

CMP 공정중 패드 표면의 온도분포에 관한 연구

정영석 · 김형재* · 정해도**

The Distribution of Temperature on Pad Surface During CMP Process

Youngseok Jeong, Hyoungjae Kim, Haedo Jeong

Key Words: CMP (화학 기계적 연마), Temperature (온도), Friction (마찰력), Heat transfer(열전달)

Abstract

The friction heat generated by the CMP process has influence on removal rate and WIWNU(Within Wafer Non-Uniformity). Therefore, the object of this study is to find the distribution of temperature on pad surface during CMP process. To do this, the authors analyse the kinematics of CMP equipment to verify the sources of friction heat and compare the analysis result with the experimental results. Through the analysis and experiment conducted in this paper, we can predict the distribution of polishing temperature across the pad surface. Furthermore the result could help to predict the process conditions which could enhance the polishing results, such as WIWNU and removal rate of thin film to achieve more efficient process.

1. 서론

반도체 집적 용량이 점점 증가함에 따라 그에 따른 칩의 크기는 점점 더 커지게 되었다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 배선의 다층화와 선 폭의 미세화, 그리고 대구경의 웨이퍼 채용이 불가피하게 되었다.(1) 특히, 서브마이크론(sub-micron) 영역의 선 폭으로 다층화를 진행함에 있어서 평탄화 공정이 필수 불가결한 공정으로 자리잡게 되었는데, 이를 해결하기 위해 제안되어진 것이 CMP(Chemical Mechanical Polishing)이다. 이 공정은 슬러리와 연마대상 재료의 화학적 조성에 의해 발생하는 화학적 효과와 동시에 슬러리와 패드, 박막 사이의 상대운동에서 발생하는 트라이볼로지(Tribology)적인 요소에 의해 박막의 표면에서 원자단위로 재료를 제거해 나가는 공정이다.(2)

평탄화 공정인 CMP에서 중요한 결과에는 여러 가지가 있으며 이러한 결과 중에서 웨이퍼 전면에서의 광역 평탄도를 달성하는 것은 중요하다. 광역 평탄도는 연마 균일도에 의하여 평가된다. 또한 배선 형성을 위한 노광 공정에 있어서 노광

	기호설명
R	= Ratio of rotation speed between wafer and pad (ω_W / ω_P)
\dot{Q}_{total}	= Total energy, Generated by CMP process between wafer and pad.
$\dot{Q}_{Friction}$	= Friction energy, generated by contact between wafer and pad.
$\dot{Q}_{Heat transfer}$	= Heat transfer energy, generated by conduction between wafer and pad.

† 부산대 대학원 정밀기계공학과

E-mail : jeongys@pusan.ac.kr

TEL : (051)510-3210 FAX : (051)518-8442

* 부산대 대학원 정밀기계공학과

** 부산대학교 기계공학부

된 배선의 품위는 전 공정의 CMP에 의한 WIWNU (Within Wafer Non-Uniformity)에 직접적인 영향을 받게 된다. 연마균일도와 광역평탄도에 영향을 미치는 인자는 매우 다양하다. 슬러리의 유동문제, 슬러리의 온도와 pH변화, 가공에 사용되는 압력의 균일 분포, 패드의 표면 거칠기 차이, 연마시간, 연마 속도, 테이블과 헤드의 상대속도, 패드의 물성 그리고 연마시간 동안의 온도변화 등 많은 인자들이 연마에 영향을 미친다. 그러므로 최근 웨이퍼의 크기가 200mm에서 300, 400mm로 대형화 되고 더욱 엄격해지는 평탄화의 요구 조건하에서 웨이퍼 전면의 광역평탄도와 하나의 칩내에서 국소 평탄도를 향상시켜 평탄화를 이룩하기 위해서는 이처럼 연마에 영향을 미치는 인자들에 대한 연구가 중요하다. 그러나 아직 연마에 영향을 미치는 인자들과 연마결과와의 상관관계를 명확히 규명하지 못하고 있으며 이에 대한 많은 연구들이 계속 진행중이다.

본 연구에서는 연마에 영향을 미치는 인자들 중 단일 연마시간 동안 패드와 웨이퍼간의 접촉으로 인하여 발생하는 마찰열에 의한 패드의 온도변화를 측정을 하였다. 그리고 이론적인 계산과 비교하여 단일 연마 시간동안 발생할 수 있는 패드의 온도 분포를 예측하여 더 높은 연마율과 WIWNU를 얻을 수 있는 CMP 공정 조건을 찾는데 그 목적이 있다.

