



独自弁構造による空圧3ポートバルブの大流量化

Large Flow Rate Achieved by Adoption of Unique Valve Structure in Pneumatic 3-Port Valve

伊藤 新治 Shinji Itoh

菊池 宏 Hiroshi Kikuchi

半導体後工程のチップ部品の実装はどれだけ早く基板上にチップを並べられるかの競い合いであり、そのためチップの吸着を制御する機器もより一層の高速作動が求められている。

一般的に搬送工程のチップの吸着搬送とワークの開放では空気圧を活用しており、3ポートバルブが使用されている。そしてバルブの特性としては大流量、高速作動、軽量・小形が求められている。当社では2010年12月に半導体後工程のチップ搬送用の高速応答3ポートバルブ「3QRシリーズ」を発売し、従来に比べ大幅な高タクト化を実現できるバルブを開発した。3QRシリーズの特長は大流量且つ軽量・小形であるがこの性能は当社独自の弁構造や特殊材料を用いることで製品化を実現させた。本稿では3QRシリーズがどのような技術課題に取り組み、どのように解決方法を見出し製品化に至ったかを紹介する。

Mounting of chip components is one of the most important steps in the back-end process of semiconductor manufacturing, and there is competition among semiconductor manufacturing companies on how quickly chips can be aligned on substrates. Consequently, even faster actuation is required of equipment that controls chip suction. Since air pressure is generally utilized for holding and carrying chips and for releasing work pieces in transfer operations, 3-port valves are used for this purpose. Large flow rate, high-speed actuation, and lightweight, compact design are the valve characteristics sought after. To meet this demand, CKD developed a valve that can achieve significantly shorter tact time compared to conventional 3-port valves and in December 2010, released it as 3QR Series quick response 3-port valve for transferring chips during the back-end process of semiconductor manufacturing. 3QR Series valves feature large flow rate and lightweight, compact design, and these characteristics were realized by using a unique valve structure developed by CKD and special materials in this product. This paper presents the technical challenges we addressed and how we found the solution that led to the production of 3QR Series valves.

1 チップ搬送工程でのバルブの使用方法和動作

半導体後工程のチップ部品の搬送工程ではFig.1のようにチップ部品を吸着するノズルの圧力を3ポートバルブで制御している。そしてノズルの各動作とバルブが制御する空気圧の作用についてFig.2を使用し説明する。

- 動作① ヘッドに取り付けられたノズルがチップ部品まで移動する。
- 動作② 真空バルブが切り、チップ部品がノズル先端に吸着される。
- 動作③ 吸着した状態で所定の位置までチップ部品を搬送する。
- 動作④ 真空バルブをOFFし、チップ部品を開放する。

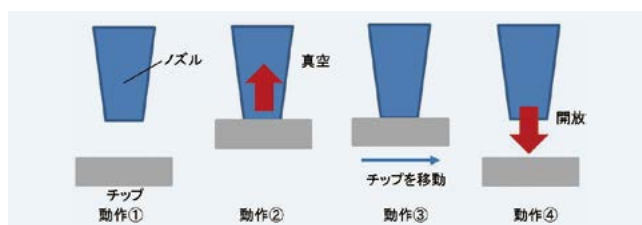


Fig.2 ノズル動作と圧力作用

この時ノズル先端にかかる圧力波形は以下Fig.3のようになる。

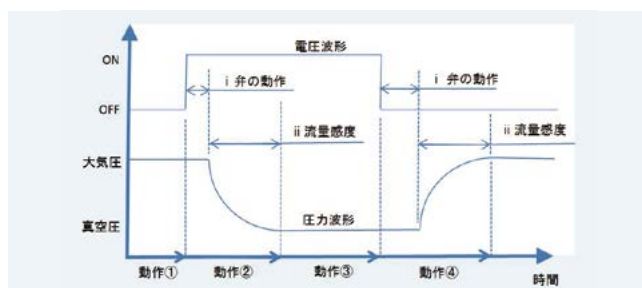


Fig.3 動作と圧力波形

圧力波形から動作②と④はバルブ性能がタクトに大きく影響することがわかる。そして動作タクトを高速化する為には i のバルブの切換動作を速くすることと ii の流量を大きくし、流量の立ち上がり速度を高めることが有効であることがわかる。またチップ吸着の反応速度を高めるため、バルブはヘッド部ノズル先端に

