

レーザー誘起プラズマ中空素分子発光の外部電場依存性

—電場の遠隔計測に向けて—

External electric field dependence of the fluorescence of nitrogen molecules in laser-induced plasma
- Towards remote measurements of electric field -

杉山精博, 藤井隆*, 三木恵*, 山口昌人, アレクセイ ジドコフ*, 堀田栄喜, 根本孝七*

K. Sugiyama, T. Fujii*, M. Miki*, M. Yamaguchi, A. Zhidkov*, E. Hotta and K. Nemoto*

東京工業大学, *(財)電力中央研究所

Tokyo Institute of Technology, *Central Research Institute of Electric Power Industry

Abstract

We report experimental results on the remote measurement of fluorescence of nitrogen molecules from filament plasma, generated by femtosecond laser pulses, in an external electric field. The fluorescence of nitrogen molecules at the wavelength of 313.6 nm, 315.9 nm and 337.1 nm, representing the $N_2:C^3\Pi_u \rightarrow B^3\Pi_g$ transition, increases exponentially with the field strength. This technique may be useful for the remote measurement of the electric field.

1. 緒論

雷や放電のメカニズム解明のためには、空間電場の遠隔計測が望まれる。電場中に、レーザーを用いて光学的絶縁破壊によりプラズマを生成し、その発光の変化を分光計測することは、電場の非破壊・遠隔計測手法として有効である。プラズマ中では、電子衝突による分子励起が電場強度に依存するため、分子励起による紫外域の発光量が電場強度に依存することが期待される。我々は、レーザー誘起フィラメントプラズマ(Laser Filament Plasma: LFP)¹⁻²⁾からの紫外発光を空間電場の遠隔計測に適用することを目的とし、研究を行っている。今回、直流電圧を印加した電極間に LFP を生成し、その発光を分光計測した結果について報告する。

2. 実験方法

実験配置を Fig.1 に示す。パルス繰り返し 10Hz、パルス幅 50 fs、エネルギー 84mJ の Ti:Sapphire レーザー光を、高電圧電極から 10.4 m の位置に設置した焦点距離 10 m の凹面鏡を用いて電極直下 5 mm に集光し、LFP を生成した。高電圧電極には直径 25 cm の球電極を用いて、負極性電圧を最大 -400 kV まで印加した。平板接地電極は LFP より 1 m 下方に設置した。LFP からの発光は、球電極から 20 m 離れた位置に設置した口径 152 mm の望遠鏡により集光され、分光器(焦点距離: 300mm)により分光し、ICCD カメラ(Roper Scientific; PI-MAX: 1K-UV-MgF2)により受光した。ICCD カメラはレーザー光と同期した信号によりゲート遅延時間やゲート幅の操作が可能である。ゲート遅延時間およびゲート幅はそれぞれ、0 ns、500 ns とした。本実験では、連続した 100 パルスのプラズマ発光を 1 データとしてパソコン上で積算した。

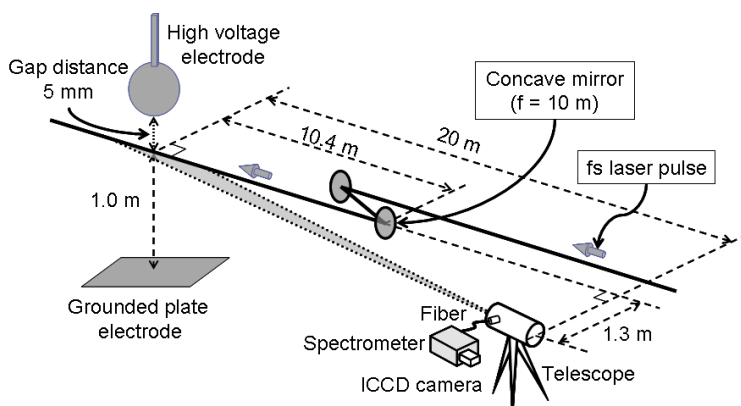


Fig. 1 Experimental Setup

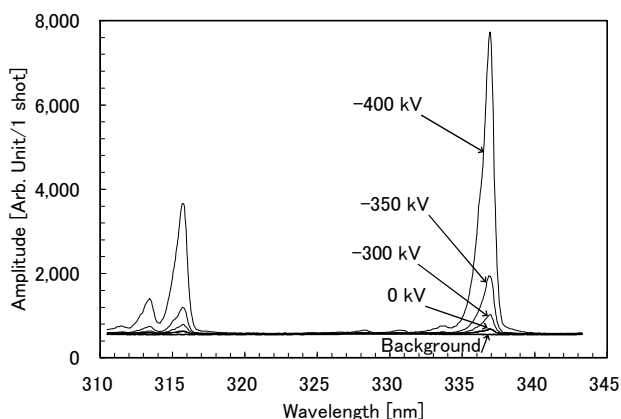


Fig.2 Fluorescence spectra of nitrogen molecules for the LFP at each applied voltage

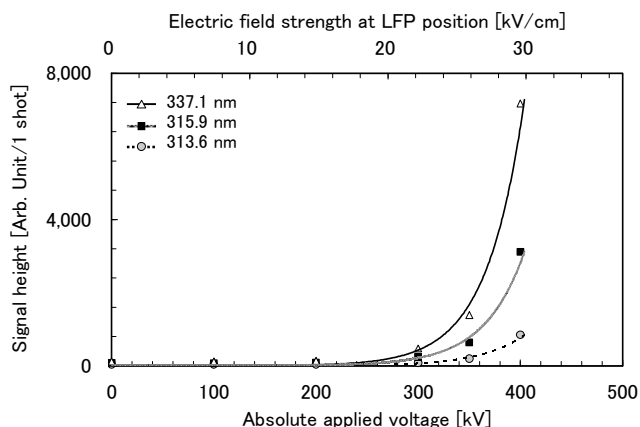


Fig. 3 Signal heights of the fluorescence of nitrogen molecules for the LFP

3. 実験結果

各電圧ごとに得られた窒素分子の紫外域における発光スペクトルを図2に示す。縦軸は、1レーザーパルスあたりの発光強度を示している。印加電圧の絶対値が 300 kV 以上において、窒素分子の第2正帯の発光(313.6 nm, 315.9 nm, 337.1 nm)強度の増加が観測された。これらの発光の波高値(各発光のピーク値と、バックグラウンドスペクトルとの差分)の印加電圧依存性を図3に示す。図中の電場強度は、球電極直下の LFP 位置における値であり、式： $E = -U_0D/(2R^2)$ (U_0 : 印加電圧、 $D=25$ cm: 球電極の直径、 $R=13$ cm: 球電極中心からの距離)を用いて計算した。図より、窒素分子の第2正帯の発光が印加電圧、すなわち LFP 生成位置での電場強度に対して指数関数的に増加していることがわかる。

4. 結論

今回、外部電場中に LFP を生成し、LFP の発光を 20 m 離れた位置から計測した。窒素分子の第2正帯の発光は外部電場に対して指数関数的に増加した。以上の結果は、電場の遠隔計測の可能性を示している。

参考文献

- 1) A. Braun et al. Self-channeling of high-peak-power femtosecond laser pulses in air. *Opt. Lett.* **20**, 73–75 (1995).
- 2) A. Couairon & A. Mysyrowicz, Femtosecond filamentation in transparent media. *Phys. Rep.* **441**, 47–189 (2007).