

## Cu CMP에서 스틱-슬립 마찰과 스크래치에 관한 연구

이현섭, 박범영, 정석훈, 정재우, 서헌덕, 정해도\*  
 부산대학교 정밀기계공학과, 부산대학교 기계공학부\*

### A Study on Stick-slip Friction and Scratch in Cu CMP

Hyunseop Lee, Boumyoung Park, Sukhoon Jeong, Jaewoo Jeong, Heondeok Seo, and Haedo Jeong\*  
 Department of Mechanical & Precision Engineering in PNU, School of Mechanical Engineering in PNU\*

**Abstract :** Stick-slip friction is one of the material removal mechanisms in tribology. This stick-slip friction occurs when the static friction force is larger than the dynamic friction force, and make the friction curve fluctuated. In the friction force monitoring system for chemical mechanical polishing(CMP), the friction force also vibrates just as stick-slip friction. It seems that the stick-slip friction causes scratches on the surface of moving parts. In this paper, A study on the scratches which occur during copper CMP was conducted in a view of stick-slip friction.

**Key Words :** chemical mechanical polishing, scratch, stick-slip friction, friction force, Cu CMP

#### 1. 서론

다층구조의 집적회로(integrated circuit)에서 수평배선과 수직배선의 금속 재료로써 알루미늄(Al)과 텅스텐(W)이 주로 사용되어 왔으나, 배선의 미세화로 인하여 electromigration과 RC지연 등의 문제가 대두되었다. 이를 해결하기 위하여 낮은 resistivity와 높은 electromigration resistance를 가지는 구리(Cu)를 이용한 damascene 공정이 제기되었고, 칩의 다층화와 고집적화에 따른 구리배선의 화학기계적 연마(CMP)가 중요하게 되었다[1]. 그러나 구리는 부식성이 강하고 경도가 약하기 때문에 CMP 중 scratch나 corrosion으로 인한 결함이 발생하기 쉽다. 따라서 낮은 가공압력에서 연마가 이루어지며, 그 결과는 슬러리의 화학적 조성에 매우 민감하다. 스크래치에 관한 연구는 주로 화학적인 영향에 의한 슬러리 입자의 분산성이나 agglomeration의 관점에서 많이 연구되어져왔다. 그러나 최근 모니터링 시스템을 이용한 마찰력의 분석이 가능하게 됨으로써, CMP에 관한 기계적, 혹은 트라이볼로지(tribology)적인 접근이 가능하게 되었다. 따라서 본 논문에서는 트라이볼로지에서의 스틱-슬립 마찰(stick-slip friction) 이론을 바탕으로 Cu CMP에서 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 함량에 따른 스틱-슬립 마찰 특성과 스크래치에 관해서 논의해 보고자 한다.

#### 2. 스틱-슬립 마찰

스틱-슬립 마찰이란 갑자기 비트는 동작(jerk)을 일으키는 두 개의 움직이는 표면에 의한 마찰력의 요동(fluctuation)현상[2]을 말한다. 스틱-슬립을 이해한다는 것은 스틱-슬립의 스파이크(spike)가 움직이는 운동부위의 파손과 마멸의 가장 큰 원인이고 진동 및 소음을 유발하기 때문에 트라이볼로지에서는 실제적으로 가장 중요하다[2]. 그림 1은 미끄럼 속도에 따라 스틱과 슬립을 반복하는 스틱-슬립 마찰을 도시한 것이다.

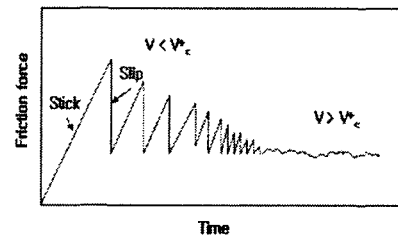


그림 1. 미끄럼 속도에 의존하는 스틱-슬립 마찰.

#### 3. 실험 및 장치

실험에는 G&P Technology(주)사의 POLI500(4~8인치 Polisher)을 사용했으며, 산성(pH 4~4.5)의 Copper 슬러리(solid content : 5wt%)의 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 함량을 조절하면서 공정압력 80g/cm<sup>2</sup>, 헤드와 테이블 속도 80rpm으로 실험을 실시하였다. 실리콘 웨이퍼 위에 Cu가 15000Å sputter된 4인치 웨이퍼를 사용하였다. 마찰력은 연마헤드부에 piezo-electric quartz sensor를 장착하여 센서로부터 수신된 신호는 전하 증폭기를 거쳐 A/D 변환기에서 디지털화된 데이터를 모니터링 프로그램을 통하여 출력하고 분석하였다. 그림 2는 마찰력 측정 장치에 관한 개략도이다.

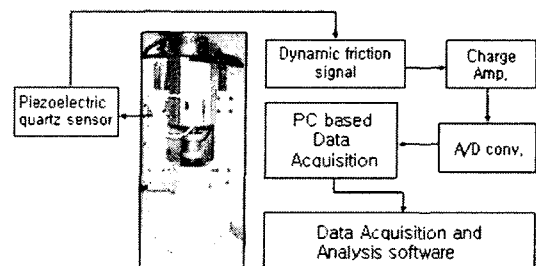


그림 2. 마찰력 측정 장치의 개략도.

#### 4. 결과 및 고찰

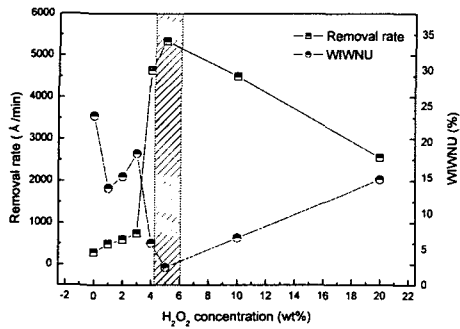


그림 3. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 함량에 따른 연마 제거율과 WIWNU.

