

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4801726号  
(P4801726)

(45) 発行日 平成23年10月26日 (2011.10.26)

(24) 登録日 平成23年8月12日 (2011.8.12)

(51) Int. Cl.

F I

G O 1 F 25/00 (2006.01)

G O 1 F 25/00

C

請求項の数 8 (全 28 頁)

|               |                              |           |                     |
|---------------|------------------------------|-----------|---------------------|
| (21) 出願番号     | 特願2008-503774 (P2008-503774) | (73) 特許権者 | 000106760           |
| (86) (22) 出願日 | 平成19年2月22日 (2007.2.22)       |           | シーケーディ株式会社          |
| (86) 国際出願番号   | PCT/JP2007/053271            |           | 愛知県小牧市応時二丁目250番地    |
| (87) 国際公開番号   | W02007/102319                | (74) 代理人  | 110000291           |
| (87) 国際公開日    | 平成19年9月13日 (2007.9.13)       |           | 特許業務法人コスモス特許事務所     |
| 審査請求日         | 平成21年11月30日 (2009.11.30)     | (72) 発明者  | 小澤 幸生               |
| (31) 優先権主張番号  | 特願2006-61118 (P2006-61118)   |           | 愛知県小牧市応時二丁目250番地 シー |
| (32) 優先日      | 平成18年3月7日 (2006.3.7)         |           | ケーディ株式会社内           |
| (33) 優先権主張国   | 日本国 (JP)                     | (72) 発明者  | 伊藤 稔                |
|               |                              |           | 愛知県小牧市応時二丁目250番地 シー |
|               |                              |           | ケーディ株式会社内           |
|               |                              | (72) 発明者  | 土居 広樹               |
|               |                              |           | 愛知県小牧市応時二丁目250番地 シー |
|               |                              |           | ケーディ株式会社内           |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ガス流量検定ユニット付ガス供給ユニット

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数の流量制御機器と、前記複数の流量制御機器の下流側に配設されるガス流量検定ユニットを有するガス流量検定ユニット付ガス供給ユニットにおいて、

前記ガス流量検定ユニットは、

前記流量制御機器に接続され、ガスを入力する第1遮断弁と、

前記ガスを出力する第2遮断弁と、

前記第1遮断弁と前記第2遮断弁とを連通させる連通部材と、

前記第1遮断弁と前記第2遮断弁との間に供給される前記ガスの圧力を検出する圧力検出器と、

前記第1遮断弁と前記第2遮断弁との間に供給される前記ガスの温度を検出する温度検出器と、

前記圧力検出器が検出する圧力検出結果と、前記温度検出器が検出する温度検出結果を用いて前記流量制御機器を流れるガスの流量を検定する制御手段と、を有し、

前記第1遮断弁から前記第2遮断弁までの流路の体積が、前記複数の流量制御機器の出口から前記第1遮断弁までの流路の体積以下であることを特徴とするガス流量検定ユニット付ガス供給ユニット。

【請求項 2】

請求項 1 に記載するガス流量検定ユニット付ガス供給ユニットにおいて、

前記連通部材が、

10

20

前記第 1 遮断弁の出力ポートに連通する第 1 ポートと、前記第 2 遮断弁の入力ポートに連通する第 2 ポートと、前記圧力検出器に連通する第 3 ポートとが同一側面に開口し、前記第 1 ポートと前記第 2 ポートと前記第 3 ポートとを連通させる内部流路が形成された流路ブロックであること、を特徴とするガス流量検定ユニット付ガス供給ユニット。

【請求項 3】

請求項 2 に記載するガス流量検定ユニット付ガス供給ユニットにおいて、  
前記温度検出器が棒状の温度センサであって、  
前記流路ブロックは、前記温度センサを取り付ける取付部が設けられていることを特徴とするガス流量検定ユニット付ガス供給ユニット。

【請求項 4】

請求項 1 乃至請求項 3 の何れか 1 つに記載するガス流量検定ユニット付ガス供給ユニットにおいて、  
前記流量制御機器が搭載されたガスユニットを内蔵するガスボックスに内設されることを特徴とするガス流量検定ユニット付ガス供給ユニット。

【請求項 5】

請求項 1 乃至請求項 4 の何れか 1 つに記載するガス流量検定ユニット付ガス供給ユニットにおいて、  
前記制御手段は、  
前記流量制御機器と前記第 2 遮断弁との間にガスを目標圧力だけ封入するときに、前記圧力検出器が既定の初期圧力を検出した後、前記目標圧力を検出するまでの単位時間あたりの上昇圧力値を算出するとともに、圧力検出時のガス温度を前記温度検出器により検出し、前記圧力上昇値と前記ガス温度を用いて前記流量制御機器から前記第 2 遮断弁までのタンク体積を測定し、前記第 1 遮断弁から前記第 2 遮断弁までの体積を前記タンク体積から減算することにより、前記流量制御機器から前記第 1 遮断弁までの体積を測定する体積測定手段を有することを特徴とするガス流量検定ユニット付ガス供給ユニット。

【請求項 6】

請求項 1 乃至請求項 4 の何れか 1 つに記載するガス流量検定ユニット付ガス供給ユニットにおいて、  
前記第 2 遮断弁が真空ポンプに接続され、  
前記制御手段は、  
前記第 1 遮断弁と第 2 遮断弁との間を前記真空ポンプにより真空引きされた後、前記流量制御機器と前記第 1 遮断弁との間に封入されたガスが前記第 1 遮断弁と前記第 2 遮断弁との間に放出されたときに、前記第 1 遮断弁と前記第 2 遮断弁との間の圧力変化と温度変化を用いて前記流体制御機器から前記第 2 遮断弁までのタンク体積を測定し、前記第 1 遮断弁から前記第 2 遮断弁までの体積を前記タンク体積から減算することにより、前記流量制御機器から前記第 1 遮断弁までの体積を測定する体積測定手段を有することを特徴とするガス流量検定ユニット付ガス供給ユニット。

【請求項 7】

請求項 1 乃至請求項 4 の何れか一つに記載するガス流量検定ユニット付ガス供給ユニットにおいて、  
前記制御手段は、  
前記圧力検出器が検出する圧力値を所定間隔でサンプリングして、新規にサンプリングした圧力値と直前にサンプリングした圧力値との傾きを算出し、算出した傾きが測定可能範囲内になったときに、ガスの流量を検定すること  
を特徴とするガス流量検定ユニット付ガス供給ユニット。

【請求項 8】

請求項 1 乃至請求項 4 の何れか一つに記載するガス流量検定ユニット付ガス供給ユニットにおいて、  
前記制御手段は、  
前記圧力検出器が検出する圧力値を所定間隔でサンプリングして、新規にサンプリング

10

20

30

40

50

した圧力値の傾きに対する相関係数を算出し、算出した相関係数が測定可能範囲内になったときに、ガスの流量を検定すること  
を特徴とするガス流量検定ユニット付ガス供給ユニット。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体製造プロセスにおけるガスシステムに使用する流量制御機器の流量を検定するガス流量検定ユニットに関するものである。

【背景技術】

【0002】

半導体製造プロセス中の成膜装置や乾式エッチング装置等においては、例えばシランやホスフィン等の特殊ガスや、塩素ガス等の腐食性ガス、及び水素ガス等の可燃性ガス等を使用する。

これらのガスはその流量を厳格に管理しなければならない。

その理由として、ガス流量がプロセスの良否に直接影響することが挙げられる。すなわち、ガス流量は、成膜プロセスにおいては膜質に、また、エッチングプロセスにおいては回路加工の良否に、それぞれ多大な影響を与え、半導体製品の歩留まりがガス流量の精度により決定される。

【0003】

別の理由としては、この種のガスの多くは人体や環境に対する有害性、あるいは爆発性等を有することが挙げられる。これらのガスは、使用後に、直接大気に廃棄することは許されず、半導体製造プロセスに使用される装置には、ガス種に応じた除害手段を備えなければならない。しかしながら、かかる除害手段は通例処理能力が限られていて、許容値以上の流量が流れると、処理しきれずに有害ガスの環境への流出や、除害手段の破損につながる可能性がある。

また、これらのガス、特に半導体製造プロセスに使用しうる高純度かつ無塵のものは高価な上、ガス種によっては自然劣化による使用制限があるため大量保管ができないことも理由として挙げられる。

【0004】

そこで、従来から半導体製造プロセス回路内に流量制御機器である公知のマスフローコントローラを配して、ガス種ごとに最適の流量を流すようにしている。そして、かかるマスフローコントローラは、印加電圧を変更することにより、設定流量を変更してプロセスレシピの変更に対応できるようになっている。

【0005】

ところが、半導体製造プロセスに用いるこれらのガス、いわゆるプロセスガスのうち特に成膜用材料ガスは、その特性上ガスライン内でも固形物を析出する可能性があり、流量体積を変化させることがある。マスフローコントローラは、高精度に一定流量を供給するために内部に細管を使用しており、かかる部分に固形物が少量でも析出してしまうと、供給する流量精度が悪化する原因となる。また、エッチングプロセス等に使用する腐食性の高いガスを流すので、マスフローコントローラの内部を耐食性の高い材料、例えばステンレス材等を使用したとしても、腐食は避けられず、経年劣化が起こる可能性があり、このことによっても流量精度が悪化するととなる。

このように、マスフローコントローラは、印加電圧と実流量との関係が変化し、実流量が変化する可能性がある。そのため、マスフローコントローラは、定期的に流量を検定され、較正される必要がある。

【0006】

マスフローコントローラの流量検定は、基本的に膜流量計を使って行う。しかし、この測定は配管の一部を外して行うものであり、測定後には再び配管を元の状態に組み付けて漏れチェックをしなければならない。このため、作業には非常に手間がかかってしまう。

従って、配管から外さずに流量検定が行えることが理想的である。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 0 7 】

配管を組んだままの状態では流量検定を行う方法としては、例えば特許文献 1 に記載されるように、マスフローコントローラの下流側にガス流量検定ユニット U を配設し、気体マスフロー測定システムを構築する方法がある。気体マスフロー検定システムのブロック図を図 19 に示す。

## 【 0 0 0 8 】

図 19 に示すように、気体マスフロー検定システムは、弁要素 151、チャンバ 153、トランスデューサ・アセンブリ 154、弁要素 152 からなるガス流量検定ユニット U が、マスフローコントローラ 10 の下流側に接続されている。チャンバ 153 は、既知体積を有する。トランスデューサ・アセンブリ 154 は、チャンバ 153 の下流側にある気体フローライン 150 に接続され、弁要素 151、152 がトランスデューサ・アセンブリ 154 の上流と下流にそれぞれ位置する気体フローライン 150 に配置され、体積を一定にしている。トランスデューサ・アセンブリ 154 は、弁要素 151、152 間の圧力と温度に基づいて  $P V / R T$  を直接に表す信号を出力する。ここで、P は圧力、V は体積、T は気体定数、T は絶対温度である。

## 【 0 0 0 9 】

このような気体マスフロー検定システムは、チャンバ 153 の圧力や温度を個別に測定することなく、トランスデューサ・アセンブリ 154 が出力する  $P V / R T$  を表す信号に基づいてマスフローコントローラ 10 の実流量を計測する。そして、気体マスフロー検定システムは、その実流量をマスフローコントローラ 10 の設定流量と比較することにより、マスフローコントローラ 10 の流量を検定する。

## 【 0 0 1 0 】

【特許文献 1】特許第 3022931 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

## 【 0 0 1 1 】

しかしながら、発明者らが、従来のガス流量検定ユニット U について評価実験を行ったところ、従来のガス流量検定ユニット U は、図 10 ( i i i ) に示すように、マスフローコントローラ 10 の制御流量に対する検定精度のばらつきが大きく、信頼性が低いことが判明した。

## 【 0 0 1 2 】

具体的には、発明者らは、マスフローコントローラ 10 の流量を、高精度流量計で計測し、その計測値と従来のガス流量検定ユニット U が測定した流量とを比較して評価実験を行った。すると、図 10 ( i i i ) に示すように、従来のガス流量検定ユニット U は、 $N_2$  ガスを  $100\text{ sccm}$  ずつマスフローコントローラ 10 に流した場合には、ガス流量検定ユニット U が測定した流量とマスフローコントローラ 10 が制御する流量との間に生じる誤差が  $0.012\%$  であった。これに対して、 $N_2$  ガスを  $500\text{ sccm}$  ずつマスフローコントローラ 10 に流した場合には、ガス流量検定ユニット U が測定した流量とマスフローコントローラ 10 に流した流量との間に生じる誤差が  $1.150\%$  であった。よって、従来のガス流量検定ユニット U は、流量が増加すると、ガス流量検定ユニット U が測定する流量の誤差が大きくなり、信頼性が低くなっていた。

## 【 0 0 1 3 】

このように、マスフローコントローラ 10 が制御する流量によってガス流量検定ユニット U の検定精度にバラつきが生じると、マスフローコントローラ 10 が大流量（例えば  $500\text{ sccm}$ ）を制御する電圧を印加されたときに、マスフローコントローラ 10 がガスの流量を設定流量（ $500\text{ sccm}$ ）に制御していないにもかかわらず、ガス流量検定ユニット U が  $500\text{ sccm}$  を測定し、マスフローコントローラ 10 の流量が正確であると誤認識する恐れがある。或いは、マスフローコントローラ 10 がガスの流量を設定流量（ $500\text{ sccm}$ ）に正確に制御しているにもかかわらず、ガス流量検定ユニット U が  $500\text{ sccm}$  を測定できず、マスフローコントローラ 10 に余計な較正を施す恐れがある。

