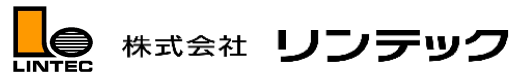


高速応答サーマルマスフローコントローラ MC-7000 シリーズ

2020年5月11日



1. はじめに

半導体製造に使用されるマスフローコントローラは、従来は熱式質量流量センサを使用したものがほとんどであった。しかし、現在は圧力センサを使用した差圧方式、音速ノズル方式が多く使用されている。

これは、入口圧力変動の影響を抑えること、そして高速応答に対応することが、その理由である。

しかし、音速ノズル方式は真空装置にその用途は限られており、差圧方式は微小流量用途、低差圧用途には不向きである。

また、圧力検出精度に依存するため、圧力損失を作る素子の温度依存性、詰まりに大きく性能が左右される。

その上、従来から利用されてきたガス種の違いによるコンバージョンファクタも使用できないため、今までとは異なった管理が必要となっている。

従って、熱式質量流量計で高速応答のマスフローコントローラが実現できれば、圧力方式のマスフローコントローラを補完することが可能となる。

2. 概要及び特長

(図1)は、高速応答熱式マスフローコントローラである。基本構成は、従来のものと同じ構成であるが、それぞれの構成要素(センサ、バルブ、制御系)の改良により高速応答を実現している。



(図1) MC-7000 (DeviceNet Type)外観

MC-7000 シリーズの特長を、以下に示す。

① 熱式質量流量計の原理を使用しているが、200msec 以下の高速応答であり、圧力方式と同等以上の性能を有している。

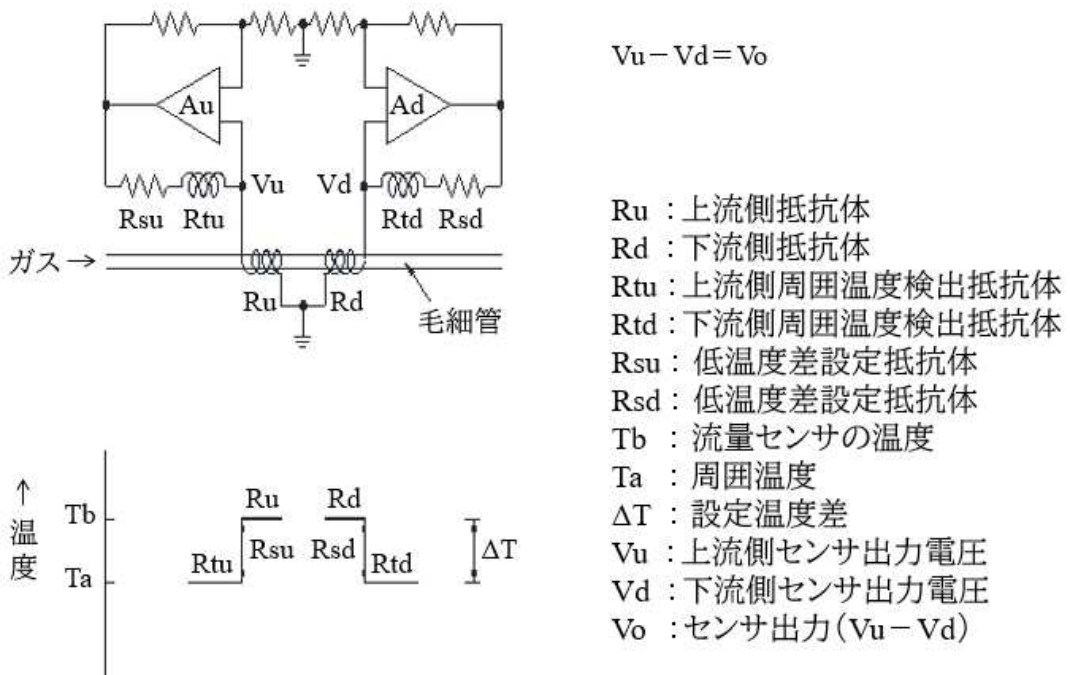
従来の熱式センサ方式では1秒～0.5秒が一般的であり、大幅な改善となっている。この高速化のため、センサ熱容量の低減、熱伝導構造の見直し、センサ制御方式の改良を実施し、高速化を実現している。

② センサ温度は、当社オリジナルの定温度差電力差検出方式を使用しているため、周囲温度プラス 30～40℃となり、低い温度を実現している（一般的な熱式流量計では 80～120℃）。

