

Cu Oxide와 Silicon Tip 사이의 나노트라이볼리지 작용

김태곤, 김인권, 박진구
한양대학교 재료화학공학부

Nanotribological Behavior of Cu Oxide and Silicon Tip

Tae-Gon Kim, In-Kwon Kim and Jin-Goo Park
Division of Materials and Chemical Engineering, Hanyang University

Abstract : This paper report nanotribological behavior between Si tip and Cu wafer surfaces which was treated various concentration of H₂O₂. This experimental approach has proven atomic level insight into Cu CMP.

It has been used to study interfacial friction and adhesion force between Si tip and Cu wafer surfaces in air by atomic force microscopy (AFM). Adhesion force of Cu surfaces which was pre-cleaned in diluted HF solution was lager than Cu oxide surfaces. Adhesion force of Cu oxide surface was saturated around 7 nN. Slope of normal force vs. lateral signal was increased as increasing concentration of H₂O₂ and it was saturated around 24. Friction force of Cu oxide was lager than Cu.

Key Words : AFM, LFM. Nanotribology, Friction, CMP

1. 서 론

금속 CMP (Chemical Mechanical Planarization)의 연마기는 연마제의 화학적 작용에 의해 금속산화막을 형성 후 연마 입자의 기계적인 마찰에 의해 평탄화 과정으로 설명할 수 있다 [1]. 이때 연마 입자와 금속산화막 사이에 발생하는 마찰 정도에 따라 금속산화막의 제거율에 영향을 미친다. 따라서 수십 나노의 연마입자와 산화막 사이에 발생하는 마찰 작용에 대한 근본적인 관찰이 필요하다. 본 연구에서는 연마제에 첨가제로 사용되고 있는 과수 (Hydrogen peroxide, H₂O₂)의 농도의 변화에 따른 마찰 정도를 AFM (Atomic force microscopy)를 이용하여 살펴보았다.

2. 실험

이 실험에서는 Cu가 1.2 μm의 두께로 도금된 Cu wafer를 2.0 × 2.0 cm²로 잘라 AFM 측정시 표면 거칠기에 따른 마찰의 영향을 최소화하기 위해 fictional polisher (G&P Tech., POLI-500, Korea)를 이용하여 도금된 Cu wafer의 표면을 연마처리하였다. 연마된 시편은 연마 중에 형성된 박막을 제거하기 위해 DHF에 10초간 처리하였다. 준비된 시편은 각각 과수 농도 1, 10, 30 vol%에 넣어 1 분간 처리 후 IPA (Isopropyl Alcohol, 99.8%)로 린스를 하였으며 N₂ (99.9%)로 건조하였다.

산화막의 기계적 특성을 분석 하기위해 AFM (PSIA, XE-100, Korea)을 이용하였으며 표면의 topography와 friction force를 공기 중에서 측정하였다. 또한 마찰은 표면의 점착력과 밀접한 관계를 가지고 있으므로 AFM의 force spectroscopy를 이용하여 산화막의 상대적인 pull-off force를 측정하였다. AFM 측정에는 Si 캔틸레버 (Mikromasch, NSC36 C, USA)를 이용하였다.

Friction force는 AFM에서 forward와 backward 스캔을 통해 캔틸레버의 torsion 정보를 AFM의 PSPD (position-sensitive photodetector)로 얻어 friction loop를 측정하였다 (그림 1.) 이때 수직력을 변화 시켜 이 때 변화되는 friction loop의 폭 (ΔU_{lat})을 측정하였으며 수직력에 따른 마찰력의 기울기의 변화를 측정하였다 [2, 3].

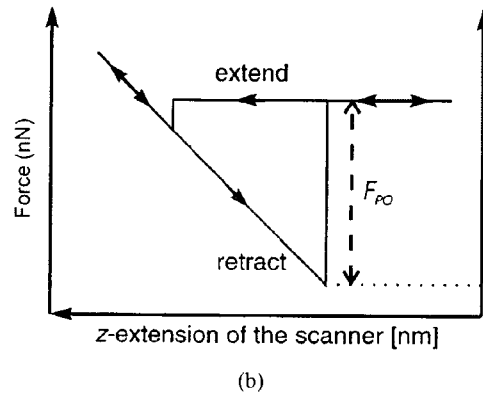
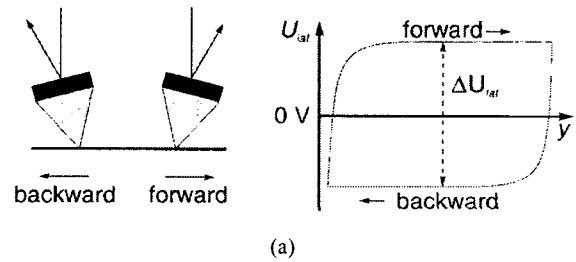


그림 1. AFM을 이용하여 (a) Forward와 backward scan으로 캔틸레버 torsion에 따른 friction loop 및 (b) force-distance curve의 pull-off force

3. 결과 및 고찰

Cu에 H₂O₂를 처리한 결과를 살펴보면 농도가 증가함에 따라 Cu oxide 박의 두께는 변화하지 않는 것을 알 수 있다. 하지만 R_{pv}, R_{rms}와 R_{ave}를 살펴보면 농도가 증가함에 따라 값이 줄어든다. 이는 Cu oxide 막이 균일하게 분포하고 있음을 의미한다. 즉 동일한 시간동안 처리를 한 결과 1 vol%의 경우 Cu oxide 막 형성이 조밀하지 못하게 형성되어 있고 10 vol% 이상에서는 조밀한 박막 형성을 보이고 있다.

