

기계-화학적 연마가공에서의 연마입자-웨이퍼 표면간 접촉강성 및 마찰력연구

Study of the Friction Force for Chemical-Mechanical Polishing Applications

*#성인하

*#In-Ha Sung (isung@hnu.kr)
한남대학교 기계공학과

Key words : Chemical Mechanical Polishing (CMP), Friction, Contact Stiffness, Atomic-scale Stick-Slip

1. 서론

기계-화학적 연마가공(chemical-mechanical polishing, CMP)에서 연마되는 웨이퍼표면은 패드 및 연마입자와 압력을 받으며 접촉된 상태에서 슬러리액으로 덮인 폴리싱패드에 상대적으로 움직이며 가공이 이루어진다. CMP 공정에서는 일반적으로 상용되는 SiO₂, Al₂O₃ 또는 CeO₂의 100nm 정도 크기의 연마입자가 웨이퍼상의 박막과 3-body contact 을 이루게 되는데, 웨이퍼의 가공율(material removal rate, MRR)은 Preston's law 에 의해서 기술되어진다.[1] 현재 CMP 공정기술은 기존의 단일막 또는 동종의 막질만을 연마하여 막질을 평탄화하는 기술로부터 더 진보된 서로 다른 이종 패턴형성에 대한 요구에 따라 이종 막질제거 레이아웃이 일반화되고 있다.

이러한 기계-화학적 연마가공에 대하여 지금까지 많은 연구가 이루어져 왔으며, 특히 가공특성 및 마찰특성에 대해서도 많은 연구결과가 도출되었으나, 주로 매크로 스케일에서 연마시스템 전체를 대상으로 한 연구가 이루어져서 마이크로/나노 스케일에서의 경도, 탄성계수와 같은 기계화학적 연마공정에서 사용되는 연마입자의 기계적 특성 및 연마입자-웨이퍼 표면간 마찰특성에 대해서는 아직 잘 규명되어 있지 않다. 더구나, 이러한 연구들이 학교나 연구소보다는 주로 산업체에서 당면한 현업에서의 문제해결을 위해 진행되고 있기 때문에 단기간동안의 problem-solving 차원에서 연구가 종료되고 특허위주로 결과가 도출되고 있으며, 기본적인 연구데이터의 공개나 여러 다양한 변수들의 영향에 대해 깊이있고 체계적인 연구결과와 데이터베이스화가 이루어지지 않고 있다. 본 연구의 목적은 연마입자-표면간 트라이볼로지적 특성이 연마시스템의 기계적 및 재료적인 특성과 어떤 연관성을 갖는가를 마이크로/나노 스케일에서 실험적으로 분석하는데 있다.

이러한 연구목적을 위하여, 원자현미경(atomic force microscope, AFM)를 이용한 실험을 계획하였다. 원자현미경을 이용한 실험을 통하여 구리, 알루미늄, 폴리실리콘, P-TEOS 등 다양한 반도체재료표면과 실리카, 세리아와 같은 연마입자간 하중/압력에 따른 마찰거동을 분석하고자 하였다. 실험에서 연마입자-재료표면간 접촉계면을 명확히 구현하기 위하여 수 마이크로미터 크기의 연마입자를 원자현미경 캔틸레버에 팁 대신 부착한 콜로이드 프로브(colloidal probe)를 제작하여 사용하였다.

2. 연구 및 실험 방법

본 연구를 위한 원자현미경은 Nanoscope III (Digital Instruments Co.) 가 사용되었다. 모든 실험은 대기압, 상온, 35~50% RH 하에서 행하였다.

AFM 캔틸레버 및 팁으로는, 코팅하지 않은 순수팁, 코팅한 팁, 팁 대신 구형의 콜로이드 입자를 부착하여 자체 제작한 colloidal probe 등 3 종류의 팁을 갖는 캔틸레버가 사용되었다. 각 캔틸레버는 서로 다른 치수를 가지므로 서로 다른 수직 및 횡방향 강성을 갖는다. 콜로이드 입자로는 Fig. 1 의 Silica 마이크로 입자(5 μm dia., Polysciences Inc.)를 사용하였다. 실험에 사용된 캔틸레버의 수직 및 횡방향

강성의 측정 및 마찰력의 교정(calibration)은 기존의 잘 알려진 방법들을 이용하여 수행되었다[2-6]. 즉, 대기중에서 수직 및 비틀림 공진주파수 측정에 의해 강성을 결정하는 Sader method 를 이용하였고, 마찰력 교정은 Ogletree 등에 의해 개발된 wedge 를 이용한 방법으로 이루어졌다.

또한, 실리카 입자와 접촉하는 재료 및 하중에 따른 접촉강성(contact stiffness)의 변화와 마찰력간의 관계를 살펴보기 위하여 AFM 과 신호발생기, lock-in 증폭기를 이용한 접촉강성 실험을 수행하였다.

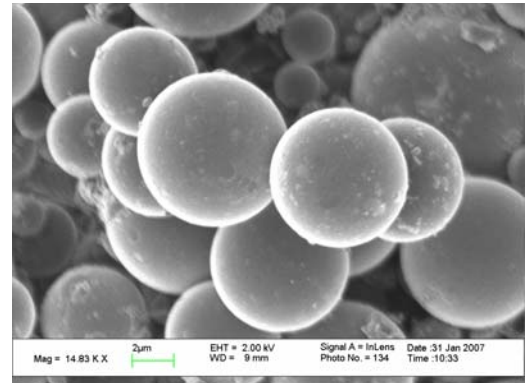


Fig. 1 Silica microspheres

3. 결과 및 토의

Table 1 은 실험에 사용된 콜로이드 프로브에 대해 측정을 통하여 얻은 수직 및 횡방향 강성 데이터를 보여주고 있다.

