

## IMPROVEMENT OF ECR H<sup>+</sup> ION SOURCE WITH PERMANENT MAGNETS

Masahiro Ichikawa, Yoshihisa Iwashita, Shotaro Ushijima, 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 or even fundamental physics. But, there are few neutron science facilities available in the world for such purposes. To remedy a situation, we have started to develop accelerator base small neutron source.

At present, we are working on a small H<sup>+</sup> 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.

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

The 2<sup>nd</sup> model of ion source was manufactured and we measured the beam current. Up to now, the maximum current at the Faraday cup is about 1.5mA and the maximum current at the just downstream of the extraction measured by DC current transformer is about 2mA.

To increase the ratio of H<sup>+</sup>, we painted Boron Nitride paste on the inner surface of the plasma chamber. As a result, the ratio of H<sup>+</sup> to H<sub>2</sub><sup>+</sup> increased about twice and H<sup>+</sup> became major part of the beam.

## 永久磁石を用いた ECR H<sup>+</sup>イオン源の改良

### 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。また、BNCT (Boron Neutron Capture Therapy)のような医療分野への応用も進められている。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ないことを考えると、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<sup>7</sup>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、その第一歩として1次H<sup>+</sup>ビームを得るためのイオン源の開発から着手している。

イオン源の種類として、長寿命であることや小型であることを目指すため、また運用コストが安いということなどから永久磁石を用いた ECR イオン源を採用した。また、常に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<sup>[1]</sup>。

### 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、必要などきのみガスがチャンパ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)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。

今回、より変位量を大きくするためにこれまでよりも大口径の圧電素子(KBS-27DA-5A、図1)を使用した。図2より、同じ電圧をかけた際の KBS-27DA-5A の変位量は KBS-20DA-7A に対して約2倍程度となっている。



図1: KBS-27DA-5A

表1: KBS-27DA-5A の仕様

Diameter of metal base	27.0±0.1mm
Diameter of piezoelectric element	20.2±0.1mm
Total thickness	0.53±0.1mm
Thickness of metal base	0.25±0.03mm
Resonance frequency	4.6±0.5kHz
Capacitance	20±0.3nF
Electric strength(catalogue spec.)	30V <sub>p-p</sub>

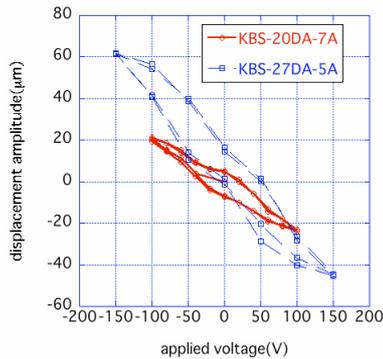


図 2: KBS-20DA-7A と KBS-27DA-5A の変位量比較

### 3. イオン源 2号機

図 3 にイオン源 2号機の断面を示す。プラズマチェンバー部は高圧がかかっており、接地されている鉄ヨークとの間に絶縁体を挟むことで絶縁している。サイズは約φ200×250mmである。

#### 3.1 一号機からの改良点

イオン源内の真空度を向上させるために下流側磁石のまわりに空間を広く取り、コンダクタンスを向上させている。また、引き出し電極周りの放電を防ぐために電極周りの空間を広く取っている。一号機では下流側磁石と引き出し電極と一緒に動いてしまい、磁石間距離を変えるとそれに伴って電極間距離も変わってしまった。そこで、下流側磁石と引き出し電極を独立して動かせるようにし、磁石間距離と電極間距離を個別に調整できるようにした<sup>[2]</sup>。

#### 3.2 全カレント測定

イオン源からの全カレントは 2 通りの方法で測定を行った。図 4 に測定に用いたセットアップを示す。

1 つめの方法は引き出し電極の後方に位置する Beam Profile Monitor (図 4 上図) をファラデーカップとして使用し、そこでの電流値を読む方法である。この方法ではこれまでに表 2 の条件で 1.5mA のカレントが測定されている。

