

# 극초단 펄스 레이저를 이용한 유리 미세 가공 Micromachining of glasses using an ultrashort pulse laser

\*#최지연<sup>1</sup>, 조성학<sup>2</sup>, 서정<sup>1</sup>, 이제훈<sup>1</sup>

\*#J. Choi(jchoi@kimm.re.kr)<sup>1</sup>, S. H. Cho<sup>2</sup>, J. Suh<sup>1</sup>, J. H. Lee<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 한국기계연구원 광응용기계연구실, <sup>2</sup> 한국기계연구원 나노공정장비연구실

Key words : ultrashort pulse laser, photosensitive glass,

## 1. 서론

유리는 우수한 광학 특성과 화학적, 기계적 내구성으로 인해 광소자, 디스플레이, 바이오 칩, 이동통신 기기 분야등에서 널리 사용되고 있는 재료이다. 이동성과 휴대성을 위해 제품의 경박단소화를 요구하는 추세에 따라 미세 가공에 대한 수요도 급격히 늘고 있으나 유리는 취성이 높고 열전도율이 낮아 기계적인 방법으로는 미세 가공이 힘든 단점이 있다. 또한, 열적 효과가 주 가공 기작이 되는 CO<sub>2</sub> 레이저로 가공하게 되면 미세 크랙 발생과 가공 품질의 저하를 초래한다. 열적 손상을 줄이기 위해 Nd:YAG 등의 고체 나노초 레이저를 사용하면 가시광에서 근적외선까지 투과율이 높아서 선형 흡수가 거의 없으므로 가공 효율이 매우 떨어지게 된다.

반면에 극초단 펄스 레이저는 선형 흡수가 거의 없는 매질에서 입사빔의 강도에 비례하는 비선형 광학 흡수를 일으켜 가공을 가능하게 하므로 좁은 영역에 에너지를 효과적으로 전달할 수 있으며 짧은 펄스폭은 열적 손상을 일으키지 않아서 가공 품질을 향상시킬 수 있다.<sup>1</sup> 한편 은이온이 함유된 광 민감성 유리는 레이저와 선택적 에칭을 함께 이용함으로써 미세 가공시 일반 유리에 비해 미려한 가공 품질을 쉽게 얻을 수 있어 MEMS 나 microfluidics 를 위한 기관으로 사용하고자 하는 시도가 있어왔다.<sup>2,4</sup> 본 논문에서는 극초단 펄스 레이저를 이용해 광 민감성 유리에 높은 aspect ratio 를 가진 미세 구조를 제작하고, 이를 이용해 적층 기관을 구현한 결과를 보이고자 한다.

## 2. 실험 방법

본 연구를 위해 피코초와 펨토초 영역의 레이저를 사용하였다. 첫번째 시스템은 펄스폭 12 ps 의 피코초 레이저로 반복률은 50 ~ 640 kHz 까지 가변되며 1064 nm 의 기본 파장을 발진하고 2 차, 3 차 조화파를 위한 비선형 광학 결정이 포함되어 파장 가변이 용이한 시스템이다. 본 실험에서는 3 차 조화파인 355 nm 의 파장을 이용하였다. 두번째 시스템은 300 fs 의 펄스폭, 1025 nm 의 파장을 가진 펨토초 레이저이며 반복률은 최대 200 kHz 까지 조절 가능한 시스템이다. 집속을 위한 광학계는 NA=0.1~0.14 범위의 대물렌즈를 이용하였다. 초점위치에서의 빔크기는 20  $\mu$ m 이내로 추정된다. 사용된 유리는 0.5 mm 두께의 광 민감성 유리 (PEG3, Hoya glass)이다. 광민감성 유리는 레이저 조사후 열처리를 통해 조사부위를 결정화 한 후 10%의 HF 용액에서 에칭하였다.

