

## 광섬유를 가공 도구로 하는 레이저유도 에칭을 이용한 마이크로 구조물 제조

### Fabrication of microstructures using laser-induced etching with an optical fiber as a machining tool

오광환\*, 임현덕\*, 정성호\*

\*레이저나노가공연구실, 광주과학기술원 정보기전공학부

[sharkie@gist.ac.kr](mailto:sharkie@gist.ac.kr)

액상의 에칭용액 속에 잠긴 시편에 열원인 레이저 빔을 조사하여 시편의 온도를 원활한 에칭이 일어날 때까지 유도함으로써 열화학 반응에 의해 시편 상의 국부적인 위치에서 원하는 형상의 구조물을 제조할 수 있는 레이저유도 에칭 (laser-induced etching) 기술은 낮은 레이저 강도로서의 가공이 가능할 뿐만 아니라 에칭용액의 대류 냉각에 의한 적은 열변형의 장점 등으로 마이크로 홈 및 마이크로 구멍과 같은 마이크로 구조물 제조에 많이 응용되고 있다<sup>(1,2)</sup>. 특히, 최근 들어 레이저유도 후면에칭 (laser-induced backside wet etching, LIBWE) 기술<sup>(3)</sup>이 개발됨에 따라 기존에 불가능 했던 유전체 재료에까지 적용이 가능하게 되어 금속 또는 반도체 재료를 이용한 마이크로 히트파이프와 같은 마이크로 열소자 뿐만 아니라 세라믹 또는 실리카 재료를 이용한 마이크로 유체소자 제작에까지 그 활용 범위가 넓어지고 있다. 그러나 기존의 레이저유도 에칭을 위한 실험 장치는 시편 표면에서 레이저 빔을 더욱 집속시키고 다른 광학계들을 보호하기 위한 대물렌즈 및 빔확대기와 편광 상태에 따른 가공 결과의 최소화를 위한 선형편광기 및 1/4파장판 등 빔 경로 상에 다수의 광학 시스템들을 필요로 하므로 광 정렬의 어려움을 극복해야 한다는 단점을 가진다. 또한 광학계로부터 반사 및 산란된 레이저 빔에 작업자가 쉽게 노출된다는 위험성도 배제할 수 없다. 따라서 이러한 단점을 보완함과 동시에 레이저 가공의 취약점인 가공 생산성까지 해결할 수 있는 새로운 레이저유도 에칭 기술의 개발이 산업 현장에서 요구되고 있다. 최근 들어 광섬유의 개발 및 발전이 거듭됨에 따라 고출력의 레이저 빔 전송이 가능하게 되어 가공용 또는 의료용 기기의 광도파로로서 많이 이용되고 있으나 광섬유 자체를 가공 도구로서 직접 이용하기에는 낮은 경도 및 잦은 손상 등의 많은 문제점을 가지고 있다.

본 연구에서는 낮은 레이저 출력 가공 및 가공 속도 향상 등의 장점을 가진 광섬유를 가공 도구로 이용하는 새로운 레이저유도 에칭 기술을 제안하고 이를 이용하여 광섬유의 손상 없이 마이크로 홈 및 마이크로 구멍을 제조하는 방법을 제시한다. 또한, 레이저 출력, 광섬유의 이송 속도, 광섬유 코어 직경 등의 공정 변수들이 제조되는 구조물의 특성에 어떠한 영향을 미치는가에 대해서도 자세히 보고된다.

그림 1은 본 연구에서 제안된 광섬유를 가공 도구로 하는 레이저유도 에칭 실험 장치를 나타낸다. 에칭용액과 시편 사이의 화학 반응을 유도하기 위한 열원으로 532 nm pulsed Nd:YAG 레이저 ( $P_{max}=60$  W,  $f_{max}=10$  KHz)가 이용되었다. 광섬유에 레이저 빔의 원활한 입사를 위해 5배 대물렌즈를 이용하였으며 입사된 레이저 빔은 어떠한 광학계도 거치지 않고 시편 표면까지 그대로 전송된다. 광섬유는 코어 직경이 각각 50  $\mu\text{m}$ 와 105  $\mu\text{m}$ 인 다중모드 광섬유이며 가공 도구로 이용하기 위해 한쪽 끝은 페룰에서

