

## DEVELOPMENT OF A BUNCER CAVITY USING MA CORES

Tadashi Koseki<sup>A)</sup>, Yoshiaki Chiba<sup>A)</sup>, Akira Goto<sup>A)</sup>, Yukimitsu Ohshiro<sup>B)</sup>, Masao Watanabe<sup>C)</sup>, Shin-ichi Watanabe<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> Cyclotron Center, RIKEN, 2-1 Hirosawa, Wako, Saitama 351-0198

<sup>B)</sup> Center for Nuclear Study (CNS), the University of Tokyo, 2-1 Hirosawa, Wako, Saitama 351-0198

<sup>C)</sup> J-PARC, JAERI, 2-4 Shirakata, Shirane, Tokai, Ibaraki 319-1195

### Abstract

A newly developed rf buncher has been installed in a beam transport line of an ECR ion source, HiECR, in CNS of the University of Tokyo. The buncher is a compact size cavity having magnetic alloy (MA) cores. It has a low Q-value less than 1 and operates in the wide frequency range between 18 and 45 MHz without any tuning systems. Bunched beams of  $H^+$ ,  $O^{5+}$ ,  $Ar^{8+}$  were successfully formed by the buncher and measured using a newly designed Faraday cup with a high frequency response. In this paper, design of the MA-loaded buncher cavity and the beam test results are presented. A brief summary of the beam transport line of the HiECR ion source is also given.

## 磁性体合金を用いたバンチャー空洞の開発

### 1. はじめに

東大CNSにおけるECRイオン源HiECRは、従来、ECRプラズマの基礎特性の研究やイオン源としての技術的開発に用いられてきたが[1]、その他にイオン源から引き出されたビームを利用したイオン衝突や生物照射の実験にも使用されている。最近では、理研サイクロトロン用ビーム電流モニターの開発に用いられ[2]、低エネルギー重イオンビームのサイクロトロンへの入射に関する基礎研究にも使用されつつある。このような重イオンビームの利用においては、イオン源から引き出されたビームを目的に応じた周波数でバンチ化することが求められている。特に理研におけるサイクロトロン群の周波数でバンチしたビームを供することはモニター系の開発に不可欠である。

一方、近年、磁性体合金 (MA) を負荷した加速空洞 (以下、MA空洞と呼ぶ) が開発され[3,4]、主に数MHzの周波数帯で実用化されている。MA空洞の持つ特徴の一つに、Q値が小さくインピーダンスが広帯域に渡る点があげられる。また、インダクタンスが大きいと、ハドロン用の加速空洞に要求される低い共振周波数を比較的小型の空洞で得ることができる。

これらのMA空洞の利点を考慮し、我々はイオンビーム用のバンチャーとしてMA空洞を設計・開発し、HiECRのビーム輸送系に設置することにした。

### 2. バンチャー空洞

バンチャーの運転周波数は、主にサイクロトロン用ビームモニタの開発研究のための運転を想定し、RIKEN Ring Cyclotron の運転周波数にあわせて18MHz ~ 45MHzとした。MA空洞を用いることによって、周波数の調整機構なしにこの広い周波数領域をカバーすることができる。この周波数領域はこれまでに実用化されているMA空洞よりもかなり高

い周波数であるが、理研では、以前、RIBFの第2期として計画されていた蓄積冷却リングACR (周波数領域 20-40MHz) にMA空洞を用いる可能性を検討した経緯がある。そこでは、ACRの周波数領域において、MA空洞が従来の低周波数帯と同様の利点を有することや、幾つかの磁性体合金の試料の中でFINEMET (FT-3M、日立金属) が最も空洞に適した特性を示すことなどが確認されている[5]。

なお、空洞は、将来のイオン源のエネルギー増強などにも対応できるように、可能な加速電圧に十分な余裕を持つ設計を目指した。

MA空洞では、ドーナツ状のコアを径方向にカットして2等分し、切断面間の距離が適当になるよう配置することによって、空洞のインダクタンスやQ値を選ぶことができる[3,5,6]。バンチャー空洞の詳細設計に先立ち、実機サイズの磁性体合金を試験するためのモデル空洞を製作し、FINEMETのカットコアの高周波特性を測定した[7]。