## 3. 실험 결과

우수한 가공 품질과 높은 aspect ratio 의 가공 형상을 얻기 위해서는 레이저 조사 변수와 열처리, 에칭 공정 변수의 최적화가 중요하다. 첫째, 과도한 결정화가 일어나지 않게 하기 위해 시료의 ablation threshold 를 측정후 약 50% 정도의 레이저 강도를 조사하여 빔의 중심부에서만 결정화가 일어날 수 있도록 하였다. 둘째, 에칭 시간을 조절하여 결정화된 부위만 빠르게 에칭될 수 있는 최적 시간을 찾았다. 그림 1 은 광 민감성 유리의 결정화 깊이를 측정한 결과이다. 에칭시, 레이저 조사와 어닐링에 의해 결정화된 부위에서 더

빠르게 침식하므로 에칭된 깊이로 결정화된 깊이를 어림할 수 있다. 그림 1 에서 약 10 분 후부터는 깊이의 변화가 크지 않은 것으로 보아 결정화 깊이는 약 0.3 mm 로 예상되며, 이것은 조사시에 사용된 대물렌즈의 Rayleigh 길이와 거의 같음을 알 수 있다. 또한, 에칭 시간이 10 분을 초과하게 되면 결정화 부위 이외의 영역에서도 계속 에칭이 일어나 형상의 contrast 가 오히려 나빠짐을 유추할 수 있다.

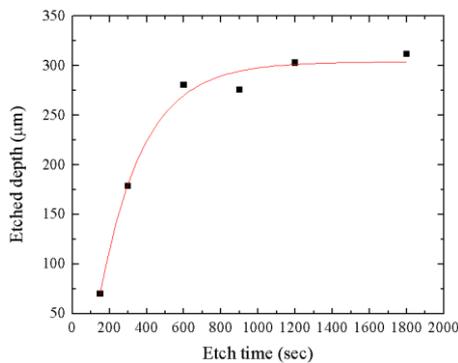


Fig. 1 Etched depth of PEG3 glass in a 10% HF solution as a function of etch time

높은 aspect ratio 와 미세한 가공 선폭을 동시에 얻기 위해서는 Rayleigh 길이가 긴 대물렌즈를 사용하고 비선형 광학 흡수 특성을 극대화시켜 결정화되는 부위를 빔의 강도가 높은 중심 영역으로 제한하거나 작게 집속된 빔을 빛의 진행 방향으로 스캔하여 레이저를 조사할 수 있다. 그림 2 는 전자의 방법으로 관통된 trench 를 제작한 것을 보여주고 있다.

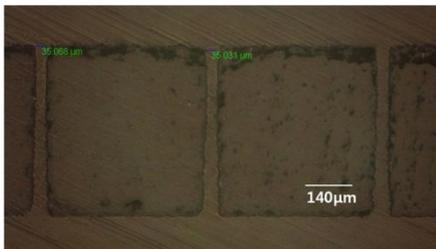


Fig. 2 An image of trenches in the PEG3 after polishing the cross-section

빔이 조사된 방향 (그림 아랫쪽)이 반대 방향보다 넓게 에칭된 것을 볼 수 있는데, 향후 trench 벽의 평행도와 균일성을 높이기 위해 더 높은 NA 의 대물렌즈를 사용하고자 한다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 광민감성 유리에 극초단 펄스 레이저를 조사한 후 열처리하면 은 나노입자가 형성되어 조사 영역의 에칭 속도가 높아지는 기작을 이용해 높은 aspect ratio 의 미세 구조를 구현하였다. 향후 레이저 조사 부위를 분광학적으로 관찰하여 에칭 contrast 를 높이고 더 높은 aspect ratio 를 구현할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

#### 참고문헌

- Gattass, R. and Mazur, E., "Femtosecond laser micromachining in transparent materials", Nature. Photon., Vol. 2, No.4, pp. 219-225, 2008
- Dietrich, T. R., Ehrfeld, W., Lacher, M., Kramer, M., Speit, B., "Fabrication technologies for microsystems utilizing photoetchable glass", Microelectron. Eng, vol. 30 pp497-504, 1996
- Hanada, Y., Sugioka, K., Midorikawa, K., "Selective metallization of photostructurable glass by femtosecond laser direct writing for biochip application", Appl. Phys. A, Vol 90, pp603-607, 2007
- Kim, J., Berberoglu, H., Xu, X., "Fabrication of microstructures in photoetchable glass ceramics using excimer and femtosecond lasers", J. Microlith. Microfab. Microsys. Vol. 3, pp478, 2004