このような不具合は、半導体製造プロセスの歩留まりなどに直接影響するため、問題である。

【 0 0 1 4 】

本発明は、上記問題点を解決するためになされたものであり、流量検定に対する信頼性を向上させることができるガス流量検定ユニットを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 5 】

本発明に係るガス流量検定ユニット付ガス供給ユニットは、次のような構成を有している。

( 1 ) 複数の流量制御機器と、前記複数の流量制御機器の下流側に配設されるガス流量検定ユニットを有するガス流量検定ユニット付ガス供給ユニットにおいて、前記ガス流量検定ユニットは、前記流量制御機器に接続され、ガスを入力する第 1 遮断弁と、前記ガスを出力する第 2 遮断弁と、前記第 1 遮断弁と前記第 2 遮断弁とを連通させる連通部材と、前記第 1 遮断弁と前記第 2 遮断弁との間に供給される前記ガスの圧力を検出する圧力検出器と、前記第 1 遮断弁と前記第 2 遮断弁との間に供給される前記ガスの温度を検出する温度検出器と、前記圧力検出器が検出する圧力検出結果と、前記温度検出器が検出する温度検出結果を用いて前記流量制御機器を流れるガスの流量を検定する制御手段と、を有し、前記第 1 遮断弁から前記第 2 遮断弁までの流路の体積が、前記複数の流量制御機器の出口から前記第 1 遮断弁までの流路の体積以下であることを特徴とする。

【 0 0 1 6 】

( 2 ) ( 1 ) に記載の発明において、前記連通部材が、前記第 1 遮断弁の出力ポートに連通する第 1 ポートと、前記第 2 遮断弁の入力ポートに連通する第 2 ポートと、前記圧力検出器に連通する第 3 ポートとが同一側面に開口し、前記第 1 ポートと前記第 2 ポートと前記第 3 ポートとを連通させる内部流路が形成された流路ブロックであること、を特徴とする。

( 3 ) ( 2 ) に記載の発明において、前記温度検出器が棒状の温度センサであって、前記流路ブロックは、前記温度センサを取り付ける取付部が設けられていることを特徴とする。

【 0 0 1 7 】

( 4 ) ( 1 ) 乃至 ( 3 ) の何れか 1 つに記載の発明において、前記流量制御機器が搭載されたガスユニットを内蔵するガスボックスに内設されることを特徴とする。

【 0 0 1 8 】

( 5 ) ( 1 ) 乃至 ( 4 ) の何れか 1 つに記載の発明において、前記制御手段は、前記流量制御機器と前記第 2 遮断弁との間にガスを目標圧力だけ封入するときに、前記圧力検出器が既定の初期圧力を検出した後、前記目標圧力を検出するまでの単位時間あたりの上昇圧力値を算出するとともに、圧力検出時のガス温度を前記温度検出器により検出し、前記圧力上昇値と前記ガス温度を用いて前記流量制御機器から前記第 2 遮断弁までのタンク体積を測定し、前記第 1 遮断弁から前記第 2 遮断弁までの体積を前記タンク体積から減算することにより、前記流量制御機器から前記第 1 遮断弁までの体積を測定する体積測定手段を有することを特徴とする。

【 0 0 1 9 】

( 6 ) ( 1 ) 乃至 ( 4 ) の何れか 1 つに記載の発明において、前記第 2 遮断弁が真空ポンプに接続され、前記制御手段は、前記第 1 遮断弁と第 2 遮断弁との間を前記真空ポンプにより真空引きされた後、前記流量制御機器と前記第 1 遮断弁との間に封入されたガスが前記第 1 遮断弁と前記第 2 遮断弁との間に放出されたときに、前記第 1 遮断弁と前記第 2 遮断弁との間の圧力変化と温度変化を用いて前記流体制御機器から前記第 2 遮断弁までのタンク体積を測定し、前記第 1 遮断弁から前記第 2 遮断弁までの体積を前記タンク体積から減算することにより、前記流量制御機器から前記第 1 遮断弁までの体積を測定する体積測定手段を有することを特徴とする。

【 0 0 2 0 】

(7)(1)乃至(4)の何れか一つに記載の発明において、前記制御手段は、前記圧力検出器が検出する圧力値を所定間隔でサンプリングして、新規にサンプリングした圧力値と直前にサンプリングした圧力値との傾きを算出し、算出した傾きが測定可能範囲内になったときに、ガスの流量を検定することの特徴とする。

【0021】

(8)(1)乃至(4)の何れか一つに記載の発明において、前記制御手段は、前記圧力検出器が検出する圧力値を所定間隔でサンプリングして、新規にサンプリングした圧力値の傾きに対する相関係数を算出し、算出した相関係数が測定可能範囲内になったときに、ガスの流量を検定することの特徴とする。

【発明の効果】

10

【0022】

上記構成を有する本発明のガス流量検定ユニットは、第1遮断弁から第2遮断弁までの体積が、流量制御機器の出口から第1遮断弁までの体積以下であるため、流量制御機器から第1遮断弁と第2遮断弁との間に供給されるガスの制御流量が変化しても、第1遮断弁と第2遮断弁との間の圧力が均一になりやすい。そのため、本発明のガス流量検定ユニットは、流量制御機器の制御流量が変化しても、第1遮断弁と第2遮断弁との間の圧力と温度を圧力検出器と温度検出器によって正確に検出し、その圧力検出結果と温度検出結果を用いてガス流量を検定することが可能である。よって、本発明のガス流量検定ユニットによれば、制御流量の変化に対する計測流量誤差が小さくなり、流量検定に対する信頼性を向上させることができる。

20

【0023】

上記構成を有する本発明のガス流量検定ユニットによれば、第1遮断弁の出力ポートを流路ブロックの第1ポートに連通させ、第2遮断弁の入力ポートを流路ブロックの第2ポートに連通させ、圧力検出器を流路ブロックの第3ポートに連通させるように、第1遮断弁と第2遮断弁と圧力検出器を流路ブロックに取り付けて集積するので、第1遮断弁と第2遮断弁との間の体積を小さくして、ガス流量検定ユニットを小型化できる。また、第1遮断弁と第2遮断弁との間の体積を小さくすることにより、第1遮断弁と第2遮断弁との間の圧力を目標圧力に到達させるまでの時間を短縮することができ、ガス流量の検定時間を短くすることができる。

上記構成を有する本発明のガス流量検定ユニットによれば、棒状の温度センサを流路ブロックの取付部に取り付け、流路ブロックの温度を計測することにより、第1遮断弁と第2遮断弁との間に供給されたガスの温度を検出するので、第1遮断弁と第2遮断弁との間の体積を小さくしたまま、温度センサをガス流量検定ユニットに取り付けることができる。

30

【0024】

上記構成を有する本発明のガス流量検定ユニットによれば、流量制御機器が搭載されたガスユニットを内蔵するガスボックスに内設されるので、ガス流量検定ユニットの設置スペースを設けるためにガスボックスの外部配管構成などを変更する必要がなく、設置性がよい。

【0025】

40

上記構成を有する本発明のガス流量検定ユニットは、制御手段が体積測定手段を有する。体積測定手段は、流量制御機器と第2遮断弁との間にガスを目標圧力だけ封入するときに、圧力検出器が既定の初期圧力を検出した後、目標圧力を検出するまでの単位時間あたりの上昇圧力値を算出するとともに、圧力検出時のガス温度を温度検出器により検出する。そして、圧力上昇値とガス温度を用いて流量制御機器から第2遮断弁までのタンク体積を測定した後、第1遮断弁から第2遮断弁までの体積をタンク体積から減算することにより流量制御機器から第1遮断弁までの体積を測定する。よって、本発明のガス流量検定ユニットによれば、ユニット取付先のシステム構成により流量制御装置の出口から第1遮断弁までの体積がバラツキを生じる場合でも、そのバラツキの影響を排除してガス流量検定の精度を良好に保つことができる。

50

## 【 0 0 2 6 】

上記構成を有する本発明のガス流量検定ユニットは、真空ポンプに第2遮断弁が接続され、流量制御機器の出口と第1遮断弁との間の圧力を検出する圧力センサに制御手段が接続されている。制御手段は体積測定手段を有する。体積測定手段は、第1遮断弁と第2遮断弁との間を真空ポンプで真空引した後、流量制御機器と第1遮断弁との間に封入されたガスが第1遮断弁と第2遮断弁との間に放出されたときに、第1遮断弁と第2遮断弁との間の圧力変化と温度変化を用いて流体制御機器から第2遮断弁までのタンク体積を測定し、第1遮断弁から第2遮断弁までの体積をタンク体積から減算することにより、流量制御機器から第1遮断弁までの体積を測定する。よって、本発明のガス流量検定ユニットによれば、ユニット取付先のシステム構成により流量制御装置から第1遮断弁までの体積がバラツキを生じる場合でも、そのバラツキの影響を排除してガス流量検定の精度を良好に保つことができる。

10

## 【 0 0 2 7 】

上記構成を有する本発明のガス流量検定ユニットは、圧力検出器が検出する圧力値の傾き、或いは、圧力値の傾きに対する相関係数を算出し、算出した傾き又は相関係数が測定可能範囲内になったときにガスの流量を検定するので、圧力検出器が測定開始圧力に安定するまでにかかる無駄な時間を省いて流量検定を行うことが可能になり、流量検定時間を短縮することができる。

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 0 2 8 】

20

【 図 1 】 本発明の第1実施形態に係るガス流量検定ユニットを内蔵するガスボックスの概略構成図である。

【 図 2 】 図 1 に示すガスユニットの側面図である。

【 図 3 】 図 1 に示すガス流量検定ユニットの側面図である。

【 図 4 】 図 1 に示すガス流量検定ユニットの上面図である。

【 図 5 】 図 4 の A - A 断面図である。

【 図 6 】 図 1 に示すコントローラの電気ブロック図である。

【 図 7 】 第1実施形態のガス流量検定ユニットが実行する流量検定方法を示すフローチャートである。

【 図 8 】 評価装置のブロック図である。

30

【 図 9 】 圧力と時間との関係を示す図であって、縦軸に圧力を示し、横軸に時間を示す。

【 図 10 】 ガス流量検定システムが求めた流量と、高精度流量計が計測した流量との誤差を、評価装置毎に示した図である。黒丸は、流量が 1 0 0 s c c m の場合を示し、黒四角は、流量が 5 0 0 s c c m の場合を示す。尚、各流量において、圧力条件は同じ ( 5 ~ 1 3 k P a ) であるとする。

【 図 11 】 本発明の第2実施形態に係るガス流量検定ユニットを備えるガス供給集積ユニットの一例を示すブロック図である。

【 図 12 】 図 11 に示すコントローラの電気ブロック図である。

【 図 13 】 第3実施形態に係るガス流量検定ユニットが実行する流量検定方法を示すフローチャートである。

40

【 図 14 】 本発明の第3実施形態に係るガス流量検定ユニットにおいて、圧力センサが検出した圧力値を所定時間間隔でサンプリングしたデータを示す図である。

【 図 15 】 本発明の第3実施形態に係るガス流量検定ユニットにおいて、圧力センサが検出した圧力値を所定圧力間隔でサンプリングしたデータを示す図である。

【 図 16 】 図 14 又は図 15 に示すデータの傾きと測定可能範囲との関係を示す図である。

【 図 17 】 図 14 又は図 15 に示すデータの相関係数と測定可能範囲との関係を示す図である。

【 図 18 】 第1, 第3実施形態に係るガス流量検定ユニットの流量検定精度について調べた実験の実験結果を示す図である。

50

【図 19】従来の流量制御機器絶対流量検定システムを示すブロック図である。

【符号の説明】

【0029】

1 ガスボックス

2 ガスユニット

10 マスフローコントローラ（流量制御機器）

11 ガス流量検定ユニット

12 第1遮断弁

13 第2遮断弁

14 圧力センサ（圧力検出器）

10

15 温度センサ（温度検出器）

16 コントローラ（制御手段）

18 流路ブロック（連結部材）

21 第2ポート（出力ポート）

26 第1ポート（入力ポート）

47 体積測定プログラム（体積測定手段）

58 真空ポンプ

62 体積測定プログラム（体積測定手段）

【発明を実施するための最良の形態】

【0030】

20

次に、本発明に係るガス流量検定ユニットの一実施の形態について図面を参照して説明する。

【0031】

（第1実施形態）

図1は、ガス流量検定ユニット11を内蔵するガスボックス1の概略構成図である。図2は、図1に示すガスユニット2の側面図である。

図1に示すように、ガス流量検定ユニット11は、例えば、ガスボックス1に内設される。ガスボックス1は、箱状をなし、複数（図1では12個）のガスユニット2...を集積したガス供給集積ユニットが内蔵されている。図1及び図2に示すように、ガスユニット2は、レギュレータ3、圧力計4、入力用遮断弁5、「流量制御機器」の一例であるマス

30

フローコントローラ10、出力用遮断弁6などの流体制御機器を流路ブロック7の上面にそれぞれ固定し、直列一体に連結したものである。

【0032】

図1に示すように、ガスユニット2とガスボックス1との間には、プロセスガスを各ガスユニット2から供給するための配管8を設置するための設置スペースが設けられている。この設置スペースは、配管8の周りがデッドスペースになっている。ガスボックス1は、そのデッドスペースにガス流量検定ユニット11がボルトなどで固定されている。ガス流量検定ユニット11は、各ガスユニット2のマスフローコントローラ10に連通し、マスフローコントローラ10の流量検定を行う。ガス流量検定ユニット11は、複数の構成部品をユニット化し、ガスボックス1に一体的に着脱できるようにしている。