2. 실험조건과 측정

2.1 실험개요

본 실험에서는 CMP공정 중에서 패드와 웨이퍼간의 접촉으로 인한 패드의 온도 분포 변화를 측정할 수 있도록 Fig. 1 과 같이 실험 장치를 구성하였다. 적외선 카메라를 이용하여 웨이퍼와 패드의 접촉이 끝나는 부분의 온도를 측정하였다. 측정은 패드의 반경 방향으로 10mm의 등간격으로 측정하였으며 측정 시간은 온도가 일정하게 안정되는 연마 시작 후 60초 이후부터 측정하였다.

2.2 연마시의 패드 온도측정 방법

이 실험에 사용된 CMP 장비는 지엔피테크놀로지(G&P TECHNOLOGY)사의 POLI 400 장비를 사용하였다. 패드와 웨이퍼의 접촉거리 변화를

위해 테이블과 헤드 각각의 속도를 변화시켜가며 수행하였다. 접촉거리변화에 따른 패드의 온도 분포 변화를 적외선 카메라를 이용하여 측정하였다. 온도 측정에 사용된 적외선 카메라는 MINOLTA사의 TA-0510F이다. 측정거리는 500mm 이상에서부터 측정이 가능하며, 측정온도 범위는 $-50.5^{\circ}\text{C} \sim 199.9^{\circ}\text{C}$ (0.1°C step) 이다. 실험에서의 측정오차를 줄이기 위하여 최소 측정 가능거리인 500mm에서 측정하였다. 또한 외부환경에 의한 온도변화를 최소화하기 위하여 외부 온도를 27°C 로 일정하게 유지하였다. 슬러리의 유입으로 인한 패드의 온도변화요소를 줄이기 위하여 실험기간동안 동일 조건의 슬러리를 이용하였다. 유량은 $200\text{mm}/\text{min}$, 유입위치는 패드의 중심으로부터 74mm 떨어진 지점에서 패드와 웨이퍼의 접촉이 시작되기 전 지점에서 일정하게 공급하였다. 패드의 표면 거칠기 또한 연마 결과에 영향을 미치는 인자이므로 연마 중 패드의 표면상태 변화에 의한 영향을 줄이기 위하여 모든 실험 시행 전 20초 동안 컨디셔닝을 수행하였다. 컨디셔너(Conditioner)는 4인치 다이아몬드 컨디셔너를 사용하였다.

다른 실험 조건들은 Table 1 에 나타내었다.

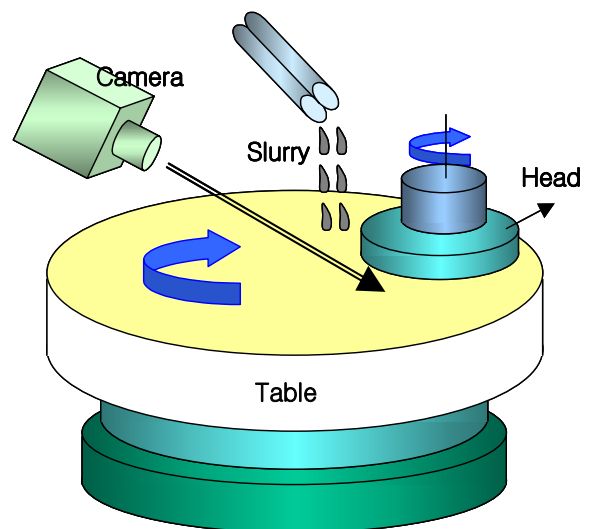


Fig. 1 Schematic diagram for measurement of temperature on pad

Table 1 Experimental

	Condition or Type
Pad	IC 1400 TM (Hard/Soft stacked, Rodel)
Slurry	ILD 1300 TM (Rodel)
Pressure	700g/cm ²
Velocity	Table : 60 rpm Head : 30 ~ 90 rpm
Work Piece	Si

3. 실험결과 및 고찰

3.1 패드 온도분포의 측정결과 및 고찰

연마온도는 연마율에 크게 영향을 미친다. 이러한 사실은 Fig. 2 에서 알 수 있다. 같은 연마 조건에서 연마율은 가공 온도에 비례한다. 이것은 온도가 증가할수록 화학 용액인 슬러리의 활성도(Activity)가 증가하기 때문인 것으로 알려져 있다.(3)

