

화학 기계적 연마 시 발생하는 온도특성과 마찰력에 관한 연구

권대희*, 김형재(부산대학교 대학원 정밀기계공학과), 정해도(부산대학교 기계공학부),
이응숙, 신영재(한국 기계 연구원)

A study of temperature behavior and friction force generated by chemical mechanical polishing

Dae-Hee Kwon, Hyung-Jae Kim(Precision Mechanical Eng. Dept., PNU),
Hae-Do Jeong(School of Mechanical Eng., PNU),
Eung-Suk Lee, Young-Jae Shin(Korea Institute of Machinery and Materials)

ABSTRACT

In chemical mechanical polishing(CMP) there are many factors affecting the results. Temperature is one of the factors and it affects the removal rate. That is, the higher it arise, the more the material is removed. But the detailed temperature behavior is not discovered. In this study, we discover the distribution of temperature across the pad where the wafer has just been polished. And then we reveal the cause of the result in connection with the mechanical structure. In addition, we also discover the relationship of the friction force and normal force. With the result of two forces, we get the friction coefficient and obtain the contact model of the wafer and pad.

Key Words : CMP(화학 기계적 연마), thermal image(열 영상), friction force(마찰력), pressure(압력), velocity(속도)

1. 서론

반도체 집적용량이 점점 커짐에 따라 칩의 크기는 점점 커지게 되고, 이러한 문제점을 극복하기 위해서 배선의 다층화와 선폭의 미세화, 그리고 대직경의 웨이퍼 채용이 불가피하게 되었다[1]. 특히, 서브미크론(sub-micron)영역의 선폭으로 다층화를 진행함에 있어서 꼭 필요한 필수 불가결한 공정으로 화학 기계적 연마(Chemical Mechanical Polishing, CMP)가 각광을 받게 되었다. 그리고, 화학 기계적 연마 공정 후 노광 공정이 있게 될 때 노광된 회선의 품질은 연마 불균일(within wafer non-uniformity)에 직접적인 영향을 받게 된다. 또한, 공정시간상의 측면에서 생각할 때 연마율을 향상시키는 것이 바람직하다. 연마율을 향상시키는 데는 상대 속도와 압력을 증가하는 방법이 있는데, 이러한 두 가지 요소를 무작정 증가시킬 수는 없다. 왜냐하면 그에 비례하여 온도가 증가하기 때문이다. 본 논문에서는 이러한 공정조건과 온도분포와의 상관관계와 연

마 시 발생하는 마찰력을 연구하여 그로 인한 영향을 밝혀내고 접촉모델을 획득하는 데 그 목적이 있다.

2. 화학기계적 연마 시 패드의 적외선 열영상

2.1 적외선

온도를 지니고 있는 모든 물체는 적외선을 방출한다. 이러한 원리로 완전한 암흑에서라도 어떤 물체에서 방출되는 적외선을 감지함으로써 역으로 물체의 온도를 계산할 수 있다. 이 때는 방사율(emissivity, ϵ), 주위공기, 카메라의 자체 복사 에너지, 렌즈 등의 측정에 영향을 미치는 요소를 고려해 주어야 한다.

2.2 적외선 열 영상 측정

2.2.1 실험방법

Fig. 1 과 같은 실험 장치를 꾸미고 패드의 적외선 열 영상을 측정하였다. 카메라는 Nikon 사의

Thermal Vision LAIRD-S270 모델이며, Rodel IC1400 K groove 의 연마 패드, 그리고, 슬러리는 Rodel ILD1300 을 사용하였다. 카메라는 카메라 자체에서 발생하여 반사되어 다시 되돌아 들어오는 적외선을 회피하기 위해서 일정한 경사각을 유지한 채 설치되었다. 139, 315, 412g/cm² 인 압력조건에서 각각 10, 30, 50, 70, 90RPM 의 속도로 15 번 실험을 수행하고 촬영하였다. 주위온도는 23℃ 이고, 패드의 emissivity 는 흰색 고무의 emissivity 인 0.86 으로 설정하였다.

