

Development of higher order mode ECR (HiECR) Ion Source
 — Preliminary results of first trial —

Toshiyuki Hattori, Takehide Hirata, Hironitsu Suzuki^A,
 Satoru Yamada^A Masayuki Sekiguchi^B, Yukimitu Ohshiro^B,
 Eiki Tojyo^B, Mituhiro Oyaizu^B and Yoshihisa Shirakabe^B

Research Laboratory for Nuclear Reactors, Tokyo Institute of Technology

A) National Institute of Radiological Sciences

B) Institute for Nuclear Study, University of Tokyo

ABSTRACT

A new ECR (HiECR) Ion Source for the multiply-charged heavy ions has been designed and manufactured to demonstrate operational capabilities of higher order mode ECR (Electron Cyclotron Resonance) discharge. Preliminary results of first trial are described for cw and pulse operation

高次モードECR (HiECR) イオン源開発研究 (II)

— 最初のテスト結果 —

1. はじめに

ECR (電子サイクロトロン共鳴) 型イオン源は、長寿命、多価大電流のイオン生成に適するなどの理由で主にサイクロトロン用として開発研究されている。そこで、線形加速器入射用高圧ターミナルに登載可能な必要電力50kW以下で、高次モードECR条件を満足する小型ECRイオン源¹⁾の開発研究を行う。さらに、パルス運転モードの線形加速器に同期したECRイオン源のパルス運転特性についての基礎研究もあわせて目標としている。

基本デザイン、詳細設計、製作を行い、東大核研SFサイクロトロン用ECRイオン源の諸電源を使用してテスト実験を行った。その結果を報告する。

2. イオン源テスト装置

HiECRイオン源、引出し系、排気系の概念図を図1に示す。テスト装置の分析系については、引出しホール(7φ)のプラズマ面をソース点として、510mmの距離にある45°偏向電磁石(軌道半径188mm)により偏向され、その電磁石から373mmの点で像を結び運動量分析されるようになっている。さらに、分析磁石手前のアインツェルレンズによりスリット位置で水平方向に収束され、収束電流量と磁場との関係を測定できるようになっている。価電状態別のイオン電流量の比が静電収束を使っているため、

分析電磁石の電流変化だけで正確に測定できる。アインツェルレンズと分析磁石の前に直径36mmのファラデーカップがあり、出射全電流量を測定できるようになっており全体のアクセプタンスは約300πmm・mrad

