

나노스크래치와 KOH 에칭 기술을 병용한 Si (100) 패턴제작

윤성원*·이정우*·강충길**

Pattern Fabrication on Si (100) Surface by Using Both Nanoscratch and KOH Etching Technique

S.W. Youn, J.W. Lee, and C.G. Kang

Abstract

This study describes a new maskless nano-fabrication technique of Si (100) using the combination of nanometer-scale mechanical forming by nano-indenter XP and KOH wet etching. First, the surface of a Si (100) specimen was machined by using the nano-machining system, which utilizes the mechanism of the nano-indenter XP. Next, the specimen was etched by KOH solution. After the etching process, the convex structure or deeper hole is made because of masking or promotion effect of the affected layer generated by nano-machining. On the basis of this interesting fact, some sample structures were fabricated.

Key Words : Nanoscratch(나노스크래치), Masking Effect (식각 마스크 효과), KOH etching (KOH 식각), Nano-Indenter[®]XP (나노인덴터 XP)

1. 서 론

크로마토그래피칩, 랩온어칩, 저장매체 등과 같은 IT/NT/BT 분야에서 유로, 패턴, 소자의 크기가 극미세 수준으로 작아짐에 따라 현재까지 꾸준히 발전해 온 반도체 공정기술 즉, 광리소그래피(Optical lithography) 기술을 대체할 수 있는 새로운 가공기술의 필요성이 나날이 증대되고 있다⁽¹⁻²⁾. 광리소그래피 공정은 빛의 회절한계에 의해 100nm 이하 구조물 제작에는 상당한 어려움이 따르기 때문에 주사탐침현미경 (SPM) 즉, 주사터널링현미경 (STM), 원자력간 현미경 (AFM), 마찰력 현미경

(FFM) 등을 이용한 극미세 가공 기술들이 다양하게 연구되고 있다⁽³⁻⁹⁾. 나노가공에서 초미세 프로브 기반기술이 유용하게 사용되는 이유는 10nm이하 정밀도의 구조체의 제작이 가능하고, 공정이 간단하며 초기장비설치 및 장비가동에 드는 비용이 매우 저렴하기 때문이다⁽⁴⁾. 반면에, 대량생산공정에는 부적합하고 소재의 선택에 있어 제한이 있다는 단점이 있다. 그러나 초미세 프로브기술을 이용하여 나노임프린트 리소그래피 (Nanoimprint lithography)와 같은 대량생산공정용 스템프를 제작한다면 위와 같은 문제점을 개선시킬 수 있다. 초미세 프로브를 이용한 나노가공기술 중 일반적인 방법으로는 AFM 프로브와 수소막이 형성된 Si (100) 사이에 전압

* 부산대 대학원 정밀기계공학과

** 부산대 기계공학부, 정밀정형 및 금형가공연구소 (ERC/NSDM)

을 가하여 표면을 국부적으로 산화시키는 방법⁽⁵⁻⁶⁾과 탐침과 샘플사이에 작용하는 힘을 조절하여 단순히 기계적인 방법을 이용하여 시료의 표면을 패터닝하는 방식이 있다⁽⁷⁻⁹⁾.

나노인텐터를 사용할 경우 AFM에 비하여 가공가능 영역(수 cm^2)이 넓으므로 나노임프린트 공정의 당면 문제 중 하나인 스탬프의 대면적화를 이룰 수 있다. 다이아몬드 팁을 사용하기 때문에 Si 나 Si_3N_4 프로브에 비해 정밀도가 저하하나, 다양한 소재를 가공할 수 있다. 또한, 소재의 나노변형거동을 정량적으로 이해하는 데 중요한 탄성계수, 경도, 마찰계수, 마찰력뿐만 아니라 탄성회복양도 측정할 수 있다.

이러한 관점에서 본 연구에서는 나노인텐터의 스크래치 옵션을 이용하여 자연산화막 (native oxide)이 제거되지 않은 Si (100) 표면 위에 패턴을 형성시켰다. 또한, KOH 식각실험을 통하여 기계적 가공에 의해 형성된 가공변질층의 식각 마스크 효과를 조사하였다.

2. 실험의 절차

이 실험에 사용된 패터닝 장비는 미국 MTS (Material Testing System)사에서 제작된 Nano Indenter^B XP이며, 다이아몬드 Berkovich 인텐터가 사용되었다. 인텐터 팁 끝의 반경은 약 40 nm 정도로 알려져 있다.