2.2.2 실험결과 및 고찰

Fig. 2 는 한 점에서의 속도와 압력에 대한 온도를 나타내는 그래프이다. 압력을 일정하게 하고 속도를 증가시킨 경우와 속도를 일정하게 하고 압력을 증가시킨 경우 모두 온도가 증가하고 있음을 알 수 있다. 전자의 경우는 지립 입자(abrasive)가 단위 시간당 미끄러지는 거리가 속도에 비례하기 때문에 증가하는 것이고, 후자의 경우는 압력이 증가함에 따라 입자가 패드에 침입하는 깊이가 커지거나 패드와 웨이퍼의 접촉면적이 증가함으로써 인해 발생하는 것으로 생각된다.

패드와 웨이퍼가 같은 각속도를 가지고 회전할 때 웨이퍼내에서 발생하는 연마거리는 다음과 같이 나타낼 수 있다[2].

$$S = 2R \cos^{-1} \left(\frac{x^2 + R^2 - r^2}{2xR} \right) \quad (1)$$

여기서, R: 패드 중심과 웨이퍼 중심과의 거리

r: 웨이퍼의 반경

x: 패드 중심으로부터의 반경거리

Fig. 3 은 반경 105mm 인 웨이퍼가 패드 중심과 125mm 의 편심 거리를 가지고 운동할 때 발생하는 연마 거리를 나타내는 그래프이다. 압력 412g/cm², 테이블 속도 70RPM, 헤드속도 70RPM 인 조건으로 연마중인 시스템에서 2 분 가공 중 50 초에서 100 초에서의 패드반경에 따른 온도변화를 Fig. 3 의 사선부분에 나타내었다. 실험장치 구성의 한계로 인해 반경이 160mm 에서 220mm 이내의 온도만 측정 가능하였다. 같은 반경대의 연마거리와 비교, 분석했을 때 그 경향의 유사성을 쉽게 발견할 수 있는데, 이는 패드에서 발생하는 온도는 웨이퍼와의 연마거리에 직접적으로 비례한다는 결론을 얻어낼 수 있다는 데서 연유한다.

한편, 패드는 점탄성 거동(viscoelastic behavior)을 하는 고분자 재질로 만들어졌고, 온도에 따라 그 물성이 쉽게 바뀐다[3]. Fig. 4 에서 변형주기가 빠를수록 즉, 헤드의 회전이 빠를수록 점탄성체의 시간

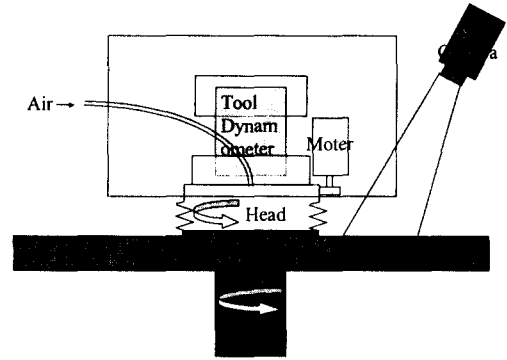


Fig. 1 Experimental apparatus

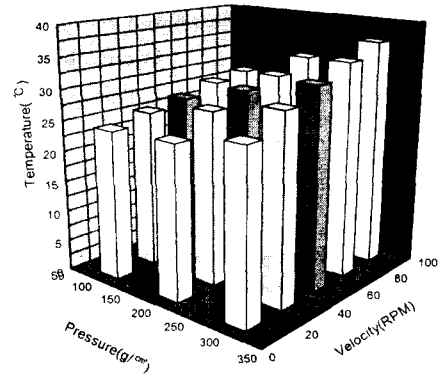


Fig. 2 Temperature variation for different value of pressure and velocity at one point

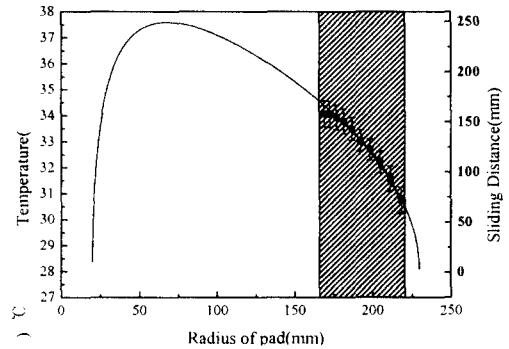


Fig. 3 Temperature and sliding distance of pad

에 대한 변형이 적어져서 큰 동적 전단계수 (dynamic shear modulus)를 보이고, 보다 좋은 평탄도 (planarity)를 얻을 수 있다고 알려져 있다[4]. 그리고, 온도가 올라갈수록 패드의 동적 전단계수 (dynamic shear modulus)는 떨어지는 것으로 알려져 있다[3]. 이러한 점을 고려할 때, Fig. 3 과 같은 패드 상의 온도 불균일은 국부적인 패드의 동적 전단계

수(dynamic shear modulus)의 불균일을 일으켜서 가공물의 평탄도(planarity)에 악영향을 미칠 것으로 생각된다.

