

# AFM 을 이용한 미세 패턴 가공 시 접촉 하중에 따른 선폭 변화에 대한 연구

조상범\*(연세대학교 대학원 기계공학과), 김대은(연세대학교 기계공학부)

## Investigation on the Effect of Contact Load on Fine Pattern Fabrication by AFM

S. B. Jo\* (Mechanical Eng. Dept., Graduate School of Yonsei University)

D. E. Kim(Mechanical Eng. Dept., Yonsei University)

### ABSTRACT

To overcome some of the limitations in the conventional photolithography technique, MC-SPL which has advantages such as flexibility and high speed was developed in the past. To make a fine pattern using MC-SPL, there are many variables to control, for example, applied load, scribing speed, chemical etching condition, and etc. In this work, the effect of contact load on the width of the pattern was investigated. The load not only influences the width of the pattern but it also affects the wear of the probe tip. It was found that it is beneficial to load the tip in two stages. Futhermore, the experimental results showed that the pattern width was more sensitive to the initial contact force.

Key Words : Chemical etching(화학적 에칭), Contact load(접촉 하중), MC-SPL(기계-화학적 리소그래피), Nano-probe tip(미세 탐침), SAM(자기 조립 분자막)

### 1. 서론

현재 산업에서 가장 많이 사용되고 있는 리소그래피 방법으로 포토 리소그래피(photo-lithography) 기술이 있다. 단품중 대량생산에는 상당히 유리한 장점이 있으나 다품중 소량생산에는 불리하고, 초기 설비가 많이 든다는 점, 그리고 신속하고 유연하게 미세 패턴을 가공하기에는 힘들다는 단점이 있다. 또한 이러한 포토 리소그래피 기술에 의해 제작 가능한 최소 선폭은 물리적 한계가 예상되고 있다<sup>1</sup>. 이러한 기존 반도체 공정의 주 메카니즘인 광학 리소그래피에 의한 나노 패턴구현의 한계점을 극복하고, 보다 생산성을 높이기 위한 공정개발을 위해 저가의 대량생산이 가능한 나노 임프린팅 방법이 새롭게 주목받고 있다. 하지만 이러한 기술 역시 미세 가공수준의 한계를 가지고 있으며, 공정 속도, 고가의 공정장비에 따른 경제적인 측면과 실제 적용에는 기술적 문제들이 있기 때문에 나노 스

케일의 구조물 제작에 대한 지속적인 요구가 있는 실정이다<sup>2-3</sup>.

이러한 배경으로부터, 미세 탐침(nano-probe tip)을 이용한 리소그래피 방법에 대한 활발한 연구가 진행이 되고 있다. 대표적으로 dip-pen lithography, 저전압 전자빔 리소그래피 등 미세 탐침을 이용한 리소그래피들에 대한 연구가 진행이 되고 있으나 이러한 방법들은 공정 시 산화과정과 같은 화학적 반응이 필요하기 때문에 탐침의 스캐닝 속도가 느리며 따라서 공정에 많은 시간이 소요된다는 단점이 있다<sup>4-5</sup>. 반면에 미세 탐침을 이용한 기계-화학적 리소그래피(Mechano-Chemical Scanning Probe Lithography)는 신속하고 유연한 방법으로 가공이 가능한 장점이 있다<sup>6-7</sup>.

본 논문에서는 나노 트라이볼로지(nano-tribology)마멸현상에 기본 원리를 두고 있는 미세 탐침을 이용한 기계-화학적 리소그래피 공정에 있어서 접촉 하중과 하중을 가하는 방법에 따른 영향

을 살펴 보고자 한다. 본 공정에 있어서 가공 하중 (Applied load), 가공 속도(Scribing speed), 화학적 에칭 (Chemical etching) 등 여러 가지 요인들이 작용하나 미세 탐침이 시료에 접촉하는 접촉 하중이 패턴의 선포에 미치는 정도에 중점을 두고 연구를 수행하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 기계-화학적 리소그래피 가공 원리

