

레이저유도 에칭을 이용한 고세장비 마이크로채널 가공 및 응용

오광환, 이민규, 김수근, 임현택, 정성호* (광주과학기술원 기전공학과)

Fabrication and application of high-aspect-ratio microchannels using laser-induced etching

Kwang H. Oh, M. K. Lee, S. G. Kim, H. T. Lim and S. H. Jeong (Mechatronics Dept., GIST)

ABSTRACT

High-aspect-ratio(max. 12.5) microchannels with excellent surface quality and good shape uniformity have been realized utilizing laser-induced etching technique. Etch width and depth variations depend largely upon process variables such as laser power and etchant concentration. Etchant concentration in association with viscosity also influence on the cross-sectional profile of the channels. The optimum process conditions for the fabrication of high-aspect-ratio microchannels applicable to micro thermal devices are demonstrated.

Key Words : Laser etching (레이저 에칭), Laser processing (레이저 가공), Microchannel (마이크로채널), High-aspect-ratio (고세장비), Micro thermal device (마이크로 열소자), Micro heat pipe (마이크로 히트파이프)

1. 서론

금속 마이크로채널은 마이크로 히트파이프, 마이크로 펌프, 마이크로 반응기, 마이크로 연료전지와 같은 마이크로 소자의 제조에 핵심적인 역할을 하는 구조로서 가공 기술에 대한 연구가 활발히 수행되고 있다. 특히, 폭이 좁고 깊이가 깊은 고세장비의 채널은 아주 큰 모세관 압력을 가질 수 있기 때문에 고성능·고효율의 기능을 가지는 소자에 유용하게 적용된다. 따라서 이러한 채널 구조를 형성할 수 있는 다양한 가공 기술에 대한 연구가 이루어지고 있으며 각각의 기술들은 장·단점을 가지고 있다. 기계 가공의 경우 수십 μm 이하의 가공은 어려워져 왔으며 작은 공구 마모 및 파손의 단점을 가진다. 수 μm 이하의 정밀도를 갖는 반도체 또는 MEMS 공정으로는 100 μm 이상의 두께를 가지는 두꺼운 금속 가공에 적용하기 어렵다. 또한, 전자빔 가공과 LIGA 공정을 이용하면 정교한 채널 형성이 가능하나 각각 진공 장치나 X-선 발생 장치를 필요로 하기 때문에 고가의 설비비가 요구된다. 반면, 비접촉식으로 수십~수백 μm 크기의 구조물 형성이 가능한 레이저 가공은 최근 첨단 가공 분야에서 다양하게 이용되고 있는데 특히, 금속 가공의 경우에는 주로 에칭과 어블레이션이 이용된다. 이 중, 식각 분야의 하나인 레이저유도 습식에칭(이하 '레이저 에칭')은 가공하고자 하는 재료와 에칭용액 사이에서 일어나는 화학반응에 레이저를 열원으로 이용하여 더욱 원활한 반응이 일어나게 유도하므로써 레이저 어블레이션 가공에 비해 열영향부가 거의 없는 깨끗한 형상의 채널 구조물을 제조할 수 있으며,

비교적 단순한 장치를 이용하는 공정이므로 고가의 펄스 레이저를 이용한 가공과 비교할 때 가격 경쟁력에서도 우수하다는 장점을 가진다.^{1,2}

본 연구에서는 안정적인 출력 특성과 시공간적으로 균일한 에너지 분포를 가지는 DPSS 레이저를 이용한 레이저 에칭 장치를 이용하여 높은 열전달 계수와 우수한 성형성을 지닌 스테인레스 스틸(AISI 304, Fe72/Cr18/Ni10, 이하 'STS') 박편 상에 마이크로채널 구조물을 제조하였다. 레이저 에칭은 원하는 형상을 따라 레이저초점을 자유롭게 이동시키면서 레이저빔의 조사영역에서 직접적인 소재의 제거 및 구조의 형성이 동시에 일어날 수 있게 하는 직접 묘화(direct writing) 공정이다. 또한, 레이저 출력(P), 레이저초점의 이송속도(V), 반복이송횟수(N), 에칭용액의 농도(C) 등의 공정 변수들을 조절해가며 형성된 채널의 특성을 조사하고 마이크로 소자의 제작에 응용하기 위한 최적의 공정 조건을 도출하였다.

2. 실험

Fig. 1 은 본 실험에 이용된 레이저 에칭 실험장치이다. 화학반응을 유도하기 위한 열원으로서는 8W 의 최고 출력, 532nm 의 중심 파장을 가지는 DPSS Nd:YVO₄ 레이저가 이용되었다. 출력된 빔은 경로 상의 광학계 보호와 시편 표면에서의 높은 집속효율을 위해 5 배 빖확대기를 거친 후, 선형편광기와 1/4 파장판을 거쳐서 현미경용 대물렌즈(5x f=40mm, NA=0.14, DOF=14 μm)를 통해 시편 표면에 집속되었다. 에칭용액과 시편이 담긴 챔버는 X-Y-

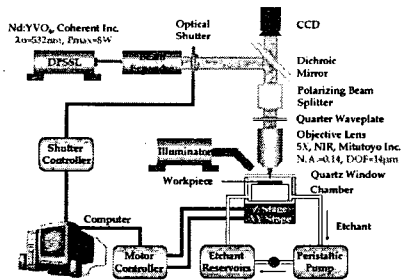


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental setup

Z 미세 이송계 위에 장착되어 있고, 화학반응의 방지를 위해 테플론(Teflon®)으로 제작되었다. 이송계는 정밀도가 1μm 인 스테핑모터로 구동되며 충분한 에칭용액의 공급과 가공 중에 발생하는 미세 기포의 효과적인 제거를 위해 연동펌프를 이용하였다. 실험에 사용된 시편은 500μm 두께의 STS 박편으로서 실험을 위해 1cm × 1cm 로 EDM 가공 후 표면을 연마하였으며, 에칭용액은 인산(H₃PO₄, 85%)으로 증류수와 혼합하여 농도를 조절하였다. 또한, 모든 에칭 공정은 CCD 카메라를 통해 실시간으로 관찰되었다.

