

Product Introduction

新製品紹介

XF-100 Series

差圧式液体デジタルマスフローメーター

XF-100 Series

Pressure base Liquid Digital Mass Flow Meter

矢田 秀貴

Hidetaka YADA

半導体デバイスの高性能化, 工程の効率化, 生産性の向上に対応すべく, 四半世紀ぶりに, 計測方式を一新した, 圧力式マスフローメーターのXFシリーズを開発した。XFシリーズはオイルフリーで安全な静電容量式の圧力センサを搭載し, 5 g/min以上の流量レンジにおいても, 流路はシングルパス構造が搭載可能となった。これにより, 気泡滞留による流量誤差も低減できる。また, センサ直線性向上や, 流量換算式に材料の物性値を用いることで, 精度 $\pm 0.8\%$ F.S.を実現。従来品に比べて20%向上した。応答性についても, 0.8 sec以内の速度を実現し, 高速化により流量が安定するまでの時間が短縮され, 高価なハイテク材料の使用量低減に貢献する。

We have developed XF series of pressure type mass flow meter in order to meet higher performance of semiconductor devices, the efficiency of the process, to improve productivity after an interval of approximately four half a century. XF is equipped with pressure sensor of electrostatic capacitance type and with single flow pass in the flow range of 5g / min or more. Also XF realized $\pm 0.8\%$ of precision to use physical properties and to improve sensor linearity. Improved by 20% compared to conventional precision. In addition, XF obtained results under 0.8 second of response time. By speedup of response time we contribute to reduce usage of expensive precursor.

はじめに

流量計測機器は, 高性能半導体デバイスの生産に用いられる“ハイテク液体材料”の流量制御用として使用されている。半導体デバイスの高性能化には, 超微細化技術や三次元化技術を用いて生産され, 絶縁膜をはじめ個々の機能を持つ薄膜がシリコンウェハ上に多層成膜される。高価なハイテク液体材料を使用するため, 薄膜を形成するチャンバーへ正確な量の計測, 高速応答が必要である。これらの要求に対応すべく開発したのが, XF-100 seriesである。

XF-100 Seriesについて

構造

Figure 1は, XF-100 seriesの外観を示す。継手は従来のVCRタイプ1/4 inch, 1/8 inchの2種類を継続した。通信は, DeviceNET™通信, デジタル通信, アナログ通信の3種類に対応している。Figure 2に内部構造を模式的に示す。入口側より外部パーティクル保護用フィルタ, 2つの絶対圧圧力センサとその間に流量抵抗体(以下リストリクタ)および電気回路で構成されている。流量のセンシングはリストリクタの前後にある圧力センサの差圧を計測し, 流量に変換する方式を採用している。

近年, ウエハーサイズも大きくなり, 使用する流量計の流量も増加している。流量の大きいレンジにおいても, 気泡



Figure 1 XF-100 series exterior

混入による流量誤差の低減や信号ふらつきを改善するために、シングルパス構造の要求がある。サーマルタイプでは、感度の都合により配管1本当たりに流せる量が制限され、当社の従来品においても、5 g/min以上の流量仕様に関しては、バイパスが必要になる。しかし、XFは圧力式のため、液体の流量に合わせてリストリクタを設計することができるので、全仕様、シングルパス構造を採用した。また、接液部をオールメタル仕様とし、高性能半導体デバイスに用いられる、反応性の高いハイテク液体材料も内部での反応を抑制できる。

