 12 和第二截止阀 13 打开。然后,驱动真空泵 58 来排空输出截止阀 55A 的下游侧。在压力传感器 14 检测到预定压力 (5kPa) 且确认完成了排空之后,将气体单元 2A 的手动阀 52A 和输出截止阀 55A 从关闭状态改变为打开状态,并在气体单元 2A 中供应 N_2 气体。在关闭第二截止阀 13 时,从质量流控制器 10A 到第二截止阀 13 的通道内的压力增加。在压力传感器 14 检测到预定压力 (13kPa) 时,将输出截止阀 55A 从打开状态改变为关闭状态,以停止 N_2 的供应。随后,关闭第一截止阀 12,打开第二截止阀 13,然后驱动真空泵 58 以在第一截止阀 12 的阀座 22 和第二截止阀 13 的阀座 28 之间形成真空区域。之后,将第一截止阀 12 从关闭状态改变为打开状态,从而将 N_2 气体排出到真空区域内。此时,压力传感器 14 检测压力的变化,且温度传感器 15 检测通道组件 18 的温度,即,气体的温度。

[0166] 压力传感器 14 在 N_2 气体即将排出到真空区域之前检测到的压力 P_{11} 、温度传感器 15 在 N_2 气体即将排出到真空区域之前检测到的温度 T_{11} 、在将 N_2 气体排出到真空区域之后的完成体积测量的体积测量完成压力 P_{12} 、以及温度传感器 15 在压力达到体积测量完成压力 P_{12} 时检测到的温度 T_{12} 代入组合气体定律 ($P_{11} \cdot V_{11}/T_{11} = P_{12} \cdot V_{12}/T_{12}$)。因而获得体积 V_{12} 。因为体积 V_{12} 是打开第一截止阀 12 之后的体积,所以其相当于储器体积 V 。因此,从储器体积 V 减去已知体积 V_k 以测出系统通道体积 V_e 。如上所述测得的储器体积 V 和系统通道体积 V_e 被存储在体积存储装置 46 中。

[0167] < 根据第二实施例的气体流量检验单元的操作和效果 >

[0168] 如上所述,在根据第二实施例的气体流量检验单元 11A 中,第二截止阀 13 的第二端口 27 连接至真空泵 58,且控制器 61 连接至压力计 59 以及气体单元 2 的输出截止阀 55(参见图 11 和图 12),该压力计 59 检测质量流控制器 10 的出口与第一截止阀 12 的阀座 22 之间的压力。控制器 61 执行体积测量程序 62,其中对系统通道体积 V_e 进行测量。具体而言,在通过真空泵 58 排空第一截止阀 12 和第二截止阀 13 之间的部分且将填充在质量流控制器 10 和第一截止阀 12 之间的气体排出到第一截止阀 12 和第二截止阀 13 之间时,压力传感器 14 和温度传感器 15 分别检测出第一截止阀 12 和第二截止阀 13 之间的压力变化和温度变化,并将压力检测结果和温度检测结果代入到组合气体定律,以测出储器体积 V 。从体积存储装置 46 读出已知体积 V_k ,并从储器体积 V 减去已知体积 V_k ,从而测出系统通道体积 V_e 。因此,根据第二实施例的气体流量检验单元 11A,即使系统通道体积 V_e 随着其中安装了单元的系统结构而变化,也可消除该变化带来的影响,从而将气体流量检验的精度保持为令人满意。

[0169] (第三实施例)

[0170] 以下将参照附图说明根据本发明的气体流量检验单元的第三实施例。

[0171] 通过改进第一实施例中的气体流量检验单元 11 的流量检验过程以缩短流量检验时间,从而获得根据第三实施例的气体流量检验单元 11B。因此,将主要说明与第一实施例的不同之处,附图中相同的部件采用与第一实施例中相同的附图标记,以适当地省略对它

们的说明。

[0172] 图 13 为示出了由根据第三实施例的气体流量检验单元 11B 执行的气体流量检验方法的流程图。图 14 为一曲线图,其示出了在根据本发明第三实施例的气体流量检验单元中以预定的时间间隔对由压力传感器所检测到的压力值进行采样而获得的数据。图 15 为一曲线图,其示出了在根据第三实施例的气体流量检验单元中以预定的压力间隔对由压力传感器检测到的压力值进行采样而获得的数据。图 16 为示出了图 14 或图 15 所示的数据的梯度与可测量范围 X1 之间的关系的视图。图 17 为示出了图 14 或图 15 所示的数据的相关系数与可测量范围 X2 之间的关系的视图。

[0173] 如图 13 所示,第三实施例的气体流量检验单元 11B 与第一实施例的不同之处在于,气体流量检验单元 11B 对由压力传感器 14 检测到的压力值的梯度以及相对于压力值梯度的相关系数进行监控,而且如果梯度或相关系数位于可测量范围 X1 和 X2 内(参见图 16 和图 17),则即使在压力传感器 14 检测到固定测量开始压力 P1 之前,其也测量流量 Q 以进行检验。

[0174] 具体而言,在 S104 测量储器体积 V 之后,气体单元 2B、2C 和 2D 的输出截止阀 55B、55C 和 55D 以及气体供应阀 57 关闭,而在 S301 打开气体单元 2A 的手动阀 52A 和输出截止阀 55A 以及气体流量检验单元 11 的第一截止阀 12 和第二截止阀 13。在此状态下向质量流控制器 10 供入检验气体(例如, N_2 气体)。在流量稳定之后,关闭第二截止阀 13。在此情况中,存储由压力传感器 14 检测的压力 P_0 。在 S302 通过时钟脉冲等判断是否已经过了预定的时间 Δt 。在已经经过了预定时间 Δt 之前,单元一直等待(S302:否)。

[0175] 另一方面,在已经经过了预定时间 Δt 的情况下(S302:是),从压力传感器 14 输入压力值 P_1 ,并在 S303 如图 14 所示进行存储。然后,在 S304 计算压力变化的梯度。具体而言,从最近获得的压力值 P_1 减去在压力值 P_1 之前获得的压力值 P_0 ,以计算出压力增加值 $P_1 - P_0$,并将该压力增加值 $P_1 - P_0$ 除以时间(预定时间) Δt ,该时间是从获得压力值 P_0 到获得最新压力值 P_1 的时间,这样就计算出单位时间的压力增加率(梯度) $P_1 / \Delta t$ 。

[0176] 在 S305 确定所计算的梯度 $P_1 / \Delta t$ 是否位于预先在气体流量检验单元 11B 内记录的可测量范围 X1 内。P 如图 14 中的 Y1 所示,由压力传感器 14 检测到的压力值在经过某一时间之前急剧上升,然后以基本上恒定的梯度逐渐增加到固定测量开始压力 P1。气体流量检验单元 11B 将时间和梯度之间的关系存储到 HDD 45 中,如图 16 所示的映射数据(map data),并存储该范围作为映射数据上的可测量范围 X1,在该范围中,在压力达到固定测量开始压力 P1 之前的梯度范围中设置了余量,从而不对流量检验精度产生不利影响。

[0177] 图 14 所示的 P_0 到 P_1 之间的梯度 $P_1 / \Delta t$ 比较陡峭,其被断定为不位于在气体流量检验单元 11B 内预选记录的可测量范围 X1 内(S305:否)。在此情况下,压力值 P 的梯度可能会变化,由此流量 Q 的测量可能会不精确。因此,程序返回到 S302 以在经过了预定时间之后获得下一个压力值 P_2 ,并执行上述过程。

[0178] 计算最近的压力值 P_n 和该 P_n 之前的压力值 P_{n-1} 之间的压力增加率(梯度) $P_n / \Delta t$,并且在确定所计算的梯度 $P_n / \Delta t$ 位于在气体流量检验单元 11B 内预先记录的可测量范围 X1 内时(S305:是),之后的压力变化就基本上稳定下来,从而对流量检验精度没有不利影响。因此,程序前进至 S306。

[0179] 在 S306,将梯度 $P_n / \Delta t$ 被确定为处在可测量范围 X1 内时的压力值 P_n 存储为测量

开始压力 P_{21} 。换言之,梯度 $P_n/\Delta t$ 被确定为处在可测量范围 $X1$ 内的那一时刻为流量检验开始时刻。

[0180] 在 S307, 确定是否已经从对测量开始压力 P_{21} 的测量开始起经过了测量时间 Δt_x 。在经历了测量时间 Δt_x 之前 (S307:否), 单元在等待同时监控压力传感器 14 的压力值 P 。

[0181] 另一方面, 在已经经历了测量时间 Δt_x (S307:是) 的情况下, 从压力传感器 14 输入在已经经历了测量时间 Δt_x 时的压力值 P , 并将其存储为测量结束压力 P_{22} 。