（図 2）は、当社熱式センサの原理図である。

上流下流の2つの温度センサは、流されるガス温度（周囲温度）プラス一定の温度差に制御されており、一定の温度差を維持するために必要な熱量差を検出する方式となっている。流体が流れた場合、上流センサの温度を維持するためには、より多くの熱量が必要となる。一方、下流側センサにおいては、温められたガスにより、一定の温度差を維持する熱量が減少することになる。この上流と下流の熱量差が流れるガスの質量流量と比例しているため、熱量差を検出することにより、質量流量が検出可能となる。

また、センサ温度は、周囲温度が変わらない限り常に一定であるため、温度分布の変動はない。従って、熱の移動の時間がないため、高速に質量流量が検出できる。



（図 2）定温度差電力差検出方式原理図

- ③ 低いセンサ温度であるため、高い温度で分解しやすいガス、反応性が強くなるガス（O₃、ClF₃、B₂H₆ など）への適用が可能。また、経時変化が少ない。
- ④ 短いセンサ管を使用しており、単純構造のため、低いセンサ差圧（業界最小、約 100Pa）の低圧力損失で詰まりにくい構造であり、ガスの置換特性に優れている。
- ⑤ 熱式センサであるため、従来より使用されていた、ガス種の違いによるコンバージョンファクタが使用可能。
- ⑥ 圧力方式でないため、真空、加圧すべての条件で使用可能
- ⑦ 微小流量にも対応
- ⑧ 高速制御実現のため、ダイアフラム方式ピエゾアクチュエータを採用
- ⑨ 24V 単電源動作
- ⑩ 汎用インターフェイス、DeviceNet、EtherCAT に対応

3. 製品仕様

MC-7000 の仕様を、(表 1) に示す。

精度、再現性は、当社従来品と同様に高精度を維持し、応答速度が大きく改善されている。

MODEL	MC-7100	MC-7200
流量 (N ₂ 換算)	5SCCM to 5SLM	10, 20SLM
精度	100%F.S. to 25%F.S. ±1%S.P.	
	25%F.S. to 2%F.S. ±0.25%F.S.	
応答時間	within 200msec (Typ.100msec)	
必要差圧 (制御時)	50 to 300kpa	100 to 300kpa
必要差圧 (測定時)	100Pa	
使用保証温度	5 to 50°C	
リークレート	1×10 ⁻¹¹ Pa・m ³ /sec (He)	
標準継手	1.125Cseal, Wseal, 124mmVCR	
所要電源	11 to 24VDC	
インターフェイス	DeviceNet, EtherCAT	