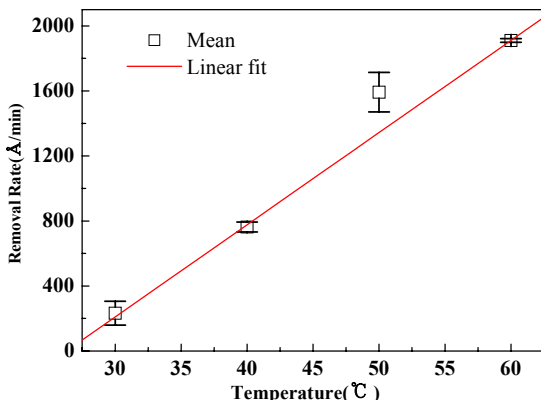


Fig. 2 The removal rate is proportional to the temperature

CMP에서 온도 상승이 일어나는 주된 원인은 슬러리의 내부 작용과 함께 패드와 웨이퍼간의 접촉에서 발생하는 마찰에 기인한다.(4) 패드와 웨이퍼간의 접촉 거리(Sliding Distance)는 헤드와 테이블의 속도에 따라 달라지며 기구학적 해석을 통하여 수식으로 계산되어 진다. Fig 3 에 접촉 거리를 도식화하여 나타내었다. Fig. 3 에서 패드와 웨이퍼의 접촉 거리는 헤드와 테이블의

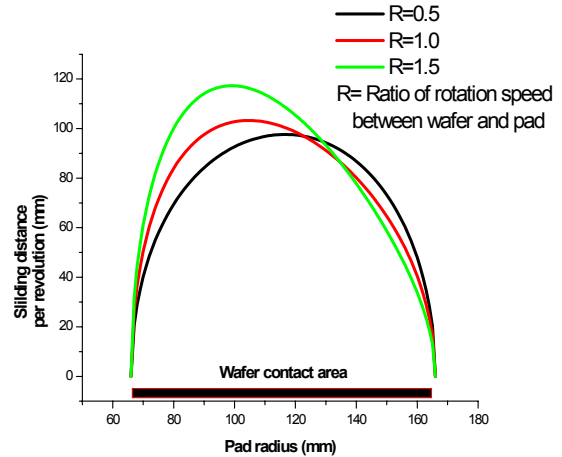


Fig. 3 Sliding distance distribution of pad at the direction of radius.

속도에 따라 다른 것을 알 수 있다. 헤드의 속도가 테이블의 속도보다 빠른 경우는 패드 중심 부분의 접촉거리가 패드 바깥 부분의 접촉거리보다 더 길다. 헤드 속도가 테이블 속도보다 느릴 경우는 패드 바깥 부분의 접촉거리가 더 길어지게 된다. 헤드의 속도가 테이블의 속도보다 빨라질수록 최대 접촉거리는 중심에서 바깥쪽으로 이동하게 된다. (2) 연마 공정에서 발생하는 온도 상승은 패드와 웨이퍼의 접촉거리에 비례하여 발생하므로 실제 패드의 온도분포 또한 Fig. 3과 같이 접촉 거리와 비례하여야 할 것이다. 그러나 실험 결과는 헤드와 테이블의 접촉거리에 크게 영향을 받지 않고 일정한 경향을 보인다. 실험에서 측정된 헤드와 테이블의 속도 변화에 따른 패드의 온도 분포를 Fig. 4 에 나타내었다. Fig. 4 에서 볼 수 있는 바와 같이 CMP에서 패드의 반경 방향 온도 분포는 헤드와 테이블의 속도가 같을 경우, 헤드가 빠를 경우 그리고 테이블이 빠를 경우 모두 일정한 경향을 보임을 알 수 있다.

웨이퍼와 접촉하지 않은 부분인 56-66mm 위치와 166-176mm 위치의 온도가 같지 않다. 두 부분의 온도가 5°C 이상 차이가 나는 이유는 다음과 같다. 56-66mm 부분의 패드온도가 낮은 것은 연마에 참여하지 않은 슬러리가 지나가는 부분이기 때문이다. 그리고 166-176mm 부분의 패드 온도가 높은 것은 그 부분으로 연마에 참여하여 온도가 상승된 슬러리가 빠져 나오는 것에 의한 현상이다. 그래프의 76-106mm 부분에서 온도의 국부적