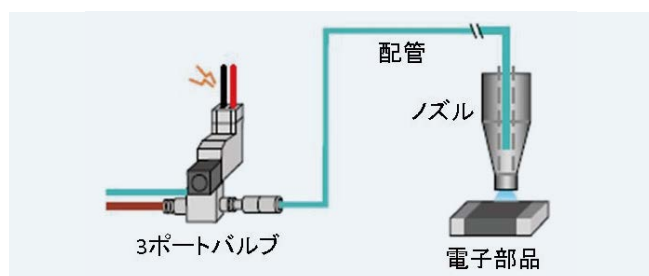


Fig.1 ポートバルブの使用用途例

近い部位へ多連数のマニホールド状に取り付けられる。一方でヘッド部が高速でXYZ方向を移動するため、バルブにはより一層の軽量化が求められている。

2 開発課題

1項で述べたように吸着搬送工程に用いるバルブでは以下の特性が重要になる。

- ・大流量
- ・切換動作の高速化
- ・軽量

上記の特性を最大・最少化する為に越えなければならない技術課題がいくつか存在する。まず第1に流量を大きくするためには弁の径を大きくする必要があるが、Fig.4に示すように一般的なポペット弁構造では空気圧による差圧の影響を受ける為、弁径を大きくすればするほどシール荷重F1(ばね荷重)に相反する荷重F2が大きくなってしまふ。その為大きなシール荷重(ばね荷重)が必要になり、動作させるコイルの力を大きくしなければならない。そして大きな力を必要とする為コイル自身が大型化してしまう問題が存在する。

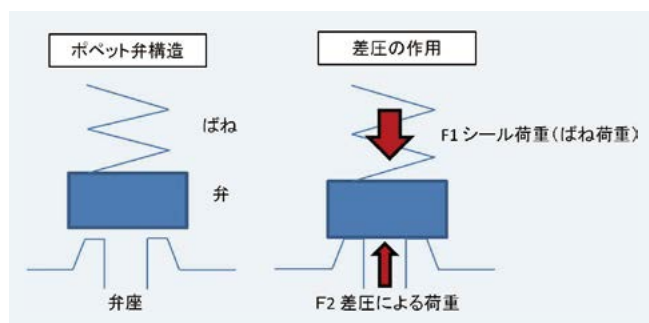


Fig.4 ポペット弁構造と差圧の影響

第2に切換動作を高速化するにはコイル自身の反応速度、つまり可動鉄心の動作速度を速くする必要がある。一般的にコイルの可動鉄心の動作速度は電流の立ち上がり速度で決まる為、インダクタンスが寄与する。このインダクタンスを構成する要素は単位長さ当たりのコイル巻数の2乗に磁気回路長さ、透磁率、磁路面積の積で決まる。しかし製品サイズ、重量には制限があり、これらのパラメータを無制限に小さくすることはできない。必要な動作切換時間と製品サイズからこれらのパラメータを最適化する必要がある。

電流とインダクタンス

V : 印加電圧[V]
L : インダクタンス[H]
n : 単位長さ当たりの巻数[回/m]
l : 磁路長さ[m]
μ : 透磁率[N/A ²]
S : 磁路面積[m ²]

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{V}{L}$$

$$L = n^2 l \mu S$$

第3に製品の軽量化であるが、一般的には部品をより軽い材料に変更し、小形化すれば良い。しかし小形

になれば熱は一箇所に集中する為、放熱あるいは材料の耐熱性が大きな課題となる。材料を樹脂化する場合にはコイルから発生する熱が樹脂の断熱効果(樹脂は一般的に熱伝導率が小さい)で過剰にコイル部に蓄積される。過剰な熱は材料を劣化させ性能低下につながる為、なんらかの放熱対策を講じる必要がある。

軽量・小形で大流量の3ポートバルブを開発する為には、上記の設計課題を解決する必要があった。次の3項ではそれぞれの課題の解決方法の詳細を説明する。そして4項でその効果を説明する。