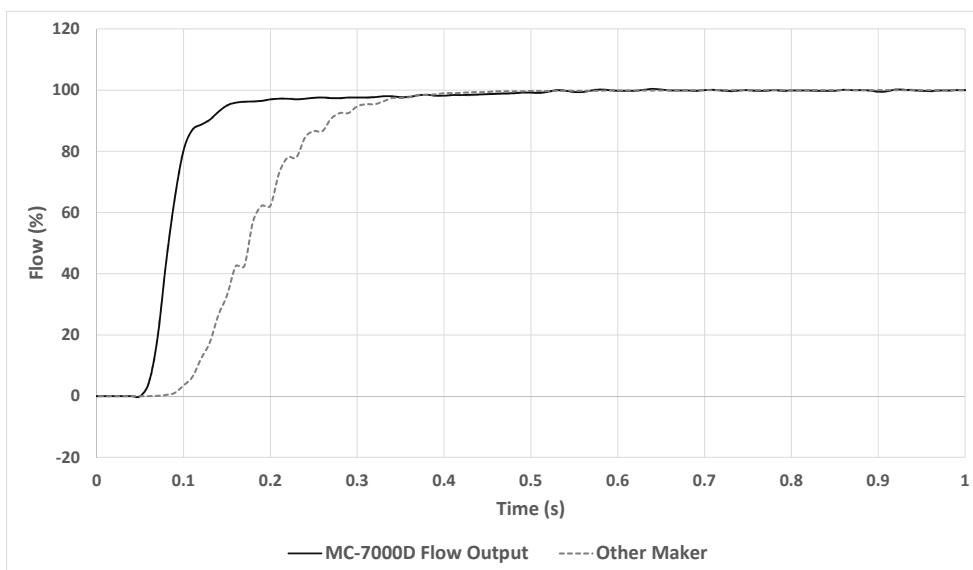
(表 1) MC-7000 仕様

4. MC-7000 の特性データ

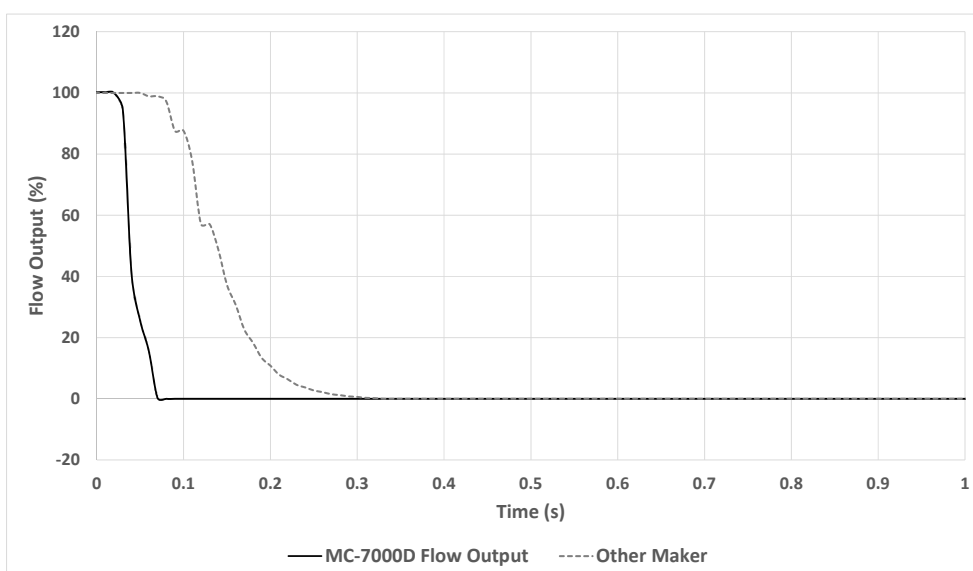
① 応答特性

(図 3) は全閉より設定値、(図 4) は制御状態より全閉までの追従特性である。共に 100msec 程度の追従性となっている。

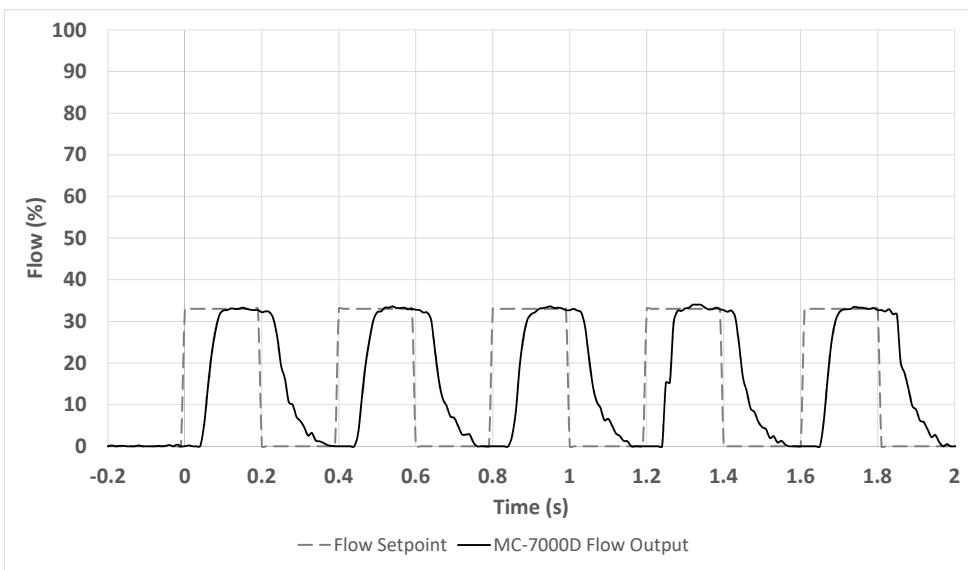
(図 5) は全閉、制御の繰り返し性のデータであり、パルス幅 200msec での応答の結果である。このように、非常に優れた制御性を持っている。



