

## 레이저를 이용한 트렌치 제작 및 응용 연구

최훈국<sup>\*,\*\*</sup>, 유동윤<sup>\*</sup>, 손익부<sup>\*,☒</sup>, 노영철<sup>\*</sup>,김영식<sup>\*\*\*,†</sup>, 김수용<sup>\*\*\*,†</sup>, 김완춘<sup>\*\*\*,†</sup>, 김진봉<sup>\*\*\*,†</sup><sup>\*</sup>광주과학기술원 고등광기술연구소, <sup>\*\*</sup>조선대학교 광기술공학과<sup>\*\*\*</sup>(주) PPI3 · 전남대학교, <sup>†</sup>광공학협동과정

## Laser microstructuring of trench and its application to optical waveguide

Hun-Kook Choi<sup>\*,\*\*</sup>, Dongyoon Yoo<sup>\*</sup>, Ik-Bu Sohn<sup>\*,☒</sup>, Young-Chul Noh<sup>\*</sup>, Young-Sic Kim<sup>\*\*\*,†</sup>,Su-yong Kim<sup>\*\*\*,†</sup>, Wan-Chun Kim<sup>\*\*\*,†</sup> and Jin-Bong Kim<sup>\*\*\*,†</sup><sup>\*</sup>Advanced Photonics Research Institute, GIST<sup>\*\*</sup>Department of Photonic Eng, Chosun Univ.<sup>\*\*\*</sup>Photonics Planar Integration Inc<sup>†</sup>Chonnam national university, Interdisciplinary Program for Photonic Engineering

## Abstract

In this paper, micro trench structure is fabricated by femtosecond laser for inserting optical reflecting wavelength filter in planar waveguide. The width and depth of the trench is controlled by femtosecond laser machining condition. Also, large scale of single channel with 500um and 1000um on silica plate is fabricated by femtosecond laser, and roughness of the channel surface is polished by CO<sub>2</sub> laser for the insertion of the filter. Then, the characteristic of the planar waveguide inserted the filter is verified.

**Keywords:** Femtosecond laser(펨토초 레이저), CO<sub>2</sub> laser(CO<sub>2</sub> 레이저), trench(트렌치), channel(채널), waveguide(도파로), wavelength filter(파장 필터)

## 1. 서론

펨토초 레이저는 높은 첨두 출력(peak power)과 초고속 펄스 증폭(CPA: Chirped-Pulse Amplification) 기술의 개발로 고출력 펨토초 레이저 펄스의 생성이 가능해 졌으며<sup>1,2</sup>, 집적 삼차원 가공 소자를 제작할 수 있는 장점 때문에 많은 연구가 진행되고 있다. 또한, 레이저 가공 기술은 매우 미세하고 정밀하게 가공 할 수 있는 장점이 있으며, 펨토초 레이저 가공은 펄스폭이 매우 짧기 때문에 레이저 빔에 의한 열적 영향이 적어 가공 물질에 대한 영향을 최소화 할 수 있다<sup>3</sup>. 이러한 펨토초 레이저의 장점들로 인해 현재 펨토초 레이저를 이용한 광학 부품, 광소자, 반도체, 의료 분야등 다양한 분야에 적용되어 연구 및 기술개발이 이루어지고 있다<sup>4-8</sup>.

본 연구에서는 펨토초 레이저를 사용하여 실리콘 표면에 다양한 크기와 깊이를 가지는 트렌치 가공을 진행하였으며, 이를 통해 트렌치 형상제어 조건을 확인 하였다. 또한, 500, 1000 $\mu$ m의 크기를 가지는 단일 채널 가공을 진행 하였으며, 펨토초 레이저를 통해 가공된 채널의 거칠기를 제거하기 위해 CO<sub>2</sub> 레이저 연마 기술을 적용하였다. CO<sub>2</sub> 레이저 연마를 통해 채널 가공 부분의 거칠기가 눈에 띄게 줄어드는 것을 확인 하였다. 이러한 펨토초 레이저트렌치 가공 기술을 이용하여 광도파로 소자에 파장반사 필터 삽입을 위한 미세 트렌치를 가공 하였으며, 그 특성을 확인 하였다.