Table 1 Calibrated data of some colloidal probes

Probe no.	Normal freq. (KHz)-colloid	Torsional freq. (KHz)	K n-Clev. (N/m)	Ktors-Sader (Nm)	K lever-lateral (N/m)
1	21.68	454.5	0.096	1.24E-09	18.31
2	21.09	438.1	0.091	1.36E-09	16.29
3	21.58	403	0.095	1.48E-09	19.64
4	18.5	214.1	0.070	2.99E-09	37.09

콜로이드 프로브를 이용하여 프로브-구리(copper, Cu) 접촉표면에서의 하중에 따른 마찰력에 의한 에너지소산의 변화를 Fig.2 에 나타내었다. 이러한 결과는 Fig. 3 에 제시된 하중변화에 따른 접촉강성의 변화에서 알 수 있는 것과 같이 하중크기의 변화에도 프로브와 표면간의 접촉강성이 큰 변화없이 지속적으로 낮은 강성을 나타냄으로 인하여 마찰력에 큰 변화가 발생하지 않기 때문인 것을 확인할 수 있다. 그러나, 한편 접촉강성이 작은 경우 시스템의 전체적인 강성이 작아짐으로써 나노스케일에서의 스틱슬립(stick-slip) 마찰신호에 상대적으로 큰 변화가 나타남을 또한 확인할 수 있었다. 따라서, 접촉하는 재료 및 시스템의 확정된 강성에

따라 최적의 접촉강성을 유지할수 있는 압력범위를 찾아내는 것이 연마효율 및 연마표면 품위향상에 중요한 요소가 될 것이다.

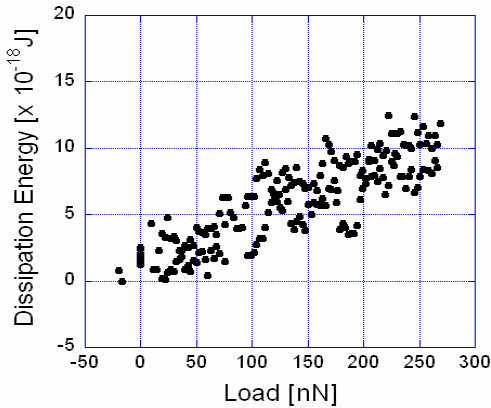


Fig. 2 Relationship between frictional dissipation energy and applied load (colloidal probe-Cu contact)

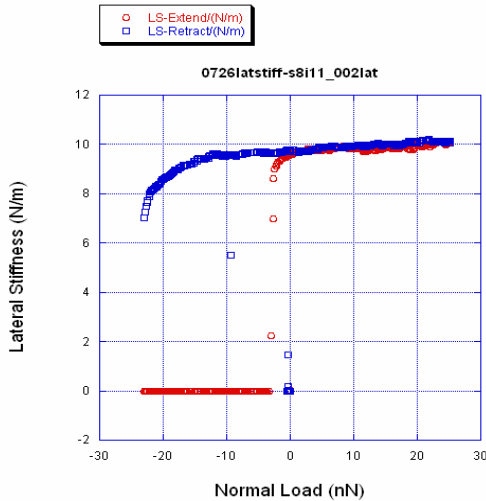


Fig. 3 Relationship between contact stiffness and applied load (colloidal probe-Cu contact)

4. 결론

기계-화학적 연마공정에서의 마찰특성 규명을 통한 연마효율 및 연마표면의 품위향상을 위하여 연마입자와 재료 표면간 접촉강성 및 마찰거동의 변화를 원자현미경을 이용하여 실험적으로 살펴보았다. 낮은 접촉강성을 갖는 접촉계면의 경우 마찰력변화가 크지 않으나 나노스케일에서의 마찰특성으로서 스틱슬립거동의 천이가 나타남을 확인할수 있었다. 실험결과로부터 접촉하는 재료 및 시스템의 수직 및 횡방향 강성을 명확히 측정하고 이러한 접촉상황에서 마찰변화가 크지않은 최적의 접촉강성을 유지할수 있도록 적절한 압력범위를 찾아 적용하는 것이 연마효율 및 연마표면 품위향상에 중요한 요소가 될 것임을 알 수 있었다.

후기

이 논문은 200 년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음. (KRF-2007-331-D00036)

참고문헌

1. Oliver, M. R.(Ed.), Chemical-Mechanical Planarization of Semiconductor Materials, Springer-Verlag, Berlin.

2. Sader, J. E., Chon, J. W. M., Mulvaney, P., "Calibration of rectangular atomic force microscope cantilevers," Rev. Sci. Instrum., **70**, 3967-3969, 1999.

3. Green, C. P. et al., "Normal and torsional spring constants of atomic force microscope cantilevers," Rev. Sci. Instrum., **75**, 1988-1996, 1995.

4. Sader, J. E., "Parallel beam approximation for V-shaped atomic force microscope cantilevers," Rev. Sci. Instrum., **66**, 4583-4587, 1995.

5. Cleveland, J. P., Manne, S., Bocek, D., Hansma, P. K., "A nondestructive method for determining the spring constant of cantilevers for scanning force microscopy," Rev. Sci. Instrum., **64**, 403-405, 1994.

6. Ogletree, D. F., Carpick, R. W., Salmeron, M., "Calibration of frictional forces in atomic force microscopy," Rev. Sci. Instrum., **67**, 3298-3306, 1996.