



# トモグラフィック発光分光計測とアルゴン衝突輻射モデルにもとづく CF<sub>4</sub>/O<sub>2</sub>/Ar プラズマの電子温度・電子密度・EEDF の位置分布診断

Positional distribution diagnosis of electron temperature, electron density, and EEDF of CF<sub>4</sub>/O<sub>2</sub>/Ar plasma  
based on tomographic optical emission spectroscopic measurement and argon collisional-radiative model

東工大<sup>1</sup>, 学振 DC<sup>2</sup>, アルバック<sup>3</sup> ○(DC)山下 雄也<sup>1,2</sup>, 土居 謙太<sup>3</sup>, 清田 哲司<sup>3</sup>, 叶 宇晨<sup>1</sup>,  
島谷 和希<sup>1</sup>, 何 文涛<sup>1</sup>, 羽生 陽向<sup>1</sup>, 菊地 航行<sup>1</sup>, 櫻井 彩貴<sup>1</sup>, 根津 篤<sup>1</sup>, 赤塚 洋<sup>1</sup>

Tokyo Tech<sup>1</sup>, JSPS DC<sup>2</sup>, ULVAC<sup>3</sup>, ○Yuya Yamashita<sup>1,2</sup>, Kenta Doi<sup>3</sup>, Tetsuji Kiyota<sup>3</sup>, Yuchen Ye<sup>1</sup>,

Kazuki Shimatani<sup>1</sup>, Wentao He<sup>1</sup>, Hinata Hanyu<sup>1</sup>, Wataru Kikuchi<sup>1</sup>, Ayaki Sakurai<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

四フッ化メタン(CF<sub>4</sub>)および酸素(O<sub>2</sub>)を材料ガスとするプラズマは、エッチングで汎用されている。同プラズマの発光分光計測(OES)による診断の実現は、プロセスを理解する上で重要である。しかしながら、同プラズマの原子分子過程モデルは非常に複雑であり、同モデルに基づいたOES診断は容易ではない。そこで本研究では、同プラズマにアルゴン(Ar)を添加し、Ar 中性原子の原子分子過程に着目することで診断を試みた。CF<sub>4</sub>/O<sub>2</sub>/Ar 誘導結合プラズマを対象にトモグラフィック発光分光計測し、電子温度  $T_e$ 、電子密度  $N_e$ 、および一般化電子エネルギー分布関数(EEDF)のパラメータ  $\gamma$  の位置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  $\phi 177.5 \times H 211.8$  mm (最大部), 発振周波数 13.56 MHz (誘導結合アンテナ), 12.5 MHz (基板ステージバイアス), バイアスステージ外径 291 mm) により, CF<sub>4</sub>/O<sub>2</sub>/Ar プラズマを生成した。全圧  $p = 0.5 - 3$  Pa とし, 全圧に対する O<sub>2</sub> 分圧  $p_{O_2} = 4.8 - 20\%$ , Ar 分圧  $p_{Ar} = 0 - 33\%$ , 高周波電力  $P_a = 250 - 400$  W (誘導結合アンテナ),  $P_b = 0 - 100$  W (ステージバイアス) と変化させた。基板直上 12 mm の水平面内を視線とするよう, レンズ付ファイバを 34 本 配置しマルチチャンネル分光器 (堀場製作所製, UV-M135A) により大気側窓面における分光放射輝度  $L_{air}(\lambda)$  の視線依存性を測定した。

## 3. 解析

$L_{air}(\lambda)$  を入力とし, 窓における屈折を補正の上, 真空側窓面における分光放射輝度の視線依存性を算出した。次に制約正則化法にもとづく分光

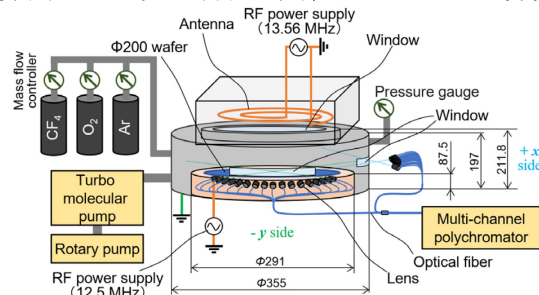


Fig.1 Schematic diagram of experimental system

トモグラフィ計算[1]により, 分光放出係数の位置分布を得た。さらに, 線スペクトルの放出係数から Ar 原子の励起準位数密度  $n_i$  を求めた。  $n_i$  を入力値として, Ar 衝突輻射(CR)モデル[2]にもとづき,  $T_e$ ,  $N_e$ , および一般化電子エネルギー分布関数のパラメータ  $\gamma$  をパラメータフィッティングとすることで, それらの位置分布を診断した。

## 4. 結果と考察

図2に,  $p = 1$  Pa,  $p_{O_2} = 18.8\%$ ,  $p_{Ar} = 6.3\%$ ,  $P_a = 400$  W,  $P_b = 0$  W における,  $T_e$  の診断結果を示す。同例において,  $\gamma = 0.82 - 1.2$ ,  $N_e = 1.1 - 2.0 \times 10^{13}$  cm<sup>-3</sup> であった。同例では, Ar CR モデルの計算において, Ar の基底準位数密度は理想気体の状態方程式にもとづき Ar 分圧により決定し, Ar 原子温度 = 400 K, プラズマ半径 = 6.265 cm と仮定した。なお,  $\gamma = 1$  (Maxwell 分布) と仮定し,  $T_e$ ,  $N_e$  の 2 パラメータでフィッティングしたところ解が収束せず,  $\gamma$  もフィッティングすることで同図の通り探索できた。このことは, EEDF の非平衡性を示唆している。紙面の都合上割愛した,  $p$ ,  $p_{O_2}$ ,  $p_{Ar}$ ,  $P_a$ , および  $P_b$  に対する依存性を含む診断結果, ならびに原子分子過程モデリングにおける計算条件依存性は, 講演にて述べる。

## 謝辞

本研究は, JSPS 科研費 JP23KJ0884 の助成を受けた。

## 参考文献

- [1] Y. Yamashita, et al, *J. Vac. Sci. Technol. A* **42**, 023003 (2024).
- [2] J. Vlček, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **22**, 632 (1989).

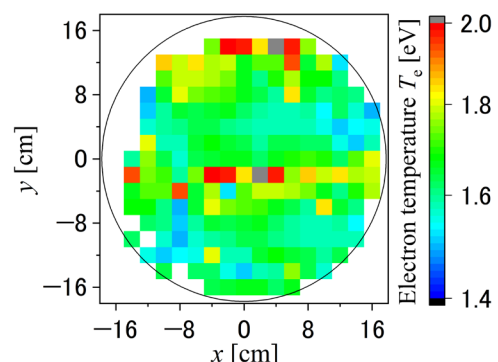


Fig.2 Position dependence of electron temperature