3 課題解決方法

3-1 独自弁構造による大流量化

搬送工程の吸着・開放時間の50%低減を実現する為、第1目標を弁の流量を従来機種の3倍以上と設定した。しかし従来機種の3倍以上の流量を得る為には弁に作用する不要な荷重をできるだけ小さくし、ばね、コイルを大型化しないように低荷重のシール構造を構築する必要がある。そこで本開発では、弁を大型化するための問題点は不要な荷重を発生させる差圧とし、差圧のない独自の弁構造の構築に取り組んだ。まず弁の各動作における必要なシール荷重(ばね荷重)を除去した不要な荷重関係を分析した。そして各動作の不要な荷重を除去する構造を1つ1つ検討していった。

ベース構造をFig.5のノーマルクローズタイプポペット弁とし検討を実施した。従来のノーマルクローズタイプポペット弁には以下Fig.5、6のように、弁の各ポジションで差圧が存在するため、弁には必然的に不要な荷重が発生している。

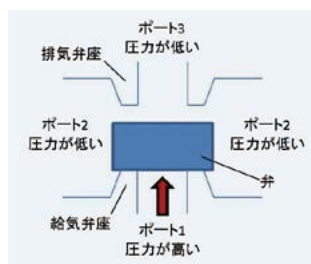


Fig.5 ノーマルクローズタイプポペット弁 OFF時

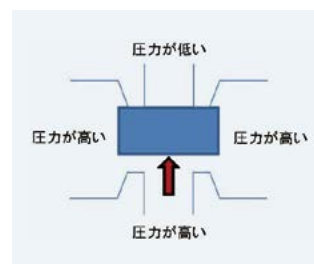


Fig.6 ノーマルクローズタイプポペット弁 ON時

そこで別の受圧部位を設け、差圧により発生する荷重をバランスさせる事とした。Fig.7に示すように弁部の反対側に第2シール部を設ける事で、弁に発生する差圧による荷重をバランスさせることにした。

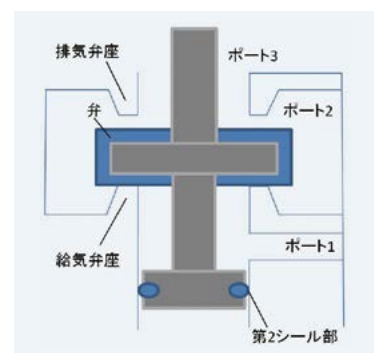


Fig.7 第2シール部を設けた弁構造

これにより弁の各位置に対して差圧による荷重はFig.8のようにバランスされる為、シール荷重を必要最小限に最適化できる。

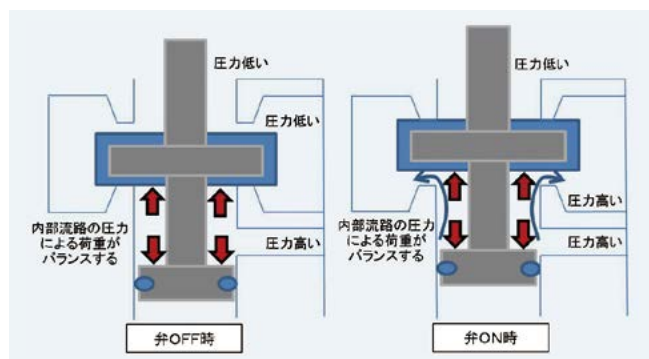


Fig. 8 第2シール部を設けた場合の弁の動作

しかし上記構造はポート1から圧力を給気した場合は荷重がバランスするが、他のポートから給気した場合には差圧による不要な荷重が発生してしまう。例えばポート3から給気した場合、Fig.9のように差圧による不要な荷重が発生してしまう。

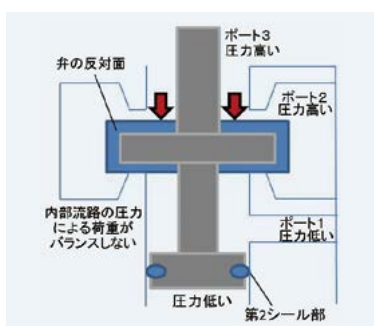


Fig. 9 ポート3からの給気

そこでポート2、3から圧力を給気しても第2シール部で荷重がバランスできるように主弁軸に貫通穴を設け、第2シール部の背面側に空気圧が通る流路を設けた(Fig.10)。これによりポート2、3から給気して弁に差圧が発生しても、常に第2シール部で差圧による荷重を発生させることができ、荷重をバランスさせることができる。

