

発光分光計測による大気圧非平衡 Ar プラズマの電子温度・電子密度の導出と比較
Derivation and Comparison of Electron Temperature and Density of Atmospheric-pressure Non-equilibrium Ar Plasma by Optical Emission Spectroscopy

東工大¹, 東工大技術部², 東工大研究院³ ◯(M2)大西 広¹, 根津 篤², 赤塚 洋³
Tokyo Tech¹, Tech Dept.², IIR, Tokyo Tech³, ◯Hiroshi Onishi¹, Atsushi Nezu², Hiroshi Akatsuka³
E-mail: onishi.h.ab@m.titech.ac.jp

1. はじめに

大気圧プラズマは、現在幅広く応用されている。例えば、材料の表面処理や野菜の成長促進、外傷に対する血液の凝固などが挙げられる。幅広く応用されている一方で、これらの現象を理解する上で重要なパラメータである電子温度(T_e)と電子密度(N_e)の計測に関して、報告例が少ない。そこで本研究では発光分光計測(OES)によって、様々な解析方法で大気圧非平衡 Ar プラズマの電子温度・電子密度を導出しその比較を試みる。

2. 実験装置

本実験において、Fig.1 に示す放電装置(エコデザイン株式会社製)を使用した。装置は電極とそれを覆うガラス管に加え、さらに外側のアルゴン流路となるガラス管、ネオントランス用いた高電圧電源、光ファイバー導入管、およびそれらを支える支持板により構成される。両電極には、二次電圧値で最大 9 kV_{p-p} 程度の電圧が印加される。両電極を覆うガラス管内は水で満たされており、1 mm のギャップを設け、ストリーマ状の誘電体バリア放電として、放電プラズマが生じる構造である。

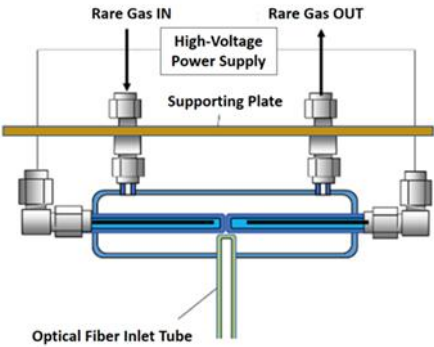


Fig.1 Schematic Experimental Device

3. 解析手法

今回 4 つの解析手法を用いて解析を行った。1 つ目は、得られた線スペクトルに対してボルツマンプロットを行い、励起温度を求める。そして励起状態生成消滅を正しく記述する衝突輻射モデル(CR モデル)にて、励起温度と電子温度の関係性を求めて、電子温度を求める、線スペクトル解析である^[1]。2 つ目は、電子-原子制動輻射がプラズマ中で支配的であると仮定して、理論計算値と感

度校正した実験結果をフィッティングすることによって電子温度と電子密度を求める、連続スペクトル解析である^[2]。3 つ目が水素のバルマー系列の H_α 線をもとに電子密度を求める、シュタルク広がり解析である^[3]。そして 4 つ目は、励起状態数密度を実験値と CR モデルの計算値から求めて比較する励起状態数密度解析である^[4]。今回、励起状態数密度解析の CR モデル計算の入力データには、連続スペクトル解析の結果を用いた。また CR モデルの計算や連続スペクトルの解析において、電子エネルギー分布関数(EEDF)が重要になるが、今回は Maxwellian と Druyvesteynian EEDF の 2 つを用いた。

4. 結果

結果を Table1 に示す。参考文献[5]と比較すると、解析結果(1), (5)および(7)が参考文献[5]に近い値を示した。また(9)の励起状態数密度解析の結果については、CR モデルの計算値および実験値ともに、似た傾向を示した。

Table1 Analysis Results

Number	Method	EEDF	T_e [eV]	N_e [cm ⁻³]
(1)	Line Spectrum with CR model	Maxwell	0.73	$1.0 \times 10^{15} \sim 1.0 \times 10^{16}$
(2)			0.44	$1.0 \times 10^{15} \sim 1.0 \times 10^{16}$
(3)		Druyvesteyn	2.70	$1.0 \times 10^{15} \sim 1.0 \times 10^{16}$
(4)			1.03	1.0×10^{12}
(5)			0.61	$1.0 \times 10^{15} \sim 1 \times 10^{16}$
(6)	Continuum Spectrum	Maxwell	0.29	1.1×10^{16}
(7)		Druyvesteyn	0.79	1.4×10^{14}
(8)	Stark Broadening			7.2×10^{15}
(9)	Comparison of N_p	Maxwell Druyvesteyn	The tendency of each analysis result is similar.	
(10)	Reference [5]		0.86~8.60	1.0×10^{13}

参考文献

[1] 赤塚洋, 応用物理, **87**, 821(2018).
[2] S. Park, W. Choe, H. Kim and J. Y. Park, Plasma Sources Sci. Technol., **24**, 034003 (2015).
[3] A. Y. Nikiforov, C. Leys, M. A. Gonzalez and J. L. Walsh, Plasma Sources Sci. Technol., **24**, 034001 (2015).
[4] Y. Yamashita, F. Yamazaki, A. Nezu and H. Akatsuka, JJAP, **58**, 016004 (2019).
[5] C. Tendero, C. Tixier, P. Tristant, J. Desmaison and P. Leprince, Spectrochimica Acta Part B **61**, 2 (2006).