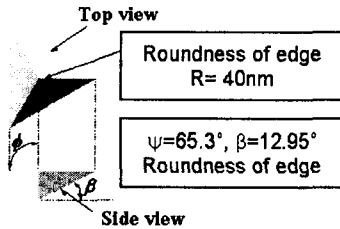


Fig. 1 Geometry of Berkovich indenter

Fig. 2는 실험의 개략도를 나타내고 있으며 패턴 제작과 표면의 관찰은 정상적인 대기 환경하에서 이루어졌다. 패턴제작공정에 사용된 시편은 0.5mm 두께의 Si (100) 웨이퍼이며, (1×1)cm 크기로 절단되었다. 절단된 Si (100) 샘플은 초음파세척기를 이용하여 아세톤과 DI 액에서 세척되었다. 실리콘 표면을 HF에 식각시키면 산화막이 제거됨과 동시에 표면은 수소원자로 passivation 된다^(4, 6). 이러한 H-passivation 층의 영향을 배제하기 위하여, HF 용액에 의한 자연산화막 제거는 하지 않았

다. 세척 후 AFM으로 측정된 시편표면의 표면조도는 약 $R_a=10\text{nm}$ 였다. 시편의 표면 가공에는 Nano Indenter^B XP의 스크래치 옵션을 이용하였으며, 수직하중 및 패턴의 피치를 변화시켜 수행하였다. 표면가공 후 시편은 KOH (10, 20wt.%)용액에 식각시켜 기계적 가공에 의해 형성된 가공변질층의 실리콘의 식각 마스크로서의 효과를 조사하였다. 시편 표면의 관찰에는 PSIA에서 제작된 AFM장비인 XE-100이 사용되었다.

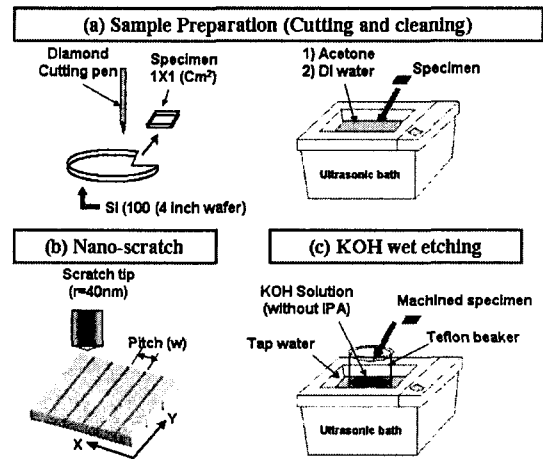


Fig. 2 Schematic diagram of the experimental procedure

3. 결과 및 토론

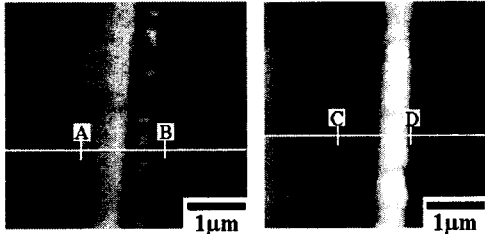
3.1 기계적 가공변질층의 식각 마스크 효과

Fig. 3과 Fig. 4는 기계적 가공변질층이 식각마스크로써 역할을 충분히 할 수 있는지를 조사하기 위하여 KOH용액을 사용하여 상온에서 식각을 행한 실험결과를 보여주는 AFM 분석결과이다. 일반적으로 KOH 용액은 산화물에 의해서 보호된 지역은 용액에 의해서 식각되지 않는 반면에 보호막이 없는 실리콘 표면을 선택적으로 식각시킨다.

수직하중 5mN, 스크래치 속도 10 $\mu\text{m}/\text{sec}$ 의 조건에서 가공한 시편(Fig. 3 (a))이 10 wt.% KOH 용액에서 20분간 식각되었다. Fig. 3 (b)는 식각 후 시편표면을 나타내고 있는데, 폭이 800nm이고 높이가 12nm인 구조체를 얻을 수 있었다.

Fig. 4는 KOH 식각 전후의 시편 표면의 형상을 정량적으로 나타낸 곡선이다. Fig. 4 (a)와 Fig. 4 (b)의 구조를 비교해 보면 역상구조가 되어 있음을 알 수 있다. 이러한 결과가 나타난 이유는 기계적으로 변형된 가공층에 산화막이 형성되었기 때문으로 사료된다.

Morita는 FFM을 이용한 기계적 나노가공시 캔틸레버에 다이아몬드 입자를 프로브대신 부착시켜 패터닝을 하였으며, 스크래치에 의해 Si(100) 표면에 형성된 가공면 질층이 식각 마스크의 역할을 한다고 보고하였다. 즉, 형성된 산화물이 KOH 용액에 대한 식각 마스크로써 작용하므로 주위의 실리콘이 식각되면서 상대적으로 가공된 표면의 높이가 증가한 것이다.



