

실리콘의 화학기계적 미세가공 특성

정상철*, 박준민*, 이현우*, 정해도**

Characterization of the Chemical Mechanical Micro Machining for Single Crystal Silicon

Sang-cheol Jeong*, Jun-Min Park*, Hyun-Woo Lee*, Hae-Do Jeong**

ABSTRACT

The mechanism of micro machining of reacted layer on silicon surface were proposed. The depth of reacted layer and the change of mechanical property were measured and analyzed. Depth of hydrated layer which is created on the surface of silicon by potassium hydrate was analyzed with SEM and XPS. The decrease of the micro vickers hardness of silicon surface was shown with the increase of the concentration of potassium hydrate and the change of the dynamic friction coefficient by chemical reacted layer was measured due to the readiness of machining. The experiment of groove machining was done with 3-axis machine with constant load. With chemical mechanical micro machining the surface crack and burrs generated by both brittle and ductile micro machining were diminished. And the surface profile and groove depth was shown in accordance with the machining speed and reaction time with SEM and AFM.

Key Words : C3M(Chemical Mechanical Micro Machining), grooving, PCD(Poly Crystal Diamond), XPS(X-ray Photoelectron Spectroscopy), AFM(Atomic Force Microscope)

1. 서 론

밀리 구조물은 수 마이크로미터의 정밀도를 가지면서, 수 밀리미터의 형상으로 구성되어 있는 시스템이라 할 수 있다. 반도체에서 흔히 사용되는 디바이스의 제조과정은 복잡해서 사진 현상 과정을 통해서 마스크를 제작한 후 습식과 건식 에칭에 의해서 원하는 패턴을 형성하게 된다.

밀리 구조물을 실리콘을 사용하여 생산기술에

적용하려면 마이크로단위의 정밀도와, 높은 가공성이 필요하다. 하지만 소재의 가공 단위가 작아질수록 재료 제거에 필요한 전단응력은 급격하게 증가하고, 그에 따라 일반적인 기계가공으로는 마이크로 머시닝의 효율과 정밀도는 극복하기가 어렵다.¹⁾ 특히 실리콘과 같은 경취성 재료는 전단응력이 높은 편이다.

이런 마이크로 머시닝에서의 정밀도와 효율성을 개선하기 위해서 여러 연구가 진행되고 있다.

『*』 2001년 8월 2일 접수

* 부산대학교 정밀기계공학과

** 부산대학교 기계공학부

K. Tagashira 등은 희석된 올레산을 순철 위에 도포한 후 직교 절삭(Orthogonal Cutting)하여 칩형성의 메커니즘에 관해 연구하였다. 가공경화된 순철에 대해서 0.2 mass%의 올레산은 가공력을 감소시키고, 가공된 면의 표면 조도를 향상시키는 것이 측정되었다. 적외 분광 측정(Infrared Spectrum Measuring)으로 절삭된 칩과 같이 전위(Dislocation)가 많이 일어난 부분은 올레산 분자와 Fe의 표면에 화학흡착이 일어난 것을 확인할 수 있었다²⁾.

M. Yoshiro 등은 실리콘의 스크래칭 실험을 하였는데, 주사전자현미경(SEM) 속에서 높은 정수압을 가하여, 높은 정수압이 프랙처(fracture)를 줄이고 매끄러운 표면을 만드는 데 중요한 역할을 한다고 발표하였다³⁾.

F. Katsuki 등은 수산화칼륨 용액 내에서 다양한 pH에 대한 실리콘 텃과 SiO₂ 막사이의 마모거동을 AFM으로 조사하였으며, 실리콘 텃의 운동에 의해서 Si-O-Si의 브릿지(bridge)를 포함한 실리카가 수산화칼륨에 의해 용해되면서 결합의 파괴(bond rupture)가 일어나는 것에 대해 연구하였다⁴⁾.

그러나 실리콘 위에 홀이나 라인을 형성하면서 가공효율이나 정밀도 면에서 화학기계적으로 미세가공하는 것에 대해서는 아직 연구가 진행되어 있지 않은 실정이다.

실리콘의 식각시에는 질산(HNO₃)과 불산(HF)을 물이나 초산(CH₃COOH)에 섞은 식각용액이 일반적으로 사용된다. 질산은 실리콘과 작용하여 먼저 SiO₂를 만들고 SiO₂는 HF와작용하여 물과 H₂SiF₆을 생성하는데 이것이 물에 잘 녹으면서 식각 현상이 일어난다. 하지만 본 실험에서는 화학적인 반응층을 형성하는 것이 목적이므로 반응된 부분이 물에 용해되면, 반응층을 가공할 수가 없기 때문에, 질산, 불산과 같은 화학 용액은 사용하지 않고, pH 12의 수산화 칼륨(Potassium Hydrate) 용액이 사용되었다.

