

ECR AND OFF-RESONANCE PERFORMANCES IN COMPACT MICROWAVE ION SOURCES

E.Tojyo and T.Hattori*

Institute for Nuclear study, University of Tokyo

* Tokyo Institute of Technology

ABSTRACT

Two kinds of compact microwave ion source have manufactured and tested for the proton acceleration in a split coaxial RFQ linac. The one is operated by mirror magnetic field and the other by single field. The characteristics of these ion sources are compared and discussed.

小型マイクロ波イオン源の ECR動作と非共振動作

1. まえがき

当研究所で開発し、加速に成功した4ベイン型SCRFAQ（極重イオン加速用線形加速器）の1/4モデルの陽子による加速実験に供するため、筆者たちは小型マイクロ波イオン源の製作を担当し、その動作特性の改善を進めてきた。通常の連続加速運転用のECRイオン源に対する、このような小型イオン源の機能・役割の違いを認識しつつ、昨年まで本研究会において、単一磁界による H^+ イオン生成について報告した。その後の加速実験ではミラー磁界方式でイオンを取り出し、使っているので、今回は両者の比較と纏めの報告を行いたい。

2. プラズマ生成磁界と動作真空度

マイクロ波を用いたプラズマ生成の実験によると、プラズマ生成の条件と範囲はECR磁界： $H_g = m\omega / e$ を基準にして真空度とマイクロ波入力に依存しており、真空度が $10^{-4} - 10^{-2}$ Torrの領域では H_g の値以外に広範囲にわたって非共振型のプラズマ生成可能な磁界の値域があり、この領域はマイクロ波入力を増加させると更に拡大する。一方、 10^{-5} Torr以上の比較的高い真空度ではECR磁界の近傍にプラズマ生成可能な領域が狭まってくる事が確認されている。

プラズマの生成に必要な磁界は通常、1個の永久磁石（またはコイル）か2個の永久磁石（またはコイル）のどちらかで構成される。単一コアによる磁界設定方式では主に低真空領域で作動させるので、非共振型マイクロ波放電と言っても良い。これに対しミラー磁界方式で動作真空度が $10^{-6} - 10^{-5}$ Torrにあるものは、プラズマの大部分がECR放電による。筆者たちはこの磁界を先ず、1個の永久磁石で構成して加速実験にビームを供給した。その後、放電室部分の手直しだけでミラー磁界方式に切り替え可能な事がわかり、結果的には両方の磁界設定について動作させる事ができた。

我々の用いたマイクロ波周波数2.86GHzに対応するECR磁界は1020 Gなので、コアはそれぞれ実装状態でこれより若干上回るだけの磁気特性を持たねばならない。単一磁界型で使用したコアは東北金属のLM-19で、引出し電極とリターンヨークを実装して軸上の最大磁界1250 Gが得られた。またミラー磁界型では住友特殊金属製のNEOMA X-30を使用し、コア間隔を7mmに設定した実装状態で軸上最大磁界1100 Gを得た。F

FIG.1 及び FIG.2 にそれぞれの軸上磁界分布と配置構造を示した。

3. 単一磁界によるビーム生成

FIG.3に単一磁界の場合の、真空度と引出した H^+ イオン電流の関係を示した。 H_2 ガスと空気とを適当な混成比で放電室に入れ流量を絞っていくと、どのスリット径についてもかなり鋭いイオン電流の最大点があり、この点を越えて更に流量を減らすと放電は不安定化し、急速に低下して停止する。何れのスリット径についても動作真空度は 1×10^{-4} Torr前後で、非共振型放電領域に対応している事がわかる。

この方式では引き出し電圧2kV, RF 300W, ビームスリット径2.8mmφの時, H^+ イオンが100 μ A, H_2^+ イオンが580 μ A程度得られた。これらの値は10kVに換算するとそれぞれ1.1mA, 6.4mAに相当する。なお、引出し電圧が1kV以下の場合と2kV前後の場合とではバランスする真空度が多少ずれている。放電室の寸法は直径16mmφ, 軸長12mmである。スリットの厚みは各々の口径に応じて適正值が有り得るが、本報告の測定例では総て3mm厚について行っている。