## 2. 실험 및 결과

다양한 종류의 트렌치 및 채널과 광도파로 가공을 위하여 펨토초 레이저를 사용하였다. 실험에

투고일 : 2015년 3월 11일 심사완료일 : 2015년 3월 24일

게재승인일 : 2015년 3월 26일

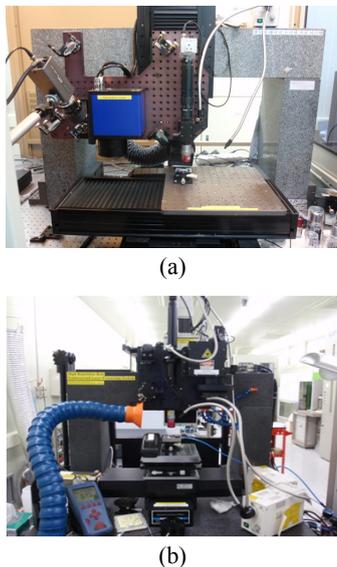
교신저자 : 손익부 ☒ ibson@gist.ac.kr

사용된 레이저는 1 kHz와 100 kHz 반복률을 가지는 펄스 레이저를 사용하였다.

펄스 반복률이 1kHz를 가지는 펄스 레이저는 CyberLaser사의 Ti:Sapphire femtosecond laser (모델명 : IFRIT)이다. 이 펄스 레이저의 사양은 785nm의 중심파장을 가지며, 185fs의 펄스폭을 가진다. 최대 출력은 1W이며, 스테이지 시스템은 X, Y, Z축으로 구성되어 있다. X, Y축은 Linear motor stage로 300mm × 300mm의 가공 범위, 20nm의 정밀도, 20mm/s의 최대속도를 가진다. Z축은 Ballscrew stage로 이루어져 있으며, 200mm의 이동범위를 가지며, 0.5 $\mu$ m의 정밀도와 20mm/s의 최대속도를 가진다.

또한 펄스 반복률이 100kHz를 가지는 펄스 레이저는 LightConversion사의 Yb:KGW 다이오드 펌핑 펄스 레이저 시스템(모델명: Pharos)을 사용하였다. 이 펄스 레이저는 1030nm의 중심파장, 250fs의 펄스폭과 평균 출력 6W를 가진다. 이 레이저 시스템의 스테이지는 X, Y축은 선형 모터 스테이지, 300mm × 300mm의 가공 범위, 300mm/s의 최대 이송 속도를 가지고 있으며, Z축은 100mm의 가공 범위를 가진다.

트렌치 가공을 위하여 실리카 표면에 펄스 반복률이 1kHz를 가지는 펄스 레이저를 사용하였다.



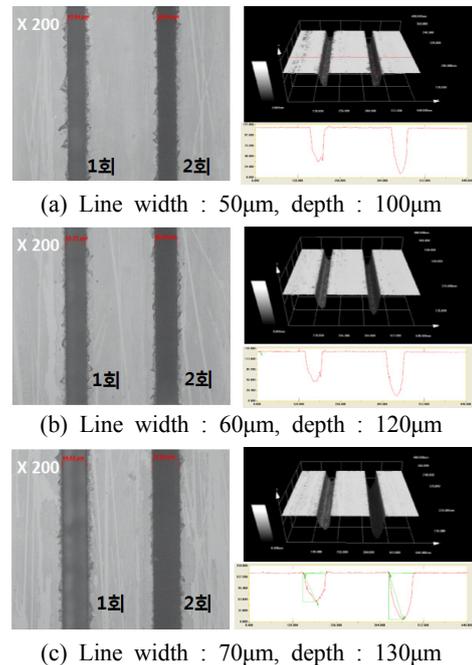
**Fig. 1** Femtosecond laser micromachining system (a) Cyberlaser (IFRIT), (b) LightConversion (PHAROS).

가공 선폭이 50, 60, 70 $\mu$ m를 가지며, 100, 120, 130 $\mu$ m의 깊이로 트렌치를 가공 하였다. 가공 조건은 20 배율(NA = 0.4)을 가지는 Objective lens

를 사용하였으며, 0.5mm/s 속도로 가공 하였다. 펄스 에너지는 82 $\mu$ J를 사용하였다. 가공 방향은 Y축 방향으로 진행하였으며, 2 $\mu$ m 간격으로 X축 방향으로 이동해 가면서 가공하였다. 또한, 가공 반복은 1회와 2회로 적용하였다.

