

## DEVELOPMENT OF SMALL ECR ION SOURCE WITH PULSE GAS VALVE

Masahiro Ichikawa, Yoshihisa Iwashita, Takanori Sugimoto, Hiromu Tongu, Hiroshi Fujisawa, Masako Yamada  
ICR, Kyoto University  
Gokasho, Uji, Kyoto, 611-0011

### Abstract

Neutrons are very interesting for scientists as new probes used for investigating inner structure of materials. But, there are few neutron science facilities available in the world for such purposes. To remedy a situation, we started to develop linear accelerator base small neutron source.

At present, we are working on a small  $H^+$  ion source as the first step of development of a small neutron source. We have selected a type of ECR ion source with permanent magnets as a small and high intensity ion source, because ECR ion source can provide high  $H^+$  ratio due to their high plasma temperature. Using permanent magnets makes the ion source small and running cost low. Because there is no hot cathode, a longer MTBF is also expected.

In designing our ECR ion source, we performed extensive computer simulation studies to optimize the extraction electrode system, magnet arrangement and the plasma chamber geometry.

A pulse gas valve made of a piezoelectric element was built-in in the ion source plasma chamber to reduce the loading of evacuation systems.

We have obtained in our test stand a beam current of 1.13mA at RF frequency of 5.74GHz and 25W RF power.

## パルスガス弁を用いた小型ECRイオン源の開発

### 1. はじめに

今日、物質構造を探る新たなプローブとして中性子は大いに注目されている。しかし、中性子実験可能な施設の数に限られており、新しい発見や中性子科学の裾野の拡張のためには多くの実験をこなさなければならぬことを考えると、大規模施設のみならず身近に使いやすい小型中性子源もあることが望ましい。そこで、我々は $Li(p, n)$ 反応を用いた陽子線形加速器ベースの小型中性子源の開発を目指し、第一歩として1次 $H^+$ ビームを得るためのイオン源の開発から着手している。図1は我々の構想する小型中性子源モデルを示している。イオン源の種類として、長寿命性や小型化に有利であること等から永久磁石を用いたECRイオン源を採用した。また、常に



図1：小型中性子源モデル

ガスを流し続けることによる真空系への負担を軽減するために、圧電素子を用いたパルスガス弁を組み込んでいる。

### 2. パルスガス弁

通常のイオン源ではパルス運転をする場合でもガスを常に流し続ける。このことは真空排気系への負担となる。そこで今回開発するイオン源がパルス運転することを利用し、必要なときのみガスがチェンバー内に流入するようにするため、円盤状の圧電素子(京セラ、KBS-20DA-7A、図2)を用いたパルスガス弁を開発した<sup>[1]</sup>。電圧をかけると変形する圧電素子の性質を利用し、電圧をかけないときにはガスの流路を塞いでいるが(以下OFF時)、電圧をかけると変形し(以下ON時)、流路が開くという原理で動作する。また、圧電素子は電圧に対する変位量のヒステリシスを持ち、単極の電圧のみをかけると十分に変位を利用することが出来ない。そこで加える電圧を両極にしてやることでヒステリシスの問題を解決するとともにOFF時のガスリークを減らし、ON/OFF比を向上させることができる。



図2：KBS-20DA-7A (φ20mm)

