

레이저 빔의 조사 형태에 따른 마이크로 홈의 형상 변화 및 예측

Shape variation and expectation of a microgroove for laser irradiation modes

오광환*, 정성호

레이저나노가공연구실, 광주과학기술원 기전공학과

sharkie@gist.ac.kr

마이크로 소자들의 핵심적인 구조인 마이크로 홈은 형상이 단순하고 비교적 제조가 용이하기 때문에 이를 기반으로 한 마이크로 히트파이프나 마이크로 반응기 등에 많이 응용되고 있다. 특히 폭이 좁고 깊이가 깊은 고세장비의 마이크로 홈은 그 단면 구조에 따라 마이크로 소자들의 성능과 깊은 관계가 있는데 이렇게 다양한 구조의 홈을 제조할 수 있는 방법 중의 하나가 레이저 에칭이다. 레이저 에칭은 가공하고자 하는 시편을 에칭 용액에 넣고 레이저 빔을 조사하면 빔의 조사 영역에서만 국부적으로 온도가 상승되어 시편과 에칭 용액이 화학적 반응을 일으키면서 재료가 제거되는 레이저-물질 가공 방법 중의 하나이다⁽¹⁾.

본 연구에서는 레이저 에칭 가공으로 제조되는 마이크로 홈의 단면 형상 비교를 위해 대물렌즈 기반⁽²⁾과 광섬유 기반⁽³⁾의 두 가지 레이저 에칭 실험 장치를 이용하였다. 시편의 국부적 온도 상승을 유도하기 위한 열원으로 532 nm Nd:YVO₄ 레이저를 이용하였으며 에칭 용액으로 인산 (H₃PO₄) 수용액을 이용하였다. 본 실험에서 대물렌즈를 통한 빔은 집속되어 시편 표면에 조사되며 광섬유를 통한 빔은 발산되어 조사된다.

그림 1(a)는 대물렌즈 기반의 레이저 에칭으로 제조된 스테인레스 강 마이크로 홈의 단면을 나타내고 있다. 선행된 연구에 따르면 에칭 용액의 농도는 제조되는 마이크로 홈의 단면 형상을 결정짓는 중요한 변수임을 알 수 있다. 즉, 에칭 용액의 농도가 10%의 상대적으로 낮을 경우, 그림 1(a)와 같은 직사각형 단면을 가지는 마이크로 홈이 제조된다. 그 이유는 낮은 농도의 에칭 용액은 상대적으로 낮은 점성을 가지므로 에칭 시 발생하는 기포의 유동으로 홈의 내부에서 생성되는 가공 부산물들이 쉽게 제거되며 새로운 에칭 용액의 공급이 홈의 바닥 부분까지 원활하게 이루어지기 때문인 것으로 판단된다⁽²⁾.

반면, 그림 1(b)와 같이 광섬유 기반의 레이저 에칭으로 제조된 마이크로 홈은 에칭 용액의 농도 또는

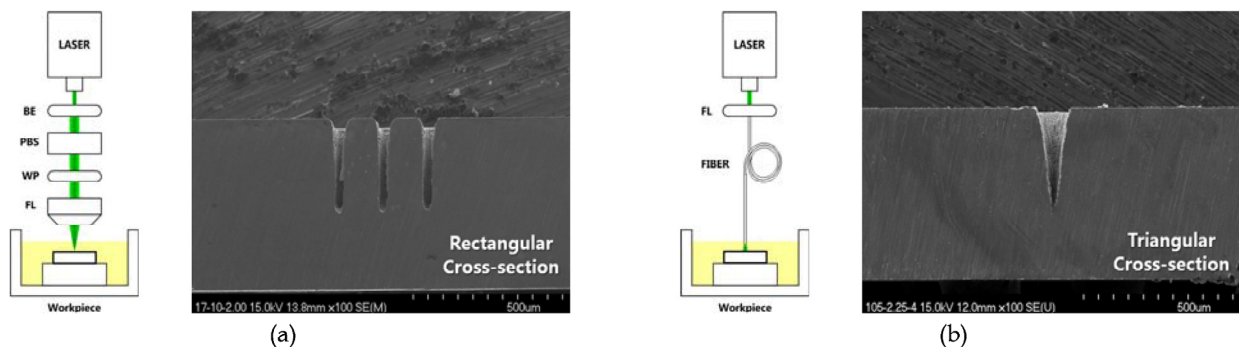


그림 1 (a) 대물렌즈 기반과 (b) 광섬유 기반의 레이저 에칭으로 제조된 스테인레스 강 마이크로 홈의 단면 형상; (a) 직사각형 단면 및 (b) 삼각형 단면의 마이크로 홈

광섬유 코어의 직경 등의 공정 변수에 관계없이 항상 바닥 부분이 뾰족한 삼각형 구조의 단면을 가진다⁹⁾. 따라서 조사되는 레이저 빔의 형태 (집속모드, 발산모드)에 따라 홈의 내부에 분포되는 레이저 강도가 단면의 형상에 미치는 영향을 예측하기 위해 i) 평탄한 시편 표면, ii) 중간 크기의 홈, iii) 완전한 삼각형 홈의 3가지 모델링을 통한 광선 추적을 실시하였다. 또한 분포된 레이저 강도가 시편과 에칭 용액 사이의 화학 반응을 유도할 수 있는지 파악하기 위해 2차원 열전도 방정식을 이용한 시편 표면의 온도 계산도 병행하였다.

