

대면적 SPL(Scanning Probe Lithography) 시스템 제작

윤상준, 김원호*, 성우경*, 박영근**, 황규호**, 정관수
경희대학교, 전자부품연구원, M2N**

Manufacturing of SPL system having a large scanning area

Sang-Joon Yoon, Won-Hyo Kim*, Woo Kyeong Seong*, Young-Geun Park**, Kyu-Ho Hwang**, Kwan-Soo Chung
KyungHee Univ., KETI*, M2N Inc.**

Abstract

Next generation lithography technologies, such as EBL(Electron Beam Lithography), X-ray lithography, SPL(Scanning Probe Lithography), have been studied widely for getting over line width limitation of photolithography. Among the next generation lithography technologies, SPL has been highlighted because of its high resolution advantage. But it also has problem which are slow processing time and sample size limitation. The purpose of this study is complement of present SPL system. Brand new SPL system was made. SPL test was performed with the system in ultra thin PMMA(polymethylmethacrylate) film.

Key Words : SPM(Scanning Probe Microscopy), SPL(Scanning Probe Lithography), Probe. Nano-lithography

1. 서론

전자산업에서 주력기술의 위치를 점하고 있는 반도체 기술은 '무어의 법칙'에서 언급한 것과 같이 정보처리 양의 급격한 증가로 인해 성능의 고속화와 고집적화를 요구받고 있다. 때문에 소자의 크기는 소형화가 불가피한 실정이고, 이에 따른 pattern 선폭 역시 nano(10^{-9} m) 와 submicron(10^{-6} m 이하) 크기를 지향하는 연구가 늘어나고 있다.

하지만, 현재 대부분의 pattern형성공정은 높은 양산성과 빠른 작업 속도의 장점을 지니고 있는 photolithography[1] 공정이 대부분을 차지하고 있고, 이 photolithography 공정은 광 파장의 한계에 의한 분해능의 제한으로 초미세 pattern을 제작하는데 있어 문제점을 보이고 있다.

이 단점을 극복하기 위해 보다 작은 파장의 광원으로 전자빔(EBL : electron beam lithography)[2] 이나 X-선 (X-ray lithography)[3] 등 차세대 patterning 공정이 연구되고 있으나, 이는 고가의

기술과 장비를 필요로 한다.

때문에 고성능의 표면분석 장비인 주사탐침현미경 (SPM : Scanning Probe Microscopy)[4]을 이용한 SPL (Scanning Probe Lithography)[5]이 많은 주목을 받고 있다. SPL은 고분해능이 가능하기 때문에 초미세 패턴을 형성할 수 있다는 장점을 지니고 있다.

그러나, SPL은 patterning을 하고자 하는 시료의 영역 제한과 공정속도가 다른 lithography 공정에 비해 현저히 떨어지는 단점 역시 갖고 있다.

본 연구는 SPL의 단점 중 하나인 면적제한을 극복하는 대면적 SPL 시스템과 이에 이용하는 탐침을 제작, 초박막 PMMA(polymethylmethacrylate)에 패턴을 구현하는데 그 목적이 있다.

2. 본론

2.1 AFM(Atomic Force Microscopy)의 구동 원리 (Contact Mode)

SPM은 미세한 힘에도 위아래로 쉽게 휘어지는 캔틸레버(cantilever)가 장착된 probe를 사용한다. 이 캔틸레버의 끝 부분에는 아주 좁은 탐침(tip)이 있고, 이 탐침의 최하단은 원자 몇 개 정도의 크기이다. 이 탐침을 시료에 접근 시키면 탐침 하단의 원자와 시료 표면의 원자 사이에는 인력과 척력이 작용하게 된다.

Contact mode의 SPM에서는 척력을 사용하는데 그 힘의 크기는 1~10nN 정도로 아주 미세하지만 캔틸레버 역시 아주 민감하므로 그 힘에 의해 휘어지게 된다. 이 캔틸레버가 아래위로 휘는 것을 측정하기 위해 레이저 광선을 캔틸레버에 비추고 캔틸레버 윗면에서 반사된 광선의 각도를 포토다이오드를 사용해 측정한다. 이렇게 하면 바늘 끝이 0.01nm 정도로 미세하게 움직이는 것까지 측정해 낼 수 있다. 바늘 끝의 움직임을 구동기에 feedback해 SPM의 캔틸레버가 일정하게 휘도록 유지시키면 탐침 끝과 시료 사이의 간격도 일정해 지므로 시료의 형상을 측정해 낼 수 있다.

