

熱的・非熱的レーザー破壊閾値の境界決定

Determining the boundary of thermal and nonthermal laser-induced breakdown threshold

東大物性研¹ ○遠藤 翼¹, 谷 峻太郎¹, 櫻井 治之¹, 小林 洋平¹

ISSP, Univ. Tokyo¹, °Tsubasa Endo¹, Shuntaro Tani¹, Haruyuki Sakurai¹, Yohei Kobayashi¹

E-mail: t.endo@issp.u-tokyo.ac.jp

産業におけるレーザー加工では、1 ns 以上のパルスを用いた加工が長らく主流であったが、近年では超短パルスを用いた高付加価値の精密加工が魅力的な選択肢となってきた。超短パルスを用いると非熱的な過程によって高品質な加工が実現されると考えられているが、熱的過程、つまり 1 温度系の温度上昇と相変化で記述できる過程が支配する領域と、そうでない非熱的過程が支配する領域とが切り替わる条件は長らく議論の対象である。特に、決定的パラメタであるパルス幅について熱的・非熱的領域の境界がどこであるかはいまだ決着がついておらず、この境界を定量的に明らかにすることは物理過程の理解および加工条件最適化のために重要である。従来、熱的・非熱的過程の区別は SEM などを用いた加工痕形状観察からなされることが多いが、これは定性的にならざるを得ない。より定量的な方法として破壊閾値のパルス幅依存性測定があり、閾値フルエンスがパルス幅の 0.5 乗則に従うことが熱的領域の指標とされてきた[1, 2]。我々は前回の応物[3]で、計 6 桁にわたるパルス幅についての銅の閾値パルス幅依存性の測定結果を報告したが、このデータは 0.5 乗則だけでは解釈できない。今回我々はデータの解釈を進め、熱的過程が従うべき理論曲線を実験データにフィッティングすることで熱的領域を特徴づける実効的な物性パラメタを決定し、それによって非熱的領域を熱的領域から定量的に分離できたので報告する。

銅における破壊閾値のパルス幅依存性の理論曲線を実験データにフィッティングした結果を Fig. 1 に示す。実験データの条件は、波長 1030 nm、繰り返し周波数 100 kHz、ショット数 10,000、スポット直径 $(1/e^2)8.1 \mu\text{m}$ (200 ps – 1 μs) および $11.5 \mu\text{m}$ (300 fs – 10 ps) である。フィッティングパラメタとして、熱的・非熱的境界時間 $\tau_{\text{cr}} = 5.2 \pm 0.4 \text{ ps}$ 、熱拡散係数 $D = 1.3 \pm 0.1 \text{ cm}^2/\text{s}$ 、反射率 $R = 0.964 \pm 0.003$ 、熱侵入長 $a = 106 \pm 10 \text{ nm}$ 、非熱的領域の傾き $d = 0.51 \pm 0.02$ の 5 つを決定した。比熱と融点には文献値を用いた。フィッティングパラメタの数が多いが、それぞれ曲線のビジュアルな特徴に関連付いているため、よく決定することができた。本成果の一部は SIP 委託事業「光・量子を活用した Society 5.0 実現化技術」、および Q-LEAP 委託事業「光量子科学によるものづくり CPS 化拠点」により得られたものである。

- [1] B. C. Stuart, et al., J. Opt. Soc. Am. B **13**, 459 (1996). [2] G. A. Mourou, et al., US5656186A (1997).
[3] 遠藤 翼 他 第 83 回応用物理学会秋季学術講演会 22p-C301-7 (2022).

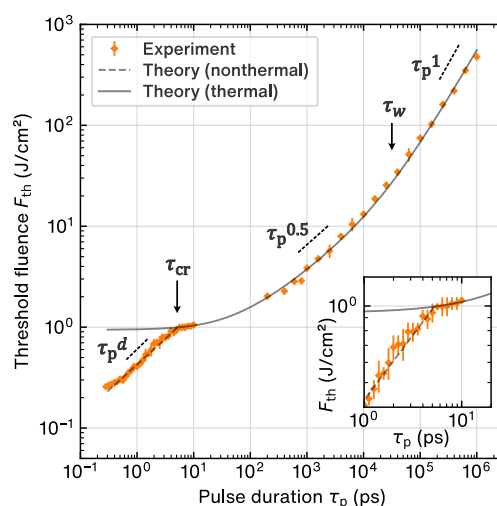


Fig. 1. Theoretical curves of laser-induced breakdown threshold of copper as a function of pulse duration fitted to experimental data. Inset is an expanded view of the region around 5 ps. $\tau_w = w^2/(8D)$ where w is a $1/e^2$ spot radius.