

## 圧力式マスフローコントロールモジュール CRITERION D507シリーズ

Pressure-Based Mass Flow Control Module  
CRITERION D507 Series

### 長井 健太郎

Kentaro NAGAI

近年、IoTによる半導体デバイスのアプリケーションの増加に伴い、最先端の半導体工場に於いては装置のダウンタイムを最小にすることが重要課題である。このため、半導体工場の現場では装置やコンポーネントの不具合の事前検知を目的に、半導体プロセスの管理項目の増加や管理規格の厳格化が行われている。こういった状況に対して、マスフローコントロールモジュールは、要求される管理基準を満足するため、プロセスガスの流量精度及び個体間器差の向上、圧力変動の影響を受けにくい流量制御に加え、高速通信、不具合発生前の早期異常検知といった機能が求められている。D507シリーズは近年の半導体工場におけるコンポーネントの厳しい管理に対応すべくD500シリーズに追加ラインナップされた製品である。

Recently, with the increase of application of a semiconductor device according to IoT, the latest semiconductor factories are focusing to minimize the downtime of the apparatus. Therefore, for the purpose of failure pre-detection of semiconductor tools and its components, the managed parameters of semiconductor process are increased, and its specification is getting tighter. In order to satisfy the required control criteria, the mass flow control module is required to have high-speed communication and failure pre-detecting function as well as flow rate accuracy and reproducibility, inlet pressure insensitivity performance. D507 series is lined up on D500 series to meet strict management at recent semiconductor factory.

### はじめに

近年、半導体デバイスのアプリケーションの増加に伴い、最先端の半導体工場に於いては半導体製造装置のダウンタイムを最小にすることが重要課題である。このため、半導体工場の現場では製造装置やそのコンポーネントの不具合の事前検知を目的に、半導体プロセスの管理項目の増加並びに規格の厳格化が行われている。このような状況に対して、マスフローコントローラ及びマスフローコントロールモジュール<sup>\*1</sup>(以下MFC)は、要求される管理規格を満足するため、プロセスガスの流量精度及び個体間器差の向上、圧力変動の影響を受けにくい流量制御に加え、近年では高速通信、不具合発生前の異常検知といった機能が求められている。これらの性能及び機能は、メモリーデバイスの立体構造化に伴うシビアな半導体プロセスの管理規格への対応にも合致する。本稿では、最先端の半導体工場で実績のあるマスフローコントロールモジュール『CRITERION』(クライテリオン)D500シリーズ、及び半導体工場における

製造装置のコンポーネントの管理傾向と、その傾向に対応すべく開発したEtherCAT通信モデルD507シリーズについて紹介する。

<sup>\*1</sup>: マスフローコントロールモジュールは、マスフローコントローラに流量制御以外の機能を付加した機器。

### D500概要

圧力式MFCは圧力センサの高速応答性と安定性を活かすことで、従来の熱式MFCに比べて高速応答、高精度を実現した。D500はD200シリーズに続く堀場エステックの2世代目の圧力式MFCであり、主にエッチングプロセス装置を中心に採用されている。Figure 1にD500の外観を示す。D500の外形寸法は、従来のMFCと同様に半導体製造装置に関する国際規格SEMI F82に準拠している。

Figure 2に、D500の構造を示す。構成部品は、ガスライン

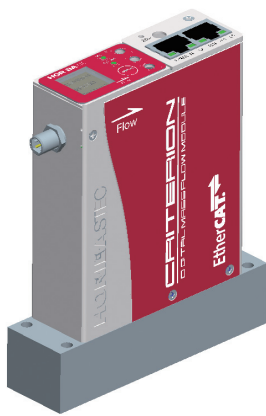


Figure 1 D507 Appearance

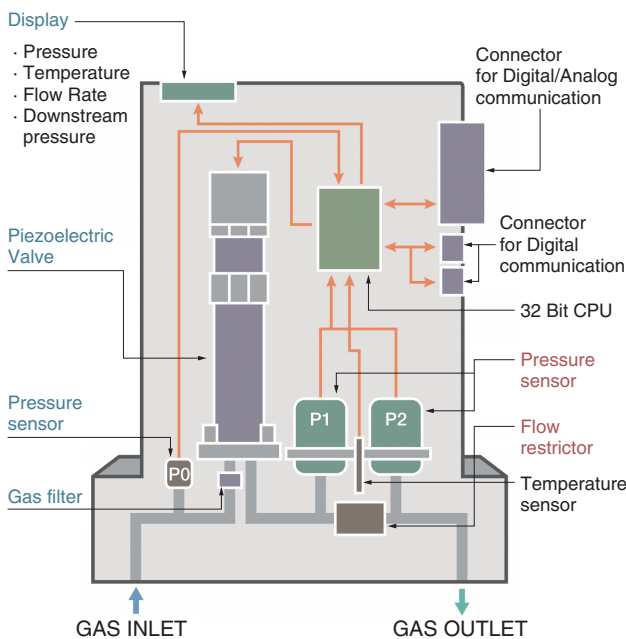


Figure 2 D500 Internal structure

の供給圧力を監視する圧力センサ、異物から本体を保護するためのガスフィルタ、コントロールバルブ、2個の圧力センサと層流素子抵抗体(以下リストリクタ)、温度センサから構成されている。

