

Product Introduction

新製品紹介

最先端プロセスを支える技術 CRITERION D500シリーズ

Technology for Supporting Cutting-Edge Processes
CRITERION D500 Series

赤土 和也

Kazuya SHAKUDO

近年、半導体プロセスの微細化、ウエハの大口径化の流れに伴い、ガス供給システムに対して高性能化が求められており、圧力式マスフローコントロールモジュールD500を開発した。D500は、流量計測部に層流粘性流量域における差圧流量計測方式を採用している。そのため、プロセスガスにおいて高精度な流量計測と幅広い流量域での流量制御が実現可能である。また、プロセスガスの流量変化を診断するG-LIFE機能を搭載しており、プロセス中に判定することが出来るようになった。これにより、マスフローコントロールモジュールの故障による半導体ウエハの仕損を最小限に抑えることができ、次世代プロセスに要求される自己診断機能を有したマスフローコントロールモジュールとなった。

Recently, high performance gas supply system is required with the miniaturization of semiconductor process and a large diameter of the wafer. We have developed pressure-based mass flow control module D500. D500 has adopted a differential pressure flow measurement system in the laminar viscous flow rate range of the flow rate measurement unit. Therefore, it is possible to flow control in a wide range and flow measurement with high accuracy. Also, D500 has G-LIFE function to diagnose a change in the flow rate of process gas. It is possible to check during the process. And it is possible to minimize scrap of the semiconductor wafer due to the failure of the mass flow control module. Mass flow control module with G-LIFE performance required for the next generation process is completed.

はじめに

最先端の半導体プロセスにおいて、ナノレベルの微細化プロセスの進化とともに、デバイスの生産性のさらなる向上が不可欠である。そういった状況を背景に、半導体プロセスに使われるマスフローコントロールモジュールには、プロセスガスの流量精度およ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、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。本稿では、それらの要求に対応すべく開発した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シリーズについて紹介する。

D500概要

Figure 1にD500の外観を示す。D500の外形寸法は、従来のマスフローコントローラ(以下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。部品構成としては、ガスラインの供給圧力を監視する圧力センサ、パーティクル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個の絶対圧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には、高速応答と低消費電力に対応したピエゾアクチュエータを採用している。流量計測には、リストリクタの上流側圧力と下流側圧力、およびガス



Figure 1 External view of D500

温度を用いて内部の演算回路にて正確な流量に換算している。換算された流量は、与えられた設定流量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必要な流量の制御を行っている。

プロセスガス精度保証と 器差低減に向けたアプローチ

半導体製造プロセスで使用されるガスの特性データは、実際のプロセスガスを用いてROR System*1にて取得している。ROR Systemの測定原理は、理想気体の状態方程式を応用したもので、真空排気したチャンバー内に、制御したガスを通し、チャンバー内圧の圧力上昇速度から流量に換算し計測している。

