

Feature Article

アプリケーション

超薄型MFCの開発

Development to Ultra Thin MFC

安田 忠弘

Tadahiro YASUDA

質量流量計(MFC)(Figure 1)における薄型化への取り組みを紹介する。MFCのスリム化は、機能部品の寸法の見直し、内容積を削減する事でMFCを小型化するだけでなく、省エネルギー化、高性能化および軽量化等、トータル的なコストソリューションにも繋がる。それらは半導体プロセスガス制御における新たなニーズに対して有用であると考えている。

I introduce the efforts of miniaturization of the mass flow controller. It also leads to cost reduction solution and energy saving solutions, and high performance by reducing the unnecessary part. It is thought to be useful for new needs in the semiconductor process gas control. I introduce development of thinner mass flow controller which is main product of HORIBA STEC.

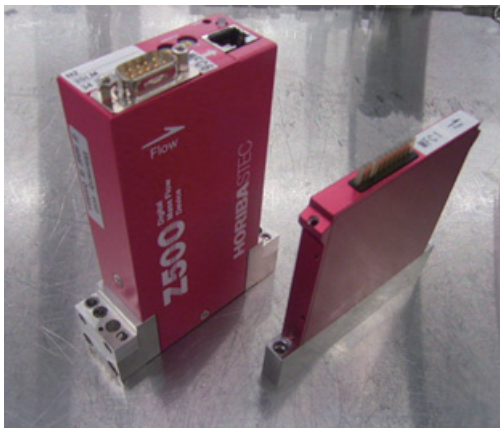


Figure 1 (Left)1.125 inch MFC (Right)Ultra thin MFC

はじめに

半導体製造装置のプロセスガス制御には多くのMFCが使用されており、現在の主力製品は10年以前の基本設計に基づいている。1.5インチ幅から1.125インチ幅(Figure 2)へとスリム化が行われてきたが、1.125インチ以降は大幅なスリム化は行われていない。半導体プロセスに用いられるガスの種類は、半導体そのものの構造の集積化に伴い年々増加していく傾向にあり、その製造工程の超微細化によって、より緻密なガス制御が要求されている。具体的には、1つのプロセスチャンバーに対して必要とされ