これらの結果を元に設計・製作されたバンチャー空洞 (実機) の断面図を図1に示す。構造は単純な $\lambda/4$ 型空洞で、ビーム軸方向の長さは120mmである。MAコアとしては、FINEMETのカットコアを2セット用いた。空洞の共振周波数はカットコアのギャップ幅に依存するが、ここでは共振周波数を30MHzにするためにコアギャップを0.5mmとした。一方、加速ギャップにはマコールのリングをスペーサとして用い、その両側にバイトンのOリングを取り付けて真空を封止している。HiECRでは現在の引き出し電圧が10kV程度なので、Transit time factorを上げるために、加速ギャップには2枚のメッシュプレートを5mmの間隔で取り付けてある (取り外しも可能)。メッシュプレートは0.1mm線の八角形メッシュからなり、ビームの透過効率は約83%である。

空洞の加速ギャップにおけるアドミッタンスを、インピーダンス・アナライザー (HP4195A、

HP41951A) を用いて測定した結果、空洞の共振周波数は29.5 MHz、共振周波数におけるシャント・インピーダンスとQ値は、それぞれ150 Ω、および0.7であった。また、共振周波数におけるインダクタンスは0.7 μH、加速ギャップにおける全キャパシタンスは、約40 pFと見積もられた。

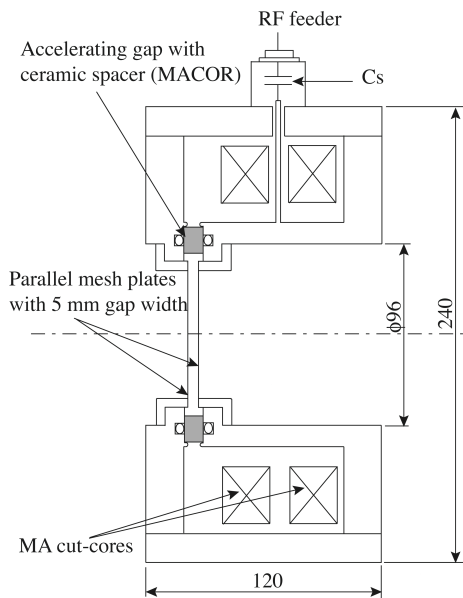


図1：空洞断面図

空洞は50Ωの同軸ケーブルを経てrfアンプ(T145-6567A, Thamway)に接続される。入力インピーダンスを整合させるために、図1に示したように入力に対してコアを並列に設置し、さらに高Q値のコンデンサーCsを直列に接続している。Csのキャパシタンスを変えて測定した入力VSWRの周波数依存性を図2に示す。この結果より、キャパシタンスとしてはVSWRが良い200pFを選んだ。運転周波数の全範囲でVSWRを1.4以下にすることができる。

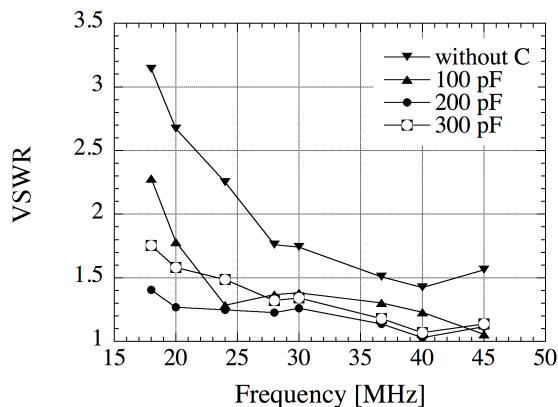


図2：入力VSWRの周波数依存性

空洞の加速電圧と空洞損失の関係を図3に示す。ここで、加速電圧は加速ギャップにおいて高圧プロ

ープ(P5102, Tektronix)を用いて測定し、空洞損失は空洞への投入電力の透過、及び反射をベクトル電圧計(HP8508A)で測定することによって求めた。

