トムソン散乱法を用いた空気ストリーマ放電中電子密度・電子エネルギー分布関数の時間変化および空間分布計測

Time-resolved spatial profile measurements of electron density and electron energy distribution function in an air streamer discharge using Thomson scattering technique

北大工 [1]，東大工 [2]　富田 健太郎 [1○]，宮澤 冬馬 [1]，小室 淳史 [2]，小野 亮 [2]

Hokkaido Univ. [1], The University of Tokyo. [2]

°Kentaro Tomita[1], Toma Miyazawa[1] , Atsushi Komuro[2], Ryo Ono[2]

E-mail: tomita.kentaro@eng.hokudai.ac.jp

1. はじめに

空気中でのストリーマ放電は、活性種の効率的な反応場として様々な用途に利用されている。この放電では、活性種の生成効率を決定づける電子エネルギー分布関数(EEDF)がマクスウェル分布から明らかに乖離していることが予想されている[1]。しかし、そのことを裏付けるための EEDF の計測は、我々のグループが行ったトムソン散乱計測結果の 1 報しかない[2]。本発表では、時間及び空間 1 点のみの計測であった文献[2]の内容を発展させ、EEDF の時間変化や空間分布の計測を行った結果について報告する。

2. 実験方法

図 1 は空気ストリーマ放電を発生させるために使用した装置の概略図である。直流電源とパルス電源を使用し、13 mm のギャップにパルス電圧を印加した。電極は外気の湿度の影響を受けないようにリアクタ内に設置した。リアクタ内の圧力は 760Torr に設定し、N_2:O_2=79:21 の合成ガスを 1000sccm で供給した。アノードは 7 本の針状電極で構成され、そのうちステンレス製の中央電極から高い空間・時間再現性を有するストリーマが生成される。カソードは真鍮製の板状電極である。放電の繰返し速度は、雰囲気ガスの組成が変化することを防ぐために 2Hz に設定した。LTS 測定の光源には Nd:YAG レーザーの第 2 高調波（波長 532 nm、パルス幅 10 ns、スペクトル幅<0.1 pm、18 mJ/pulse）を用いた。レーザー光を焦点距離が 400 mm と 300 mm のシリンドリカルレンズを用いてストリーマに集光照射した。

3. 実験結果

アノード先端から 1.5 mm, 3 mm, 4.5 mm, 9 mm の位置で複数回の計測を行った。各位置での計測レーザー積算回数は 2000 ショット程度である。単発計測では、トムソン散乱スペクトルに重畳する窒素及び酸素の回転ラマン散乱信号とトムソン散乱信号の区別が困難であった。迷光除去には差分散型トリプル分光器を用いた。検出器には電子増倍型 CCD カメラを用いた。時間変化計測（5 ns 分解能）は、主にプライマリストリーマがカソードに到達した直後の時刻から、100 ns 後程度までの時刻に対して行った。得られたトムソン散乱スペクトルを、代表的なボルツマン方程式解法プログラムである Bolsig+を用いて算出される、様々な換算電界値の場合での EEDF と比較した。電子密度はレイリー散乱及びラマン散乱を用いた絶対較正により算出した。

プライマリストリーマ到達直後の時刻では、アノードからカソードに近づくにつれ、電子密度は減少する傾向にあった（アノードから 1.5mm の位置で 1.6×10^{20} m^{-3}, 9 mm の位置で 4.5×10^{19} m^{-3}）。また、EEDF はアノードに近い位置ほど、高い換算電界値に対応する傾向にあった。しかし、セカンダリストリーマ生成後、50 ns 後以降では、アノード側よりもカソード側で、電界強度が高いことを示唆する EEDF が得られた。詳細は発表にて報告する。

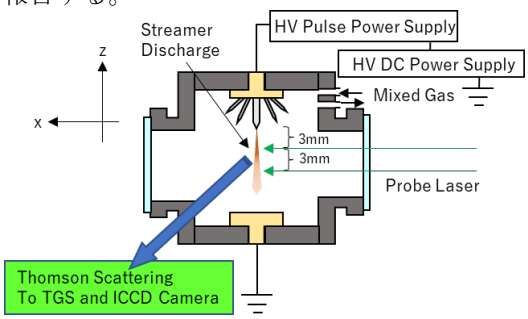

Fig. 1　schematic of the equipment

参考文献

[1] U. Kogelschatz et al., Pure Appl. Chem.71 1819(1999)

[2] K. Tomita et al., J. Phys. D: Appl. Phys. 53 (2020)