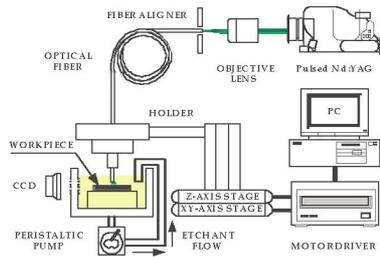


그림1 광섬유를 가공 도구로 하는 레이저 유도 에칭 실험 장치

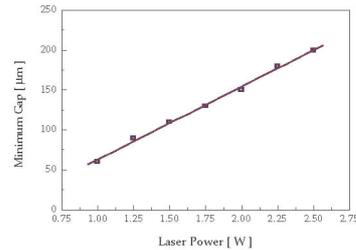
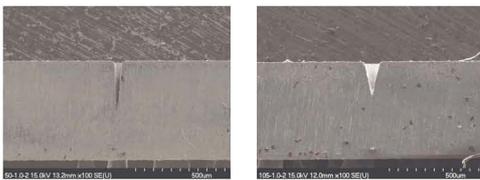


그림 2 레이저 출력에 따른 광섬유와 시편 사이의 최소 이격거리

2~3 mm 정도 돌출되며 폐물은 정밀 이송을 위한 모터 구동형 X-Y-Z 스테이지에 고정된 지그에 장착된다. 에칭용액은 정량펌프를 통해 챔버 내부로 순환되며 챔버는 화학 반응의 방지를 위해 테플론 재질로 제작되었다. 실험에 사용된 시편은 1 x 1 cm<sup>2</sup>의 STS-304 박판이며 에칭용액은 증류수에 희석된 인산 (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) 수용액이다. 또한, 에칭 공정의 전 과정은 CCD 카메라를 통해 실시간으로 관찰된다.

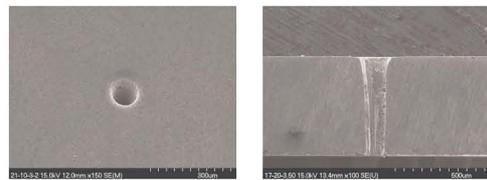
레이저 유도 에칭 시 피할 수 없는 현상 중의 하나가 미세기포의 발생이며 이러한 기포는 생성, 성장, 터짐을 반복하며 광섬유를 용융 또는 파손시킨다. 따라서 그림 2에서와 같이 각 레이저 출력에 따라 시편과 광섬유 사이를 적당히 이격시켜 생성된 기포가 원활하게 빠져 나갈 수 있도록 하는 것이 제안된 시스템을 이용한 마이크로 구조물 제조 시 가장 중요한 요인이 된다. 그림 3의 (a)와 (b)는 각각 50 μm 와 105 μm의 코어 직경을 가지는 광섬유로 제조된 마이크로 홈을 보여준다. 같은 레이저 출력에 대하여 광섬유의 코어 직경이 작을 때 더 깊은 홈이 제조되는데 이것은 단면적의 감소에 의한 레이저 강도의 증가에 따른 결과이며 광섬유의 이송 속도가 증가함에 따라 제조된 홈의 폭은 거의 변화가 없으나 깊이는 지수 함수적으로 감소함을 실험적으로 알 수 있었다. 그림 4의 (a)와 (b)는 각각 본 실험으로 제조된 마이크로 구멍의 표면과 단면을 나타낸다. 직벽의 단면을 가지는 구멍을 제조하기 위해 광섬유가 가공 부 내로 직접 삽입이 된 후 수직 방향으로 주기적인 진동을 하면 광섬유를 고정시키고 가공 할 때에 비해 가공 시간이 약 1/3 정도로 감소되었으며 시편 표면에서도 열변형이 거의 없는 구조물 제조가 가능함을 알 수 있었다.

결론적으로 본 연구에서 제안한 광섬유를 가공 도구로 하는 레이저 유도 에칭 기술은 낮은 레이저 출력 및 짧은 가공 시간으로 우수한 형상의 마이크로 구조물을 제조하는데 효과적으로 이용될 수 있을 뿐만 아니라 마이크로 홈 및 구멍을 가지는 마이크로 소자 제작에도 유용하게 응용될 것으로 기대된다.



(a) (b)

그림 3 (a) 50 μm (b) 105 μm 코어 직경의 광섬유로 제조된 마이크로 홈



(a) (b)

그림 4 105 μm 광섬유로 제조된 마이크로 구멍의 (a) 표면 및 (b) 단면

1. R. Nowak, S. Metev and G. Sepold, "Nd:YAG-laser-induced wet chemical etching of titanium and stainless steel", Sensors. Actuators 51, 41-45 (1995).
2. Kwang H. Oh, M. K. Lee and S. H. Jeong, "Laser micromachining of high-aspect-ratio metallic grooves for application to microthermal devices", J. Micromech. Microeng. 16, 1958-1966 (2006).
3. X. Ding, Y. Kawaguchi, T. Sato, A. Narazaki and H. Niino, "Fabrication of microarrays on fused silica plates using the laser-induced backside wet etching method", Langmuir 20, 9769-9774 (2004).