単一磁界型の動作については当初、ガス流量のかなり多い3.0-0.5cc/minの領域で動作させていたが、引出し側の真空度が $3-1 \times 10^{-4}$ Torrとなるため、加速空洞側との結合上、差動排気の必要が生じた。またこのような低真空度の領域ではリーク箇所を見逃す場合があり、そのまま動作させるとビームを安定化出来ない場合がある。また再現性も悪くなる。これらの点に注意し、ビームスリット径を2mmφ以下にしてスローリークを無くした結果、 10^{-5} Torr台での安定な動作が実現出来るようになった。

4. ミラー磁界によるビーム生成

ミラー磁界型の放電室の寸法は軸方向に種々の長さが可能であるが、使用するネオジウム鉄のコアの最大磁界に限度があるため、ミラー比・軸長とも大きく制約を受ける。実装磁界分布に整合させて放電室の軸長を31mm, その内径を20mmφと決めた。ミラー比は1.22である。以下で述べる各動作特性は総てこの条件で得られた。

FIG.2にはアンテナの位置と H^+ イオンの関係も示されている。アンテナをコアの中心の位置よりも後退させると、放電は不安定となり、コア中心の直下から内側付近に最適位置が存在する。そこで $\lambda g/4$ の長さの螺旋アンテナをこの位置に設定した。

RF入力と H^+ イオン電流の関係を、ビームスリット径をパラメーターにしてFIG.4に示した。グラフに書かれている各真空度はRF入力200Wの時の値で、この真空度(ガス流量)を変えずに各々のスリット径について、RF入力75-300Wの範囲で安定なビームが測定できた。FIG.3の単一磁界型のグラフと比較すると、スリット径が最大の2.8mmφの場合にもおよそ1桁真空度が良い事が判る。

引出し電圧とイオン電流の関係を単一磁界型と比較すると、 H^+ の H_2^+ に対する生成比が高くなっている。 H^+ イオンについては単一磁界型の同じ引出し電圧・RF入力・スリット径についてみると、ほぼ50%程度の値が得られている。

非共振動作の場合と比べて、取り出しイオンが増えた場合にも反射電力レベルがかなり残っている(サーキュレーターでダミーロードに吸収させる)。この反射波レベルは真空度によって敏感に変わるので、この対応関係を利用して、SCR FQの加速実験中は反射波レベルを注入ガス流量の測定に代わる目安として用いている。

5. 両方式の得失と製作上の問題点

FIG.5に単一磁界型とミラー磁界型の、取り出しビームスリット径Dと得られた H^+ イオン電流Iの関係をプロットした。単一磁界の場合はIは D^2 に比例しているが、ミラー磁界の場合はその1/2から2/3に留まっている。一応の結果であるが、取り出し

電流は単一磁界型の方が多い。しかし H^+ の H_2^+ 、 H_3^+ に対する生成比はミラー磁界型が優る。FIG.6はミラー磁界型の場合の H^+ イオンビーム(パルスで $11.8\mu A$,平均値で $0.47\mu A$)の時間変化の測定例で,ビーム安定度はパルス間及び数分間でおおよそ $\pm 0.5\%$,1時間当たりおおよそ $\pm 1\%$ である。調整が不十分だと2-3倍悪い場合もある。単一磁界型の動作ではこれよりやや悪い結果が得られている(ガス流量の自動制御なしの場合)。なお,ビーム引出し側真空度はミラー磁界型が 10^{-6} Torr台で動作できるが,単一磁界型では 10^{-5} - 10^{-4} Torr台なので,下流に高真空の装置を接続する場合は差動排気が必要になる。

このようなミニサイズのマイクロ波イオン源の設計製作の際に今後留意しなければならない問題点としては,次のような事項が挙げられる。

1) 放電室・引出し電極を始めとして,全般にサイズが小さいことから,軸対称で再現性の良いビームを作るには,個々の部品の製作誤差をできるだけ縮小し,ビームスリット孔・引出し電極・永久磁石・レンズ系などの共軸性を良くすること。

2) 短時間・長時間にわたって安定なビームを作るには放電室の他,各部分でのスローリークをつぶし, $0.1\text{cc}/\text{min}$ 以下の領域での流量調整の可能な,コンパクトなバルブの選定が特に重要である。

