

Production of highly charged heavy ions from 18 GHz SCECR-IS 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 ECR ion source has been installed in order to increase beam currents and to extend the variety of ions. The production development of several ions has been performed since 2006 and some of them have already been used for user experiments [1]. Further optimizations for each component like material of plasma electrode, material and shape of bias probe and mirror filed have been done and more intense ion beams have been obtained especially for O, N and Ar [2].

In order to obtain highly charged Xe with several μA , the optimization of position and shape of plasma electrode has also been carried and highly charged Xe^{32+} beam also has been obtained successfully.

RCNP における 18GHz SCECR による重イオン多価ビームの生成

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年度より入射AVFサイクロトロンの更新計画が実施されている。この計画において、ビーム強度の増強及び加速可能な重イオンビーム種の拡大のため、イオン源として18GHz超伝導ECR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きた^[1]。

このイオン源は、ミラーコイルが4つのNbTi/Cuの超伝導コイルで構成されており、そのミラーコイル内部にNEOMAX-44Hで構成された六極磁石が設置され、更にその内側にプラズマチェンバーが設置された構造をしている。プラズマチェンバー内は1mm厚のアルミライナーが導入されている。プラズマチェ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(Fig. 1)。これまでビームの更なる大強度化や安定化を目指し、超伝導コイル電流やガス流量などのパラメータの最適化の他、プラズマチェンバー内壁及びプラズマ電極の素材の最適化やバイアスプローブの形状及び素材の見直しなどの開発が更にすすめられ、その結果40Arや180, 160, 15Nといったイオンの強度について大幅な増強が実現した^[2]。

一方、より重いイオンである ^{136}Xe については、より強度の強い、30価より多価のビーム生成が望まれていたため、各種パラメータの最適化や各コンポーネントの見直しが引き続き行われてきた。

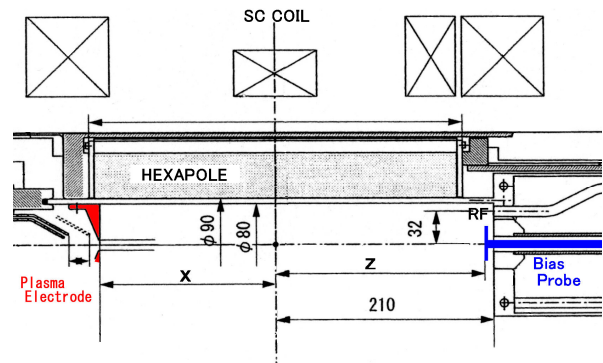


Fig. 1: プラズマチェンバー周辺の構造図

2. Xeイオンビーム

2.1 プラズマ電極及びバイアス・ディスクの最適化

Xeビーム増強のためプラズマ電極及びバイアス・ディスクの形状及び設置位置のビーム強度への影響について調べた。ビームテストはfig. 2で示す電極a-1及びディスクa-2の場合(ケースA)とする)とb-1, b-2の組み合わせの場合(ケースB)の2通りの場合について行われ、ArとXeの2種類のビーム生成の傾向について調べた。A), B)それぞれのケースにおいて、プラズマ電極のSC Coil中心からの距離を3通り変えた場合のそれぞれのイオン電流を測定した。測定結果はTable 1にまとめたとおりである。このときそれぞれの場合において、導入ガス流量やミラー磁場、バイアス・ディスクの位置と電圧といった各種パラメータはビーム電流が最大

¹ E-mail: yorita@rcnp.osaka-u.ac.jp

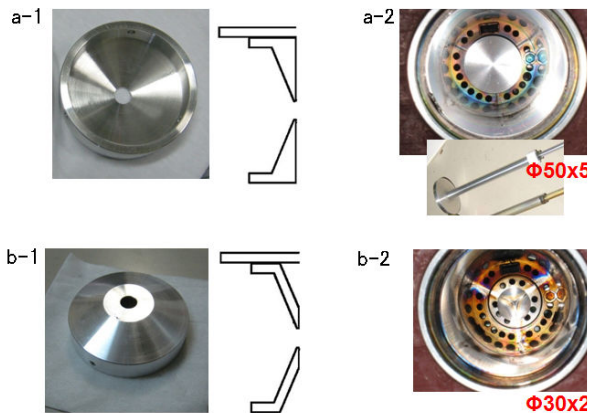


Fig. 2: プラズマ電極、及びバイアス・ディスクの形状：図中のa-1とa-2、又はb-1とb-2の組み合わせで使用した。それぞれの場合をA), B)とする。

になるよう最適化されている。

この結果、プラズマ電極のプラズマ側の構造がフラットであるケースA)ではXe32+の電流値を増やそうとXeガス流量を絞るとビーム電流1uA以上でRFの反射が大きくなりプラズマが不安定になるのに対し、電極がテーパ構造を持っているケースB)では反射の影響がなくなるためかXeガス流量を更に絞ることが可能となり、その結果X=170のときに4.2uAのXe32+ビームを得ることに成功した。このときのイオン・スペクトルはfig. 3に示す通りであった。