기계-화학적 리소그래피의 기본적 원리는 Fig.1 과 같이 가공하고자 하는 실리콘 또는 Ag, Au, 그리고 Cu가 증착된 시료에 두께가 2~3 nm정도가 되는 극초박막 레지스트인 자기 조립 분자막(Self-Assembled Monolayer, SAM)을 코팅한 뒤 원자 현미경 (Atomic Force Microscope, AFM)의 미세 탐침을 이용하여 기계적으로 가공한 후 레지스트가 제거된 영역에 대해 화학적 에칭을 함으로써 미세 패턴 또는 3 차원 구조물을 유연하고 신속하게 저렴한 방법으로 제작 가능한 방법이다<sup>6-9</sup>. 또한 나노 스케일에서 미세 탐침과 시료 사이에서 발생하는 마멸현상을 제어함으로써 패턴가공이 이루어지는 트라이볼로지에 기반을 둔 리소그래피 방법이라고 할 수 있다. 기존의 미세 탐침 기반의 리소그래피 방법들에 대해 기계-화학적 방법으로 가공을 수행함으로써 상대적으로 고속으로 패턴 가공이 가능하고 저 비용의 제작공정과 실리콘 뿐만 아니라 여러 종류의 금속시료에 대해 다양한 형상의 패턴을 가공할 수 있는 유연성이 있다고 할 수 있다. 또한 패턴 가공 시 탐침의 끝단 반경에 의해 영향을 받게 되므로 본 연구에서는 끝단 반경이 10 nm 정도인 실리콘으로 제작된 탐침을 사용하였다.

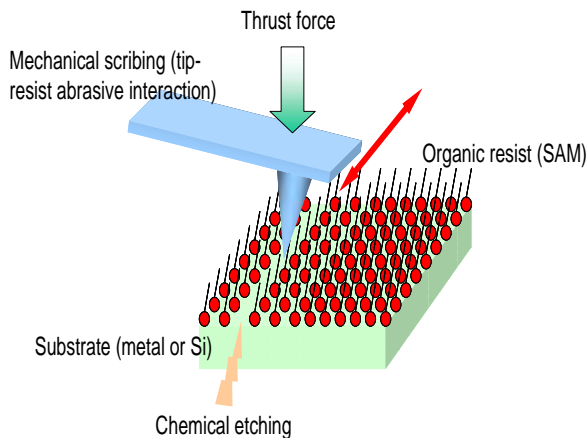


Fig. 1 Schematic diagram of MC-SPL process

### 2.2 시료 및 레지스트

물리적인 방법으로 박막을 증착하는 RF sputter 를 이용하여 Si 시료 위에 Ag 를 500nm 정도 증착하였고 그 위에 Fig. 2 의 순서와 같은 방법으로 본 공장에서 화학적 에칭에 대한 레지스트로 사용하는 자기 조립 분자막의 일종인 hexadecanethiol(HDT)을 일정 순서에 따라 코팅 하였다. 우선 아세톤과 에탄올을 사용하여 금속 표면의 산화막, 유기물들을 일정시간 동안 담금으로써 제거하였다. 그리고 HDT 를 에탄올에 1 mM 농도로 희석시킨 용액에 시료를 10 시간 정도 담가줌으로써 금속 모체에 자기 조립 분자막을 형성시킨 후, n-Hexane, 에탄올, 그리고 증류수를 이용하여 표면에 남아있는 유기물들을 제거하였다.

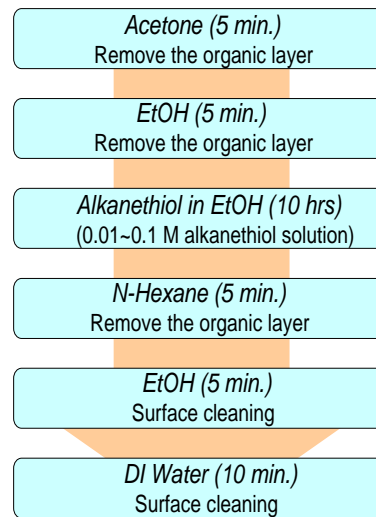


Fig. 2 HDT coating process

### 2.3 습식 에칭

본 연구에서는 레지스트가 제거된 영역에 대해 에칭을 함으로써 Ag 시료에 미세 패턴을 제작하기 위해 습식 에칭 중 하나인 일정 몰농도로 증류수와 섞은 시안화 용액(KOH/KCN)을 사용 하였다<sup>10</sup>. HDT가 에칭에 의해 파괴되게 되면 레지스트로서 기능을 수행하지 못할 뿐만 아니라 시안화 용액에 의한 에칭은 등방성 에칭이므로 레지스트가 제거되면 가공 선포는 이러한 등방성 에칭에 의한 영향으로 증가하게 된다. 따라서 에칭 시간은 HDT가 에칭에 의해 파괴되지 않는 시간 이내에서 에칭을 수행 하였다. 이는 HDT의 구조는 Fig. 3 과 같이 세 부분으로 이루어지는데 HDT의 끝단을 이루는 terminal group은 소수성을 띄기 때문에 즉, HDT 가 화학적 에칭에 의해 파괴되지 않으면 표면은 소수

성을 나타내므로 접촉각을 측정함으로써 HDT가 화학적 에칭에 의해 파괴되지 않는 조건을 확인 하였다<sup>9, 11</sup>. 또한 본 공정의 최적화를 위해 레지스트가 화학적 에칭에 대해 레지스트로서의 역할을 수행하는 조건을 찾는 것이 중요하다고 판단된다.

