フィードバック制御によるガラス表面へのフェムト秒レーザー誘起ナノ周期構造の安定形成

Stable formation of femtosecond-laser-induced periodic nanostructures on glass with feedback control

○長井 大輔 [1,2], 高田 英行 [2], 奈良崎 愛子 [2], 宮地 悟代 [1]
Tokyo University of Agriculture and Technology [1], AIST[2],
○Daisuke Nagai[1,2], Hideyuki Takada[2], Aiko Narazaki [2], Godai Miyaji[1]
E-mail: gmiyaji@cc.tuat.ac.jp

フェムト秒（fs）レーザー誘起ナノ周期構造形成は、セラミックスやサファイアのような難加工材料でも生じることから、代替不可能な微細加工技術として産業応用が期待されている。一方、この現象は材料表面やプロセス条件に非常に敏感であることから、高品質なナノ周期構造の安定形成と品質保証には、リアルタイムモニタリングとプロセスパラメータ制御が有効である。そこで本研究では、これまでに開発したインプロセスモニタリング技術[1]を使用し、レーザーパワーを PID 制御することによって、ガラス表面に安定してナノ周期構造を形成できることを実証した。

実験光学系を Fig.1 に示す。ターゲットとして厚さ 1 mm の合成石英基板を使用した。加工には Yb ファイバーレーザー（1030 nm，250 fs，20 kHz）を、同軸落射および透過照明には波長 660 nm および 850 nm の LED をそれぞれ使用した。顕微反射像と透過像をそれぞれ CMOS カメラで取得し、加工部分の反射率と透過率を求めた。掃引距離 1 mm、掃引速さ v = 10 μm/s で fs パルスを照射した後のガラス表面の走査電子顕微鏡（SEM）画像を Fig.2 に示す。レーザーパワーを 6.5 mW で固定した場合には、Fig.2(a)に示すように、周期 205 nm、深さ 1 μm のナノ構造は形成されるものの、欠損部は全加工面積の 18.3%であった。一方、レーザー照射中の反射率と透過率を基にレーザーパワーP を PID 制御したところ、P = 6.4–6.9 mW で調節され、Fig.2(b)に示すように欠損部は 3.9%まで低減でき、世界で初めてナノ構造の安定形成を実証した。本研究は、NEDO「ICT データ活用型形アクティブ制御レーザー加工技術開発」の支援を受け実施された。

[1] 長井大輔ら: “フェムト秒レーザーによるガラス表面ナノ周期構造形成の無反射特性を利用したその場観察”, 第 83 回応用物理学会秋季学術講演会, 東北大学, 22p-C301-15, 2022 年 9 月 22 日.

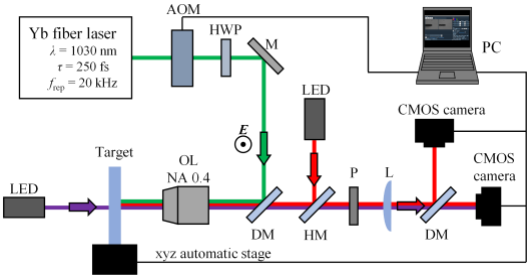

Fig.1 Schematic drawing of optical configuration. HM: half mirror, M: mirror, L: plano-convex lens, OL: objective lens, DM: dichroic mirror, HWP: halfwave plate, AOM: acoustic optical modulator. ***E*** denotes the laser polarization direction.

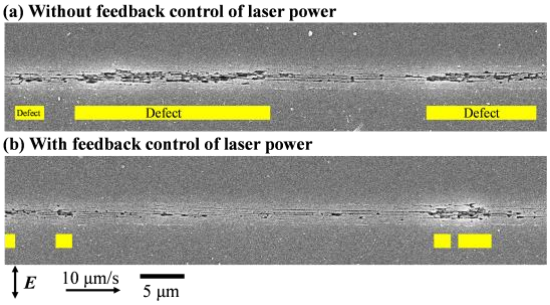

Fig.2 SEM images of glass surfaces irradiated with femtosecond laser pulses at v = 10 μm/s (a) without and (b) with feedback control of laser power. ***E*** denotes the laser polarization direction. The yellow squares represent for easier tracking of the defect area in nanostructure formation.