

DEVELOPMENT OF RIKEN 28GHZ SUPERCONDUCTING ECR ION SOURCE

Yoshihide Higurashi^{1,A)}, Jun-ichi Ohnishi^{A)}, Takahide Nakagawa^{A)}, Masanori Kidera^{A)}, Toshimitu Aihara^{B)}, Masahi Tamura^{B)}, Masayuki Kasae^{A)}, Akira Goto^{A)}, Osamu Kamigaito^{A)}, and Yasushige Yano^{A)}

^{A)} Nishina center for accelerator based science, RIKEN, Hirosawa 2-1, Wako, Saitama 351-0198

^{B)} SHI Accelerator Service Ltd, Ohsaki 1-17-6, Sinagawa, Tokyo 141-0032

Abstract

Since middle of the 1990s, RIKEN has undertaken construction of new accelerator facility so-called Radio Isotope Beam Factory (RIBF) and successfully produced 345MeV/u U beam (~0.01 pA on target) in 2008. However, to meet the requirement of the RIBF (primary beam intensity of 1pA on target), we still need to increase the beam intensity. For this reason, we started to construct the new superconducting ECR ion source (SC-ECRIS) which has an optimum magnetic field strength for operational microwave frequency of 28 GHz in the summer of 2007. In this article, we present the structure of the new ion source in detail, first experimental results and future plan to meet the requirements of RIBF.

理研 28GHz超伝導ECRイオン源の開発

1. はじめに

1990年代半ば以来理化学研究所において、入射核は反応を用いて大強度のRadio-isotopeビームを生成するための新しい加速器群を製作し、2007年には345MeV/uの重イオンビームの生成^[1]に、2008年にはウランビームの加速を行い^[2]、新同位元素の生成に成功している。これらのビーム生成には理研18GHz ECRイオン源^[3]を用いて行われたが、加速に必要なU³⁵⁺イオンビーム強度が2μAと要求される強度の数100分の1と低く、更なるビーム強度の増強が望まれた。このような状況の中2007年に新しいイオン源の開発が開始された。ビーム強度増強のためには高マイクロ波周波数、強磁場が必要不可欠であり、かつU³⁵⁺イオンビーム生成に最適なイオン閉じ込め時間を確保するための最適なプラズマチャンバーサイズを決定する必要がある。過去10年に渡る基礎研究の結果^[4-6]を基に

又、マイクロ波の吸収効率を増加させるために、ECRゾーンの面積をできるだけ大きくできる構造にする(Flat B_{min}構造)を設定し、超伝導コイル、プラズマチャンバー等の設計製作を行い、2009年初めに設計磁場強度の102%をクエンチなしに達成、5月には18GHzのマイクロ波を用いてプラズマの生成に成功した。本稿ではイオン源の構造、多価イオンビーム生成試験結果の詳細について報告する。

2. イオン源の構造

超伝導コイルの構造は文献^[7]に詳細に記載されているので参照されたい。ここでは磁場構造、プラズマチャンバー等に関して述べる。

磁場強度

RF入射側最大ミラー磁場 (B _{inj})	3.8T
最小ミラー磁場(B _{min})	1.0T以下
ビーム引き出し側最大ミラー磁場(B _{ext})	2.2T
最大6極磁場 (チャンバー内壁) (B _r)	2.2T

マイクロ波周波数	28GHz
マイクロ波強度	10kW

プラズマチャンバー	内径 (直径)	15cm
	長さ	50cm
最大引き出し電圧		40kV

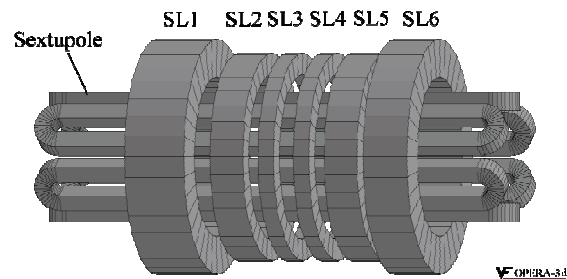


図1. 超伝導コイルの概略図

図1は超伝導コイルの構造の概略図である。6個ソレノイドコイルによってさまざまな形状のミラー磁場を形成することが可能である。図2は典型的なビーム軸上の磁場強度分布である。図2下図はB_{min}

¹ E-mail: higurasi@riken.jp

部がフラットでECR領域を広く取ることが可能である。(Flat B_{min} 構造)、上図は従来の磁場強度分布である(Classical B_{min} 構造) Flat B_{min} 構造にすることで、同じ B_{min} の場合、Classical B_{min} の1.5倍以上のECRゾーンサイズを得ることができる。

プラズマチャンバーは2重管構造で壁間に冷却水を流すことができる。冷却水はプラズマからの熱が絶縁部を高温にすることを防止するとともにプラズマチャンバーが高温になることでガスを発生し、チャンバー内の真空度を低下させることを防ぐことに使用される。