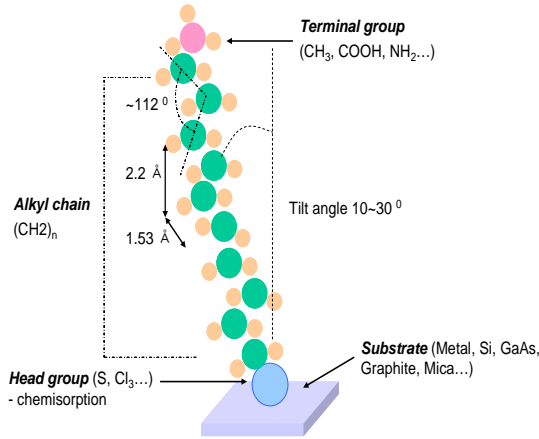


Fig. 3 Structure of self-assembled monolayer

### 3. 나노 스케일 패턴 제작

#### 3.1 접촉하중에 따른 영향

원자 현미경의 미세 탐침을 이용한 기계적 가공은 Fig. 3 과 같이 미세 탐침을 시료에 일정 하중 (Contact load,  $F_{initial}$ )으로 접촉시킨 후 가공 변위에 해당하는 수직 하중(Normal load,  $kdz$ )을 가함으로써 패턴 가공이 이루어 지게 된다. 이때, 수직 하중을 가하는 방식은 미세 탐침의 스프링 계수(spring constant,  $k$ , N/m)에 수직 방향 변위( $dz$ )를 곱함으로써 얻어지게 되며 패턴을 가공하게 되는 가공 하중(Applied load,  $F_{tot}$ )은 접촉 하중에 수직 방향 변위와 탐침의 스프링 계수를 곱한 수직 하중을 더함으로써 얻어지게 된다.

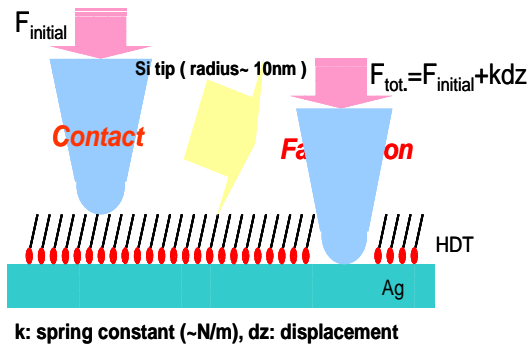


Fig.4 Loading for mechanical scribing

미세 탐침과 시료 사이에는 정전기력, 모세관력, 그리고 van der Waals force 같은 미세한 힘들이 작용하나 이런 힘들은 일정하고 접촉 하중과 수직 하중에 비해 크기가 작다고 가정함으로써 가공 하중은 Eq. (1)과 같이 나타난다<sup>12</sup>.

$$F_{tot} = F_{initial} + kdz \quad (1)$$

기계적 가공 시 가공되는 패턴의 선폭에 영향을 주는 인자로 가공 하중, 가공 속도, 탐침의 끝단 반경 등이 있다. 이때, 탐침의 접촉 하중에 따른 영향을 살펴보고자 실험을 하였다. 우선 접촉 하중은  $0.2\mu N$ , 가공 속도는  $500\mu m/s$  로 일정하게 고정시키고 화학적 에칭은 동일한 시안화 용액을 사용하여 같은 몰농도 하에서 전부 1 분 동안 레지스트가 파괴되지 않는 조건하에서 수행 하였다. 수직 하중만  $2\mu N$ ,  $1\mu N$ , 그리고  $0.04\mu N$  으로 감소시켰을 때 가공된 선폭은  $160\text{ nm}$ ,  $150\text{ nm}$ , 그리고  $140\text{ nm}$  로 감소되는 정도가 크게 나타나지 않았다. 반면에 접촉 하중을  $0.1\mu N$  으로 감소시키고 수직 하중은  $0.05\mu N$  으로 하여 가공 시 선폭은  $90\sim 100\text{ nm}$  정도로 크게 감소하였다. 이를 정리하면 아래의 Fig. 5 와 같다.

