

# エッチング装置で生成したアルゴン低気圧誘導結合プラズマの発光分光計測による電子温度・電子密度・電子エネルギー分布関数診断

Electron temperature, density, and energy distribution function diagnostics of the argon low pressure argon plasma generated by an etching unit based on optical emission spectroscopic measurement

都立産業技術研究センター<sup>1</sup>, 東工大研究院<sup>2</sup> ○山下 雄也<sup>1</sup>, 秋葉 拓也<sup>1</sup>,

岩永 敏秀<sup>1</sup>, 伊達 修一<sup>1</sup>, 山岡 英彦<sup>1</sup>, 赤塚 洋<sup>2</sup>

TIRI<sup>1</sup>, Tokyo Tech<sup>2</sup>, ○Yuya Yamashita<sup>1</sup>, Takuya Akiba<sup>1</sup>,

Toshihide Iwanaga<sup>1</sup>, Shuichi Date<sup>1</sup>, Hidehiko Yamaoka<sup>1</sup>, and Hiroshi Akatsuka<sup>2</sup>

E-mail: yamashita.yuya@iri-tokyo.jp

## 1.はじめに

発光分光計測によるプラズマ診断では、原子分子過程を適切にモデリングし、パラメータ変化を敏感に反映する輝線に基づいて診断する必要がある。我々は、計測対象とするパラメータ範囲に応じて、診断に用いるべき輝線を選定するアルゴリズムを考案し[1]、大気圧プラズマジェットへの適用を報告した[2]。本研究では、低気圧誘導結合プラズマ(ICP)の電子温度  $T_e$ 、電子密度  $N_e$ 、電子エネルギー分布関数(EEDF)診断を試みたので報告する。

## 2. 実験装置

図1に示す半導体加工用エッチング装置(サムコ製RIE-400iPBT)により生成した10Pa純アルゴン(Ar)ICPを診断対象とした。ICPコイルに印加する電力  $P$  を200 - 1000Wと変化させた。コイルの半径方向を視線にとり、観測窓表面における分光放射輝度を測定した。

## 3. 診断原理

[1]ではEEDFを  $(T_e, x)$  の2パラメータで記述する一般化EEDF[3]をAr衝突輻射(CR)モデル[4]に適用している。計測対象範囲を  $1.5 \leq T_e \leq 2.5$  eV,  $4.64 \times 10^{11} \leq N_e \leq 1.00 \times 10^{13}$  cm<sup>-3</sup> とし,  $x = 2.0$  (Druyvesteyn分布), 原子温度 = 500K と仮定して、診断に用いる励起準位の組み合わせを変化させて、内在する診断誤差を[1]に基づいて調査したところ、上準位が  $4p[1/2]_1$ ,  $4p'[3/2]_1$ ,  $4p[1/2]_0$ ,  $4p'[1/2]_0$  である4準位の組み合わせが診断に適するという結果となった。 $(T_e, x, N_e)$  をパラメータとして、発光分光計測で実測した換算占有密度と、CRモデルにより計算した換算占有密度をフィッティングすることにより診断した。

## 4. 解析結果と考察

図2に診断結果を示す。 $P$  増加につれて、 $T_e$  は増加した一方で、 $N_e$  は減少した。誘導性モード(Hモード)においては電子密度が減少することによってプラズマに吸収される電力が増加することが知られている[5]。本実験でもHモード放電であった可能性が考えられる。なお、 $x = 1.86 -$

2.20 であり、ほぼDruyvesteyn分布であったといえる。本研究では、線対法、励起温度換算法による診断結果との比較も行い、それらの方法より提案手法の信頼性が高いこと明らかとなった。その結果については、講演にて詳述する。

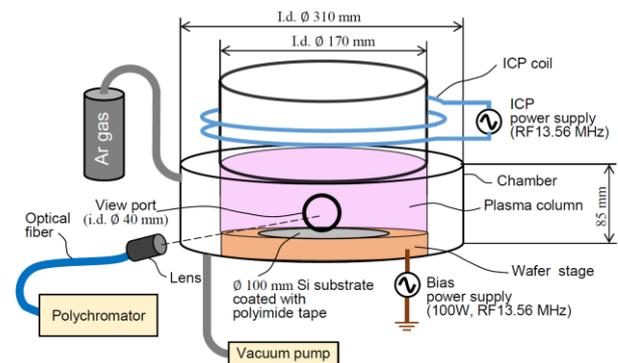


Fig. 1 The conceptual diagram of the plasma generator of the etching unit.

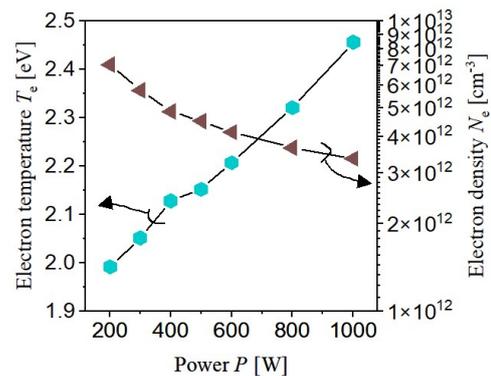


Fig. 2 The dependence of electron temperature and density on ICP power.

## 参考文献

- [1] Y. Yamashita et al., *Jpn. J. Appl. Phys.*, **60**, 046003 (2021).
- [2] 山下雄也ほか, 第68回応物春講演予稿集, 07-043 (2021).
- [3] J. B. Boffard et al., *Plasma Sources Sci. Technol.* **19**, 065001 (2010).
- [4] J. Vlček, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **22**, 623 (1989).
- [5] M. A. Lieberman et al., *Principles of Plasma Discharges and Materials Processing*, 2<sup>nd</sup> ed., Wiley-Interscience (2005).