

미세 기계가공법과 M을 이용한 폭 1 μ m 이하의 실리콘 선 가공 Micro-mechanical machining and M coating for su -micro line patterning on silicon

*오태석¹, #김대은²

*T. S. Oh¹, #D. E. Kim(kimde@yonsei.ac.kr)²

¹ 연세대학교 기계공학과, ² 연세대학교 기계공학부

Key words : AFM, silicon wafer, line patterning, micro-mechanical machining, SAM coating, scratch

1. 서론

현재 반도체 제조공정에서 널리 사용되는 포토 리소그래피 공정은, 소품종 대량 생산에 용이한 공정이기 때문에 초정밀 가공 산업에 널리 이용되고 있다. 하지만 고가의 장비와 시설 운영비 등 자본 투자에 대한 부담이 크다는 단점이 있다. 또한 가공하려는 형상의 패턴이 바뀌는 경우, 복잡한 단계를 거쳐 새로운 마스크를 제작해야하는 불편함이 있다.

이와 같은 초정밀 기계가공에서 기술의 경제성과 생산의 유연성 등을 보완, 극복하기 위하여 새로운 방법이 다양하게 개발되고 있으며, 기계가공법이 그 중 하나이다. 이는, 가공 팁과 액츄에이터(actuator)를 이용하여 기계적으로 레지스트 레이어(resist layer)를 제거한 후, 화학적 식각을 통해 형상을 얻는 방법이다.

기존 미세 가공법의 경우, 실리콘 산화막(SiO₂)만을 레지스트 레이어로 사용하여 수 마이크로 범위의 선폭을 갖는 패턴을 실리콘 웨이퍼 상에 가공 하였다. 본 실험에서는 기계가공법을 이용하여 마이크로 이하 단위의 선 가공을 할 수 있도록 자기조립 단분자막(SAM, self-assembled monolayer)을 레지스트 레이어로 적용하였다. 자기조립 단분자막이란 표면에 자발적으로 정렬된 유기 분자막을 뜻한다. 본 실험에서는 OTS(octadecyltrichlorosilane) SAM을 이용하였다. OTS-SAM은 산화막 표면 위에 2~3nm 두께로 형성이 되며 표면에너지를 30 μ J/m² 정도로 낮추는 특성뿐만 아니라, 우수한 기계적, 화학적 안정성을 지니고 있기 때문에 MEMS 시스템의 점착 방지 코팅 재료로도 사용되고 있다.

따라서 본 연구에서는, 폭 1 마이크로미터 이하의 실리콘 선 가공을 할 수 있도록, 실리콘 산화막만 레지스트 층으로 이용했던 기존의 미세 가공법을 보완하여 OTS-SAM과 산화막을 동시에 레지스트 레이어로 적용을 하고, 그에 따른 효과를 알아 보았다.

2. 실험 장비 및 방법

실리콘 웨이퍼 표면의 기계적 가공을 위하여, 3개의 축에 각각 linear actuator를 장착하였다. 각 actuator는 60nm 수준의 설계 해상도와 1 mm/s의 이송 속도를 가지며, XYZ 각 축에 장착되어 스테이지와 함께 공구부를 움직인다. 위치 제어는 컴퓨터로 하였으며, 하중 조절과 같이 실시간으로 할 수 있도록 시편을 올려놓는 저울 또한 컴퓨터와 연결하였다. 스테이지의 끝부분엔 마찰력 측정이 가능하도록 하중 센서를 장착하였다. 센서 끝에 부착한 가공 팁은 STM 텅스텐 팁 식각법으로 제작하였다. 시편은 건식 산화법으로 약 10nm의 산화층을 생성시킨, p-type 실리콘 웨이퍼 조각시편을 이용하였다. 시편을 클리닝한 후, 표면에 OTS-SAM을 코팅하였다.

