

Feature Article

特集論文

プレッシャーインセンシティブ対応マスフローモジュール —SEC-Z700シリーズ—

高橋 明人

半導体製造装置のガス供給ラインにおいてはコスト削減、集積化を目的にラインレギュレータ、圧力センサ、フィルタが削減されたシステム構成が増加している。掘場エステックでは、このようなシステム構成にも対応できる流量制御機器としてSEC-Z700シリーズを開発した。本稿では実流量の高精度化、全設定流量に対する高速応答性能、圧力変動に対する制御性の向上、ガス制御システムの突発的なダウンを未然に防ぐモニタリング機能、ユーザサイドで容易に仕様変更できるコンフィグレーションソフトについて紹介する。

はじめに

半導体製造プロセスの進化に伴い、ガス供給系パーツには高度なプロセスコントロール、再現性、多機能、高性能と同時に、更なるコストダウンなどが求められている。ガスの流量制御をおこなうデバイスとしては、一般的にマスフローコントローラ(MFC)が用いられている。高機能、多機能化への対応として、MFCにCPUを搭載したデジタルMFCの採用が増加している。掘場エステックでは1990年に世界初のデジタルMFC：SEC-F1シリーズの製品化に成功した。デジタル化により流量制御精度の向上、特性が異なるガスの流量を1台のMFCで制御できるマルチガス機能、全制御範囲における高速応答など機能の向上が容易になった。これまでの半導体製造装置のガスラインにおいては、圧力変動によりMFCのクロストーク現象が発生しやすいため、ラインレギュレータ、圧力センサ、フィルタが取り付けられている。今回新たに開発したSEC-Z700シリーズはこれまで実績のあるサーマルマスフローコントローラをプラットフォームとし、課題とされていた圧力変動による影響を受けにくく、常に安定した流量制御を実現した機種である。マスフローモジュール本体の上面には流量出力だけでなく、温度、圧力が表示可能なマルチディスプレイを採用している。通信は、アナログ、RS-485、DeviceNetの各種インターフェースに対応している。アプリケーションソフトとしては、流量制御状

態を監視自動保存して、より高度な不具合予知や原因解析が行えるソフトや、ガス種、フルスケール流量値が容易に変更できるソフトなどをラインアップしている。図1にSEC-Z700シリーズの外観を示す。

SEC-Z700シリーズの特徴

- ・プレッシャーインセンシティブ機能*1
- ・マルチレンジ／マルチガス機能
- ・従来モデルとの信号互換性
- ・高精度：±1.0%S.P.
- ・高速応答：フルレンジ1秒以内
- ・マルチディスプレイ



図1 SEC-Z700外観

*1 プレッシャーインセンシティブ：供給圧力の変動に対して流量制御に影響を受けない様に制御する事

高精度, 多機能化

MFCの性能指数には、セットポイント精度、マルチガス、マルチレンジ化等の性能指数のほかに流量精度がある。従来、MFCの流量精度をフルスケールに対する精度で評価していたが、より厳密に流量制御を行うため、設定値に対する精度が用いられるようになってきている。また1台のMFCで複数のガス種や広い流量範囲仕様に対応(マルチガス化、マルチレンジ化)できるように、従来の1点コンバージョンファクタ*2と違った新たなアルゴリズムを開発し、サーマルMFCとしての極限に挑戦している。従来のMFCでは一次側圧力が変動した場合、一時的にMFCに搭載されている流量センサ部に過度の流量が流入する。その変動を抑えるためにバルブが動作しチャンバへのガス流量が大きく変動する。新開発したVariable Control Modeを搭載したSEC-Z700はPID制御定数が切り替わることにより定常状態での流量安定性を向上させている。図2にSEC-Z700シリーズの構造図を示す。

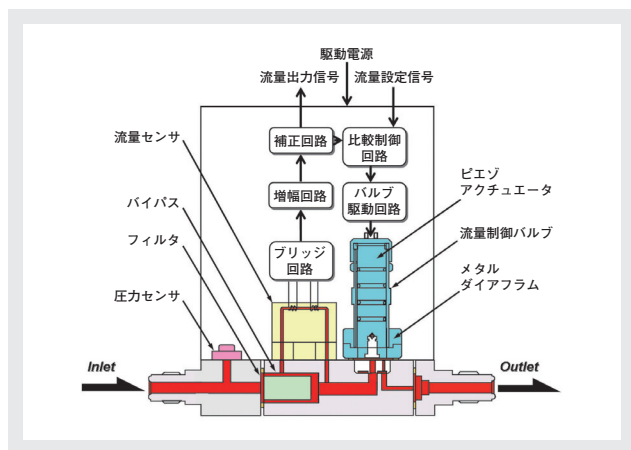


図2 SEC-Z700構造図

高精度：セットポイント(SP)精度

MFCの流量制御範囲も成膜プロセスの多様化に伴い、小流量からフルスケールまで広範囲での精密制御が要求されている。従来のほとんどのMFCは、1%F.S.(フルスケール)が精度保証であった。このため、高精度に流量制御するにはフルスケールの異なった2台のMFCを並列に配置し、制御する流量によって使用するMFCを選択していた。SEC-Z700シリーズは、多項式近似曲線による高度な補正を施すことにより全流量制御域における流量精度