2. 연구 방향과 기본적인 원칙

2.1 연구방향

논문에서는 화학기계적 미세가공기술(Chemical Mechanical Micro Machining ; C3M)의 개념을 제시하고 그 가공 메커니즘을 밝히는 데 중점을 두었다. 또 XPS와 SEM으로 반응층의 두께를 측정하였

으며, 반응층에 의한 기계적인 물성의 변화를 도시하였다. 그리고 화학기계적 미세가공기술을 사용하여 1차원적인 형상의 상태를 분석하였다.

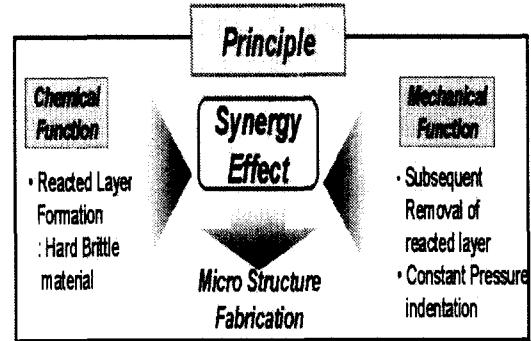


Fig. 1 Principle of Chemical Mechanical Micro Machining

2.2 기본 개념

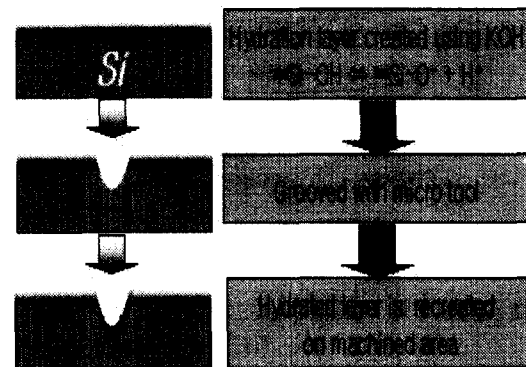


Fig. 2 Machining concept of C3M on the surface of silicon

화학기계적 미세가공기술의 원칙은 다음과 같다. 첫 번째, 화학액을 도포하여 소재의 표면에 등방적(isotropic) 반응을 일으킨다. 두 번째, 그 반응이 소재와는 다른 기계적 성질을 가지는 화학 반응층을 만든다. 마지막으로 반응층과 반응층을 포함한 소재에 기계적인 방법으로 원하는 형상의 이방적(anisotropic) 가공을 한다.

3. C3M의 기초적인 실험

화학기계적 미세가공기술의 예로서 실리콘을 선택하였다. 실리콘은 경취성이며 비금속 재료로서 반도체 공정이나 미세 전기기계 시스템(Micro Electro Mechanical System ; MEMS)에서 널리 사용되고 있다. 하지만 이러한 기술에서 표면의 패터닝 공정은 높은 정밀도를 얻을 수 있지만 공정의 수가 많고, 고 비용이 들고 시스템에 대한 의존성이 강하다는 단점도 아울러 가지고 있다. 여기서 화학기계적 미세가공기술은 기존의 리소그래피 기술에서 필요한 마스크와 포토레지스트가 없이 공정에 대한 유연성(flexibility)과 제어성의 이점을 가지고 있다.

3.1 실험장치

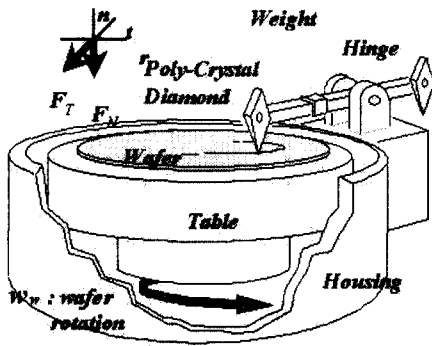


Fig. 3 Basic experimental setup for C3M

3.2 단순 1회 가공

3.2.1 실험조건

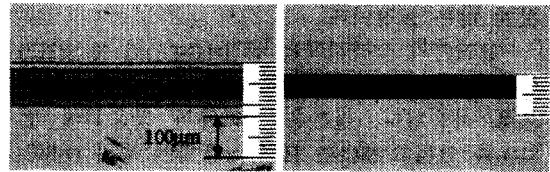
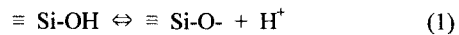
Table 1 Experimental condition of C3M for silicon

Chemical Condition	
Chemical	KOH(pH12, 0.1 w%) reagent grade
Buffered chemical	Acetic acid
Machining Condition	
Tool	Poly Crystal Diamond(PCD) nose radius : 100 μ m
Load	1.5N
Speed	30 mm/s

3.2.2 결과 및 고찰

실험에서는 화학적인 반응층을 형성하기 위해서 pH 12의 수산화 칼륨(Potassium Hydrate) 용액이 사용되었다. 아세트산(Acetic Acid)은 pH를 낮추고 OH기의 농도변화를 줄이기 위한 완충제(Buffered Chemical)로 사용되었다. 기계적인 제거를 위해서 공구는 100 μ m의 노즈 반경(nose radius)을 가진 다결정 다이아몬드(PCD ; Poly Crystal Diamond)가 사용되었다. 실리콘의 표면에는 1.5N의 직교방향의 힘이 가해졌다. pH12의 수산화칼륨에서는 Si-O(hydrate silica form)의 결합이 실리콘의 표면에 형성되고 반응층인 Si(OH)₂가 만들어진다.⁴⁾ 그 표면은 다결정 다이아몬드 공구에 의해 파괴되면서 가공이 일어난다. 1.5N의 하중에서는 공구는 상층에 있는 Si(OH)₂ 뿐만 아니라, 반응하지 않은 실리콘까지 가공한다.

