

Development of 18 GHz Superconducting ECRIS at RCNP

Tetsuhiko Yorita¹, Kichiji Hatanaka, Mitsuhiro Fukuda, Mitsuru Kibayashi,
Shunpei Morinobu, Hiroyuki Okamura, Atsushi Tamii
Research Center for Nuclear Physics, Osaka University
10-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka, Japan 567-0047

Abstract

An 18 GHz superconducting electron cyclotron resonance ion source has been installed and developed recently in order to extend the variety and the intensity of ions at the RCNP coupled cyclotron facility. Production of several ions like O, N, Ar, Kr, etc. is now under development and some of them have already been used for user experiments. For example, highly multiply charged heavy ions of $86\text{Kr}^{23+,21+}$ and intense $16\text{O}^{5+,6+}$ 15N^{6+} ion have been provided for experiments. The MIVOC method for Boron ions also has been developed.

RCNP における 18 GHz 超伝導 ECR イオン源の開発

1. はじめに

大阪大学核物理研究センター(RCNP)のサイクロトロン施設では、平成16年度より、更なるビームの高品質化、高安定化及び大強度化を目指した入射 AVF サイクロトロン更新計画が実施され、AVF 加速高周波パワーの増強や高調波の導入による AVF のフラットトップ化などが行われてきた。イオン源に関しても、ビーム強度の増強及び加速可能な重イオン

ビームの拡大を目指し、18GHz超伝導 ECR イオン源が新規導入され、平成18年度以降、様々なイオンの生成試験やサイクロトロンへの入射、加速試験などの開発が進められている。