*2 コンバージョンファクタ：センサの同一出力値でのN₂ガスに対する実ガスの流量比

の高精度化を実現した。その結果ライン数の削減可能にもなり、ガス系のコストダウンにも貢献できている。

マルチガス, マルチレンジへの対応

SEC-Z700シリーズは標準的なガスでは3~50SLMのフルスケールを選定する場合、9種類のフルスケール仕様から選択することとなる。各ガス仕様の検量データ、応答定数をSEC-Z700シリーズの専用ソフトによって、SEC-Z700シリーズ本体にインストールする方法を採用している。従来は1台のMFCに対し1種類のガス仕様とフルスケール流量であり、仕様を変更する場合は、MFCメーカーに返却し変更のための改造依頼をするか、コンバージョンファクタを用いての流量換算を行う事が必要であった。マルチガス、マルチレンジ対応MFCは図3のように任意にユーザサイドでガス仕様、フルスケール流量が変更できるため、プロセス条件の変更にも容易に対応できるだけでなく、ユーザが管理している予備品数量の大幅な削減が可能である。図3にマルチガス/マルチレンジ対応について示す。

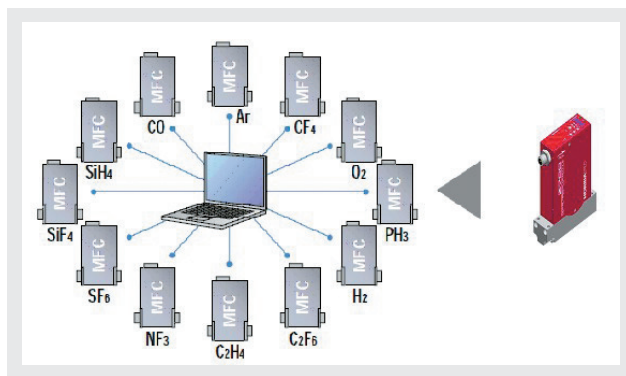


図3 マルチガス/マルチレンジ対応

全流量域に対する高速応答化：連続最適化PID

一般的なMFCは、フルスケール流量付近では1秒以下の高速応答を実現できているが、低流量域では数秒の応答速度となり、設定される流量によってライン毎に応答のばらつきが生じることがある。SEC-Z700シリーズは設定流量の全域において、高速応答性能でありライン毎の応答のばらつきを解消している。MFCは流量制御回路にPIDによるクローズドループの制御になっている。一般的なMFCはPID係数が一つもしくは設定流量にゾーンを設けそのゾーン毎にPID係数を持たせていた。この方法では特定の流量設定値での高速応答化は行えるが、全設定流量に対しての高速応答(1秒以下)の実現は難しい。

Feature Article 特集論文 プレッシャーインセンシティブ対応マスフローモジュール

SEC-Z700シリーズに採用した連続最適化PID制御は、制御したい流量値とガス物性値に合わせてPIDを連続変化させることにより応答性能の大幅な向上を実現している。ガス種、フルスケールを変更した場合でも高速応答性能を維持している。この性能はマルチレンジ、マルチガス対応にはなくてはならない重要なファクタである。

圧力影響、制御性の向上：Variable Control Mode

半導体の製造に用いられる各種ガス等を装置に供給する場合は、それらの各供給流路にMFCを設け、これによってガス流量を調節するようにしている。各MFCに圧力レギュレータを直列に接続し、各MFCの流路内圧力に極端な変動が生じないようにして、流量制御の安定性を向上させている。ところが近年では、ボンベ等の流体供給源にのみレギュレータを設け、そこから分岐させた各供給流路には、**図3**のようにそれぞれMFCを設けるものの、レギュレータは個別には設けないシステム構成も増加してきている。従来のMFCでは一次側の圧力にある一定以上の変動が生じると、それに過敏に反応して規定以上の流量変動が生じてしまう。今回、新たに開発したVariable Control Mode機能はPID制御定数を切り替えることにより流量設定値の変化に対する応答速度を犠牲にすることなく、**図4**に示すように圧力変動等の外乱が生じてても流量変動を抑制できるため、レギュレータが設置されていないようなシステムにも採用できるMFCを提供することが可能となった。**図4**にガスパネルの簡素化及び**図5**に1次側圧力変動に対するMFCの挙動を示す。

