

DEVELOPMENT OF PIEZOELECTRIC PULSE GAS VALVE

Masahiro Ichikawa¹, Yoshihisa Iwashita, Yujiro Tajima
Hiromu Tongu, Hiroshi Fujisawa
ICR, Kyoto University
Gokasyo, Uji, Kyoto, 611-0011

Abstract

This work is the part of our future project to develop a small-size-permanent-magnet ECR ion source system that provides a large current proton beam. In a conventional ion source, the source gas is continuously fed even in its pulse operation. This requires a vacuum pumping system to be still normal in size and costs. The situation is prominent when the gas load is relatively higher in such a high current ion source. In order to improve this situation, we try to supply gas only when it is needed by synchronizing the gas feed with the extraction of the ion beam. We have developed a small pulse-gas-valve using a commercially available disc-shape piezoelectric element. This valve is small enough to be mounted in our ECR ion source and is capable of very fast open-and-close operation of an order of kHz repetition. This paper describes the character and experimental results of its performances.

圧電素子を用いたパルスガス弁の開発

1. はじめに

我々は現在、小型で大強度の陽子ビームが得られるイオン源の開発を目指している。このイオン源は小型化のためにRFQなどの加速管に直結もしくは最短で接続することを考えているため、 H_2^+ や H_3^+ などの分子状態イオンを減らし、陽子比は極力多い方が望ましい。このため、小型で大電流の陽子ビームが得られるイオン源として、永久磁石を用いたECRイオン源を採択した。ECRイオン源は大電流が得られるうえに長寿命であるという利点がある。さらに、電磁石でなく永久磁石を用いることにより、磁場を変えることはできないが、ある用途に特化することによりメンテナンスフリー、および低コストを実現できる。

我々が開発しようとしているイオン源は繰り返し25Hzでイオンを引き出すパルス運転を前提としている。イオン源に常にガスが流れ込む方式だとイオンを引き出すタイミングでなくともガスが流入し、真空排気系に負担をかける。

そこで、パルス運転に同期してパルスのようにガスを供給する弁を用いれば、イオン引き出しのタイミング以外でのガスの流入がなくなり真空排気系への負担は軽減されるはずである。

そこで、圧電素子の性質を利用したガス弁^[1]に着目し、今回、市販の円盤状の圧電素子（図1、京セラ（株）KBS-20DA-7A）を用いてガスチョッパーを構成し、パルスのようにガスを流す小型弁の開発を行った。この圧電素子の仕様諸元について表1に示す。

2. 動作原理

今回開発したパルスガス弁は、圧電素子の電圧を加えることにより変形するという性質を利用している。すなわち、図2のように圧電素子に電圧が加えられていなければチャンバー内へのガスの入り口が圧電素子によって塞がれるためガスはチャンバー内に流れ込まない。しかし、圧電素子に電圧を加えると圧電素子の変形することで流路が開き、チャンバー内にガスが流入する。この弁にパルスのように電圧をかければそれに等しい繰り返しで圧電素子も変形し、ガスの流れはパルスのようになるはずである。

金属基盤直径	20.0±0.1mm
圧電基盤直径	14.2±0.1mm
総厚み	0.45±0.1mm
金属基盤厚み	0.20±0.03mm
共振周波数	6.6±1.0kHz
静電容量	10±0.3nF
耐圧（カタログ値）	30V _{P-P}

表1. KBS-20DA-7Aの仕様諸元

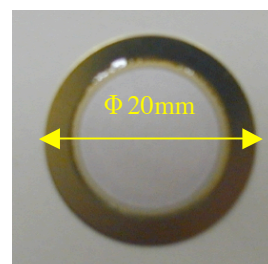


図1. KBS-20DA-7A

¹ E-mail: ichikawa@kyticr.kuicr.kyoto-u.ac.jp

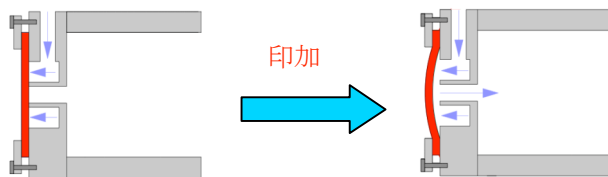


図2. バルブ断面図



図3. バルブ 左：組立前部品 右：組立後

3. 圧電素子の変位測定

圧電素子に電圧をかけたときにどのように変位するかを、(株)KEYENCE製のレーザー変位計LK-010 (分解能0.1 μm) を用いて計測した。

まず、圧電素子の中心部にレーザーの焦点を合わせ、かける電圧を変化させたときの変位量を測定した。得られた結果を図4に示す。得られた曲線はこの圧電素子が電圧変化に対する変位量のヒステリシスを持っていることを示している。

