

電子サイクロトロン共鳴多価イオン源におけるガスキッキング 及びパルスマイクロ波の効果と不純物特性

Gas Mixing and Pulse Microwaves Effects and Impurities Characteristic on Electron Cyclotron Resonance Multicharged Ion Source

阪大院工 °津田知輝、針崎修平、久保渉、大和田一誠、佐藤滉一、加藤裕史

Osaka Univ., ° K.Tsuda, S.Harisaki, W.Kubo, I.Owada, K.Sato and Y.Kato

E-mail: k.tsuda@nf.eie.eng.osaka-u.ac.jp

【はじめに】電子サイクロトロン共鳴多価イオン源(Electron Cyclotron Resonance Ion Source: ECRIS)における多価イオン収量増加の経験的手段の一つとして、ガスキッキング効果が行われている[1]. 本グループでは現在、ガスキッキングによるイオンのクーリング効果をさらに能動的に高める方法として 2.45GHz マイクロ波のパルス化や低周波数電磁波の導入による多価イオン生成の高効率化を実施している[2]. 本実験では単一ガス種、軽 Z ガス種混合時およびそのマイクロ波のパルス化を行う. このとき、不純物の割合を見積もることはクーリング効果を評価するうえで極めて重要である. そのため引出されたビーム中での不純物割合に加えて、四重極質量分析器(QMA)を用いた測定を行う.

【実験方法】Fig.1(a)に ECRIS の概略図を示す[3]. チャンバーの中心を原点とし、中心軸方向を z 軸とする. チャンバー内に Xe ガスを導入し、ミッキング時には軽 Z ガスとして Ar を使用した. これらのガスはマスフローコントローラ(MFC)で導入している. Ar の混合比を変化させ、Xe の多価イオンビームに対する最適な条件を探った. 磁場はミラーコイル電流 I_A, I_B, I_C および八極磁石で構成し、ECR の共鳴領域をミラーボトム付近に形成している. 2.45GHz のマイクロ波はチャンバー側面上側($z=175\text{mm}$)のロッドアンテナで導入している. 定常モード(CW)とパルスモードが可能であり、パルス波の導入は Fig.1(b)に示すようにファンクションジェネレータ(FG)で周期 T を $10\mu\text{sec}\sim 1000\mu\text{sec}$ 、デューティ比 R を 25%~75%の間で調整し、パルス波高に応じてマグネトロンから導入される 2.45GHz マイクロ波がパルス変調することで給電できる. また、生成されたプラズマの電子密度 n_e および電子温度 T_e はチャンバー上流側のラングミュアプローブ LP1($z=-175\text{mm}$), 下流側の LP2($z=175\text{mm}$)により測定が可能である. また、下流のポートに取り付けられた QMA によりチャンバー内部のガス構成の測定が可能である.

【実験結果】本実験では全圧を $2.0 \times 10^{-4}\text{Pa}$ で一定の下、 $I_{A,B}$ が 150A, マイクロ波の入射平均電力が 100W となるよう設定し、ガスの分圧を調整した. また、 I_C 等の引出し条件を調整し、 Xe^{7+} で最適化を行った. Fig.2 に CW で Xe のみ(Pure Xe), Xe に Ar をミッキングしたとき(Xe/Ar Mixing), マイクロ波をパルス化したとき(Xe/Ar Mixing with pulse μw)のビーム電流値の結果を示す. Pure Xe と Xe/Ar Mixing を比較すると 1~4 価については減少、5~7 価では増加していることが確認できる. また、パルス波($T=1000\mu\text{s}$, $R=50\%$)の導入により全体としてビーム電流の増加がみられた. 本講演においてはマイクロ波のパルス導入における多価イオンビーム電流に対する不純物レベルをビーム電流および QMA から測定した結果および同様の結果が得られた Ar-He ミッキング実験での結果を報告する予定である.

【今後の予定】ガス混合によるクーリング効果の確証を得るためにエミッタンス測定を行い、イオン温度の測定を試みる予定である.

[1] M.Muramatsu, et. al, Rev. Sci. Instrum. 87, 02C110 (2016)

[2] 針崎 修平, 他 第 68 回応用物理学会春季学術講演会(2021)

[3] 津田 知輝, 他 第 81 回応用物理学会秋季学術講演会(2020)

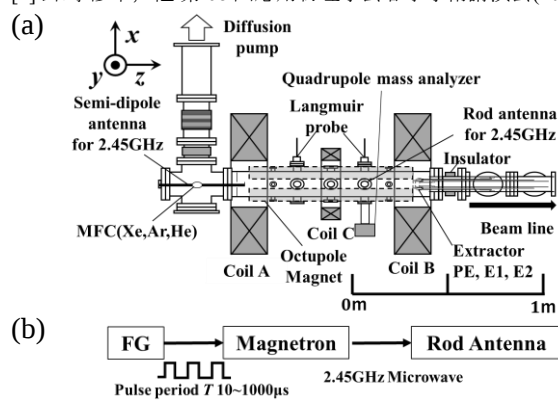


Fig.1 (a)ECRIS 概略図 (b)パルス波導入経路

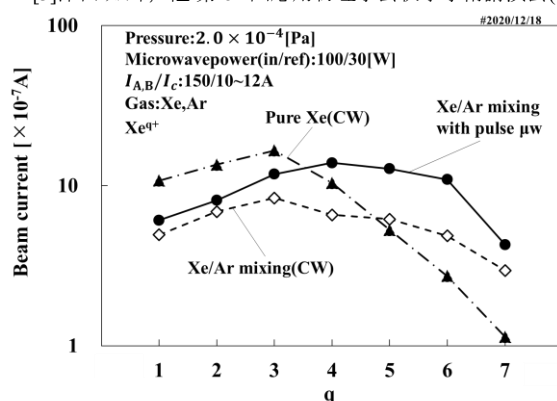


Fig.2 Xe-Ar 混合比特性