40

【0033】

<ガス流量検定ユニットの構造>

図3は、図1に示すガス流量検定ユニット11の側面図である。図4は、図1に示すガス流量検定ユニット11の上面図である。

図3及び図4に示すように、ガス流量検定ユニット11は、第1遮断弁12、第2遮断弁13、「圧力検出器」である圧力センサ14、「温度検出器」である温度センサ15、「制御手段」であるコントローラ16などで構成されている。ガス流量検定ユニット11は、圧力センサ14を覆うようにセンサカバー17がネジ止めされ、ユニット取付時などにユーザが圧力センサ14にさわって設定を変更しないようにしている。

【0034】

50



図5は、図4のA-A断面図である。尚、図5は、要部のみを断面で示す。また、図5には、コントローラ16が現れるはずであるが、図5は流路構成を説明するために使用するため、コントローラ16を記載していない。

第1遮断弁12と、圧力センサ14と、第2遮断弁13は、「連通部材」である流路ブロック18の上面に、ボルト40で固定されている。また、温度センサ15は、流路ブロック18内に配設されている。

#### 【0035】

第1遮断弁12と第2遮断弁13は、同一構造を備える電磁弁である。第1遮断弁12と第2遮断弁13は、金属製のボディ19、25に駆動部24、30を連結して外觀が構成されている。ボディ19、25には、「入力ポート」である第1ポート20、26と、「出力ポート」である第2ポート21、27が開設され、第1ポート20、26と第2ポート21、27をそれぞれ連通させるように弁座22、28が設けられている。ボディ19、25と駆動部24、30との間には、ダイヤフラム23、29が変位可能に保持されている。このような第1遮断弁12と第2遮断弁13は、ガスの流れへの影響を少なくするために、Cv値が0.09以上であることが望ましい。第1実施形態では、第1遮断弁12と第2遮断弁13は、Cv値が0.10に設定されたものを使用している。

#### 【0036】

圧力センサ14は、キャパシタンス・マノメータである。圧力センサ14は、厚さ0.1mm程度に薄く形成した金属製のダイヤフラム31を、検出ポート39に輸入したガス圧に応じて変位するように保持している。ダイヤフラム31の背圧面側には、金属基板32が固定されている。金属基板32には、導電性電極が配線されている。金属基板32は、ダイヤフラム32と所定の間隔を空けて配設されている。このような圧力センサ14は、ダイヤフラム31が受圧面にガス圧を受けて変位すると、金属基板32とダイヤフラム31との間隔が変化して静電容量が変化するので、静電容量の変化をガス圧の変化として検出する。

温度センサ15は、棒状の熱電対である。

#### 【0037】

流路ブロック18は、ステンレスなどの金属を直方体形状に成形したものである。流路ブロック18の図中上面には、第1ポート33と、第2ポート34と、第3ポート35が開設されている。流路ブロック18は、図中右側面から主通路36が穿設されている。流路ブロック18は、第1ポート33と第2ポート34と第3ポート35を主通路36に連通させて「内部流路」が構成されている。主通路36には、止め栓37が溶接され、流路の気密性を確保している。ここで、流路ブロック18の内部流路は、第1遮断弁12の第2ポート21に連通する流路及び第2遮断弁13の第1ポート26に連通する流路と断面積がほぼ同じにされている。これは、ガス流量検定ユニット11に供給されたガスの圧力を流路ブロック18内で均一にしやすいためである。第1実施形態では、内部流路（主通路36等）の流路断面は、直径が4mmに設定されている。また、流路ブロック18には、主通路36の外側に「取付部」の一例である挿通孔38が側面から連通路36に直交する方向に穿設されている。

#### 【0038】

第1遮断弁12は、図示しないガスケットを介してボディ19の第2ポート21を流路ブロック18の第1ポート33に接続させ、図中上方からボルト40を締め付けることにより図示しないガスケットを押し潰した状態で流路ブロック18の図中上面に固定される。

第2遮断弁13は、図示しないガスケットを介してボディ25の第1ポート26を流路ブロック18の第2ポート34に接続させ、図中上方からボルト40を締め付けることにより図示しないガスケットを押し潰した状態で流路ブロック18の図中上面に固定される。

圧力センサ14は、図示しないガスケットを介して検出ポート39を流路ブロック18の第3ポート35に接続させ、図中上方からボルト40を締め付けることにより図示しな

10

20

30

40

50

いガasketを押し潰した状態で流路ブロック 18 の上面に固定される。

温度センサ 15 は、挿通孔 38 に挿通して流路ブロック 18 に取り付けられる。

【0039】

従って、ガス流量検定ユニット 11 は、図 5 に示すように、第 1 遮断弁 12 と第 2 遮断弁 13 と圧力センサ 14 と温度センサ 15 が、1つの流路ブロック 18 に集積して取り付けられる。このようなガス流量検定ユニット 11 には、図 3 及び図 4 に示すように、流路ブロック 18 の側面にコントローラ 16 がネジなどで固定されている。

【0040】

<コントローラの電氣的構成>

図 6 は、コントローラ 16 の電気ブロック図である。

10

コントローラ 16 は、コンピュータ機能を備え、CPU 41、入出力インターフェース 42、ROM 43、RAM 44、ハードディスクドライブ（以下「HDD」という。）45 で構成される。

【0041】

入出力インターフェース 42 には、第 1 遮断弁 12、第 2 遮断弁 13、圧力センサ 14、温度センサ 15 が接続し、信号の授受を行うようになっている。

【0042】

HDD 45 には、体積記憶手段 46 が設けられている。体積記憶手段 46 には、既知体積  $V_k$  と、システム側流路体積  $V_e$  と、タンク体積  $V$  とが記憶されている。「既知体積  $V_k$ 」とは、第 1 遮断弁 12 と第 2 遮断弁 13 との間の体積、より具体的には、第 1 遮断弁 12 と第 2 遮断弁 13 とを弁閉したときに第 1 遮断弁 12 の弁座 22 と第 2 遮断弁 28 の弁座 28 との間に形成される密閉空間の体積をいう。「システム側流路体積  $V_e$ 」とは、マスフローコントローラ 10 の出口から第 1 遮断弁 12 までの体積、より具体的には、第 1 遮断弁 12 を弁閉したときのマスフローコントローラ 10 の出口から第 1 遮断弁 12 の弁座 22 までの体積をいう。「タンク体積  $V$ 」とは、第 1 遮断弁 12 を弁閉にし、第 2 遮断弁 13 を弁閉にしたときのマスフローコントローラ 10 の出口から第 2 遮断弁 13 の弁座 28 までの体積をいう。既知体積  $V_k$  は、ガス流量検定ユニット 11 の製造時に測定可能であるので、ガス流量検定ユニット 11 の製造後、ガス流量検定ユニット 11 を外部システムに取り付ける前に予め体積記憶手段 46 に記憶されている。これに対して、システム流路側体積  $V_e$  とタンク体積  $V$  は、ガス流量検定ユニット 11 を外部システムに取り付ける前に測定することが不可能であるので、ガス流量検定ユニット 11 を製造して外部システムに取り付けた後に事後的に測定されて体積記憶手段 46 に記憶される。

20

30

【0043】

ROM 43 には、流量検定プログラム 48 と、「体積測定手段」である体積測定プログラム 47 とが格納されている。流量検定プログラム 48 は、第 1 遮断弁 12 と第 2 遮断弁 13 の弁開閉動作を適宜制御し、第 1 遮断弁 12 と第 2 遮断弁 13 との間の圧力と温度を圧力センサ 14 と温度センサ 15 で検出し、その検出結果に基づいてマスフローコントローラ 10 の流量検定を行うものである。体積測定プログラム 47 は、システム側流路体積  $V_e$  とタンク体積  $V$  を測定するものである。

【0044】

40

<既知体積とシステム側流路体積との関係>

ところで、図 3、図 4、図 5 に示すように、第 1 実施形態のガス流量検定ユニット 11 は、従来技術のようにチャンバを備えていない。ガス流量検定ユニット 11 は、既知体積  $V_k$  がシステム側流路体積  $V_e$  以下に設定されている。既知体積  $V_k$  をシステム側流路体積  $V_e$  以下にするのは、ガス流量検定ユニット 11 の流路を短くすることにより、マスフローコントローラ 10 が出力したガスの圧力がガス流量検定ユニット 11 内でばらつくこと（偏在すること）を防止するためである。従って、ガス流量検定ユニット 11 は、第 1 遮断弁 12、圧力センサ 14、温度センサ 15、第 2 遮断弁 13 を配設する上で可能な限り既知体積  $V_k$  を小さくすることが望ましい。第 1 実施形態では、図 1 に示すガスボックス 1 において、各ガスユニット 2 のマスフローコントローラ 10 の出口からガス流量検定

50

ユニット 11 を構成する第 1 遮断弁 12 の弁座 22 までのシステム側流路体積  $V_e$  が 100 cc に設定されているのに対して、ガス流量検定ユニット 11 を構成する第 1 遮断弁 12 の弁座 22 (図 5 参照。) から第 2 遮断弁 13 の弁座 28 (図 5 参照。) までの既知体積  $V_k$  が 100 cc に設定されている。

【0045】

< 検定方法 >

次に、第 1 実施形態のガス流量検定ユニット 11 による検定方法の概略について説明する。概略としたのは、後述する評価試験の説明において検定方法を具体的に記載しているからである。図 7 は、第 1 実施形態のガス流量検定ユニット 11 が実行する流量検定方法を示すフローチャートである。

10

【0046】

ガス流量検定ユニット 11 は、1 ラインずつ流量検定を行う。すなわち、流量検定は、ステップ 101 (以下「S101」という。) において、システムを初期化して先の流量検定で取得したデータを消去する。そして、S102 において、ガス供給集積ユニット内をパージし、流路内の余分なガスを除去する。

【0047】

そして、S103 において、タンク体積測定済みか否かを判断する。タンク測定済みでないと判断した場合には (S103: NO)、S104 においてタンク体積  $V$  を測定した後、S105 へ進む。一方、タンク測定済みであると判断した場合には (S103: YES)、そのまま S105 へ進む。

20

【0048】

そして、S105 において、圧力センサ 14 が検出した圧力値が、既定の測定開始圧力  $P_1$  以上であるか否かを判断する。検出した圧力値が既定の測定開始圧力  $P_1$  未満である場合には (S105: NO)、圧力センサ 14 が既定の測定開始圧力  $P_1$  を測定するまで待機する。一方、圧力センサ 14 が既定の測定開始圧力  $P_1$  を測定したら (S105: YES)、S106 において、圧力センサ 14 が検出した圧力値が目標圧力  $P_2$  か否かを判断する。圧力センサ 14 が目標圧力  $P_2$  を検出するまでは待機する (S106: NO)。すなわち、ガス流量検定システム 11 は、圧力センサ 14 が目標圧力  $P_2$  を検出するまで待つ。圧力センサ 14 が目標圧力  $P_2$  を検出したら (S106: YES)、S107 において流量  $Q$  を算出する。

30

【0049】

従って、S105 ~ S107 の処理により流量  $Q$  を測定する。尚、タンク体積  $V$  と流量  $Q$  の測定方法については、評価実験において詳しく説明する。

【0050】

そして、S108 において、検定回数  $e_k$  に 1 を加算し、S109 において、検定回数  $e_k$  が既定測定回数  $e$  であるか否かを判断する。検定回数  $e_k$  が既定検定回数  $e$  でない場合には (S109: NO)、S102 へ戻り、パージと流量  $Q$  の測定を繰り返す。その後、検定回数  $e_k$  が既定検定回数  $e$  になるまでタンク体積  $V$  と流量  $Q$  を測定したら (S109: YES)、S110 において、流量  $Q$  の測定値を平均化し、平均値をマスフローコントローラ 10 の設定流量と比較することにより検定を行う。検定時には、必要に応じて流量  $Q$  の補正値を設定する。以上で、1 個のガスユニット 2 について流量検定が終了する。

40

【0051】

そして、S111 において、検定済みガスユニット数  $u_k$  に 1 を加算し、S112 において、検定済みガスユニット数  $u_k$  がガス供給集積ユニットに搭載したガスユニット 2 の総数  $u$  であるか否かを判断する。検定済みガスユニット数  $u_k$  が総ユニット数  $u$  でない場合には (S112: NO)、未検定のガスユニット 2 があるので、S102 へ戻り、次のガスユニット 2 に搭載したマスフローコントローラ 10 の流量検定を行う。一方、検定済みガスユニット数  $u_k$  が総ユニット数  $u$  である場合には (S112: YES)、ガス供給集積ユニットの全てのガスユニット 2 について流量検定が終了したことを意味するので、そのまま流量検定処理を終了する。

50

## 【 0 0 5 2 】

## &lt; 評価実験 &gt;

ここで、発明者らは、第 1 実施形態のガス流量検定ユニット 1 1 の評価実験を行った。図 8 は、評価装置 5 0 のブロック図である。

評価装置 5 0 は、4 個のガスユニット 2 A , 2 B , 2 C , 2 D をガス流量検定ユニット 1 1 に並列に接続して構成されている。以下の説明では、ガスユニットを区別する必要がないときには、「ガスユニット 2」と称する。また、ガスユニット 2 を構成する流体制御機器についても、特に区別する必要がない場合には、符号の添字「A」、「B」、「C」を省略して説明する。

