

## Development of highly charged Xe beam from 18 GHz SCECR-IS at RCNP

Tetsuhiko Yorita, 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 [2], and the optimization of position and shape of plasma electrode has also been carried and highly charged  $^{136}\text{Xe}^{32+}$  beam also has been obtained successfully [3]. On the other hands, such a optimum shape or position of plasma electrode and bias disk are not so effective for light ion of O, Ar or low charged heavy ion of  $^{136}\text{Xe}^{24+}$ .

## RCNPにおける 18GHz SCECR による多価Xeビームの開発

### 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 $^{136}\text{Xe}$ についても、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るため、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続き行われ、特に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られた。このときのテストでは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ビーム生成の比較が行われた。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 $^{136}\text{Xe}^{32+}$ の電流値を増やすために $^{136}\text{Xe}$ ガス流量を絞ることを試みると、ビーム電流1 $\mu\text{A}$ 以上でRFの定在波に起因すると考えられるプラズマ

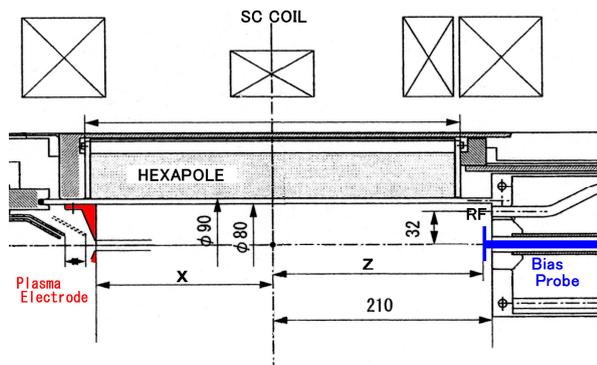


Fig. 1: プラズマチェンバー周辺の構造図



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。

の不安定性が大きくなりビーム電流増強が難しくな

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 (euA) の関係。x は fig. 1 で示すとおり。ミラー磁場、バイアスディスク位置や電圧、ガス圧等はそれぞれの場合の最適地に設定される。投入された RF パワーはイオン種横のカッコで示されるとおり。

	x=180	x=170	x=160
<b>Set A</b>			
Ar11+(500W)	188uA	115uA	
Xe32+(770W)		1uA	
Xe28+(770W)	15uA		
Xe24+(580W)	72uA	55uA	
Xe22+(580W)	71uA	60uA	
<b>Set B</b>			
Ar11+(500W)	150uA	140uA	130uA
Xe32+(770W)		4.2uA	3.8uA
Xe31+(770W)	3.5uA	6.0uA	
Xe28+(770W)	15uA		
Xe24+(640W)	73uA		
Xe22+(640W)	73uA		

るのに対し、電極がテーパ構造を持っているケース B) では定在波の影響が小さくなるため Xe ガス流量を更に絞ることが可能となり、4.2euA の 136Xe32+ ビームを得ることに成功した [3] (Table. 1: x=170 の場合参照)。

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も明らかとなった。このことは 136Xe32+ の場合に比べて、Ar11+ の価数が小さいこと、そのため RF の定在波によるプラズマ不安定性が影響が顕著になるほど低い値まで導入ガス圧を抑える必要がないことにより、逆に定在波の効果が有効になるためと考えられる。

今回、この定在波とプラズマ電極等との関係をさらに詳しく調べるために、低価 Xe のビーム生成についても各々のケースについてビームテストを行った。

## 2. 低価 Xe ビーム生成

ビームテストは Ar 及び多価 136Xe ビームの場合と同様、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 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た。測定結果は Table 1 にまとめたとおりである。これまで測定された Ar11+ 及び 28+ より価数の大きい 136Xe のデータも併記してある。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) 及び電極がテーパ構造を持っているケース B) のともに 28+ より低い価数ではイオン電流に大きな違い結果が示され、24+, 22+ のデータにおいて、投入 RF パワーがケース B) の方が大きいことを考慮すると、低価の 136Xe についても Ar11+ 同様、ケース A) の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。このことは多価の Xe の場合と違い、Ar11+ 同様に価数が小さいビーム生成の場合、RF の定在波によるプラズマ不安定性が影響が顕著になるほど低い値まで導入ガス圧を抑えなくてよいことによる効果である考えられる。

## 3. バイアス・ディスク位置依存性

2 節の現象に Ar11+ の場合と同様に 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 136Xe24+ 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+ の測定 [2, 3] 同様、136Xe24+ の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、Ar11+ 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あらわれ、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。18 GHz の RF の半波長 8.33 mm に相当する間隔でのピーク構造も Ar11+ の場合と同様、見られている。

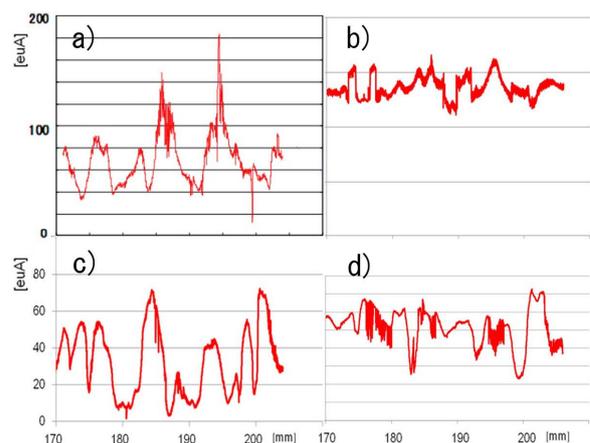


Fig. 4: Ar11+ ビーム電流のバイアス・ディスク位置依存性: 図 a) は Fig. 2 の A) 場合。b) は B) 場合。縦軸はビーム電流、横軸 z は fig. 1 での SC Coil 中心とバイアス・ディスク前面との距離を示す。また、図 c) は 136Xe24+ ビームについての A) の場合のバイアスディスク位置依存性。d) は B) の場合の 136Xe24+。

#### 4. まとめ

大阪大学核物理研究センター (RCNP) では、AVF サイクロトロン及びリングサイクロトロンでの加速ビームの強度の増強及び加速イオンの多様化を目指し、18GHz 超伝導 ECR イオン源を導入し開発を進めてきた。これまで B, C, O, N, Ne, Kr, Xe などのイオン生成の開発が行われて、B~Kr ビームについては既に実験ユーザーに供給されてきた。今回、多価の Xe ビームの増強を目指し、超伝導コイルによるミラー磁場やプラズマ電極及びバイアスプローブの形状等の条件の最適化を行った。この開発の結果、プラズマ電極のプラズマチェンバー側をテーパ構造とすることが Xe<sup>32+</sup>の生成に有効であることがわかった。一方、Ar<sup>11+</sup>などの比較的価数の低いイオン生成にはフラットな構造のプラズマ電極の方が有効であった。このことはRFの定在波の効果に関係していると考えられる。今回、子の現象について Xe<sup>24+</sup>ビームにおいてもその効果が確認された。

#### 参考文献

- [1] T. Yorita, et al., Review of Scientific Instruments 79 (2008) 02A311
- [2] T. Yorita, et al., proc. of the 5<sup>th</sup> Particle Accelerator Society of Japan, Higashihiroshima, WP060, 6-8 Aug. 2008
- [3] T. Yorita, et al., Review of Scientific Instruments 81 (2010) 02A332