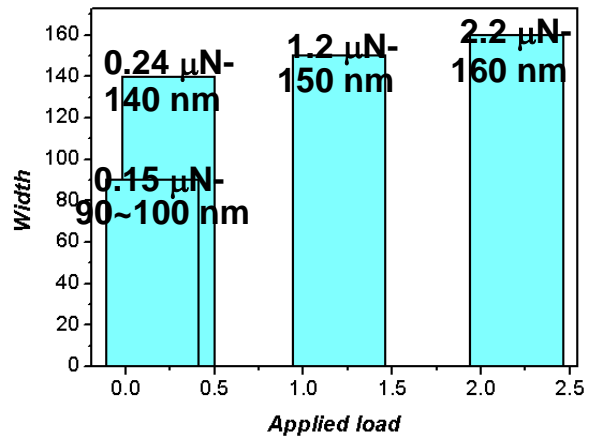


Fig. 5 Effect of applied load on line width

#### 3.2 미세 패턴 가공 결과

위의 결과를 토대로 하여 패턴 가공을 수행하였다. 미세 탐침을 시료에 접촉시키는 접촉 하중은  $0.1\mu N$  이하로 하고 가공 속도는  $500\mu m/s$  에서  $1000\mu m/s$  까지, 그리고 화학적 에칭은 1 분에서 2 분 동안으로 레지스트가 파괴되지 않는 조건 하에서 실험을 하였다. 이때 가공되는 패턴은 접촉하중을  $0.1\mu N$  으로 하고 수직 하중은  $0.05\mu N$  으로 하여 가공했을 때와 유사하게 선폭은  $100\text{ nm}$  이하, 패

턴 깊이는 60~70 nm 정도로 패턴이 가공 되었다. 이를 통하여 가공되는 패턴의 선폭에 접촉 하중이 영향을 크게 미치는 것을 알 수 있었다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 기계-화학적 리소그래피를 이용하여 미세 패턴 제작에 대해 살펴 보았다. 이러한 기계-화학적 리소그래피 방법에 있어서 수직 방향 변위와 스프링 계수를 곱한 수직 하중에 대한 영향보다 초기 접촉 하중에 따른 선폭 변화가 더 큼을 알 수 있었다. 이는 초기 접촉시 접촉 하중이 크게 되면 미세 탐침의 끝단의 마모가 발생하여 가공되는 선폭이 증가한 것으로 판단된다. 본 공정을 이용하여 더 미세한 선폭을 가지는 패턴을 가공하기 위해서는 접촉 시 탐침 끝단의 마멸을 줄이는 것이 중요하다고 할 수 있다.

#### 후기

본 내용은 나노 연구개발 사업인 나노 핵심기반 연구 사업단의 연구비 지원(과제번호 M10203000031-05M0300-03110)에 의해 수행 되었습니다.

#### 참고문헌

1. Bhushan, B., "Handbook of Nano-Technology", Springer, 2004.
2. Liao, W. C., Hsu, C. S. L., Chu, S. Y., and Kau, P. C., "Back Flash Imprint Lithography for Transparent Plastic Substrates," *Microelectronic Engineering*, Vol. 77, pp. 250-254, 2005.
3. Tormen, M., Businaro, M., Altissimo, M., Romanato, F., Cabrini, S., Perennes, F., Proietti, R., Sun, H. B., Kawata, S., and Fabrizio, E. D., "3D Patterning by means of Nanoimprinting, X-ray and Two-Photon Lithography," *Microelectronic Engineering*, Vol. 73-74, pp. 535-541, 2004.
4. Marrian, C. R. K., Perkins, F. K., Brandow, S. L., Koloski, T. S., Dobisz, E. A., and Calvert, J. M., "Low Voltage Electron Beam Lithography in Self-Assembled Ultrathin Films with the Scanning Tunneling Microscope," *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 64, pp. 390-392, 1994.
5. Hong, S., Zhu, J., and Mirkin, C. A., "Multiple Ink Nanolithography: Toward a Multiple-Pen Nano-Plotter," *Science*, Vol. 286, pp. 523-525, 1999.
6. Sung, I. H., and Kim, D. E., "Fabrication of

- Micro/Nano-Patterns using MC-SPL(Mechano-Chemical Scanning Probe Lithography) Process," *Int. J. KSPE*, Vol. 4, No. 5, pp. 22-26, 1996.
7. Sung, I. H., and Kim, D. E., "Nano-Scale Patterning by Mechano-Chemical Scanning Probe Lithography," *Appl. Surf. Science*, Vol. 239, pp. 209-221, 2005.
8. Ulman, A., "Formation and Structure of Self-Assembled Monolayer," *Chem. Rev.*, Vol. 96, pp. 1533-1554, 1996.
9. Ulman, A., "Thin Films: Self-Assembled Monolayer of Thiol," Academic Press, 1998.
10. Kohler, M., "Etching in Microsystem Technology," Wiley-VCH, 1999.
11. Ulman, A., "An Introduction to Ultrathin Organic Films," Academic Press, 1991.
12. Israelachvili, J. N., "Intermolecular and Surface Forces," Academic Press, 2000.