

## 펄토초 레이저를 이용한 극미세 가공

한국기계연구원(KIMM), 나노공정장비연구센터

조성학, 유병헌, 장원석, 김재구, 황경현

E.mail: shcho@kimm.re.kr

### I. 나노물성측정용 AFM cantilever 가공

#### 1.1 AFM cantilever

최근 MEMS(Micro Electro Mechanical System) 기술을 이용한 자이로스코프(gyroscope), 가속도센서(accelerometer) 등이 상용화되면서, 이들 제품들의 성능 및 신뢰성에 마이크로 구조물의 기계적 특성이 중요한 역할을 하고 있다. 이러한 나노 구조물들의 물성은 기존의 물성측정 방법으로는 측정할 수 없는 경우가 대부분이다. 또한 같은 재료라도 거대 구조물일 때의 물성과 마이크로 혹은 나노 구조물일 때의 물성은 차이가 있으므로, 실제 공정 및 제품에 사용되는 구조물의 크기와 같은 크기를 가지는 시편을 제조하여 그 물성을 측정할 필요가 있다(1). 따라서  $1\ \mu\text{m}$  이하의 크기를 갖는 시편의 물성측정에는 주로 AFM이 사용된다. 본 연구에서는 비열적 가공으로 우수한 가공특성을 갖는 펄토초 레이저를 이용하여 나노압입 시험(nanoindentation test) 등에 사용될 수 있는 AFM cantilever를 제작하였다.

#### 1.2 가공경로 및 가공조건

AFM cantilever 재질은 내식성이 뛰어나고 충분한 탄성을 얻을수 있어야 한다. 또한 레이저 가공에서 재질의 두께는 가공형상의 정밀도에 큰 영향을 미치므로, 만족스러운 결과를 위해서는 기계적 탄성이 유지되는 범위에서 되도록 얇은 스테인리스를 사용하는 것이 좋다. 설계된 Cantilever는 약  $50\ \mu\text{m}$  폭을 갖는 구조물이므로 반복적인 z축 가공에 따른 형상 왜곡을 피하기 위해 얇은  $50\ \mu\text{m}$  두께의 SUS304를 사용하였다. 가공에 사용된 대물렌즈는 NIR 50x 로써 수  $\mu\text{m}$  선폭으로 가공할 수 있다. 가공경로는 그림 1 과 같다. 안쪽의 라인은 설계된 cantilever의 외형이며 가공 빔의 직경을 고려하여 외곽으로  $5\ \mu\text{m}$  밖에서부터  $3\ \mu\text{m}$  간격으로 5개의 가공경로를 생성하였다. 최종 결과물은 시편에서 분리되어야 하므로 안쪽과 바깥쪽에 대한 2개의 경로를 순서대로 적용하여 안쪽을 제거한 후 외곽을 가공함으로써 가공이 완성된다. 가공에는 800nm 파장 및 펄스폭 100fs 인 1kHz 펄토레이저를 사용하였다. 레이저를 이용한 절단(cutting) 가공에서는 가공경로 외에 출력, 속도 및 Z축 이송 깊이가 중요한 변수이다. 따라서 이들의 조합에 따라 결과물의 품질은 크게 차이 나게 되고 미세한 구조물인 경우 형상이 파괴되는 경우도 발생할 수 있다. 최종 결정된 가공조건은 출력 150  $\mu\text{W}$ , 속도 2mm/s이며 z축 방향으로  $2\ \mu\text{m}$ 씩 초점을 이동하면서 가공하였다(그림 2).

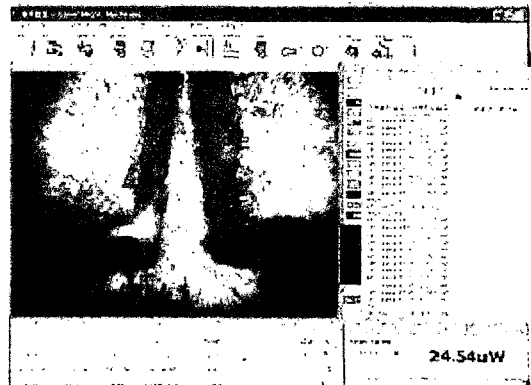
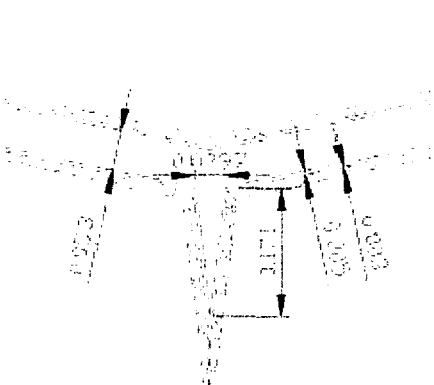
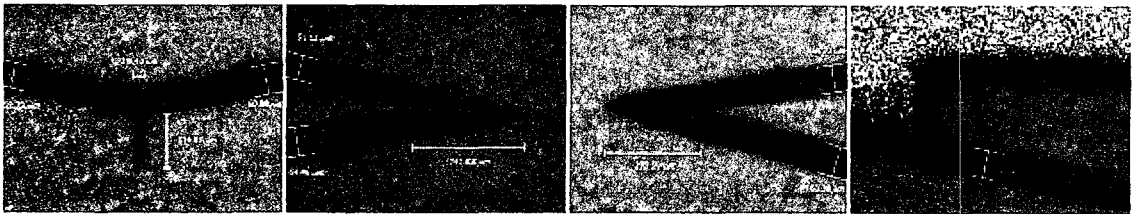


