

流量モニタリングシステム

Flow Monitoring System

中田 明子 Akiko Nakada

当社では半導体製造装置向けにプロセスガス用のエアオペレートバルブやマニュアルバルブ、レギュレータなどの製造、販売を行っている。またこれらの製品と圧力計、マスフローコントローラなどを搭載した集積化ガス供給システム(Fig. 1)の製造、販売も行っている。半導体製造工程においてプロセスガスの高精度な流量制御は不可欠であり、流量制御異常によるプロセストラブルを回避するため、マスフローコントローラは定期的に点検・校正を行う必要がある。しかしマスフローコントローラの点検・校正には脱着のため装置を停止するなど、半導体製造装置の稼働率の低下につながっていた。ここでは、マスフローコントローラの流量制御異常によるプロセストラブルを回避するため開発した流量モニタリングシステムを紹介する。

CKD manufactures and sells process gas components such as air-operated valves, manual valves, and regulators for use in semiconductor manufacturing equipment.

We also manufacture and sell an integrated gas supply system (Fig.1), which is equipped with products mentioned above and devices such as pressure gauges and mass flow controllers. In semiconductor manufacturing processes, controlling the flow rate of process gases with high precision is indispensable. To avoid problems caused by the abnormal flow rate control, the mass flow controller must be periodically inspected and calibrated. However, for inspection and calibration, the semiconductor manufacturing equipment needs to be stopped to mount and dismount the mass flow controller and this may decrease the operating rate of equipment. In this paper, we introduce the flow monitoring system which was developed to avoid problems caused by the abnormal flow rate control of the mass flow controller.

1 はじめに

近年、半導体の積層化、微細化に伴いプロセスガス制御の信頼性向上の要求が高まっている。プロセスガスの流量はプロセス品質の良否に直接影響するため、その流量を厳格に管理することが求められている。

プロセスガスの高精度な流量制御は半導体製造工程において不可欠であり、その流量制御の多くは熱式流量センサを用いたマスフローコントローラが利用されている。マスフローコントローラは流量センサ内部に細管を使用しており、そこにプロセスガスの生成物が

付着すると、流量精度が悪化してしまう。このため、定期的な点検・校正が実施されている。

マスフローコントローラの流量測定には、基準流量計の測定値と比較する方法がある。これは、配管の一部やマスフローコントローラを外して接続するため、装置を停止する必要がある。また、プロセスチャンバを用いた圧力上昇法による流量測定(Fig. 2)は、装置に搭載したままで測定できる。しかし、この方法はチャンバ容積が大きいため測定に長時間を要する。