## 【 0 0 5 3 】

ガスユニット 2 は、上流側からフィルタ 5 1、手動弁 5 2、レギュレータ 5 3、圧力温度計 5 4、マスフローコントローラ 1 0、出力用遮断弁 5 5 を直列一体に連結したものである。但し、ガスユニット 2 A は、圧力温度計 5 4 A とマスフローコントローラ 1 0 A との間に高精度流量計 5 6 が配設され、マスフローコントローラ 1 0 A の制御流量を精密に計測している。ガスユニット 2 A , 2 B , 2 C , 2 D は、ガス供給弁 5 7 に並列に接続され、ガス供給弁 5 7 を介して真空ポンプ 5 8 に接続されている。ガスユニット 2 をガス供給弁 5 7 に連通させるシステム側流路上には、圧力計 5 9 が配設され、システム側流路内の圧力を検出するようになっている。ガス流量検定ユニット 1 1 は、システム側流路から分岐してガス供給弁 5 7 と真空ポンプ 5 8 との間に接続する分岐流路上に設けられている。

## 【 0 0 5 4 】

評価実験は、評価装置 5 0 の構成を適宜変更して行った。すなわち、評価実験では、( i ) 図 8 に示すように、ガス流量検定ユニット 1 1 をそのまま使用して構成した評価装置 5 0 A と、( i i ) 図 8 の点線に示すように、流路ブロック 1 8 の主通路 3 6 に連通するように 5 0 0 c c のチャンバ 6 0 をガス流量検定ユニット 1 1 に取り付け構成した評価装置 5 0 B と、( i i i ) 図 8 に示すガス流量検定ユニット 1 1 を図 1 9 に示す従来のガス流量検定ユニット U に置き換えて構成した評価装置 5 0 C とを使用した。

## 【 0 0 5 5 】

## &lt; 評価実験方法 &gt;

評価実験は、上記 ( i ) , ( i i ) , ( i i i ) で使用する評価装置 5 0 A , 5 0 B , 5 0 C についてそれぞれ行った。評価実験は、まず、タンク体積  $V ( V_e + V_k )$  とシステム側流路体積  $V_e$  を測定した後、誤差測定を 5 回繰り返し、誤差の平均値を算出した。誤差測定は、ガス流量検定ユニットが算出した流量と高精度流量計 5 6 が計測した流量との間に生じる誤差を算出することにより行った。誤差測定は、マスフローコントローラ 1 0 の制御流量を大流量 ( 5 0 0 s c c m ) にした場合と、小流量 ( 1 0 0 s c c m ) にした場合とに分けて行った。そして、図 1 0 に示すように、誤差測定結果を ( i ) , ( i i ) , ( i i i ) の場合に分けて、比較した。評価実験の方法を以下に具体的に説明する。

## 【 0 0 5 6 】

## &lt; 体積の測定 &gt;

ガス流量検定ユニット 1 1 を外部システムに接続する場合、マスフローコントローラ 1 0 の出口からガス流量検定ユニット 1 1 を構成する第 1 遮断弁 1 2 の弁座 2 2 までのシステム流路側体積  $V_e$  が、外部システムの流路構成によって異なる。すなわち、タンク体積  $V$  が、外部システムによって変化する。そこで、ガス流量検定ユニット 1 1 は、ガス流量の検定に先立ち、タンク体積  $V$  とシステム流路側体積  $V_e$  を測定する。タンク体積  $V$  及びシステム側流路体積  $V_e$  の測定は、コントローラ 1 6 が体積測定プログラム 4 7 を実行することにより行われる。

## 【 0 0 5 7 】

タンク体積  $V$  の測定は、まず、ガスユニット 2 B , 2 C , 2 D の出力用遮断弁 5 5 B , 5 5 C , 5 5 D と、ガス供給弁 5 7 とを弁閉状態にする一方、ガスユニット 2 A の手動弁 5 2 A、出力用遮断弁 5 5 A と、ガス流量検定ユニット 1 1 の第 1 遮断弁 1 2 と、第 2 遮

10

20

30

40

50

断弁 13 とを弁開状態にして、真空ポンプ 58 で真空引きしながらマスフローコントローラ 10A に  $N_2$  ガスを 50 sccm ずつ流す。流量が安定したら、ガス流量検定ユニット 11 の第 2 遮断弁 13 を弁閉する。すると、システム側流路とガス流量検定ユニット 11 の流路の圧力が上昇し、圧力センサ 14 が検出する圧力値が上昇する。このとき、第 2 遮断弁 13 を弁閉した後、圧力センサ 14 が既定の測定開始圧力  $P_1$  (第 1 実施形態では 5 kPa) を計測してから、圧力センサ 14 が目標圧力  $P_2$  (第 1 実施形態では 13 kPa) を計測するまでの時間を計測するとともに、温度を温度センサ 15 で計測する。

【0058】

図 9 に示すように、既定の測定開始圧力  $P_1$  から目標圧力  $P_2$  まで上昇する圧力上昇量  $P$  は、目標圧力  $P_2$  から既定の測定開始圧力  $P_1$  を減算することによりわかる。圧力センサ 14 は、一定間隔 (例えば 0.1 秒間隔) で圧力を検出するため、圧力センサ 14 が測定開始圧力  $P_1$  を検出してから目標圧力  $P_2$  を検出するまでの圧力検出回数をカウントすることにより、第 1 遮断弁 12 と第 2 遮断弁 13 との間の圧力が  $P_1$  から  $P_2$  まで上昇する計測時間  $t$  がわかる。よって、圧力上昇量  $P$  を計測時間  $t$  で割り算することにより、単位時間あたりの上昇圧力値  $P/t$  がわかる。また、ガスの気体定数  $R$  は、使用するガス (第 1 実施形態では  $N_2$  ガス) の気体定数をそのまま使用する。気体温度  $T$  は、温度センサ 15 が検出する温度でわかる。さらに、流量  $Q$  は、マスフローコントローラ 10 の設定流量 (高精度流量計 56 が計測する流量 (第 1 実施形態では 50 sccm)) を入力すればわかる。そこで、流量算出の基本となる数式 1 を変形した数式 2 に、判明している数値を各々あてはめることにより、タンク体積  $V$  が算出される。

【0059】

【数 1】

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

但し、 $P$  は圧力 (Pa) を示し、 $t$  は測定時間 (s) を示し、 $V$  はタンク体積 ( $m^3$ ) を示し、 $R$  は気体定数 ( $J/mol \cdot K$ ) を示し、 $T$  は気体温度 (K) を示す。

【0060】

【数 2】

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

【0061】

上記のようにしてタンク体積  $V$  を 10 回繰り返して測定し、タンク体積  $V$  の平均値を算出する。この平均値をタンク体積  $V$  としてコントローラ 16 の体積記憶手段 46 に記憶する。

【0062】

ここで、タンク体積  $V$  は、既知体積  $V_k$  とシステム側流路体積  $V_e$  を加算した体積に相当する。既知体積  $V_k$  は予め体積記憶手段 46 に記憶されてわかっている。そこで、タンク体積  $V$  から既知体積  $V_k$  を減算してシステム側流路体積  $V_e$  を測定する。測定したシステム側流路体積  $V_e$  は、体積記憶手段 46 に記憶する。

【0063】

## &lt; 誤差測定 &gt;

誤差測定は、コントローラ 16 に流量検定プログラム 48 を実行させて流量検定を行わせ、ガス流量検定ユニットが算出した流量を高精度流量計 56 が計測した流量と比較して誤差を算出することにより行う。

## 【 0 0 6 4 】

ガスユニット 2 A の流量検定を行う場合には、ガスユニット 2 B , 2 C , 2 D の出力用遮断弁 55 B , 55 C , 55 D と、ガス供給弁 57 を弁閉状態にする一方、ガスユニット 2 A の手動弁 52 A、出力側遮断弁 55 A、ガス流量検定ユニット 11 の第 1 遮断弁 12、第 2 遮断弁 13 を弁開状態にする。この状態でマスフローコントローラ 20 A に  $N_2$  ガスを供給する。マスフローコントローラ 10 A の制御流量を安定させるために、ガスユニット 2 A に  $N_2$  ガスを 30 秒間流したら、ガス流量検定ユニット 11 の第 2 遮断弁 13 を弁閉する。

## 【 0 0 6 5 】

すると、ガス流量検定ユニット 11 内の圧力が上昇していく。そこで、圧力センサ 14 が既定の測定開始圧力  $P_1$  ( 5 k P a ) を検出してから目標圧力  $P_2$  ( 13 k P a ) を検出するまでの時間を計測する。時間を計測するのは、流量によって圧力上昇時間が異なるからである。具体的には、例えば、圧力が 5 k P a から 13 k P a まで上昇する時間は、流量が 100 s c c m であるときには 7 . 5 秒かかり、流量が 500 s c c m であるときには 1 . 5 秒かかる。圧力センサ 14 が 13 k P a を検出したら、第 2 遮断弁 13 を弁開状態にし、次の流量検定へ移行する。

## 【 0 0 6 6 】

ガス流量検定ユニット 11 は、次のようにして流量を算出する。第 1 遮断弁 12 と第 2 遮断弁 13 との間の圧力上昇量  $P$  は、目標圧力  $P_2$  から既定の測定開始圧力  $P_1$  を減算することによりわかる。圧力センサ 14 は、一定間隔 ( 例えば 0 . 1 秒間隔 ) で圧力を検出するため、圧力センサ 14 が既定の測定開始圧力  $P_1$  を検出してから目標圧力  $P_2$  を検出するまでの圧力検出回数をカウントすることにより、第 1 遮断弁 12 と第 2 遮断弁 13 との間の圧力が  $P_1$  から  $P_2$  まで上昇する計測時間  $t$  がわかる。そして、圧力上昇量  $P$  を計測時間  $t$  で割り算することにより、単位時間あたりの上昇圧力値  $P / t$  がわかる。気体定数  $R$  は、使用するガス ( 第 1 実施形態では  $N_2$  ガス ) の気体定数をそのまま使用すればわかる。温度  $T$  は、温度センサ 15 が検出する温度でわかる。更に、タンク体積  $V$  は、上記体積測定により体積記憶手段 46 に記憶されてわかっている。そこで、判明している数値 ( 単位時間あたりの上昇圧力値  $P / t$ 、気体定数  $R$ 、温度  $T$ 、タンク体積  $V$  ) を数式 1 にあてはめ、流量  $Q$  を算出する。

## 【 0 0 6 7 】

ガス流量検定ユニット 11 は、算出した流量  $Q$  をマスフローコントローラ 10 の設定流量と比較し、一致している場合には、マスフローコントローラ 10 が適正に流量制御していると判断し、一致しなければ、マスフローコントローラ 10 が適正に流量制御していないと判断し、必要に応じてマスフローコントローラ 10 に較正を行う。

## 【 0 0 6 8 】

ガス流量検定ユニット 11 が算出した流量  $Q$  は、高精度流量計 56 が計測した流量と比較され、誤差を判断される。なぜなら、高精度流量計 56 は、検出精度が非常に高く、高精度流量計 56 が計測する流量は、マスフローコントローラ 10 A が制御する流量の真値に極めて近いから、ガス流量検定ユニット 11 が算出した流量  $Q$  と高精度流量計 56 が計測する流量とを比較して誤差を求めれば、ガス流量検定ユニット 11 の流量検定精度を判断できるからである。

## 【 0 0 6 9 】

## &lt; 評価結果 &gt;

上記のように誤差を測定して評価した結果について図 10 を参照しながら説明する。

発明者らが評価装置 50 C を用いて従来のガス流量検定ユニット U を評価したところ、図 10 ( i i i ) に示すように、マスフローコントローラ 10 A の流量が 100 s c c m

10

20

30

40

50

である場合には、従来のガス流量検定ユニットUが算出した流量 $Q_{13}$ は、高精度流量計56が計測するマスフローコントローラ10Aの真値との誤差が、0.012%と小さかった(図中黒丸参照。)。このように従来のガス流量検定ユニットUの流量検定精度が良いのは図19に示すようにチャンバ153を備えるからであると発明者らは考えた。

#### 【0070】

すなわち、一般的に、弁要素151, 152を近づけると、弁要素151, 152間の体積が小さくなり、圧力が短時間で上昇する。単位時間あたりの上昇圧力値(図9に示すグラフの傾き)が大きくなりすぎると、トランスデューサ・アセンブリ154が $PV/RT$ を直接表す信号を出力する前に弁要素152が弁開され、流量検定ができなくなる。よって、流量検定を確実にを行うためには、チャンバ153を弁要素151と弁要素152との間に設けて既知体積 $V_k$ を大きくする必要があると、発明者らは考えた。

10

また、流量検定を精度よく行うためには、単位時間あたりの上昇圧力値(図9に示すグラフの傾き)を小さくすることが望ましい。しかし、あまりにも上昇圧力値を小さくし過ぎると、流量検定時間が長くなる不具合がある。よって、圧力計測時間を確保するためには、半導体製造プロセスで許される流量検定時間を考慮してチャンバ153の体積を決める必要があると、発明者らは考えた。