[0182] 在 S309 计算流量 Q 。具体而言, 计算测量结束压力 P_{22} 与测量开始压力 P_{21} 之间的压力差 $P_{22}-P_{21}$, 并将计算出的压力差 $P_{22}-P_{21}$ 除以测量时间 Δt_x , 从而计算出压力增加率 $P/\Delta t$ 。将计算出的压力增加率 $P/\Delta t$ 、在步骤 S104 处计算出的储器体积 V 、由温度传感器 15 检测到的温度 T 以及所采用气体的气体常数 R 代入式 1, 以计算流量 Q 。

[0183] 之后, 程序前进至 S108。S108 之后的处理如上所述, 从而省略对它们的描述。

[0184] 作为另一示例, 可以以预定压力的间隔获得压力值, 并可监控相对于压力值变化梯度的相关系数, 从而可确定流量检验时刻。

[0185] 具体而言, 如图 13 中的 S302 至 S304 所示, 在由压力传感器 14 检测到的压力每增加预定压力 ΔP 时, 储存压力值 P_n 。当以预定压力间隔采集压力值 P_n 时, 压力采集时间的间隔 Δt_n 短到如图 15 中 Y2 所示的特定时间, 但是经过一定时间后, 压力采集时间的间隔 Δt_n 变为大致恒定。在其中压力采集时间的间隔 Δt_n 变为大致恒定的范围内, 压力值梯度的相关系数接近 1。因此, 计算出最新压力值 P_n 相对于梯度 $\Delta P/\Delta t_n$ 的相关系数。气体流量检验单元 11B 将某一范围设定为可测量范围 $X2$, 在所述某一范围内, 梯度范围内设置了余量, 使得相关系数在对流量 Q 的流量检验精度没有不利影响的范围内大致接近 1。

[0186] 因此, 在计算出的相关系数在可测量范围 $X2$ 之外时 (S305:否), 压力检验不稳定, 且压力变化会对流量 Q 的检验带来不利影响。因此, 程序返回至 S302, 其中, 当压力增加了预定压力时存储压力值 P_n , 并执行与上述处理相同的处理。

[0187] 另一方面, 在相关系数位于可测量范围 $X2$ 之内时 (S305:是), 压力变化基本稳定, 从而不会对流量 Q 的检验带来不利影响。因此, 程序前进至 S306。S306 之后的处理如上所述, 从而省略对它们的描述。

[0188] 在如图 14 所示以时间间隔 Δt 监控压力的情况下, 可基于相对于压力值变化梯度的相关系数是否位于可测量范围 $X2$ (参见图 17) 之内而判断流量检验开始时间。可选的是, 在如图 15 所示以压力间隔 ΔP 监控压力的情况下, 可基于梯度是否位于可测量范围 $X1$ (参见图 16) 之内而判断流量检验开始时间。

[0189] < 第三实施例的操作和效果 >

[0190] 如上所述, 如果即使在压力传感器 14 测量到固定测量开始压力 $P1$ 之前, 压力增加率 (梯度) $P_n/\Delta t$ 或 $\Delta P/\Delta t_n$ 或压力值 P 的梯度 $P_n/\Delta t$ 或 $\Delta P/\Delta t_n$ 的相关系数就位于可测量范围 $X1$ 或 $X2$ 内, 则第三实施例的气体流量检验单元 11B 测量流量以进行检验 (参见图 13 的 S302 至 S309)。另一方面, 第一实施例中的气体流量检验单元 11 一直等到压力传感器 14 检测到固定的测量开始压力 $P1$, 然后测量流量 Q 以执行检验 (参见图 7 中的 S105 至 S107)。

[0191] 在流量检验中, 以固定的检验次数 e 重复进行清洗和流量测量, 以提高检验精度。

因此,第一实施例中的气体流量检验单元要花几分钟才能结束对一个气体单元 2 的流量检验。另一方面,气体流量检验单元 11B 无需等到死时间(从压力基本稳定到压力达到固定的测量开始压力 P1 的时间)之后才进行流量检验。因此,完成对一个气体单元 2 的流量检验的时间可在一分钟之内。

[0192] 因此,只要压力值的梯度或相关系数位于可测量范围 X1 或 X2 内,甚至在压力传感器 14 检测到固定的测量开始压力 P1 之前,第三实施例的气体流量检验单元 11B 就执行流量检验,这样与第一实施例的气体流量检验单元 11 相比缩短了检验时间。一般而言,气体供应集成单元内安装有大量的气体单元 2。因此,如果能缩短每个气体单元 2 的检验时间,则整个气体供应集成单元的检验时间能显著缩短,从而能获得显著的效果。

[0193] 如第三实施例的气体流量检验单元 11B 那样,当在压力传感器 14 的压力达到固定的测量开始压力 P1 之前进行流量检验的情况下,有可能降低精度。有鉴于此,在质量流控制器 10 的下游安装高精度的流量计,以利用高精度流量计测量从质量流控制器 10 输出的流量,并将由第一和第三实施例中的气体流量检验单元 11 和 11B 测得的流量与高精度流量计的测量值进行比较,以考察精度。图 18 示出了考察结果。

[0194] 图 18 为示出了第一和第三实施例中的气体流量检验单元 11 和 11B 的流量检验精度的试验结果的视图。

[0195] 气体流量检验单元 11 和 11B 中的结构相同,仅流量检验处理不同。因此,气体流量检验单元 11 和 11B 具有相同的储器体积 V。假设气体流量检验单元 11B 以预定时间间隔监控压力传感器 14 的压力值 P,以根据压力值的梯度判断流量检验的定时。

[0196] 如图 18 所示,即使在压力传感器 14 检测到固定测量开始压力 P1 之间就进行流量检验,第三实施例的气体流量检验单元 11B 执行的流量检验精度也比第一实施例的气体流量检验单元 11 好仅仅约 0.05%。就数值而言,例如为 0.05%的这种提高非常小。但是,考虑到质量流控制器 10 的目标精度为 1%,精度提高 0.05%极大地促进了产品可靠性的提高。因此,与第一实施例的气体流量检验单元 11 相比,第三实施例的气体流量检验单元 11B 能缩短流量检验时间,并且还提高了流量检验精度。

[0197] 本发明不限于上述实施例,而是可以有多种改型。

[0198] (1) 例如,在上述实施例中,气体流量检验单元 11 的第一截止阀 12、第二截止阀 13 和压力传感器 14 固定到单个通道组件 18。可选的是,它们可通过管道连接,或可经由多个通道组件连接。具体而言,只要已知体积 V_k 不大于系统通道体积 V_e ,则可以适当地组装气体流量检验单元 11 的通道。

[0199] (2) 尽管在以上实施例中采用质量流控制器 10 作为流量控制装置,但是可采样具有流量设置功能的装置(例如压力变化校准定流量阀或流量控制阀)作为流量控制装置。

[0200] (3) 例如,尽管在以上实施例中采用热电偶作为温度传感器 15,但是可将热敏电阻真空计或皮拉尼(Pirani)压力计应用到温度检测器。该温度检测器可安装到通道组件 18 的侧表面上,可从上面推入通道组件 18 而进行安装,或可安装在通道组件 18 的内通道内。

[0201] (4) 例如,尽管在以上实施例中采用电容式压力传感器作为压力传感器,但是可采用压电压力传感器、压力计或麦克劳德(Mcleod)压力计作为压力传感器。

[0202] (5) 例如,尽管在以上实施例中采用电磁驱动系统的电磁阀作为第一截止阀 12 和

第二截止阀 13,但是可采用利用诸如空气操作阀的其他驱动系统的阀。除了膜阀之外,还可采用提升阀。

[0203] (6) 例如,尽管在以上实施例中气体流量检验单元 11 容纳在气体盒内,但是气体流量检验单元 11 可连接到安装于轨道或安装板的气体单元,而不容纳在气体盒内。

[0204] (7) 例如,在以上实施例中储器体积 V 和系统通道体积 V_e 置后地 (ex post) 储存在体积存储装置 46 内。可选的是,在将气体流量检验单元 11 结合在气体盒 1 内并且得到储器体积 V 和系统通道体积 V_e 时,可将储器体积 V 和系统通道体积 V_e 存储在体积存储装置 46 内,作为初始值。在此情况下,当使用者改变气体盒内的通道结构时,可通过执行以上实施例中加以说明的体积测量,而防止与通道结构的改变相关的流量检验故障。