다시 말하면, 톨이 Si의 표면을 가공할 때에는 표면의 Siloxane 결합(= Si-OH)이 수산화기(Hydroxyl)와 기계적인 힘에 의해서 파괴되는 동시에 수화된 실리카 표면을 형성하는 것이다.



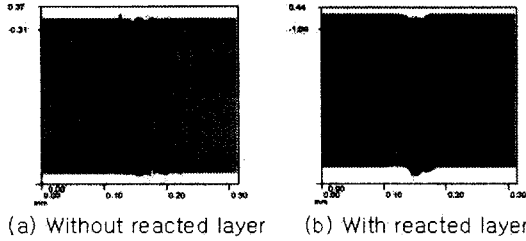
(a)Without reacted layer (b)With reacted layer

Fig. 4 Pictures by optical microscope of grooved silicon wafer for 1 cycle

그림 4의 광학 현미경 사진은 실리콘 위에 수산화칼륨으로 반응층을 만든 후에 가공한 라인의 선폭이 60 μ m으로 표면에 아무런 화학적 처리를 하지 않은 선폭인 110 μ m 보다 줄어들었음을 알 수 있다.

또, 같은 부분을 광간섭 변위 측정기(ACCURA)를 사용하여 측정한 결과, 그림 5에서 보는 바와 같이 화학기계적 미세가공을 하게 되면 라인의 깊이가 1.480 μ m으로 화학적 처리를 안 한 라인의 깊이가 0.714 μ m보다 두 배 이상 큰 것을 알 수 있다. 또 가공된 면의 표면도 화학기계적 미세가공을 한 쪽이 표면의 형상이 비교적 일정하고 선폭이 좁음을

알 수 있다. 하지만 가공된 실리콘의 표면에 파단 면이 발생하여 깨끗한 형상을 얻을 수 없었다.



(a) Without reacted layer (b) With reacted layer

Fig. 5 Pictures by optical interferometer of machined surface of silicon for 1 pass

3.3 중첩 연속가공

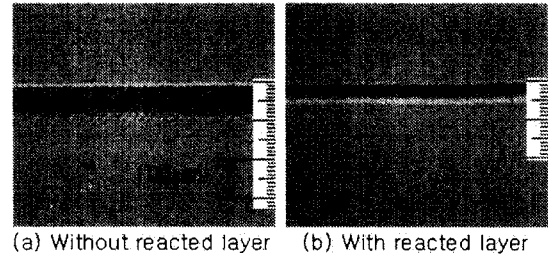
3.3.1 실험조건

Table 2 Experimental condition of C3M for silicon for continuous machining

Chemical Condition	
Chemical	KOH(pH12, 0.1 w%) reagent grade
Buffered chemical	Acetic acid
dipping time	10 min
Machining Condition	
Tool	Poly Crystal Diamond(PCD) nose radius : 100 μ m
Load	400 mN
Pass	1, 5, 10, 20 times

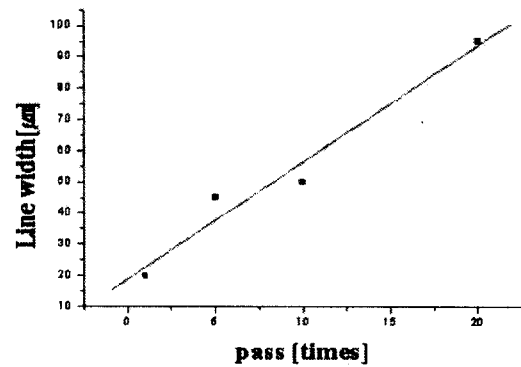
비교적 좁은 폭으로 깊은 라인의 가공을 하기 위해서 같은 부분을 여러 번 가공하면서, 선폭의 변화를 관찰하였다. 화학액의 농도, pH, 완충제, 그리고 공구는 같은 조건을 적용하였지만 좁은 선폭을 얻기 위해서 400mN의 낮은 하중으로 가공하였다. 다결정 다이아몬드 공구로 같은 위치에서 1번,

5번, 10번, 20번 가공하였다.