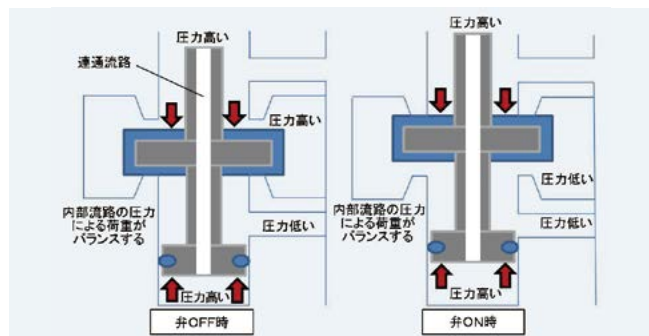


Fig. 10 連通流路の追加

これによりどのポートから空気圧を供給しても、弁に発生する差圧は第2シール部と主弁軸の連通流路でバランスすることができた。つまり差圧による無駄な荷重が発生しない独自のバランスポペット弁構造を確立することができた。

では通常のポペット弁構造とバランスポペット構造の圧力と荷重関係を確認する。通常のポペット弁ではFig.11のように差圧による荷重よりも大きいシール荷

重を必要とする。そのため低圧側には無駄なシール荷重が必要になってしまう。さらに圧力が大きくなりシール荷重を超えるとシールが維持できなくなり漏れが発生してしまう。それに対してバランスポペット構造では差圧による荷重が発生しない為、シール荷重を常に小さくすることができる。つまり差圧により無駄なシール荷重が発生しない為、ばねやコイルを大型化することなく弁径を大きくすることができ、従来機種種の3.6倍の大流量化を実現できた。

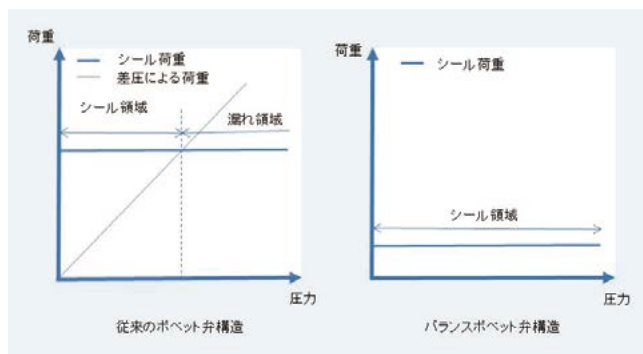


Fig. 11 荷重と圧力特性

3-2 CAE解析を用いた切換動作時間の最適化

3QRシリーズでは設計の第1目標を弁の大流量化とした。大流量化するには従来よりも弁の開度を大きくする必要があるので、可動鉄心の動作ストロークも大きくなってしまいます。そして可動鉄心の移動距離が大きくなることは切換動作時間が従来製品よりも大きくなることにつながる。そこで切換動作時間の設計目標はCAE解析を用い、各パラメータを最適化することで従来機種同等以上の切換動作時間を得る事とした。

それではCAE活用による検討事例を紹介する。まずベースとなる磁気回路を構築し、重要な因子には水準を設ける。そして水準毎にCAE解析を実施し、その磁束密度とコイル吸引力から最適な設計値を検討していく。例えばFig.12の水準1では磁束密度の集中が見られたが、Fig.13の水準2では磁束密度の集中はみられなくなった。

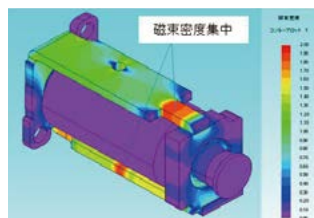


Fig. 12 水準1 磁束密度測定結果

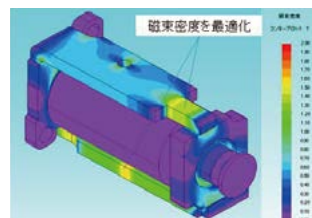


Fig. 13 水準2 磁束密度測定結果

上記のようにCAE解析で最適な形状をある程度絞り込んだ上で試作品のテストを実施し、最適な磁気回路を確立した。これにより消費電力2Wでありながら吸引力を引き上げ、切換動作時間を5msec未満(従来比1.6倍の高速化)に抑えることができた。