2. 装置の構成

図1に18GHz超伝導 ECR イオン源の概要を示す。このイオン源は、理研の18GHz超伝導 ECR イオン源

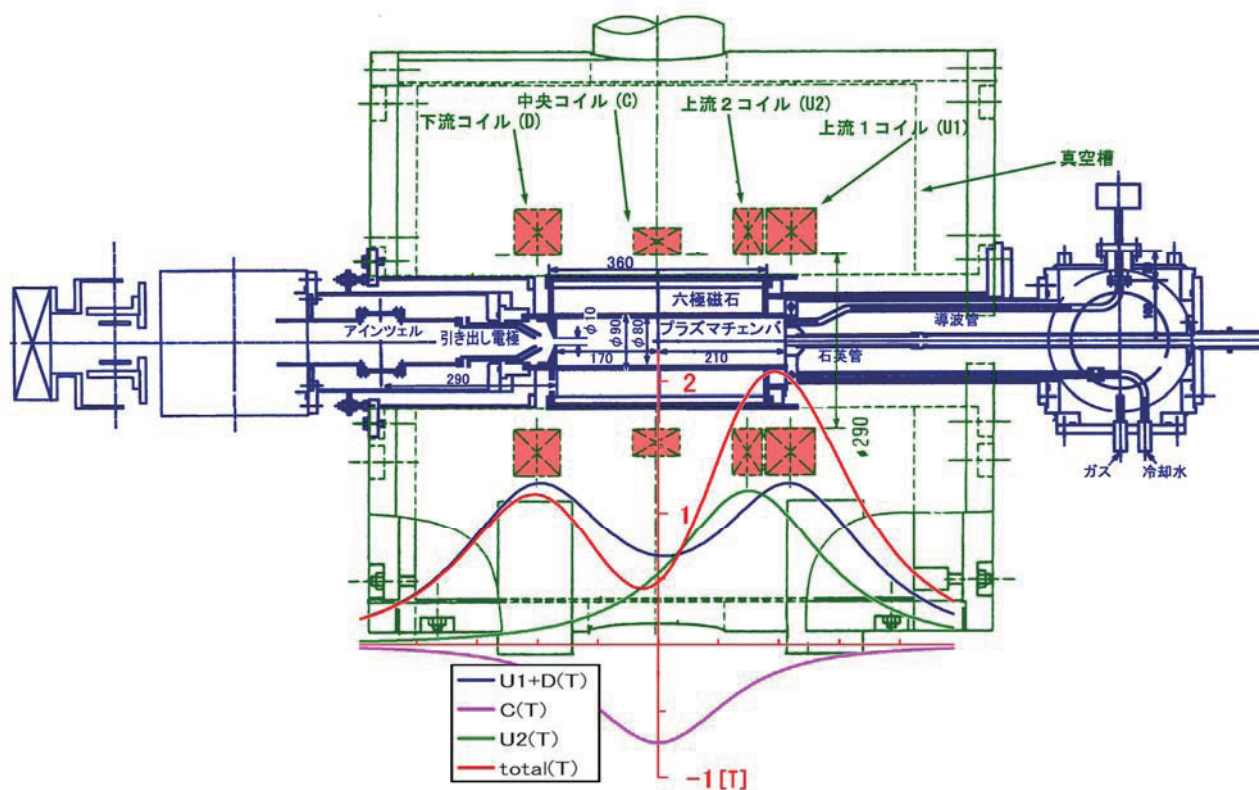


図1 : 18GHz 超伝導 ECR

¹ E-mail: yorita@rcnp.osaka-u.ac.jp

RAMESSES^[1]をベースに設計されており、RAMESSES開発時の結果を参考に6極磁石の内径を90mmに、プラズマチャンバーの内径を80mmに拡大するなどの改良が加えられている。

ミラーコイルは、4つのNbTi/Cuの超伝導コイルで構成されている。これらのコイルは冷却チャンネル等と共に真空槽内に設置され、真空槽は鉄シールドで囲われている。上流1コイルと下流コイルは同形状のもので共通の電源より励磁している。中心コイルは他のコイルと逆方向に励磁することでミラー磁場分布を調整できるようになっている。図1中に記載されているグラフは各々のコイルが作るビーム軸方向の磁場分布を示している。このときの各々のコイルの電流値は、上流1及び下流が36.3 A、中心が36.9 A、上流2が60.5 Aで、現在のところ、この値に対し数%の範囲で調整が行われている。

ミラーコイル内部にはNEOMAX-44Hで構成された六極磁石が設置され、その内側にプラズマチャンバーが設置されている。プラズマチャンバーは二重管構造で水冷されている。チャンバー下流端のビーム引き出し口は10mmである。

プラズマチャンバー内は現在1 mm厚のアルミライナーが導入されている。このライナーに関しては、3.5 mm厚のものや酸化アルミナを融着したものについても使用テストを行ったが、放電や脱ガスなどの問題で安定なイオン生成が難しいため、現在のところ1 mm厚の純アルミニウム筒を使用している。

プラズマチャンバーの中心軸上の上流側からはバイアスプローブが導入されている。プローブ先端の位置は中心コイルの中心より120~220 mmの範囲で可変である。またプラズマチャンバーに対して-500 Vまで印加可能である。これまでのテストでは、先端位置が170~190 mm、即ちミラー磁場ピーク近傍にある場合にイオン電流の最大値が得られている。

引き出し電極は補助電極と主電極の2重構造で位置は可変である。引き出し電極下流側にはアインツェルレンズが設置されている。

3. イオン生成試験

3.1 ガスによるイオン生成

ガスの導入によるイオン生成は、現在までのところ、16O, 18O, 15N, 40Ar, 86Kr についての開発が行われた。

典型的なイオンスペクトルを図2に示す。86Krでの試験結果である。横軸はECR下流側に設置されている分析双極電磁石の電流値 (arbitrary unit)、縦軸は分析後のファラデーカップ電流値 (e μ A) に対応する。これらの生成したイオンの各々の価数に対するイオン電流値を表1に示す。この電流値は、*印で示した価数のものに対して電流値が最大になるよう、ガス流量やミラー磁場、プローブ位置及び電圧などの各パラメータを調整して得られた値である。N及びOについては、従来RCNPで使われてきた永久磁石ECRイオン源NEOMAFIOSでのイオン生成量

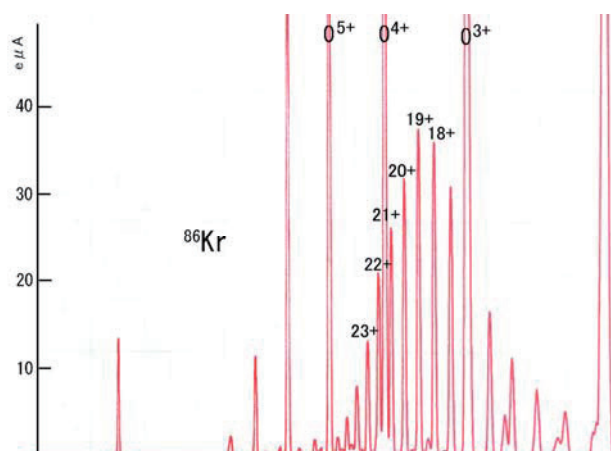


図2 : 86Krイオン分布 : RFは700W投入。サポートガスは酸素を使用。

	2+	3+	4+	5+	6+	7+	
¹¹ B	1.3	4.1	9.3	* 8.2			15kV
¹⁵ N	71	85	114	158	* 75	7	15kV
¹⁶ O	136	190	---	264	*400	53	15kV
¹⁸ O		76	140	142	*238	37	18kV

