

## 多点同時フェムト秒レーザー照射によるガラス内部における 元素移動の深さ方向制御

Control of migration of glass elements in the depth direction by multispots' irradiation  
with femtosecond laser pulses

京大院工<sup>1</sup>, 京大産連<sup>2</sup>, 京大化研<sup>3</sup> ○吉村 光平<sup>1</sup>, 坂倉 政明<sup>2</sup>, 栗田 寅太郎<sup>1</sup>, 清水 雅弘<sup>3</sup>,  
福田 直晃<sup>2</sup>, 下間 靖彦<sup>1</sup>, 三浦 清貴<sup>1</sup>

Kyoto Univ. Eng.<sup>1</sup>, Kyoto Univ. SACI<sup>2</sup>, Kyoto Univ. ICR<sup>3</sup> ○Kohei Yoshimura<sup>1</sup>, Masaaki Sakakura<sup>2</sup>,  
Torataro Kurita<sup>1</sup>, Yasuhiko Shimotsuma<sup>1</sup>, Masahiro Shimizu<sup>3</sup>, Naoaki Fukuda<sup>2</sup>, Kiyotaka Miura<sup>1</sup>

E-mail: y.kouhei@func.mc.kyoto-u.ac.jp

**【はじめに】** 数百 kHz 以上の高繰り返しでガラス内部にフェムト秒レーザーを集光照射すると、集光点付近の熱蓄積によりガラスが局所的に熔融し、ガラスを構成する元素の移動が起こる。<sup>1,2</sup>この現象を用いることで、結晶析出や高屈折率構造形成を集光点よりも広い領域で誘起できる。誘起される構造変化の形状や元素分布は主にレーザー照射中の温度分布によって決まる<sup>2</sup>が、1 点照射の場合は光軸に関して対称な温度分布しか形成されないため、同心円状の元素分布しか形成されない。一方、空間光変調器(SLM)を用いることで複数点を同時照射すると、複雑な温度分布が形成することができるため、元素分布形状の自由度を上げることができる。本研究では、SLM を用いた多点同時照射により、主に光軸方向の分布に注目して、元素分布の形状制御を行った。

**【実験】** 繰返し 250 kHz, 波長 800 nm, パルス幅 70 fs のレーザーパルスを 50 倍の対物レンズ(NA=0.55)で集光照射すると同時に、繰返し 1 kHz, 波長 800 nm, パルス幅 100 fs のレーザーパルスを SLM により位相変調することで、250 kHz のパルスの集光点の周囲 4 点に集光し、構造変化を誘起した。さらに、深さ方向の元素分布を調べるために、レーザー照射しながら光軸に垂直な方向にガラスを掃引し、線状の構造変化の断面を研磨し、Electron Probe Micro Analyzer (EPMA) により Si と Ca の分布を評価した。

**【結果】** Figure 1(a)に 250 kHz のレーザーパルスのみを集光照射することでソーダライムガラス中に形成した構造変化の透過光学顕微鏡像と Si と Ca の分布を示す。楕円形状の暗い領域がレーザー照射中に流動が見られる領域であり、光励起領域の分布(赤線)を反映した形状になっている。この楕円領域の中央で Si の密度が高くなり、外側の境界部で Ca の密度が高くなった。一方、250 kHz のレーザーパルスと 1 kHz のレーザーパルス 4 点を同時照射して形成した構造変化と元素分布は、焦点位置により異なる形状になった。1 kHz のレーザーパルスの集光点(青線)が 250 kHz のそれよりも 15  $\mu\text{m}$  だけ上方にある場合[Fig. 1(b)]は、熔融領域の上部が直線状になり、その領域での Si の密度が高くなった。一方、Ca については、高密度になっている領域が不明瞭で、Si が高密度の領域での Ca の密度が局所的に低下した。逆に、1 kHz のレーザーパルスの焦点を 250 kHz のそれよりも 15  $\mu\text{m}$  だけ下方にある場合[Fig. 1(c)]は、熔融領域の下方に Si の高密度領域が生じ、Ca の密度はそれ以外の領域で高くなった。ここで見られた結果は、多点照射による温度分布のだけでは説明することができず、1 kHz 照射による大きな熱膨張とそれによる密度対流によって元素の局所分布が誘起されたと考えられる。

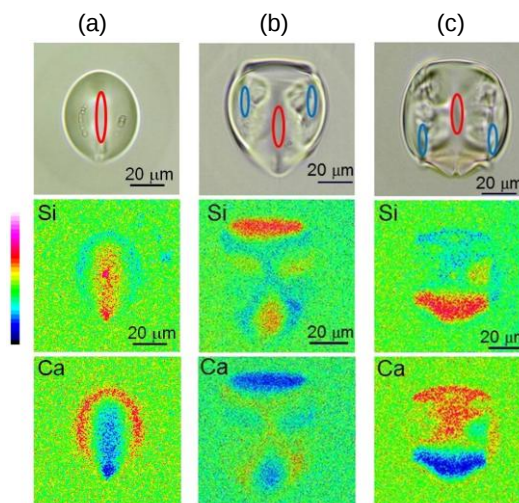


Fig. 1 Optical microscope images of laser induced structural changes and their Si and Ca distributions evaluated by EPMA. (a) 250 kHz at 1 spot. (b), (c) 250 kHz at 1 spot and 1 kHz at 4 spots. The focal depths of 1 kHz pulses were different in (b) and (c).

<sup>1)</sup> S. Kanehira et al., Appl. Phys. Lett. **93** (2008) 023112.

<sup>2)</sup> M. Shimizu, et al., Opt. Lett. **36** (2011) 2161.