(a) Before KOH etching (b) After KOH etching

Fig. 3 Nanostructures on Si (100) surface fabricated by using the nanoscratch (normal load 5mN, scratch speed 10µm/sec) and 10 wt.% KOH wet etching for 20 min

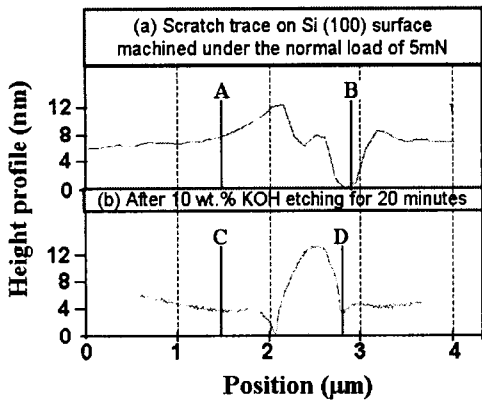
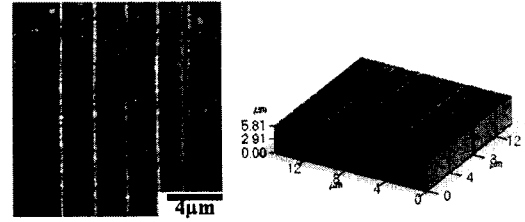


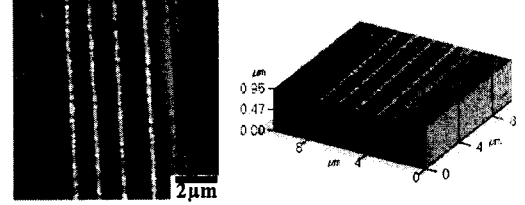
Fig. 4 Section profile change of grooves machined under the normal load of 5mN before and after 10 wt.% KOH wet etching

3.2 패턴 제작

Fig. 5는 패턴 피치 변화에 따른 시편을 보여주고 있다. Fig. 5 (a)는 패턴 피치가 2µm인 경우인데 그림으로부터 선폭 및 패턴 피치가 균일함을 알 수 있다. Fig. 5 (b)는 패턴 피치가 1µm인 경우이다. 기계적 가공시 발생된 Pile-up의 영향에 의해 선폭 및 패턴 피치가 일정치 않음을 관찰할 수 있었다. 이는 목적하는 패턴 피치에 따라 수직하중의 크기를 고려해야 함을 나타내고 있다.

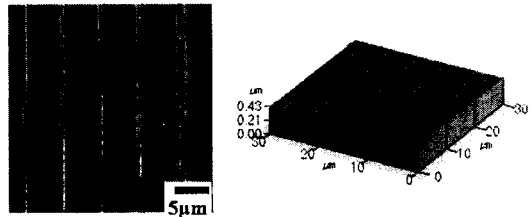


(a) Line patterns with pitch of 2µm

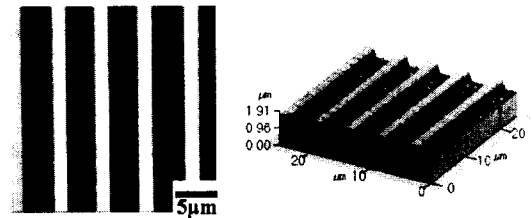


(b) Line patterns with pitch of 1µm

Fig. 5 2D and 3D AFM images of Si (100) after nanoscratch with nominal load of 5mN



(a) Before KOH etching



(b) After KOH etching

Fig. 6 Nanostructures on Si (100) surface fabricated by using the nanoscratch (normal load 5mN, scratch speed 10µm/sec) and 20 wt.% KOH wet etching for 20 min

Fig. 6은 나노스크래치와 KOH용액에 의한 식각을 이용하여 제작한 패턴을 나타내고 있다.

Fig. 6 (a)는 수직하중 5mN, 스크래치 속도 10µm/sec의 조건으로 가공된 Si (100) 표면을 보여주고 있다.

Fig. 6 (b)은 KOH 용액의 농도 변화가 미치는 영향을 고찰하기 위하여 Fig. 3의 경우와 20 wt.% KOH 용액에서 20분간 식각된 시편을 나타내고 있다. 폭이 2µm이고

높이가 600nm인 구조체로 이루어진 패턴을 얻을 수가 있었다.

Fig. 7은 KOH 식각 전후의 시편 표면을 정량적으로 나타내고 있다.