Fig. 2는 펄스 레이저를 사용하여 50, 60, 70 $\mu$ m의 선폭을 가지는 트렌치를 광학 현미경과 confocal 현미경을 이용하여 측정된 이미지이다. Fig. 2(a), (b), (c)는 선폭이 50, 60, 70 $\mu$ m이지만, 가공 반복에 따라 가공 깊이가 변함을 확인 하였다. 1회 가공 시 각각의 트렌치의 깊이는 약 80 $\mu$ m로 동일하였지만, 2회 반복 시 각각의 트렌치의 깊이가 100, 120, 130 $\mu$ m로 변화함을 알 수 있었다.

또한, 트렌치 보다 큰 채널 가공을 위하여 펄스 반복률이 100kHz를 가지는 펄스 레이저를 사용하였다. 가공을 위하여 10배율(NA = 0.26)을 가지는 Objective lens를 사용하였으며, 5mm/s의 가공 속도 7.49 $\mu$ J의 펄스 에너지를 사용하였다. 채널의 폭은 500, 1000 $\mu$ m이며 가공 깊이는 50 $\mu$ m를 가지게 가공 하였다.



**Fig. 2** Optical and confocal microscope image of trench.

Fig. 3은 펄스 반복률이 100kHz를 가지는 펄스 레이저를 사용하여 가공한 채널을 광학 현미경과 confocal을 이용하여 측정된 이미지 이다. 원하는 사양을 가지는 채널을 가공 하였지만, 채널 폭이 트렌치에 비해 넓어 가공 부위의 거칠기가 더욱

눈에 띄게 많음을 알 수 있었다. 이러한 가공 부분의 거칠기를 제거하기 위하여 CO<sub>2</sub> 레이저 연마 시스템을 이용하였다.

Fig. 4는 실험에 사용된 CO<sub>2</sub> 레이저로 중심파장 10.6 $\mu$ m, 55W의 최대출력을 가지는 Coherent사의 CO<sub>2</sub> 레이저(모델명 : C-55L)을 사용하였다.

펄스 레이저로 가공된 채널을 연마하기 위하여 scanner 가공 방식을 적용하였으며, f = 170mm를 가지는 f-theta scanning lens를 사용하였다. 레이저의 출력은 4.36W를 사용하였으며, 50mm/s의 연마 속도로 가공 하였다.

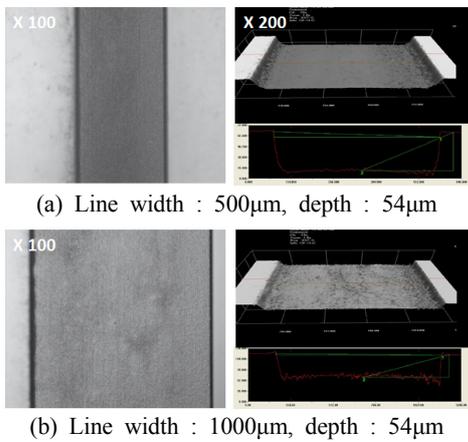


Fig. 3 Optical and confocal microscope image of channel.

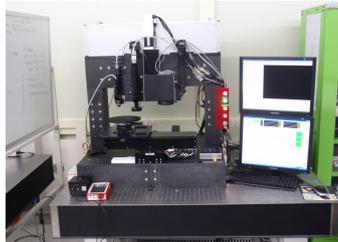


Fig. 4 CO<sub>2</sub> laser polishing system.

Fig. 5는 펄스 레이저를 사용하여 가공한 채널에 대하여 CO<sub>2</sub> 레이저 연마 시스템을 이용하여 가공 거칠기를 제거한 것이다. CO<sub>2</sub> 레이저 연마를 통해 확연하게 가공 거칠기가 제거되었음을 확인할 수 있다. 하지만 연마를 통해 가공 깊이가 변화하였으며, 약 6-14 $\mu$ m 차이가 생겼음을 알 수 있었다.

이렇게 펄스 레이저를 이용하여 트렌치 및 채널을 가공 하였으며, 가공 형상 변화에 따라 크기 및 깊이 제어가 가능함을 확인 하였다. 이러한 가공 결과들을 바탕으로 펄스 레이저 트렌치 가공 기술을 광도파로 소자에 적용해 보았다.