3. 공구동력계를 이용한 연마특성 분석

3.1 실험방법

공구동력계는 가공시스템의 3 축 방향의 힘을 측정하기 위해 제작된 기계이다. Fig. 1 과 같이 실험 장치를 꾸미고 수직응력이 139, 315, 412g/cm², 각속도가 10, 30, 50, 70, 90, 110rpm 으로 연마 시 발생하는 마찰력, 수직응력을 측정하였다. Fig. 5 는 수직응력과 마찰력을 나타내는 그림이다. Kistler 사의 5019B Type 의 공구동력계(Tool dynamometer)와 앰프로 5019B130 Type 을 사용하였다. 연마 중 발생하는 신호의 Noise 를 제거하기 위해서 Origin 프로그램을 사용하여 2.5Hz 이하의 신호만 추출하였다.

3.2 실험결과 및 고찰

3.2.1 초기 마찰력의 변화

이론적으로 Fig. 6 에서 테이블과 웨이퍼의 회전 각속도가 같으면, x 방향의 마찰력만 작용하고 y 방향의 힘은 작용하지 않는다[2]. 공구 동력계에서 나타나는 y 방향의 힘은 z 방향의 수직력에 의해 발생하는 모멘트가 공구동력계의 지지점에 작용하여 나타나는 것으로 생각된다. 따라서, y 방향의 마찰력은 무시하였다. 압력 412g/cm², 테이블 및 헤드 속도 70RPM 으로 2 분 동안 가공했을 때 힘과 마찰계수의 변화를 Fig. 7 에 나타내었다.

가공 초기 약 10 초 동안에 마찰력 및 마찰계수의 급격한 변화를 볼 수 있다. 이는 정지한 물체는 계속 정지해 있고자 하는 관성력에 의한 영향으로 생긴 현상으로 볼 수 있으며, 웨이퍼와 지립 또는 패드(pad)와의 급격한 연마를 초래하여 웨이퍼(wafer)에 scratch 등 결함(defect)을 일으킬 가능성이 있다.

3.2.2 연마 모델의 제시

헤드와 테이블의 각속도가 같으면 웨이퍼 전면의 패드와의 상대속도의 크기는 $\omega \times D$ 로 전면에 걸쳐 동일하게 나타낼 수 있다. 여기서, ω 는 각속도이고, D 는 테이블과 헤드의 중심 거리이다[2]. 그리고, 10, 30, 50, 70, 90, 110RPM 의 각속도(Angular velocity)를 선속도(Linear velocity)로 환산하였다.

계산된 선속도와 압력, 그리고 마찰계수를 조합하여 Fig. 8 과 같은 Stribeck 선도를 도출하였다. Stribeck 선도에서 x 축은 속도계수속으로서 마찰력이 점점 떨어지는 구간은 경계 윤활(boundary lubrication) 영역과 부분 유체 윤활(partial fluid lubrication) 영역으로 구성되어 있다[5]. 경계 윤활