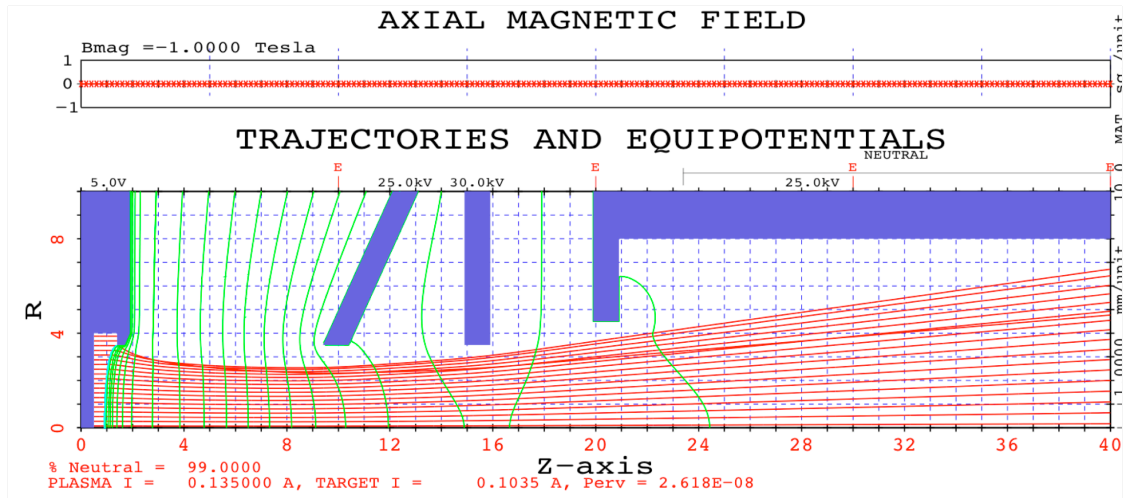


図3：PBGUNSによるシミュレーション

### 3. イオン源の設計

#### 3.1 引き出し電極

イオン源の引き出し電極部の設計はシミュレーションソフト「PBGUNS<sup>[2]</sup>」を用いて行った。このとき得られた結果を図3に示す。引き出し電圧25kVの固定パラメータとした。

シミュレーションからプラズマ密度 $3.83 \times 10^{17} \text{m}^{-3}$ という値が得られたが、これは式(1)の関係からプラズマ周波数でいうと5.56GHzに相当する。

$$n_p = \frac{\epsilon_0 m_e}{e^2} (2\pi f)^2 \quad (1)$$

ここで、 $n_p$ はプラズマ密度、 $\epsilon_0$ は真空の誘電率、 $m_e$ は電子の質量、 $e$ は電気素量、 $f$ はプラズマ周波数である。プラズマにはこのプラズマ周波数より低い周波数のRFが入れないという特性がある。従ってこのイオン源においてECRを起こさせるために加えるRFの周波数は5.56GHzよりも高くなければならない。そこで今回は周波数が約6GHzのRFを加えるものとして他の部品について設計を行った。

#### 3.2 磁石配置

ECRイオン源ではECRを起こさせるために軸方向の磁場が必要であり、今回その磁場を形成するために永久磁石を用いた。この磁束密度はかけるRFの周波数と以下の関係を持つ。

$$B_{\text{ecr}} [\text{T}] = \frac{m_e \omega}{e} = \frac{2\pi m_e}{e} f \cong \frac{f [\text{GHz}]}{28} \quad (2)$$

ここで、 $B_{\text{ecr}}$ はECR領域における磁束密度、 $m_e$ は電子の質量、 $e$ は電気素量、 $f$ はRFの周波数、 $\omega$ はRFの角周波数。式(2)から、RF周波数が6GHzのときECRが起きる磁束密度は0.214Tである。

ECR領域で必要な磁束密度と、入口、出口で電子を閉じ込めるミラー磁場を形成するような磁石の配

列をシミュレーションソフト「PANDIRA<sup>[3]</sup>」を用いて行った。その結果得られた軸方向磁場分布を図4に示す。なお、用いた磁石はNEOMAX-48Hであり、その磁束密度は約1.3Tである。また、ミラー磁場を形成する磁石の間の距離を変えることで磁場の大きさを変えられるようにした。

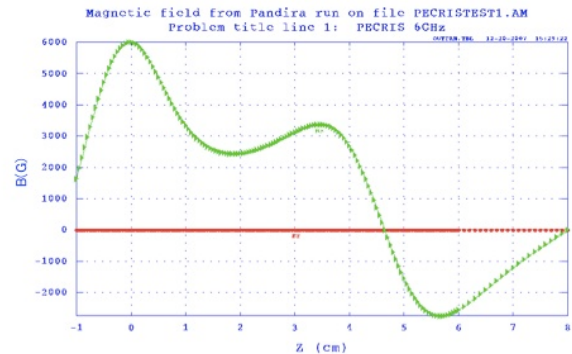


図4：磁場の軸方向分布

#### 3.3 プラズマチェンバー

RFパワーが効率よくプラズマに加えられるように、プラズマチェンバーのTE<sub>111</sub>モードの共振周波数が約6GHzになるように設計した。この設計にはシミュレーションソフト「HFSS」を用いて行い、図5のような形状のものを製作した。中心部分が出張った形になっているのは周りのパーツとの位置関係において高電圧のかかったチェンバーと帯電していないパーツが極端に近くなるのを避けるためである。チェンバーには高電圧がかかっており、電位が0Vのパーツと局所的に近いところがあると放電する恐れがある。