2.2 대면적 SPL 시스템의 제작

본 연구를 위해 제작된 대면적 SPL 시스템은 전자의 노출이 쉽고, 탐침의 제어가 비교적 간단한 contact mode를 선택했다. 시스템에서 중요한 역할을 차지하고 있는 optical lever부분은 probe를 쉽게 장착할 수 있는 홀더, 레이저 다이오드(laser diode), 프리즘, 거울, 고배율의 현미경, 포토다이오드(photo diode) 등으로 구성됐다.

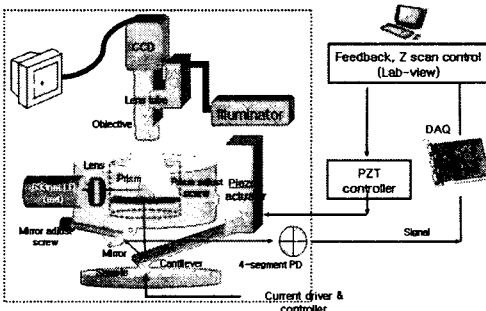


그림 1. 대면적 SPL 시스템의 모식도

이들 중 프리즘은 자유도가 없는 캔틸레버에 레이저를 조사하고 그 빛의 방향을 조절하기 위한 역할을 수행한다. 거울은 캔틸레버에서 반사된 레이저를 포토다이오드에 전달하고, 캔틸레버의 길이와

빛의 조사 위치 차이에 따라 야기될 수 있는 위치 차이를 조절하여 레이저가 포토다이오드 중심에 조사되게 하는 역할을 한다.

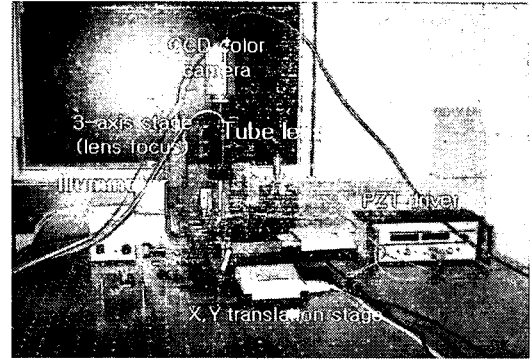


그림 2. 대면적 SPL 시스템의 실제 모습

포토다이오드의 위치는 캔틸레버의 움직임에 따른 하중, 레이저의 spot size와 focal length의 상관관계에 의해 결정되었다.(그림 3, 식 1 참조)

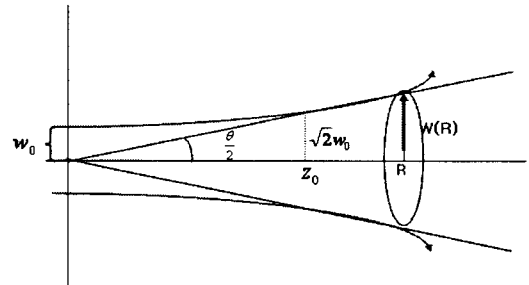


그림 3. 레이저의 조사 거리에 따른 spot size

$$Z_0 = \frac{\pi n w_0^2}{\lambda_0}$$

$$w^2(z) = w_0^2 \left[1 + \left(\frac{z}{Z_0} \right)^2 \right]$$

* Spot size

식 1. 레이저 조사 거리에 따른 레이저 spot size

시료를 장착하고 움직이게 하는 stage로는 최저 0.25μm/s부터 최고 30000μm/s 속도로 이동할 수 있는 submicrometer 이동 장치가 사용됐고, 이것은 X축과 Y축으로 이동 가능할 수 있게 설치되었다.

한편 기존의 상용화 SPM 장치들이 한번에

scanning 할 수 있는 영역이 X, Y 방향으로 수십 μm , 장착 시편 크기가 수십 mm 이지만, 본 연구에서 제작된 SPL 장치는 X, Y 방향으로 한번에 최대 25 mm 로 scanning이 가능하며, wafer 크기의 시편도 장착이 가능하다.

