

空気における 3 倍波発生メカニズムの解明

Elucidation of the Third Harmonic Generation Mechanism in Air

東大院理

○小松原 航、小西 邦昭、湯本 潤司、五神 真

Graduate school of Science, The Univ. of Tokyo

○Wataru Komatsubara, Kuniaki Konishi, Junji Yumoto, Makoto Kuwata-Gonokami

E-mail: komatsubara@gono.phys.s.u-tokyo.ac.jp

空気に高強度レーザーを集光した場合に生じる非線形現象はフィラメンテーションやテラヘルツ波発生など多岐にわたり、レーザー加工などの応用上も重要である。特に、フィラメンテーションはクリティカルパワー P_{cr} で特徴づけられ、 P_{cr} 以上のパワー領域で自己収束とプラズマによる発散がつりあうことによって生成される[1]。この過程では、基本波の振る舞いだけでなく、3倍波の発生過程も複雑化し、中心とリング構造に分離することや、周波数シフトが生じることが知られている[2]。これまでの研究は主に P_{cr} 以上のパワーで行われており、その基本波強度や集光特性が3倍波発生に与える影響は詳細には議論されてこなかった。

また、空気における非線形現象の重要な特徴として、非線形媒質である空気よりもレイリー長が常に十分に短いため、ビームの集光によって生じる幾何学的位相(Gouy 位相)の効果を無視できないことが挙げられる。そのため、空気からの3倍波発生の強度依存性は特異な性質を示し、3乗ではなく5乗に従うことが知られている[3]。しかしながら、3倍波の発生過程を強度依存性に関連させて詳細に研究した例はいまだ行われていない。

今回、3倍波の発生過程と強度依存性との関連を明らかにするために、集光距離を変化させて空気からの3倍波の強度依存性とスペクトルの詳細な測定を行った。その結果、集光距離に応じて3倍波の強度依存性が変化することを発見した。Fig. (a)は $f=30$ で集光した場合の結果である。基本波の強度が15mW以下程度の場合には傾き5.7乗で増加し、15mW以上になると傾きは2乗となり飽和し、先行研究と一致した結果となった[3]。一方、 $f=60$ で集光した場合、Fig. (b)にあるように、30mW付近で強度依存性が一度飽和する特異な構造が出現した。この特異な構造の物理的起源を探るために、3次の非線形効果と空気のイオン化を取り込んだ非線形連立伝搬方程式を用いた数値計算を行い、強度依存性の実験結果を定性的に再現することに成功した(Fig. (c)(d))。さらに、スペクトルの実験結果と合わせて、この強度依存性の特異な構造は自己収束による3倍波発生過程の変化を反映していることを明らかにした。本研究によって、一見複雑に見える空気からの3倍波発生の強度依存性を数値計算によって再現し、背景の物理を抽出できることが明らかになった。

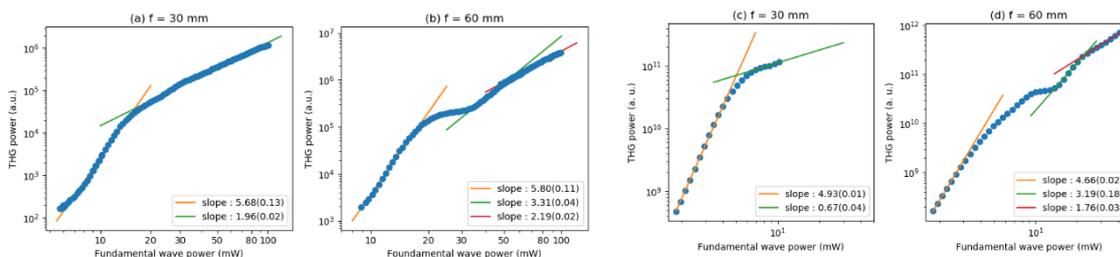


Figure : Intensity dependence of the third harmonic generated with (a) $f=30$, and (b) $f=60$. (c)(d) Numerical simulations.

[1] A. Couairon *et al.*, Phys. Rep. **441**, 47 (2007). [2] A. Fedotov *et al.*, Opt. Commun. **133**, 587 (1997). [3] M. Malcuit *et al.*, Phys. Rev. A **41**, 3822 (1990).