

衝突輻射モデルに基づく発光分光計測による 低気圧マイクロ波放電Arプラズマの電子温度診断

Diagnostic of Electron Temperature of Low-pressure Microwave Discharge Ar Plasma by Optical Emission Spectroscopy Based on Collisional Radiative Model

山崎文徳¹, 根津篤¹, 赤塚洋¹

YAMAZAKI Fuminori¹, NEZU Atsushi¹ and AKATSUKA Hiroshi¹

¹東工大

¹Tokyo Institute of Technology

1.はじめに

発光分光計測による電子温度 T_e 診断において、線対法は2線の強度比のみを用いるため、診断式がプラズマの様相に依存する。そのため、広範な計測範囲への応用に向かない欠点がある。そこで、筆者らは衝突輻射モデル^[1](Collisional Radiative Model: CRモデル)に基づき、複数の発光線から T_e の診断を行うモデルを作製した。本研究では、作製した診断モデルの有用性を実験的に検討したので報告する。

2.診断モデルの作成

本研究ではArプラズマを想定する。CRモデルは T_e などのプラズマパラメータから励起状態数密度を計算するモデルである。これに対し本研究における T_e の診断モデルは、発光分光計測から求めた励起状態数密度を入力値としてCRモデルを逆に解くことで T_e を求めるものである。しかし、Arの励起準位には発光遷移の観測が困難な準位が存在する。そのため、CRモデルにおける流入出レートに閾値を設け、その閾値を満たすだけの素過程をレートの大きい順に抽出し、原子過程を簡略化した。その際、Arガス圧力は 1.3×10^2 Pa, 原子温度は500 K, 電子エネルギー分布関数はMaxwell分布及び、Druyvesteyn分布を想定した。また、 T_e eV, 及び電子密度 N_e cm^{-3} は $1.0 \leq T_e \leq 3.8$, $1.0 \times 10^9 \leq N_e \leq 1.0 \times 10^{13}$ の範囲で計算した。但し、Druyvesteyn分布の場合、平均エネルギー $\langle \epsilon \rangle = 3/2 k_B T_{eff}$ として実効電子温度 T_{eff} を定義した(k_B :ボルツマン定数)。さらに、後述する発光分光計測により得られたArの励起状態数密度を用いて T_e 診断を行い、妥当な診断結果を得ることできたのは、Maxwell分布の場合は19(5p')と25(6p), Druyvesteyn分布の場合は18(5p')と25(6p)の準位からなるモデルであった。

3.実験概要

上記の診断モデルを検証するため、発振周波数が2.45 GHz, 放電管半径は1.3 cm, 放電電力

は100, 300, 500 Wのマイクロ波放電プラズマに対し、導波管中心からの放電管軸方向距離が10, 14, 18 cmにおける T_e を以下の二つの方法で計測した。(1)発光分光計測: プラズマからの発光を分光機器で受光し、絶対感度校正により求めた量子効率から励起状態数密度を計算した。その励起状態数密度を入力として筆者らが提案する診断モデルを解き、 T_e を求めた。(2)静電プローブ計測: 比較のため、対称なダブルプローブを用いて T_e を求めた。

4.実験結果

図1に示すように、プローブ計測による T_e と発光分光計測による T_e の診断の結果は、Maxwell分布の場合でもDruyvesteyn分布の場合でも傾向が一致した。つまり、放電位置が10 cmから14 cmになる際に T_e が低下するが、14 cmから18 cmになる際に T_e が上昇した。また、プローブ計測に対する発光分光計測による T_e の診断結果の誤差率で二乗平均平方根をとると、Maxwell分布の場合は31.6, Druyvesteyn分布の場合は17.8となった。つまり、Druyvesteyn分布を想定した診断モデルはより信頼できると考えられる。

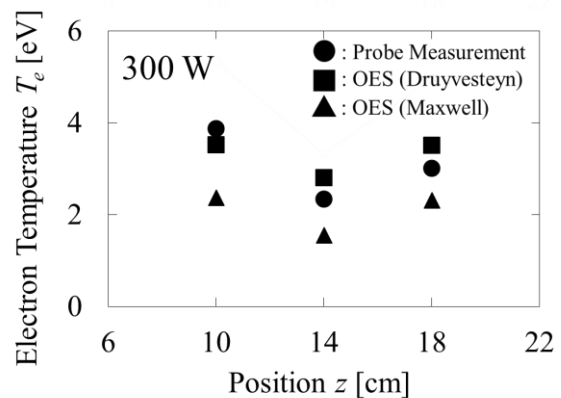


図1. T_e の診断結果

参考文献

[1] J. Vlček, J. Phys. D: Appl. Phys. 22., (1989) 632.