

## DEVELOPMENT OF A SMALL ECR ION SOURCE WITH PERMANENT MAGNETS

K.Yoshida, T.Nara, Y.Saitoh, W.Yokota  
Japan Atomic Energy Research Institute  
1233 Watanuki Takasaki Gunma, 370-1292

### Abstract

The rising temperature of mirror magnets by coil heat changes the beam intensity of an ECR ion source. In order to improve the beam stability, we are developing an all-permanent-magnet ECR ion source with a microwave frequency of 14GHz which will provide highly charged ion beams of medium-heavy elements. Its mirror field can be changed by tuning magnets. The details of the source and the results of the test operation are described.

## 永久磁石型小型 ECR イオン源の開発

### 1. はじめに

原研サイクロトロンは、13年間以上にわたり多種多様なイオンを提供している。近年、サイクロトロン of the beam intensity fluctuation of electromagnetic iron core temperature rise. This is a breakthrough, and its stabilization was implemented. As a result, the magnetic field fluctuation of 10<sup>-4</sup> times was reduced to 10<sup>-5</sup> times, and long-term stability was achieved. This makes it possible to re-adjust the magnetic field without the need for re-adjustment, and stable beam supply is possible. [1]. On the other hand, the stability of the beam intensity extracted from the ion source is improved, and the acceleration time of the ion source is shortened. In the current cyclotron, heavy ion production [2], and metal ion production of 2 ECR ion sources are installed, but these ion sources have time-varying intensity fluctuations in the extracted beam, and the heating of the mirror coils is the main cause. So we decided to form the entire magnetic field with permanent magnets for the development of the ECR ion source. In this report, we describe the basic design and test operation results of this ion source.

### 2. 基本設計

#### 2.1 ミラーおよび六極磁石

Fig.1に永久磁石型小型ECRイオン源の概略を示す。原研AVFサイクロトロンが加速できるのは、 $M/Q=6.5$ (M:質量数, Q:価数)以下のイオンであることから、軽イオンだけでなく中重元素の多価イオンの生成も行えるように、マイクロ波周波数を14GHz( $B_{ECR}=0.50T$ )とした。また磁場設計には磁場計算コードOPERA3Dを用いた。

ミラー磁場については強い残留磁束密度と保磁力の点からN48H(信越化学工業株)を選択し、ガス導入側及び引き出し側ともに、最大ミラー磁場 $B_{MAX}=0.80T(1.6B_{ECR})$ , 最小ミラー磁場 $B_{MIN}=0.32T$ , ミラー比 $B_{MAX}/B_{MIN}=2.5$ とした。またミラー磁場分布を変化させるため、ミラー磁石の内側に着脱可能なミラー

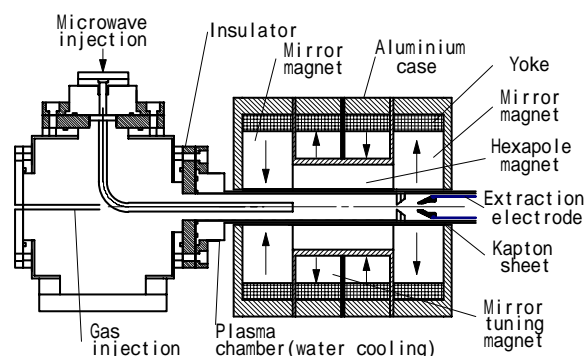


Figure 1: Cross sectional view of the ECR ion source.

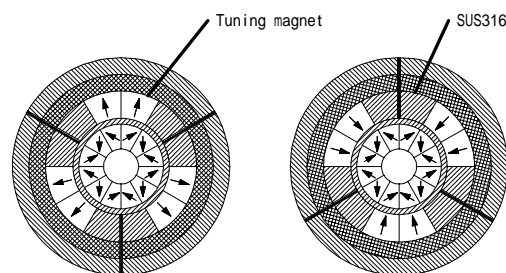


Figure 2: Cross sectional view of the mirror tuning magnets and the hexapole magnet.

磁場調整用磁石を置き、 $B_{MAX}=0.88T(1.76B_{ECR})$ ,  $B_{MIN}=0.22T$ ,  $B_{MAX}/B_{MIN}=4.0$ と変えられるようにした。六極磁場においてもできるだけ高い磁場強度が求められるが、ミラー磁石と同じN48Hを用いてプラズマチェンバーの温度上昇から磁石温度が45℃になると仮定すると、数%減磁することが判った。そこで六極磁石の着磁方向(着磁方向45°)と相反する向きとなる調整用磁石をFig.2のように非磁性体(SUS316)にし、さらに耐熱性の高いN44MHを選択した。チェンバー表面における径方向の磁場強度は0.80Tとなった。Table 1に主要パラメーターを示す。

Table 1: Specification of the ECR ion source.