Table 1: Fig. 2のA), B)それぞれの場合についてのプラズマ電極位置とビーム電流の関係。

A)	x=180	x=170	x=160
Ar11+(500W)	188 <u>uA</u>	115 <u>uA</u>	
Xe32+ (770W)		1 <u>uA</u>	
Xe28+ (770W)	15 <u>uA</u>		
B)	x=180	x=170	x=160
Ar11+ (500W)	150 <u>uA</u>	140 <u>uA</u>	130 <u>uA</u>
Xe32+ (770W)		4.2 <u>uA</u>	3.8 <u>uA</u>
Xe31+ (770W)	3.5 <u>uA</u>	6.0 <u>uA</u>	
Xe28+ (770W)	15 <u>uA</u>		

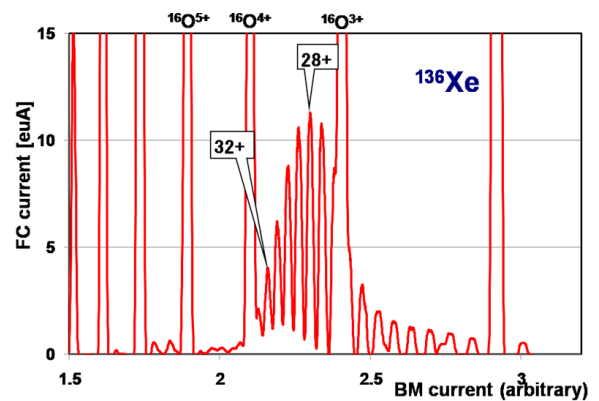


Fig. 3: Xeイオン・スペクトル

2.2 プラズマ電極形状

他方、A), B)のそれぞれの場合についてAr11+のビーム電流を見てみるとプラズマ電極位置依存性がケースB)の方が弱まっているのがわかる。これはプラズマ電極でのRFの反射が抑制された結果、プラズマチャンバー内での定在波が立ちにくくなり、そのことがArビーム電流のプラズマ電極位置依存性の減少に反映されていると考えられる。

3. バイアス・ディスク位置依存性

上記2.2項の現象にRFの定在波が関わるのかを確認するため、A), B)それぞれのケースについてAr11+ビーム強度のバイアス・ディスク位置依存性を測定した。測定はAr11+ビーム電流が最大になるよう、バイアス・ディスクの位置や電圧、ミラー磁場等々といった諸条件が最適化された状態において、バイアス・ディスク位置のみ動かすことで行われた。測定の結果はfig. 4に示す通りであった。いずれの場合もプラズマ電極位置はx=180に固定されている。この結果、ビーム電流のプラズマ電極位置依存性の場合と同様、ケースA)においてバイアス・ディスク位置依存性が大きく、Arのビーム電流強度にRFの定在波が大きく寄与している可能性が高いことがわかった。実際、fig. 4a)でのz~185近傍及びz~195近傍の大きなピーク同士の間隔は18 GHzのRFの半波長8.33 mmとほぼ一致している。

4. まとめ

大阪大学RCNPでは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、イオン生成試験開発が行われており、その結果、大電流化や重イオンビームの増強が実現し、ユーザー実験にも供給されてきた。

今回、多価の重イオン増強のため2種類の電極及びバイアス・ディスクがテストされ、RFの反射の影響を排除できるテーパ型の電極が有効であるこ

とがわかり、4.2euAのXe32+ビームを得ることに成功した。一方、Arのような比較的軽いイオンについては、フラット型の電極による定在波の立つ条件下でのほうが、ビーム強度に有効であることが明らかとなった。このことはXe32+の場合に対して、Ar11+の価数が小さいこと、そのため導入ガス圧をRFの反射が影響するほど抑えなくてよいことにより有効となる効果である考えられる。

参考文献

- [1] T. Yorita, et al., Review of Scientific Instruments79 (2008) 02A311
- [2] T. Yorita, et al., proc. of the 5th Particle Accelerator Society of Japan, Higashihiroshima, WP060, 6-8 Aug. 2008

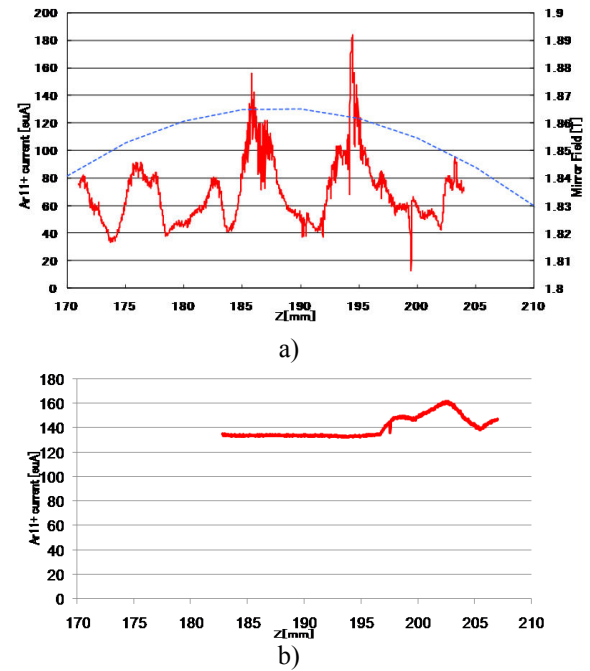


Fig. 4:Ar11+ビーム電流のバイアス・ディスク位置依存性：図a)はFig.2のA)場合。b)はB)場合。縦軸はビーム電流、横軸zはfig.1でのSC Coil中心とバイアス・ディスク前面との距離を示す。図a)にはこの領域でのミラー磁場を併記する。