

小型 ECR イオン源におけるマイクロ波2重加熱試験

EXPERIMENT OF TWO FREQUENCY HEATING AT KEI3 SOURCE

村松正幸^{#,A)}, 濱田滉太^{B)}, 加藤裕史^{B)}, 北川敦志^{A)}

Masayuki Muramatsu^{#,A)}, Kouta Hamada^{B)}, Yushi Kato^{B)}, and Atsushi Kitagawa^{A)}

^{A)} National Institutes for Quantum Radiological Science and Technology, National Institute of Radiological Sciences (QST-NIRS), Japan

^{B)} Osaka University, Japan

Abstract

A prototype compact electron cyclotron resonance ion source, named Kei3, based on Kei series has been developed to correspond to produce these various ions at National Institute of Radiological Sciences. The magnetic field is formed by the same permanent magnet as Kei2. We investigated basic performance of the Kei3 source at previous experiment. Maximum beam intensity of C^{4+} , N^{5+} , O^{6+} and Ne^{7+} were 565 μA , 185 μA , 99 μA and 50.5 μA , respectively. In order to increase a beam intensity of heavy ion such as argon, we tested two frequency heating method. Two Traveling-Wave-Tube (TWT) amplifiers were used for this experiment. Microwave frequency of TWT1 and TWT2 are 8-10 and 10-18 GHz, respectively. As a result, beam current of Ar^{8+} was increased by using two TWT amplifiers.

1. はじめに

現在、世界的に粒子線治療施設の建設が予定されている。それらの計画の中では炭素以外のイオンを加速し、研究などに用いることが計画されている。たとえば、 H_3^+ , $^3He^+$, $^{11}B^{4+}$ のようなイオンを利用する要求がある。これらの要求を達成するために、様々なイオンの供給を行える ECR イオン源(Kei3)の開発を行なっている[1]。Kei3 は、既存の炭素線がん治療装置用の小型 ECR イオン源と同様の閉じ込め磁場を採用しているため、 C^{4+} に近いイオンを生成することが可能となる。Kei3 ではこれまでに、パイアスディスク法、ガスミキシング法などを用いて、多種イオンの生成試験を行ってきた。これまでに得られた最大のビーム強度は、 He^{2+} :1950 μA 、 C^{4+} :565 μA 、 N^{5+} :185 μA 、 O^{6+} :99 μA 、 Ne^{7+} :50 μA である。窒素、酸素、ネオンの調整には、ガスミキシング法を使用している。

今回は、新たに導波管を追加し、マイクロ波2重加熱法を用いて、Ar の多価イオンのふるまいについて調査した。

2. 2重加熱用導波管の組み込み

Figure 1 にイオン源の概略図を示す。Kei3 では、永久磁石の上流側にある真空箱から、WR-90 の矩形導波管を通してマイクロ波が導入される。マイクロ波源には Xicom 社製の進行波管アンプ(XTRD-300H)を使用している。周波数が 8-10 GHz、最大出力が 350 W である。今回は新たに WR-75 の矩形導波管を設置した。WR-75 導波管は、上流側真空箱の上部から導入され、既存の WR-90 導波管の上部に設置される。2重加熱用のマイクロ波源には Xicom 社製の進行波管アンプ(XTRD-300IJ)を使用した。周波数が 10-18 GHz、最大出力が 300 W である。WR-90 導波管の先端(上流側ミラー磁場ピーク)にプレートチューナーを設置し、駆動装置を使用して遠隔操作でその位置から上流側に 30 mm 動かすことができ

[#] muramatsu.masayuki@qst.go.jp

る。

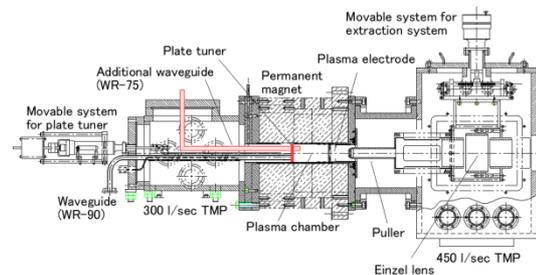


Figure 1: Schematic view of Kei3 source with additional waveguide.

3. アルゴンでのビーム試験

マイクロ波2重加熱の効果を確認するために、アルゴンでのビーム試験を行った。Kei3 は C^{4+} 生成を目的とした磁場分布なため、アルゴンなどの多価イオンの生成が困難である。今回の試験では8価のイオンに注目した。マイクロ波源を2台使用するため、既存の XTRD-300H を TWT1、新たに設置した XTRD-300IJ を TWT2 とした。まず、TWT1 のみで Ar^{8+} が多く得られたところでプレートチューナーの効果を確認した。次に、マイクロ波周波数の依存性を測定し、 Ar^{8+} と Ar^{2+} の電流値を調べた。

3.1 チューナー位置依存性

Figure 2 にプレートチューナーの位置依存性を示す。まず、TWT1 のみで Ar^{8+} が最大になるように調整し、チューナー位置の依存性を測定した。この時の引出電圧は 10 kV である。TWT1 の出力は 300 W、である。チューナーは導波管先端位置で電流が最大になり、上流側に動かしていくと電流値が下がった。 Ar^{8+} の電流値は最大 9.7 μA となった。次に TWT2 を使い周波数依存