[0205] (8) 在本发明的第三实施例中,测量开始压力 P_{21} 和测量结束压力 P_{22} 是在测量时间 t_x 的基础上计算的,以计算流量。另一方面,可通过将测量开始压力 P_{21} 加上预先确定的压力增量来设定目标压力 P_{23} ,并计量压力从测量开始压力 P_{21} 增加到目标压力 P_{23} 所占用的时间 Δt 以获得在压力从测量开始压力 P_{21} 增加到目标压力 P_{23} 时段内每单位时间的压力增加率 (梯度) $\Delta P / \Delta t$ 。在此情况下,可通过将所获得的每单位时间的压力增加率 $\Delta P / \Delta t$ 代入式 1 来计算流量 Q 。

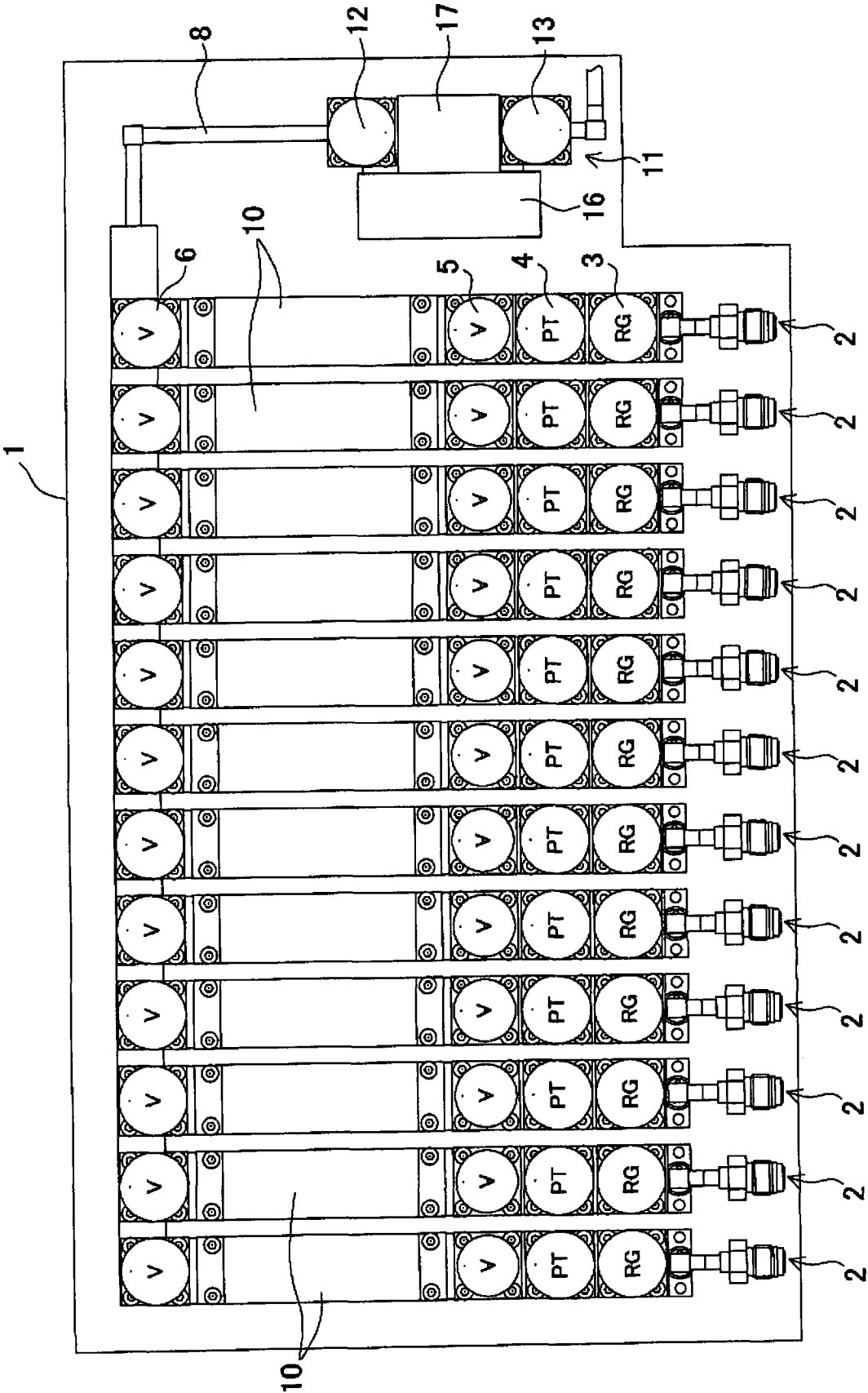


图1

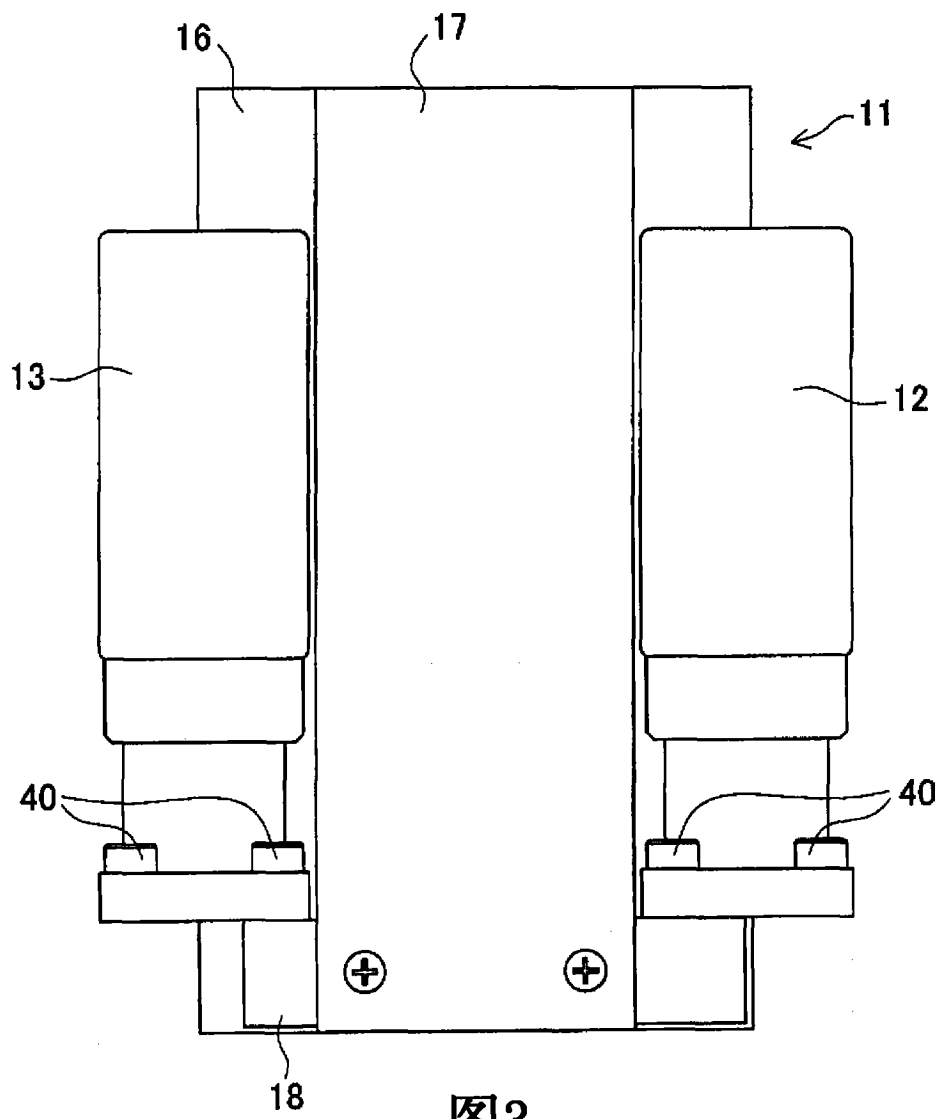


