

フェムト秒レーザー誘起空気中フィラメントにおける
 N_2 の $C^3\Pi_u \rightarrow B^3\Pi_g$ 遷移の後方蛍光の増幅

大和田 成起¹, Ali Azarm², Sima Hosseini², 岩崎純史¹, See Leang Chin², 山内 薫¹

(¹ 東京大学大学院理学系研究科, ² Department of Physics, Engineering Physics and Optics & Center for Optics, Photonics and Laser, Laval University)

Amplification of backward fluorescence from $C^3\Pi_u \rightarrow B^3\Pi_g$ transition of N_2 through filament induced by femtosecond laser in air

Shigeki Owada¹, Ali Azarm², Sima Hosseini², Atsushi Iwasaki¹, See Leang Chin², Kaoru Yamanouchi¹

(¹ School of Science, The University of Tokyo, ² Department of Physics, Engineering Physics and Optics & Center for Optics, Photonics and Laser, Laval University)

【序】 フェムト秒レーザーを空気中で集光すると、フィラメントが生じることが知られている。このフィラメントは、光 Kerr 効果によるビームの自己収束と、レーザーにより大気中の分子がイオン化されて生じたプラズマによるビームの発散が釣り合いによって生じる。高い強度を保ちながらレーザーが伝搬する状態であり、ビームを集光した場合の Rayleigh 長よりも長い距離を伝搬するのが特徴である。フィラメント中で生じる現象として、自己位相変調によるパルスの広帯域化とパルス圧縮 [1] や、フィラメント内でのビームの集光強度が一定に保たれる強度クランピング [2] などの現象が広く知られている。

我々の研究グループでは、フィラメント中に生成した電子励起状態の窒素分子(N_2) からの発光の増幅過程を調べた。フィラメント中の窒素分子は、フィラメント中の高いレーザー強度による分子の電子の電離によって発生した電子との衝突により $C^3\Pi_u$ 状態に励起される。過去の研究では、フィラメント後方から観測した蛍光強度がフィラメント長に対して指数関数的に増加することが報告されていた [3, 4]。蛍光強度の増加の要因とされている自然放射光増幅の他に、フィラメントの伸長に伴う体積効果による蛍光強度の増加が考えられる。本研究では、フィラメント側面、および後方に放出される蛍光強度を測定し、フィラメント長に対するそれぞれの蛍光強度の変化を比較することによって、フィラメント後方からの蛍光が自然放射光増幅過程により増幅されていることを確認した。

【実験】 チタンサファイアレーザーシステムからのフェムト秒パルス(中心波長: 810 nm、パルス幅: 47 fs)を、大気中で $f=1000$ mm のレンズで集光しフィラメントを形成した (Fig. 1)。Czerny - Turner 型分光器と ICCD カメラを使用して 337 nm 付近の蛍光のみを観測することによって、 N_2 の $C^3\Pi_u \rightarrow B^3\Pi_g$ 遷移による蛍光をフィラメントの後方及び側面から検出した。フィラメント長の測定には、分光器の 0 次回折光を

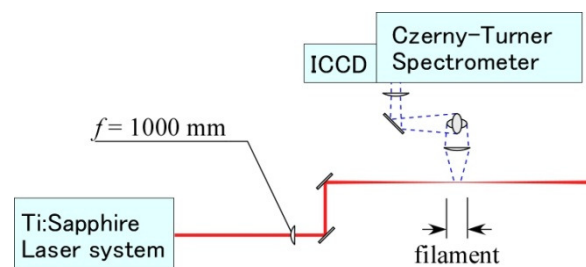


Figure 1 The experiment setup for measurement of the side scattered fluorescence.

