時空間分解発光分光測定による液中プラズマの電子密度/電子温度推定

Spatiotemporal optical emission spectroscopy to estimate electron densities and temperatures of a plasma in solution

東大新領域 [1]，産総研 [2]

°(D)井上 健一 [1,2]，高橋 史音 [1]，榊原 教貴 [1,2]，都甲 将 [1]，伊藤 剛仁 [1,2]，寺嶋 和夫 [1,2]

The Univ. of Tokyo [1], AIST [2],

°(D)Kenichi Inoue[1,2], Shion Takahashi[1], Noritaka Sakakibara[1,2], Susumu Toko[1], Tsuyohito Ito[1,2], Kazuo Terashima[1,2]

E-mail: inoue@plasma.k.u-tokyo.ac.jp

<u>緒言</u>　液中プラズマ反応場はプラズマの高反応性と高密度媒質の溶解性を合わせもち、ラジカルや電子といった化学種と溶質を効果的に作用させられるため、微粒子合成や官能基修飾といった材料プロセスへの応用が期待されている [1]。しかしそれらの材料プロセスにおける種々の反応メカニズムはいまだ未解明な点が多く、反応速度やプロセス効率の最適化を妨げている。反応に関わる化学種の中でも電子はラジカル生成反応や材料処理反応に寄与する重要な化学種と考えられ、液中プラズマにおける電子密度・電子温度計測は反応メカニズムの理解には不可欠である。特に液中プラズマの電子温度の測定結果は電子密度と比べて不足しており、知見が求められている。

以上の背景のもと、雰囲気の擾乱を受けにくい発光分光測定を液中プラズマに対し適用し、電子密度・電子温度の時間変化・空間分布の計測を行った。特に本研究では、発光に含まれる連続スペクトルと制動輻射の理論式を用いて、液中プラズマの電子温度分布の測定を目指した。

<u>実験・結果</u>　本実験では、NaCl 水溶液(0.01 wt%)中に配置したタングステン電極(電極間距離 1 mm)に双極性パルス電圧(周波数 50 kHz, パルス幅 1.0 μs, ピーク電圧 1.2 kV)を印可することで液中プラズマの生成を行い、時空間分解発光分光測定(0.1 μs および 0.125 mm 間隔)から取得した発光スペクトルをもとに電子温度・電子密度を見積もった。発光スペクトルに含まれる H_β 線スペクトルの Stark 広がりから電子密度を計測し、最も明るい瞬間で$3.6 - 5.2 \times 10^{16}$ cm^{-3}の範囲で分布を持つことがわかった [2]。また電子－中性粒子間での制動輻射に由来する連続スペクトルも確認され、575 nm 付近での連続スペクトルの傾きと制動輻射の理論式から電子温度推定を試みた [3]。その結果、最も明るい瞬間で 0.5 – 1.4 eV の電子温度分布が見積もられた。またこれらの測定値は、換算電界からボルツマン方程式を用いて予測される値と矛盾しないものであった [4]。以上のように、本研究では発光分光測定による線スペクトル・連続スペクトルから液中プラズマの電子密度・電子温度の両方の時間変化・空間分布を見積もることができた。

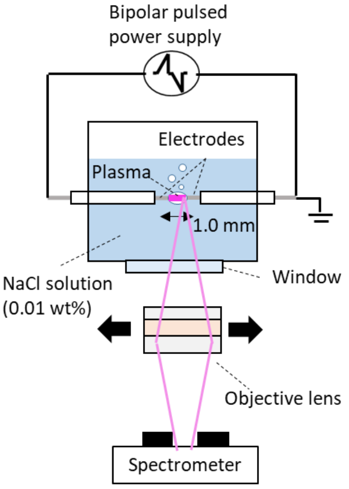

Fig.1 Experimental setup for plasma generation

参考文献

[1] O. Takai, Pure Appl. Chem. 80, 2003 (2011).

[2] A. Y. Nikiforov, C. Leys, M. A. Gonzalez, and J. L. Walsh, Plasma Sources Sci. Technol. 24, 034001 (2015).

[3] S. Park, W. Choe, S. Youn Moon, and J. Park, Appl. Phys. Lett. 104, (2014).

[4] G. J. M. Hagelaar and L. C. Pitchford, Plasma Sources Sci. Technol. 14, 722 (2005).