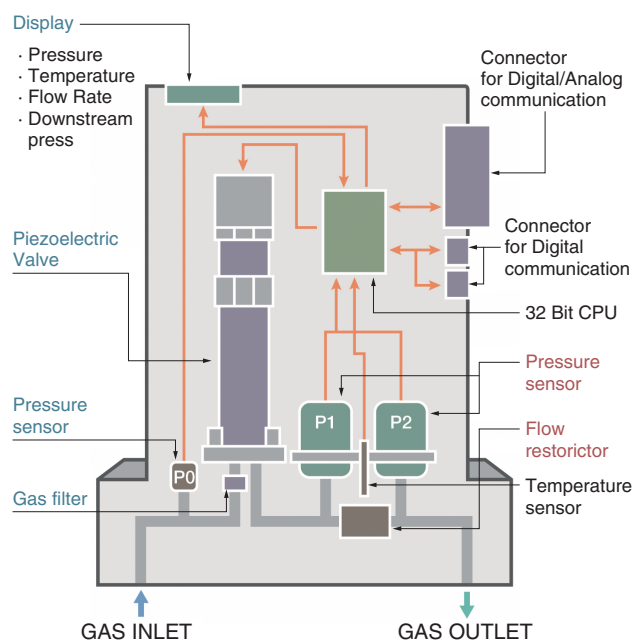


Figure 2 D500 Structure

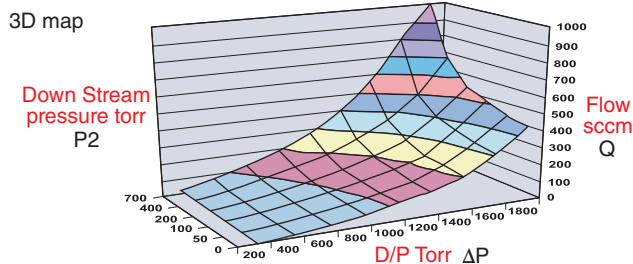


Figure 3 Flow characteristics of the restrictor

$$Q \propto (\Delta P / \Delta t) \cdot V / T \dots\dots\dots (1)$$

Q : 流量 P : 上昇圧力 Δt : 上昇時間
V : チャンバー内容積 T : 温度

Figure 3にリストリクタの流量特性を示す。上記手法で取得したプロセスガスの流量特性データを圧力と流量で3次元マッピングしている。このプロセスガスに基づいたマッピングされたガスデータをD500本体に持たせていることで、高精度な流量計測が実現でき、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。Figure 4にリストリクタの構造を示す。リストリクタは、スリットを形成したシートを積み重ねた積層構造から成る。このスリットの数を増減させることで、D500の流量レンジが決められる。ガスはリストリクタ中央部から入り、放射状に出ていく構造となっている。特にD500においては、リストリクタの流路形状を曲線にし、従来モデルと比べ流路長を最大化した。そのことにより、層流特性が改善され、プロセスガスにおける流量特性の器差を小さくできた。

*1 : ROR System : Rate of Riseの頭文字

基準容積内の圧力上昇率を測定し質量流量を計測する手法

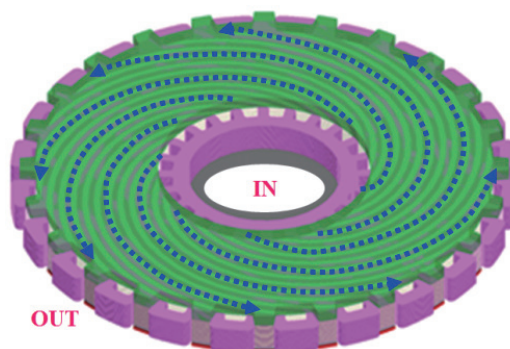


Figure 4 Restrictor

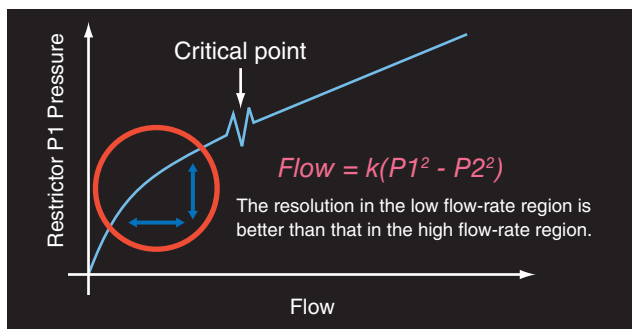


Figure 5 Nonlinear characteristics diagram

ワイドレンジ制御性

Figure 5にリストリクタの上流側圧力と流量の関係を示す。D500では低圧での非線形特性により低流量域の差圧流量特性の勾配が大きくなっている。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るため、低設定流量域まで高い分解能で流量計測が可能である。これによりフルスケールに対して最小0.2%までのワイドレンジ制御ができた。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台で対応できるため、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。

マルチガス・マルチレンジの対応

従来モデルではガス仕様により校正ガスが異なるため実現できなかった顧客でのガス仕様変更(以下マルチガス・マルチレンジ機能)が、D500では前述のリストリクタの層流特性の改善により、校正ガスの単一化が実現できマルチガス・マルチレンジ対応が可能となった。Figure 6にマルチガス・マルチレンジ機能について示す。D500では顧客自身で必要とするガス種や流量レンジをパソコン、専用ソフトを用いて容易に変更ができる。そのため、従来のMFCでは、仕様ごとに在庫品を保有する必要があったが、D500では在庫品を大幅に削減できるようになった。

