

ピコ秒パルス列の時間変調によるガラスの局所溶融現象とその抑制

Control of glass welding phenomena induced by temporally modulated picosecond-pulse train

○中村 晃直¹、坂倉 政明²、下間 靖彦¹、三浦 清貴¹

(1.京大院工、2.京大産連本部)

Akinao Nakamura¹, Masaaki Sakakura², Yasuhiko Shimotsuma¹, Kiyotaka Miura¹

(1.Kyoto Univ., 2.SACL, Kyoto Univ.)

E-mail: a.nakamura@func.mc.kyoto-u.ac.jp

【緒言】

近年、ガラスなどの透明固体材料のマイクロ接合に有用な技術として、高繰り返し超短パルスレーザーによる局所溶融が注目されている。超短パルスレーザーによる非線形光吸収をすることで、固体を局所溶融できるため、従来の接着剤による接着に比べて密封性が極めて高く、かつ熱履歴がほとんどない接着が可能となる。一方で、ガラスが局所的に高温になるため、熱応力の蓄積や熱励起電子によるレーザー光の吸収点移動などが起こり、溶融領域の周囲にクラックが形成するという問題があった^{2,3}。我々はレーザーパルス毎の強度を時間変調することで、熱励起電子による光吸収の増大と熱歪みの蓄積を緩和する方法を考案した。本講演では、パルス毎の強度を時間変調したピコ秒レーザーパルス列をガラス内部に集光照射することで、クラック形成を抑制できることを示し、その機構について議論する。

【実験】

任意波形発生器により生成した電圧信号（正弦波）を音響光学素子（AOM）に入力し、ピコ秒レーザーのパルス毎の強度を変調した。時間変調したピコ秒レーザーパルス列（波長 1064 nm、パルス幅 10 ps、繰り返し周波数 500 kHz）をアルカリガラス板（厚さ 1.1 mm）の内部（表面から約 400 μm）に 20 倍対物レンズ

（NA 0.45）を通して集光した。レーザーの照射方向に対して垂直にガラスを掃引（10 mm/s）して局所溶融させ、ライン状に描画した。局所溶融領域は、光学顕微鏡および偏光顕微鏡により観察し、熱影響領域や応力分布を評価した。

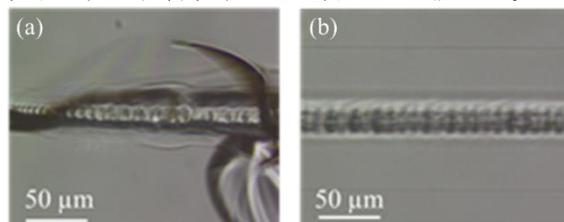


Fig.1. Transmission optical microscope images of the laser-writing tracks in alkali glass plates induced by (a) the conventional picosecond-pulse train (16 μJ, 500 kHz) and (b) the temporally modulated picosecond-pulse train (repetition rate of sinusoidal wave: 10 kHz).

【結果、考察】

Fig. 1(a)にパルス毎の強度変調を行っていないピコ秒レーザー装置から出力された 16 μJ、500 kHz

のパルス列により描画した局所溶融領域の光学顕微鏡像を示す。溶融領域の周辺に多数のクラックが形成していることが分かる。一方、平均パルスエネルギーが 16 μJ となるようにパルス毎の強度を正弦波形状に時間変調してレーザー描画した結果を Fig. 1(b)に示す。投入したエネルギーは同じであるにもかかわらず、Fig. 1(a)と同程度の幅の局所溶融領域の周囲には、クラックは生じなかった。

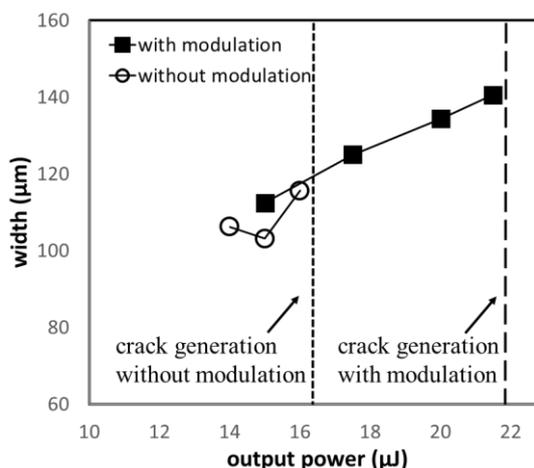


Fig.2. Plots of heat affected zone width in alkali glass induced by the picosecond laser pulses with and without the temporal intensity modulation in sine wave shapes.

Fig. 2 に照射レーザーのパルスエネルギーと熱影響領域の幅の関係を示す。強度変調をしていない場合、クラック形成のしきい値は約 16 μJ であるのに対し、強度変調することによって、クラック形成しきい値は 22 μJ となった。また、パルスエネルギー 22 μJ において、熱影響領域の幅は、約 1.2 倍に広がった。この結果は、レーザーパルスの強度を材料内部の熱物性に応じて時間変調することにより、過剰な温度上昇を抑制するとともに、急激な温度変化に伴う熱応力の発生が軽減されたためと考えられる。今後、熱拡散のシミュレーション等によって詳細を明らかにする予定である。講演では、アルカリガラスよりも軟化点が高い無アルカリガラスでの結果についても触れる。

【参考文献】

- 1) T. Tamaki et al, Appl. Phys A, vol.687 (2005) 44
- 2) I. Miyamoto et al, Appl. Phys A, vol.199 (2014) 114
- 3) I. H. W. Nordin et al, Appl. Phys A, vol.492 (2016) 122