이 외에도 탐침과 시료 사이의 간격을 일정해지도록 하기 위한 feedback 프로그램과 PZT 제어기도 설치됐다.

2.3 SPL용 탐침의 제조

이번 SPL 시스템을 제작하면서 일반적으로 사용되는 SPM의 상용 캔틸레버를 대신해 직접 캔틸레버를 제작하였다.

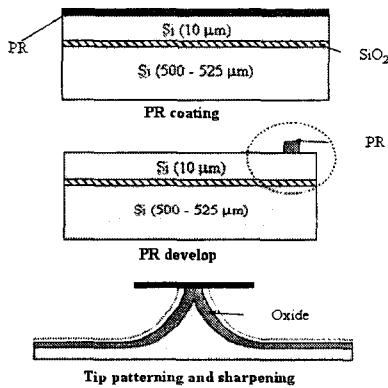
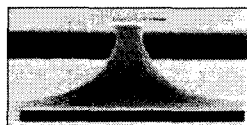


그림 4. 탐침의 제작 공정도

캔틸레버의 제작은 SOI(Silicon On Insulator) wafer에서 이루어졌으며, 나노 스케일의 탐침을 제조하기 위해 photolithography, oxide patterning, Si oxide etch(dry & wet)의 과정을 거쳐 캔틸레버를 제작하였다. 그림 4와 그림 5은 캔틸레버의 제작 공정과 제작된 나노 탐침의 SEM 영상이다.



After dry etch



After oxidation sharpening

그림 5. 탐침의 SEM 영상

2.4 대면적 SPL 시스템의 구동과 실험과정

제작된 SPL 시스템의 구동은 SPM의 contact mode와 유사하다. 탐침과 시료 사이의 척력을 이용하고, PZT 제어기를 이용해 그 간격을 일정하게 유지시킨다.

SPL에 사용된 시료의 기판은 Si wafer를 사용하였고, 전기 도전층으로 사용할 Au는 electron beam evaporator를 이용해 1000Å 두께로 증착하였다. Patterning 층으로 사용될 PMMA는 spin coating 후 soft baking 작업을 통해 만들었고, 약 40~50nm의 두께를 보였다.

위의 공정을 통해 만들어진 시료를 SPL 시스템에 장착한 후 0.25 $\mu\text{m}/\text{s}$ 의 속도로 탐침과 시료 사이에 -20V의 바이어스 전압을 인가해 patterning 층인 PMMA에 길이 900 μm 폭 5 μm 의 주기로 전자빔을 노출시켰다. PMMA는 전자 노출에 의해 화학적 변화가 일어나고, 이것은 현상액과 반응해 positive 감광막과 같은 특성을 보인다. 그림 6은 실험과정의 모식도이다.

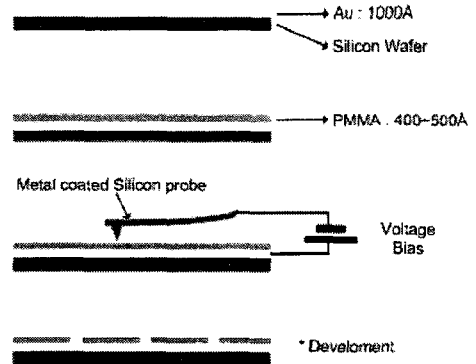


그림 6. SPL의 과정

3. 결과 및 고찰

전자의 노출 후 AFM을 이용해 확인한 결과 그림 7에서 나타난 바와 같이 선폭 300nm, 약 1.5nm의 높이, 5 μm 의 간격을 갖는 삼각형의 선이 (raised feature) 확인되었다. 삼각형의 선이 전자 노출에 의해 PMMA가 반응하여 솟아 오른 것으로 이것은 팁과 시료의 사이에 인가된 바이어스 전압이 강력한 전장을 이루고, 이에 따른 정전기압이 PMMA를 탐침쪽으로 끌어올린 것으로 보인다.[6] 그림 8은 그림 7의 patterning 형상을 3차원 영상으로 선명하게 관찰한 것이다.