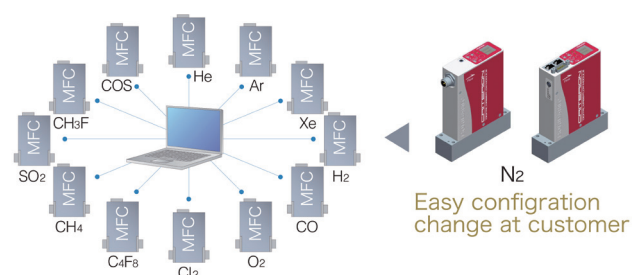


Figure 6 Multi-gas, Multi-range function

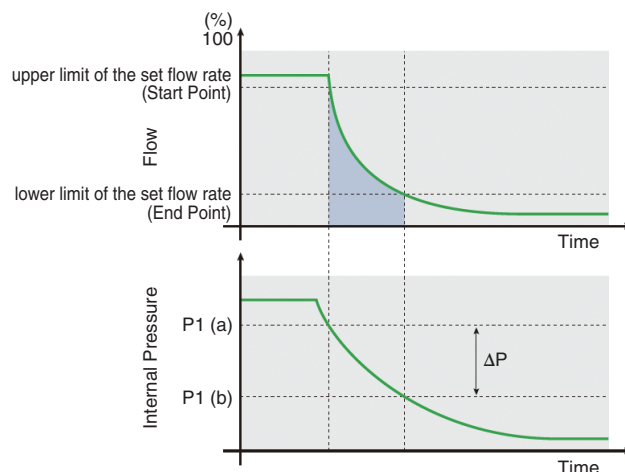


Figure 7 Diagnosis method for G-LIFE

自己診断機能(G-LIFE^{*2})の搭載

Figure 7に、G-LIFEの診断方法を示す。G-LIFEは制御時から0%流量設定を与えた際の流量出力の立下りにおける積分値より、気体の状態方程式を用い内部容積を算出している。算出した内部容積と予め取得した初期の内部容積とを比較することで、数秒以内に信頼性の高い再現性の検定を行うことができる。Figure 8に、G-LIFEの実施例を示す。D500は外部の基準器を別途設ける必要がなく、インラインでのプロセス中の検定が可能である。プロセス中の流量の立下りを利用してG-LIFEを実行することで、初期状態からの変化を診断でき、プロセスの妥当性判断、トラブル予知が行えるようになりウエハの仕損や装置のダウンタイムの低減が可能となる。

