

東北大学サイクロトロン RI センター 930 型 AVF サイクロトロンの現状

藤田正広^{A)}、寺川貴樹^{A)}、遠藤卓哉^{A)}、三宅 徹^{A)}、鈴木啓司^{A)}、菅 志津雄^{B)}、千葉静雄^{B)}、大宮康明^{B)}、高橋直人^{B)}、横川茂永^{B)}、田中英二^{A)}、岡村弘之^{A)}、篠塚勉^{A)}

^{A)} 東北大学サイクロトロン RI センター 〒980-8578 仙台市青葉区荒巻字青葉

^{B)} 住重加速器サービス株式会社 〒141-8686 東京都品川区北品川 5-9-11

概要

東北大学サイクロトロン RI センターにおける主力加速器である、930 型 AVF サイクロトロンの現状について報告する。本加速器は 1998-1999 年にかけて更新され、2000 年 3 月に初加速に成功した。その後、イオン源・入射系の整備やビーム輸送系の整備を進め、2001 年度から学内共同利用を再開した。

本報告では、ECR イオン源の改良、入射系ビームバンチャー及び S 型ビームチョッパーの開発について詳しく紹介する。負イオン源の整備と負イオン加速については、遠藤が報告する予定である。

1 全永久磁石型 ECR イオン源の改良

重イオン加速用のイオン源として、14.5 GHz のマイクロ波を用いた ECR イオン源を開発した[1]。図 1 にイオン源の概略図を示す。20~50 eμA 程度の Ar⁹⁺ ビームの引出しを目標として開発されたが、開発当初は約 1/100 程度のビーム強度しか得られなかった。そのためビーム強度の増大、とりわけ多価イオンのビーム強度の増大を図るため、種々の改良を加えてきた。

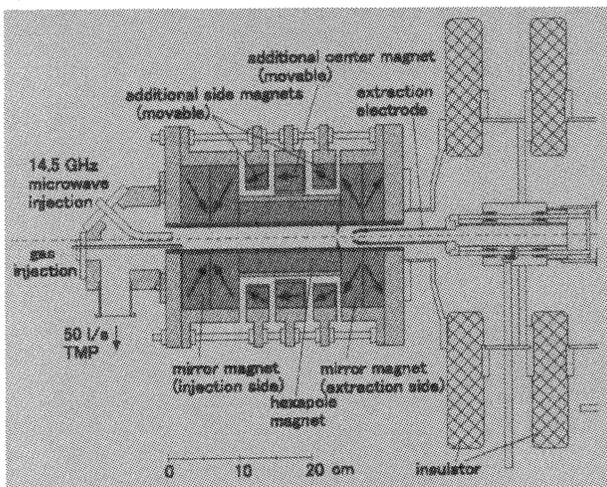


図 1: CYRIC 全永久磁石型 ECR イオン源の概略図。

まず、イオン源内部のプラズマチャンバー内の真空度を上げるために、小型 TMP (50 l/sec) を追加した。これによってプラズマチャンバー内部の真空度を 5×10^{-7} Torr 以下にすることができた。また、プラズマチャンバーのガス導入口側に仕切り板を挿入することによって、導入したガスが新たに追加した TMP で排気されるのを防いでいる。こ

の仕切り板は可動式になっているため、これを前後に動かすことによってプラズマチャンバーの長さを調整することができる。すなわち、プラズマチャンバーを一種の空洞共振器と見立てて、最もマイクロ波の反射が少なくなるように仕切り板の位置を調整できるようになった。

