

## Non-lithography 방법에 의한 마이크로 구조물 제작 및 응용

성인하\*, 김진산 (연세대 대학원 기계공학과), 김대은 (연세대 기계공학과)

### Non-lithographic Micro-structure Fabrication Technology and Its Application

I. H. Sung \*, J. S. Kim(Dept. of Mechanical Eng., Graduate School of Yonsei University),

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

#### ABSTRACT

In this work, a new non-lithographic micro-fabrication technique is presented. The motivation of this work is to overcome the demerits of the most commonly used photo-lithographic techniques. The micro-fabrication technique presented in this work is a two-step process which consists of mechanical scribing followed by chemical etching. This method has many advantages over other micro-fabrication techniques since it is simple, cost-effective, rapid, and flexible. Also, the technique can be used to obtain a metal structure which has sub-micrometer width patterns. In this paper, the concept of this method and its application to microsystem technology are described.

**Key Words :** Mechano-chemical process (기계-화학적 공정), Abrasive interaction (연삭 상호작용), Nano wear (극미세 마멸)

#### 1. 서 론

현재 가장 많이 사용되고 있는 미세패턴 및 구조물 제작기술로서는 LIGA, 광학이나 고에너지 이온빔, X선 등을 이용하는 리소그래피 기술[1-4]을 들 수 있다. 이러한 리소그래피 기술들은 자외선, X선, 레이저 등 광 시스템 및 aligner 등 시설에 대한 초기투자가 많이 들고, 공정특성상 다단계의 마스크공정과 에칭공정 등 복잡한 공정을 필요로 하며 제작시간이 많이 소요될 뿐만 아니라, 패턴변경 등 디자인변화를 위해서는 새로 마스크를 제작해야 하는 문제가 있어 단품종 대량생산에는 적합하나 다품종 소량생산에는 불리하다. 또한, 가공가능한 재료가 대부분 실리콘 기반재료(silicon-based material)에 한정되어 있다는 단점을 가진다. 더구나, 이러한 리소그래피 기술에 의해서 제작가능한 최소선폭의 물리적 한계가 예상되고 있어, 최근들어 초정밀 미세 절삭가공기술, 미세성형기술, 주사탐침현미경(SPM, scanning probe microscope)을 이용한 나노패턴 형성 기술들이 다양하게 연구되어 오고있다.

미세 절삭가공기술의 연구는 주로 미세방전, 집중이온빔, 레이저 등을 이용한 미세 구조물 제작[5,6]으로, 유연성이나 곡면가공성은 좋으나 높은 가공에너지를 필요로 하며, 가공후 잔유물 생성 및 가공표면의 표면품질 저하 등의 문제가 있다. 미세 성형기술은 미세접촉인쇄(micro-contact printing), 미세주조/각인(micro-molding/imprinting) [7-9]등으로서, 폴리머나 금속에 이용가능하나 형상 치수의 정확성향상, 이형(release)공정시 형상변형 문제 등이 아직 해결해야 할 점이다. 주사전자 현미경을 이용한 미세가공기술[10-13]은 저에너지/저온 공정, 극미세 패턴 및 구조를 제작할 수 있는 장점이 있으나, 패턴형성이나 구조물제작을 위한 공정 속도가 매우 느리고, 재료의 한계 및 진공/전기장 등을 위한 부가설비가 필요하다. 이와 같이, 현재 연구개발중인 이러한 기술들은 아직은 대부분 연구실차원에서의 가능성 입증이나 개발상태에 머물러 있고 실제 현업에 적용하기에는 공정개발, 정밀도향상 등 여러가지 해결해야 할 기술적 문제들이 많이 남아 있다.

이러한 배경으로부터, 본 연구팀에서는 기존의

기술들이 갖는 단점을 극복하고, 다양한 재료에 대해 적용가능한 신속하고 저렴하며 유연한 기계-화학적 마이크로/나노 구조물 제작 기술[14,15]을 개발, 제안한바 있다. 기계-화학적 마이크로/나노 구조물 제작 기술의 기본개념은 Fig. 1 에 보이는 바와 같이 시료표면에 화학적 가공의 보호층 역할을 할 리지스트(resist)를 형성시킨 후 1 차적으로 이를 미세 팁(tip)을 이용, 팁에 힘을 가하여 팁-공작물간 연삭 마멸 상호 작용(abrasive wear interaction)에 의해 직접 시료의 표면형상을 변형시키는 기계적 변형방법을 통해 제거한다. 이러한 방법은 현재 개발중인 여러 미세 구조물 제작기술 중에서 가장 설계변경이 수월하고 설비가 간단하며 속도면에서 빠르다는 장점이 있으나, 해결해야 할 문제로서 기계적 가공후 패턴주위에 남는 버(burr) 및 가공 또는 마멸된 시료잔유물을 들 수 있는데, 이로인해 생성되는 패턴의 재현성이나 정밀도가 나빠지게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서, 화학적 에칭에 의해 기계가공된 패턴 또는 영역만을 선택적으로 제거하여 원하는 형상을 얻는다.

