

## ガラスのフェムト秒レーザ穴あけ加工における ダメージ形成メカニズムの調査

### Investigation of mechanisms of damage generation during femtosecond laser drilling of glass

東大院工 °伊藤 佑介, 長藤 圭介, 杉田 直彦

Univ. Tokyo °Yusuke Ito, Keisuke Nagato, Naohiko Sugita

E-mail: y.ito@mfg.t.u-tokyo.ac.jp

フェムト秒レーザを集光することでガラスに微細加工を施すことが可能である。しかし加工領域周辺にダメージが形成されるため、精密加工が困難であるという課題が存在している。フェムト秒レーザ照射によって生じるダメージ形成の要因として、衝撃波の影響や励起電子の影響が広範に議論されているものの、ダメージ形成のメカニズムは未だ詳細には示されていない[1]。そこで本研究では、レーザ光照射直後の励起電子の挙動と衝撃波の挙動がレーザパルス照射毎に変化していく様子を、ポンプ・プローブ法と高速度カメラを組み合わせることにより観察した。さらに、観察された高速現象をシミュレーションで再現することにより、ダメージ形成メカニズムを調査した。

実験には、波長 780 nm, パルス幅 210 fs, 繰り返し周波数 1 kHz のフェムト秒レーザを用いた。レーザ光を加工用のポンプ光と観察用のプローブ光に分岐し、ポンプ光をガラス表面に集光して加工を行い、その垂直方向から波長を 390 nm に変換したプローブ光を入射し、影絵を観察した。ポンプ光のパルスエネルギーは 80  $\mu\text{J}$ , スポット径は 22  $\mu\text{m}$  である。光学遅延ステージによりプローブ光の光路長を変化させて加工実験を行うことで、ポンプ光の照射直後の加工現象をナノ秒オーダーで観察した。さらに、レーザ発振と同期させて 1 kHz で高速度カメラを動作させることにより、パルス照射毎に変化していく高速現象を観察した。実験系を Fig. 1(a)に示す[2]。

100 パルス照射後に伝搬する衝撃波の挙動を観察した結果を Fig. 1(b)に示す。この結果は、穴底部を中心として材料内部に衝撃波が伝搬することを示している。衝撃波伝搬過程における材料内部の応力分布を計算した結果を Fig. 1(c)に示す。パルス照射直後に材料表面に最大 8 GPa の引張応力が形成されることが明らかとなった。ガラスの破壊強度は約 6 GPa であるため、伝搬開始時に破壊の起点が形成されたのだと考えられる。

講演では、励起電子の緩和によって生じる残留ひずみの影響を評価することで、ダメージ形成メカニズムをより詳細に議論する。

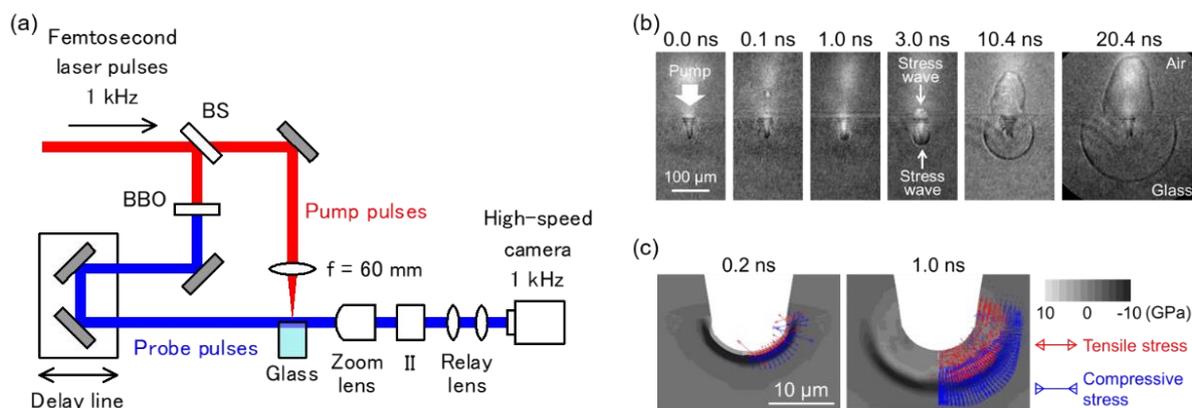


Fig. 1 (a) Optical setup. (b) Experimental results. (c) Numerical results.

[1] D. Grossmann, *et al.*, *Opt. Express* 25, 28478 (2017).

[2] Y. Ito, *et al.*, *Opt. Express* 27, 29158 (2019).