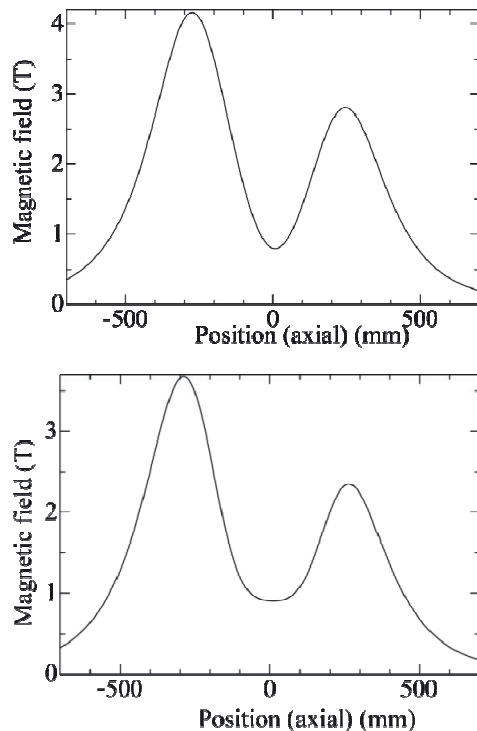


図2. Classical B_{min} (上図), Flat B_{min} (下図)磁場分布

プラズマチャンバーには最大40kVの電圧が印加されるため、カプトンシート(総厚さ~1mm)によって巻かれ絶縁されている。ビーム引き出し電極は2重電極構造で、Accel-decel構造になっている。引き出し電極位置は遠隔操作によってビーム強度が最大になるように設定される。

チャンバー中には負電圧を印加できる金属電極が設置されている。電極は遠隔操作によって位置が設定される。プラズマチャンバーは2台のターボ分子ポンプ(1100L/s)によって排気される。マイクロ波は矩形導波管によってチャンバー内に導入される。マイクロ波源は最大出力1.5kWで、2台用いることで最大3kWのマイクロ波を使用することが可能である。

生成されたビームは分析電磁石によって分析される。分析電磁石、低速ビーム用のビームラインについては文献[8]を参照されたい。

イオン源、低速イオン用ビームラインは高電圧プラットホーム(~110kV)設置されている。分析さ

れたビームは印加された高電圧(~110kV)によって加速され理研重イオン線形加速器に入射される。高電圧プラットホーム、プラットホームから加速器入り口までのビームラインについては文献[9]に詳しく記載されている。

3. 実験結果

3.1. O^{6+} ビーム

初めてプラズマが点火された後、酸素ガスを用いてテストを行った。図3は理研超伝導ECRイオン源(黒丸)、VENUS(18GHz)(白四角)^[10]の実験結果である。VENUSはローレンスバークレー研究所(USA)で製作された超伝導ECRイオン源で、現在世界最高性能を誇るイオン源である。理研のイオン源はマイクロ波の吸収効率を上げるためにFlat B_{min} 構造を用いている。図から明らかのように、理研の超伝導ECRイオン源はVENUSに比較し同じRFパワーで約2倍のビーム強度を得ている。

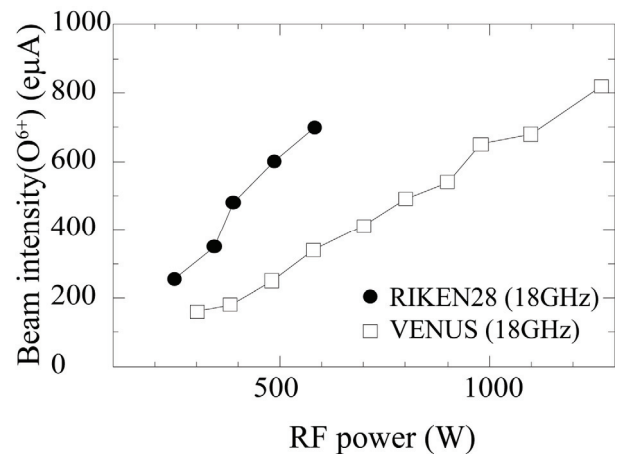


図3. 理研超伝導ECRイオン源(18GHz)とVENUS(18GHz)によって生成された O^{6+} ビームのRFパワー依存性

3.2. Xeビーム

図4は理研超伝導ECRイオン源から得られたXeイオンビームの強度分布を示す。イオン源はXe²⁰⁺イオンビームを最大にするように調整された。マイクロ波パワーは500W, 引き出し電圧は15kVである。図5はFlat B_{min} (黒丸), Classical B_{min} (白丸)を用いたときのXe²⁷⁺ビーム強度のRFパワー依存性である。ECRゾーンサイズの効果を検証するため、 B_{inj} , B_{min} , B_{ext} , B_r は双方とも同値にして実験を行った。実験から明らかのように、Flat B_{min} の方が常にビーム強度が強いのがわかる。