图3

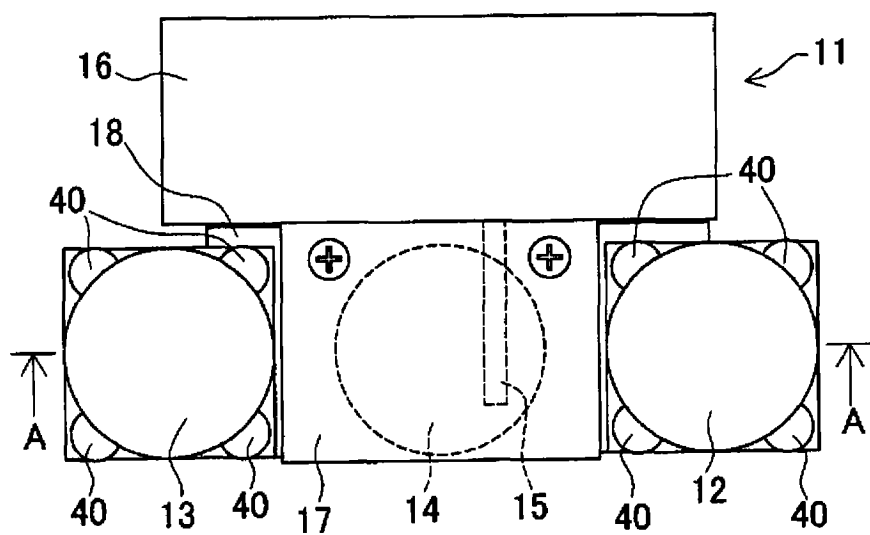


图 4

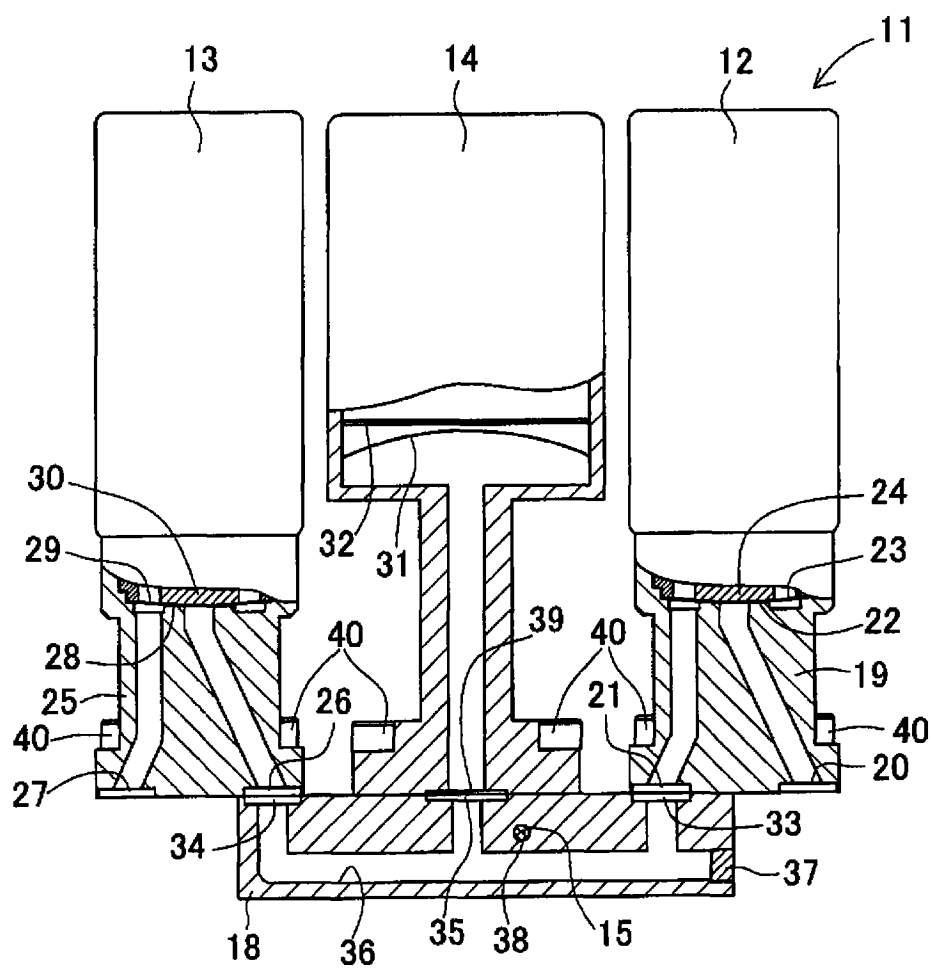


图 5

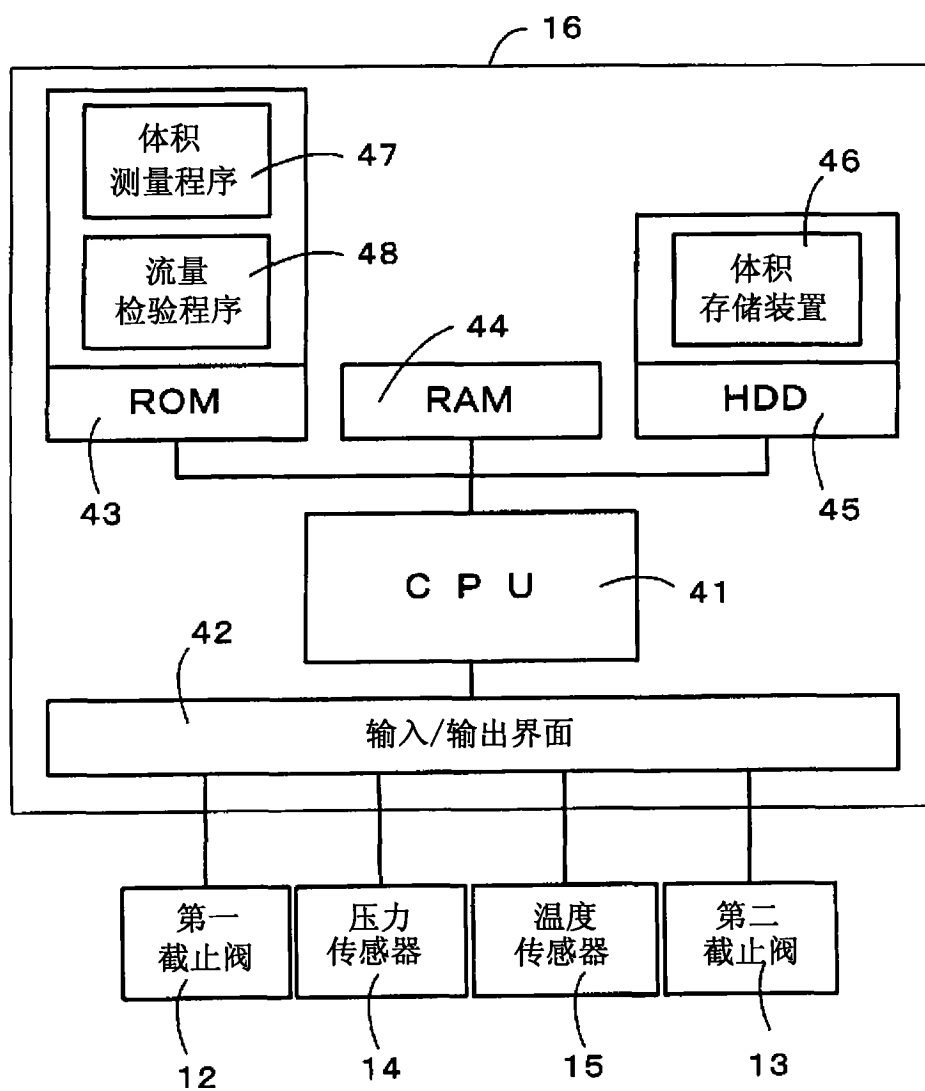


图 6

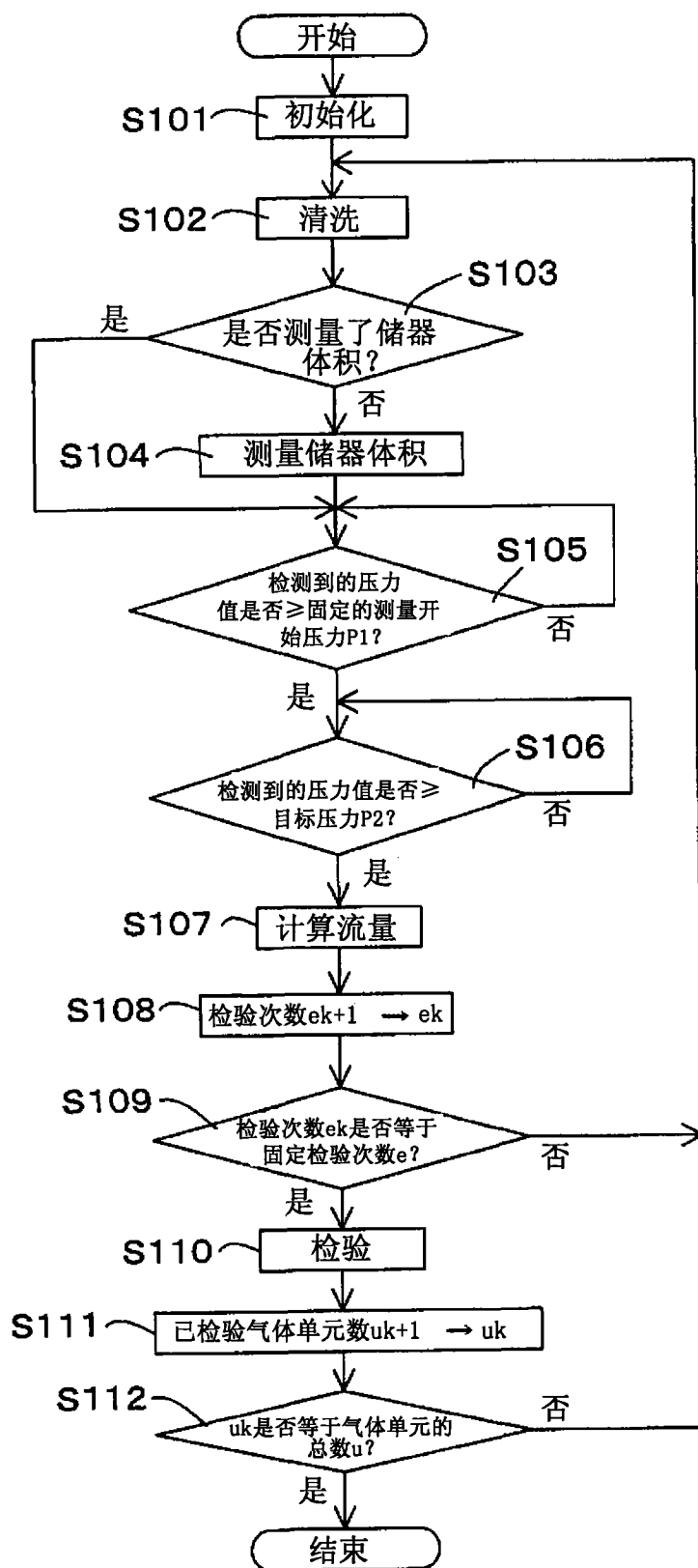


图 7