そこで当社は、これらの課題を解決するため、流量モニタリングシステムを開発した。



Fig. 1 集積化ガス供給システム

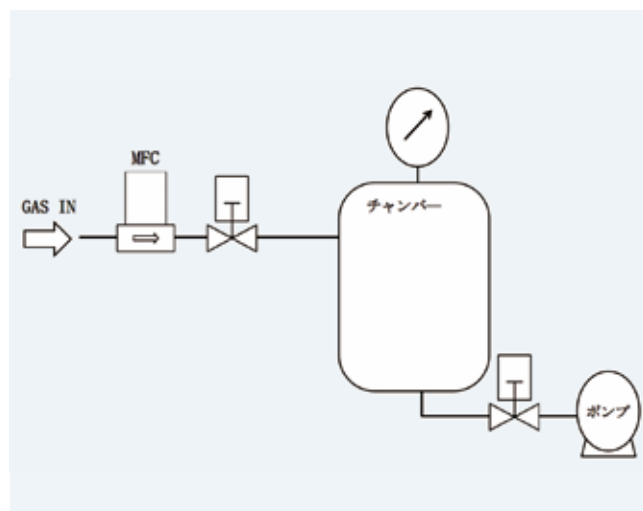


Fig. 2 プロセスチャンバを用いた流量測定

2 開発コンセプト

流量モニタリングシステムは、前記課題を解決するため、次にあげるコンセプトのもと開発を行った。

①集積化ガス供給システム内への設置

- ・装置からの脱着を不要とし、装置を停止することなく、インラインでの測定を可能とする。

②測定時間の短縮

- ・装置のスループット向上に貢献する。
- ・プロセス毎に重要ガスの流量測定を可能とする。

③高精度

- ・従来方法以上の測定精度を確保する。
- ・正確な測定容積の把握。

④圧力上昇法による測定

- ・流量モニタリングシステムをマスフローコントローラの下流側に設置し、1台で複数台のマスフローコントローラの測定を可能とする。

3 構成と動作原理

当社の流量モニタリングシステムは、圧力上昇法により流量測定を行う。

圧力上昇法は、容積V内に一定の流量で、ガスを充填すると容積V内の圧力が一定の傾きで上昇することを利用し、ある圧力 ΔP 間を時間 Δt で充填するときの流量を気体の状態方程式を用いて算出している。(Fig. 3)

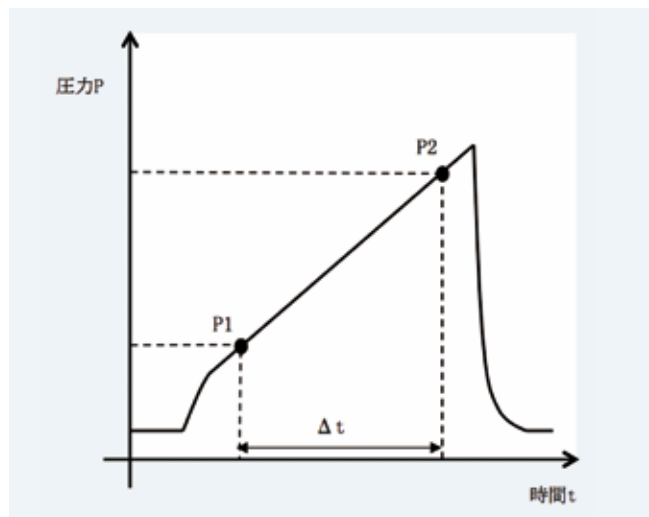


Fig. 3 圧力上昇法

流量モニタリングシステムの構成をFig. 4に示す。ガスを供給するための第1遮断弁、下流にガスを遮断するための第2遮断弁、充填されるガスの圧力と温度を計測するための圧力センサと温度センサがタンクに設置されている。

また、制御基板では、遮断弁の駆動制御、圧力センサ・温度センサの信号取込、流量演算、測定結果の出力を行っている。

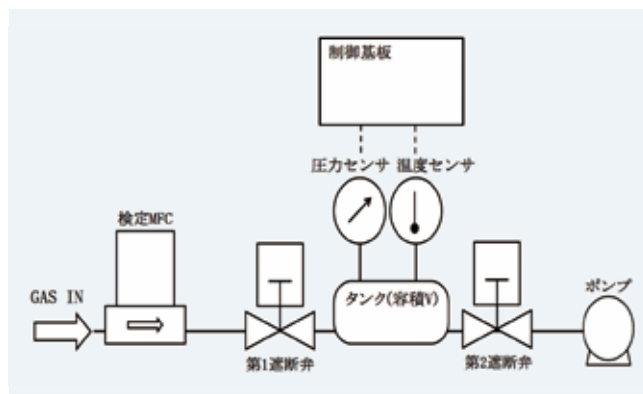


Fig. 4 流量モニタリングシステム構成

流量モニタリングシステムにおける測定手順をFig. 5に示す。

- 第1遮断弁、第2遮断弁を開き、タンク内を真空引きする。
- マスフローコントローラでタンク内にガスを供給し、制御流量が安定するまで待機する。
- 制御流量が安定したところで第2遮断弁を閉じ、タンク内の圧力を上昇させる。
- 圧力が上昇し、圧力センサが既定の測定開始圧力を検出した後、測定終了圧力を検出するまでの時間を計測する。
- 測定終了圧力を検出したところで測定終了とし第2遮断弁を開き、タンク内のガスを放出する。