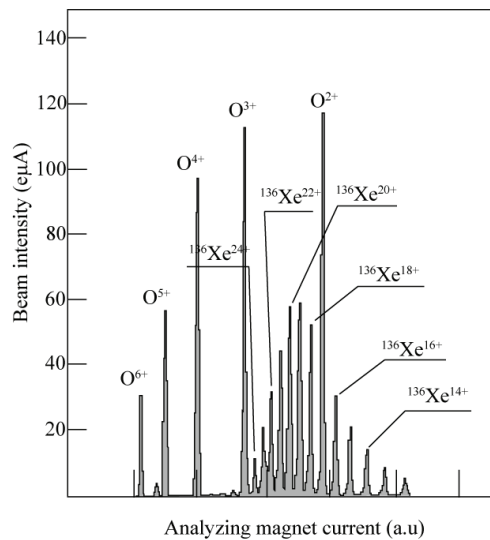


図4. Xeイオンビーム強度分布。イオン源はXe²⁰⁺ビーム生成に最適化されている。

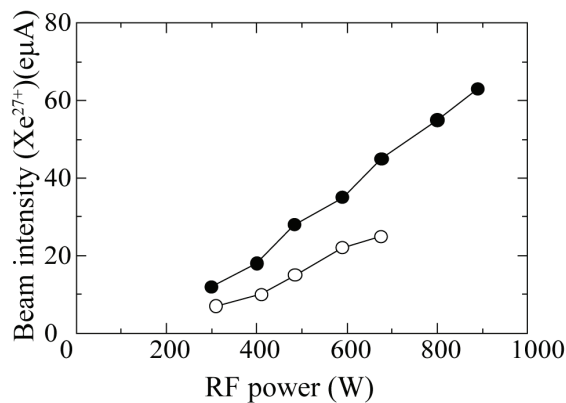


図5. Flat B_{min} (黒丸), Classical B_{min} (白丸) を用いた時のXe²⁷⁺イオンビーム強度のRFパワー依存性

他の多価Xeイオンビームに関しても同様の結果がえら得ている。増加率は1.4~2倍程度であり、ゾーンサイズに比較して若干大きくになっている。今後より系統的な研究を行っていく必要がある。

4. 将来計画

これまでのテストの結果、Flat B_{min}構造がビーム増強に有効であることが判明したが、又X-線によるクライオスタットに与えるヒートロードも大きい事もわかった。クライオスタットはGM冷凍機(4Kでの冷却能力1.5W)によって冷却されている。コイル固定用のサポート、パワーリードからの熱侵入を差し引くと、約0.6Wの余剰冷却能力を有する。定量的な測定は難しいが現状では1kW程度のRFパワーが限界である。この問題を解決するためにプラズマチャンバーの周囲にはTaシート(厚さ~1mm)を配置しプラズマから発生するX-線を吸収し、クライオスタット

に侵入することを防ぐことを計画している。強磁場によって閉じ込められたプラズマからは大量の高エネルギーX-線を発生し、クライオスタット内に容易に侵入し熱負荷を与える。TaシートはこのX-線による熱負荷を最小限に抑えることに使用される。今秋にはUビーム生成テストを計画し、数10μAのU³⁵⁺イオンビームの生成を目指している。

現在リングサイクロトロン新しい入射器として重イオン線形加速器を製作中であり、2010年度には完成予定であり、(文献11参照)この新入射器のためのイオン源として使用予定である。また28GHzマイクロ波源も2010年春には完成するため、2.8GHzマイクロ波を用いたテストも計画されている。Uビーム大強度化にはイオン源自体の性能向上に加えて大量のU蒸気の生成が必要不可欠である。このため現在、U蒸気生成のための高温用オープン製作も進められている。これらの装置を使用することで2010年度中のUビーム大強度化を目指している。

5. まとめ

2007年より新しい超伝導ECRイオン源の製作を開始し2009年春にファーストビームの生成に成功した。磁場強度分布を変化させることでECRゾーンサイズの効果を検証しその効果があることを明らかにした。現在2010年のUビーム大強度化に向けての開発が進行中である。

参考文献

- [1] Y. Yano, Nucl. Instrum. Methods B261, 1009(2008)
- [2] A. Goto, et al, Proc. 18th Int. Conf. Cyclotron and their Applications, (Giardini Naxos, 2007)p3
- [3] Y. Higurashi et al, Nucl. Instrum. Methods. A510, 206(2003)
- [4] M. Imanaka et al, Nucl. Instrum. Methods B237, 674(2005)
- [5] T. Nakagawa et al, Rev. Sci. Instrum. 75, 1394(2004)
- [6] A. Girard et al, rev. Sci. Instrum. 75, 1381(2004)
- [7] J. Ohnishi et al, in these proceedings
- [8] Y. Sato et al, in these proceedings
- [9] Y. Watanabe et al, in these proceedings
- [10] C. Lyneis et al, Rev. Sci. Instrum. 75 1389(2004)
- [11] O. Kamigaito et al, in these proceedings