このチェンバーは非常に小さく、そのサイズは約φ40mm×27mmである。

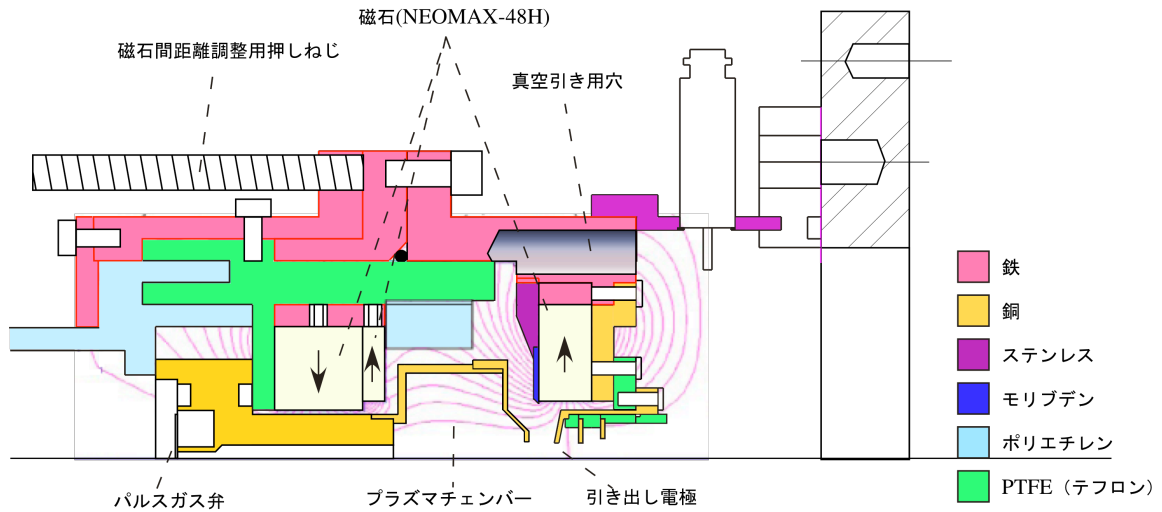


図6：イオン源全体像

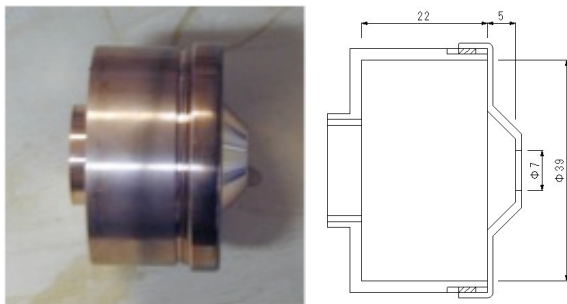


図5：プラズマチェンバー

トを測定した。これまでの最大値としては、表1の条件化で1.13mAという値が得られている。

表1：固定パラメータ

RF周波数	5.74GHz
RFパワー	約25W
引き出し電圧	10kV
ガス弁の繰り返し	25Hz
ガス弁駆動信号のデューティー	50%
上流のガス圧	400kPa

### 3.4 イオン源全体

図6は今回製作したイオン源1号機の断面図である。プラズマチェンバーには高電圧がかかるため、磁場リターンヨーク（鉄）との間に絶縁体（ポリエチレン、PTFE）を挿入している。鉄ヨークまで含めたイオン源全体の大きさは約φ200mm×300mmである。

引き出し部の真空度を保つために真空引き用の穴を空けてある（φ10mm×30mm、12ヶ所）。これらの穴のコンダクタンスの合計は27.3l/sである。なお、個々のコンダクタンスについては以下の式で計算した。

$$C\left[\frac{m^3}{s}\right] = 0.523 \frac{r[cm]^3}{M^{1/2}L[cm]} \quad (3)$$

ここで、rは穴の半径、Mはガス粒子の分子量（今回の場合は水素）、Lは穴の長さ。使用したターボ分子ポンプの排気速度は1500l/sであり、イオン源内部の真空度はターボポンプヘッドの約100倍悪いと思われる。

### 4. ビームカレント測定

引き出し電極の直後にファラデーカップを設置し、イオン源から引き出された全ビームのカレン

### 5. 結論と今後の展望

小型中性子源の開発を目指し、小型ECRイオン源の1号機を製作した。この1号機では、現在までに1.13mAのビームが得られている。

今後はアナライザーマグネットを用いてビーム解析を行い、H<sup>+</sup>とその他のイオン種との生成比率を求める。

また、1号機を製作する際および1号機を使ったカレント測定の際に明らかになった問題を解決するよう新たに2号機的设计に着手している。

### 参考文献

- [1] M.Ichikawa, et al., "DEVELOPMENT OF PIEZO-ELECTRIC PULSE GAS VALVE" Proceedings of the 4th Annual meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 32th Linear Accelerator Meeting in Japan, Wako, Aug. 1-3, 2007
- [2] J. E. Boers, A digital computer code for the simulation of electron and ion beams on a PC, IEEE Cat. No. 93CH3334-0 (1993) 213.
- [3] Reference Manual for the POISSON/SUPERFISH Group of Codes, No. LA-UR-8712