コントロールバルブの駆動は、高速駆動と低消費電力に優れたピエゾアクチュエータを採用している。

流量出力は、リストリクタの上流側圧力と下流側圧力、及

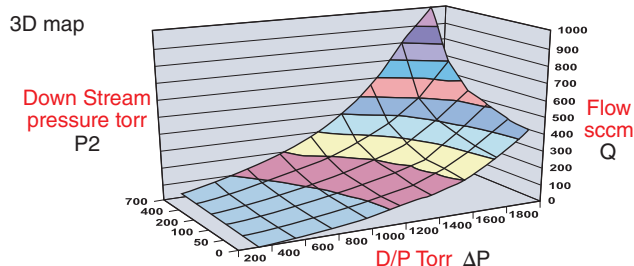


Figure 3 Flow rate and pressure property of restrictor

びガス温度から算出している。流量制御は、任意の設定流量と流量出力との比較演算にてコントロールバルブの駆動量を算出し、フィードバック制御している。

Figure 3にリストリクタの流量特性を示す。プロセスガスの流量特性を圧力と流量で3次元マッピングしている。この流量特性は実際のプロセスガスで測定されたリストリクタのガスデータをD500本体に持たせていることで、高精度な流量計測を実現し、プロセスガスで設定値に対して流量精度±1%を保証している。

### ワイドレンジ制御性

Figure 4にリストリクタの下流側圧力が減圧状態における上流側圧力と流量の関係を示す。ここで低圧での非線形特性によって低流量域の差圧流量特性の勾配が大きくなっていることが分かる。これにより低流量域での流量変動が大きな差圧出力として検出することができ、低設定流量域まで高い分解能で流量計測出来ることがD500最大の特徴である。

制御範囲はフルスケールの100%から下は最小0.2%までの制御を実現している。これまで複数台でカバーしていた流量レンジがD500を用いると1台で対応出来るため、製造装置に搭載されるMFCと、関連するライン構成部品の削減が可能となる。

### 耐食性の向上

D500は主にエッチングプロセス装置にて採用されてきたが、近年は採用頂くアプリケーションが増加し、さらに過酷な環境下で使用されるケースが増えてきた。特に拡散プロセス装置に於けるクリーニングプロセスでは、HFやF<sub>2</sub>といった腐食性の強いガスが使用される。D507では、耐食性に優れたニッケル系合金及びコバルト-ニッケル合金を、圧力センサやコントロールバルブといったクリティカルなパーツに採用した。これにより、腐食性ガスに対する製品の耐久性が向上し、製造装置のダウンタイム低減に貢献する。