그림 1. Auto CAD 를 이용한 가공경로 생성

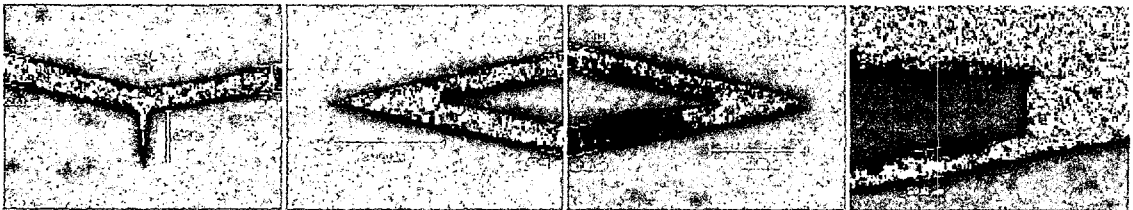
그림 2. 가공 프로그램 및 모니터링

## II. 가공결과 및 고찰

그림 3은 가공된 AFM cantilever를 각 부분별로 현미경 측정한 사진이며 a와 b는 각각 가공면과 뒷면을 보여주고 있다. 어브레이션(abrasion)된 입자들이 산화된 후 표면에 증착되어 가공면과 뒷면의 이미지가 뚜렷한 차이를 보임을 알 수 있다. 이러한 현상은 가공중에 에어블로잉(air blowing)을 실시하여 줄일 수 있고 화학적 에칭(etching)을 사용하여 제거 가능하다. 가공경로가 복잡한 형상은 스테이지에서 비롯하는 가감속 구간의 영향으로 레이저 가공에 불리하게 작용한다. 또한 레이저 빔 모드가 정확한 가우시안(Gaussian) 분포를 갖지 않는다면 가공면에 따라 서로 다른 공구를 사용하는 것과 같은 현상이 발생하게 된다. 따라서 실제 설계된 가공경로와 최종결과물의 형상은 이러한 영향에 따라 차이를 보일 수밖에 없으므로 최종결과와 비교하여 가공경로를 수정해주어야 한다. 특히 가공경로변화가 심한 팁(tip) 부분은 작은 가공조건 변화에도 형상이 쉽게 훼손되므로 출력 및 속도와 함께 가공경로를 설정할 필요가 있다. 완성된 팁은 폭 25.6  $\mu\text{m}$  길이 115.8  $\mu\text{m}$ 이지만 가공경로는 폭 39.7  $\mu\text{m}$  길이 171  $\mu\text{m}$ 이므로 각각 14.1  $\mu\text{m}$ , 55.2  $\mu\text{m}$ 의 차이를 나타내었다. 주목할만한 특징은 팁 부분은 가공경로보다 작아진 반면 cantilever 부분은 크게 나타난 것이다. 이는 가감속 변화가 심한 구간에서 에너지의 집속으로 나타나는 미세 레이저 가공의 특징으로 볼 수 있다.



(a)



(b)

그림 3. 초음파세척 후 AFM cantilever (a)가공면 (b)뒷면

## III. 결론

나노구조물의 물성측정에 이용할 수 있는 AFM cantilever를 펄스레이저를 이용하여 제작하였다. 팁 형상과 같이 스테이지 가감속에 따른 에너지 집속이 이루어지는 부분은 가공경로에 대한 고찰이 필요함을 알 수 있다. 실험에서 사용된 가공경로는 가공결과와 비교하여 수 차례의 수정으로 얻어진 결과이며, 가공경로와 cantilever 사이에서 발생한 폭과 길이의 차이는 출력, 속도 등 가공조건에 따라 달라짐에 유의해야 한다. 따라서 미세 구조물을 레이저 가공할 때는 에너지 집속의 정도에 따라 가공경로를 수정하여 보정할 필요가 있음을 알 수 있다.

## 참고문헌

1. 김재현, 이학주, 최병익, "마이크로/나노구조물의 기계적 물성측정 기술," 기계와재료 제 15 권 제 4 호 통권 58 호, pp15~29

2. M.Gad-el-Hak, Eds, (2002) The MEMS Handbook, CRC Press, USA
3. M.F. Yu, O.Lourie, M.J.Dyer, K. Moloni, T.F. Kelly, R.S. Ruoff, (2000) "Strength and breaking mechanism of multiwalled carbon nanotubes under tensile load," Science 287, pp. 637-640.
4. B.N. Chichkov, B. Wellegehausen, and H. Welling, "Ablation of metals by ultrashort laser pulses," J. Opt. Soc. Am. B/Vol. 14, No, 10 (1997)