(図 3) 全閉から制御への追従特性



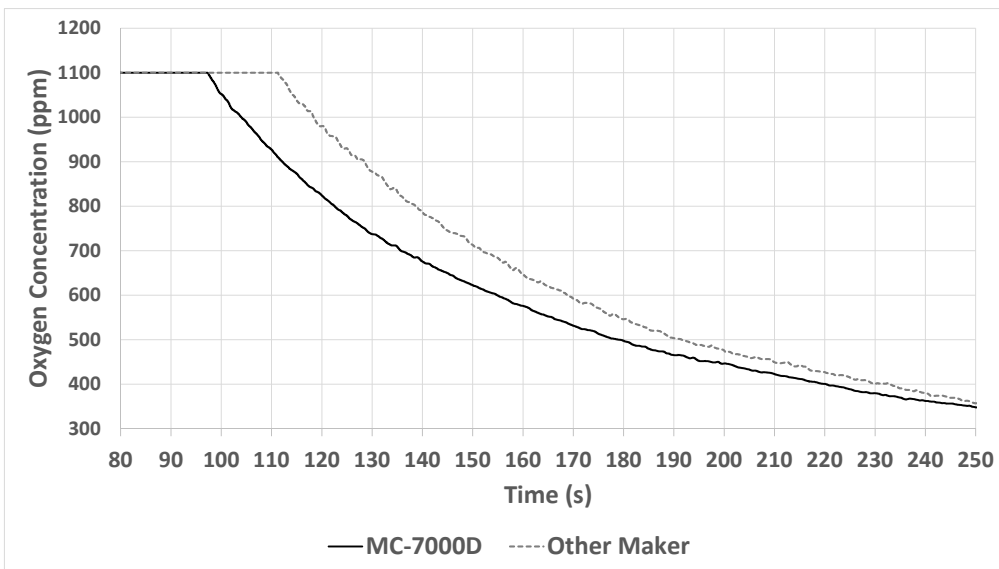
(図 4) 制御から全閉への追従特性



(図 5) パルス応答特性

② ガス置換特性

MC-7000 はシンプルなセンサ構造、ダイヤフラムピエゾバルブの採用により良好なガス置換性を有している。(図 6) は、酸素計を使用したガス置換特性のデータであり、バックグラウンド状態と同じ置換性となっている。



※本図における酸素濃度計の測定レンジは、1000ppm レンジである。

(図 6) ガス置換性

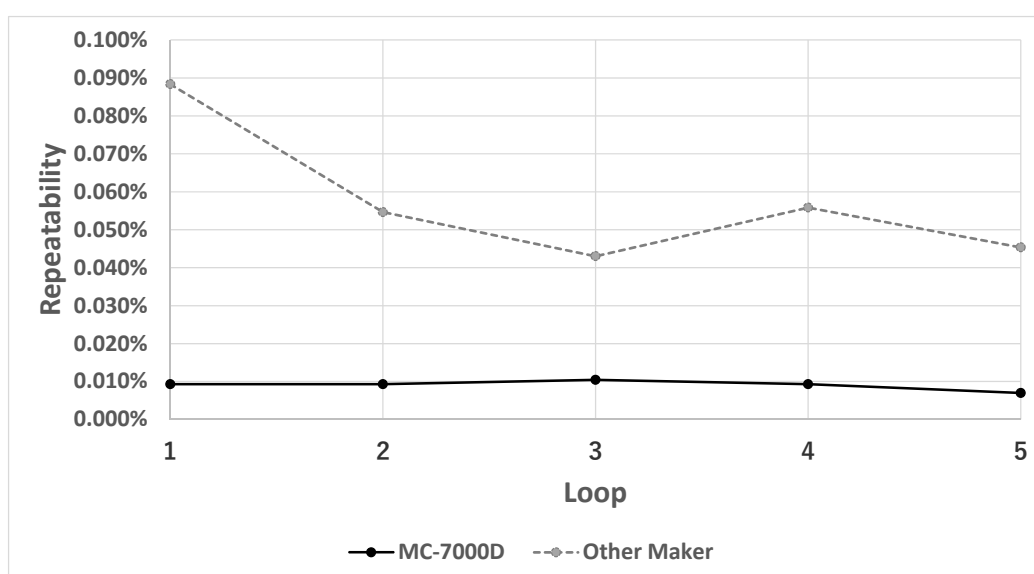
③ 再現性

一般にはあまり知られていないが、マスフローコントローラの内部構造により、ガス停止から制御とガスパージから制御した流量に差異が発生する場合がある。つまり、初期条件がガスゼロの場合と過大流量な場合で、流量誤差が発生するわけである。

これは、内部での渦の状況が変化することに起因しており、再現性の低下を意味している。

MC-7000 では内部構造の見直しを行い、この再現性を向上している。

(図 7) はこの再現性の測定結果であり、再現性差異なしを実現している。



(図 7) 再現性

5. おわりに

MC-7000 は、熱式センサを使用した、従来にない高速応答性能を有するマスフローコントローラである。また、微小流量制御も従来と同様の精度で高速に制御可能であり、常圧及び加圧装置にも使用可能である。特に注目すべき点は、繰り返しのガスオンオフが可能なことであり、高速のガス切替が必要な ALD(Atomic Layer Deposition)や ALE(Atomic Layer Etching)装置にも適用可能である。

その他、大流量バルブとの組み合わせを行えば、わずか 100Pa の圧力損失のセンサであるため、超低差圧動作のマスフローコントローラを実現できる。

本製品 MC-7000 は、単に圧力センサ方式のマスフローコントローラを補完するだけでなく、新たな用途にも利用できるものと考えている。

以上