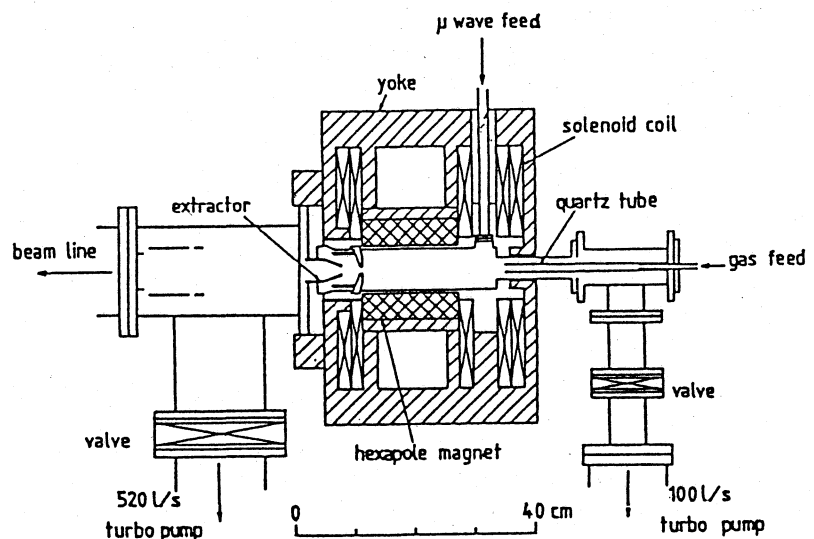


図1 HiECRイオン源、引出し系、排気系の概念図

である。

3. HiECRイオン源のCW運転特性

このイオン源は、3組と2組のコイルに2電源から電流通電することで発生するミラー磁場と、Nd-Fe永久磁石の6極磁場とによるminimum B構造をもつsingle stage ECRイオン源である。周波数6.14GHzのマイクロ波のパワーを100W~400Wの間で値を変えて連続入力し、ミラーコイル電流、ガス流量、引出し部の真空度などを変化させて多価重イオン収量の増加をテストした。ガスのミキシングなし、ミラーコイル電流600Aで分析した結果の多価ビーム強度の結果を図2に示す。

H、He、C、N、O、Ne、Arガスの場合をテストしたが、C、OはCO₂ ガスを使用しているためCの収量が2~3分の1にさがっていることがわかる。HiECR設計で参考にした仏グルーノブル・グループのFerro-MAFIOSに関しては、ビームテスト結果がまとまった形となっていないため、構造の似通っているCAPRICEのテスト結果²⁾を参考にする。HiECRとCAPRICEのデータを比較すると、N、O程度までのイオン電流はCAPRICEの70~80%程度であるが、Ne、Arの多価では10~20%にイオン電流が減じている。このことは、マイクロ波源としてHiECRは6.14GHz、CAPRICEは10GHzを使用しているためと思われる。すなわち、ECRプラズマの密度が周波数の2乗に比例することにより、イオン電流がマイクロ波の周波数に起因すると思われる。

多極磁場として4極永久磁石(Nd-Fe系NEOMAX-35)による強磁場(チェンバー表面で6.8kG)を使用した場合、多価イオン電流は6極永久磁石(チェンバー表面で5.8kG)の場合の1/10以下に減ってしまった。4極、6極磁場の差、またミラー磁場の差などかの問題は今後の課題点である。

4. HiECRイオン源のパルス運転特性

シンクロトロン入射器の重イオン線形加速器などのパルスモード運転ではイオン源自身もパルス運転が要求され、その特性が興味をもたれるところである。そこでマイクロ波のパルス幅、パルスの繰り返し、入力パワーなどを変えて、分析後のファラデーカップからの収束電流量、収束電流の時間変化などをレコーダー、オシロスコープなどを使って観測した。図3にミラーコイル600A、加速電圧8kV、マイクロ波のパワー200Wの条件で、パルス幅150ms、繰り返し300msのパルス運転と連続運転の場合のNeガスの1価から7価までのビーム強度のスペクトルを示す。CW運転では3価がビーム強度のピークであるが、パルス運転では1価が最大強度となり多価になるに従って減っていくことがわか