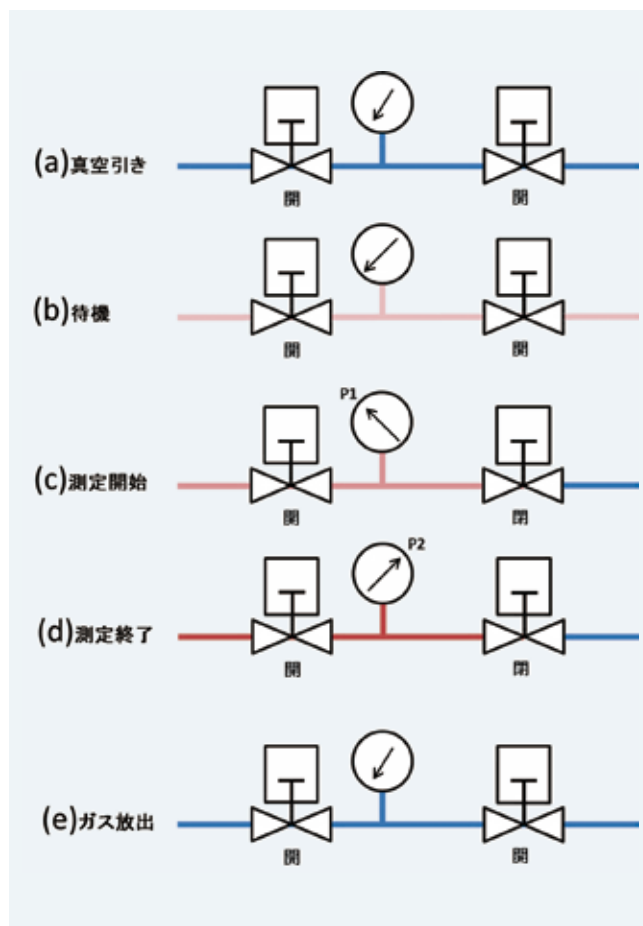


Fig. 5 測定手順

また流量の算出は以下の要領で行う。

測定で得られた圧力値と気体の状態方程式より、測定開始時の状態は $P_1V=n_1R_0T_1$ 、測定終了時の状態は $P_2V=n_2R_0T_2$ となる。

上式より容積 V 内のガスの増加量 Δn は、

$$\Delta n = n_2 - n_1 = V/R_0 (P_2/T_2 - P_1/T_1) \dots \textcircled{1}$$

となり、流量 Q は計測時間 Δt と①より次式で求められる。

$$Q = \Delta n \times V_0 / \Delta t \dots \textcircled{2}$$

ここで、測定開始圧力 P_1 [Pa]、測定終了圧力 P_2 [Pa]、測定開始温度 T_1 [K]、測定終了温度 T_2 [K]、タンク容積 V [m³]、測定開始時物質量 n_1 [mol]、測定終了時物質量 n_2 [mol]、ガス定数 R_0 [J/mol·K]、標準体積 V_0 [m³/mol]、計測時間 Δt [min]、流量 Q [m³/min]とする。

4 開発のポイント

集積化ガス供給システム内への設置、短時間測定を実現するために、流量モニタリングシステムを小型化する必要があった。そこで、流量モニタリングシ

テムを構成する第1遮断弁、圧力センサ、温度センサ、第2遮断弁をひとつのブロックに集積し、集積化ガス供給システム内に収まる大きさとした。また、測定タンクを搭載すると、大きくなってしまふことから流量モニタリングシステムはタンクレスにすることとした。(Fig. 6) (Fig. 7)

しかし、タンクレスにすると測定容積は、第1遮断弁から第2遮断弁間の流路のみとなり、極端に小さくなる。測定容積が小さくなると、測定時の圧力上昇スピードが速くなるため、圧力検出誤差が大きくなり、測定精度は悪くなってしまふ。タンクレスにしても測定精度を保つため、集積化ガス供給システムの既存流路(Fig. 8赤線部・約100ml)を測定容積として利用した。

次に、目標精度を満たすため、使用する圧力センサのレンジを容積・流量・測定時間から計算し決定した。

また流量の算出には、測定容積を正確に管理することも必要である。当社では、集積化ガス供給システムの製造を行っていることを生かし、製造時に流量モニタリングシステムを搭載する集積化ガス供給システムの配管容積を±0.2%R.D.という高精度で正確に計測している。そのため、容積を厳密に管理することができ、より高精度の流量測定を可能とした。