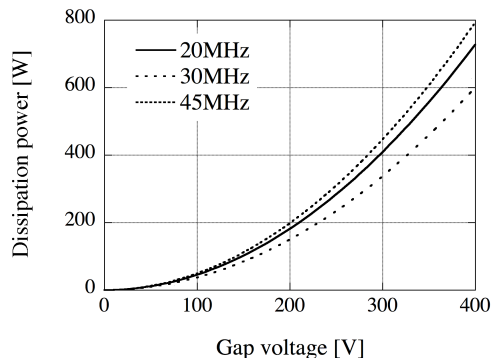


図3：加速電圧と空洞損失

### 3. ビームラインとモニター

HiECRイオン源のビーム輸送系ラインは、エネルギー分析システムを兼ねた偏向電磁石と、四極電磁石のトリプレット、及び収束用アインツェルレンズからなる。イオン源出口からビームライン端部までのビームエンベロープ(2.24σ)の計算結果を図4に示す。ここではイオン源から引き出されるビームのエミッタンスを実測に基づき30πmm・mradと仮定している。イオン源出口からビームライン端部までの距離は約6.4mで、端部におけるビームの広がり片側約15mmとなる。端部にはモニター用のファラデーカップ(FC2)が設置されており、ビームストッパーの役割も兼ねている。その他には、偏向電磁石下流にファラデーカップ(FC1)、アインツェル上流にワイヤプロファイルモニターなどのモニター系を備えている。

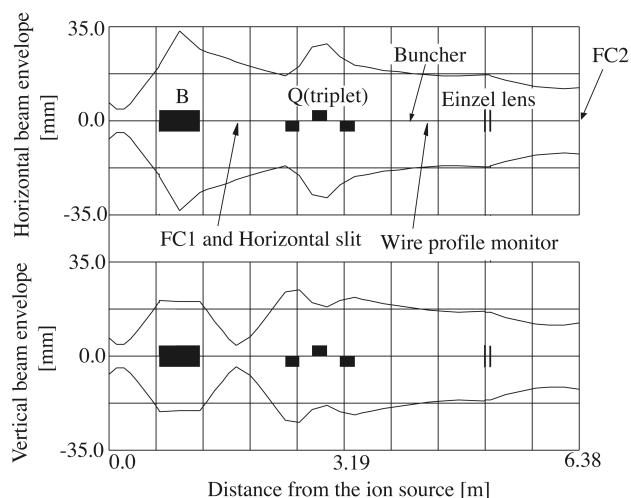


図4：HiECRビーム輸送系のオプティクス

FC2はバンチ・ビーム測定のために、今回、新たに設計、製作したもので、その断面図を図5に示す。

カップ本体は同軸構造を持つ銅製のブロックで、 $\phi$ 150mmのステンレス・フランジにマウントされている。同軸部のインピーダンスは $50\Omega$ で、テーパで $50\Omega$ を保ちながらBNCコネクタに接続されている。一方、カップのキャパシタンスは約2.3pFで、時定数は120psec以下になる。これは45MHzのパンチ波形を測定するために十分な応答速度である。

内導体（コレクタ）の先端には2次電子の放出を抑えるために $\phi$ 40mmのグラファイトのディスクが取り付けられている。グラファイト・ディスクでのビームパワーは、最大で10Wを想定している。これはHiECRから引き出されるビームのパワーとしては十分に余裕のある値である。

グラファイト・ディスクの前面には、2次電子抑制用にモリブデンのメッシュが設置されており、ビーム強度の絶対値を測定する場合には、このメッシュに-200V程度の電圧を加える。メッシュの透過効率は約88%である。