Microwave:		
Frequency		14GHz
Maximum power		125W
Mirror magnet:		
Material		NeFeB (N48H)
Length		240mm
Outer diameter		182mm
Inner diameter		41mm
Maximum field strength		0.88T
Minimum field strength		0.22T
Hexapole magnet:		
Material		NeFeB (N44MH)
Length		120mm
Outer diameter		102mm
Segment		12piece
Inner diameter		41mm
Radial field at 16mm		0.80T
Plasma chamber:		
Outer diameter		39mm
Inner diameter		32mm
Material		SUS316

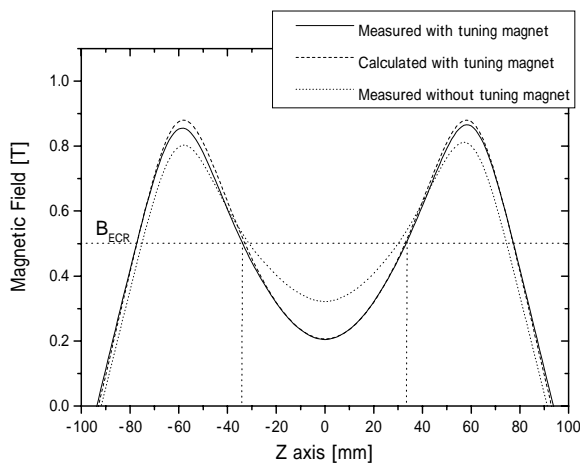


Figure 3: Axial magnetic field

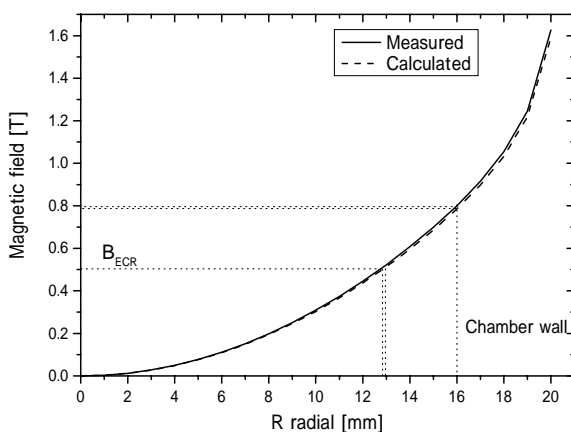


Figure 4: Radial magnetic field distribution.

Fig.3およびFig.4にミラー磁場，六極磁場の計算結果と磁気回路の実測結果を示す。計算による共鳴領域は長さ110mm，直径25.4mmであるが、実測値は長さ109mm，直径25.8mmであった。また磁場分布は $B_{MAX}=0.86T(1.7B_{ECR})$ ， $B_{MIN}=0.20T$ ， $B_{MAX}/B_{MIN}=4.3$ であった。ミラー磁場調整用磁石を取外した場合には実測の長さは90mmとなり、 $B_{MAX}=0.80T(1.6B_{ECR})$ ， $B_{MIN}=0.32T$ ， $B_{MAX}/B_{MIN}=2.5$ であった。

## 2.2 マイクロ波アンプおよびプラズマチェンバー

マイクロ波発振器には周波数安定度が高く、低ノイズとする為DRO(Dielectric Resonator Oscillator)を使用した。またマイクロ波アンプには最大出力125WのTWT(Traveling Wave Tube)を採用した。プラズマチェンバー(SUS316製)は冷却水路を持つ内径32mm外径 38.5mmの2重管構造とした。

## 3. 試験運転結果

ミラー磁場調整用磁石をはずした状態でアルゴンガスを導入し、TWT出力10Wでプラズマを生成し、6kVでイオンを引き出した。得られたビームスペクトルをFig.5に示す。Ar<sup>6+</sup>は300nA，Ar<sup>9+</sup>は30nAである。引出系の最適化を行うことによりビーム電流が増加するものと期待している。

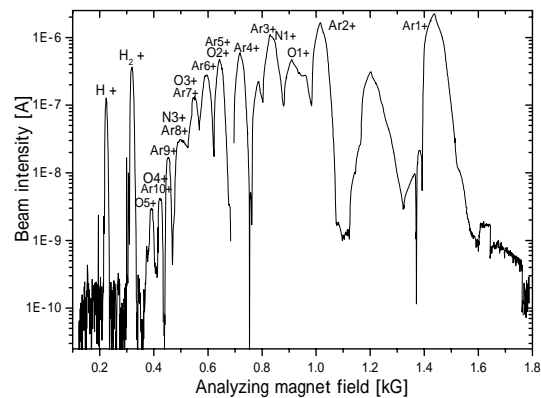


Figure 5: M/Q spectrum for the test

## 4. 今後の予定

引き出し系の最適化を行いビーム電流の増加を図るとともに、ミラー磁場調整用磁石を据付た場合の効果を検証する。

## 参考文献

- [1] S. Okumura, et al., "Temperature control of a cyclotron magnet for stabilization of the JAERI AVF cyclotron beam", Proc. 16th Int. Conf. on Cyclotron and their Applications, East Lansing, USA, 330 (2001).
- [2] T. Nara, et al., "Status of ECR ion Source at JAERI", Proc. 9th Symp. on Accelerator Science and Technology, Tsukuba, Japan, 89 (1993).