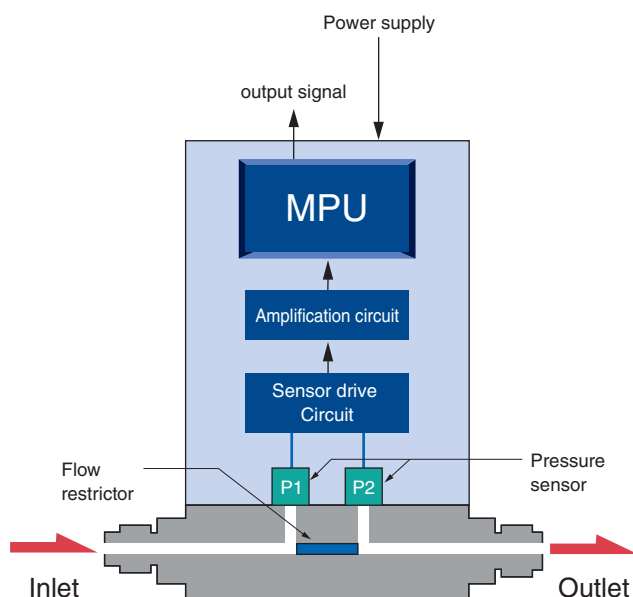


Figure 2 Structural view

インターフェース

従来品は、電源ケーブル、PCとの通信用のLANケーブルのピンアサインが当社の気体用のマスフローコントローラーとは異なっていた。これは、従来品だけ必要となる電源ラインや信号線が存在し、気体マスフローコントローラーへの誤接続防止のために、コネクタをMale, Female 反対にするなどの対策をとっており、気体、液体の両マスフローコントローラーを使用する顧客には、2種類のケーブルを用意する必要があった。今回、新規で開発するにあたり、電源、信号線共に気体のマスフローコントローラーに合わせ、使用ケーブルを1つに統一した。

主な仕様

流量精度	: 0.8%F.S.(F.S.: フルスケール)
応答速度	: メーター・100 msec以内 コントローラー・0.8 sec以内 (ピエゾバルブと組み合わせた場合)
流量レンジ	: 0.2~30 g/min(IPA換算)
対応液種	: 酸、塩基などSUSを腐食する液体以外
外形寸法	: 94(W)×36(D)×125(H)mm

XF-100 Seriesの特徴

流量計測機器は、一般的にはサーマルセンサーを用いた、熱式が採用されている。堀場エステックでは、液体マスフローメーターは、世界で唯一、ペルチェ素子を用いた冷却方式を採用し、液体材料の温度を上げることなく流量を計測する。溶存ガスの放出が抑えられ、熱に弱い液体材料も計測することができる。しかし以下の留意点があった。

- ① 条件によっては、応答速度が5秒程度になる
- ② 大流量仕様はバイパスが必要となる

これらの課題もかかえており改善するため、PID制御や冷却部の温度設定の最適化を行ってきたが、課題が解決するまでには至っていない。そのため、計測原理を変え課題解決をする必要があった。

圧力式の採用

これらの課題解決には、計測原理を根本から変える必要があった。計測原理は、従来の利点である材料を加熱しないという部分は継承し、応答の速い圧力センサを搭載することで、高速応答を実現しシングルパス構造が高流量域でも対応可能な、圧力式を採用した。圧力式は、圧

力センサ間のリストリクタのサイズを変化させることで、圧力損失量をコントロールできるため、バイパスが必要なく、また、従来機種は、センサの種類が多種であったため、部品の数も多く組立調整に時間が必要であったが、リストリクタのみ数種類持つておけば、他の部品は共通化が図れ、組立調整時間が短縮できるため、納期短縮も可能になる。

流量換算式

$$Q = \frac{\pi \Delta P D^4}{128 L \eta}$$

Q：流量，ΔP：差圧，D：円管の直径，
L：円管の長さ，η：粘度

下流側と上流側の圧力差を流量に変換するための理論式に、ハーゲン-ポアズイユの式(Hagen-Poiseuille equation)を用いました。これは、密度に依存することがなく、層流域で使える式です。粘度のデータを入力することで流量変換が可能になる。

応答速度向上／精度向上

圧力を計測して、流量に換算する方式なので、応答速度が原理的に速く、加えて、従来からのPID制御技術により、より安定で速い応答速度を実現した。従来品に比べて、約4倍の速度向上が得られた(Figure 3)。応答速度向上