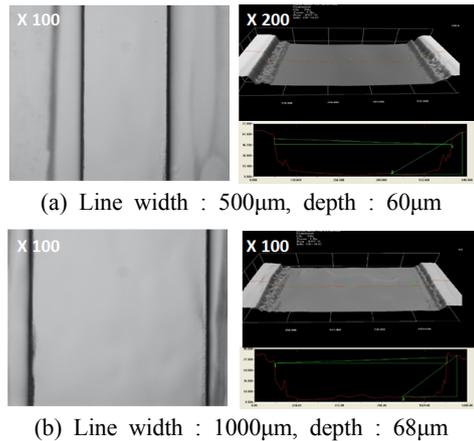


Fig. 5 Confocal microscope measurement result of the single channel after CO<sub>2</sub> laser polishing.

광도파로 소자에 트렌치를 가공하여 가공된 부분에 파장 필터를 삽입을 하여 특정파장만 반사시키는 실험을 진행하였다. 파장 반사 필터 삽입을 위하여 펄스 레이저를 이용하여 50 $\mu$ m 선폭에 60 $\mu$ m의 깊이를 가지는 트렌치를 가공 하였으며, CO<sub>2</sub> 레이저를 이용한 가공 부위 연마는 적용하지 않았다. 광도파로 소자에 가공을 위하여 펄스 반 복률이 100kHz를 가지는 펄스 레이저를 사용 하였다.



Fig. 6 Schematic diagram of optical waveguide.

Fig. 6은 광 도파로 소자에 레이저 트렌치 가공 및 필터 삽입부위를 나타낸 개념도 이다. 그림에서와 같이 input과 반사 도파로가 만나는 부분에 트렌치를 가공하여 파장 반사 필터를 삽입 하였다.

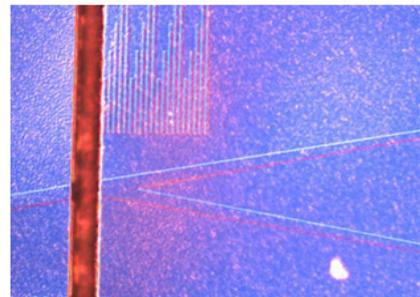
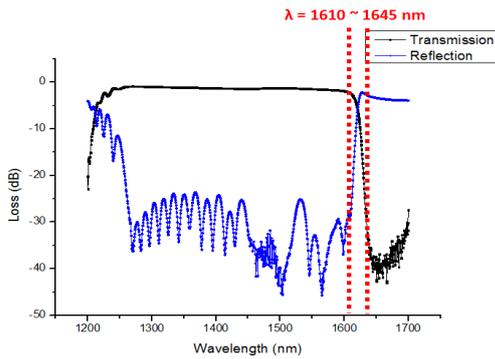


Fig. 7 Optical microscope image of the trench fabricated on the planar waveguide.



**Fig. 8** Transmission and reflection loss graph after inserting the optical wavelength filter.

Fig. 7은 실제로 광 도파로 소자에 펨토초 레이저를 이용하여 트렌치를 가공한 부분을 측정된 사진이다. 트렌치 가공 선평은  $50\mu\text{m}$ 에  $60\mu\text{m}$  깊이로 가공이 이루어 졌다. 이 트렌치에 삽입되는 파장 반사 필터는  $1645\text{nm}$  파장을 반사시키는 필터를 사용하였다.

다음의 Fig. 8 그래프는  $1645\text{nm}$  반사 파장 필터를 삽입한 후,  $1200\text{nm}$ - $1700\text{nm}$ 파장의 빛을 넣어 투과와 반사정도를 측정한 것이다. 그래프를 통해 확인 할 수 있듯이 삽입된 필터의 파장부근인 약  $1610\text{nm}$ - $1645\text{nm}$ 에서 빛의 투과 량이 줄어들고 반사량이 증가함을 확인 할 수 있었다.

### 3. 결론

펨토초 레이저를 이용하여 실리카 기판에 다양한 선평과 깊이를 가지는 트렌치와 채널을 가공 하였다. 가공 선평이 좁은 트렌치에 대해서 정밀 가공이 가능한 반복률  $1\text{kHz}$ 를 가지는 펨토초 레이저를 사용하였으며, 가공 폭이 상대적으로 큰 채널 가공을 위해서는 고속 가공이 가능한  $100\text{kHz}$ 의 펄스 반복률을 가지는 펨토초 레이저를 사용하였다.