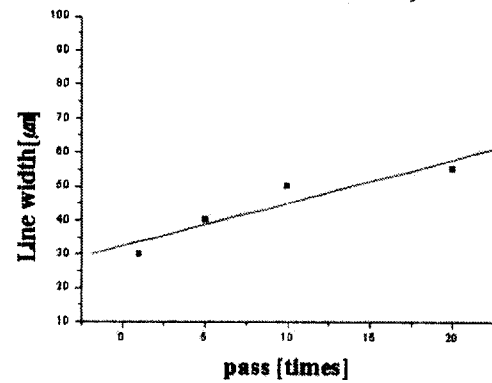


(a) Without reacted layer (b) With reacted layer

Fig. 6 Line width difference for multi-pass machining using optical microscope



(a) Without reacted layer



(b) With reacted layer

Fig. 7 Line width with respect to the increase of passed times

그림6에서는 화학기계적 미세가공에 의해서 반

응층을 형성시키고 나서 20번 가공을 한 것의 선폭이 50 μm 인데 비해서 반응층 없이 가공한 것은 선폭이 100 μm 임을 보여준다. 반응층을 형성시키지 않고 가공한 실리콘에서 채터 마크가 많이 나타나지만, 반응층을 형성시키게 되면 채터 마크도 두드러지게 작아짐을 알 수 있다.

그림 7의 그래프에서는 가공 경로가 많아질수록 선폭이 늘어남을 알 수 있다. 하지만 반응층을 형성한 후 여러 번의 가공을 한 경우 선폭의 증가율이 반응층이 없이 형성한 선폭에 비하여 작음을 알 수 있다. 결론적으로 더 비교적 좁은 폭을 지닌 라인의 가공이 가능하다.

4. 반응표면의 화학기계적 특성 평가

4.1 반응층의 두께 측정

4.1.1 주사전자현미경에 의한 반응층의 두께 측정

CVD나 PVD로 형성된 일반적인 박막과는 달리 수산화칼륨에 의해서 형성된 반응층은 박막 두께 측정장치 엘립소미터(ellipsometer)에 의해서 박막의 두께를 측정할 수 없었다. 실리콘 위에 형성된 반응층의 굴절률을 얻을 수 없었기 때문이다. 그래서 주사전자 현미경(SEM ; Scanning Electron Microscopy)을 사용하였다. 반응층의 단면을 보기 위한 측정시편의 준비는 아래와 같다. pH12, 0.1wt%의 수산화칼륨 용액에 실리콘을 5분과 10분 동안 반응시키고 에폭시를 반응층 위에 도포한다. 표면에 발생할 수 있는 기포를 제거하기 위해서 가압을 한 후, 진공 건조로(vacuum dry oven)에서 50 $^{\circ}\text{C}$ 의 온도로 2시간 동안 소결시킨다. 이후 측정할 면을 경면으로 만들기 위해서 #400, #1000, #2000, #4000 SiC 입자로 래핑을 한 후 소프트 패드로 폴리싱하였다.

그림8은 Noran Instrument사의 주사전자 현미경으로 실리콘의 표면에 형성된 반응층의 두께를 보여준다. 반응층의 두께는 5분 반응했을 때 100nm, 10분 반응했을 때 300nm이다. 측정된 반응층은 하얗게 표시된 실리콘으로부터 비교적 검게 표시된 에폭시까지 단계적으로 표시되어 있으며 이는 수산화칼륨 용액이 실리콘에 반응층을 형성해도 실리콘

위에 일정한 두께의 균일한 막을 형성하는 것이 아니라 시간에 따라서 실리콘의 표면에서부터 아래층으로 서서히 형성되는 것으로 고찰된다.

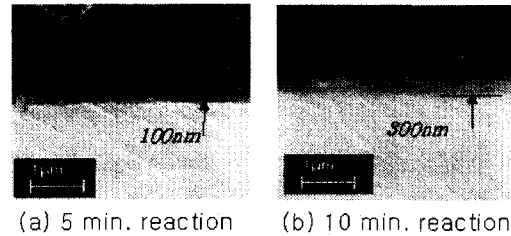


Fig. 8 Section view images of reacted layer by SEM

4.1.2 X선 광전자 분석법에 의한 수화층의 두께 측정

그림 9는 EscaLab Model 250의 X선 광전자 분석 기기(XPS : X-ray Photoelectron Spectroscopy)에 의한 결과이다. 표면을 20nm씩 스퍼터링 한 후 산소와 실리콘이 각각 발생시키는 광전자의 개수를 깊이 단위로 나타낸 것이다. 시편은 pH12, 0.1wt%의 KOH에 5분 동안 반응시킨 것이고, 80nm 이후에서 검출되는 산소의 변화량이 없는 것으로 보아 반응층의 두께는 80nm이다. 주사전자 현미경과는 같은 조건에서 20nm정도의 차이를 보인다.