*2 : G-LIFE : Gas Law check of Integrated Flow-restrictor Equation

圧力変動特性

従来一般的なサーマル式のMFCは上流側の圧力変動に対する影響を受けやすかった。そのため、従来のガス供給システムでは圧力調整器を用いることで他のガスラ

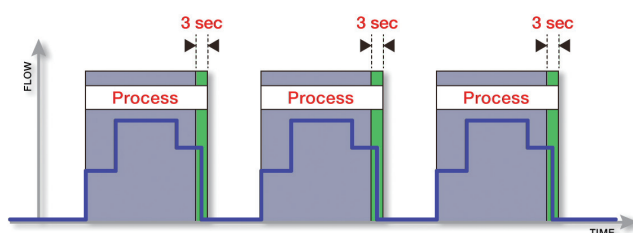


Figure 8 G-LIFE example

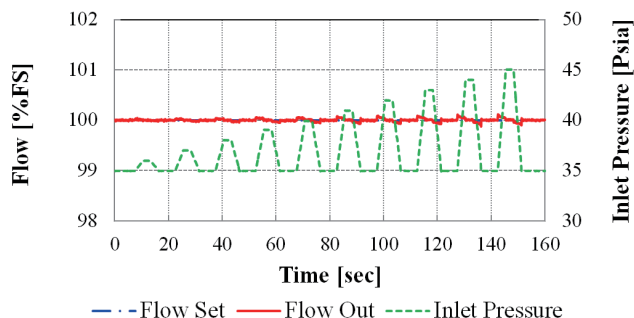


Figure 9 The output of D500 to pressure fluctuation

インからの圧力変動の影響を低減している。しかし、ガス供給システムにおいてはコストダウンのためのコンパクト化・小型化・軽量化が求められている。D500は流量計測部をコントロールバルブの下流側に設置されているため、供給圧力変動による影響は受けにくい上に、変動を緩和できる新開発の制御アルゴリズムを導入したことにより、安定した流量制御を実現している。Figure 9にD500への圧力変動に対する流量出力の挙動を示す。10Psiの圧力変動下でも、流量設定値に対して±1%以下の変動影響である。そのため圧力調整器の無いガス供給系においても使用可能である。D500では、前記の圧力変動に対する改善に加え、ガスの供給圧力を常に監視する圧力センサを搭載していることで、Figure 10に示すように、ガスラインの圧力調整器および圧力計が不要となり、シンプルなガス供給系の構築とコストダウンに寄与できる。



Figure 11 LCD Multi-display

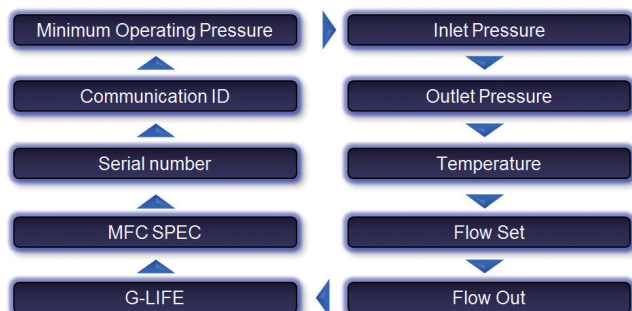


Figure 12 Display information

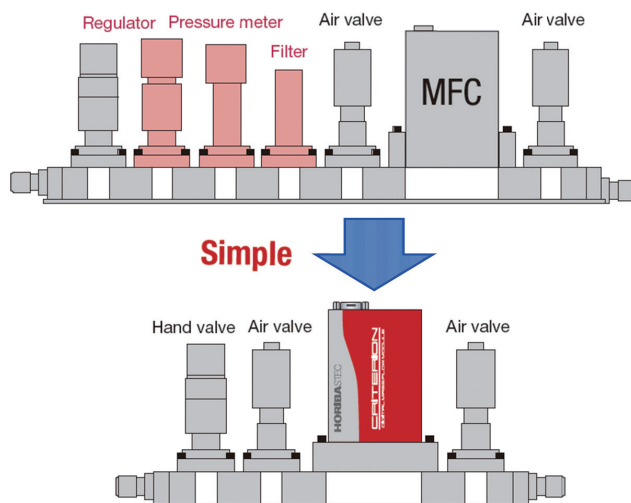


Figure10 Piping structure

LCDマルチディスプレイ

Figure11にLCDマルチディスプレイを示す。D500の上部に大画面のLCDマルチディスプレイを搭載したことにより、多くの情報を表示できるようになった。Figure12にディスプレイに表示できる情報を示す。Displayボタンを押す毎に表示情報を切り替えることができる。本機能により、本体の動作状態や動作環境を素早く簡単に確認することができるようになった。

おわりに

D500はウエハの微細化・大口径化への対応や、ガス供給システムにおける生産性向上に貢献できる機種となった。また、D500は環境へも配慮した設計を行うことで、製造時に使用する温室効果ガスの削減を実現し、環境負荷低減を図ることができた。次世代半導体生産におけるプロセスガスの流量制御に最適なD500は、これまで以上に流量制御における価値を提案できると考えており半導体産業の発展に貢献し続けたいと考えている。



赤土 和也

Kazuya SHAKUDO

株式会社 堀場エステック
開発本部 開発設計1部