OTS-SAM을 코팅한 시편에 가공 팁을 이용하여 10~30mg의 일정 하중으로 선 가공을 하였다. 기계적 가공 이후, 1% 불산(BHF)과 1M KOH 용액을 사용하여 습식 식각을 하였다. 가공된 각각의 시편을 원자 현미경(AFM)을 이용하여 가공된 표면의 형상을 파악하였다.

3. 실험 결과

패턴의 폭과 깊이가 정리된 Table 1에서 확인할 수 있듯이, 하중이 증가할수록 패턴의 폭과 깊이가 증가하였다. 패턴의 깊이는, OTS-SAM의 두께(약 2~3nm) 이상으로 가공이 되어 가공 부분의 OTS-SAM은 모두 파괴가 되었음을 알 수 있었다. Fig. 1은 20mg의 하중으로 스크래치를 하였을 때, 표면의 AFM 이미지이다. Fig. 1에서 볼 수 있듯이, OTS-SAM의 윤활효과와 작은 하중으로 인해 가공으로 인한 Burr와 입자 등은 나타나지 않았다. 하지만 이는 10nm 두께의 실리콘 산화막이 파괴되지 않은 상태이므로 2차적인 화학적 가공이 필요한 상태이다.

BHF와 KOH 용액이 각각 산화막, 실리콘을 식각하여 Fig. 2와 같은 형상을 볼 수 있었다. 패턴의 폭과 깊이는 Table 2에서 확인할 수 있다. 먼저 BHF로 에칭 하여 실리콘 산화막을 부분 에칭 하였으며, 이 때 OTS-SAM이 마스크 역할을 하여 1차적인 화학적 가공이 된 것으로 사료된다. 때문에 2차 화학적 가공인 KOH 에칭 시, 실리콘 산화막이 마스크 역할을 하여 실리콘의 부분 식각된 Fig. 2와 같은 형상이 나타날 수 있었다. 실리콘 산화막이 마스크 역할을 하였기 때문에 비교적 선명한 패턴을 확인할 수 있었다. 화학적 가공 전과 비교해보았을 때, 패턴의 폭과 깊이가 거의 균일하게 증가하였는데, 이는 등방성 식각이 되었기 때문임을 알 수 있다.

Table 1 Pattern data of OTS surface after mechanical patterning

oad mg	idth nm	Depth nm
10	250 ~ 350	4 ~ 6
20	350 ~ 450	5 ~ 7
30	500 ~ 600	7 ~ 9

Table 2 Pattern data of OTS surface after chemical etching

oad mg	idth nm	Depth nm
10	350 ~ 450	100 ~ 150
20	400 ~ 500	150 ~ 200
30	500 ~ 600	200 ~ 250

Fig. 3은 기계적 가공을 하면서 측정된 시편의 마찰계수를 보여준다. 시편은 마찰계수가 약 0.2 안팎이었으며, 코팅된 OTS-SAM의 윤활 효과는 그리 크지 않았을 것으로 사료된다. 그 이유는 OTS-SAM이 견딜 수 있는 임계 압력 이상의 큰 압력이 가공 팁 끝단에 가해짐으로써 OTS-SAM이 파괴되었기 때문이다. Table 1 에서도 확인할 수 있듯이, 기계적 가공만으로도 팁이 약 2~3nm의 두께인 OTS-SAM을 충분히 뚫고 들어갔음을 알 수 있다.