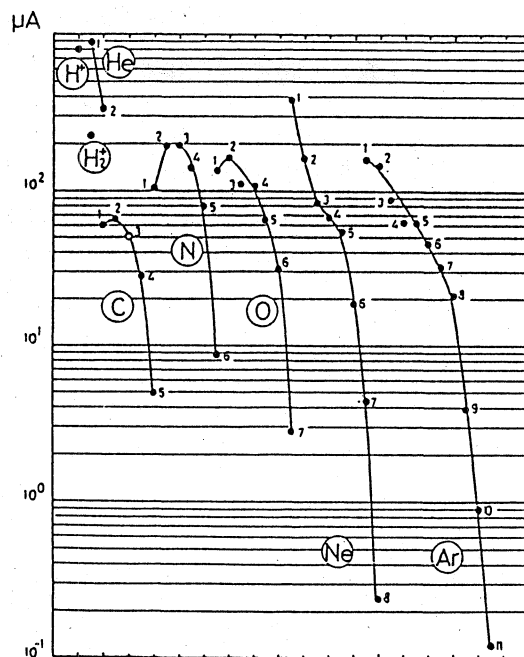


図2 多価ビーム強度

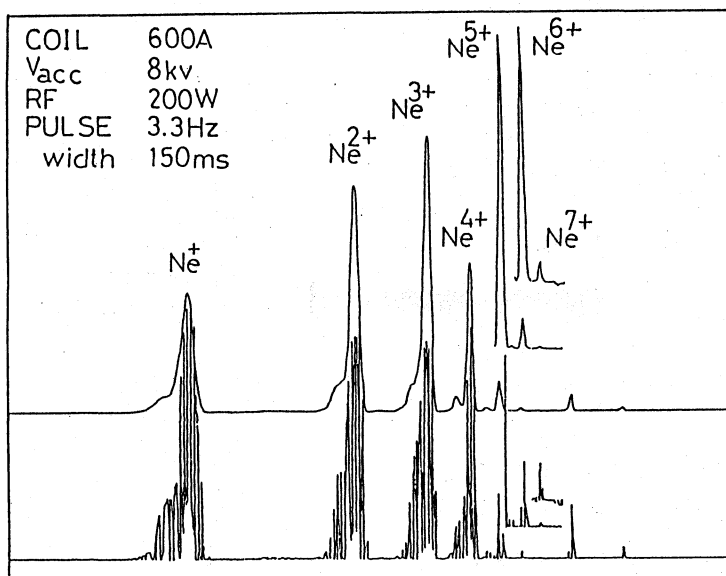


図3 パルス運転と連続運転のビーム強度スペクトル

る。これは、ECRイオン源の場合ステップ・バイ・ステップの過程を経ることによってイオンの価数が上がっていくことが考えられ、当然の結果といえる。そのことを顕著に表す、Ne 1価、2価、3価のイオン電流のパルス波形を図4に示す。

図4にパルス幅5ms、繰り返し40msの25Hz運転の場合のパルス波形を示す。イオンの価数が増すにつれて、イオン強度の立ち上がりが遅くなっていく様子がはっきりとみえる。1価イオンの場合、興味深い波形をしている。プラズマがともるときに1価イオンは大量に発生し、その後マイクロ波入力の間は、多価イオンが増加する分減少するが、マイクロ波電力供給の終了後に、キャビティ内に残っていたエネルギーによって1価イオンが生成されるため、強度が一時的に増しビーム出力は15ms程度までのびていることがわかる。

また、CW運転による電流量よりパルス運転による量のほうがピーク値で2倍程度高いことがわかった。マイクロ波入力パルス幅が5msの場合、3価以上の多価イオンではパルス運転によるピーク電流量はCW運転によるそれより減ってしまうことがわかる。

図5にマイクロ波入力のパルス幅を長くして多価Neイオン電流の立ち上がり関係を観測した写真を示す。マイクロ波200W入力のパルス運転では、Ne 4価以上の多価イオンの生成は、100~150ms以上しないとCW運転程度に達しないことがわかる。Mini-MAFIOS³⁾の、10GHzと16.6GHzのマイクロ波によるデータとHiECRの6.14GHzによるデータの違いは、両者の周波数の差を考慮するとリーズナブルな結果といえる。

References

- 1, T. Hattori, Y. Takahashi, H. Muto, E. Tojo, M. Sekiguchi and K. Sawada ; Proc. 13th Meeting on Linear Accelerator, 13, 62 (1988)
- 2, B. Jacquot, P. Briand, F. Bourg and R. Geller ; Nucl. Instr. and Meth. A. 269, 1 (1988)
- 3, B. H. Wolt et al. ; Proc. 7th Intern. Conf. ECR ion sources, Julih 1986, Report Julih - Cont - 57, 7, 103 (1986)