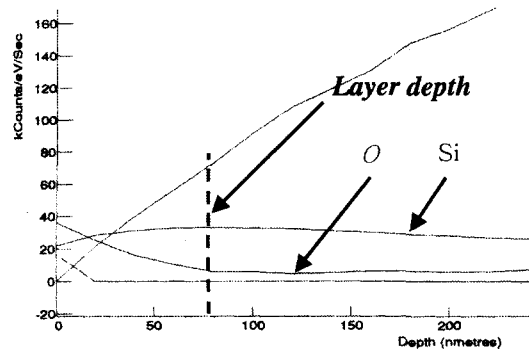


Fig. 9 XPS depth profile for each atomic existence in hydrated silicon wafer

4.2 반응층의 기계적 성질

4.2.1 반응층의 경도 변화

실리콘의 표면에 화학적인 반응을 일으키므로 그 화학적인 반응이 야기한 기계적인 성질의 변화가 있을 것이라 예상되었다. 일반적인 기계의 경도 변화를 측정하는 것과는 달리, 표면에서 미세한 두께로 일어난 경도변화를 측정하기 위해서 Bueller-Maszawa 사의 마이크로 비커스 경도기인 Micromet 2100 Series Micro Hardness Tester를 사용하였다. 측정 하중은 25gf(0.245N), 수산화칼륨과의 반응시간은 10분으로 하였고, 측정할 시편의 농도는 0.1, 5, 10, 20, 50 wt% 그리고 화학액을 사용하지 않은 건조 상태와 계면에 물만 사용한 상태, 모두 7가지 조건에 대하여 실험하였다. 실험은 한 조건 당 5번의 측정에 최대값과 최소값을 제외한 값의 평균을 결과로 사용하였다.

그림 10에서 보는 바와 같이, 수산화칼륨의 농도가 증가할수록 실리콘 표면의 비커스 경도는 365.3에서 293.8로 72.5가 떨어졌다. 25gf(0.245N)의 경우 수산화칼륨의 농도차에 따라서 일어나는 실리콘의 표면경도의 변화가 상당히 큰 것임을 알 수 있었다. 하지만 단지 물에 침지(Immersion)시킨 것은 경도의 변화가 거의 없음을 알 수 있었다.

이 실험으로 25gf 이하의 힘을 사용하는 마이크로 머시닝에서는 실리콘 위에서 수산화칼륨에 의한 경도 변화의 효과를 볼 수 있었다.

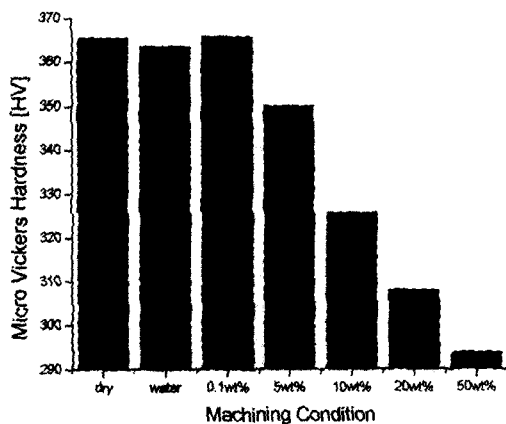


Fig 10 Harness change on the surface of silicon for KOH wt%

4.2.2 반응층의 동적 마찰계수 변화

마찰 실험에서는 표면에서 발행하는 계면의 운

동 특성을 평가하기 위해서 동마찰계수를 측정한다. Suh 등은 시편과 핀의 상대운동에 따라 표면에 생기는 플라우(plow)에 의해서 발생한 입자가 동마찰 계수의 변화에 많은 영향을 미치는 것이라고 주장했다⁹⁾. 또 K. Kompoulos 등은 표면에 발생한 돌기가 마찰계수의 증가에 큰 영향을 미친다고 발표¹⁰⁾.

Table 3 Experimental Condition for pin-on-disk with KOH of 50wt%

Chemical	KOH 50wt%
Reacting time	10 min
Normal load	30N
Type	Cylindrical, SCM435 (5mm dia. 10mm length)
Frequency	0.2 Hz
Stroke	10 mm
Distance slid	6 m

실험에서는 수산화칼륨이 실리콘의 표면에 미치는 표면현상을 살펴보기 위해서 동마찰계수를 측정하고 광학현미경으로 그 표면을 관찰하였다.

측정에서는 실제 실린더 타입의 크롬-몰리브덴강인 SCM-45을 사용하였으며, 선 접촉 길이는 10mm였다. 실린더에 걸리는 압력에 의해서 실리콘이 파손되는 것을 막기 위해서 실리콘은 플라스틱 재질의 판에 에폭시로 붙들하여 실험을 수행하였다.

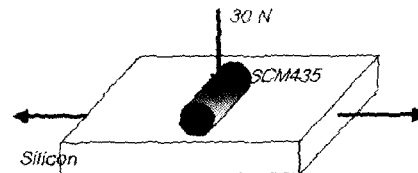


Fig. 11 Schematic view of pin-on-disk experiment

수산화칼륨 용액이 실리콘 위에 수화층을 만들게 되면 발생한 수화층은 경도가 낮기 때문에 플라우가 쉽게 생긴다. 플라우에 의해서 발생한 입자들은 실리콘 결정에서 떨어져 나온 것으로 수화층에 쉽게 스크래치를 만들게 한다. 표면에 발생한 스크래치가 돌기(asperity)를 형성하게 되어 더 높은 동

마찰계수를 얻게 만들었다. 즉 동마찰계수의 증가는 표면이 더 쉽게 변형이 되었음을 보여준다.