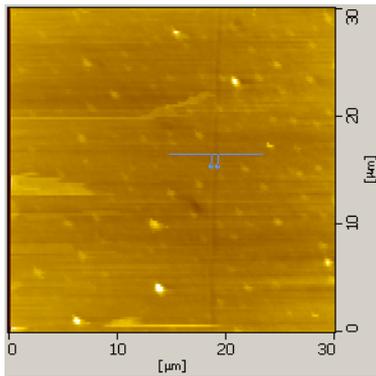


Fig. 1 AFM image of OTS surface after mechanical patterning

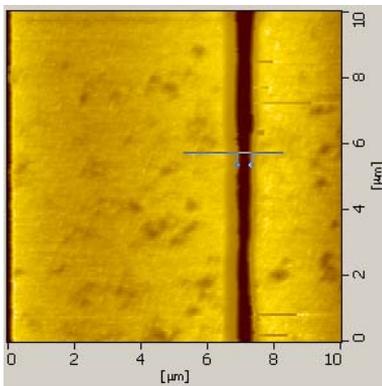


Fig.2 AFM image of OTS surface after chemical etching

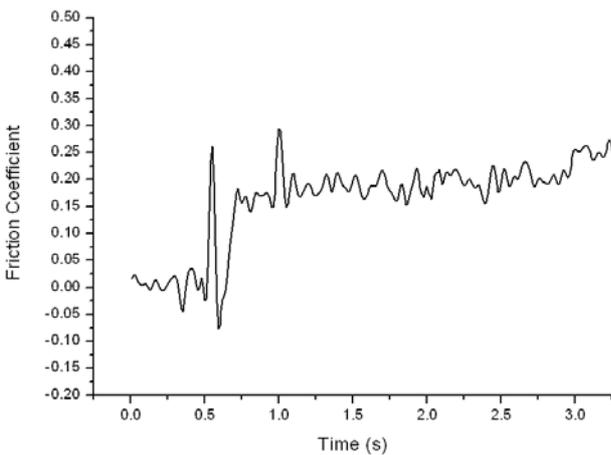


Fig. 3 Friction coefficient during patterning on the 20mg normal force

4. 결론

10mg~30mg의 하중으로 기계적 가공을 할 때, OTS-SAM이 선택적으로 제거되었다. 때문에 OTS-SAM이 레지스트 층으로 작용하여 기계적 가공과 화학적 에칭 후 균일한 패턴 형상을 얻을 수 있었다. OTS-SAM의 기계적 가공 시에 약 250~600 nm의 폭과 4~9 nm의 깊이를 가지는 패턴이 나왔으며, 에칭

후 패턴의 폭과 깊이는 각각 350~600 nm, 100~250 nm로 증가하였다. 실리콘 산화막과 함께 OTS-SAM을 레지스트 층으로 이용함으로써 두 차례의 화학적 식각을 거쳐, 선 폭 1 마이크로미터 이하의 패턴을 제작할 수 있었다. 따라서 하중 조절과 SAM 코팅 등의 방법을 이용하면, 미세 기계가공법으로 폭 1 마이크로미터 이하의 실리콘 선 가공이 가능함을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Jin, W. H., "Machining Technique of Resist Coating for Flexible Fabrication of Micro-Pattern", pp. 1-86, 1998.
2. Yang, J. C., "Investigation of tribological characteristics of SAM for nano-lubrication development", pp. 32-60, 2002.
3. Lee, S., "Fabrication of nanostructures using scanning probe microscope lithography", Material Science and Engineering C, Vol. 24, pp. 3-9, 2004.
4. Stephan, K., Ryan, R. and Christopher, B., "Scanning Probe Lithography Using Self-Assembled Monolayers", American Chemical Society, Vol. 103, pp. 4367-4418, 2003.
5. Lucier, A. S., "Preparation and Characterization of Tungsten Tips Suitable for Molecular Electronics Studies", Anne-Sophie Lucier, pp. 5-32, 2004.
6. Lee, J. M., Jin, W. H. and Kim, D. E., "Application of single asperity abrasion process for surface micro-machining", Wear, Vol. 251, pp. 1133-1143, 2001.
7. Kim, D. E. and Yi, J. J., "Micro-Patterning of Silicon by Frictional Interaction and Chemical Reaction", Journals of Tribology, Vol. 120, pp. 353-357, 1998
8. In-Ha Sung, Dae-Eun Kim, "Nano-scale patterning by mechano-chemical scanning probe lithography", Applied Surface Science 239, pp. 209-221, 2005