

# 마이크로소자 응용을 위한 금속미세구조의 레이저가공

## Laser processing of micro-metallic-structures for the application to microdevices

오광환, 이민규, 정성호  
 레이저공학 실험실, 광주과학기술원 기전공학과  
 E-mail: [shjeong@gist.ac.kr](mailto:shjeong@gist.ac.kr)

수십~수백 마이크로미터의 구조물 형성을 위한 초정밀 미세가공기술의 한 분야인 레이저가공은 수십 마이크로미터 이하의 가공이 곤란한 기계가공의 정밀도 한계를 극복할 수 있고, 반도체공정이나 MEMS 공정으로 어려운 수백 마이크로미터 두께의 금속 박편에 대한 가공도 가능하게 할 뿐만 아니라 방전가공(EDM)과 같이 ‘공구 파손’이라는 단점도 없기 때문에 최근 들어 많은 첨단 분야에서 그 활용도가 점점 증가되는 추세에 있다. 이러한 레이저가공은 증착, 에칭 마킹, 트리밍, 스크라이빙, 어블레이션 등 다양하게 이용되는데 특히, 금속 가공의 경우, 주로 에칭과 어블레이션이 이용된다. 이 중 식각분야의 하나인 레이저유도 습식에칭(이하 ‘레이저에칭’)은 금속과 에칭용액 사이에서 일어나는 화학반응에 레이저를 열원으로 이용하여 원활한 반응이 일어나게 유도하므로 레이저 어블레이션에 의한 가공에 비해 열영향부(HAZ)가 없는 깨끗한 형상의 구조물을 제작할 수 있고, 비교적 단순한 장치를 이용하는 공정이므로 진공장치가 필요한 전자빔가공이나 X-선 발생장치가 필요한 LIGA공정과 비교할 때 가격 경쟁력에서도 우수한 면을 보인다<sup>(1-2)</sup>. 본 연구에서는 시공간적으로 균일한 에너지 분포와 안정적인 출력을 가지는 DPSS 레이저를 이용하여 내식성 및 우수한 성형성을 가지는 티타늄(이하 ‘Ti’)과 스테인레스 스틸(이하 ‘STS-304’) 박편 상에 레이저에칭 기술을 이용하여 비교적 간단한 공정으로 금속 미세채널 및 미세홈 구조를 형성하였다. 또한, 레이저출력(P), 반복이송횟수(N), 에칭용액의 농도(C), 이송속도(V) 등을 공정 변수로 하여 가공된 시편의 표면 및 단면을 분석하고 최적의 공정 조건을 도출하였다. 끝으로, 이러한 최적의 공정 값을 금속 박편에 직접 적용하여 마이크로 응용소자들의 제작 가능성을 제시하였다.

Figure 1은 본 실험에 이용된 레이저에칭 실험 장치를 보여준다. 광원으로 최고 8W 출력을 가지는 532nm Nd:YVO<sub>4</sub> 레이저를 이용하였다. 출력 빔은 경로 상의 다른 광학계 보호와 시편 표면에서의 집속 효율을 높이기 위해 5배 빔확대기를 거친 후, 선형편광기와 1/4파장판을 거쳐 현미경용 5배 대물렌즈를 이용하여 시편 표면에 집속되었다. 에칭용액과 시편이 담겨진 챔버는 X-Y-Z 미세 이송계 위에 고정되어 있으며 화학반응을 방지하기 위해 테플론(Teflon<sup>®</sup>)으로 제작되었다. 이송계는 정밀도가 1μm인 스테핑모터 구동되며 에칭 가공 중 충분한 에칭용액의 공급과 가공 중에 발생하는 미세기포의 효과적인 제거를 위해 연동펌프를 이용하였으며 레이저빔이 조사되는 챔버의 윗부분은 석영으로 제작하였다. 또한, 시편이 에칭되는 전 과정은 CCD로 관찰되었고 실험에 사용된 시편은 10×10×0.5mm의 Ti와 STS-304 박편으로서 표면을 연마하여 사용하였으며, 에칭용액은 인산(H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, 85%)을 증류수와 혼합하여 농도를 조절하며 실험하였다.

Figure 2는 레이저에칭에 의해 500μm 두께의 STS-304 박편에 제작된 미세홈의 표면 및 단면 형상을 나타낸다. 표면은 열영향부가 없이 깨끗하고 균일한 간격 및 선폭을 유지하지만 단면은 레이저출력(P), 반복이송횟수(N)