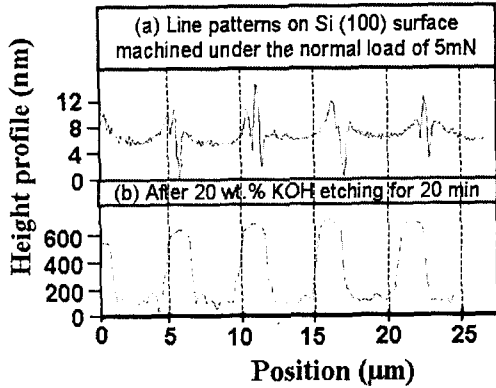


Fig. 7 Section profile change of grooves machined under the normal load of 5mN before and after 20 wt.% KOH wet etching

스크래치 실험시의 수직하중을 감소시키면 구조체의 크기를 더 감소시킬 수 있으나, 나노가공시 발생하는 팁 끝과 시편표면과의 탄성접촉현상으로 인해 한계가 있을 것을 판단된다. 나노 스케일에서 보면 Berkovich 인텐더의 팁끝은 약 40nm의 반경을 가진 구로 되어 있기 때문이다. 이러한 팁끝과 표면의 탄성접촉현상에 의한 크기효과(Indentation size effect)는 나노인덴테이션 시험에서 압입깊이에 따른 경도 값의 변화로 조사될 수 있다⁽¹⁰⁾.

향후에는 KOH 식각조건 (KOH 농도, 식각시간)이 식각후 구조체의 형상에 미치는 영향을 더 자세하게 조사하고자 한다.

4. 결론

Nano Indenter XP의 스크래치 옵션과 KOH 식각기 술을 병용하여 극미세 패턴을 제작하였다. 수직하중과 가공속도조건이 각각 5mN 와 10 μ m/sec인 조건으로 가공된 Si (100) 표면을 10 wt.% KOH 용액에서 20분간 식각시킨 결과 폭이 800nm이고 높이가 12nm인 구조체를 얻을 수 있었다. 또한, 동일한 조건에서 가공된 Si (100) 표면을 20 wt.% KOH 용액에서 20분간 식각시킨 결과 폭이 2 μ m이고 높이가 600nm인 구조체로 이루어진 패턴을 얻을 수가 있었다. 위의 결과로부터 형성된 구조체의 폭 및 높이가 수직하중 및 KOH의 농도에 민감하게 의존함을 관찰할 수 있었고, 기계적 가공에 의해 실리콘

표면위에 형성된 가공변질층 즉, 산화물층이 식각 마스크로서 충분한 역할을 할 수 있음을 알 수 있었다.

참고 문헌

- (1) 정준호, 신영재, 이용숙, 황경현, 2003, "나노임프린트 리소그래피 기술동향," 한국정밀공학회지, 제 20권 제3호, pp.15~22.
- (2) Association S.I., 2001, "International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS)," <http://public.itrs.net/Files/2001ITRS/Home.htm>
- (3) 장원석, 신보성, 황경현, 2003, "Nanoprobe 응용기술 동향," 한국정밀공학회지, 제 20권 제3호, pp.5~14.
- (4) 허철, 박성주, 1998, "수소원자로 passivation 된 Si (100) 표면위에 AFM을 이용한 나노크기의 패턴형성에 관한 연구," 한국물리학회지, 제 11권, 3호, pp. 370~374.
- (5) Campell, P.M. and Snow, E.S., 1999, "Proximal probe-based fabrication of Nanometer-scale devices," Proc. SPIE-Intl. Soc. Optical Engr., 3975, pp. 943-948.
- (6) Lee, H.T., Oh, J.S., Park, S.J., Park, K.H., Ha, J.S., Yoo, H.Y., Koo J.Y., 1997, "Nanometer-scale lithography on H-passivated Si (100) by atomic force microscope in air," J. Vac. Sci. Technol. A 15(3), pp. 1451~1454
- (7) Morita, N., 2001, "Micro-fabrication technique of single crystal silicon by using combination of nano-scale machining and alkaline etching," J. of the JSGE, Vol. 45, No. 6, pp. 275-278.
- (8) Chen, L., Morita, N., and Ashida, K., "Maskless pattern formation which used alkaline etching and nano-scale cutting by using friction force microscope," J. of JSPE 2000, Vol. 66, No. 11, 23~27.
- (9) Ashida, K., Morita, N., and Toshida, Y., "Study on nano-machining process using mechanism of a friction microscope," JSME International Journal, Series C 2001, Vol. 44, No. 1, pp. 51~60.
- (10) Lu, C.J. and Bogy, D.B., 1995, "The effect of tip radius on nano-indentation hardness tests," Int. J. Solids Structures, Vol. 32, No. 12, pp. 1759~1770.