

ECR 多価イオン源の電子エネルギー分布関数の空間分布と磁力線との対応

Spatial Distribution of Electron Energy Distribution Function along to Field Lines on ECRIS

阪大院工¹, 阪大工², ○熊倉翔¹, 今井洋太¹, 長家知生¹, 西岡田卓也¹, 上田和輝², 萩野尚吾²,
佐藤文信¹, 加藤裕史¹, 飯田敏行¹

Osaka Univ, ○S.Kumakura, Y.Imai, T.Nagaya, T.Nishiokada, K.Ueda, S.Hagino,

F.Sato, Y.Kato, T.Iida

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

【はじめに】プラズマを利用したイオンビーム生成は、がん治療をはじめとした医学分野や半導体プロセスなど様々な分野で応用されている。その中で高価数のイオン種の生成過程やイオンビームの生成、制御の研究は効率化のために重要性が非常に高い。これまで、我々は電子サイクロトロン共鳴(ECR)プラズマを対象にプローブによる従来の方法及び電子エネルギー分布関数(EEDF)を用いた評価法によって多価イオン生成に適したプラズマの生成、制御に関する研究を行ってきた^[1]。本学会でも EEDF を用いた評価法は、従来のプローブ解析に比べ比較的高エネルギー領域(~100eV)の電子エネルギー成分の評価が可能となることを報告してきた^[2]。多くの ECR イオン源において、電子エネルギーの推定はコンピュータシミュレーションによりなされてきたが、プローブを用いた計測例は少ない^[3]。そこで今回、ラングミュアプローブを ECR イオン源のミラー磁場軸(z 軸)方向から挿入し、z 軸方向のプラズマパラメータの及び EEDF、また磁力線に対応したそれらの分布測定を行った。

【実験および解析方法】Fig.1 に実験で用いたタンデム ECR 多価イオン源装置の第 2 ステージ及びプラズマの内部測定に用いた z 軸方向に可動なプローブ(LP1)を示す。ECR イオン源は内径 160mm、長さ 1054mm の真空容器と 2 つの大型ミラーコイル及び 4 つの永久磁石による多極磁場で構成されている。ミラー磁場の強度はコイル A, B, 補助コイル C に流す電流で変化させることが可能である。マグネトロンで発生した 2.45GHz のマイクロ波(最大 1.3kW)を、矩形導波管同軸ウィンドウを通し装置上部のロッドアンテナから導入し、ECR 現象を発生させプラズマを生成する。使用ガスはアルゴン(Ar)である。装置中央に座標原点をとる。LP1 は z 軸の正方向から挿入しており、z=0~400mm で可動である。また x=0mm, z=-175mm に y=0~50mm で可動なプローブ(LP2)を設置する。LP1 でプラズマ内部の測定を行い、その間 LP2 でイオン飽和電流 I_{is} を観測し LP1 によるプラズマへの擾乱を確認する。LP1 で得られた各点のプローブ電流電圧 I_p - V_p 特性を測定しプローブ解析より電子温度 T_e 、電子密度 n_e を求める。EEDF は測定された I_p から求まる電子電流 I_e を V_p で 2 回微分することで得られ、EEDF から評価した電子密度 N 、電子温度 T_{eff} が求められる。

【実験および解析結果】Fig.2 に LP1 を z=100mm で回転角 α を変化した時の T_e , I_{is} , T_{eff} を示す。Fig.3 には z=100mm における磁力線の断面図と電極の軌道円を示す。これらの結果より、永久磁石により形成されるカusp 状の磁力線付近(α_1)で高い電子温度が確認でき、比較的高エネルギーの電子が存在することが伺える。また本講演では磁場の強度と電子温度、EEDF の対応関係ならびに他のプラズマパラメータについても報告を行う予定である。

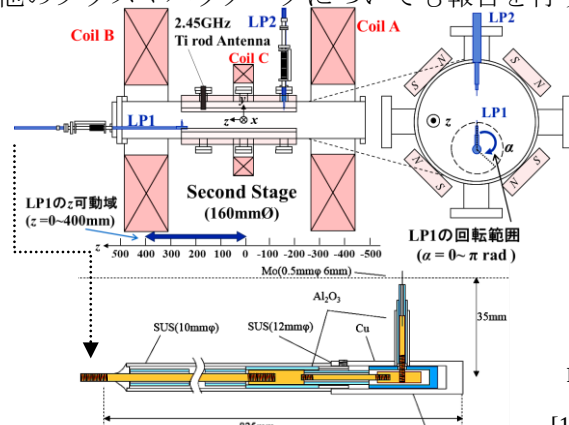


Fig.1 ECR 多価イオン源装置の第2ステージ及びLP1

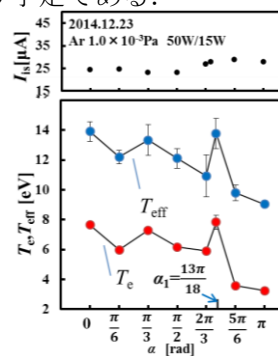


Fig.2 α を変化させた時の T_e と T_{eff}

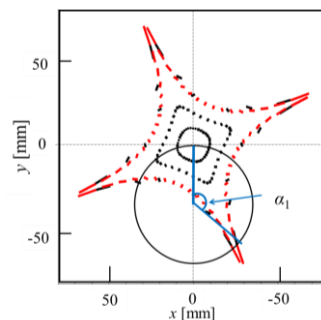


Fig.3 z=100mm での磁力線断面図と電極の軌道円

[1] S.Kumakura Rev. Sci. Instrum. 85, 02A925 (2014)

[2] 熊倉翔,他 第74回応用物理学会秋季学術講演会(2013)

[3] S.Biri, et al, IEEE, Transaction on Plasma Science. 39, 11,(2011)