또한,  $\text{CO}_2$  레이저를 이용하여 채널 가공면의 거칠기를 제거하는 실험을 진행하였으며,  $\text{CO}_2$  레이저를 이용하여 채널의 가공 면을 연마한 결과 눈에 띄게 거칠기가 제거됨을 확인 할 수 있었다. 이러한 레이저 가공 기술을 광 도파로 소자의 파장 반사 필터 삽입을 위한 트렌치 가공에 적용하였다. 하지만 본 논문에서는 광도파로 소자에는  $\text{CO}_2$  레이저 연마기술을 적용하지 않았다. 펨토초 레이저를 이용하여 제작한 트렌치에 파장 반사 필터 삽입 결과 삽입된 필터의 파장부근인 약

$1610\text{nm}$ - $1645\text{nm}$ 에서 투과 량이 감소함과 동시에 반사량이 증가함을 확인 할 수 있었다. 좁은 가공 폭을 요구하는 광도파로 소자에 고속 가공에 유리한  $100\text{kHz}$ 의 반복률을 가지는 펨토초 레이저를 사용한 이유는 산업체 적용이 가능한 고속 레이저 가공 기술 개발을 위해 고반복률 펨토초 레이저를 적용한 것이며, 추후에 연마 전후의 특성에 대한 비교 연구를 진행할 것이다.

### 4. 후 기

This work was supported by the “Asian Laser Center Program” through a grant provide by the Gwangju Institute of Science and Technology in 2015 and the research on ultra-precision laser machining and optical information technology project through provided by GIST in 2014.

### References

- 1) Y.J. Kim, Y.S. Kim, S.M. Kim, and S.W. Kim, “Ultrafast femtosecond lasers: Fundamentals and applications,” Journal of the Korean Society for Precision Engineering Vol. 27, No 6, pp. 7-16, 2010.
- 2) Gattass, R.R. and Mazur, E., “Femtosecond laser micromachining in transparent materials,” Nature Photonics Vol. 2, No. 4, pp. 219-225, 2008.
- 3) Sung-Hak Cho, Jung-Kyu Park, Jae-Gu Kim, Won-Seok Chang, Doo-Sun Choi and Kyung-Hyun Whang, “Ultra-precision Machining using a Femtosecond Laser,” Journal of the Korean Society for Precision Engineering Vol. 27, No. 6, pp. 17-23, 2010.
- 4) Ik-Bu Sohn, Md. Shamim Ahsan, Young-Chul Noh, Hun-Kook Choi, Jin-Tae Kim, Myeong Jin Ko, “Fabrication of Fresnel zone plate lens in fused silica glass using femtosecond laser lithography technology,” Optical Engineering, 53(5) 055107 pp. 1-10, 2014.
- 5) Kyung Chan Kim, Kyung Ho Kim, Ji Soo Ha, Ik Bu Sohn, Hae Woon Choi and Tae Kwon Kim, “Machining Technology of Micro

- Combustion Nozzle Using a Femtosecond Laser,”  
Journal of the Korean Society for Precision  
Engineering Vol. 27, No. 11, pp. 24-29, 2010.
- 6) Hun-Kook Choi, Ik-Bu Sohn, Young-Chul Noh,  
Yong-Tak Lee, Jin-Tae Kim, and Md. Shamim  
Ahsan, “Femtosecond-laser-assisted Fabrication  
of Double-layer Diffraction Gratings inside Fused  
Silica Glass,” Journal of the Korean Physical  
Society, Vol. 66, No. 1, pp. 55-60, 2015.
- 7) Joong Wook Lee, Jin-Kyu Yang, Ik-Bu Sohn,  
Hyung Keun Yoo, Chul Kang, and Chul-Sik  
Kee, “Monopole resonators in planar plasmonic  
metamaterials,” Optics Express, 22(15), pp. 18433-  
18439, 2014.
- 8) Hun-Kook Choi, Deok Jung, Ik-Bu Sohn, Young-  
Chul Noh, Yong-Tak Lee, Jin-Tae Kim, and  
Md. Shamim Ahsan, “Diffraction Efficiency  
Enhancement of Femtosecond Laser-engraved  
Diffraction Gratings Due to CO<sub>2</sub> Laser Polishing,”  
Journal of the Korean Physical Society, Vol.  
65, No. 10, pp. 1559-1565, 2014.