표1. Cu에 H₂O₂를 1분 동안 처리한 Cu Oxide 표면의 topography 결과

Sample	Thickness (nm)	R _{pv} (nm)	R _{rms} (nm)	R _{ave} (nm)
Cu	-	14.47	2.32	1.94
Cu Oxide (H ₂ O ₂ 1 vol%)	22.79	116.76	11.48	8.73
Cu Oxide (H ₂ O ₂ 10 vol%)	23.34	32.17	5.09	4.06
Cu Oxide (H ₂ O ₂ 30 vol%)	22.79	38.76	5.66	4.39

그림 2의 결과는 H₂O₂ 농도에 따른 pull-off force 변화를 살펴보았다. 농도가 증가함에 따라 F_{PO} 값이 감소함을 보여주고 있다. 1 vol%에서는 Cu와 Cu oxide가 혼재되어 있어 F_{PO} 값이 Cu의 F_{PO} 값보다는 작으나 10 vol% 이상 농도 보다 큰 값을 보여 주고 있다.

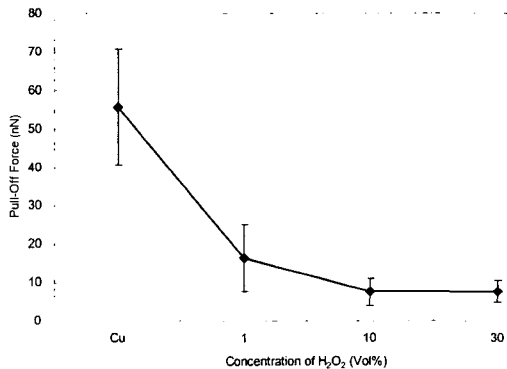


그림 2. H₂O₂ 농도 증가에 따른 Cu oxide와 Si tip과의 Pull-Off force 값

Si tip과 Cu oxide 막 사이의 friction force 값의 변화를 살펴보면 그림 3은 Si tip의 수직력이 증가함에 따라 friction force 값이 증가함을 보이고 있다. 또한 H₂O₂ 농도가 증가함에 따른 friction force의 증가율을 살펴보면 1 vol%에서는 Cu의 friction force 증가율보다 다소 증가하였다. 이는 Cu와 Cu oxide가 혼재해 있기 때문이다. 또한 10 vol% 이상에서는 24 mV/nN의 일정한 증가율을 보이고 있

는 것으로 보아 Cu oxide가 균일하게 성장되어 있음을 알 수 있다.

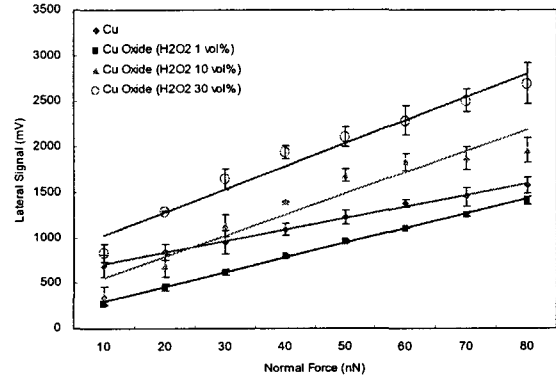


그림 3. Friction force of Cu wafer surfaces with Si tip.

4. 결론

본 연구에서는 Cu 표면에 H₂O₂ 처리 농도에 따라 형성된 Cu oxide의 pull-off force와 friction force 측정을 통해 Cu CMP에서 friction 거동을 nanotribology 관점에서 살펴 보았다. H₂O₂ 1 vol%에 1분 처리된 Cu 시편의 경우 10, 30 vol%와 달리 Cu oxide가 충분히 성장하지 않아 Cu와 혼재되어 있는 상태를 보이고 있다. H₂O₂ 농도가 증가함에 따라 Pull-off force 값이 감소하다 7 nN에서 saturation 된다. 그리고 friction force에서는 증가함에 따라 friction force의 증가율이 점점 증가하다 24 mV/nN에서 saturation 되었다. 따라서 Cu CMP에서 Cu oxide의 형성을 조절하기 위해서는 H₂O₂의 농도 결정이 중요하며 이를 평가하기 위한 방법으로 AFM을 이용한 friction force 측정 평가가 가능하다.

감사의 글

본 연구는 한국표준과학연구원의 연구비 지원에 의한 것입니다.

참고 문헌

- [1] M. R. Oliver, "Chemical-mechanical planarization of semiconductor materials", 2004
- [2] U. D. Schwarz, P. Koster, and R. Wiesendanger, "Quantitative analysis of lateral force microscopy experiments", Rev. Sci. Instrum. Vol. 67, No. 7, p. 2560, 1996
- [3] K. Feldman, M. Fritz, G. Hahner, A. Marti and N. D. Spencer, Surface force, surface chemistry and tribology", Tribology International, Vol. 31. Nos 1-3, p. 99, 1998