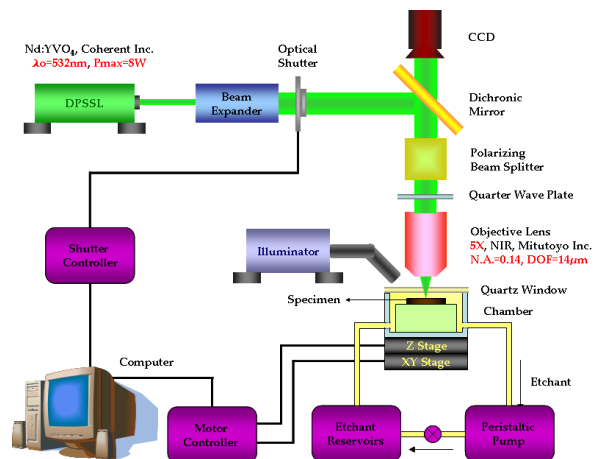


Fig. 1. Schematics of laser-assisted wet etching set

및 에칭용액의 농도(C)에 따라 깊이와 가공 형상이 달라진다. 즉, Fig. 2 (b)에서와 같이 레이저출력이 높거나 낮은 농도의 에칭용액에서 가공할 경우, 시편 표면에서부터 바닥까지 폭이 좁고 균일한 “U” 형상으로 가공되는데 그 이유는 가공되는 문턱값을 넘는 충분한 에너지와 낮은 점성도에 의해 에칭 과정 시 생성되는 수소가스 및 에칭부산물을 미세기포가 효과적으로 제거하므로 새로운 에칭용액이 가공 중에 원활히 공급되기 때문이며 (c)에서와 레이저출력이 낮거나 높은 농도의 에칭용액에서 가공할 경우, 바닥부분이 뾰족하게 전체적으로 “V” 형상으로 가공되는 경우가 발생하는데 이는 레이저빔의 중심부에서만 가공 문턱값 이상의 에너지를 가지며, 높은 점성도에 의해 신선한 에칭용액의 공급이 원활하지 못해 라디칼(radical)의 부족으로 인한 bleaching 현상에 기인한 것으로 보인다. 이와 같이 여러 가지 공정 변수들을 제어하며 제작한 금속미세홀의 세장비 변화를 Fig. 3에 나타내었다. 미세홀 구조를 바탕으로 제작되는 마이크로 수동 열소자의 경우, 기체-액체의 상변화를 반복적으로 일으키며 동작되는 과정에서 액체상태의 흐름 제어 시, 큰 모세관력을 요구하므로 고성능의 소자가 되기 위해서는 폭이 좁고 깊게 가공된 높은 세장비의 홀 구조를 필요로 한다. Figure 3에서 보는 바와 같이 마이크로 소자로 이용할 수 있는 가공 조건 중, 20% 이하의 낮은 에칭용액의 농도에서 1.5W 이상의 높은 출력력으로 가공할 경우, 10 이상의 높은 세장비를 가지는 마이크로 열소자를 제작할 수 있을 것으로 기대된다.

또한, Fig. 5에서는 본 실험을 바탕으로 500 $\mu$ m 두께의 Ti 박편에 제작된 미세구멍의 상부면, 하부면 및 단면 형상을 보여준다. Figure 1에 나타낸 레이저에칭 실험 장치에서 광학계 부분에 해당하는 빔확대기, 선형편광기, 1/4파장판을 50/125 $\mu$ m 다중모드광섬유 하나로 대체함으로써 미세홀 가공 실험 장치보다 더욱 간단한 실험 장치로 되며 광섬유를 가공 공구로 직접 이용하여 시편을 가공할 수 있다. 광섬유를 이용한 미세구멍 가공 시, 시편 표면과 광섬유 끝단 사이의 거리가 중요한데 가공 시 발생하는 기포에 의한 광섬유 끝단의 용융 및 파손이 일어나지 않는 임계 거리를 Fig. 4와 같이 ‘문턱 거리’ 라고 정의하고 이 문턱 거리 이상의 간격을 유지하며 미세구멍을 제작하였다. 제작된 미세구멍의 상부 직경은 약 170 $\mu$ m, 하부 직경은 약 80~100 $\mu$ m으로 측정되었으며, 구멍의 전체 깊이에 대해 표면이 깨끗하고 형상도 우수한 가공이 가능함을 보였다. 이와 같은 결과는 고세장비를 가지는 마이크로 유체소자의 제작에 충분히 응용될 수 있을 것으로 본다.

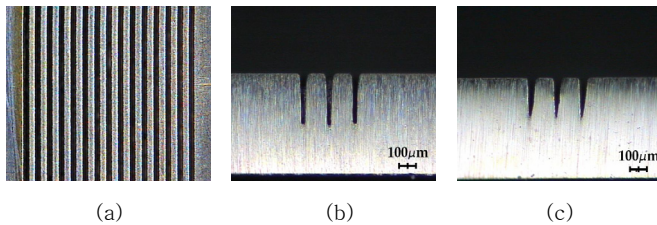


Fig. 2. (a) Etched surface profile and cross-sectional profile fabricated in stainless steel foil at the conditions of P=1.75W, V=10 $\mu$ m/s, N=5, (b) C=10% and (c) C=40% H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>

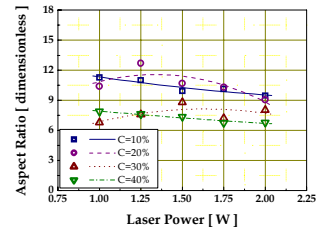


Fig. 3. Aspect ratio of micro channels for the various laser power, etchant concentration, N=5 and V=10 $\mu$ m/s

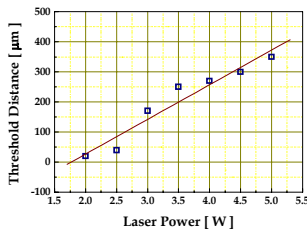
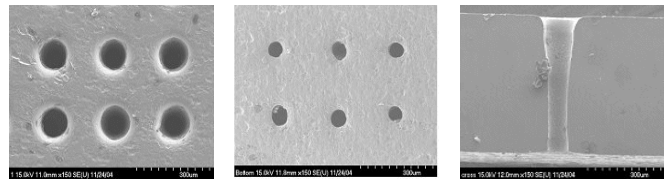


Fig. 4. Threshold distance between the fiber tip and sample surface to avoid fiber damage



(a) top surface (b) bottom surface (c) cross section

Fig. 5. Straight holes drilled in titanium foil of thickness 250 $\mu$ m (P=3.5W, C=20% H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, Gap=200 $\mu$ m)

1. R. Nowak and S. Metev, "Thermochemical laser etching of stainless steel and titanium in liquids", Appl. Phys. A, 63, 133-138 (1996)
2. Y. S. Shin and S. H. Jeong, "Laser-assisted etching of titanium foil in phosphoric acid for direct fabrication of microstructures", J. Laser Applications, 15, 240-245 (2003)