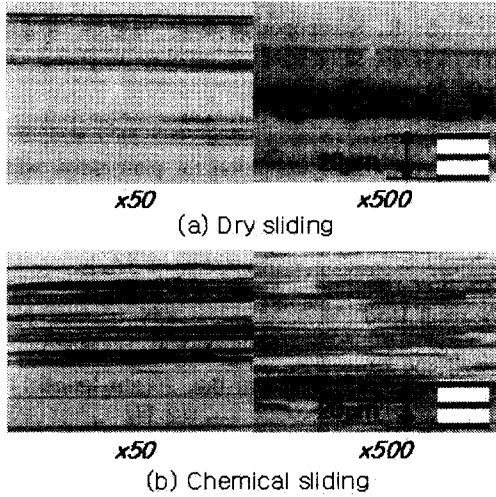


Fig 12 Pictures by optical microscope of silicon wafer after pin-on-disk experiment

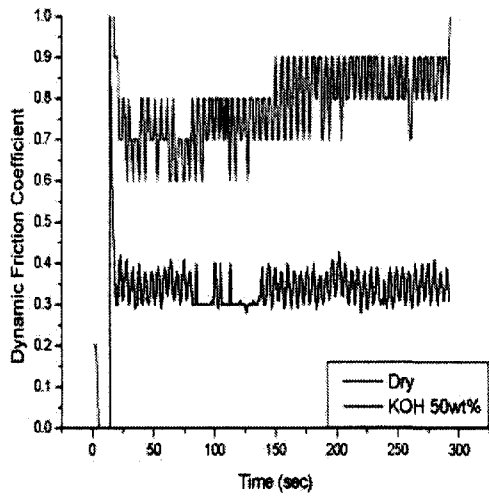


Fig. 13 Difference of dynamic friction coefficient by KOH on the surface of silicon

Fig. 12는 핀 온 디스크 실험후의 실리콘 표면이다. 건식 상태는 비교적 깨끗하고, 스크래치가 적은

데 비해서 수산화칼륨으로 반응층을 만들게 되면 쉽게 플라우가 생기고 그에 따라 발생한 입자로 인해서 더 많은 스크래치를 관측할 수 있었다. 아래 Fig. 13에서 볼 수 있는 바와 같이 많은 스크래치와 돌기의 발생으로 인한 동마찰계수의 증가를 확인할 수 있었다.

5. 패터닝을 위한 장치 구성 및 저부하실험

5.1 3축 실험장치의 구성

기초적인 실험에서 화학기계적 미세가공 기술의 가능성을 확인하였고, 실리콘 위에 발생하는 반응층의 두께와 기계적인 물성의 변화에 대해서 알아보았다. 이런 결과를 바탕으로 안정적이고 정밀한 가공으로 패터닝을 하기 위해서 그림 14과 같은 3축의 기계를 구성하였다. X, Y축은 1 μ m의 정밀도를 가지며, Z축은 정압으로 힘을 전달하기 위해서 리니어 가이드를 부착했다.

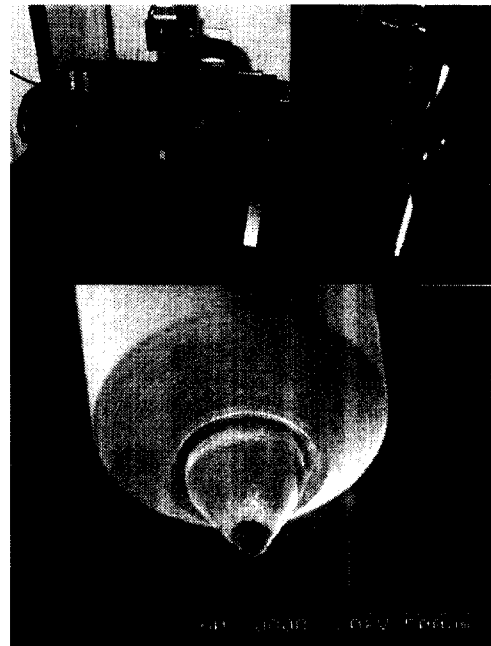


Fig. 14 The equipment with 3 axes and a tool of stylus

실제로 밀리 구조물의 가공에 필요한 제품의 정밀도는 수 마이크로미터이고, 그 크기는 수 밀리미

터가 되므로 가공기술의 정밀도는 수 마이크로미터를 요구하게 된다. 가공기술에 적용가능한 패터닝과 세장비가 큰 홈을 형성하기 위해서 46.8mN의 가공력을 실리콘에 가하고 실험을 수행하였다. 46.8mN은 마이크로 비커스 경도 실험에서 보았듯이, 25gf(0.245N)이하의 힘이므로, 경도 저하의 효과를 볼 수 있을 것이라고 예상했다.