Fig. 6 流量モニタリングシステム外観

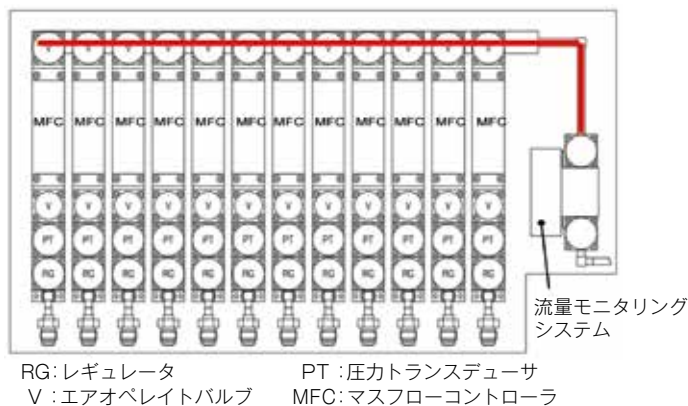


Fig. 8 集積化ガス供給システム内設置の例

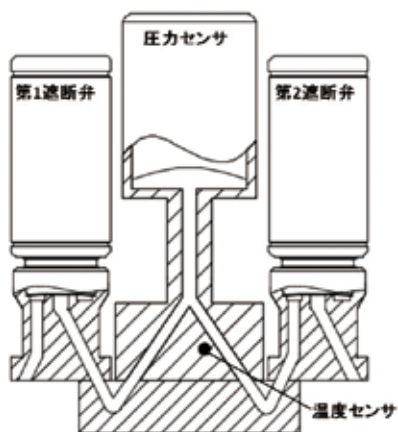


Fig. 7 流量モニタリングシステム内部構造図

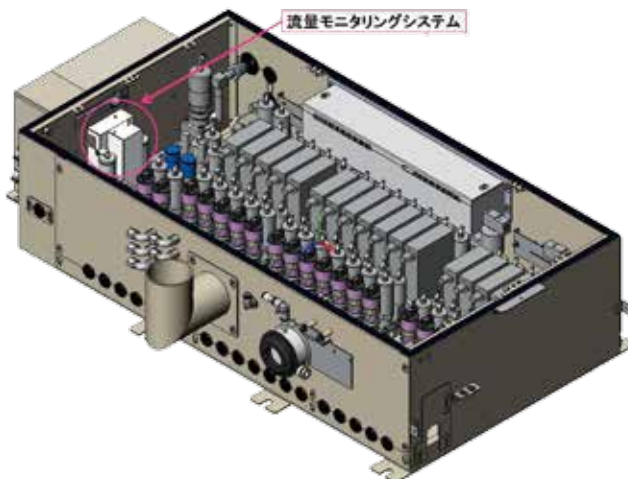


Fig. 9 集積化ガス供給システム内設置の例

5 評価結果

流量モニタリングシステムの評価結果をFig. 10～Fig. 13に示す。

Fig.10は流量に対する測定時間を示したグラフである。各流量で1min以内という短時間測定が可能であることがわかる。Fig. 11は新手法の測定時間を従来方法と比較したグラフである。従来のプロセスチャンバーによる測定と比較して、装置全体(10ライン)で測定時間を72%削減できた。