性を測定して、 Ar^{8+} が最大となるところでチューナー位置依存性を測定した。TWT2の出力は72 Wである。TWT1のみの時と同様に、導波管先端位置で電流値が最大となり、上流に動かすと下がっていった。 Ar^{8+} の電流値は最大15.4 μA となった。

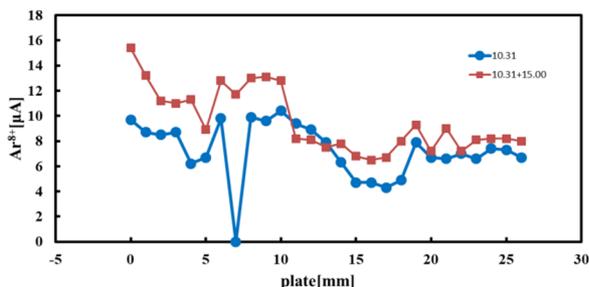


Figure 2: Dependence of tuner position at single heating (10.31 GHz) and two heating (10.31+15.0 GHz).

3.2 周波数依存性

Figure 3 に Ar^{8+} のマイクロ波周波数依存性を示す。TWT1の周波数を10.31 GHzで固定とし、TWT2の周波数を12-18 GHzまで変化させたときの Ar^{8+} と Ar^{2+} の電流値を確認した。ガス流量は Ar^{8+} が最大になるように調整した。引出電圧は10 kVである。TWT1とTWT2の出力はそれぞれ300 W、72 Wである。プレートチューナーの位置は導波管の先端(上流側ミラー磁場のピーク)である。TWT2の周波数が15.0 GHzのときに、 Ar^{8+} のビーム電流がそれぞれ12.9 μA となった。また、 Ar^{2+} のビーム電流は Ar^{8+} と逆の動きをしており、価数分布が多価に移行していると考えられる。10.0 から16.2 GHzまではTWT1のみのときより電流値が多くなっているが、それより高い周波数では電流値が下がる結果となった。TWT2のみでビームを確認したときの結果をFig. 4に示す。Kei3は10 GHz付近で性能が出るように磁場が設計されているため、高い周波数ではプラズマの維持が困難になるのがわかる。14.9 GHz以上ではTWT2単体でプラズマを点火することができなかった。

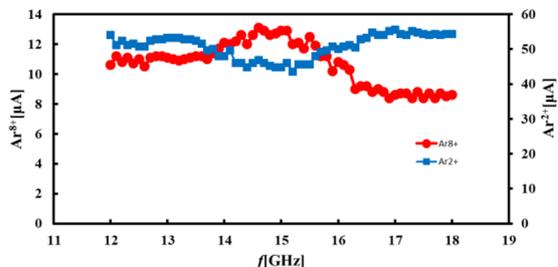


Figure 3: Dependence of microwave frequency at two frequency heating.

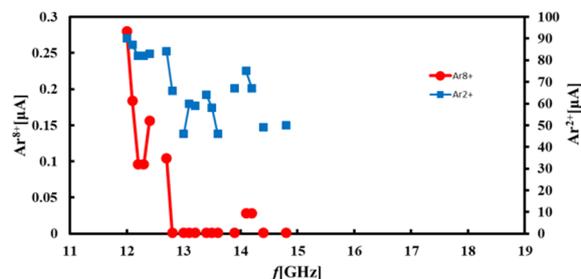


Figure 4: Dependence of microwave frequency by using only TWT2

3.3 価数分布の比較

Figure 5にTWT1のみと2重加熱時の価数分布の比較を示す。TWT1の周波数が10.31 GHz、TWT2の周波数が15.00 GHzである。2重加熱の時は単体と比較して価数分布が多価にシフトしているのがわかる。

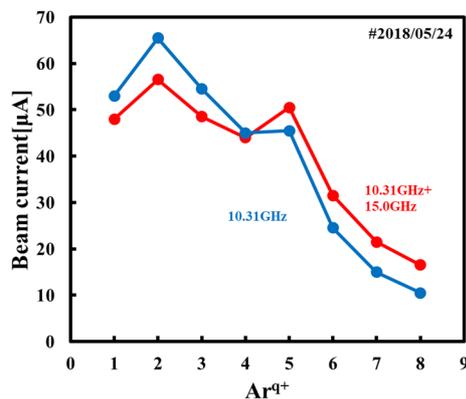


Figure 5: Charge state distributions of argon. Comparison between single heating (10.31 GHz) and two heating (10.31 + 15.0 GHz).

4. まとめと今後の予定

小型 ECR イオン源 Kei3 においてマイクロ波2重加熱の試験を行い、アルゴンの多価イオンのふるまいを確認した。単体ではプラズマの維持ができない周波数帯のマイクロ波を導入して、価数分布が多価にシフトすることが解った。今後は、さらに多価のイオンを増やすために、バイアスディスク、ガスミキシングなどの手法を組み合わせる予定である。

参考文献

[1] M. Muamatsu *et al.*, PASJ2017 WEP114