

サブピコ秒から数ナノ秒時間遅延領域における 超短パルスレーザー加工の時間分解複素透過率イメージング Time-Resolved Complex Optical Field Imaging of Ultrashort Pulsed Laser Processing at a Delay from sub-Picosecond to Nanoseconds

東大院理

○川野 将太郎、戸田 圭一郎、櫻井 治之、小西 邦昭、井手口 拓郎

Graduate School of Science, The Univ. of Tokyo

°Shotaro Kawano, Keiichiro Toda, Haruyuki Sakurai, Kuniaki Konishi, Takuro Ideguchi

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

非接触で微細自由形状の造形を可能とする超短パルスレーザー加工の制御性の更なる向上のためには、広い時間領域で展開される物質のアブレーションダイナミクスの原理そのものの探求が重要である。そのための観測手法の一つとして、単一の加工ポンプパルス光入射後の諸現象の過程をプローブパルス光の複素振幅波面、すなわち振幅と位相の二次元分布の応答変化として観測できる時間分解デジタルホログラフィ(Time-Resolved Digital Holography, TRDH)がある。これにより近年は、加工に伴うパルス光と物質の相互作用を時空間分解して直接観測する試みがなされてきた[1,2]。TRDH では位相を介して屈折率変化を観測することにより、加工中のキャリアダイナミクスや、基板の熱分布を可視化することが可能となると期待される。

我々はこれまでに、単一ポンプパルス光による加工穴形成過程の時間分解複素振幅イメージングに適した干渉計、およびそれを組み込んだポンププローブ法に基づく TRDH 光学系を開発してきた。これにより、BK7 ガラス基板の紫外超短パルス光(波長 257 nm、パルス幅 200 fs)による単一パルス加工について、サブピコ秒から数百ピコ秒の各時間遅延におけるプローブパルス光の振幅と位相の変化、すなわち透過率と光波の位相遅れ(Optical-Phase-Delay, OPD)の二次元分布画像を取得可能にした[3]。また、加工対象のガラス基板によって生じる球面収差を数値的に補正する手法を開発し、定量的な時空間分解データを取得することに成功した[4]。しかし、これまでの光学系ではステージの移動量の上限(50 mm)により、最大でも約 300 ps の時間遅延でのデータしか取得できないという制限があった。このため、サブナノ秒以降の遅延で起こるとされる熱の拡散現象[5]を観測することはできなかった。

本研究では、これまでの実験系よりも移動量の大きい 300 mm のステージによる遅延光路を 2 往復させることにより、ポンプ光入射から最大で 4 ナノ秒後までのデータを取得可能な TRDH 光学系を構築した(Fig.1-a)。この光学系により、サブピコ秒から数ナノ秒の各遅延時間での時間分解複素振幅画像を取得することに成功した。一例として、時間遅延 2.7 ns と加工後の OPD 画像 (Fig.1-b, c) を示す。このタイムスケールにおいてすでに加工痕と対応した信号が確認できる。本系で取得するデータにより、サブナノ秒の時間遅延領域から始まるとされる熱ダイナミクスを可視化することが可能となる。

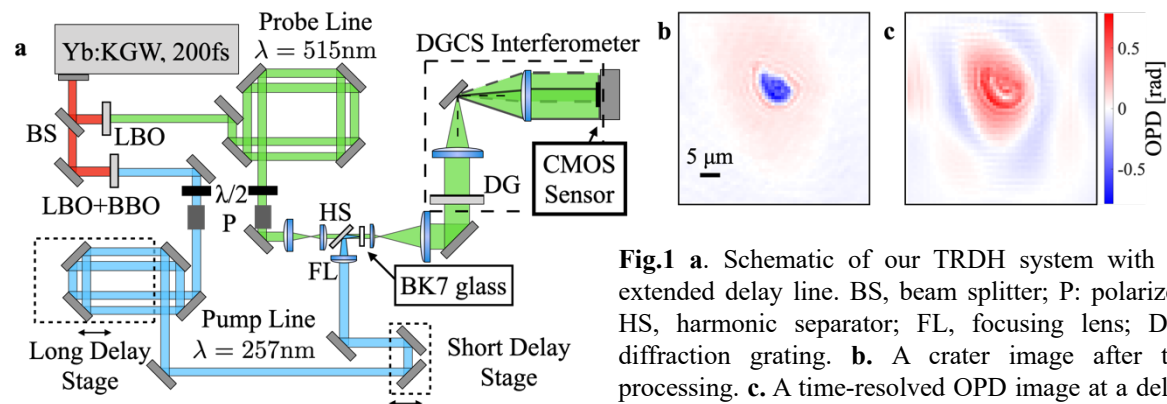


Fig.1 a. Schematic of our TRDH system with an extended delay line. BS, beam splitter; P, polarizer; HS, harmonic separator; FL, focusing lens; DG, diffraction grating. **b.** A crater image after the processing. **c.** A time-resolved OPD image at a delay of 2.7 ns. A 3.0-μJ pump pulse is used for the ablation.

- [1] Y. Hayasaki *et al.*, Sci. Rep. **7**, 10405 (2017).
 [2] B. Momgaudis *et al.*, Opt. Express **27** (5), 7699 (2019).
 [3] S. Kawano *et al.*, CLEO/Europe-EQEC 2021, OSA Technical Digest, paper cm_8_3.

- [4] 川野 将太郎 他、第 69 回応用物理学会春季学術講演会、23a-E304-2、2022 年 3 月。
 [5] R. R. Gattass & E. Mazur, Nat. Photonics **2**, 219 (2008).