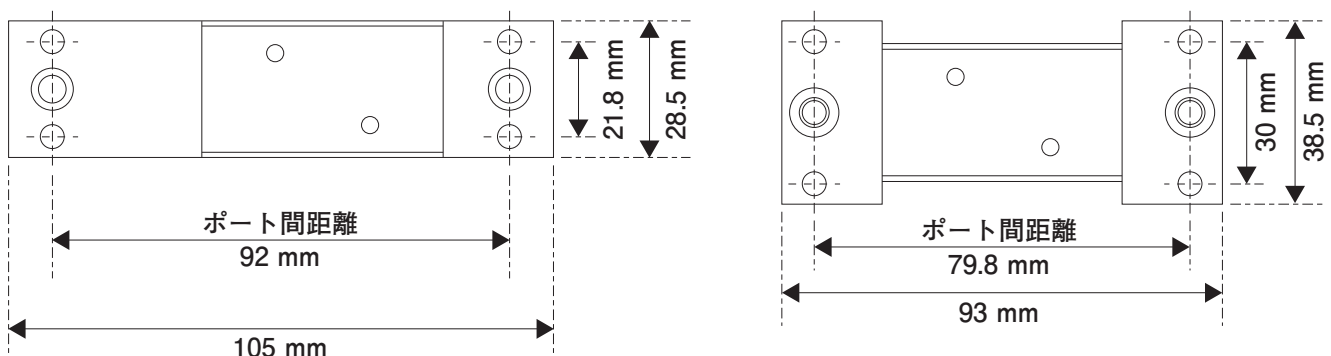


Figure 2 (Left)1.125 inch MFC (Right)1.5 inch MFC



Figure 3 (Left)Standard bellows (Right)Small bellows

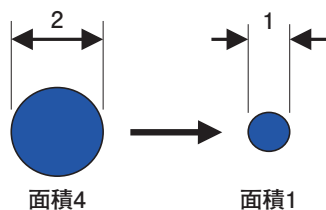


Figure 4 Comparison of cross-sectional area of bellows



Figure 5 (Left)Standard Diaphragm (Right)Small Diaphragm

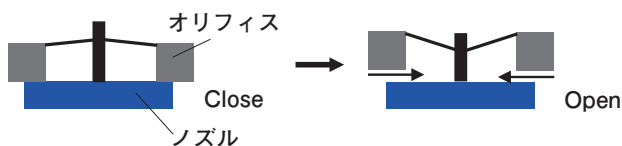


Figure 6 Normally Close valve operating principle



Figure 7 Pressed diaphragm

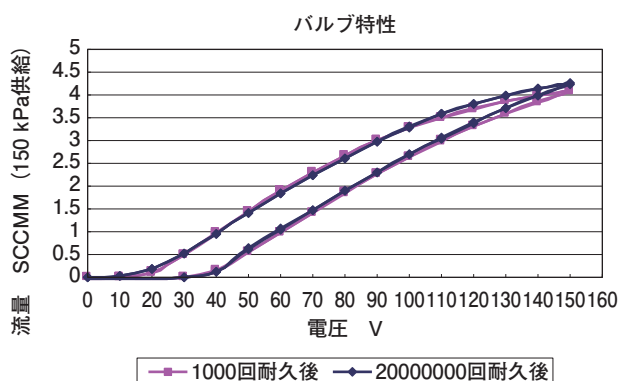


Figure 8 Valve characteristics

るMFCの台数が多くなり、新しいプロセスでは、これまで以上の高速制御やコストダウンが要求されている。また、MFCが格納されている現状のガスボックスは非常に大きく、半導体製造装置内の側面搭載から、装置上部もしくは床下部へ搭載場所が移り、もはや十分な搭載スペースを確保する余地が無い。そこで、目標サイズを従来の約1/3の10 mm幅と設定し、薄型でかつトータルコストソリューションの提案が可能なMFCの開発を進める事とした。

各製品の小型／薄型化の検討

バルブダイヤフラムの小型化

MFCの薄型化に対応するため、バルブに用いる円形のダイヤフラムの径を小型化する必要がある。形状が円形であるためにMFCの幅に制約されてしまう。また、アクチュエータにピエゾを用いており、信頼性の確保のためにも従来通りのベローズ構造(Figure 3)のまま小型化する必要があるため、ピエゾ素子の小型化を検討した。しかし、径の2乗に比例して断面積が低下する事でピエゾ素子の発生力も大きく低下する(Figure 4)。低下した発生力を補うためには、ダイヤフラムを現状よりもさらに薄肉に加工する必要があるが、機械加工での製作には限界があった(Figure 5)。また、従来から採用しているNC(非通電時閉)バルブ構造ではオリフィス下部にあるノズルを押し下げる構造(Figure 6)を採用しており、ダイヤフラムにピンを持たせる構造が必要となる。このピン部分は、別構造にしたり、溶接構造にしたりする事は不具合の原因となるため、従来技術では切削加工でダイヤフラムにピンが一体加工されている。そこで今回、従来デザインでの機械加工の限界も含めた課題を解決するためにダイヤフラムのピン部分をプレス加工で製作する事を試みた。材料は従来のダイヤフラムの約1/2の厚さの圧延材から製作する。アクチュエータの駆動に対して応力が集中する部分が無く、低反発、高変位、高耐久性の非常に優れた特性のダイヤフラムが完成した(Figure 7, 8)。

ケースの薄板化

内部に搭載する部品のスペースを確保するためにケースの薄板化が必要となる。全体を薄板化する事は強度の低下から困難と判断し、厚みを部分的に変えることが可能なメタルインジェクションを検討したが、目標とする0.3 mmの板厚は実現できなかった。また、加工精度が要求とされる部分では切削加工が必要となる。今回、ケースを

アルミのバルク材から切削加工で製作することを検討した(Figure 9)。部品が10 mmと比較的薄いことで加工時間を短縮する事ができ、切削加工による量産化も実現可能となった。デザイン性においても板金加工に比べて自由度が増す。また、硬度の低いアルミを採用しているが、アルマイト処理もしくはセラミックコーティングにより軽量かつ非常に高硬度な皮膜を持つケースができた。従来の塗装面に比べてキズや、変色の心配も不要で、生産ライン内での取り扱いも容易となる。

層流抵抗体(リストリクタ)の小型化

従来のリストリクタでは円盤上に放射状の流路を配置する構造としている(Figure 10)。Oリングを使用した場合には効率的な配置ではあるが、外周部に無駄なスペースも発生している。放射線状の配置から並列配置に変更し、配置の効率を高める構造とした(Figure 11)。また、この変更に伴って楕円形状のメタルガasketを開発した(Figure 12)。

バルブケースの加工方法の変更

前述のピエゾスタックを固定するためにバルブケースが必要となる(Figure 13)。スタックのサイズを最大限に確保するためにはバルブケースの薄板化も必要である。低熱膨張率の材料を使用しているが、従来は切削加工で製作していた。また、直径10 mm以下の円筒状のケースを切削加工で製作することは困難である。そこで、材料をパイプ状にしたものをカットする方法を検討した(Figure 14)。0.3 mm厚の薄板パイプの製作も可能で必要な長さの部品を切断するだけで製作することができる。切削と比べて使用する材料も非常に少なく調達面での問題も無くなる。パイプはシームレスで性能上もこれまでの切削加工品と遜色は無く、薄板化によるコストアップも無い。(Figure 15)。

