

トムソン散乱法による空气中ストリーマ放電の電子速度分布関数計測

Measurements of electron velocity distribution function of streamer discharges

produced in the air using Thomson scattering

九州大¹, 埼玉大², 東北大³, 東京大⁴, [○]富田 健太郎¹, 内野 喜一郎¹,

稲田 優貴², 小室 淳史³, 章 翔⁴, 小野 亮⁴

¹Kyushu Univ., ²Saitama Univ., ³Tohoku Univ., ⁴Univ. Tokyo, [○]Kentaro Tomita, ¹Kiichiro Uchino,

²Yuki Inada, ³Atsushi Komuro, ⁴Xiang Zhang, ⁴Ryo Ono

E-mail: tomita.kentaro.424@m.kyushu-u.ac.jp

1. 背景・目的

空气中で生成されるストリーマ放電は活性種生成源として、様々な応用分野で利用されている。同放電内では、活性種生成効率を決定づける電子エネルギー分布関数が、Maxwell 分布から明確に逸脱すると予想されている⁽¹⁾。しかしそれを裏付ける実験事実は未だ報告されていない。このような背景の下、本研究ではトムソン散乱 (Thomson scattering: TS) 法による、空气中ストリーマ放電内の電子速度分布関数 (Electron velocity distribution function: EVDF) の直接計測を試みている。

2. 実験方法

図 1(a)にストリーマ放電の発光画像を示す。観測には ICCD カメラ (ゲート幅 2 ns) を用いた。図 1(b)に電圧・電流波形を示す。放電生成は水分の影響を避けるため、1 気圧合成空気を充填したリアクタ内で行った。針状のアノード電極と、平板状のカソード電極の間隔は 13 mm である。TS 信号は極めて微弱であるため、EVDF の計測には、多数回のレーザーショットによる積算計測が前提となる。積算計測で要求される放電の時間・空間再現性を得るために、アノード電極の周囲に 4 本の針電極を設置した。放電開始ジッターは ± 1 ns であった。TS 計測は、Nd:YAG レーザー第 2 高調波 (波長 532 nm、パルス幅 8 ns、レーザーエネルギー 10 mJ) を、集光照射した後、アノード先端から 3 mm 位置に入射し、散乱角 90° 方向から行った。分光器は典型的な差分散型トリプル分光器であり、ICCD カメラ (量子効率 45%、ゲート幅 5 ns) での信号検出を行った。リアクタ内背景ガスに O₃ や NO_x などの放電副生成物が蓄積するのを防ぐため、放電および計測の繰り返し周期は 2 Hz にとどめた。図 1(a)に示すセカンダリストリーマ過程 (図 1(b)の 50 ns) での TS 計測 20,000 ショット分の結果を図 2(a)に示す。レーザー波長からの差波長 ($\Delta\lambda$) と共に、レーザー軸に沿った空間分布 (r) が得られている。レーザー波長付近 ($-0.4 \text{ nm} < \Delta\lambda < 0.4 \text{ nm}$) は、分光器内のノッチ機構により除去されている。電子密度は $2 \times 10^{20} \text{ m}^{-3}$ 程度であり、本来であれば 500 ショット程度の積算で十分な S/N 比が期待できる。しかし、純粋空气中での計測であり、TS より 20 倍程

度大きな回転ラマン散乱が重畳し、その除去過程で S/N 比は大きく低下した。図 2(b)は 2(a)の一部をスペクトル表示したものである。 $\Delta\lambda$ は速度に比例し、 $\Delta\lambda = 1 \text{ nm}$ は $4 \times 10^5 \text{ m/s}$ に相当する。半値幅が同等のガウス分布曲線をフィッティングしているが、裾野が明確にずれていることがわかる。TS スペクトルは EVDF の 1 次元投影であるから、この結果は、ストリーマ内 EVDF が Maxwell 分布から逸脱していることを示している。得られた EVDF について、ボルツマン方程式解法プログラム (Bolsog⁺)⁽¹⁾による計算結果との比較を進めている。

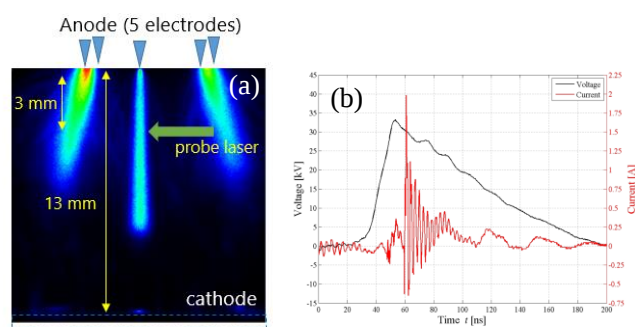


Fig. 1(a) Emission profile and 1(b) V-I waveforms of the streamer discharge.

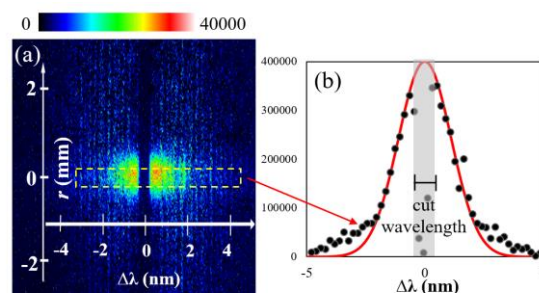


Fig. 2 (a) TS signal obtained from 20,000 laser-shot accumulations. 2 (b) TS spectrum reconstructed from 2(a) and its Gaussian fitting curve.

参考文献

1. G. J. M. Hagelaar and L. C. Pitchford, *Plasma Sources Sci. Techn.* **14** (2005) 722-733.