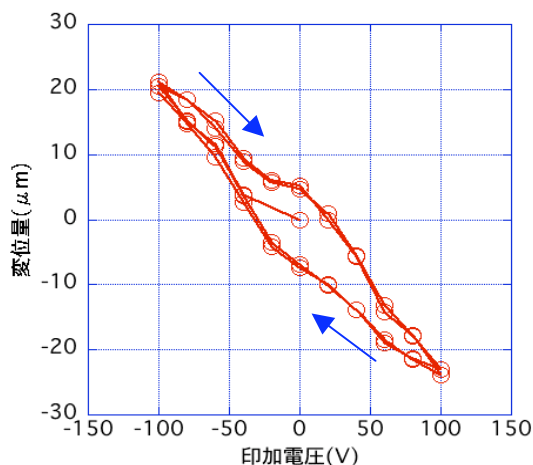


図4. 圧電素子の変位のヒステリシス曲線

単極で電圧をかけると、ヒステリシスの影響により得られる変位量が少なくなる。そこで、今回は電圧を両極でかけることにした。そうすることにより無負荷時の変位量を稼ぐことができる。これはOFFのときに弁座に押し付けられ (図5)、ガス流量のON/OFF比を上げられるという点でも有利である。また、電圧をかけた際の動径方向の変位分布も測定した。この測定は圧電素子を弁座に固定した状態で行った。その結果は図6のようになり、最も変位量が大きい中心部では10 μm ほどであった。