2 つめの方法は引き出された電流値そのものを見るわけではないがビーム引出しのためにかける高電圧のラインに直流電流変換器 (DCCT) を挿入し、高電圧電源の電流値のふれをみるという方法である。この方法では表 3 の条件のときに電流値約 2mA という値が観測されている。

### 4. H<sup>+</sup>比の向上

アナライザーマグネットを用いて引き出されたビームの質量分析を行い図 5 のような結果を得たが、H<sup>+</sup>の比率は H<sub>2</sub><sup>+</sup>と比べると少ない。そこで過去の実験<sup>[3]</sup>で実際に H<sup>+</sup>の比率を高めることができたというチッ化ホウ素 (BN) をペースト状にしたものをプラズマチェンバー内壁に塗布することで H<sup>+</sup>の比率の向上をめざした。図 6 は BN を塗布した結果を示し

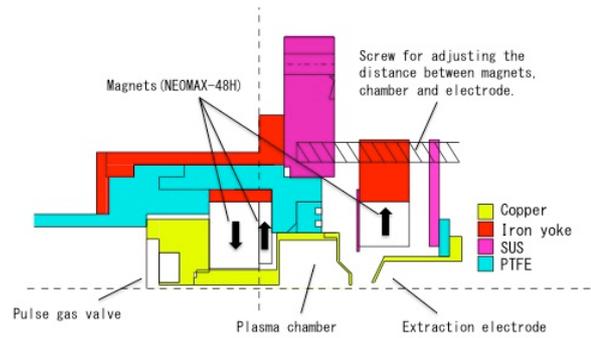


図 3: イオン源 2号機断面

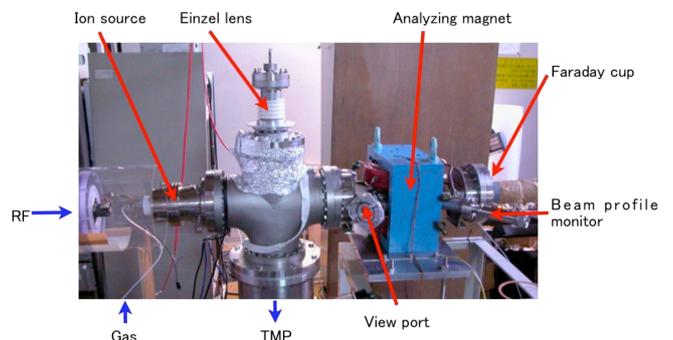
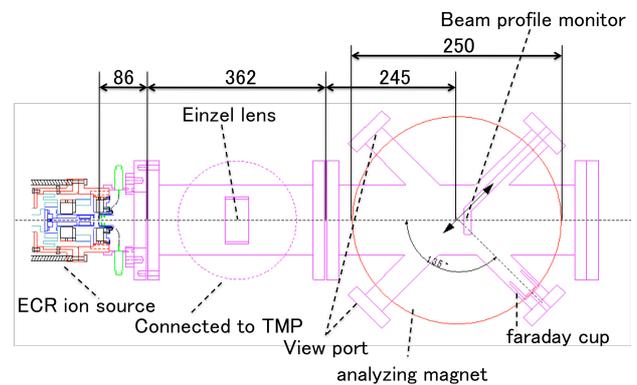


図 4: 上図;テストベンチの水平方向断面 (アナライジングマグネットの口径は 60mm). 下図; テストベンチの写真

表 2: ファラデーカップを用いた測定での固定パラメータ

RF frequency	6.39GHz
(Peak) RF power	25W
Extraction voltage	12.5kV
Repetition rate	25Hz
Duty factor of the driving signal	50%
Pressure of gas	400kPa

表 3: CT を用いた測定での固定パラメータ

RF frequency	6.42GHz
(Peak) RF power	25W
Extraction voltage	10kV
Repetition rate	25Hz
Duty factor of the driving signal	50%
Pressure of gas	400kPa