3. 결과 및 고찰

마이크로채널의 폭과 깊이는 여러 가지 공정 변수들 중에서 레이저출력과 에칭용액의 농도에 대해 두드러진 차이를 보이며 이들 변수는 제조되는 채널의 깊이 뿐만 아니라 그 단면 형상에도 많은 영향을 미친다. Fig. 2 는 P=1.75W, V=10μm/s, N=5 와 C=10%, 40%의 각각 다른 에칭용액의 농도에서 형성된 채널의 표면과 단면 형상을 나타낸다. 레이저 초점의 크기가 채널의 폭을 결정하는 반면, 레이저 빔의 출력강도는 채널의 깊이에 직접적으로 영향을 미친다. 또한, 에칭용액의 농도는 점성과 관련하여 제조되는 채널의 단면 형상을 결정하는 중요한 역할을 하는 공정 변수이다. 레이저출력이 높거나 낮은 에칭용액의 농도에서 가공될 경우 Fig. 2 (b)와 같이 채널 전체에 대해 폭이 좁고 균일한 U형상의 단면을 가지는데 그 이유는 레이저에너지가 에칭 문턱값보다 충분히 크고 용액의 낮은 점성에 의해 에칭 시 발생하는 미세기포가 에칭부산물을 효과적으로 제거하고 새로운 에칭용액이 원활히 공급될 수 있기 때문이다. 이와 반대로, 레이저출력이 낮거나 높은 에칭용액의 농도에서는 Fig. 2 (c)와 같이 바닥이 뾰족한 V형상으로 가공되는데 그 이유는 레이저의 중심부만이 에칭 문턱값 이상의 에너지강도를 가지며 높은 점성에 의해 신선한 에칭용액이 원활하게 공급되지 못하여 라디칼(radical)의 부족으로 인한 표백(bleaching) 현상이 발생하기 때문인 것

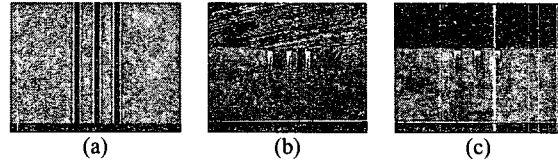


Fig. 2 Surface and cross-sectional profiles of microchannels processed at the conditions of P=1.75W, V=10mm/s, N=5, and different etchant concentrations; (a), (b) C=10% and (c) C=40%

으로 보인다.

Fig. 3 (a)와 3 (b)는 각각 10%와 40%의 에칭용액에서 레이저출력을 변화시켜 가면서 제조된 마이크로채널의 폭과 깊이의 변화를 보여준다. 여기에서 알 수 있듯이 낮은 농도의 에칭용액에서 높은 레이저출력으로 가공하는 것이 고세장비를 갖는 마이크로채널 제조에 유리하다. 본 기술을 이용해 10 이상의 세장비를 갖는 마이크로채널을 제조하였으며 이러한 채널은 마이크로 히트파이프와 같은 마이크로 소자에 응용될 수 있을 것으로 기대된다.

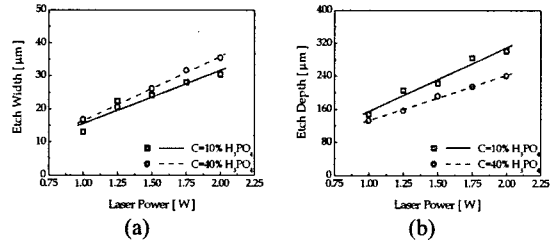


Fig. 3 Variations of etch (a) width and (b) depth of microchannels with respect to varying power and etchant concentrations; V=10μm/s, N=5

4. 결론

우수한 표면과 균일한 크기를 갖는 고세장비 금속 마이크로채널의 형성이 레이저 에칭 방법을 통하여 가능하며, 제조된 채널의 깊이와 단면의 형상은 레이저출력과 에칭용액의 농도에 많은 영향을 받는다는 것이 본 실험을 통해 입증되었다.

후 기

본 연구는 산업자원부 핵심기술개발사업인 ‘첨단레이저 응용 미세가공기술 개발’ 과제의 지원으로 수행된 것입니다.

참고문헌

- Nowak, R. and Metev, S., “Thermochemical laser etching of stainless steel and titanium in liquids,” *Applied Physics A*, Vol. 63, pp. 133-138, 1996.
- 신용산, 손승우, 정성호, “레이저유도 열화학 습식에칭을 이용한 티타늄 미세구조물제조,” 한국정밀공학회지, 제 21 권, 제 4 호, pp. 32-38, 2004.