Table 4 Machining condition of lower load machining

Chemical Condition	
Chemical	KOH(50 w%) reagent grade
dipping time	1, 10, 40 min
Machining Condition	
Tool	stylus tip
Load	46.8 mN
Machining speed	75, 150, 600 $\mu\text{m/s}$

5.2 저하중에서 화학기계적 미세가공의 효과

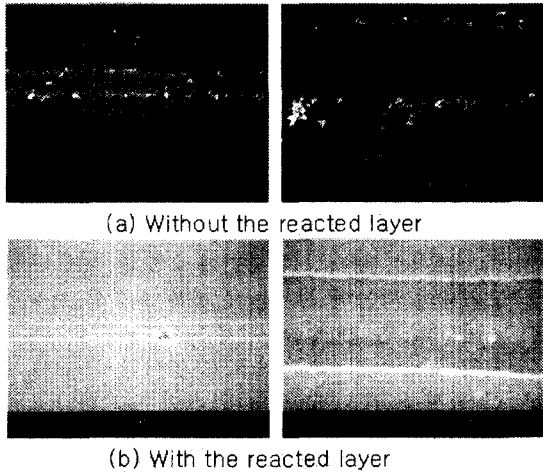


Fig. 15 Line profile at 48.6mN with stylus tip with and without the reacted layer

실험에서는 하중의 크기를 46.8mN으로 고정하고, 50wt%의 수산화나트륨 용액에 10분동안 반응시킨 후, 액중에서 스타일러스 팁을 공구로 하여 가공하였다. 공구의 속도는 75 $\mu\text{m/s}$ 로 하였다. 반응층이 없는 상태에서 가공을 할 경우에는 가공된 부분에서 발생하는 버와 크랙이 비교적 많이 발생되었으며, 6.4 μm 의 선포이었다. 하지만 반응층을 만들고 난 후에 가공을 할 경우, 크랙과 버는 거의 확인할 수 없었고, 선포는 4 μm 의 깨끗한 선을 얻을 수 있었다.

5.3 화학기계적 미세가공시 속도에 따른 선의 품위

실험에서는 하중과 수산화나트륨의 농도, 반응시간을 전 실험과 같이 유지하고, 가공 속도에 변화를 주었다. 속도에 관계없이, 버는 많이 줄어들었음을 알 수 있다. 하지만 그림 16에서 보는 바와 같이 75 $\mu\text{m/s}$ 이상의 속도에서는 아직도 많은 크랙이 보인다. 그리고 600 $\mu\text{m/s}$ 의 경우에는 가공 패스가 일정한 주기를 갖고 물결무늬를 보이고 있다. 역시 가장 작은 속도인 75 $\mu\text{m/s}$ 의 경우에서 가장 좋은 선 품위를 얻을 수 있었다.

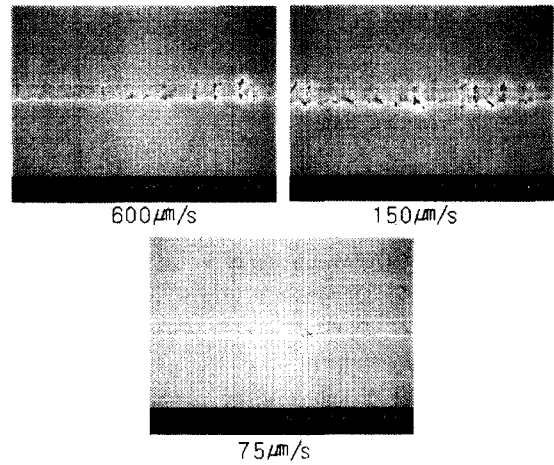


Fig. 16 Line profile with respect to the tool speed using C3M

5.4 화학기계적 미세가공시 반응시간에 따른 표면 상태

실험에서는 같은 조건에서 반응시간에 변화를 주었다. 그림17에서 보는 바와 같이, 30분 동안 반응시킨 경우에는 가공된 부분의 가장자리 상태가 깨끗하지 않으며 두 개의 층으로 갈라지고 있는 것을 볼 수 있다. 10분 반응 후 가공한 것은 건식 상태와 30분 반응 후 가공한 것보다는 가장자리의 상태가 좋지만 가장자리의 상태가 나빠지고 있음을 볼 수 있었다.

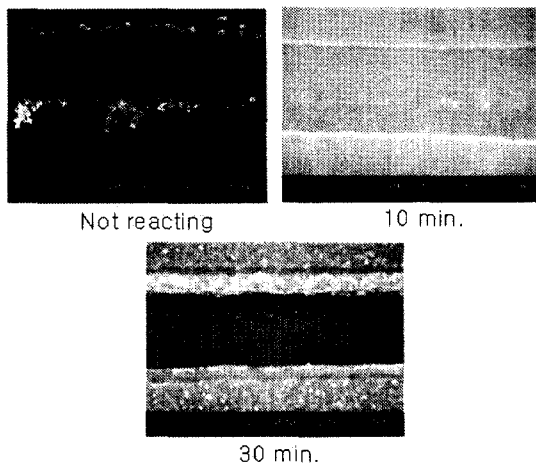


Fig. 17 Line profile difference with respect to the reacting time

반응시간에 따른 표면 상태를 살펴보기 위해서 원자력 현미경(AFM : Atomic Force Microscope)을 사용하였다. 수직력 46.8mN, 가공속도 75 μ m/s, 수산화칼륨의 농도 50wt%에서 1분, 10분, 40분 동안 반응시킨 후 가공하였다.