CCD 画像として取得し使用した。パルスエネルギーが 0.5–6 mJ の範囲でフィラメント長とともに側面蛍光強度と後方蛍光強度を測定し、フィラメント長と蛍光強度の相関を調べた。

【結果と考察】 側面蛍光強度のフィラメント長に対するプロットを Fig. 2 に示す。側面蛍光強度はフィラメント長 0.8 cm 付近に変曲点を持つ。変曲点でフィラメント内の集光強度がクランピング強度と同程度に達したと考えれば、集光強度がクランピング強度以下の領域では、集光強度の増加とフィラメント長の増加により側面蛍光強度が急激に増加するが、集光強度がクランピング強度に達すると、フィラメント中のレーザーピーク強度が一定となるため、フィラメントの長さに比例した側面蛍光の増加を示すと考えられる。

Figure 2.(b)には、フィラメント長に対する後方からの蛍光強度プロットを示す。フィラメント長に比例した側面蛍光強度とは異なり、後方蛍光強度はフィラメント長に対して指数関数的な増加を示した。フィラメント中に発生するプラズマを、レーザー進行方向に沿って $C^3\Pi_u$ 状態の蓄積された棒状のレーザー媒質と考えれば、 $C^3\Pi_u \rightarrow B^3\Pi_g$ 遷移からの発光強度はフィラメント長に対して指数関数的に増加する自然放射光増幅となると考えられる。自然放射光増幅の利得は式(1)のように表すことができる [5]。

$$I(L) = P_s(e^{gL} - 1)/g \quad (1)$$

ここで、 $I(L)$: 蛍光強度、 P_s : 単位長さあたりの自然放射光強度、 g : 自然放射光増幅による利得、 L : フィラメント長である。フィラメント内の集光強度が一定であると考えられるフィラメント長が 0.8 cm から 1.8 cm の領域を使用して、式(1)による利得を計算すると、 $g = 2.7(2) \text{ cm}^{-1}$ と求められ、フィラメント後方から観測した蛍光強度が自然放射光増幅によって増幅されていることが確認された。

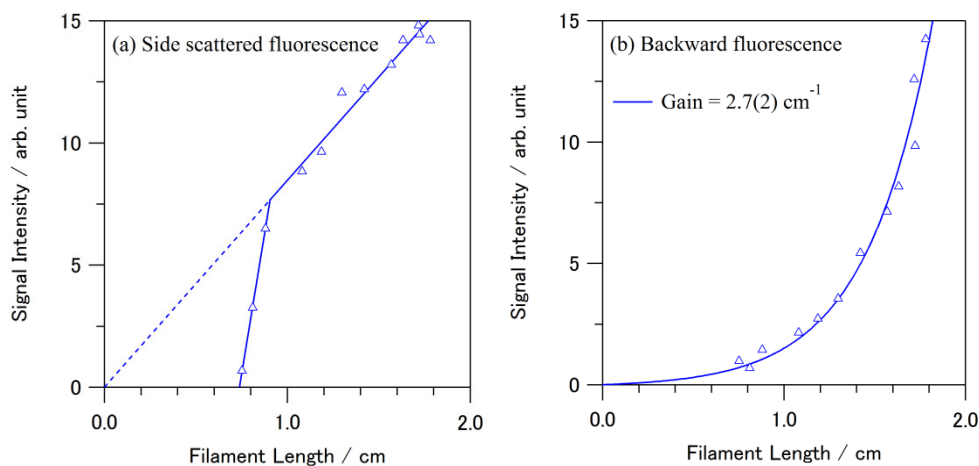


Figure 2 The intensities of the side fluorescence (a) and the backward fluorescence (b) with respect to the filament length.

【参考文献】

- [1] C. P. Hauri, *et al.*, *Appl. Phys. B* **79**, 673(2004).
- [2] A. Becker *et al.*, *Appl. Phys. B* **73**, 287(2001).
- [3] Q. Luo *et al.*, *Appl. Phys. B* **76**, 337(2003).
- [4] Q. Luo *et al.*, *Optics & Photonics News*, September (2004).
- [5] K. L. Shaklee *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **18**, 475(1971).