이러한 방법을 이용하면 단순한 기계적변형 방법으로는 해결이 불가능한 가공잔유물을 제거할 수 있으며, 에칭시간 조절에 따라 고종횡비(high-aspect ratio)를 갖는 3 차원 미세구조물 제작이 가능하게 된다. 또한, 실리콘을 기반으로 하는 재료뿐만 아니라 다양한 금속재료에도 적용가능한 큰 잇점을 가진다. 이러한 방법으로 형성된 미세구조는 미세주형(micro-mold), 미세유체채널(micro-fluidic channel) 등에 응용할 수 있다.

본 미세가공법은 단인(single asperity)공구로 배분력(thrust force)의 조절에 의해 공작물의 마멸을 제어하는 가공법으로서, 마찰 및 마멸현상을 재료의 품질저하나 지양해야 할 요소로 생각하지 않고 보다 적극적으로 미소가공에 응용할 수 있다는 가능성을 제시하는 새로운 개념의 미소가공법이다.

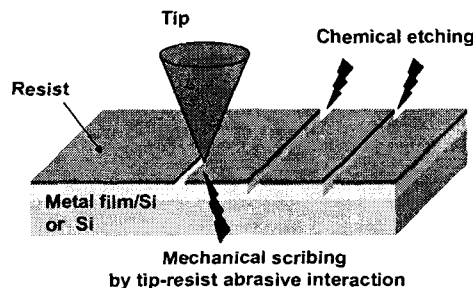


Fig. 1 Schematic diagram of mechano-chemical process

## 2. 가공방법 및 장치

### 2.1 실험장치

미세구조 가공을 위해 자체제작한 미세패턴가공기[14]와 상용화된 주사탐침현미경을 이용하였다. 미세패턴가공기는 공구로서 단결정 다이아몬드 팁(반경: 5 $\mu$ m, 경도: 8000~10000 HV)과 이송부로서 3 축 정밀 리니어 액츄에이터 (이송 정밀도: 60nm, 최대이송거리: 25mm) 가 장착된 마이크로이송대(micro-stage), 가공시의 배분력을 정밀하게 측정할 수 있는 정밀저울로 구성하였다. 고정된 공작물에 공구가 상대 운동하여 재료제거를 유발, 미소가공이 이루어진다. 리니어액츄에이터는 의 가공경로는 프로그래밍을 통하여 원하는 대로 쉽게 변경할 수 있도록 하였다. 또한, 정밀저울로부터 감지되는 하중을 피드백시켜 가공이 진행되는 동안 원하는 값으로 하중을 제어, 유지하였다.

또한, 더욱 미세한 패턴 및 구조물 제작의 가능성을 보기 위하여 주사탐침현미경을 이용하였는데, 기계적가공을 위해 다이아몬드 팁(반경: ~150nm)이 부착된 캔틸레버를 사용하였다.

### 2.2 시편/리지스트(resist)

시편으로는 Si(100) 및 Si(100) 위에 전자빔증착(E-beam evaporation)으로 박막증착한 Cu, Au 금속시편들을 사용하였다. 증착두께는 각각 약 180, 250nm 이다.

리지스트로서는 실리콘의 경우, 선행연구를 통해 폴리머, 금속, 세라믹 등 다양한 재료를 검토한 결과, 패턴의 형상 및 정밀도측면에서 SiO<sub>2</sub> 가 가장 적합하였으므로[14], 가열성장시킨 SiO<sub>2</sub> (두께 : 80nm)를 사용하였고, 금속박막을 위해서는 HDT (HS(CH<sub>2</sub>)<sub>15</sub>CH<sub>3</sub>, hexadecanethiolate) SAM(self-assembled monolayer)을 기존의 연구들을 통해 알려진 프로세스를 참조하여 [16,17] 증착하여 사용하였다. 자기조립분자막(SAM)의 두께는 dipping time 에 따라 다소 달라지는데, 본 연구에서는 약 2-7nm 두께로 증착하여 사용하였다.

## 3. 실험결과 및 토의

금속재료의 경우, 본 연구의 선행연구 [14,15]에서는 금속모재를 갈림현상(plowing)을 이용하여 직접 가공한 후 디버링(deburring) 하는 프로세스를 이용하였다. 그러나, 이러한 방법으로는

좋은 표면품위를 얻을 수 없는 단점을 지닌다. 이러한 단점을 극복하기 위해서, 금속위에 유기박막인 자기조립분자막을 증착하여 이를 리지스트로 사용하는 개념을 도입하였다. 즉, 기계적 가공으로 자기 조립 분자막을 제거한후 에칭으로 금속을 원하는 깊이만큼 제거한후 자기조립분자막을 화학적처리로 제거해내는 것이다. 본 연구에서 사용한 thiolate-SAM 의 경우, 다이아몬드 팁으로 수 nN 의 하중에도 제거되면서도, 화학적 에칭과정에서 금속 에칭액에 대해 etch resist 로서의 역할을 잘 수행하는 것으로 확인되었다.