이 후 현상액을 이용해 현상공정을 진행하였을 때는 raised feature는 사라지고 선폭이 파이는 depressed feature를 보였다. 이는 전자에 노출에 의해 화학적으로 변화를 일으킨 PMMA가 현상액과 반응해 positive patterning의 특성을 띠는 것으로 보인다.

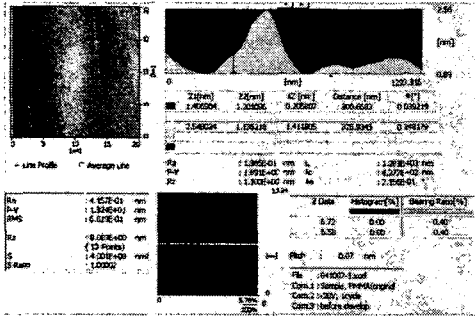


그림 7. 전자 노출 후 AFM 영상

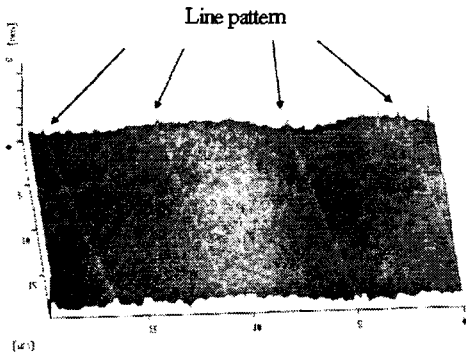


그림 8. 전자 노출 후 AFM 3차원 영상

4. 결론 및 향후과제

SPM의 contact 모드를 이용해 대면적 SPL 시스템을 제작하였고, 이것을 이용하여 patterning 공정을 수행하였다. 또한 나노 probe를 설계하고 이를 제조하여 SPM과 SPL 시스템에 적용하였다.

PMMA 박막에 0.25 μ m/s의 속도로 탐침과 시료 사이에 -20V의 바이어스 전압을 인가해 길이 900 μ m 폭 5 μ m의 주기로 전자빔을 노출시킨 결과 submicrometer 선폭의 pattern이 관찰되었으며, 현재의 SPL 시스템의 문제점인 scanning 영역 크기 제한을 극복할 수 있을 것으로 보인다.

향후 과제로 접근할 수 있는 분야는 SPL 시스템의 공정 저속화의 문제점이다. 이 문제는 현재의

feedback 프로그램이 더 세밀히 적용된다면 극복할 수 있을 것이라 사료된다. 또한 전자의 노출량과 이동속도를 조절하여 원하는 선폭 제어도 할 수 있을 것으로 판단된다. 더 나아가 센서를 장착한 캔틸레버를 개발하고, 이것을 제어한다면 SPM 및 SPL 시스템의 크기는 현재의 그것보다 확연히 축소되고, 병렬 probe의 구현도 가능할 것으로 보인다. 이러한 시스템은 저가의 대면적 표면 분석 장비 및 nano patterning 공정 기술에 응용될 수 있으리라 예상된다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발 사업인 나노메카트로닉스기술개발사업단의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] Levinson, H. J. & Arnold, W. H. in Handbook of Microlithography, Micro Machining and Microfabrication Vol.1 (ed. Rai-Choudhury, P.) 11-139 (SPIE, New York, 1997)
- [2] McCord, M. A. & Rocks, M. J. in Handbook of Microlithography, Micro Machining and Microfabrication Vol. 1 (ed. Rai-Choudhury, P.) 139-252 (SPIE, New York, 1997)
- [3] Sang Soo Choi, 'A Novel X-ray Mask for Mix-and-Match of Optical and X-ray Lithography Applied in SOI Device Fabrication', 1998, Volume 32, Number 5, pp. 727-730
- [4] R. Wiesendanger, "Scanning Probe Microscopy and Spectroscopy", Cambridge University Press, 1994
- [5] Soh Hyongsok T., "Advancements In Scanning Probe Lithography and Nanostructure", UMI, 1999
- [6] Sergei F. Lyuksyutov, Richard A. Vaia "Electrostatic nanolithography in polymers using atomic force microscopy", Nature Material, 22 June 2003