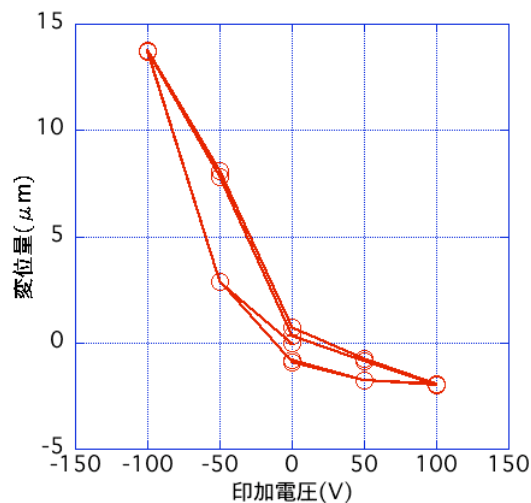


図5. 弁座に取り付けた状態でのヒステリシス曲線

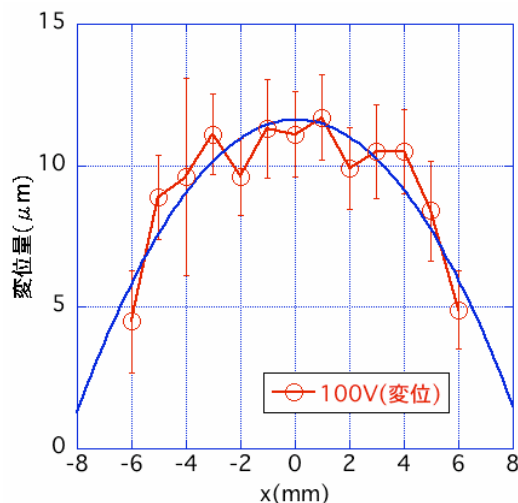


図6. 圧電素子軸方向の変位分布

4. ガス流量の測定

ガス弁を開閉したときの流量変化を図7に示すようなセットアップで測定した。また、パルス電源の波形を図8に示す。

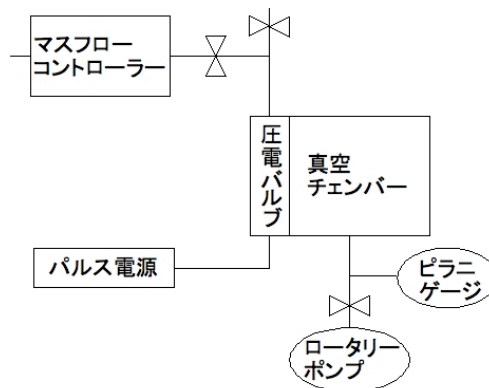


図7. 流量測定システム構成図

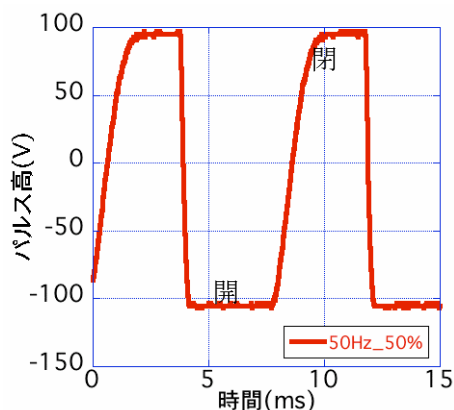


図 8. 電圧パルス波形

今回の測定ではガスとして1気圧の空気（大気）を用いて測定した。ピラニゲージでチェンバー内の真空度の変化を測定し、マスフローコントローラーで求めた圧力流量校正曲線を用いて流量に換算した。まず、圧電素子の弁座への締め付けなどを調整したところ、±100VでDC電圧をかけたとき、最大で400倍のON/OFF比が得られた（OFF時0.7sccm、ON時280sccm）。次に、弁のパルス動作の繰り返しやパルス幅を変化させて測定し、得られた結果を図9に示す。流量はパルス幅が短いところでは増加の割合が大きく、長くなると線形に近づいている。このことから、圧電素子に電圧をかけると弁の開き始めに大きな流量が流れ、それから次第に流量が減少しある値に収束していくという臨界制動的な時間変化をしているものと考えられる。測定結果を時間微分すると図10のようになり、これからもガス流量の時間変化は臨界制動的であると考えられる。実際にこの微分波形のピークには開く時だけではなく、閉じる時の瞬時に供給されるガスも有るとすれば含まれる。今回与えた駆動電圧は回路の都合上、図8のように、開ける方向で急峻な変化をし、閉じる方向には多少緩やかな変化をするような波形になっている。従って、開くときにはオーバーシュートが有ることが予想される。逆に閉じる時には、電圧波形が比較的緩やかなことと、圧電素子が弁座に押しつけられる際の制動も加わるということから、閉じる際に流入するガス量は多くはないと考えている。実際に臨界制動型の関数を定義しフィッティングしてみると得られた結果とよく対応している（図9）。

この結果から、このパルスガス弁が実際に使いたい繰り返し25Hzで、パルス幅が1~2msのときの1パルスあたりのガス流量を見積もってみると、1msのときで0.016scc、2msでは0.035sccであると見積もることができた。

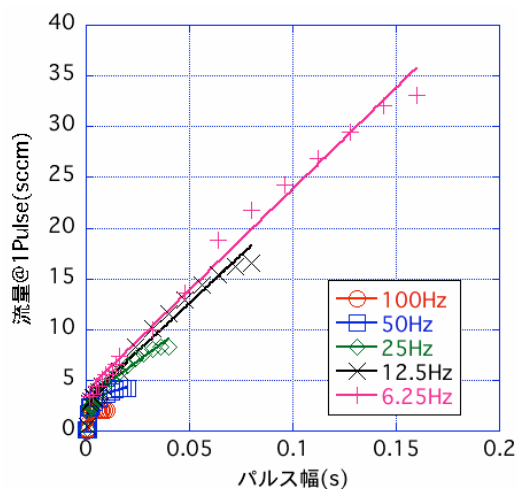


図 9. パルス幅に対する1パルスあたりの流量（プロットは測定値、実線はフィット）

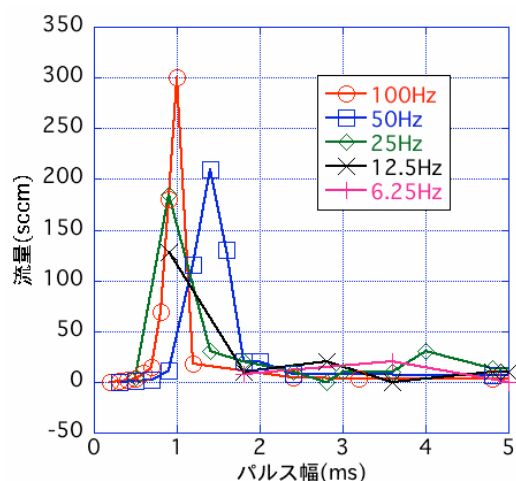


図 10. 微分で得られた流量の時間分布

4. まとめと今後の展望

今回、開発した圧電素子を用いたパルスガス弁のガス流量を測定し、弁を開いた際のガス流量は臨界制動的に時間変化をすることが分かった。このことから、最初のガス流量が大きく立ち上がる部分のみを生かすことで時間応答性の早いガス弁として用いることができる。

今後は、より詳しくガス流量の時間応答性を調べるためにファストイオンゲージ^[2]を導入し、真空の変化を測定する予定である。

参考文献

- [1] 岸本茂・犬竹正明 “ピエゾ素子を利用した大流量ガスバルブの開発”, 1-3, 2001IPPJ-DT-77(1980)1
- [2] M.Inutake and K.Kuriki, "Fast Ionization Gauge Studies of Quasisteady Gas Injection Into Vacuum", Rev.Sci. Instrum.43(1972)1670