Fig. 2 는 HDT(hexadecanethiolate)-SAM 이 코팅된 Au/Si 표면을 주사탐침현미경을 이용하여 기계-화학적방법으로 가공한 외부 40 x 40 ( $\mu\text{m}$ ) 크기, 내부 10 x 10 ( $\mu\text{m}$ )의 이중포켓의 topography 이미지와 단면프로파일이다. 내부의 사각형상은 실리콘을 back-etch 하여 분리해내면 metal micro-duct 로 활용할 수 있을 것이다.

Fig. 3 은 HDT-SAM coated Cu/Si 위에 간격을 4  $\mu\text{m}$ , 높이 약 200nm 로 grating 표면을 가공한 결과이며, Fig. 4 는 1  $\mu\text{m}$  간격으로 반복되는 nano-groove 를 제작한 것이다. 이러한 형상들은 마이크로/나노 구조물을 위한 미세주형(mold)으로도 응용될 수 있으리라 생각된다.

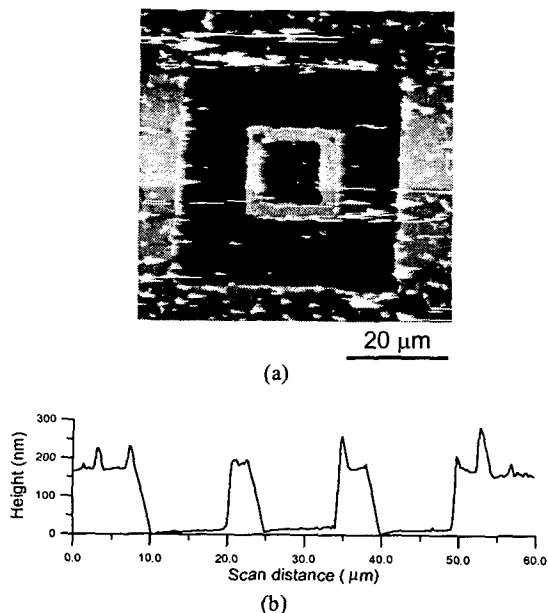


Fig. 2 AFM images of machined pocket on HDT-SAM coated Au/Si(100) surface

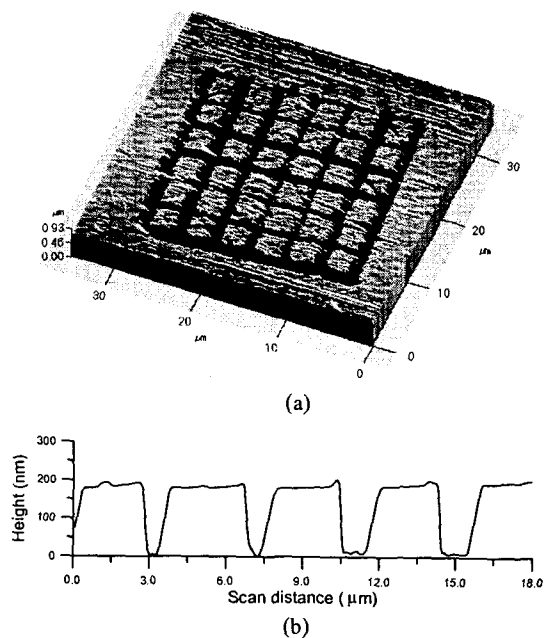


Fig. 3 AFM images of micro-grating on HDT-SAM coated Cu/Si(100) surface (4  $\mu\text{m}$  spacing)

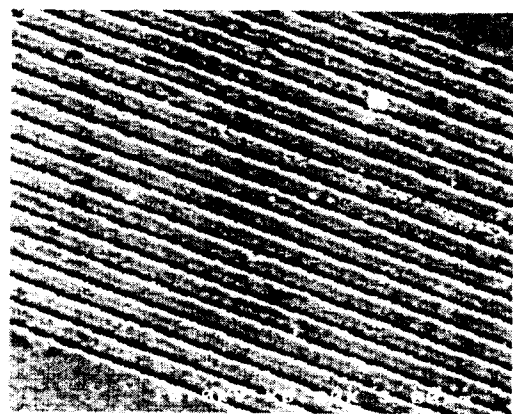


Fig. 4 SEM image of nano-grooves on HDT-SAM coated Cu/Si(100) surface (1  $\mu\text{m}$  spacing)