6. あとがき

この小型イオン源の製作に際しては当初,京都大学工学部での製作・動作例(単一磁界型)から多くのことを学び得たことに感謝する。また本器の製作に関しては短期間に多くの部品を当研究所工作室で製作して戴いた事に感謝する。動作特性の改善に関してはSCR FQ開発グループとSFサイクロトロン用ECRイオン源開発グループの各位に多大な助言と協力を戴いた。加速器研究部からは真空排気システムを提供して戴いた。併せて感謝する次第である。(1988年8月)

Ref.1)E.Tojyo and T.Hattori: Proc. of the 12th linear accelerator meeting in Japan (1987)156

2)J.Ishikawa,Y.Takeiri and T.Takagi: Rev. Sci.Instrum.55(4)449 (1984)

3)S.I.Nanobashvili,G.I.Rostomashvili and N.L.Tsintsadze: Soviet Phys. Tech. Phys.20(1975)280

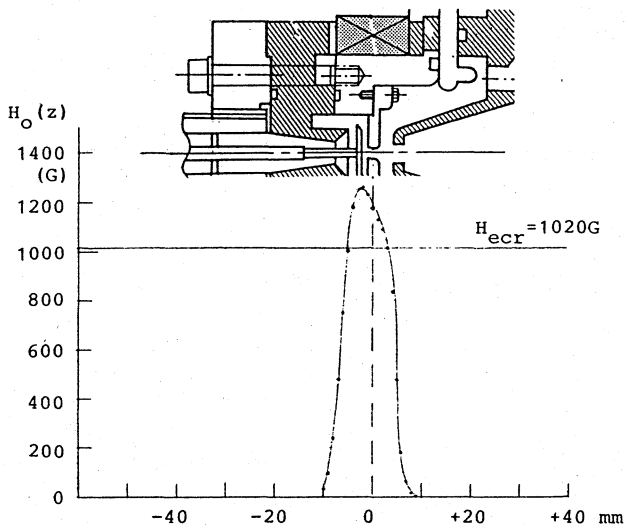


FIG. 1 単一磁界型の軸上磁界分布

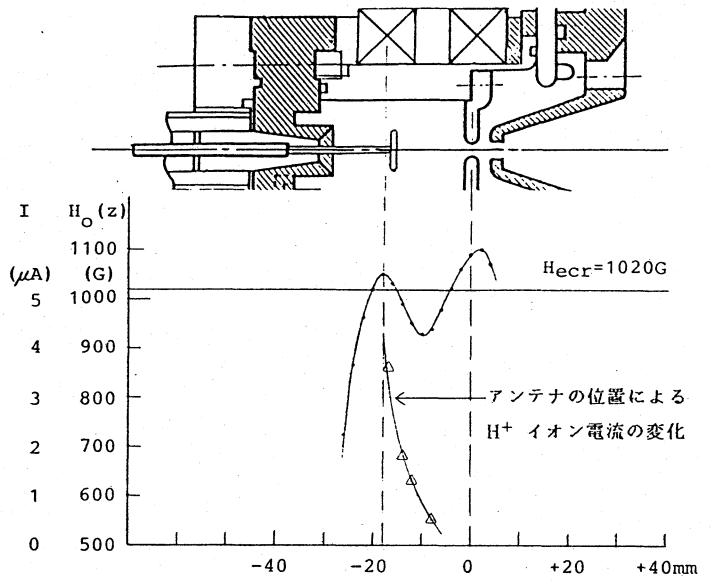


FIG. 2 ミラー磁界型の軸上磁界分布と

取出しビームのアンテナ位置への依存性

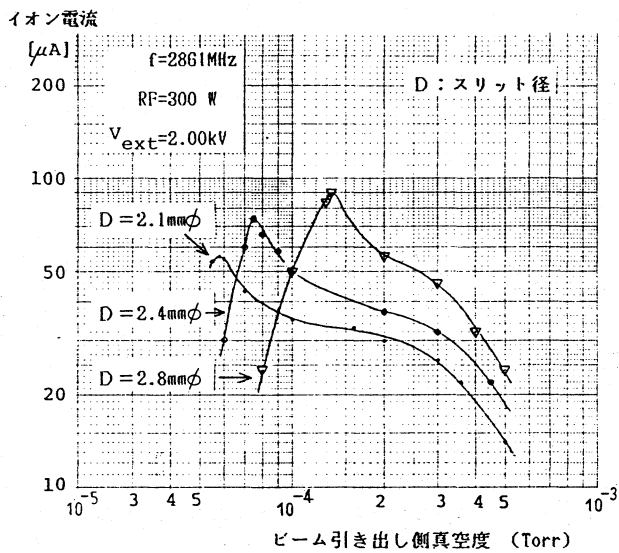


FIG. 3 真空度による H⁺ ビーム電流の変化(単一磁界型)

