

中赤外 Er:YAP レーザーを用いた樹脂フィルムおよび生体試料の切断加工

Proposal of a new processing technique for plastic films and biological tissues using mid-infrared Er:YAP laser

核融合研¹, 三星ダイヤモンド工業(株)², 生命創成探究センター³, 生理研⁴, 順天堂大⁵

○上原 日和¹, 安原 亮¹, シー チュエン¹, 村上 政直², 小西 大介²,
大友 康平^{3,4,5}, 渡我部 ゆき^{3,4}, 石井 宏和^{3,4}, 堤 元佐^{3,4}, 根本 知己^{3,4}

NIFS¹, Mitsuboshi Diamond Ind. Co., Ltd.², ExCELLS³, NIPS⁴, Juntendo Univ.⁵

○Hiyori Uehara¹, Ryo Yasuhara¹, Quan Shi¹, Masanao Murakami², Daisuke Konishi², Kohei Otomo^{3,4,5}, Yuki Watakabe^{3,4}, Hirokazu Ishii^{3,4}, Motosuke Tsutsumi^{3,4}, Tomomi Nemoto^{3,4}

E-mail: uehara.hiyori@nifs.ac.jp

著者らは、最近、波長 2.92 μm で直接発振する Er³⁺添加イットリウム・アルミニウム・ペロブスカイト (Er:YAP) レーザーを独自開発した[1]。Er:YAP 結晶は、波長 2.7 μm で発振する Er:Y₂O₃ と比較してレーザー下準位寿命が長く、定常で 3 準位系となり、発振波長が長波長にシフトする。また、発振波長 2.94 μm の Er:YAG と比較して上準位寿命が長いため、連続波動作に適している。さらに、YAP 結晶は、酸化物ホスト材料の中で最も優れた熱・機械特性を有しており、これによって、7 W もの出力で高安定かつ高ビーム品位な中赤外レーザーが実現した。著者が構築した Er:YAP レーザーは、励起源に小型半導体レーザーを採用し、コンパクトで堅牢、安価な発振器構成となっており、赤外吸収を利用したガスセンシングや加工などの応用が考えられる。

今回、我々は、Er:YAP レーザーを光源利用した樹脂フィルム加工技術を新たに提案し、連続発振での高速スキャン加工を実証した。加工対象には、ポリカーボネート (PC)、ポリエチレンテレフタレート (PET)、アクリル樹脂 (PMMA)、ポリエチレン (PE)、ポリ塩化ビニル (PVC)、ポリアセタール (POM)、フッ素樹脂 (PTFE) の 7 種類の汎用的な樹脂フィルム (厚さ 0.1~0.2 mm) を用いた。ZnSe レンズ下の集光スポット径約 10 μm 、レーザー出力 0.5~2 W、走査速度 0.5~20 mm/s の条件で加工をおこない、加工痕のプロファイルをレーザー顕微鏡で観察した。フェニル基内 CH 伸縮振動や OH 伸縮振動の共鳴波長がレーザー波長である 2.92 μm と良い一致を示しており、吸収係数が 60 cm^{-1} を超える PET や PMMA では、アブレーションによる切断加工に成功した。なお、フェニル基内 CH 由来の吸収はバンド幅が狭く、Er:YAG レーザーの発振波長である 2.94 μm における吸収係数は小さい。また、吸収係数が 30~50 cm^{-1} 程度の PE、PVC、POM 試料の場合、弱い加工条件では照射スポット周辺が熔融して凸型構造が形成され、強い条件ではアブレーションが起こって局所的に凹型構造となり、切断に至った。一方、吸収係数が 10 cm^{-1} 前後と小さい PC、PTFE では、加熱による凸型構造のみが確認された。当該レーザー加工技術は、ディスプレイパネルなどの製造工程で求められる積層樹脂フィルムの高スループットな切断手法としての利用が期待できる。

中赤外 Er:YAP レーザー加工は、水分による高い光吸収性にに基づき、生体材料加工への適用も考えられる。そのため、今回は、ネズミの頭蓋骨切片を対象としたレーザー加工検証をおこない、高精度かつ高スループットな切断加工を実証した。顕微鏡下で生体脳の蛍光イメージングを行うためには、事前に頭蓋骨を除去する「オープンスカル手術」が必要であるが、ここに当該レーザー加工技術を導入することで、プロセスの簡便化が大いに期待できる。

参考文献

[1] W. Yao, H. Uehara, R. Yasuhara et al., Opt. Express **28**, 19000 (2020).