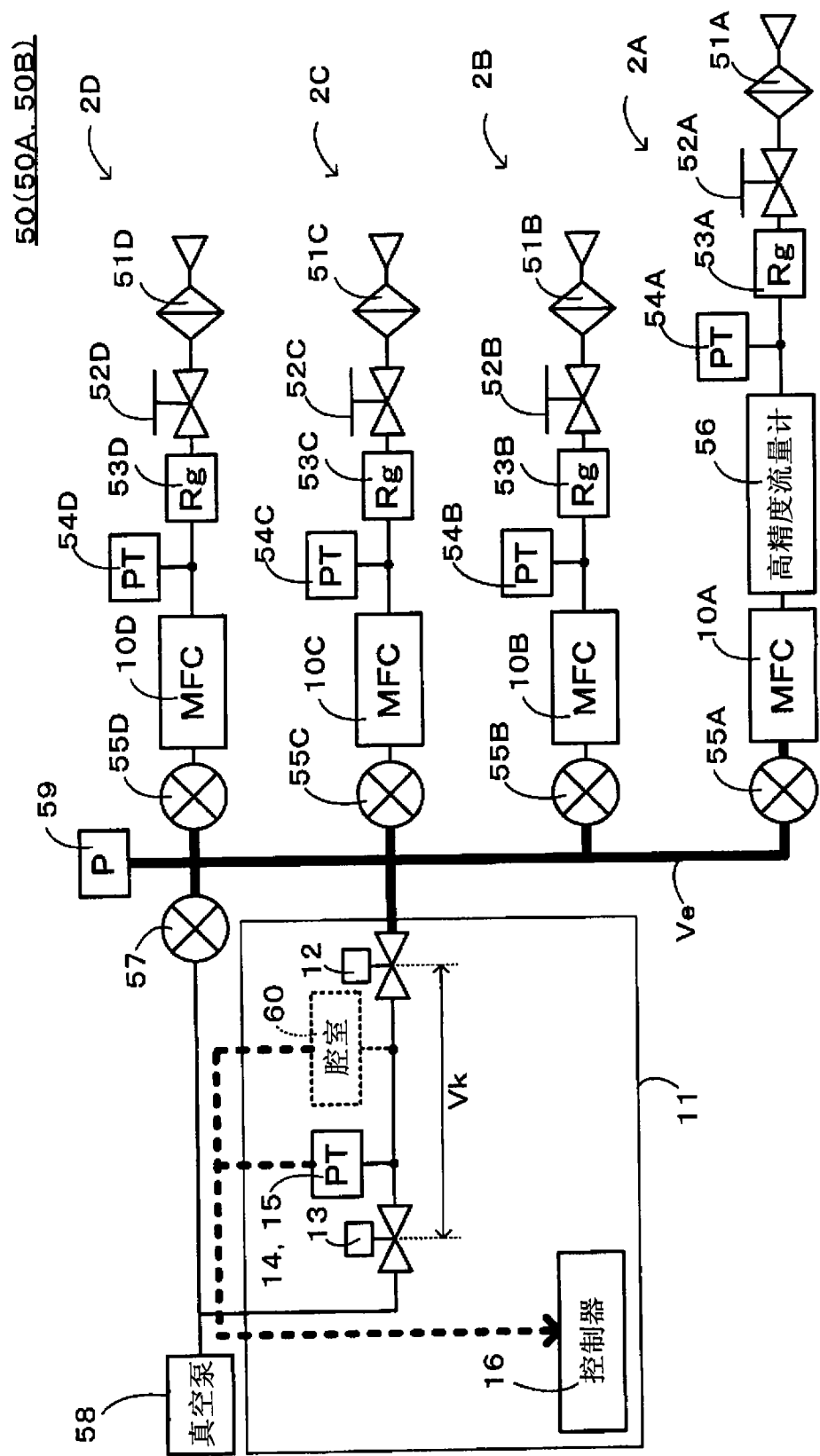


图8

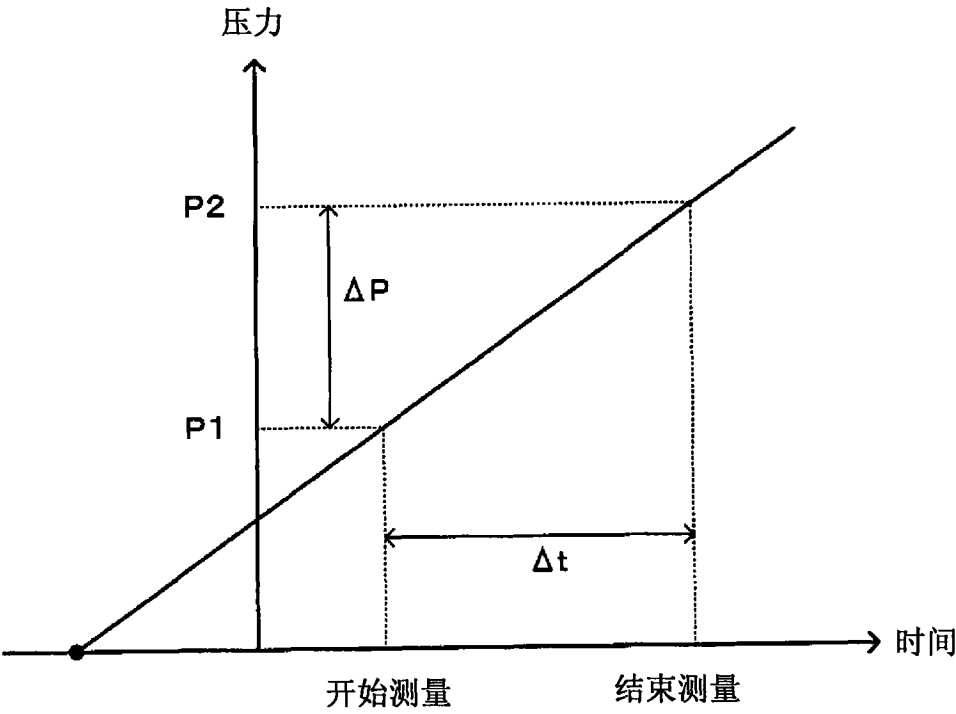


图 9

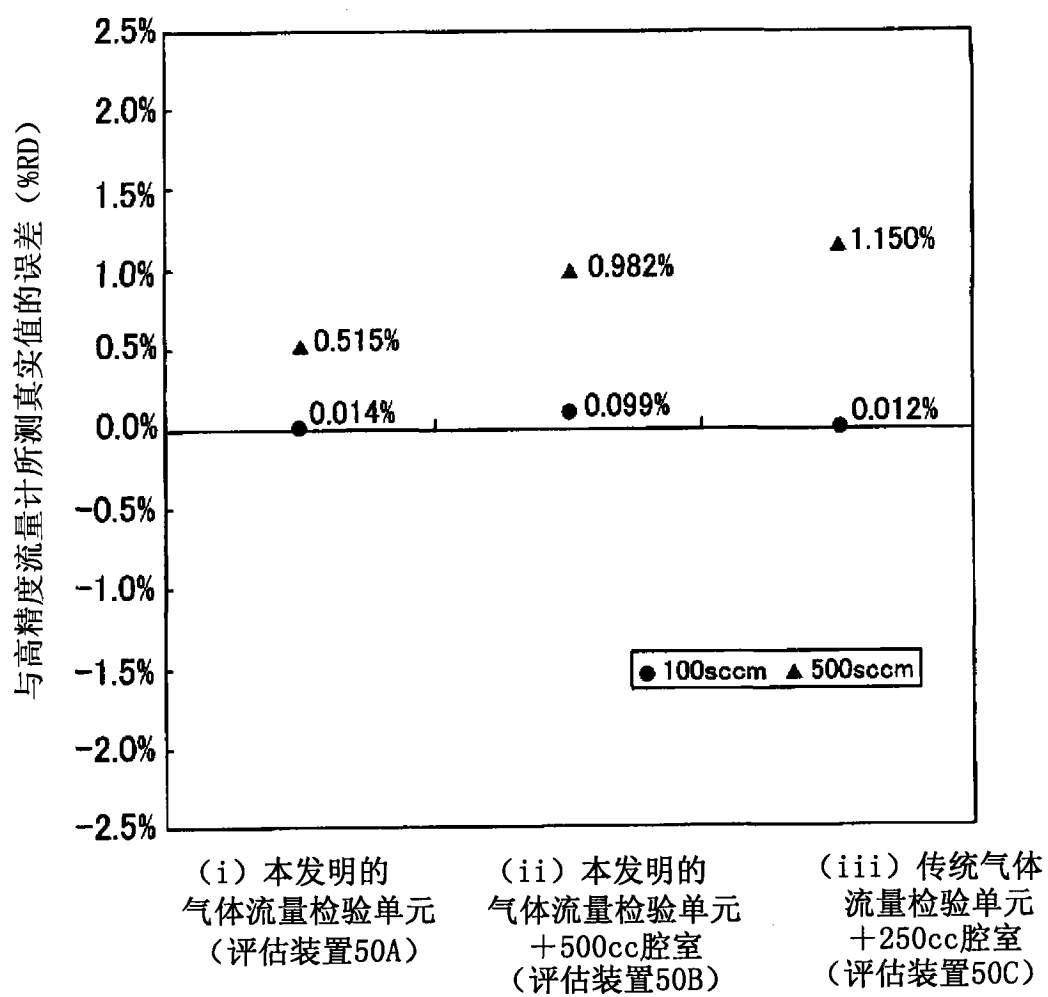


图 10

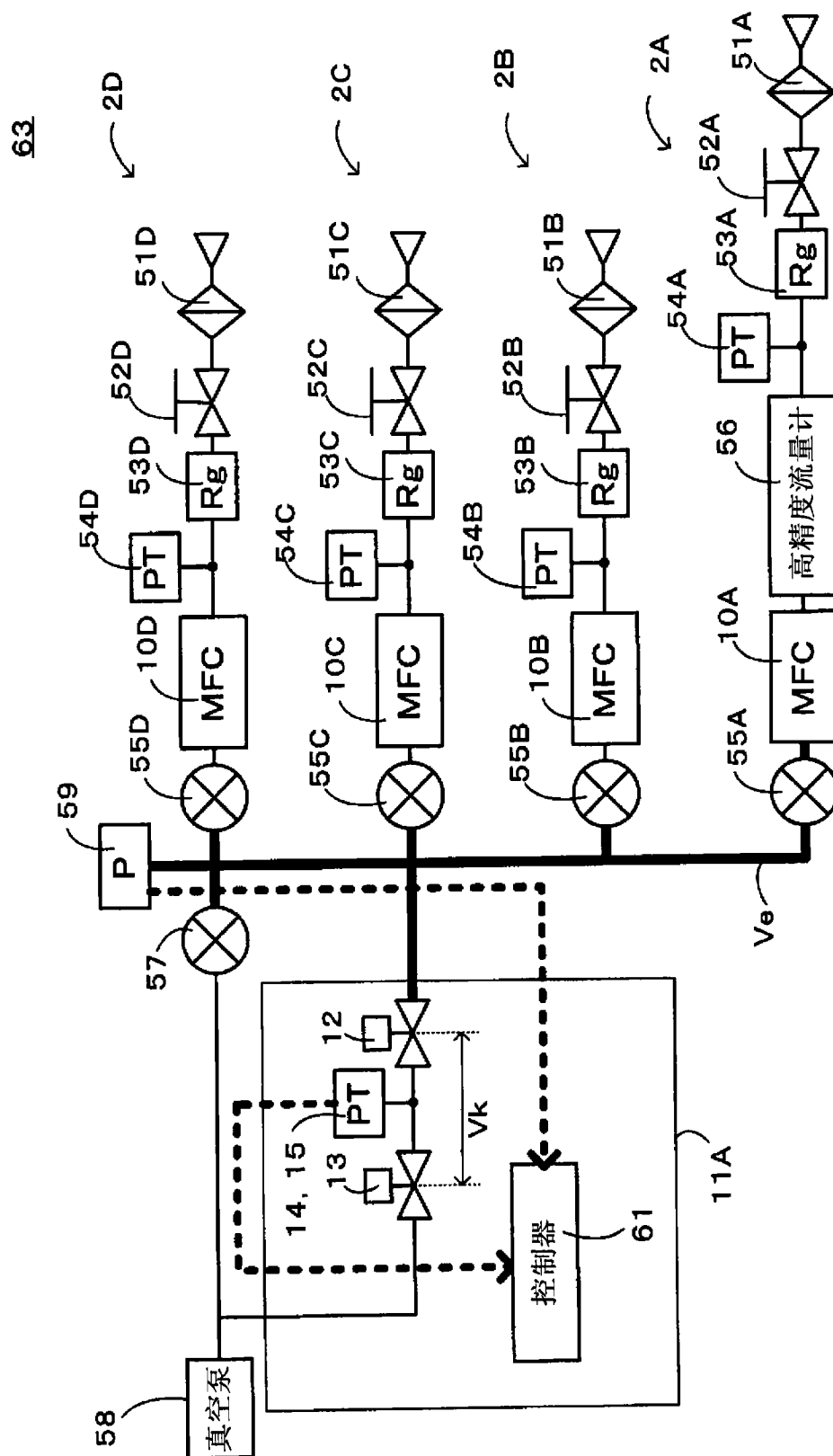


图11