#### 【0071】

一方、発明者らは、第1遮断弁12・第2遮断弁13・圧力センサ14・温度センサ15を流路ブロック18に集積化してガス流量検定ユニット11を構成することにより、弁要素151, 152などを配管で接続した従来のガス流量検定ユニットUよりサイズをコンパクトにすることを考えた。発明者らは、流量検定精度を上げるために、ガス流量検定ユニット11にチャンバ60を取り付けて評価装置50Bを構成した。このとき、発明者らは、流量検定精度を顕著に上げるために、従来のガス流量検定ユニットUが使用するチャンバ153より体積が大きい500ccのチャンバ60をガス流量検定ユニット11に取り付けた。

20

#### 【0072】

発明者らが評価装置Bを用いて評価実験を行ったところ、図10(i i)に示すように、マスフローコントローラ10Aの流量が100sccmである場合には、チャンバ60を備えるガス流量検定ユニットが算出した流量 $Q_{12}$ は、真値との誤差が0.099%であった(図中黒丸参照。)。上記したチャンバの存在意義に鑑みれば、チャンバ60の体積がチャンバ153より大きくなった分だけ、流量検定精度が向上するはずである。それにもかかわらず、チャンバ60を備えるガス流量検定ユニットの評価結果が、従来のガス流量検定ユニットUの評価結果より悪化してしまった。

30

#### 【0073】

さらに、発明者らが評価装置50Aを用いて評価実験を行ったところ、図10(i)に示すように、マスフローコントローラ10Aの流量が100sccmである場合には、ガス流量検定ユニット11が算出した流量 $Q_{11}$ は、真値との誤差が0.014%であった(図中黒丸参照。)。上記したチャンバの存在意義に鑑みれば、ガス流量検定ユニット11の評価結果は、従来のガス流量検定ユニットUの評価結果より悪いのはもとより、チャンバ60を備えるガス流量検定ユニットの評価結果より悪くなるはずである。それにもかかわらず、ガス流量検定ユニット11の評価結果は、チャンバ60を備えるものの評価結果より良好であり、また、従来のガス流量検定ユニットUの評価結果より0.002%しか悪化しなかった。

40

#### 【0074】

以上の評価結果より、発明者らは、流量検定精度の良否がチャンバの有無によるものではないことに気が付いた。

#### 【0075】

発明者らは、流量検定可能範囲における流量検定精度を検証すべく、評価装置50A, 50B, 50Cを用いて流量を500sccmに増加した場合の流量検定精度を評価した。

50

## 【 0 0 7 6 】

評価装置 5 0 A に  $N_2$  ガスを 5 0 0 s c c m 流した場合には、図 1 0 ( i ) に示すように、ガス流量検定ユニット 1 1 が算出した流量  $Q_{21}$  は、真値との誤差が 0 . 5 1 5 % であった ( 図中黒塗り三角参照。 )。そして、1 0 0 s c c m の小流量を流した場合の誤差 ( 0 . 0 1 4 % ) と、5 0 0 s c c m の大流量を流した場合の誤差 ( 0 . 5 1 5 % ) を比較すると、0 . 5 0 1 % の差が生じた。

評価装置 5 0 B に  $N_2$  ガスを 5 0 0 s c c m 流した場合には、図 1 0 ( i i ) に示すように、チャンバ 6 0 を備えるガス流量検定ユニットが算出した流量  $Q_{22}$  は、真値との誤差が 0 . 9 8 2 % であった ( 図中黒塗り三角参照。 )。そして、1 0 0 s c c m の小流量を流した場合の誤差 ( 0 . 0 9 9 % ) と、5 0 0 s c c m の大流量を流した場合の誤差 ( 0 . 9 8 2 % ) を比較すると、0 . 8 8 3 % の差が生じた。

評価装置 5 0 C に  $N_2$  ガスを 5 0 0 s c c m 流した場合には、図 1 0 ( i i i ) に示すように、従来のガス流量検定ユニット U が算出した流量  $Q_{23}$  は、真値との誤差が 1 . 1 5 0 % であった ( 図中黒塗り三角参照。 )。そして、1 0 0 s c c m の小流量を流した場合の誤差 ( 0 . 0 1 2 % ) と、5 0 0 s c c m の大流量を流した場合の誤差 ( 1 . 1 5 0 % ) を比較すると、1 . 1 3 8 % の差が生じた。

## 【 0 0 7 7 】

上記評価結果を検討すると、流量検定可能範囲における流量検定精度が最も安定しているのはガス流量検定ユニット 1 1 であり、最も不安定なのは従来のガス流量検定ユニット U であることが判明した。流量検定可能範囲における流量検定精度のバラツキがチャンバに起因するのであれば、5 0 0 c c チャンバ 6 0 を備えるガス流量検定ユニットが生じる流量検定精度のバラツキが、従来のガス流量検定ユニット U が生じる流量検定精度のバラツキより大きくなるはずである。しかし、評価結果は、従来のガス流量検定ユニット U の方が 5 0 0 c c チャンバ 6 0 を備えるガス流量検定ユニットより流量検定精度のバラツキが大きくなった。この評価結果より、発明者らは、ガス流量検定ユニット 1 1 のユニット構成が、従来のガス流量検定ユニット U のユニット構成よりコンパクト化の点で優れているのみならず、流量検定精度のバラツキを小さくする点においても優れていることを確認した。

## 【 0 0 7 8 】

ガス流量検定ユニット 1 1 の流量検定精度が従来のガス流量検定ユニット U より良好になった理由を検討する。

## 【 0 0 7 9 】

第 1 の理由としては、既知体積  $V_k$  がシステム側流路体積  $V_e$  以下であることが挙げられる。システム側流路体積  $V_e$  が 1 0 0 c c であるのに対して、ガス流量検定ユニット 1 1 の既知体積  $V_k$  は 1 0 c c であり、チャンバ 6 0 を備えるガス流量検定ユニットの既知体積  $V_k$  は 5 0 0 c c 超であり、従来のガス流量検定ユニット U の既知体積  $V_k$  は 2 5 0 c c 超である。つまり、ガス流量検定ユニット 1 1 の既知体積  $V_k$  のみがシステム側流路体積  $V_e$  より小さい。チャンバを設けて既知体積  $V_k$  を大きくした場合、小流量であれば、ガスがチャンバ内にゆっくり流れ込み、ガス流量検定ユニット内の圧力バランスが均一になりやすい。しかし、大流量になると、ガスがチャンバ内に入り込んで圧力を上昇させる前に第 1 遮断弁 1 2 ( 弁要素 1 5 1 ) と第 2 遮断弁 1 3 ( 弁要素 1 5 2 ) との間の圧力が急激に上昇し、ガス流量検定ユニット内の圧力バランスが不均一になる。そのため、チャンバの圧力・温度を検出して流量検定を行うと、流量が増加するほど第 1 遮断弁 1 2 ( 弁要素 1 5 1 ) と第 2 遮断弁 1 3 ( 弁要素 1 5 2 ) との間の圧力と温度を正確に検出することができなくなり、ガス流量検定ユニットが検定する流量と真値との間に誤差が生じやすくなると考えられる。よって、既知体積  $V_k$  をシステム側流路体積  $V_e$  以下にすれば、流量検定精度が向上すると考えられる。

## 【 0 0 8 0 】

第 2 の理由としては、流路構成が簡単であることが挙げられる。チャンバ 6 0 を備えるガス流量検定ユニットと従来のガス流量検定ユニット U とは、チャンバを備える点で共通



するものの、流路が流路ブロック 18 で構成されているか、配管で構成されているかが相違する。チャンバ 60 を備えるガス流量検定ユニットは、小流量制御時には従来のガス流量検定ユニット U より流量検定精度が劣るものの、大流量制御時には従来のガス流量検定ユニット U より流量検定精度が優っている。この結果より、ガス流量検定ユニットの流路を流路ブロック 18 で構成すれば、配管で流路を構成する場合より流路構成が簡単になり、大流量制御時のガス流量検定精度を向上させることができると考えられる。

#### 【0081】

第 3 の理由としては、流路断面積変化が小さいことが挙げられる。ガス流量検定ユニット 11 とチャンバ 60 を備えるガス流量検定ユニットとは、チャンバ 60 の有無が相違する。小流量時の誤差を比較すると、ガス流量検定ユニット 11 はチャンバ 60 を備えるガス流量検定ユニットより誤差が 0.085% だけ小さく、大流量時の誤差を比較すると、ガス流量検定ユニット 11 はチャンバ 60 を備えるガス流量検定ユニットより誤差が 0.467% だけ小さい。つまり、ガス流量検定ユニット 11 は、チャンバ 60 を備えないだけで、小流量制御時と大流量制御時に生じる誤差が小さくなり、更には大流量になるほど誤差が抑えられるようになる。この結果より、チャンバ 60 を設けない場合には、流路ブロック 18 の内部流路とチャンバ 60 との間の流路断面積変化がなくなるため、ガスの流れが安定して流量検定精度が向上するとともに、小流量から大流量に流量を変更しても流量検定精度の誤差を抑えられるようになると考えられる。

#### 【0082】

< 第 1 実施形態のガス流量検定ユニットの作用効果 >

従って、第 1 実施形態のガス流量検定ユニット 11 によれば、既知体積  $V_k$  がシステム側流路体積  $V_e$  以下であるため、例えば、第 1 遮断弁 12 と第 2 遮断弁 13 との間に供給するガスの流量が 100 sccm の小流量から 500 sccm の大流量に変化しても、第 1 遮断弁 12 と第 2 遮断弁 13 との間の圧力が均一になりやすい。そのため、第 1 実施形態のガス流量検定ユニット 11 は、第 1 遮断弁 12 と第 2 遮断弁 13 との間に供給されるガスの流量が増加しても、圧力センサ 14 や温度センサ 15 が圧力と温度を正確に検出することができ、圧力センサ 14 の圧力検出結果と温度センサ 15 の温度検出結果を用いてガス流量を精度良く算出して検定することが可能である。よって、第 1 実施形態のガス流量検定ユニット 11 によれば、マスフローコントローラ 10 が制御する制御流量の変化に対する計測流量誤差が小さくなり（図 10 の (i) 参照。）、流量検定に対する信頼性を向上させることができる。

#### 【0083】

また、第 1 実施形態のガス流量検定ユニット 11 によれば、第 1 遮断弁 12 と第 2 遮断弁 13 と圧力センサ 14 を流路ブロック 18 の上面に上方からボルト 40 で取り付けて集積しているので（図 5 参照。）、第 1 遮断弁 12 と第 2 遮断弁 13 との間の既知体積  $V_k$  を小さくして、ガス流量検定ユニット 11 を小型化できる。特に、チャンバをなくして機器 12, 13, 14 を流路ブロック 18 上に集積したことにより、第 1 実施形態のガス流量検定ユニット 11 は、従来のガス流量検定ユニット U に対してフットスペースを 3 分の 2 程度に小さくすることができた。また、第 1 遮断弁 12 と第 2 遮断弁 13 との間の既知体積  $V_k$  を小さくすることにより、第 1 遮断弁 12 と第 2 遮断弁 13 との間の圧力を目標圧力に到達させるまでの時間を短縮することができ、ガス流量の検定時間を短くすることができる。

第 1 実施形態のガス流量検定ユニット 11 によれば、棒状の温度センサ 15 を流路ブロック 18 の挿通孔 38 に挿通し、流路ブロック 18 の温度を計測することにより、第 1 遮断弁 12 と第 2 遮断弁 13 との間に供給されたガスの温度変化を検出するので（図 5 参照。）、第 1 遮断弁 12 と第 2 遮断弁 13 との間の既知体積  $V_k$  を小さくしたまま、温度センサ 15 をガス流量検定ユニット 11 に取り付けることができる。

#### 【0084】

第 1 実施形態のガス流量検定ユニット 11 によれば、マスフローコントローラ 10 が搭載されたガスユニット 2 とガスボックス 1 との間に形成されるデッドスペースを利用して

、ガスボックス 1 にガス流量検定ユニット 11 を内設したので、ガス流量検定ユニット 11 の設置スペースを設けるためにガスボックス 1 の外部配管構成などを変更する必要がなく、設置性がよい。

#### 【0085】

また、第 1 実施形態のガス流量検定ユニット 11 によれば、コントローラ 16 が体積測定プログラム 47 を実行したときに、システム側流路体積  $V_e$  が測定される。具体的には、マスフローコントローラ 10 と第 2 遮断弁 13 との間にガスを目標圧力  $P_2$  だけ封入するときに、圧力センサ 14 が既定の測定開始圧力  $P_1$  を検出した後、目標圧力  $P_2$  を検出するまでの単位時間あたりの上昇圧力値  $P/t$  を算出するとともに、目標圧力  $P_2$  に到達したときのガス温度  $T$  を温度センサ 15 により検出する。そして、圧力上昇値  $P/t$  とガス温度  $T$  を、マスフローコントローラ 10 の制御流量  $Q$  とガスの気体定数  $R$  とともに数式 1 にあてはめ、マスフローコントローラ 10 から第 2 遮断弁 13 までのタンク体積  $V$  を測定する。そして、その後、体積記憶手段 46 から既知体積  $V_k$  を読み出し、タンク体積  $V$  から既知体積  $V_k$  を減算することによりシステム側流路体積  $V_e$  を測定する。よって、第 1 実施形態のガス流量検定ユニット 11 によれば、ユニット取付先のシステム構成によりシステム側流路体積  $V_e$  がバラツキを生じる場合でも、そのバラツキの影響を排除してガス流量検定の精度を良好に保つことができる。

#### 【0086】

##### (第 2 実施形態)

続いて、本発明のガス流量検定ユニットについて第 2 実施形態を図面を参照して説明する。図 11 は、ガス流量検定ユニット 11 A を備えるガス供給集積ユニット 63 の一例を示すブロック図である。