これらの改良に加えて、プラズマチャンバーの内径を大きくする改良を行った。開発当初のチャンバー内径は 32mm となっており、チャンバー壁面における動径方向の閉じ込め磁場の大きさは 8052 Gauss であった。G Ciavola らの報告[2] によれば、多価イオンの生成量を増やすためには、動径方向の閉じ込め磁場の大きさを ECR 共鳴磁場と比べて充分強くしなければならない。そこで壁面における閉じ込め磁場を強くするために、チャンバー壁面と磁石表面との距離を短くして、壁面での磁場の強さを強化した。その結果、プラズマチャンバーの内径は 38mm となり、壁面での閉じ込め磁場の強さを 10498 Gauss まで上昇させることができた。図 2 にチャンバー内径が 32mm の場合と 36mm の場合における Ar イオンの価数分布を示す。これを見ると、この改良によって多価イオンの生成量が增大していることがわかる。今回、これらの改良を加えることによって、当初の目標の約 1/10 程度までビーム強度を増大することができた。今後、ガス導入系の改良やプラズマチャンバー内の磁場分布の最適化などの改良を行い、さらなるビーム強度増大を図る予定である。

Charge state distribution of Argon ions

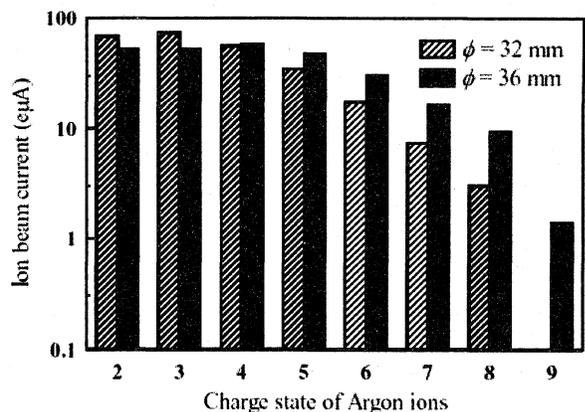


図 2: 動径方向の閉じ込め磁場に対する Ar イオンの価数分布の変化。φ=32mm, 36mm のときの閉じ込め磁場はそれぞれ 8052, 10498 Gauss である。

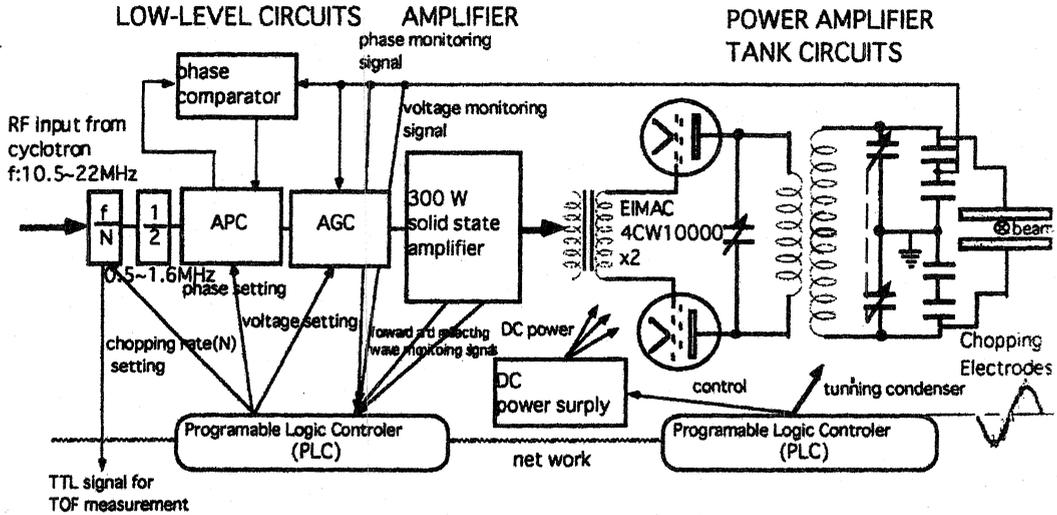


図4：S型ビームチョッパーの系統図。

2 入射系ビームバンチャーの開発

イオン源からの DC ビームをそのままサイクロトロンに入射した場合、加速位相から外れたビームは加速されずに失われてしまう。そのため、サイクロトロンのビーム強度を増強するためには、加速位相に合うように DC ビームをバンチングする必要がある。そのための装置が、ビームバンチャーと呼ばれる装置で、様々な施設で用いられている。