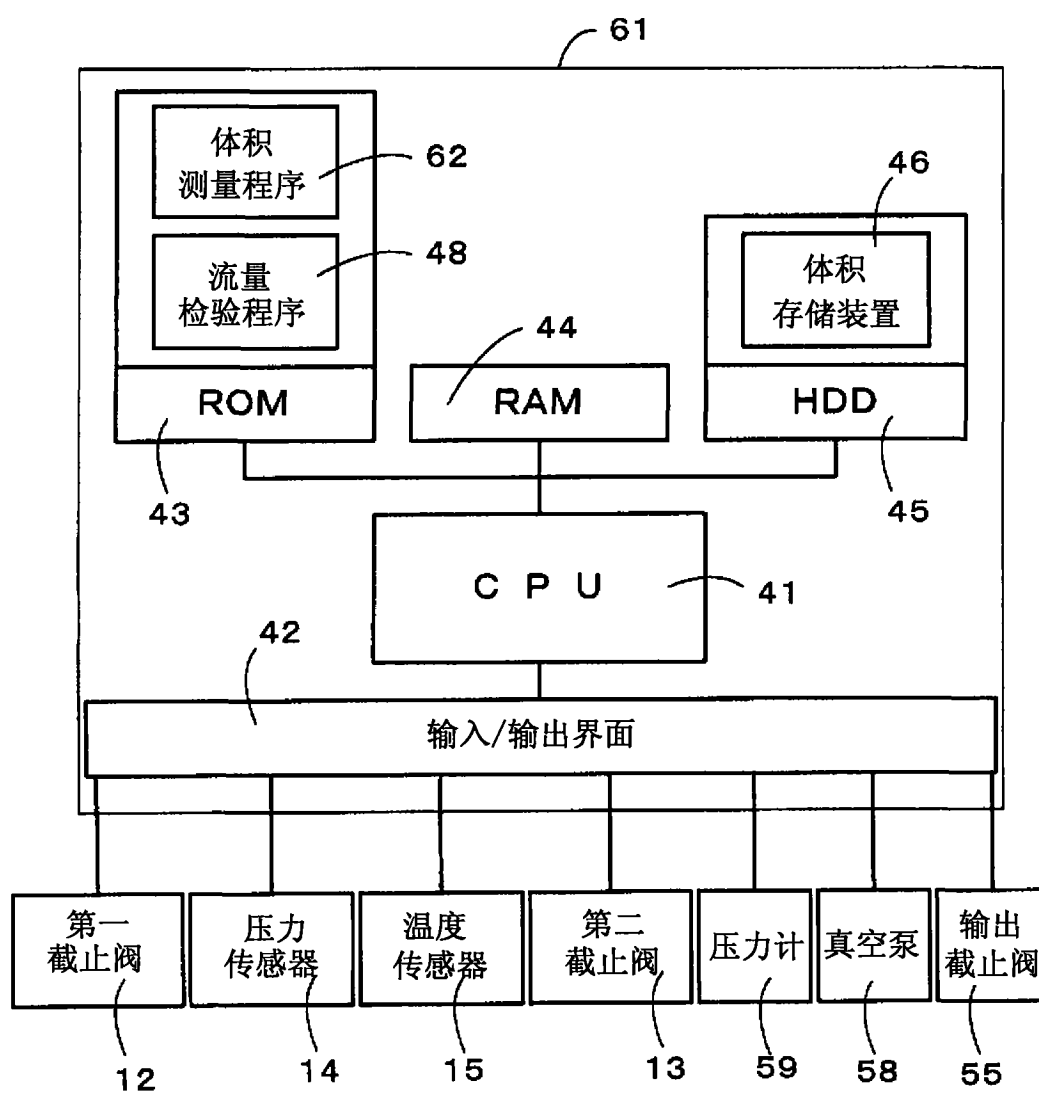


图 12

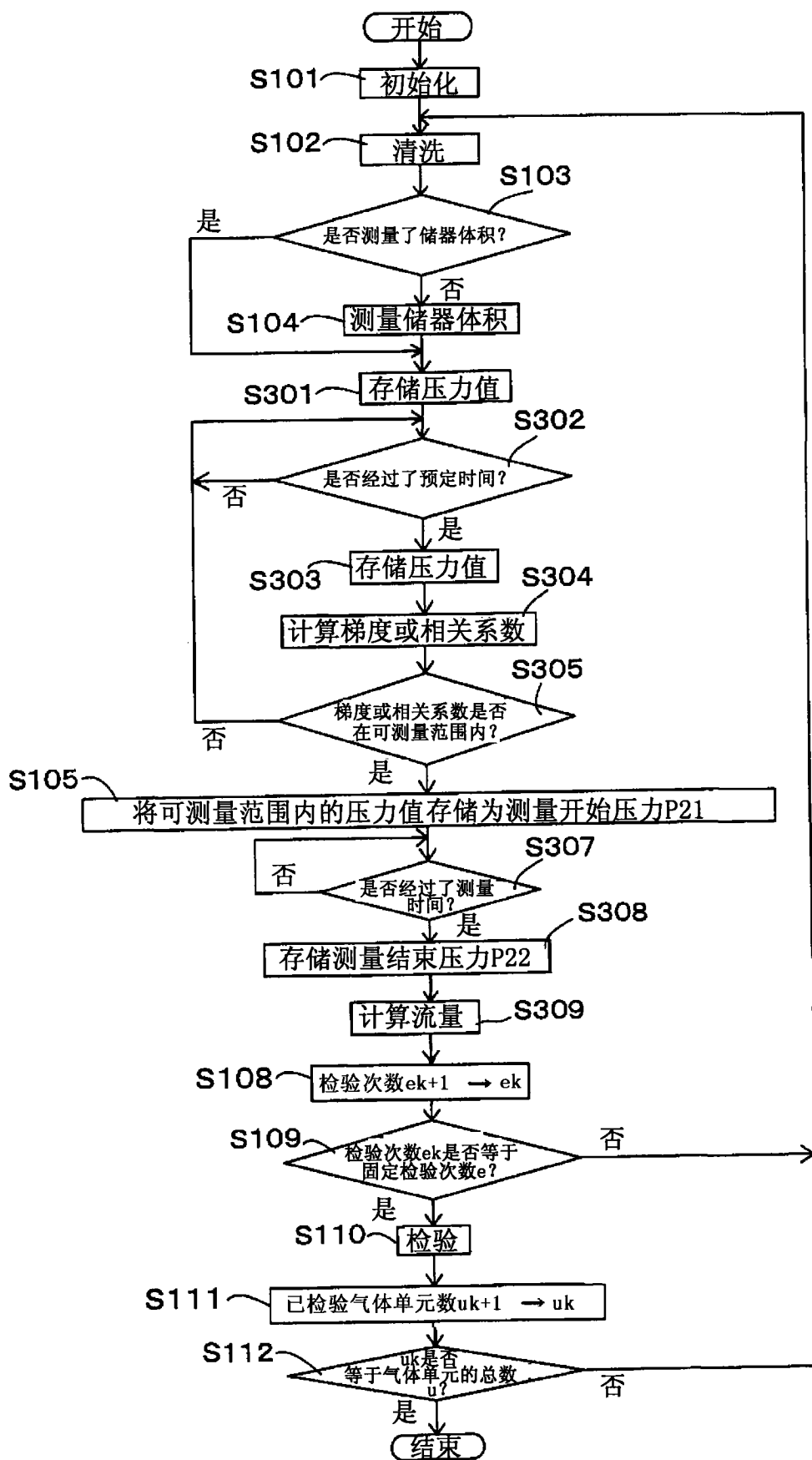


图 13

◆ 以时间间隔 Δt 进行监控时

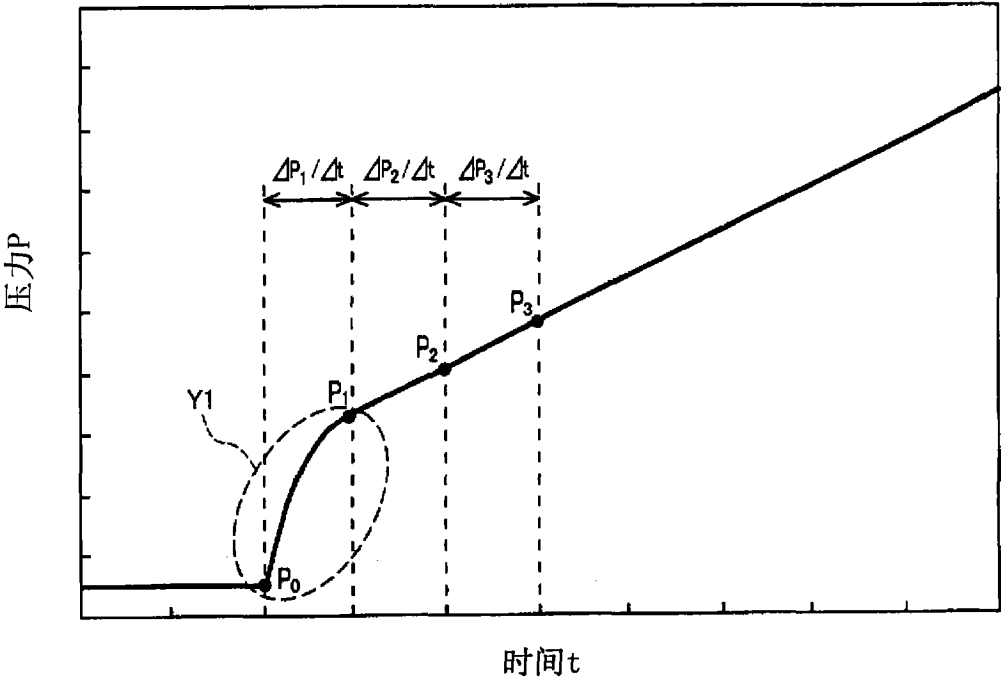


图 14

◆ 以压力间隔 ΔP 进行监控时

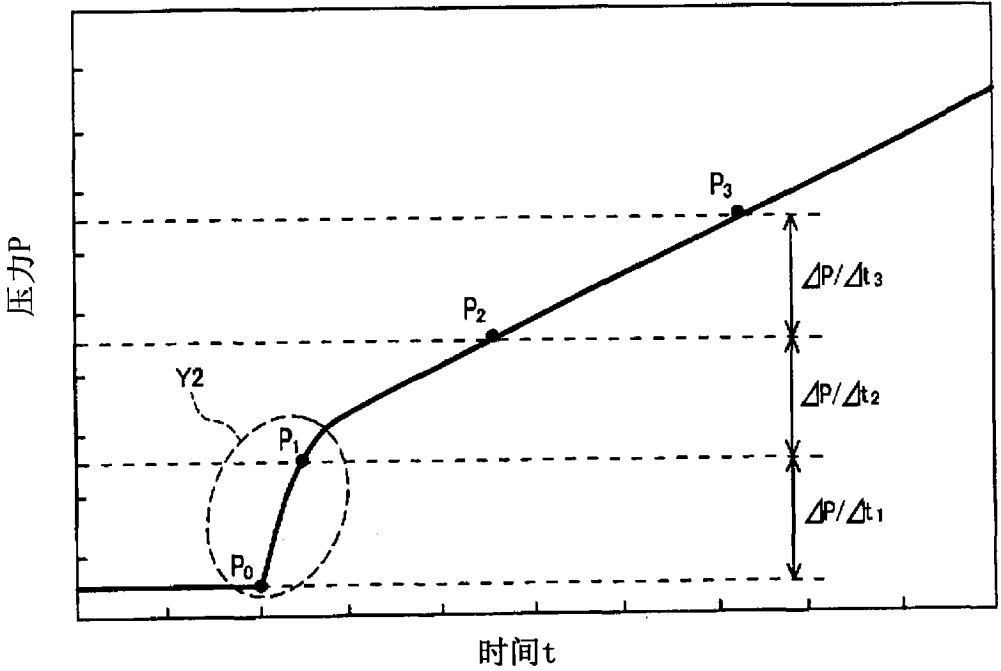