3-3 放熱樹脂を活用した軽量化

製品重量に関しては業界トップレベルの20g(従来比30%減)を目標に設計を実施した。従来製品から大幅に重量を軽減するため弁部の材料を金属から樹脂に変更することにしたが、一般的な樹脂は金属に比べ熱伝導率(Table.1)が悪く、熱を逃がさない。そのため、コイル温度が上昇し巻線が断線するなどの不具合を発生させる懸念があった。3QRシリーズの開発においても、当初は一般的なPPSを弁部の材料として採用したが、コイル温度が180℃まで上昇し、使用部材の耐熱性をはるかに超えてしまった。そこで対策を検討する必要が生じた。

Table.1 熱伝導率

材料	熱伝導率[W/m・K]
アルミ	200~210
鉄	50~70
ステンレス	15~25
樹脂	0.1~0.5
放熱樹脂	15~20



Fig. 14 3QRシリーズのヒートシンク構造

放熱対策としては以下の2つを軸に検討した。

- ・ 部品材料の熱伝導の改善
- ・ 製品から大気への熱伝達の改善

熱伝導の改善では材料の抜本的な見直しを行い、放熱樹脂を採用することにした。放熱樹脂は従来の樹脂に対して熱伝導率が約100倍と大きく、ステンレスに匹敵する。その為、コイルから発生する熱を弁部、マニホールドへ効率よく伝熱することができた。これによりコイル温度を約50℃低減する事ができた。

また製品の熱伝達改善策として、弁部の上面にヒートシンク形状を設けた。大気に接する面積を大きくすることで温度を約6℃改善することができた。

バルブ部品のほとんどを樹脂で構成したにも関わらず、上記の対策で放熱構造を確立し、製品重量19gを実現することができた。

4 製品性能と効果

3QRシリーズの開発では3項で説明してきた課題をクリアし、製品化を実現した。そして主要性能は以下を実現した。

- ・ 従来比3.6倍の大流量化
(音速コンダクタンス0.4[dm³/(s・bar)])
- ・ 切換動作時間4msec
- ・ 製品重量19g(従来比35%減)

バルブ性能向上によりチップ搬送の吸着・開放時間はFig.15のような結果が得られた。大流量化によりiiの流量の立ち上がり速度が大幅に改善されたことで従来製品よりも大幅に搬送工程の動作タクトを短縮できることを確認した。

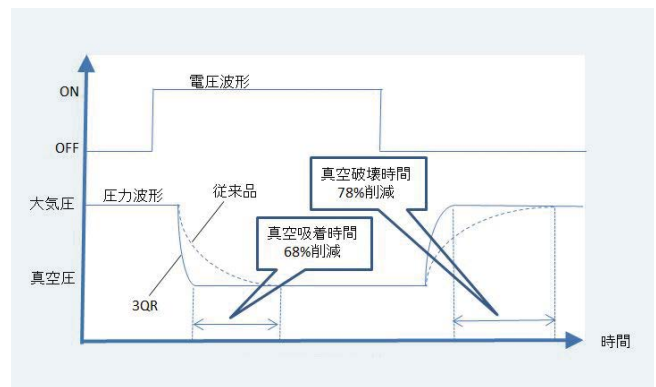


Fig. 15 動作時間の短縮

5 おわりに

3QRシリーズでは吸着搬送の対象物が比較的小形のチップ部品を主対象としたため、大きなワークサイズの吸着搬送には不向きである。また弁の切換動作性能もさらなる向上の余地がある。今後の開発では独自技術であるバランスポペット構造を活用し、より大きい対象物の吸着搬送ができる製品とさらなる高速動作を追求した次世代のバルブ開発に取り組んでいく。

執筆者プロフィール



伊藤 新治 Shinji Itoh
コンポーネント本部
空圧システムBU 第1技術部

Engineering Development No. 1, Pneumatic System Business Unit, Components Business Division



菊池 宏 Hiroshi Kikuchi
コンポーネント本部
空圧システムBU 第1技術部

Engineering Development No. 1, Pneumatic System Business Unit, Components Business Division