

レーザー散乱法による空气中ストリーマ放電の電子エネルギー分布研究 Studies of electron energy distribution function of streamer discharges produced in the air using laser scattering methods

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, ○¹Kentaro 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、本研究ではストリーマ放電にレーザー散乱計測を行ったときに得られるトムソン散乱 (TS) 信号およびラマン散乱 (RS) 信号を解析し、電子速度分布関数 (Electron velocity distribution function: EVDF) の直接計測を行った⁽²⁾。

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上、窒素および酸素分子からの RS 信号が重畳することが予想される。そのため EVDF の計測には、多数回のレーザーショットの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型トリプル分光器であり、ICCD カメラで信号検出を行った。純粋空气中での計測であり、TS 信号より 20 倍程度大きな RS 信号が重畳し、その除去過程で S/N 比は大きく低下した。そのため最終的に 20,000 ショットの積算計測を行い、S/N 比の向上を行った。図 2 は TS 計測の結果と、Bolsig+⁽¹⁾ を用いて計算した各換算電界 (Td) での EEEDF の計算結果である。 $\Delta\lambda$ は計測レーザー波長からの差波長で、 ε は対応する電子エネルギーである。2 eV 以下の領域 (low-energy region) では 1.14 eV に相当する Maxwellian 分布が得られたのに対し、2 eV 以上 (high-energy region) では Maxwell 分布から明確に逸脱したエネルギー分

布であることがわかる。このエネルギー分布の傾向は、Bolsig+でも計算されており、計算結果を支持するものであった。ただし、現状では RS 信号の干渉が大きく、high-energy region のエネルギー分布を詳細に議論するための S/N が確保できていない。RS の影響を抑えるためには、波長分解能の向上が有効であると考えており、分光器の改良作業を進めている。

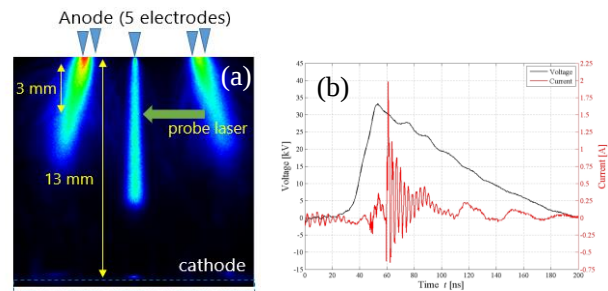


Fig. 1(a) Emission profile and 1(b) V-I waveforms of the streamer discharge.

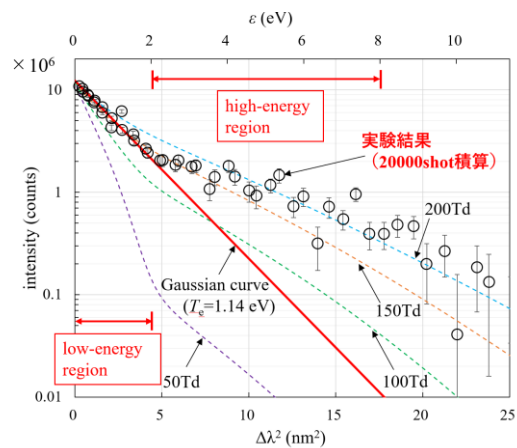


Fig. 2. TS signal obtained from 20,000 laser-shot accumulations and its Gaussian fitting curve.

参考文献

1. G. J. M. Hagelaar and L. C. Pitchford, *Plasma Sources Sci. Techn.* **14** (2005) 722-733.
2. K. Tomita et al. *J. Phys. D: Appl. Phys.* **53** (2020) 08LT01.