⁴He support gas

	4+	5+	6+	7+	8+	9+	
⁴⁰ Ar	9.4	---	15	20	50	57	12kV
		10+	11+	12+	13+	14+	
		---	* 46	* 27	* 12	3.9	
⁸⁶ Kr	5.1	7.8	11	16	---	31	15kV
		12+	13+	14+	15+	16+	17+
		20+	21+	22+	23+	24+	25+
		32	* 26	* 21	* 13	8.1	4.5
							2.1

*optimization ¹⁶O support gas

表1 : 各イオン種の各価数に対するイオン電流値(e μ A)。欄外に併記されているのは使用サポートガス及び加速電圧。

に比べて約一桁増の大強度化が実現した。また、Ar, KrについてRCNPサイクロトロンで加速可能な多価の重イオンビーム生成も実現する結果となった。

これらイオンのうち16O6+, 5+ や15N6+, また多価の86Kr23+, 21+ のビームが既にサイクロトロンで加速の上、実験ユーザーに供給されている。

15Nに関しては酸素をサポートガスに使用した試験も行ったが、15N6+ のイオン電流はヘリウムサポートガスの場合に比べ約半分程度であった。

3.2 MIVOC(Metal Ion from Volatile Compounds)法によるBイオンの生成

11Bイオンについては、MIVOC法によるイオン生成の開発を行った。Bイオンはホウ素結晶や窒化ホウ素をスパッタさせることにより生成する方法があるが、ここではホウ素の化合物であるo-カルボラン(C₂B₁₀H₁₂)を使用した。o-カルボランは蒸気圧が1-2 Torrと高い。そのためプラズマチェンバーに直結する容器を設置し、そこにo-カルボランを導入することで、その蒸気がガスとしてプラズマチェンバー内に定流量で引き出されることにより、安定なBイオンビームの生成が可能となる。

図3に生成した11Bイオンのスペクトルを示す。また、各々の価数でのイオン電流値を表1に示す。スペクトル中の160のピークはチェンバー壁などの残留ガスと考えられる。

サポートガスはヘリウムを使用している。水素及び酸素をサポートガスとする試験も行ったが、11B⁵⁺の電流値がヘリウムの場合に比べ、水素の場合で約1/3、酸素の場合ではほぼ0となる結果であった。

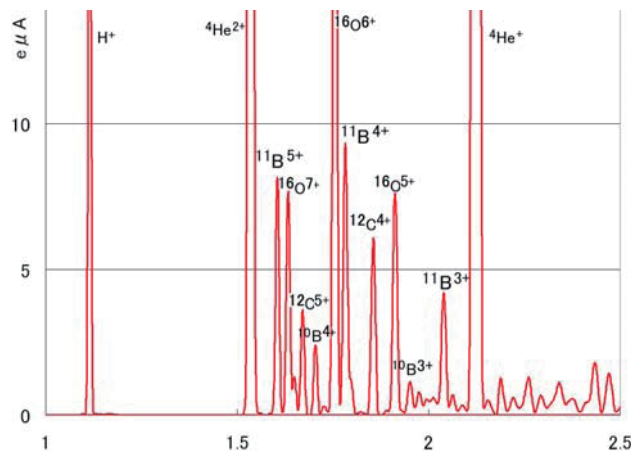


図3：11Bイオン分布

4. まとめと今後

RCNP AVF更新の一環として、18GHz超伝導ECRイオン源がビーム強度の増強及び加速可能な重イオンビームの拡大を目指し新規導入され、イオン生成試験開発が行われてきた。その結果、大電流化や重イオンビームの増強が実現した。また、MIVOC法によるBイオンの安定生成も実現した。

一方、更なるイオン強度の強化が望まれるため、ガスの混合比及び総量、サポートガス種、RFパワー、バイアスプローブの位置と印加電圧、ミラー磁場形状等の各種パラメータの詳細な最適化を行い、更に強度の高いイオン生成を目指す予定である。

参考文献

- [1] T. Nakagawa, et al., Review of Scientific Instruments 75 (2004) 1394