#### 4. 결론

본 연구에서는 tip 과 가공하고자 하는 재료간의 상대접촉운동에 대한 마찰 및 마멸의 기초적인 이해를 바탕으로, 기존의 미세가공법이 가지는 단점을 극복하면서 silicon-based material 뿐만

아니라 금속재료에도 적용할 수 있는 경제적이고 유연한 새로운 개념의 미소가공기술을 제안하고, 그 가능성과 유용성을 확인하였다. 본 연구에서 제안한 새로운 미세가공기술을 이용하면 프로그래밍에 의해 공구경로만을 변화시켜 줌으로써 손쉽게 다양한 형상의 미세요철표면, 미소금형 등을 제작할 수 있으며, AFM 을 이용한 nano-lithography 기술로도 활용할 수 있다. 지금까지의 미소가공 기술에서는 재료에 제한이 있고 디자인을 변화시킬 때 마스크를 다시 제작해야 하고, 새롭게 공정을 수행하는데 비용과 시간이 많이 드는 점을 생각해 볼 때, 본 미소가공 기술은 디자인의 변화가 쉽기 때문에 공정 시간을 단축시킬 수 있고 경제적이므로 매우 유용한 기술이라고 할 수 있다.

### 후 기

본 내용은 과학기술부 21C 프론티어 개발사업 중 “지능형 마이크로시스템 개발사업단”의 지원을 받아 수행한 연구결과이며, 이에 관계자 여러분께 감사사를 드립니다.

### 참고문헌

- Romankiw, L. T., “A Path: From Electroplating through Lithographic Masks in Electronics to LIGA in MEMS,” *Electrochim. Acta*, Vol. 42, pp. 2985-3005, 1997.
- Menz, W., “LIGA and Related Technologies for Industrial Application,” *Sensor. Actuat. A-Phys.*, Vol. 54, pp. 785-789, 1996.
- Qin, D., Xia, Y., Rogers, J. A., Jackman, R. J., Zhao, X. M., Whitesides, G. M., “Micro-fabrication, Microstructures and Microsystems,” *Top. Curr. Chem.*, Vol. 194, pp. 1-20, 1998.
- Rogner, A., Eicher, J., Munchmeyer, D., Peters, R. P., Mohr, J., “The LIGA Technique-What are the new opportunities,” *J. Micromech. Microeng.*, Vol. 2, pp. 133-140, 1992.
- McKeown, P. A., “The Role of Precision Engineering in Manufacturing of the Future,” *Annals of the CIRP*, Vol. 36, pp. 495-501, 1987.
- Taniguchi, N., *Nanotechnology*, Oxford University Press, NewYork, 1996.
- Xia, Y., Whitesides G. M., “Soft Lithography,” *Angew. Chem. Int. Ed.*, Vol. 37, pp. 550-575, 1998.
- H. Schiff, R. W. Jaszewski, C. David and J. Gobrecht, “Nanostructuring of polymers and fabrication of interdigitated electrodes by Hot Embossing Lithography,” *Microelectron. Eng.*, Vol. 46, pp. 121-124, 1999.
- Gottschalch, F., Hoffmann, T., Torres, C. M. S., Schulz H., and Scheer, H.-C., “Polymer issues in nanoimprinting technique,” *Solid-State Electronics*, Vol. 43, pp. 1079-1083, 1999.
- Snow, E. S., Campbell, P. M., “Fabrication of Si nanostructures with an atomic force microscope,” *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 64, pp. 1932-1934, 1994.
- Minne, S. C., Adams, J. D., Yaralioglu, G., Manalis, S. R., Atalar, A., Quate, C. F., “Centimeter scale atomic force microscope imaging and lithography”, *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 73, pp. 1742-1744, 1998.
- Marrian, C. R. K., Perkins, F. K., Brandow, S. L., Koloski, T. S., Dobisz, E. A., 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.
- Ivanisevic, A., Mirkin, C. A., “Dip-Pen Nanolithography on Semiconductor Surfaces,” *J. Am. Chem. Soc.*, Vol. 123, pp. 7887-7889, 2001.
- Lee, J. M., Jin, W. H., Kim, D. E., “Application of Single Asperity Abrasion Process for Surface Micro-machining,” *Wear*, Vol. 251, pp. 1133-1143, 2001.
- Lee, J. M., Sung, I. H., Kim, D. E., “Process Development of Precision Surface Micro-machining using Mechanical Abrasion and Chemical Etching,” *Microsystem Technologies*, In press, 2002.
- Xia, Y., Zhao, X.-M., Whitesides, G. M., “Pattern transfer : Self-assembled monolayers as ultrathin resists,” *Microelectron. Eng.*, Vol. 32, pp. 255-268, 1996.
- Cha, K. H., Kim, D. E., “Investigation of the tribological behavior of octadecyltrichlorosilane deposited on silicon,” *Wear*, Vol. 251, pp. 1169-1176, 2001.