2 W의 레이저 출력에 대해서 시편 표면에 분포되는 레이저 강도는 조사되는 빔의 형태에 관계없이 에칭 문턱온도 (87°C) 이상으로 온도를 상승시킬 수 있다. 그러나 시편 표면에서 홈이 형성되고 나면 홈의 벽면을 따라 레이저 빔은 다중 반사를 일으키며 바닥까지 진행하게 되는데 이때는 빔의 형태에 따른 강도 분포가 완전히 다른 양상을 띠게 된다. 그림 2(a)와 2(b)는 각각 완전한 삼각형 홈의 벽면에 집속모드 및 발산모드의 빔 조사 시 분포되는 레이저 강도를 나타낸다. 그림 2(a)에서와 같이 집속모드의 빔이 조사되면 벽면에서는 1차와 2차의 주된 반사가 일어나는데 2차 반사는 1차 반사에 비해 단면 형상에 더 큰 영향을 주게 된다. 즉, 낮은 에칭 용액의 농도에서는 새로운 용액의 공급이 원활하여 바닥 부분의 에칭이 계속 일어날 수 있으므로 삼각형 단면이 형성되는 반면 높은 에칭 용액의 농도에서는 상대적으로 높은 점성에 의해 홈 내부에 생성된 부산물들이 쉽게 빠져나가지 못하고 빔의 산란시킴으로 가우시안 빔의 중앙 부분에서만 에칭을 일으켜 삼각형 홈이 제조되는 것으로 판단된다. 이와 대조적으로 발산모드의 경우, 그림 2(b)에서와 같이 홈의 벽면 전체에 걸쳐 낮은 레이저 강도 분포를 보이는데 이 때 최대 레이저 강도를 이용하여 온도 계산을 한 결과 약 76°C로서 에칭 문턱온도 보다 훨씬 낮은 값을 가진다. 결론적으로 발산모드의 빔이 조사될 경우, 삼각형 단면의 마이크로 홈 제조만 가능하며 바닥면이 평탄한 직사각형 단면의 마이크로 홈은 상대적으로 낮은 에칭용액의 농도에서 집속된 레이저 빔을 조사함으로써 제조 가능함을 예상할 수 있다.

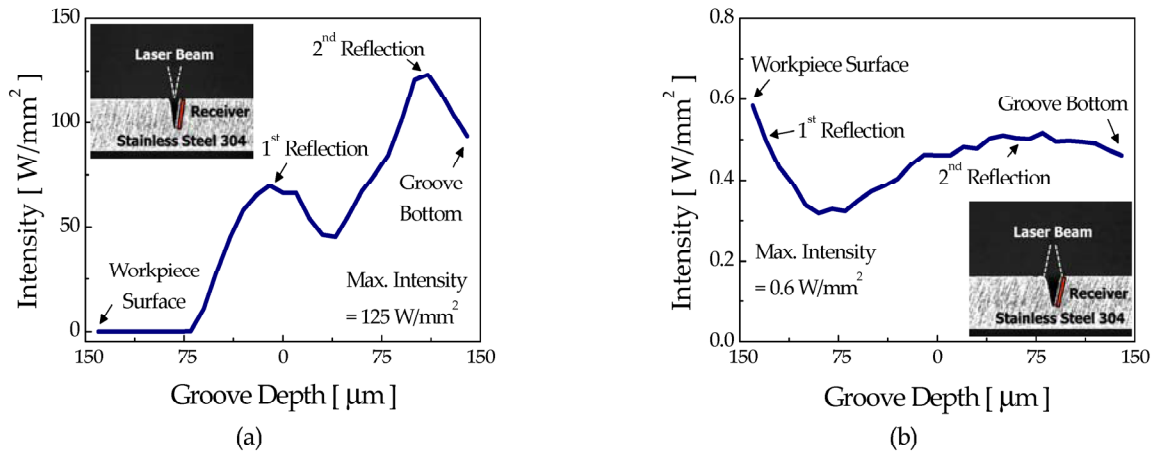


그림 2 완전한 삼각형 홈의 벽면에 (a) 집속모드 및 (b) 발산모드의 빔 조사 시 나타나는 레이저 강도 분포

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. Kwang H. Oh, J. B. Park, S. I. Cho, H. D. Im and S. H. Jeong, "Investigation of sidewall roughness of the microgrooves manufactured with laser-induced etching technique," Appl. Surf. Sci. 2009 (Accepted).