반응시간에 상관없이 버 및 크랙은 상당부분 줄어들어 있음을 알 수 있었지만, 1분의 경우에는 라인의 가장자리의 표면상태가 나쁜 것을 알 수 있었고, 선 분석(Line Analysis)을 통하여, 선의 깊이가 130nm 정도로 낮았다. 10분과 30분 반응의 경우에는 라인 가장자리의 표면 상태가 좋았지만, 10분의 경우가 선 깊이가 400nm 정도로, 200nm인 30분의

경우보다 더 깊음을 알 수가 있었다. 즉 시간의 경과에 따라 수산화칼륨에 의한 반응층의 깊이가 깊어지고, 낮은 경도를 가지고 있는 반응층이 쉽게 가공이 되었음을 보여준다.

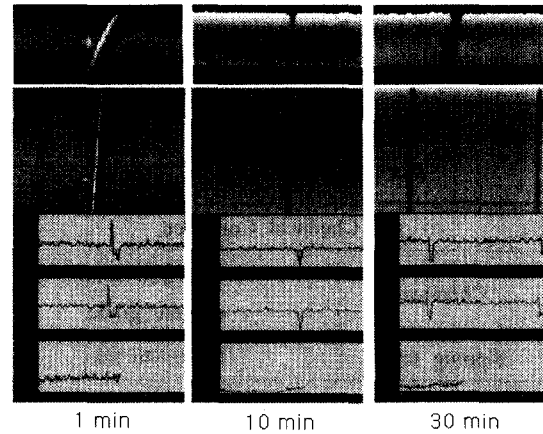


Fig. 18 AFM profile of machined silicon surface with respect to the reacting time

6. 결론 및 고찰

실리콘을 소재로 하여 화학적으로 반응된 표면에 미세 가공을 하는 가공메카니즘을 제안하였다. 반응층에 대한 화학기계적인 분석을 위하여 반응층의 두께와, 기계적인 물성의 변화를 평가하였다. 반응으로 생긴 수화층은 주사전자 현미경과 X선 광전자 분석법으로 그 두께를 측정하였으며, 수산화나트륨의 농도 증가에 따라 실리콘 표면의 경도가 떨어지는 것을 알 수 있었고, 동마찰계수를 측정하고 실리콘의 표면을 관측함으로써 반응표면이 쉽게 가공될 수 있음을 확인하였다.

마스크리스 패터닝의 측면에서 보면, 가공 능률을 고려해야 되는데 현재는 실행한 실험중 가장 느린 가공 속도인 75 μ m/s에서 좋은 가공형상을 얻을 수 있었다. 따라서 공구 속도를 높이면서도, 더 좋은 선 품질을 얻을 수 있는 조건이 필요하다고 생각된다. 예를 들면 가공하는 온도를 높이거나 화학액에 반응시키는 시간을 더 크게 하거나 가공하는 공구의 형상에 변화를 주는 방법이 있을 것이다.

본 연구에서는 3축의 시스템을 구성하여 정압 방식으로 패터닝의 기본인 라인에 대한 실험을 수행

하였다. 화학기계적 미세가공을 사용하면 경취성 재료에서 문제가 되는 치핑과 크랙을 줄일 수 있었으며, 가공속도와 반응시간에 따른 표면의 상태변화를 볼 수 있었다. 또 원자력 현미경을 사용하여, 반응시간에 따른 선의 깊이의 차이도 볼 수 있었다.

후기

본 연구는 산업자원부가 지원하고 있는 차세대 신기술 개발 사업 중, 한국 생산 기술연구원이 주관하고 있는 Milli-Structure 생산 기술 개발 사업의 세부과제로서 수행중이며, 관계자 여러분들께 감사의 말씀을 드립니다.

참고문헌

1. Norio Taniguchi, Nanotechnology. Fundamentals of nanotechnology, table 1.1.2 Distribution of defects in materials: failure due to movable dislocations in ductile materials and fracture due to micro cracks in brittle materials, p.16, 1996.
2. Kohsuke Tagashira, Japan Society of Precision Engineering, The Chip Formation Mechanism of Orthogonal Cutting for Pure Iron Coated with Dilute Oleic Acid, Vol. 66, No. 12, pp. 1917-1921, 2000.
3. M. Yoshiro, International Journal of Mechanical Sciences, Some experiment on the scratching of silicon : In situ scratching inside an SEM and scratching under high external hydrostatic pressures, Vol. 43, pp. 335-347, 2001.
4. Futoshi Katsuki, Journal of the Electrochemical Society, AFM studies on the Difference in Wear Behavior Between Si and SiO₂ in KOH Solution. 147(6) pp. 2328-2331, 2000.
5. N.P. Suh et al, Journal of tribology, The significance of oxide layers in boundary lubrication, Vol. 108, pp. 502-513, 1986.
6. K.Komvopoulos et al, Journal of tribology, Plowing friction in dry and lubricated metal sliding, Vol. 108, pp. 301-313, 1986.