



# トモグラフィック発光分光計測による アルゴン誘導結合プラズマの電子温度・電子密度の空間分布診断

Diagnosis of Spatial Distribution of Electron Temperature and Electron Density of Argon Inductively

Coupled Plasma by Tomographic Optical Emission Spectroscopic Measurement

東工大<sup>1</sup>, アルバック<sup>2</sup> <sup>○</sup>(DC)山下 雄也<sup>1</sup>, 土居 謙太<sup>2</sup>, 清田 哲司<sup>2</sup>, 浅川 慶一郎<sup>2</sup>,

細谷 宗太郎<sup>1</sup>, 菊地 航行<sup>1</sup>, 根津 篤<sup>1</sup>, 赤塚 洋<sup>1</sup>

Tokyo Tech<sup>1</sup>, ULVAC<sup>2</sup>, <sup>○</sup>Yuya Yamashita<sup>1</sup>, Kenta Doi<sup>2</sup>, Tetsuji Kiyota<sup>2</sup>, Keiichiro Asakawa<sup>2</sup>,

Sotaro Hosoya<sup>1</sup>, Wataru Kikuchi<sup>1</sup>, Atsushi Nezu<sup>1</sup>, and Hiroshi Akatsuka<sup>1</sup>

E-mail: yamashita.y.an@m.titech.ac.jp

## 1. はじめに

近年, プラズマの空間分布把握を目的に, tomography(断層影画法)を用いた発光分光計測が報告されつつある. しかしながら, 温度や密度を診断した報告はほとんどない. なかんずく, 原子分子過程を詳細に考慮した報告がなく, 診断に起因する不確かさが著しいことが課題である. プロセスプラズマに多用される減圧弱電離放電では, 電子温度  $T_e$ , 電子密度  $N_e$  を把握する必要がある. 我々は, トモグラフィック発光分光計測により得た実験結果を, 衝突輻射 (CR) モデルに基づいて解析した. これにより, 発光分光計測による定量的な  $T_e$ ,  $N_e$  の空間分布診断を実現したので報告する.

## 2. 実験

図1に示す誘導結合プラズマ装置 (アリオス製, チャンバ内寸  $\phi 354 \times H 193 \text{ mm}$ , 発振周波数 13.56 MHz) によりアルゴン (Ar) プラズマを生成した. 圧力  $p = 0.5 - 10 \text{ Pa}$ , 有効高周波電力:  $P = 200 - 800 \text{ W}$  とした. チャンバ側面および上面窓の外側に, レンズ付ファイバを計 18 本配置した測光系を構築し, マルチチャンネル分光器 (堀場製作所製, M116) により, 窓面における分光放射輝度を測定した.

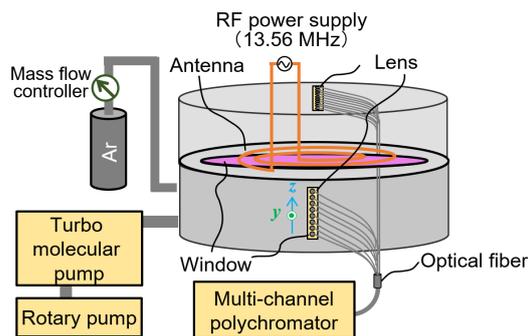


Fig. 1 The schematic diagram of experimental setup.

## 3. 解析

本研究では, 逐次再構築法プログラム[1]を改良し, 分光放射量が計算可能なトモグラフィ解析プログラムを構築した. これを用い, 2.で測定した分光放射輝度から, 分光放射係数の空間分布を求めた. さらに, 線スペクトルにもとづき, 励起準位数密度分布  $n_i$  を求めた.

Ar CR モデル[2]は  $T_e, N_e$ , 原子温度  $T_a$ , イオン

密度  $N_i$ , プラズマ半径  $r, p$ , 電子エネルギー分布関数(EEDF)を入力とし,  $n_i$  を得る原子分子過程モデルである. 本研究では,  $T_a, N_i, r, p, \text{EEDF}$  を仮定し,  $T_e, N_e$  を未知パラメータとして, Ar CR モデルにより計算した  $n_i$  と, 実験により求めた  $n_i$  とを, フィッティングし,  $T_e, N_e$  を診断した.

## 4. 結果と考察

図2に,  $p = 1 \text{ Pa}$ ,  $P = 300 \text{ W}$ ,  $z = 0 \text{ cm}$  (鉛直方向; チャンバ中心) における  $T_e, N_e$  の  $y$  軸 (チャンバ直径) 方向分布の診断結果を示す.  $T_e$  は, アンテナとフランジとの間で急激に減少しており, 装置構造に起因する誘導電界の不均一性が  $T_e$  の空間分布に影響したと考察する.  $N_e$  は, 空間に対し緩やかに変化した. 本予稿で割愛した,  $p, P$  依存性および  $z$  軸方向空間分布は講演にて述べる.

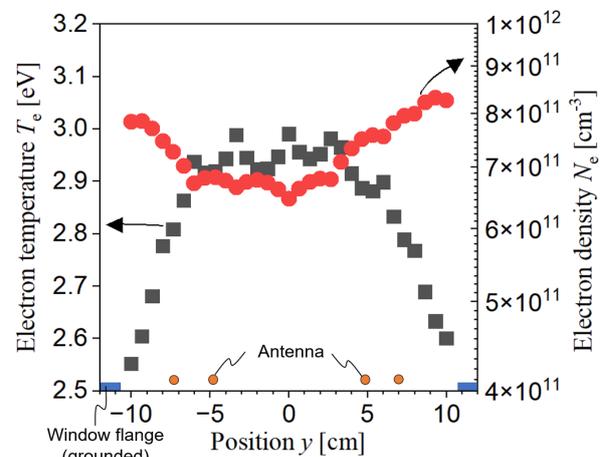


Fig. 2 The diagnostic result of electron temperature and density ( $p = 1 \text{ Pa}$ ,  $P = 300 \text{ W}$ ,  $z = 0 \text{ cm}$ ).

## 謝辞

マルチチャンネル分光器を貸与いただき, 同器を用いた計測について助言いただいた, 堀場エステックの横井雅樹様, 佐藤陽子様, 堀場製作所の安井健吾様, 宮岡拓実様, 櫻井正行様に感謝する. 本研究は, JST 次世代研究者挑戦的研究プログラム JPMJSP2106 の支援を受けた.

## 参考文献

- [1] D. R. Ferreira,  
<https://github.com/diogoff/isttok-tomography>  
[2] J. Vlcek, J. Phys. D: Appl. Phys., 22, 623 (1989).