

空気との非線形相互作用による 光パルスの強度分布変化のレーザー加工への影響

Changes in the Intensity Distribution of the Laser Pulse
due to Non-linear Optical Interaction with Air and its Effects on the Laser Ablation

東大院理¹、東大物性研²

○山田 涼平¹、小松原 航¹、櫻井 治之²、小西 邦昭¹、三尾 典克¹、湯本 潤司¹、五神 真¹

Graduate school of Science, The Univ. of Tokyo¹, ISSP, The Univ. of Tokyo²

○Ryohei Yamada¹, Wataru Komatsubara¹, Haruyuki Sakurai², Kuniaki Konishi¹, Norikatsu Mio¹,

Junji Yumoto¹, Makoto Kuwata-Gonokami¹

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

高強度の超短パルスレーザーによる物質のアブレーションを利用したレーザー加工は、他の手法では困難な自由形状加工・非接触・微細加工などを特徴としている。このレーザー加工技術の制御性向上を考える上では、試料入射時の光パルスの空間強度分布の把握が不可欠である。しかしながら、パルス幅が数十から数フェムト秒の先端光源を利用したレーザー加工の場合、空気中で集光された光パルスの焦点近傍での強度は 10^{13} – 10^{14} W/cm²に達するため、Kerr効果による自己収束や空気のイオン化などの非線形現象が生じる。その結果、試料表面での光パルスの空間強度分布が変化し、それによって加工穴の形状も変化することが実験的にも知られている[1]。このような光パルスの強度分布の変化を理解し予測することは、レーザー加工の物理的メカニズム解明やその精密制御法の開拓にとって重要である。そこで我々は、まず、空気との非線形相互作用による光パルスの強度分布変化を把握するために、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解き、ガウシアンビームの集光点近傍の伝搬の様子を数値計算によって追跡し、集光位置での光パルスの強度分布と実際の加工穴形状との関係を調べた。

実験では、銅に対して、波長800 nm、パルス幅35 fsの光パルスを100パルス照射し、形成される加工穴の形状をレーザー顕微鏡によって観察した。Fig.1(a)は、得られた加工穴深さのパルスエネルギー依存性である。パルスエネルギーが20 μ J以下の場合、パルスエネルギーの増加に伴って穴の深さが増加するが、20 μ J付近で穴の深さは最大となり、その後、穴の深さは減少する。ここで、加工時と同様の条件で空気中で集光されたガウシアンビームの伝搬を上記の手法で計算し、銅表面での光パルスの強度分布を調べた。計算で求められた、焦点における光パルスのエネルギー密度分布のパルスエネルギー依存性をFig.1(b)に示す。さらに、この計算によるピークフルエンスのパルスエネルギー依存性をFig.1(c)に示す。加工穴深さの測定結果と同様に、パルスエネルギーが20 μ J程度で最大となり、Fig.1(a)の結果を概ね再現している。これより、観測された加工穴深さのパルスエネルギー依存性の特異な振る舞いは、光パルスと空気との非線形相互作用によってピークフルエンスの上昇が抑制されることによるものであると考えられる。今回の結果は、超短パルスレーザー加工を考える上では、空気の光パルスに対する非線形相互作用の効果を正しく考慮することが重要であることを示唆するものである。

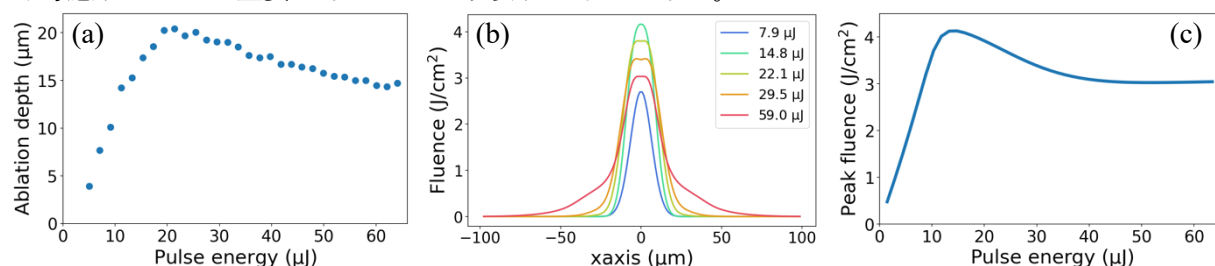


Fig.1. (a) The pulse energy dependence of the ablation depth. (b) The fluence distribution of the laser pulse at the focus. (c) The pulse energy dependence of the fluence at $x=0$.

[1] C. Pasquier *et al.*, Appl. Phys. Lett. **109**, 051102 (2016).