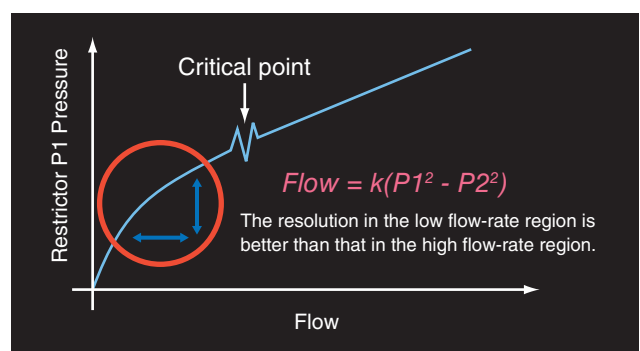


Figure 4 Non-Linearity property of restrictor

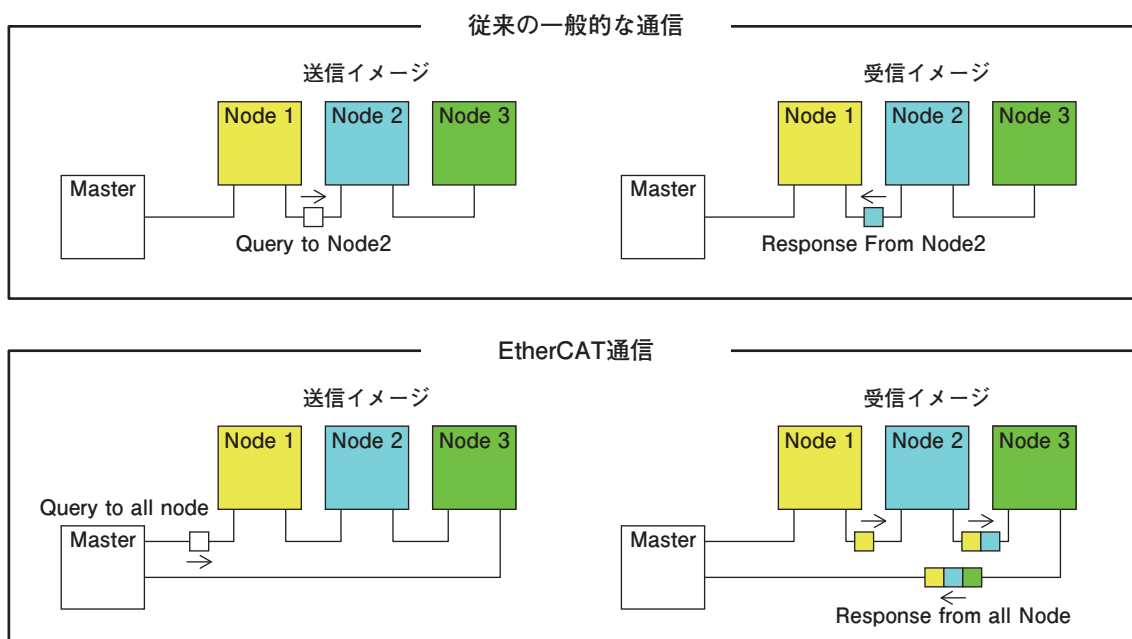


Figure 5 Transmission and reception of traditional communication and EtherCAT communication

## 半導体プロセスの管理傾向とEtherCAT

半導体製造装置及びそのコンポーネント機器の管理規格は、より厳しくなっている。管理対象の機器は増え、また既存の管理対象機器については、管理パラメータが増加し、その規格は厳しさを増している。MFCは、製品デバイスの品質に影響し得る重要制御機器であるため、その管理規格は特に厳しい。従来はMFCの流量出力と供給圧力の管理のみであったが、近年は流量出力の元となるセンサ出力をはじめ、MFCの機能に関わるあらゆる信号の出力を求められる。これらの信号は時系列でモニタされ、機器の故障、異常を早期に検知することが目的で使用される。

この時、管理コンポーネントの増加による接続機器数と、各機器との情報伝達量の増加により、通信サンプリング速度の低下が懸念される。この懸念を払拭するために導入されているのが、EtherCAT通信である。

EtherCATは、ドイツのベッコフオートメーション(Beckhoff Automation)によって開発された、イーサネット(Ethernet)と互換性のあるオープンなフィールドネットワークである。EtherCATは相互互換性を保つことを目的に、2003年に設立された「EtherCAT Technology Group(略称: ETG)」によって、機能要件や認証手順などが規定・管理されている。また半導体向けのEtherCATのプロファイルを規定するため、SEMIワーキンググループとして、電源、通信仕様の共通項目を規定するための取り組みも行っている<sup>[1]</sup>。

EtherCAT通信の最大の特徴は、従来使われていたポーリングや、時分割、ブロードキャストとは異なる方法で、通

信のリアルタイム性を実現していることである。マスターから出発するEtherCATパケットは、順番に全てのスレーブを通過していき、折り返して再びマスターへ返るように設計されている。

## おわりに

D500は製品リリース以降、最先端の半導体プロセスの現場で厳しい性能及び管理規格要求に引き続ききた製品である。今回EtherCAT通信に対応したD507の追加ラインナップにより、今後さらに厳しくなっていく性能及び管理規格の要求に引き続きられる製品となった。D507を採用頂くことで、今後の最先端の半導体プロセスを支え、半導体技術の発展に貢献し続けたいと考えている。

## 参考文献

- 【1】 町井和美, “いまさら聞けない EtherCAT入門” 産業用ネットワーク技術解説, <http://monoist.atmarkit.co.jp/mn/articles/1309/17/news001.html>(参照日: 2016/11/02)
- 【2】 赤土和也, “最先端プロセスを支える技術CRITERION D500シリーズ”, *Readout*, 43, 53(2014)



長井 健太郎

Kentaro NAGAI

株式会社 堀場エステック  
開発本部 開発設計1部  
Development Design Dept. 1  
HORIBA STEC, Co., Ltd.