

表面クリーニング用大気圧アルゴンプラズマジェットの 発光分光計測による電子温度・電子密度診断

Electron temperature and density diagnostics of the atmospheric pressure argon plasma jet
for surface cleaning based on optical emission spectroscopic measurement

都立産業技術研究センター¹, 東工大研究院² ◯山下 雄也¹, 秋葉 拓也¹,

岩永 敏秀¹, 山岡 英彦¹, 伊達 修一¹, 赤塚 洋²

TIRI¹, Tokyo Tech², ◯Yuya Yamashita¹, Takuya Akiba¹,

Toshihide Iwanaga¹, Hidehiko Yamaoka¹, Shuichi Date¹, and Hiroshi Akatsuka²

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

1.はじめに

プロセスプラズマを理解するうえでプラズマ診断は重要であるものの、実プロセスに使用される装置での計測例は少ない。本研究では、表面クリーニング用途に使用されるプラズマジェットの電子温度 T_e および電子密度 N_e を診断し、その特性について考察したので報告する。

2. 大気圧アルゴンプラズマジェット

有機汚染物除去用プラズマ処理装置[1] (松下電工マシンアンドビジョン製 ANUCL13S-407-MFN) の大気圧プラズマジェット(Fig. 1)を計測対象とした。同装置は、石英放電管 ($\phi=5$ mm) 上端からアルゴン(Ar)および酸素ガスを供給し、管内で誘電体バリア放電により大気圧プラズマジェットを生成して管下端から噴出させ、ウエハ等の被加工物に照射する構成である。ただし、本研究ではガス種は純 Ar とし、放電管下端には被加工物を配置せず大気解放とした。

3. 診断モデルの作成

Ar 衝突輻射(CR)モデル[2]に基づいて、励起準位数密度から T_e , N_e を再帰的に逆算し、内在する診断誤差が最も少ない発光線群を算出した。Druyvesteyn 分布のもと、 $1.0 \leq T_e \leq 2.0$ eV, $10^{14} \leq N_e \leq 10^{15}$ cm⁻³ を計測対象範囲と仮定して最適化計算[3]を行ったところ、上準位が $4p^*[3/2]_1$, $4p^*[1/2]_1$, $4p[1/2]_0$, $4p^*[1/2]_0$ である 4 発光線が診断に適するという結果となった。

4. 発光分光計測

放電管直径方向を視線とし、放電管軸方向に観測位置 z を変化させて、放電管表面の分光放射輝度を測定した。上記 4 発光線から励起準位数密度を求めて、Ar CR モデルによる計算値とフィッティングすることにより、 T_e , N_e を診断した。比較対象として、電子-中性原子(e-a)制動輻射連続スペクトルとのフィッティング[4]により T_e を、二線強度比により N_e を、それぞれ診断した。

5. 解析結果と考察

分光放射輝度は、観測位置が $z=3$ mm まで下流側になるにつれて単調減少した。4 発光線に

もとづいて算出した T_e , N_e も同様に単調減少した(Fig.2)。 T_e 減少は管壁による冷却に起因し、 N_e 減少は管端におけるプラズマの拡散に起因すると考えられる。 $z=6$ mm では、分光放射輝度、 T_e , N_e ともに増加したが、同位置では、大気との相互作用が顕著に生じた可能性がある。対照実験との比較結果は講演にて報告する。

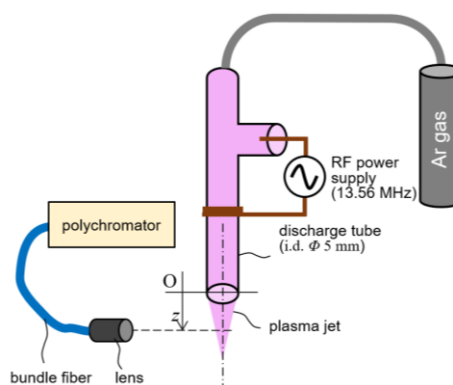


Fig. 1 The conceptual diagram of the atmospheric plasma jet surface cleaning equipment.

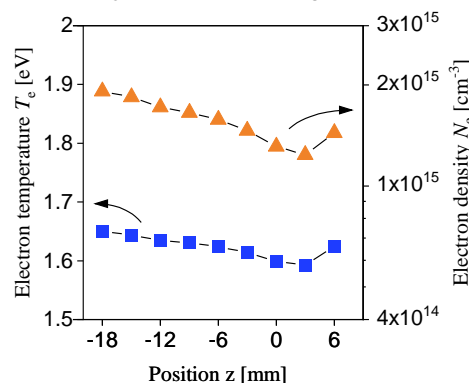


Fig. 2 The electron temperature and density dependence of discharge tube axial direction position of the plasma jet based on the 4 optical emission lines.

参考文献

- [1] 澤田ほか, 静電気学会誌, **26**, 258 (2002).
- [2] J. Vlček, J. Phys. D: Appl. Phys. **22**, 623 (1989).
- [3] 山下ほか, 第 81 回応物秋予稿集, 07-012 (2020).
- [4] S. Park et al., Plasma Sources Sci. Technol. **24**, 034003 (2015).