ている。H<sup>+</sup>の比率は大きく向上し、殊に H<sub>2</sub><sup>+</sup>に対する比率は倍近く増えている。

## 5. 分光器を用いたプラズマの観測

現在のセットアップでは引き出されたビーム中に水素由来イオン ( H<sup>+</sup>、H<sub>2</sub><sup>+</sup>など) 以外のイオンが含まれているかどうかはアナライザーマグネットを用いた質量分析を行って見ないと分からない。しかし、いちいちビームを引き出し、時間をかけて質量分析を行い、その結果を見て調整をし直すのでは作業の効率が良くない。そこでイオン源のチェンバー内のプラズマを分光器で見て、どのようなイオンが含まれているかを一時に判別できれば水素の比率を高める調整をより簡単に行えるものと思われる。また、プラズマ中の位置ごとのスペクトルを見れば、位置によって何がしかの違いが見られるかもしれないということも興味の対象である。

そこでライン線源の分光が可能な分光器 ( JFE テクノリサーチ Co. ImSpector、図7) を使用し、チェンバー内のプラズマの分光を行った。

図8は得られた位置と波長の関係を表している。スペクトル中に確認できるピークは486nmと656nmであり、これは水素の発光スペクトルに相当する。また、ピークの大きさはプラズマの中心部で最も大きく、そこからプラズマ周縁部に向かってなだらかに減少している。

## 6. まとめと今後の展望

これまでにイオン源試作一号機、二号機の製作を終えており、そこにパルスガス弁に用いる圧電素子を大口径化する、イオン種比を向上させるためにBNをチェンバー内壁に塗布する等の改良を加えた。その結果 H<sup>+</sup>の比率が向上する等の効果は見られるものの引き出されるカレントはファラデーカップの計測で1.5mA、DCCTで計測した高電圧のふれで2mA程度である。さらにカレントを増やすため、チェンバーの共振周波数と ECR 周波数を一致させるためにチェンバー内部に共振周波数調整用のアンテナを立ててみるつもりである。

## 謝辞

この研究を進めるにあたり、圧電素子をご提供下さった京セラ株式会社様、チッ化ホウ素をご提供下さった水島合金鉄株式会社様、ならびに分光器を貸与下さった JFE テクノリサーチ株式会社様に感謝致します。

## 参考文献

- [1] M.Ichikawa, et al., "DEVELOPMENT OF PIEZO-ELECTRIC PULSE GAS VALVE" 第4回日本加速器学会年会・第32回リニアック技術研究会プロシーディングス, 和光, Aug. 1-3, 2007
- [2] M. Ichikawa, et al., "Development of Small ECR Ion Source with Permanent magnets", 第6回日本加速

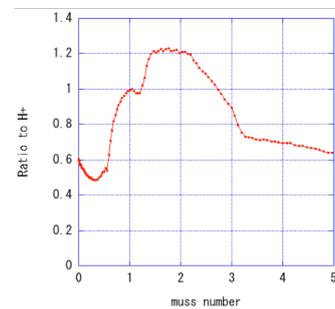


図5: BNを塗布しない時のイオン種比

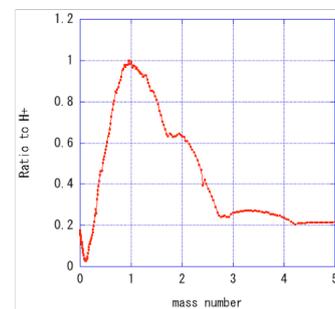


図6: BNを塗布した時のイオン種比



図7: JFE テクノリサーチ Co. ImSpector

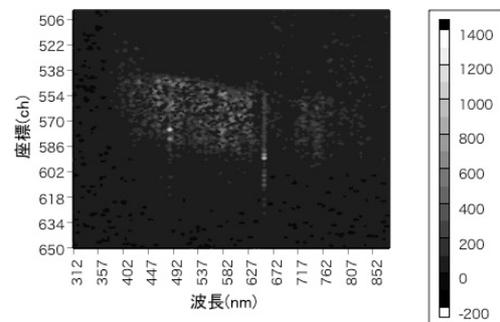


図8: 分光画像

- [3] T. Taylor, et al. "A high-current low-emittance dc ECR proton source", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A309 (1991) 37.