第 2 実施形態のガス流量検定ユニット 11 A は、例えば、図 11 に示すガス供給集積ユニット 63 の流量検定を行うために用いられる。ガス供給集積ユニット 63 の回路構成は、第 1 実施形態で説明した評価装置 50 (図 8 参照。)と同様であるので、各流体制御機器には評価装置 50 と同じ符号を用いる。第 2 実施形態のガス流量検定ユニット 11 A は、コントローラ 61 の構成が第 1 実施形態のコントローラ 16 と相違する。よって、ここでは、第 1 実施形態と相違する点を中心に説明し、共通する点は、第 1 実施形態で用いた符号を図面に付し、説明を適宜省略する。

#### 【0087】

##### <コントローラの電氣的構成>

図 12 は、第 2 実施形態に係るガス流量検定ユニット 11 A に使用されるコントローラ 61 の電気ブロック図である。

コントローラ 61 は、ガス供給集積ユニット 63 の圧力センサ 59 と真空ポンプ 58 と出力用遮断弁 55 が入出力インターフェース 42 に接続されている点が、第 1 実施形態のコントローラ 16 (図 6 参照。)と相違する。圧力センサ 59 は、ガスユニット 2 をガス供給弁 57 に連通させるシステム側流路 (図 11 参照。)の圧力を検出して圧力検出信号をコントローラ 61 に出力する。真空ポンプ 58 は、コントローラ 61 から指令を受けて、ガス供給集積ユニット 63 内の真空引きを行う。出力用遮断弁 55 は、コントローラ 61 の指令を受けて弁開閉動作を行い、各ガスユニット 2 のプロセスガス出力を制御する。

#### 【0088】

また、コントローラ 61 は、「体積測定手段」である体積測定プログラム 62 を ROM 43 に格納している。体積測定プログラム 62 は、ボイル・シャルルの法則を利用してシステム側流路体積  $V_e$  とタンク体積  $V$  を算出する点で、数式 2 を用いてタンク体積  $V$  を算出する第 1 実施形態の体積測定プログラム 47 と相違する。

#### 【0089】

##### <体積の測定>

タンク体積  $V$  及びシステム側流路体積  $V_e$  の測定は、コントローラ 61 が体積測定プログラム 62 を実行することにより行われる。尚、ここでは、評価装置 50 (図 8 参照。)と同様の回路構成を有するガス供給集積ユニット 63 (図 11 参照。)を用いて体積を測

定する場合を例に挙げて説明する。

#### 【 0 0 9 0 】

先ず、図 1 1 に示す出力用遮断弁 5 5 A , 5 5 B , 5 5 C , 5 5 D と、ガス供給弁 5 7 を弁閉状態にし、ガス流量検定ユニット 1 1 A の第 1 遮断弁 1 2 と第 2 遮断弁 1 3 を弁閉状態にする。そして、真空ポンプ 5 8 を駆動して、出力用遮断弁 5 5 A より下流側を真空引きする。圧力センサ 1 4 が、所定圧 ( 5 k P a ) を検出して真空引きが完了したことを確認したら、ガスユニット 2 A の手動弁 5 2 A と出力用遮断弁 5 5 A を弁閉状態から弁閉状態に切り換え、ガスユニット 2 A に  $N_2$  ガスを流す。ここで、第 2 遮断弁 1 3 を弁閉すると、マスフローコントローラ 1 0 A から第 2 遮断弁 1 3 までの流路内圧力が上昇する。圧力センサ 1 4 が所定圧  $P 1 1$  ( 1 3 k P a ) を検出し、温度センサ 1 5 が温度  $T 1 1$  を検出した時点で、出力用遮断弁 5 5 A を弁閉状態から弁閉状態に切り換え、 $N_2$  ガスの供給を停止する。ここで、第 1 遮断弁 1 2 を弁閉し、第 2 遮断弁 1 3 を弁閉した後に真空ポンプ 5 8 を駆動し、第 1 遮断弁 1 2 の弁座 2 2 と第 2 弁遮断弁 1 3 の弁座 2 8 との間に真空領域を作る。その後、第 2 弁遮断弁 1 3 を弁閉状態から弁閉状態に切り換え、第 1 遮断弁 1 2 を弁閉状態から弁閉状態に切り換え、 $N_2$  ガスを既知体積  $V k$  の真空領域に放出する。このとき、圧力センサ 1 4 により圧力変動後の圧力  $P 1 2$  を検出するとともに、温度センサ 1 5 により流路ブロック 1 8 の温度、ひいてはガス温度  $T 1 2$  を検出する。

10

#### 【 0 0 9 1 】

そして、 $N_2$  ガスを真空領域に放出する直前に圧力センサ 1 4 が検出した圧力  $P 1 1$  と、 $N_2$  ガスを真空領域に放出する直前に温度センサ 1 5 が検出した温度  $T 1 1$  と、 $N_2$  ガスを真空領域に放出した後に体積測定を終了させるための体積測定終了圧力  $P 1 2$  と、体積測定終了圧力  $P 1 2$  に到達したときに温度センサ 1 5 が検出した温度  $T 1 2$  を、ボイル・シャルルの法則にあてはめる。すると、システム側流路体積  $V e$  が求められる。そこで、システム側流路体積  $V e$  に、既知体積  $V k$  を加算し、タンク体積  $V$  を測定する。このようにして測定したタンク体積  $V$  とシステム側流路体積  $V e$  は、体積記憶手段 4 6 に記憶される。

20

#### 【 0 0 9 2 】

< 第 2 実施形態のガス流量検定ユニットの作用効果 >

上記の通り、第 2 実施形態のガス流量検定ユニット 1 1 A は、真空ポンプ 5 8 に第 2 遮断弁 1 3 の第 2 ポート 2 7 が接続され、マスフローコントローラ 1 0 の出口と第 1 遮断弁 1 2 の弁座 2 2 との間の圧力を検出する圧力計 5 9 と、ガスユニット 2 の出力用遮断弁 5 5 にコントローラ 1 6 が接続されている ( 図 1 1、図 1 2 参照。 )。コントローラ 1 6 が体積測定プログラム 6 2 を実行することにより、システム側流路体積  $V e$  が測定される。すなわち、第 1 遮断弁 1 2 と第 2 遮断弁 1 3 との間を真空ポンプ 5 8 で真空引きした後、マスフローコントローラ 1 0 と第 1 遮断弁 1 2 との間に封入されたガスを第 1 遮断弁 1 2 と第 2 遮断弁 1 3 との間に放出したときに、第 1 遮断弁 1 2 と第 2 遮断弁 1 3 との間の圧力変化と温度変化を圧力センサ 1 4 と温度センサ 1 5 でそれぞれ検出し、その圧力検出結果と温度検出結果をボイル・シャルルの法則にあてはめることによりタンク体積  $V$  を測定する。そして、体積記憶手段 4 6 から既知体積  $V k$  を読み出し、タンク体積  $V$  から既知体積  $V k$  を減算することにより、システム側流路体積  $V e$  を測定する。よって、第 2 実施形態のガス流量検定ユニット 1 1 A によれば、ユニット取付先のシステム構成によりシステム側流路体積  $V e$  がバラツキを生じる場合でも、そのバラツキの影響を排除してガス流量検定の精度を良好に保つことができる。

30

40

#### 【 0 0 9 3 】

( 第 3 実施形態 )

続いて、本発明のガス流量検定ユニットについて第 3 実施形態を図面を参照して説明する。

第 3 実施形態のガス流量検定ユニット 1 1 B は、上記第 1 実施形態のガス流量検定ユニット 1 1 の流量検定処理を改良し、流量検定時間を短縮したものである。よって、ここでは、第 1 実施形態と相違する点を中心に説明し、第 1 実施形態と共通する点については図

50

面に第 1 実施形態と同様の符号を付し、適宜説明を省略する。

【 0 0 9 4 】

図 1 3 は、第 3 実施形態に係るガス流量検定ユニット 1 1 B が実行する流量検定方法を示すフローチャートである。図 1 4 は、本発明の第 3 実施形態に係るガス流量検定ユニットにおいて、圧力センサが検出した圧力値を所定時間間隔でサンプリングしたデータを示す図である。図 1 5 は、本発明の第 3 実施形態に係るガス流量検定ユニットにおいて、圧力センサが検出した圧力値を所定圧力間隔でサンプリングしたデータを示す図である。図 1 6 は、図 1 4 又は図 1 5 に示すデータの傾きと測定可能範囲 X 1 との関係を示す図である。図 1 7 は、図 1 4 又は図 1 5 に示すデータの相関係数と測定可能範囲 X 2 との関係を示す図である。

10

【 0 0 9 5 】

図 1 3 に示すように、第 3 実施形態に係るガス流量検定ユニット 1 1 B は、圧力センサ 1 4 が検出した圧力値の傾きや圧力値の傾きに対する相関係数を監視し、傾きや相関係数が測定可能範囲 X 1 , X 2 ( 図 1 6 、 図 1 7 参照。 ) 内であれば、圧力センサ 1 4 が既定の測定開始圧力 P 1 を検出する前であっても、流量 Q を測定して検定を行う点が、第 1 実施形態と相違する。

【 0 0 9 6 】

すなわち、S 1 0 4 においてタンク体積 V を測定した後、S 3 0 1 において、ガスユニット 2 B , 2 C , 2 D の出力用遮断弁 5 5 B , 5 5 C , 5 5 D と、ガス供給弁 5 7 を弁閉状態にする一方、ガスユニット 2 A の手動弁 5 2 A 、出力側遮断弁 5 5 A 、ガス流量検定ユニット 1 1 の第 1 遮断弁 1 2 、第 2 遮断弁 1 3 を弁閉状態にする。この状態でマスフローコントローラに 1 0 に検定用ガス ( 例えば N<sub>2</sub> ガス ) を供給し、流量が安定したら、第 2 遮断弁 1 3 を弁閉する。このときに、圧力センサ 1 4 が検出した圧力 P<sub>0</sub> を記憶する。そして、S 3 0 2 において、クロックパルスなどで、所定時間 t が経過したか否かを判断する。所定時間 t が経過するまでは待機する ( S 3 0 2 : N O ) 。

20

【 0 0 9 7 】

一方、所定時間 t が経過したら ( S 3 0 2 : Y E S ) 、 S 3 0 3 において、図 1 4 に示すように圧力センサ 1 4 から圧力値 P<sub>1</sub> を入力して記憶する。そして、S 3 0 4 において、圧力変動の傾きを算出する。具体的には、最新に取得した圧力値 P<sub>1</sub> から直前に取得した圧力値 P<sub>0</sub> を減算することにより上昇圧力値 P<sub>1</sub> - P<sub>0</sub> を算出し、直前に圧力値 P<sub>0</sub> を取得してから最新の圧力値 P<sub>1</sub> を取得するまでの時間 ( 所定時間 ) t によって上昇圧力値 P<sub>1</sub> - P<sub>0</sub> を割り、単位時間当たりの圧力上昇率 ( 傾き ) P<sub>1</sub> / t を算出する。

30

【 0 0 9 8 】

そして、S 3 0 5 において、算出した傾き P<sub>1</sub> / t が、予めガス流量検定ユニット 1 1 B に登録されている測定可能範囲 X 1 内であるか否かを判断する。圧力センサ 1 4 が検出する圧力値 P は、図 1 4 の Y 1 に示すように、ある時間が経過するまで急激に上昇し、その後、ほぼ一定の傾きで上昇し続けて既定の測定開始圧力 P 1 に到達する。ガス流量検定ユニット 1 1 B は、図 1 6 に示すように時間と傾きとの関係をマップデータとして H D D 4 5 に記憶し、流量検定精度に悪影響を及ぼさないように既定の測定開始圧力 P 1 に到達するまでの傾きの範囲に幅を持たせて、測定可能範囲 X 1 としてマップデータ上に記憶している。

40

【 0 0 9 9 】

図 1 4 に示す圧力 P<sub>0</sub> - P<sub>1</sub> 間の傾き P<sub>1</sub> / t は、傾きが急であり、予めガス流量検定ユニット 1 1 B に登録されている測定可能範囲 X 1 内でない判断される ( S 3 0 5 : N O ) 。この場合、圧力値 P の傾きが変動して流量 Q を精度良く測定できない可能性があるため、S 3 0 2 へ戻り、所定時間経過後に次の圧力値 P<sub>2</sub> を取得し、上記と同様の処理を行う。

【 0 1 0 0 】

このようにして、最新の圧力値 P<sub>n</sub> と直前の圧力値 P<sub>n-1</sub> との間の圧力上昇率 ( 傾き ) P<sub>n</sub> / t を算出し、算出した傾き P<sub>n</sub> / t が、予めガス流量検定ユニット 1 1 B に登録さ

50

れている測定可能範囲 X 1 内であると判断した場合には ( S 3 0 5 : Y E S )、それ以降の圧力変動がほぼ安定し、流量検定精度に悪影響を与えないので、S 3 0 6 へ進む。

【 0 1 0 1 】

S 3 0 6 においては、傾き  $P_n / t$  が測定可能範囲 X 1 内であると判断されたときの圧力値  $P_n$  を、測定開始圧力 P 2 1 として記憶する。従って、傾き  $P_n / t$  が測定可能範囲 X 1 内であると判断されたときが、流量検定開始タイミングとなる。