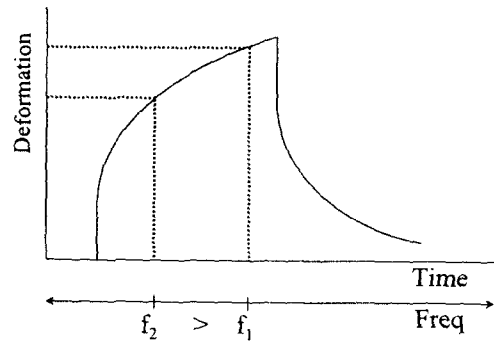


Fig. 4 The relationship of frequencies and deformations of viscoelastic material

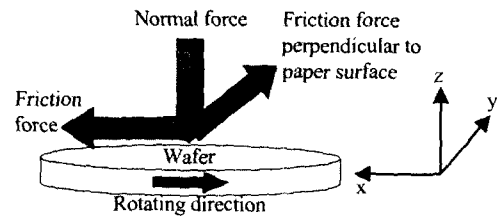


Fig. 5 Force relationship about polished wafer

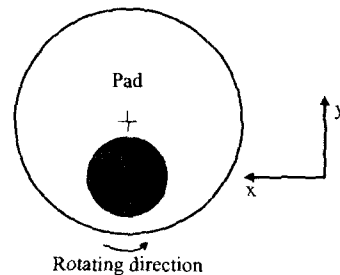


Fig. 6 Top view of relationship of pad and wafer

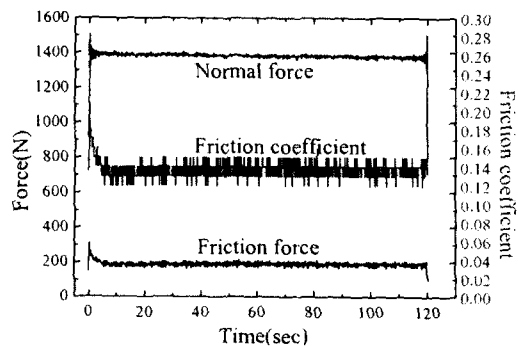


Fig. 7 Friction force and friction coefficient variation during CMP

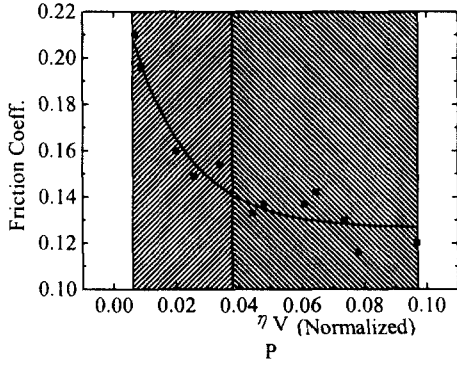


Fig. 8 Stribeck diagram of empirical data

영역은 계속적으로 가해진 힘으로 인해 접촉면이 분리되어지고 마모가 시작되는 영역으로 마찰력이 갑자기 감소되는 영역이다. 부분 유체 윤활은 고체 대 고체 접촉이 존재하고, 윤활막이 생성되기 시작 하며, 속도증가로 인해 마찰력이 서서히 감소하는 영역이다. Fig. 8 에서 두 부분으로 나눈 영역이 각각 경계 윤활 영역과 부분 유체 윤활 영역의 마찰계수의 특성을 그대로 보여준다. 압력이 일정하다면, 가공 초기에는 헤드가 회전하기 시작되는 단계로 그 속도가 낮으므로, 경계윤활영역으로 볼 수 있고, 속도가 점점 증가하여 정상상태가 되면 부분 유체 윤활이 되는 것으로 생각할 수 있다.

4. 결론

CMP 가공 중 온도와 마찰력에 의한 다음과 같은 결론을 도출할 수 있다.

1. 가공 중 발생하는 온도는 압력과 속도 모두에 비례한다.
2. 패드가 헤드와 접촉 직후에 발생하는 열의 불균일은 패드의 국부적인 물성치의 변화를 가져와서 웨이퍼의 평탄도(planarity)에 악영향을 일으킬 수 있다.
3. 가공초기의 마찰력의 급격한 변화는 웨이퍼의 결함을 유발할 수 있다.
4. 압력과 속도, 마찰계수를 조합하여 얻은 선도에서 CMP 가공 중 발생하는 접촉모델은 경계 윤활 영역과 부분 유체 윤활 영역이 혼재된 형태의 모델로 생각할 수 있다.

참고문헌

1. H. D. Jeong,, "Development of CMP Process for Global Planarization of ULSI," Journal of the Korean Society of Mechanical Engineers, 36(3), pp. 220~

- 230, 1996
2. 이성훈, 김형재, 정해도, "화학기계적연마(CMP) 컨디셔닝에 관한 연구", 한국정밀공학회지 제 16 권 5 호, pp 40-47, 1999.
3. Joseph M. steigerwald, "Chemical mechanical planarization of microelectronic materials", John Wiley & Sons, Inc., New York, pp 72-78, 1997.
4. S. P. Murarka and R. Gutmann, Annual Report of the New York State SCOE, Semiconductor Research Corporation, Research Triangle Park, NC, 1994
5. Stachowiak and Batchelor, "Engineering tribology", Elsevier, Amsterdam, London, New York, pp 218-220 1993