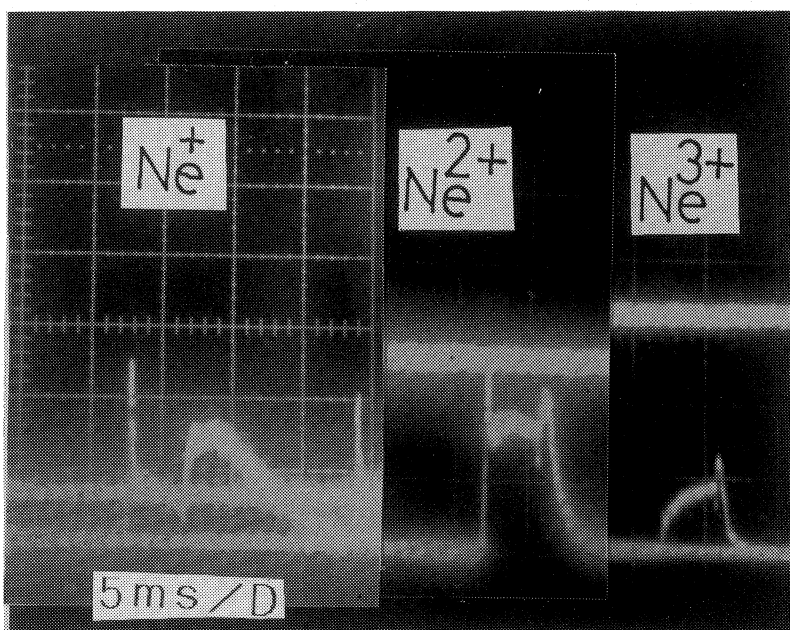


図4 パルス波形

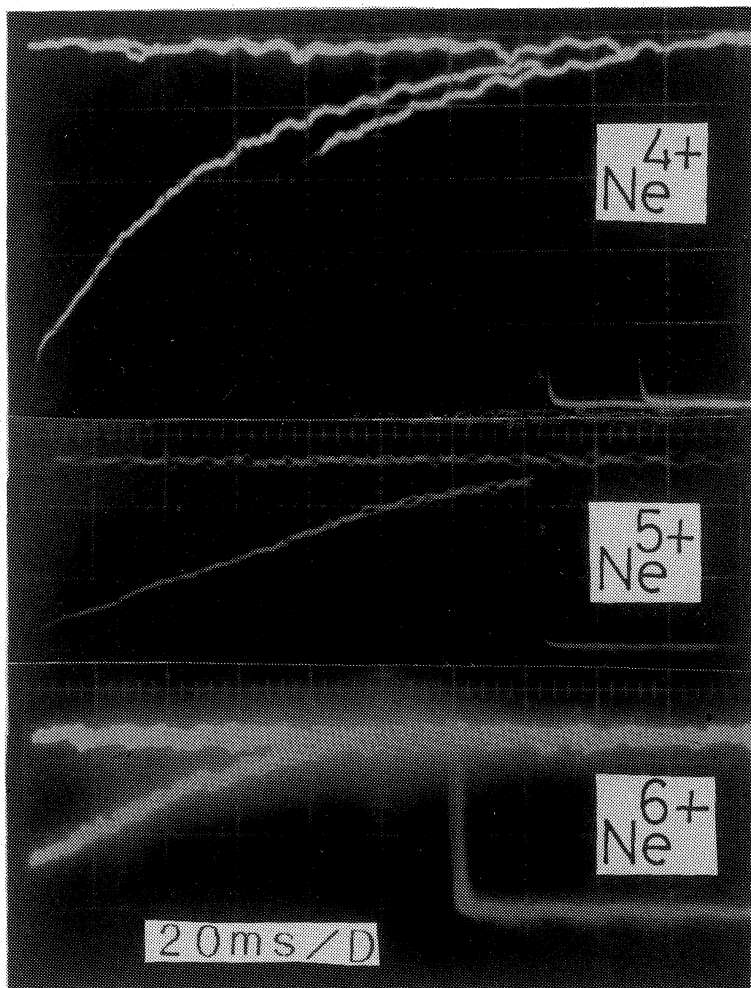


図5 多価イオン電流の立ち上がり関係