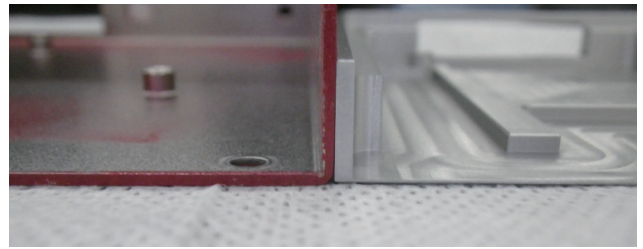


Figure 9 (Left)Metal sheet case (Right)Aluminum case

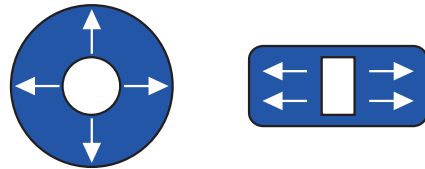


Figure 10 (Left)Radial layouts (Right)Parallel arrangement

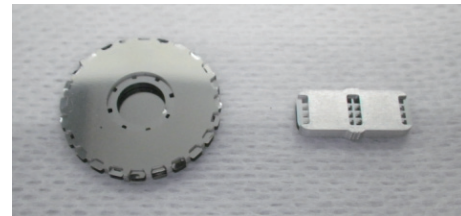


Figure 11 (Left)Radial layout product (Right)Parallel layout product



Figure 12 (Left)Circular shape gasket (Right)Rectangle shape gasket

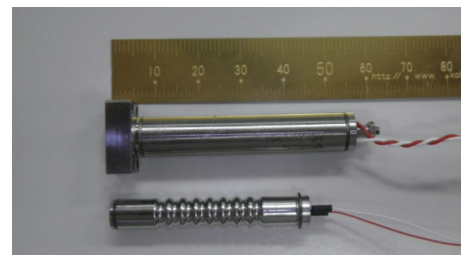


Figure 13 (Up)Piezo valve case (Down)Piezo stack

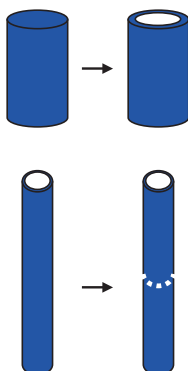


Figure 14 (Up)Previous machined case (Down)small pipe case



Figure 15 (Left)Previous machined case (Right)New small case

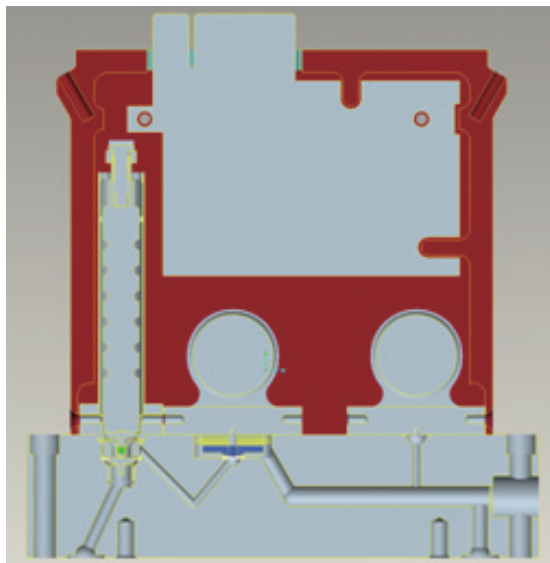


Figure 16 MFC cross-sectional view

大流量対応ブロック

従来はガス入口・出口の計2箇所の継ぎ手シール部に対して計4本のボルトで取り付ける設計となっていた。今回、小型化のために2本のボルトでそれぞれのシール部の外側から取り付ける構造とした(Figure 16)。また、継ぎ手部から斜め穴加工によって内部の流路を加工していく方法では流路に限界があった。そこでレーザー溶接を用いて座ぐり穴の底面に溶接を行う手法を採用した(Figure 17)。この事で小型ながらも従来品と同等の流路を確保する事ができる(Figure 18)。リストリクタ後部は真空状態になるために、流路の拡大による効果は大きい。

必要とされる製品性能

流量精度

流量の測定精度にはリストリクタと圧力センサーが関係している。従来と同じ形状の流路を持つ抵抗体と同じ型式の圧力センサーを使用する事でこれまでと同等の流量精度を維持する事が可能である。特にリストリクタを共通設計とすることでこれまでに蓄積した様々なガスの流量データを活用できる。