【 0 1 0 2 】

そして、S 3 0 7 において、測定開始圧力 P 2 1 を測定してから測定時間  $t_x$  が経過したか否かを判断する。測定時間  $t_x$  が経過するまでは ( S 3 0 7 : N O )、圧力センサ 1 4 の圧力値 P を監視しながら待機する。

10

【 0 1 0 3 】

一方、測定時間  $t_x$  が経過した場合には ( S 3 0 7 : Y E S )、S 3 0 8 において、測定時間  $t_x$  が経過したときの圧力値 P を圧力センサ 1 4 から入力し、測定終了圧力 P 2 2 として記憶する。

【 0 1 0 4 】

そして、S 3 0 9 において、流量 Q を算出する。具体的には、測定終了圧力 P 2 2 と測定開始圧力 P 2 1 との間の圧力差  $P_{22} - P_{21}$  を算出し、算出した圧力差  $P_{22} - P_{21}$  を測定時間  $t_x$  で割ることにより、圧力上昇率  $P / t$  を算出する。そして、算出した圧力上昇率  $P / t$  と、S 1 0 4 で算出したタンク体積 V と、温度センサ 1 5 が検出した温度 T と、使用するガスの気体定数 R とを数式 1 に代入し、流量 Q を算出する。

20

【 0 1 0 5 】

その後、S 1 0 8 へ進む。S 1 0 8 以降の処理は上述したので、説明を省略する。

【 0 1 0 6 】

また、別例として、圧力値を所定圧力間隔で取得して圧力値変動の傾きに対する相関係数を監視することにより、流量検定開始タイミングを計っても良い。

【 0 1 0 7 】

すなわち、図 1 3 の S 3 0 2 ~ S 3 0 4 に示すように、圧力センサ 1 4 が検出する圧力が所定圧力 P 増加する毎に、圧力値  $P_n$  を記憶する。所定圧力間隔で圧力値  $P_n$  を取得する場合、図 1 5 の Y 2 に示すように、ある時間までは圧力取得時間の間隔  $t_n$  が短い、ある時間が経過すると、圧力取得時間の間隔  $t_n$  がほぼ一定になる。圧力取得時間の間隔  $t_n$  がほぼ一定の範囲では、圧力値の傾きの相関係数が 1 に近づく。そこで、最新の圧力値  $P_n$  の傾き  $P / t_n$  に対する相関係数を算出する。ガス流量検定ユニット 1 1 B は、図 1 7 に示すように、流量検定 Q の検定精度に悪影響を与えない範囲で相関係数がほぼ 1 に近づくように幅を持たせて、測定可能範囲 X 2 として設定している。

30

【 0 1 0 8 】

従って、算出した相関係数が測定可能範囲 X 2 外である場合には ( S 3 0 5 : N O )、圧力変動が安定せず、流量 Q の検定に悪影響を与える恐れがあるので、S 3 0 2 へ戻り、圧力が所定圧増加したときに圧力値  $P_n$  を記憶して、上記と同様の処理を実行する。

【 0 1 0 9 】

一方、相関係数が測定可能範囲 X 2 内である場合には ( S 3 0 5 : Y E S )、圧力変動がほぼ安定し、流量 Q の検定に悪影響を与える恐れがないので、S 3 0 6 へ進む。S 3 0 6 以降の処理は、上述したので説明を省略する。

40

【 0 1 1 0 】

尚、図 1 4 に示すように時間間隔  $t$  で圧力を監視する場合について圧力値変動の傾きに対する相関係数が測定可能範囲 X 2 に属するか否かに基づいて流量検定開始タイミングを計るようにしてもよい ( 図 1 7 参照 )、図 1 5 に示すように圧力間隔 P で圧力を監視する場合について傾きが測定可能範囲 X 1 に属するか否かに基づいて流量検定開始タイミングを計るようにしてもよいことは ( 図 1 6 参照 )、言うまでもない。

【 0 1 1 1 】

< 第 3 実施形態の作用効果 >

50

以上説明したように、第3実施形態のガス流量検定ユニット11Bは、圧力センサ14が既定の測定開始圧力P1を測定する前であっても、圧力上昇率（傾き） $P_n / t$ 、 $P / t_n$ 又は圧力値Pの傾き $P_n / t$ 、 $P / t_n$ の相関係数が測定可能範囲X1, X2内に属すれば、流量を測定して検定を行う（図13のS302～S309参照）。これに対して、第1実施形態のガス流量検定ユニット11は、圧力センサ14が既定の測定開始圧力P1を検出するのを待って、流量Qを測定して検定を行う（図7のS105～S107参照）。

#### 【0112】

流量検定は、検定精度を向上させるために、パージと流量測定とを既定検定回数eだけ繰り返し行う。そのため、第1実施形態のガス流量検定ユニットは、1個のガスユニット2について流量検定が完了するまでの時間が、数分かかっていた。これに対して、第3実施形態のガス流量検定ユニット11Bは、圧力がほぼ安定してから既定の測定開始圧力P1に到達するまでの無駄な時間を待たずに流量の検定を行うので、1個のガスユニット2について流量検定が完了するまでの時間を1分以内にすることができた。

#### 【0113】

よって、第3実施形態のガス流量検定ユニット11Bは、圧力センサ14が既定の測定開始圧力P1を検出する前でも、圧力値の傾きや相関係数が測定可能範囲X1, X2内であることを条件に、流量検定を行うことにより、第1実施形態のガス流量検定ユニット11より検定時間を短縮することができる。通常、ガス供給集積ユニットには、多数のガスユニット2が設置される。そのため、1個のガスユニット2について検定時間を短縮できれば、ガス供給集積ユニット全体では検定時間を大幅に短縮することができ、効果が顕著である。

#### 【0114】

ところで、第3実施形態のガス流量検定ユニット11Bのように、圧力センサ14の圧力が既定の測定開始圧力P1に達する前に流量検定を行うと精度が落ちるようにも思われる。そこで、マスフローコントローラ10の下流側に高精度流量計を設置し、マスフローコントローラ10が出力する流量を高精度流量計で測定し、第1, 第3実施形態のガス流量検定ユニット11, 11Bが測定した流量を高精度流量計の測定値と比較して精度の検証を行った。その検証結果を図18に示す。

#### 【0115】

図18は、第1, 第3実施形態に係るガス流量検定ユニット11, 11Bの流量検定精度について調べた実験の実験結果を示す図である。

ガス流量検定ユニット11, 11Bは、機器構成が同じであるが、流量検定処理のみが相違する。そのため、ガス流量検定ユニット11, 11Bは、タンク体積Vが同じである。また、ガス流量検定ユニット11Bは圧力センサ14の圧力値Pを所定時間間隔で監視し、圧力値の傾きにより流量検定タイミングを計るものとする。

#### 【0116】

図18に示すように、第3実施形態のガス流量検定ユニット11Bは、圧力センサ14が既定の測定開始圧力P1を検出する前に流量検定を行っても、第1実施形態のガス流量検定ユニット11より約0.05%程度ではあるが精度よく流量検定を行う。数値としては、0.05%の僅かな上昇ではあるが、マスフローコントローラ10の精度目標が1%であることを考慮すれば、0.05%の精度向上は製品の信頼性向上に大きく寄与する。よって、第3実施形態のガス流量検定ユニット11Bによれば、第1実施形態のガス流量検定ユニット11と比べて流量検定時間を短縮できる上に、流量検定精度をより一層向上させることができる。

#### 【0117】

尚、本発明は、上記実施の形態に限定されることなく、色々な応用が可能である。

#### 【0118】

(1) 例えば、上記実施の形態では、ガス流量検定ユニット11の第1遮断弁12と第2遮断弁13と圧力センサ14は、1つの流路ブロック18に固定されているが、配管で接

10

20

30

40

50

続されてもよいし、また、複数の流路ブロックを介して接続されてもよい。すなわち、既知体積 $V_k$ がシステム側流路体積 $V_e$ 以下であれば、ガス流量検定ユニット11の流路を適宜組み上げることができる。

(2) 上記実施形態では、マスフローコントローラ10を流量制御機器として使用したが、圧変動補正定流量弁や流量調整弁などの流量設定機能を有するものを流量制御機器として使用してもよい。

【0119】

(3) 例えば、上記実施の形態では、温度センサ15として熱電対を使用した。サーミスタ真空計やピラニ真空計などを温度検出器に適用してもよい。また、温度検出器は、流路ブロック18の側面に取り付けてもよいし、上方から流路ブロック18に突き刺すように取り付けてもよく、更には、流路ブロック18の内部流路内に取り付けてもよい。

10

(4) 例えば、上記実施形態では、圧力検出器として静電容量型の圧力センサを使用した。圧電型抵抗型の圧力センサや、液注型真空計やマクラウド真空計などを圧力検出器として使用してもよい。

(5) 例えば、上記実施形態では、第1遮断弁12と第2遮断弁13に電磁駆動系の電磁弁としたが、エアオペレート弁など他の駆動系を用いる弁であってもよい。また、ダイヤフラム弁でなく、ポペット弁などであってもよい。

【0120】

(6) 例えば、上記実施の形態では、ガス流量検定ユニット11をガスボックスに収納したが、レールや取付板に取り付けられたままガスボックスに収納されていないガスユニットにガス流量検定ユニット11を接続してもよい。

20

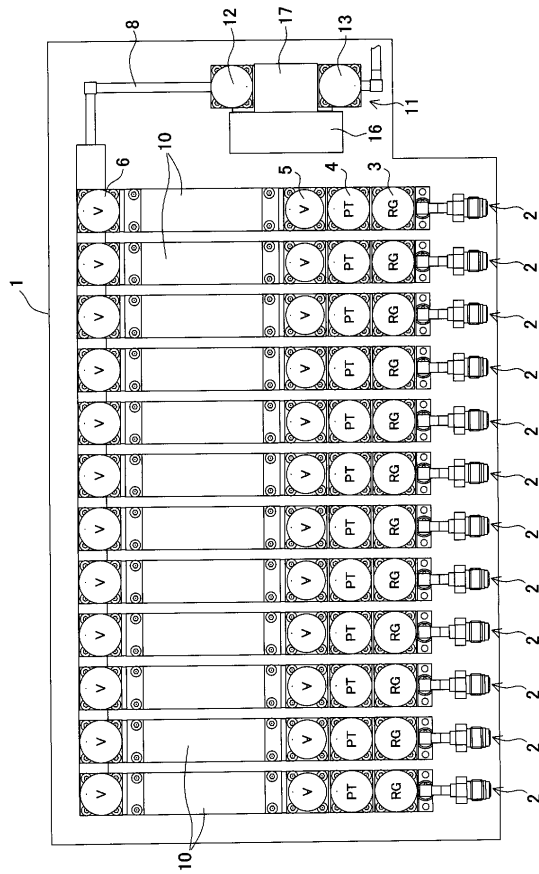
(7) 例えば、上記実施の形態では、タンク体積 $V$ とシステム側流路体積 $V_e$ を事後的に体積記憶手段46に記憶させたが、例えば、ガス流量検定ユニット11をガスボックス1に組み込み、タンク体積 $V$ とシステム側流路体積 $V_e$ が分かっている場合には、既知のタンク体積 $V$ とシステム側流路体積 $V_e$ を初期値として体積記憶手段46に記憶させてもよい。この場合、ユーザ側でガスボックス内の流路構成に変更を加えた場合には、上記実施形態で説明した体積測定を実施することにより、流路構成の変更に伴う流量検定不良を防止することができる。

【0121】

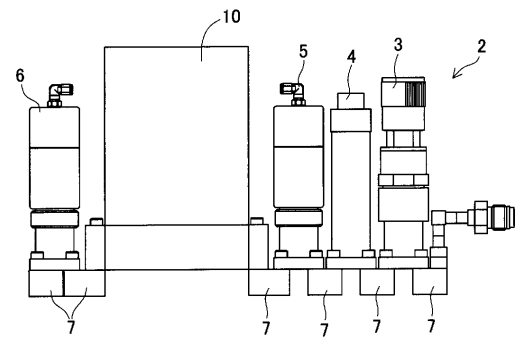
(8) 上記第3実施形態では、測定時間 $t_x$ に基づいて測定開始圧力 $P_{21}$ と測定終了圧力 $P_{22}$ とを算出して流量算出を行った。これに対して、例えば、測定開始圧力 $P_{21}$ に予め決めた上昇圧力を加算して目標圧力 $P_{23}$ とし、測定開始圧力 $P_{21}$ から目標圧力 $P_{23}$ まで上昇する時間 $t$ を計測して、測定開始圧力 $P_{21}$ から目標圧力 $P_{23}$ まで上昇する単位時間当たりの圧力上昇率(傾き) $P/t$ を求めてもよい。この場合には、求めた単位時間当たりの圧力上昇率 $P/t$ を数式1に用いれば、流量 $Q$ を算出することができる。