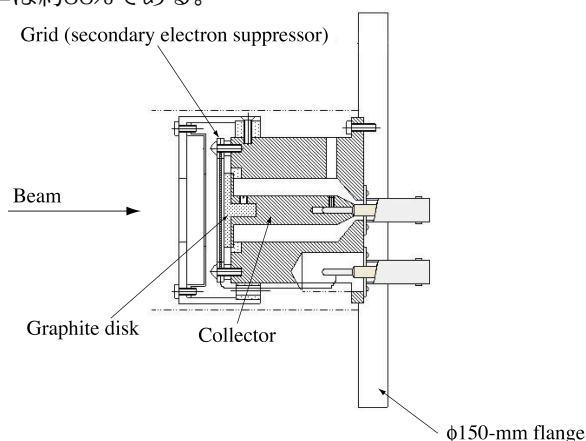


図5：ファラデーカップ（FC2）の断面図

#### 4. ビームテスト

バンチャー空洞は、イオン源のビーム引き出し部から約4.1mの位置の設置されており、空洞からFC2までの距離は約2.3mである。

ビームラインに設置された空洞の写真を図6に示す。空洞内のコアはブローワーによって下部の吹き出し口から空冷されている。

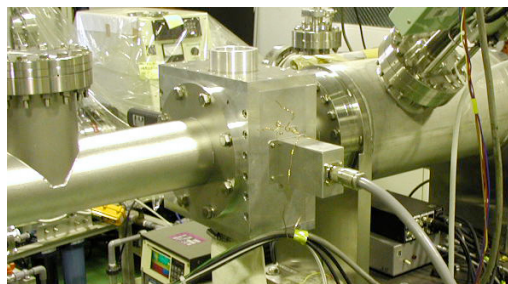


図6：ビームラインに設置された空洞

$\text{Ar}^{8+}$ 、 $\text{O}^{5+}$ 、 $\text{H}^+$ のビームをFC2で測定した典型的な波形を図7に示す。図中の実線と点線は高周波電

力のON/OFFに対応し、ONの場合のギャップにおける加速電圧は約0.1kVである。このとき、イオン源からの引き出し電圧、及びDCでのビーム強度は、それぞれ、 $10\text{kV}/16\mu\text{A}(\text{Ar}^{8+})$ 、 $11\text{kV}/13\mu\text{A}(\text{O}^{5+})$ 、 $10\text{kV}/10\mu\text{A}(\text{H}^+)$ である。ここで、各パンチの時間幅を比較すると、 $\text{H}^+$ が最も短く $\text{Ar}^{8+}$ が長いことがわかるが、これは空間電荷効果による影響と考えられる。

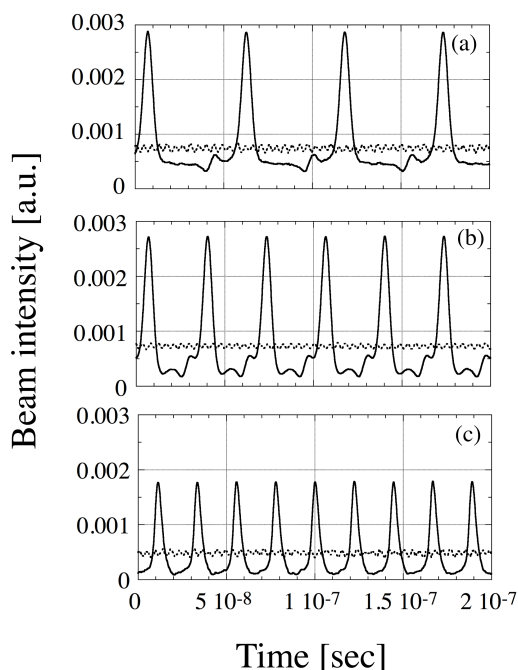


図7：FC2で測定されたパンチ波形の例。ビームの種類と rf 周波数は、(a) $\text{Ar}^{8+}$ ビーム/18MHz、(b) $\text{O}^{5+}$ ビーム/30MHz、(c) $\text{H}^+$ ビーム/45MHzである。実線と点線は高周波電力のON(0.1kV)とOFFに対応している。

#### 参考文献

- [1] T. Hattori, S. Yamada, K. Kotagawa, M. Sekiguchi and Y. Yamashita, Rev. Sci. Instrum., 67 (3), 1186 (1996).
- [2] T. Watanabe, S. Watanabe, T. Ikeda, T. Katayama, M. Kase, T. Kawaguchi and Y. Sasaki, Proc. 14<sup>th</sup> Symposium on Accelerator Science and Technology, Tsukuba, 2003, p. 99.
- [3] Y. Mori *et al.*, Proc. 1998 European Particle Accelerator Conference, Stockholm, 2000, p. 299.
- [4] M. Boehnke, F.-J. Etzkorn, R. Maier, U. Rindfleisch, A. Schnase and H. Stockhorst, Proc. 1999 Particle Accelerator Conference, New York, 1999, p. 851.
- [5] M. Watanabe, Y. Chiba, T. Katayama, T. Koseki, K. Ohtomo and H. Tsutsui, Nucl. Instrum. Method Phys. Res. A, 532, 503 (2004).
- [6] M. Yoshii, C. Ohmori, Y. Mori and A. Schnase, Proc. 2000 European Particle Accelerator Conference, Vienna, 2000, p. 984.
- [7] M. Watanabe, Y. Chiba, T. Katayama, T. Koseki, Y. Ohshiro, K. Ohtomo, H. Tsutsui and S. Watanabe, to be published in Proc. The 3rd Asian Particle Accelerator Conference, Gyeongju, 2004.