圧力変動影響性能

差圧方式の流量測定方式を採用しており、PIMFCとして動作することが可能である。(Figure 19)また、ピエゾスタッ

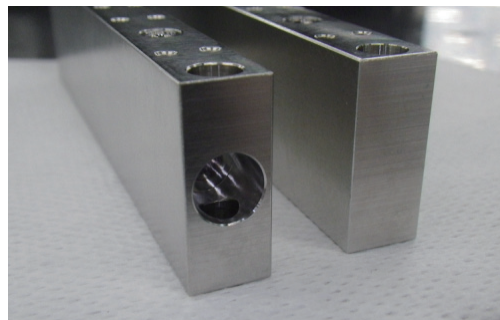


Figure 17 (Left)High flow block (Right)Standard block



Figure 18 (Left)High flow block (Right)Standard block

クを小型化したことでバルブの応答時間を短くする事ができる。従来よりも高速な動作も可能と考えられる。

軽量化

MFC本体には無駄な部分無く部品点数の低減にもつながっている。使用する材料も少なく加工時間も短い事でトータルのコストソリューションにもつながっている。小型化による加工時間の低減は工数の削減になり、MFCのバルブ部品の製品性能に繋がる平行度や平面度に対しても小型のメリットは大きい。重量は約1/3となり部品の在庫に必要なスペースも大幅に低減される。ガスボックスが手で持てるサイズになれば、輸送費の低減や

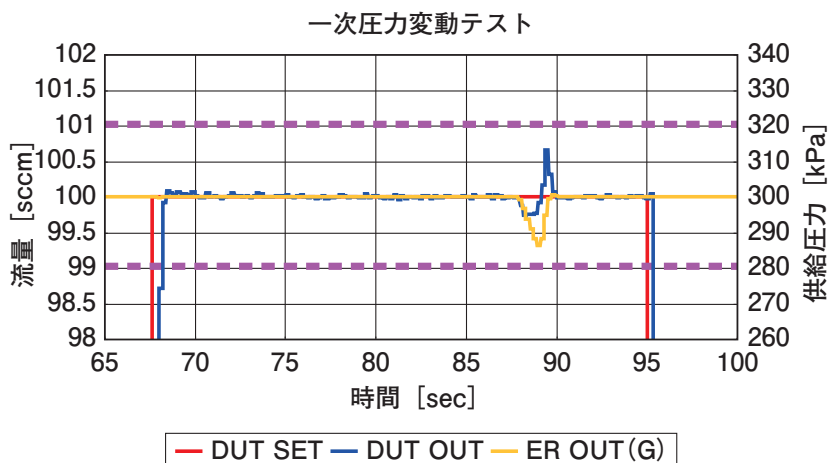


Figure 19 Inlet pressure in-sensitive test results

作業時間の低減にもつながると考えている。

制御基板の小型化

1つのCPUで複数のMFCを制御させることができれば、小型化と同時に消費電力の削減も可能となる。今回1つのCPUで4台を制御する事に成功した(**Figure 20**)。接続するケーブルの本数も1/4になり、装置側のメリットも大きいと考えられる。

おわりに

製品自体を薄型化することで各部品もコストアップすると懸念していたが、実際には全くコストアップにはならなかった。これは、加工時間の低減や、スペースの有効利用のために合理的な設計を行なった事が、懸念事項を払拭した要因と思われる。また、従来製品の改良点も踏まえ、小型ながら従来品と同等以上の製品に仕上がっていると考えている。今回開発した小型技術を要素技術として、今後の製品にも展開していきたいと考えている。

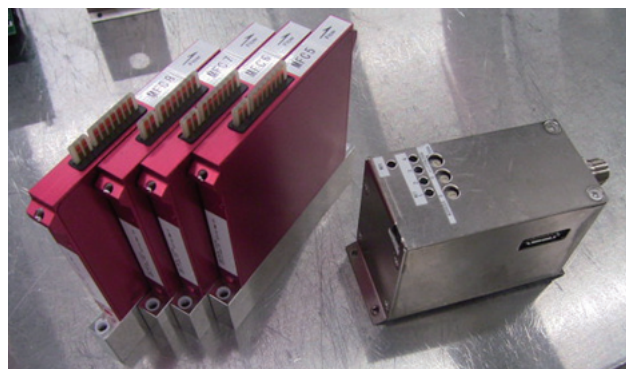


Figure 20 (Left)MFC body (Right)Control unit



安田 忠弘

Tadahiro YASUDA

株式会社 堀場エステック
開発本部 開発設計1部