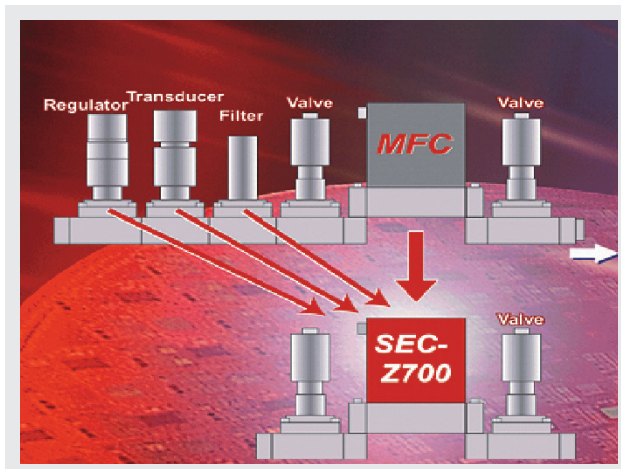


図4 ガスパネルの簡素化

モニタリング機能

ガス系のトラブルシューティングを効果的、効率的に実施するのは従来のアナログMFCからの情報では困難といえる。SEC-Z700シリーズは、デジタルでの通信機能を備えており、このデジタル通信によるMFCのコンディション情報をモニタリングすることが容易に行える。コンディション管理は、MFCが制御不能になってからMFCの交換などのメンテナンスを実施するのではなく、制御不能に至る前にMFCの変化を捉え、計画的にメンテナンスを実施することができる。この事によりガス制御システムの突発的なダウンを未然に防ぎシステム稼働率の向上に繋げられる。

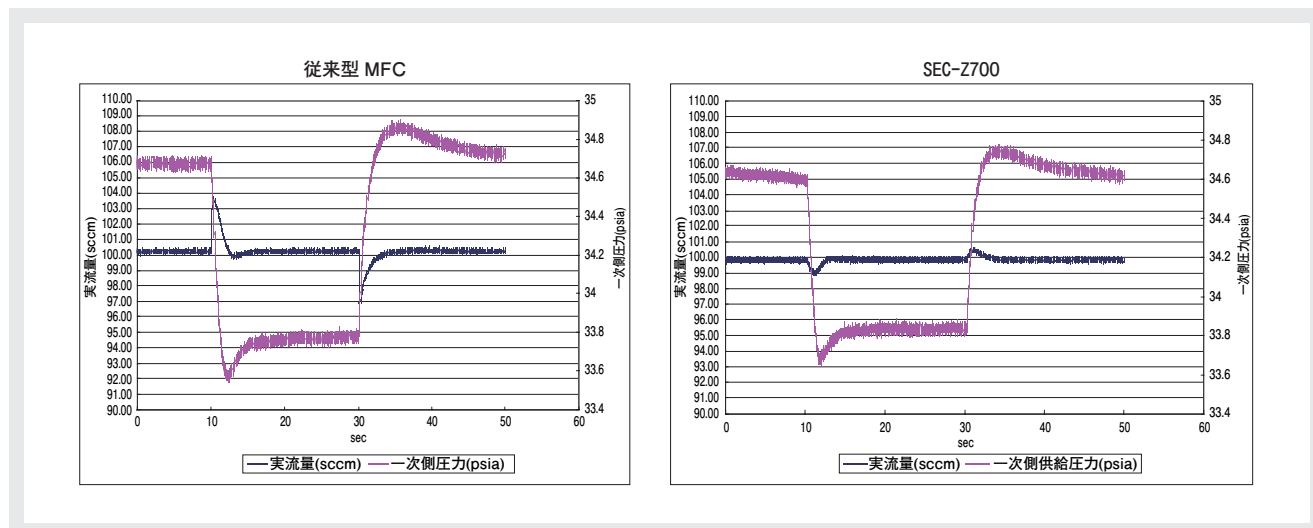


図5 1次側圧力変動に対するMFCの挙動

コンフィグレーションソフト

SEC-Z700シリーズのスペックをユーザサイドで誰でも容易に変更できるように専用ソフトウェアを用意している。配管に接続されたMFCでも取り外すことなくオンサイトでガス種、フルスケール流量などのMFC仕様を、パソコンを用いてデジタル通信によりインストールすることが可能となった。MFCの仕様変更は、MFCメーカーへ返却し有償作業で実施される作業であったが、本ソフトウェアを使用することによりユーザサイドでの変更に関わる時間、コストを削減することができる。又、MFCの不具合発生時対策として多種スペックの予備品をユーザで準備されてきた。その予備品は数十台に及ぶ場合がありユーザでのコスト負担だけでなく、在庫管理を行うシステムも必要とされた。このスペックインストール手法であれば予備品を大幅に削減できるため、ユーザの負担を軽減することにもなる。

おわりに

SEC-Z700シリーズは、半導体製造プロセスにおいて求められている高度なプロセスコントロール、再現性、多機能、高性能と同時に更なるコストダウンの実現が可能と考えている。今後も各種流体のセンシング技術、制御技術、ソフトウェアを含むデジタル技術などを更に発展させることで、より良い製品とサービスをスピーディに提供し、流体制御技術分野で、半導体産業の発展に貢献し続けたいと考えている。



高橋 明人

Akito Takahashi

株式会社堀場エステック
開発本部 気体製品2チーム
チームリーダー