30

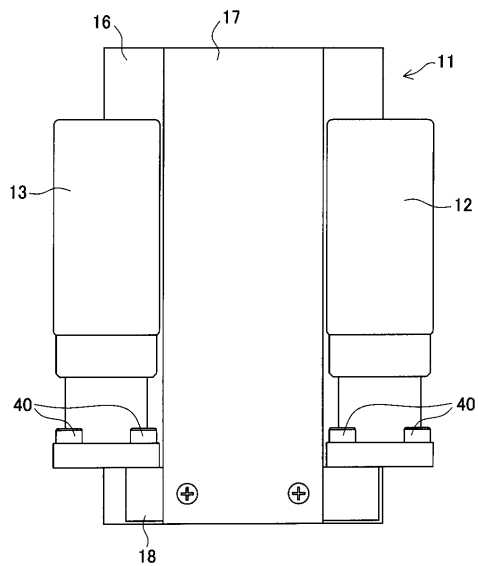
【図 1】



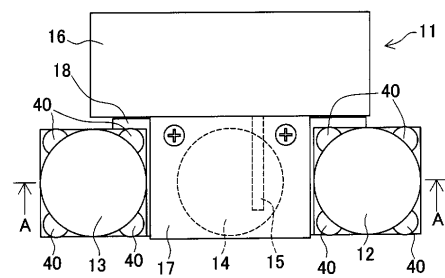
【図 2】



【図 3】

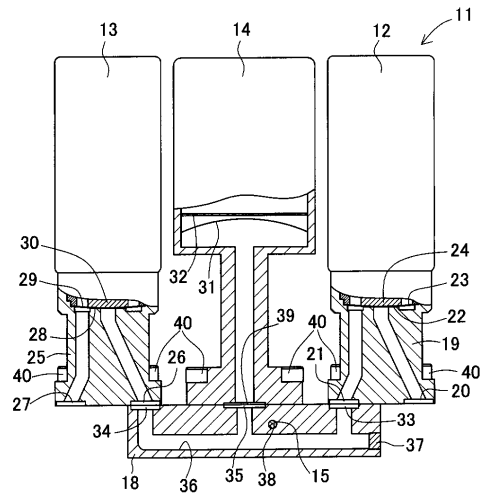


【図 4】

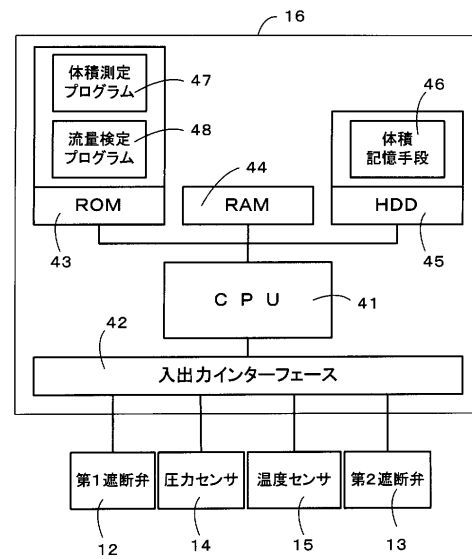




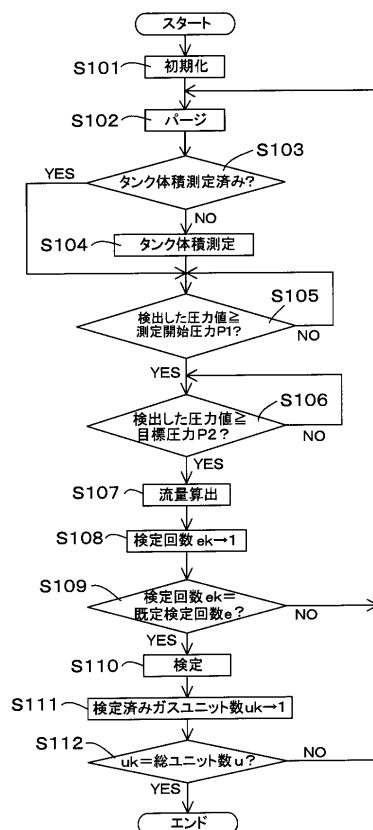
【図5】



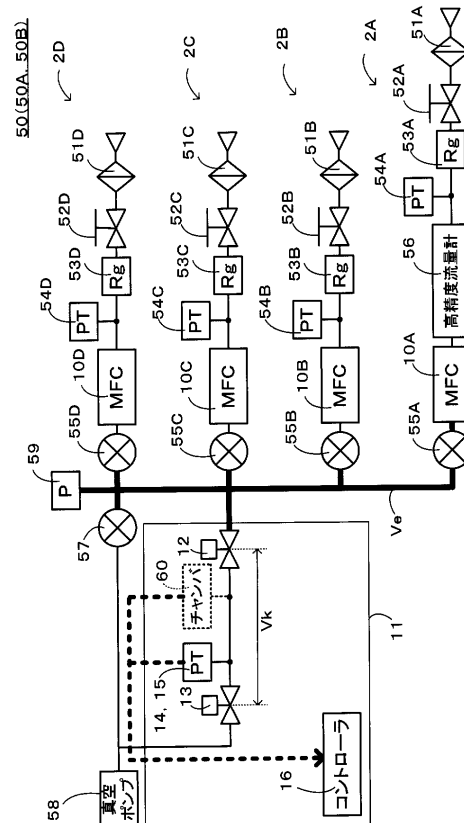
【図6】



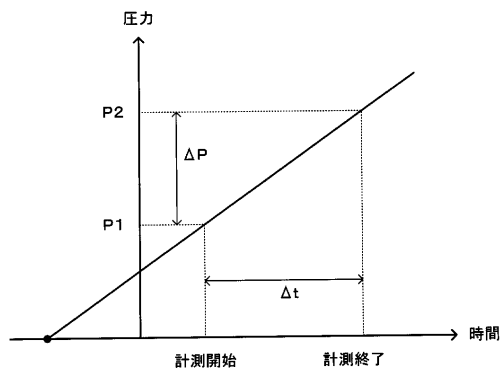
【図7】



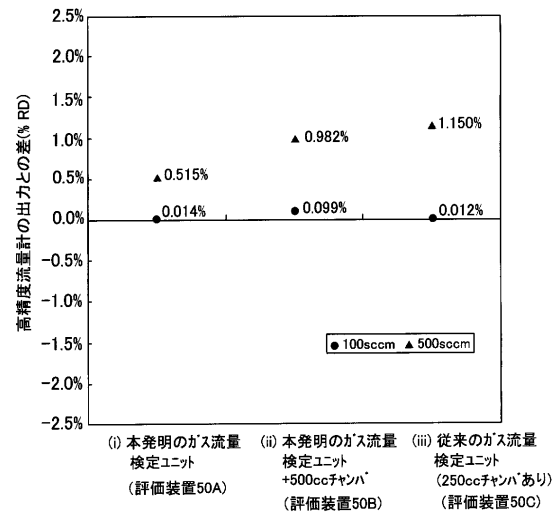
【図8】



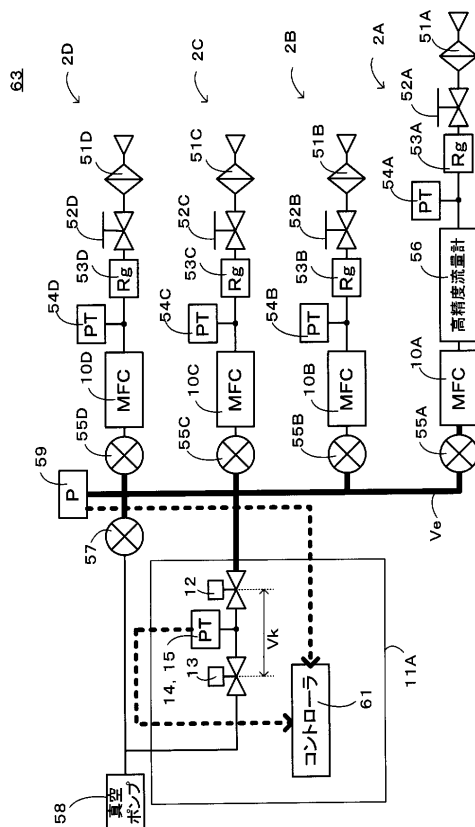
【 図 9 】



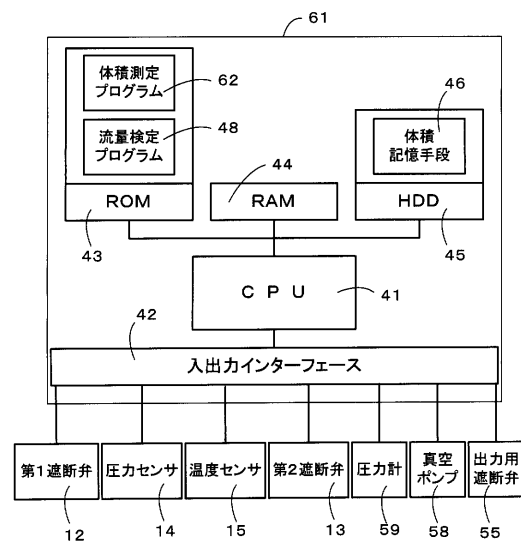
【 図 1 0 】



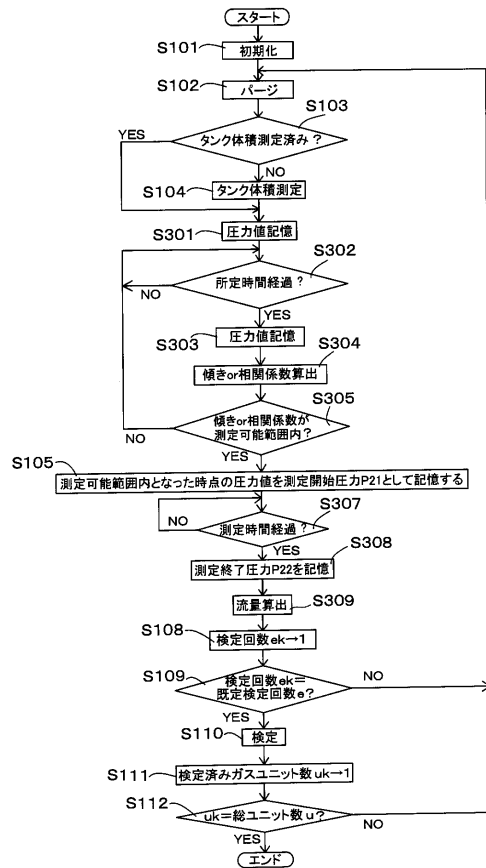
【 ㄨ 1 1 】



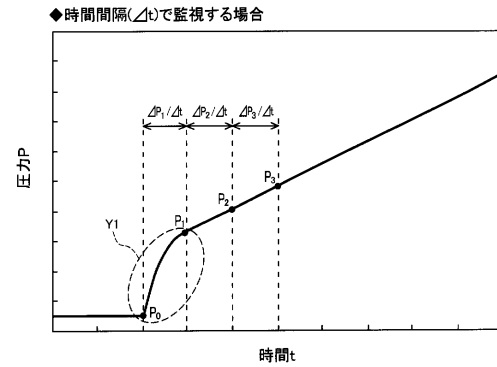
【 図 1 2 】



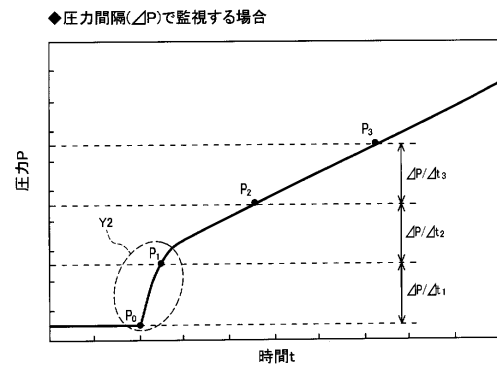
【図13】



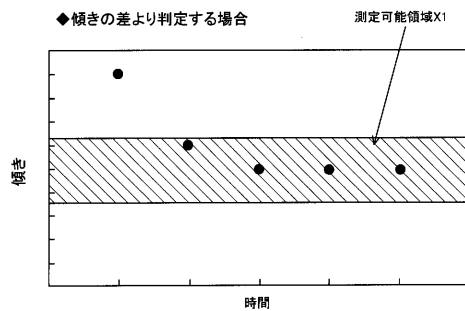
【図14】



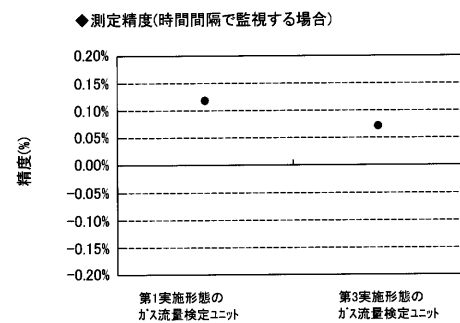
【図15】



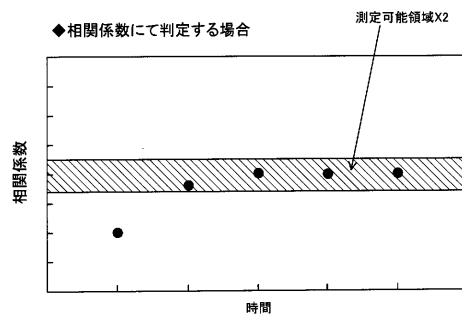
【図16】



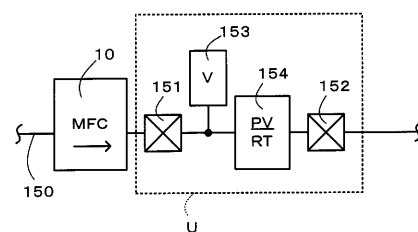
【図18】



【図17】



【図19】



---

フロントページの続き

(72)発明者 中田 明子  
愛知県小牧市応時二丁目250番地 シーケーディ株式会社内

審査官 古屋野 浩志

(56)参考文献 特開平06-160152(JP,A)  
特許第3022931(JP,B2)  
特開昭59-020814(JP,A)  
特表平11-502026(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G01F 25/00