图 15

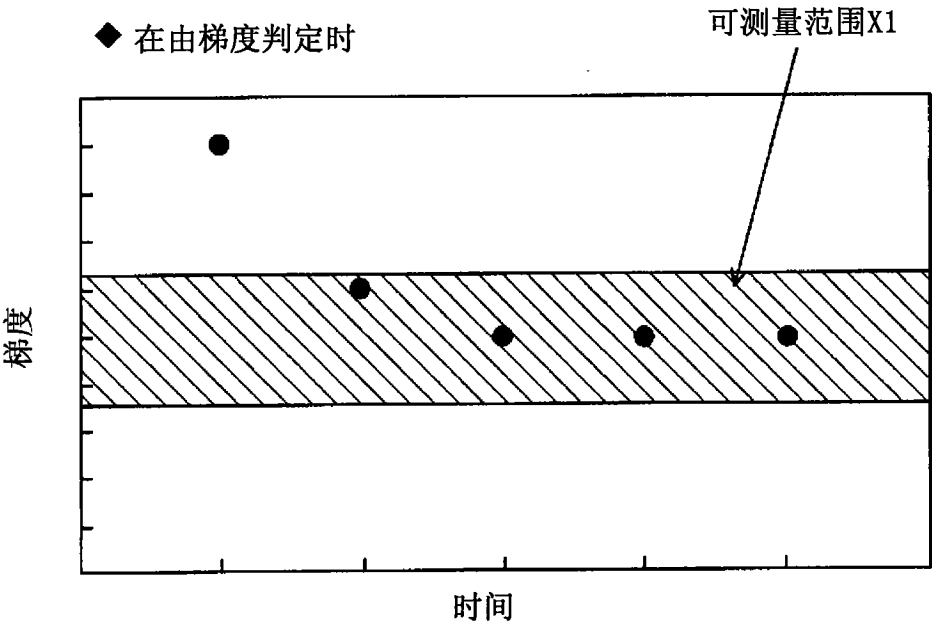


图 16

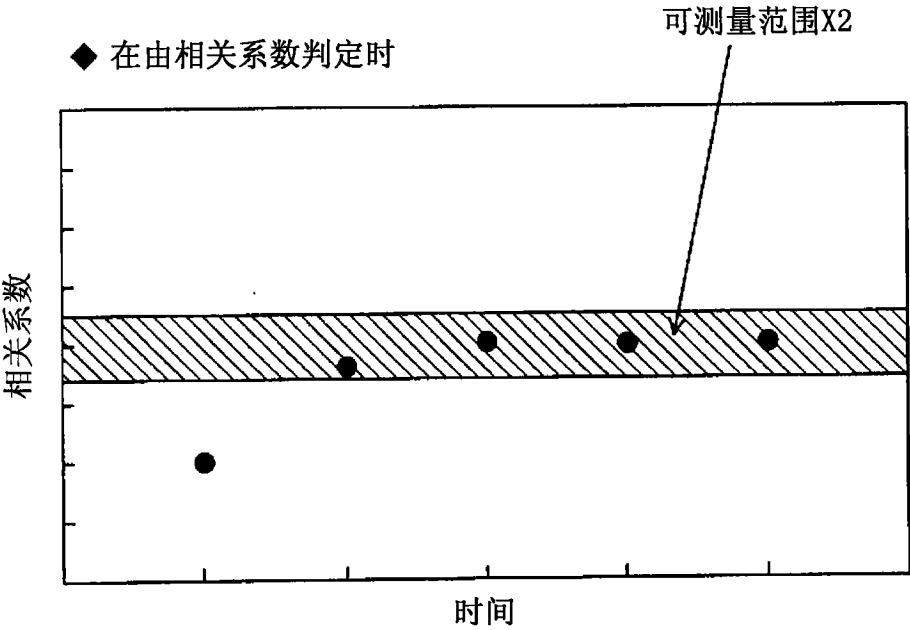


图 17

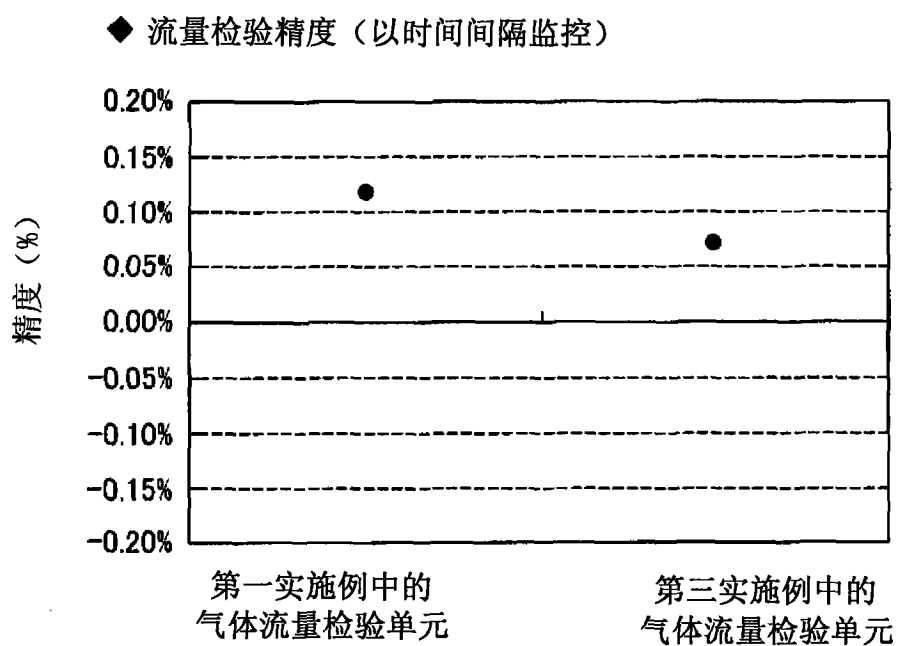


图 18

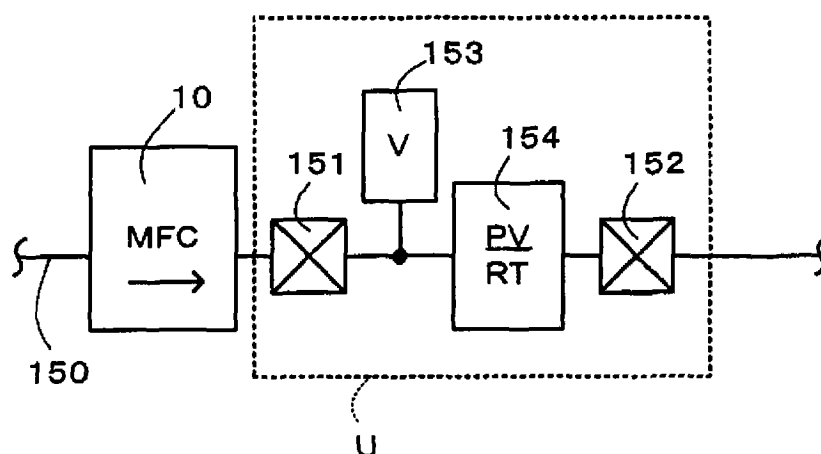


图 19