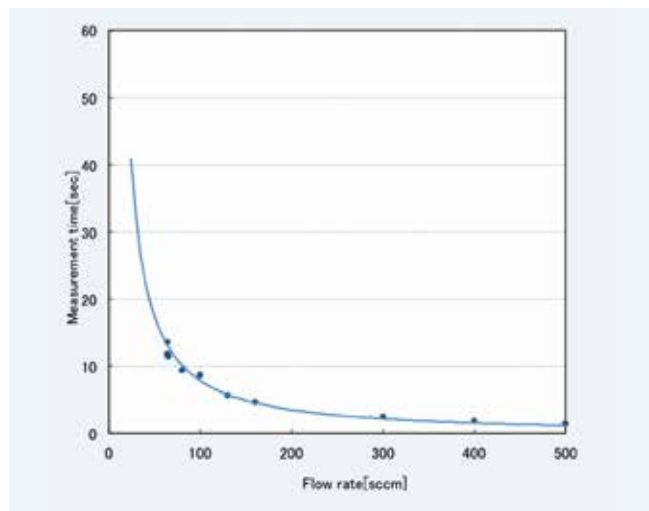


Fig. 10 流量-測定時間

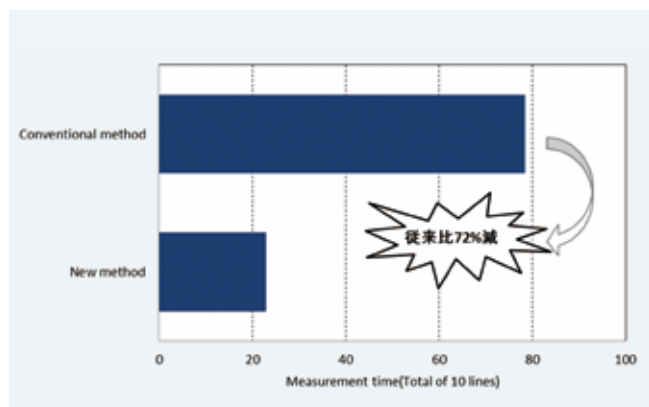


Fig. 11 新手法と従来方法の測定時間比較

Fig. 12は流量モニタリングシステムの測定精度を示す。各プロットは同一サンプルで10回繰り返し測定した時の当社基準流量計との差の平均値である。

この結果から全流量域において±1%R.D.以下という高精度で流量測定が再現可能であることを示している。

Fig. 13に流量モニタリングシステムの長期再現性を示す。横軸は測定日である。測定日が異なると温度などの変化により測定環境が変わることもある。しかし、流量モニタリングシステムは高い再現性を示しており、マスフローコントローラの流量変化を正確に測定できたことがわかる。

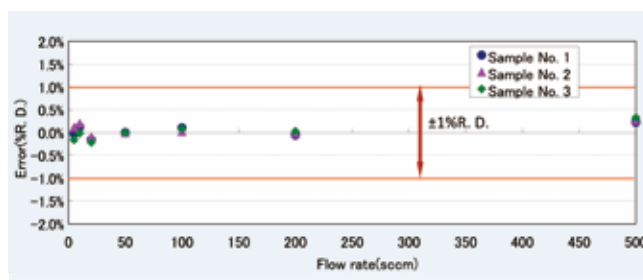


Fig. 12 流量精度

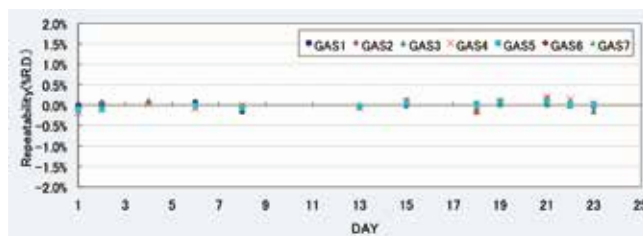


Fig. 13 長期再現性

6 おわりに

本稿で紹介した流量モニタリングシステムは定期的を使用することでマスフローコントローラの制御流量の経時変化を見える化し、プロセストラブルを未然に防ぐことができる。また半導体製造プロセスの高精度化にも対応でき、当社集積化ガス供給システムの付加価値を向上させる製品である。

今後、半導体プロセスの製造技術はますます生産性向上とプロセスの複雑化により構成パーツへの品質管理要求も厳しくなる。

当社はこれからも半導体製造業界の開発スピードに追従し、より高度な要求に応えることのできる製品の開発に取り組んでいく。

執筆者プロフィール



中田 明子 Akiko Nakada
 コンポーネント本部
 ファインシステムBU 第2技術部
 Engineering Department No.2
 Ultra High Purity Products Business Unit
 Components Business Division

■ 出典 ■

出願特許: ガス流量検定ユニット 特許第4801726号
 ガス流量検定ユニット 特許第5222935号