我々も、ビーム強度の増強を図るため、新たにビームバンチャーを開発した。図3に電極部分の写真を示す。

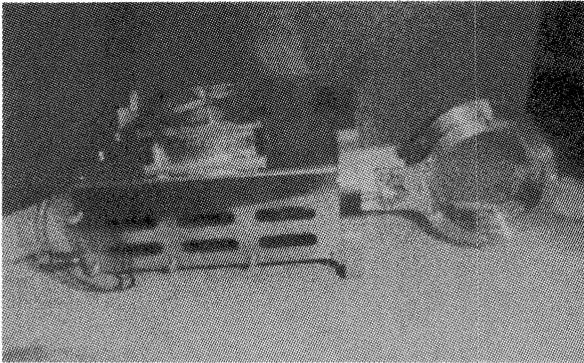


図3：ビームバンチャーの電極部分の写真。

今回開発したバンチャーはシングルギャップ方式で、電極の口径は60mm、電極ギャップは4mmとなっている。10-21MHzのRF周波数に対して、入力インピーダンスは450Ωとなっており、最大発生電圧は $V_{pp}=1.2kV$ である。

サイクロトロンの加速周波数に対して、1f, 2f, 3fの各周波数の信号を重ね合わせて鋸歯状波を合成して、電極に印加している。その際、各周波数信号の位相安定度は $\pm 1^\circ$ 以内、振幅安定度は $\pm 1\%$ 以内となっている。

これまでのところ、このバンチャーは非常によく動作しており、陽子50MeVの加速において、約8倍ものバン

チング効果が得られている。

3 S型ビームチョッパーの開発

中性子飛行時間分析(TOF)法を用いた中性子の運動量測定を行う際には、測定のダイナミックレンジを広げるためにビームバースト間隔を広げる必要がある。930型サイクロトロンでは、加速周波数が10.5-22MHzであるためビームバースト間隔は45-95nsとなる。ビームバースト間隔を5~10倍に広げるために、S型ビームチョッパーを開発した。図4にS型ビームチョッパーの系統図を示す。300Wの半導体アンプを用いて2個の真空管(4CW10000)をドライブする。チョッパー電極は幅5cm、長さ1m、厚さ5mmの2枚の銅板からなっており、そのギャップは30mmから50mmまで可変である。これらの電極間に正弦波型の電圧(最大約40kV)を印加することによってビームの間引きを行う。

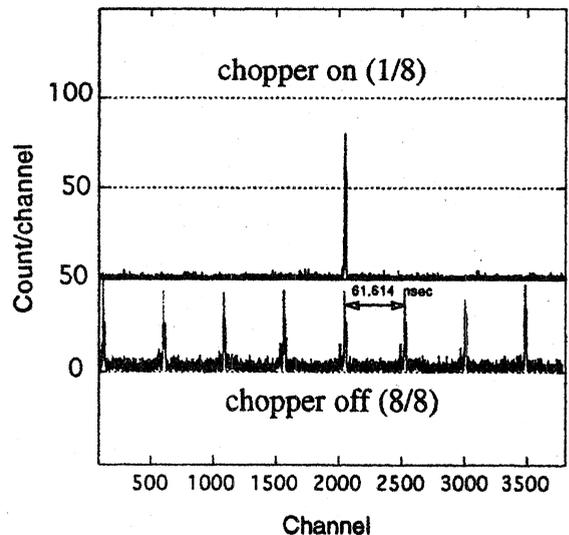


図5：チョッパーによるビーム間引きの様子。

図 5 に 1/8 間引きモードで運転時のビーム間引きの様子を示す。サイクロトロン出射ライン近くに設置されたプラスチックシンチレータを用いて、 γ -flash を測定したもので、これを見るとビームがきれいに間引かれていることがわかる。

参考文献

- [1] A.Yamazaki, *et al.*, Rev. Sci. Instrum. 73(2002)589
- [2] G.Ciavola, *et al.*, Proceedings of the 12th International Workshop on ECR ION SOURCES (1995)156