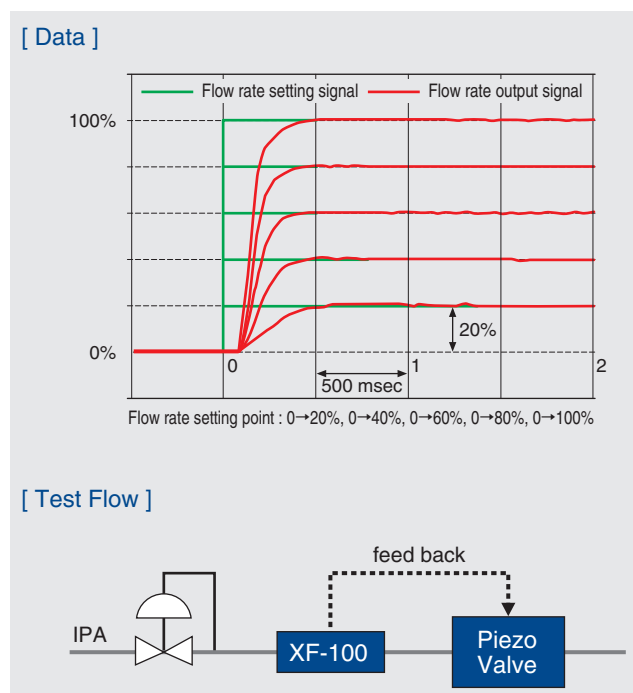


Figure 3 Response time

により、高価なハイテク材料の安定待ちのために、捨てていた材料が削減され、材料のコストダウンに貢献する。

精度に関しても、従来比20%向上させた。これは、センサ出力の直線性が向上したため、無理な補正をかける必要がなくなり、外乱影響が強くなったためである。また、温度影響に関しても、温度物性データを、XFの理論式に代入することで、実液の温度影響が軽減され精度向上に一役買っている。

静電容量式圧力センサ搭載

圧力センサは堀場エステック製の静電容量式圧力センサを搭載している。一般的に小型の圧力センサは歪み方式で、力を伝達する媒体の内部にオイルを使用している。それに対して、XF-100 Seriesに搭載の静電容量式はオイルを一切使用しておらず、万が一破損の場合でも、ラインやチャンバーへのオイル漏れの心配が無く、安全性が高い。この圧力センサに使用しているダイアフラム材料は、強度が非常に高い特殊高性能合金を採用し、小型・高感度センサにもかかわらず、高耐圧と高い安定性を実現した。

気化器との使用

XFは、単体でメーターとしても使用できるが、半導体を製造する時は、通常、気化器と一緒に使用する。当社製の気化器MV-2000をはじめとする、液体を気化器内部で直接気化させる気化器と接続が可能である。接続も気化器に付属しているケーブルをXFのコネクタに差し込むだけでご使用可能であり、XFで流量を測定し、気化器に搭載されているバルブでフィードバック制御を行い、気化量をコントロールできる。この組み合わせで使用することで、液体材料をチャンバーの直近で気化させることができ、省スペース化にも寄与する。XFとMV-2000の組み合わせ(Figure 4)においては、従来品と比較して、応答速度の向上、気化能力の向上が得られ、新しい気化システムの提案ができる。

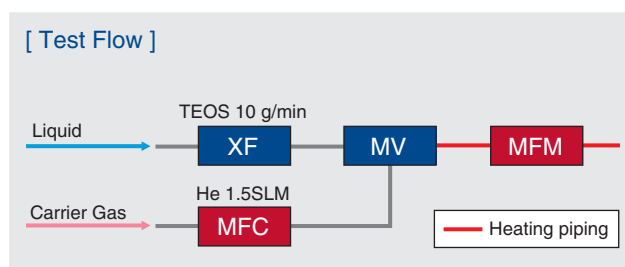


Figure 4 XF and MV-2000 combination example

おわりに

半導体チップの高集積化に伴い、リーク電流の発生など新たな課題があり、この対策としてハイテク材料による絶縁膜の形成が行なわれている。絶縁膜のほか、コンデンサー機能を持つ薄膜材料にもハイテク材料が用いられ、高精度・高速計測が行える液体マスフローメーターの需要が高まっている。

従来の液体マスフローメーターの課題として、液体流量計測の高速応答化、スループットの向上、安定時間に要する材料の削減(高価なハイテク材料のドレイン時間の削減)が十数年来求められていた。今回、四半世紀ぶりに、測定原理から一新し、根本からこれらの課題解決に取り組んだ。圧力方式を採用し、センサ直線性の向上、材料の物性値を利用することで精度は20%向上し、応答速度は0.8 sec以下(ピエゾバルブと組み合わせにて)を実現できた。さらに、同時期に販売開始された気化器の最新モデルMV-2000との組み合わせにより、流量を高速計測ができ低温気化が可能となり、半導体プロセスの時間が従来と比べ短縮でき、生産性の向上に貢献できると考えている。



矢田 秀貴

Hidetaka YADA

株式会社 堀場エステック
開発本部 開発設計2部