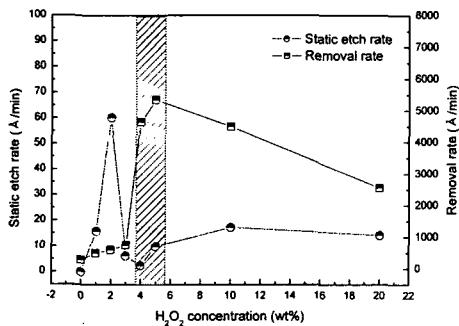


그림 4. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 함량에 따른 static etch rate와 연마 제거율.

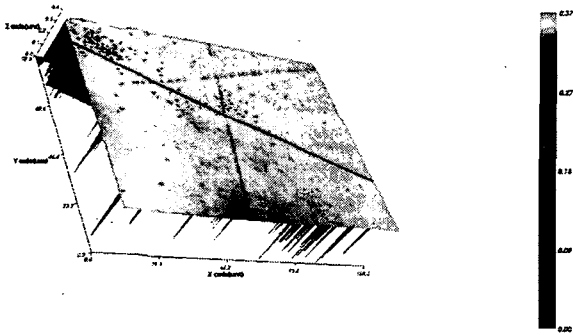


그림 5. 스크래치 측정의 예 (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 1wt%).

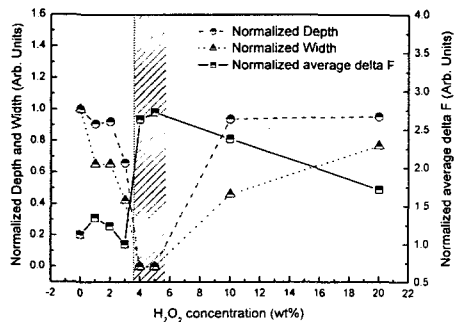


그림 6. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 함량에 따른 스크래치의 깊이, 폭과 스틱-슬립 마찰의 크기.

그림 3은 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>의 함량에 따른 연마결과를 도시한 것이다. 실험 결과에 따르면 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>함량이 낮은 영역에서는 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>함량이 증가할수록 높은 연마 제거율을 보였으며, 연마불균일도(within wafer non-uniformity)는 낮아짐을 알 수 있다. 반면, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>함량이 5wt% 이상인 경우, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>함량이 증가함에 따라 연마 제거율은 낮아지며 연마불균일도는 다시 상승하는 것을 볼 수 있다. 그림 4는 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>함량에 따른 static etch rate와 연마 제거율을 도시한 것이다. Static etch rate가 낮은 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>함량인 4~5wt%에서 높은 연마 제거율을 보임을 알 수 있다. 산화제의 함량에 따라 static etch rate의 천이영역이 나타나는 이유는 copper의 활성화 상태와 passivation layer의 생성과 관계가 있을 것이다.[3] 스크래치의 측정은 Nanosystem(주)사의 광학식 surface profiler인 NanoView를 이용하였다. 그림 5는 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 1wt%를 첨가한 슬러리로 연마한 Cu 웨이퍼 표면의 측정 결과를 보여주고 있다. 그림 6은 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>함량에 따른 스크래치의 깊이와 폭 그리고 스틱-슬립 마찰의 크기를 도시한 그래프이다. 스틱-슬립 마찰의 크기는 스틱-슬립에 의한 마찰력의 변화량(ΔF)의 평균으로 나타내었다. 그림 6에 따르면 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>의 함량에 따른 스크래치의 폭과 깊이는 유사한 경향을 보이고 있으며, 스틱-슬립 마찰의 크기가 가장 큰 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 함량 4~5wt%에서는 스크래치가 발생하지 않았지만 스틱-슬립 마찰의 크기가 작은 영역에서는 스크래치가 발생하였다. 또한, 스크래치의 깊이와 폭은 스틱-슬립 마찰의 크기와 상반되는 특성을 보였다. 이 역시 산화제의 함량에 따른 Cu 표면의 화학적인 특성에 따른 passivation layer의 생성[3]과 그에 따른 표면경도의 변화와 연관이 있으리라 생각된다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 트라이블로지에서 스틱-슬립 마찰(stick-slip friction) 이론을 바탕으로 Cu CMP에서 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 함량에 따른 스크래치 특성에 관하여 논하였다.

본 실험에 사용한 슬러리는 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>함량 4~5wt%에서 최적의 연마 제거율과 연마불균일도를 보였다. Cu CMP시 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 함량에 따른 스크래치의 깊이와 폭은 스틱-슬립 마찰의 크기와 상반되는 특성을 보였다. 이는 산화제의 함량에 따른 Cu표면의 passivation layer 생성과 이에 따른 표면경도와 관련 있어 보이며 앞으로 이에 관한 연구가 더욱 진행되어야 할 것으로 보인다.

#### 참고 문헌

- [1] Serdar Aksu, Ling Wang, and Fiona M. Doyle, J. Electrochem. Soc., Vol. 150, No. 11, G718-G723, 2003.
- [2] Rabinowich, "Friction and Wear of Materials", John Wiley, Chap. 4, 1965.
- [3] J.Hernandez, P.Wrschka, and G.S.Oehrlein, J. Electrochem. Soc., Vol. 148, No. 7, G389-G397, 2001