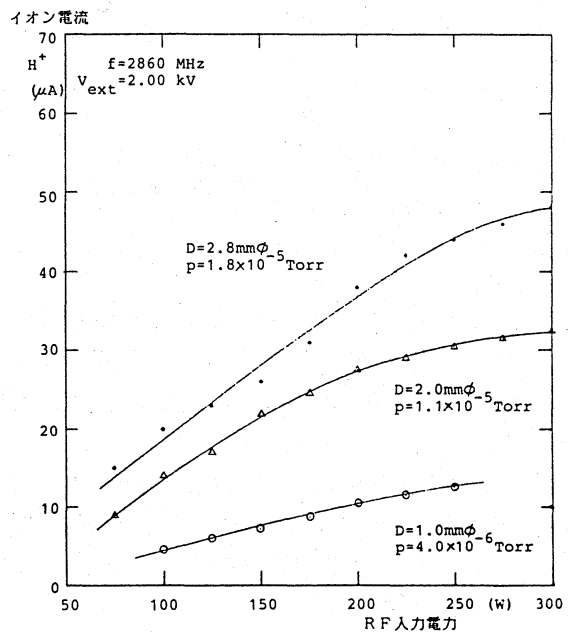


FIG. 4 RF入力電力とイオン電流(ミラー磁界型)

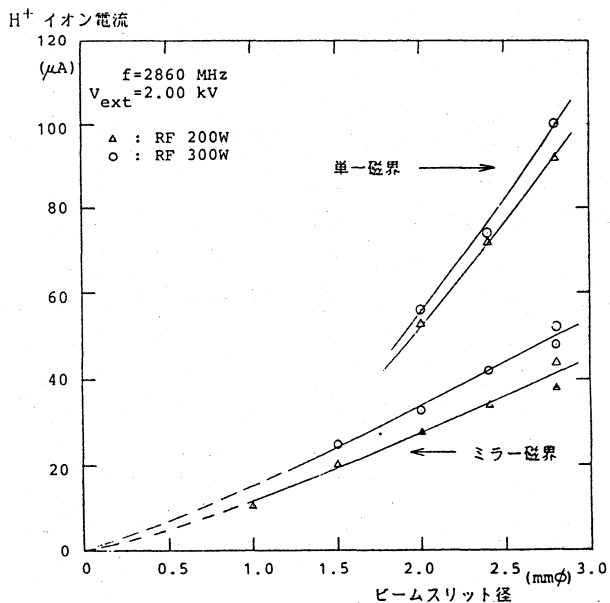


FIG. 5 ビームスリット径とイオン電流の関係

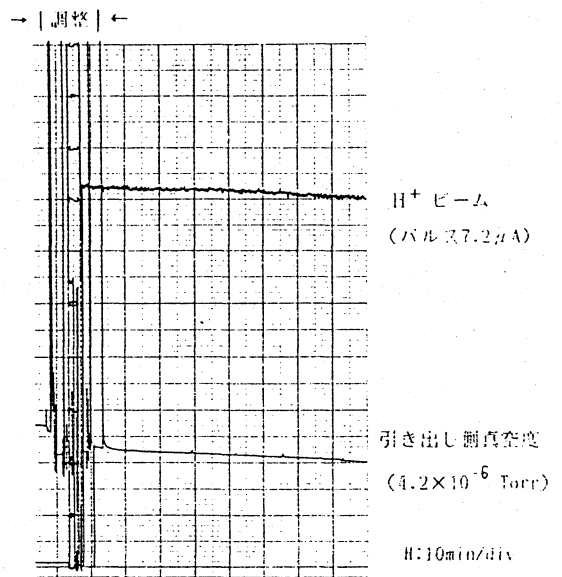


FIG. 6 イオンビームの時間変化(ミラー磁界型)