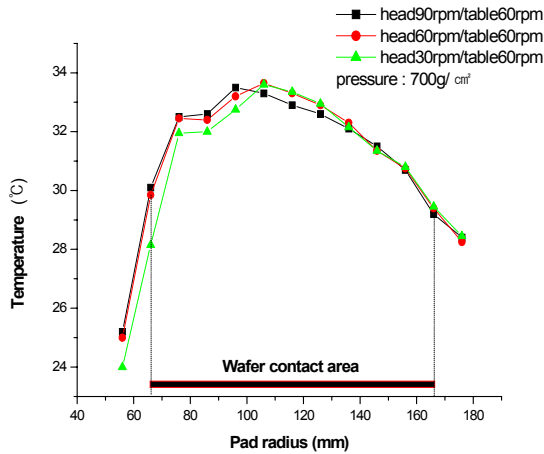


Fig. 4 The pad surface temperature characteristics at various table and head velocity

하강 현상이 발생하였다. 이것은 이 부분에 온도 상승이 없는 초기 슬러리가 유입되기 때문이다. 이 사실에서 패드의 온도분포가 패드와 웨이퍼의 접촉거리 외에 다른 인자에 의한 영향을 같이 받는다는 것을 알 수 있다.

연마시간 동안 웨이퍼와 일정시간 접촉한 후 대기 중에 노출되고 다시 웨이퍼와 접촉하는 것을 반복하는 패드와는 달리 웨이퍼는 계속하여 패드와 접촉하게 된다. 그러므로 웨이퍼 표면과 패드의 접촉 거리에 따라 Fig. 5 와 같이 공간적으로 일정한 온도분포를 가지게 된다.

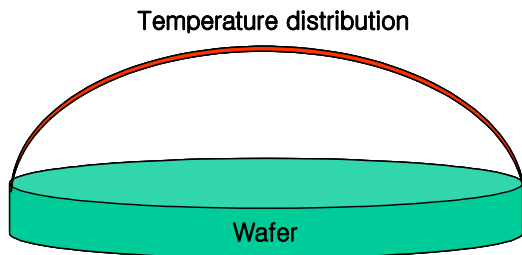


Fig. 5 The temperature distribution of wafer in CMP process.

그러므로 연마 과정 동안 패드의 온도 분포에 영향을 줄 수 있는 Sliding distance 와 웨이퍼 내의 온도 분포에 의한 영향을 고려하면 Fig. 6 와 같이 나타낼 수 있다.

Fig. 6 과 같이 패드의 미소면적의 이동 경로를 보면 패드의 중심에 가까운 부분은 웨이퍼를 지날 때 높은 온도를 가지는 부분을 경유하게 되고 패드의 중심에서 먼, 바깥쪽 부분은 웨이퍼의 온도가 낮은 부분을 경유하게 된다.

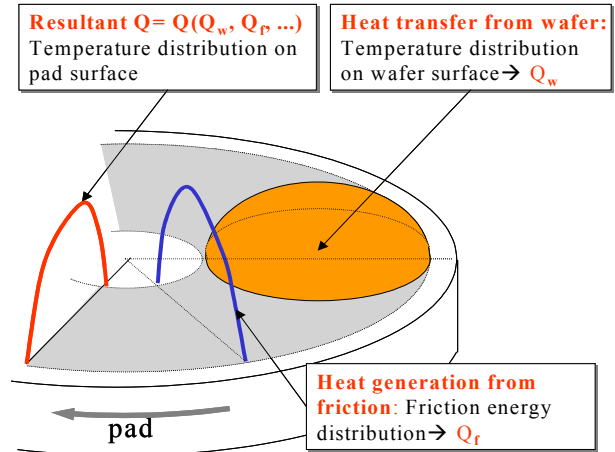


Fig. 6 The temperature distribution of wafer and pad in CMP process.

그러므로 CMP에서 패드에 발생하는 에너지는 패드의 중심에 가까운 안쪽 부분과 중심에서 먼 바깥쪽 부분이 서로 다른 에너지를 공급받게 된다.

패드의 이동경로에 의하여 중심에서 가까운 안쪽 부분은 웨이퍼의 온도가 높은 부분을 경유하므로 높은 열전달 에너지를 얻게되고, 중심에서 먼 바깥쪽 부분은 웨이퍼의 온도가 낮은 부분을 경유하므로 낮은 열전달 에너지를 얻게된다. 따라서 연마 시간동안 패드의 온도 분포에 영향을 미치는 인자는 다음과 같이 표현되어질 수 있다.

연마 과정 중 접촉거리에 비례하는 마찰에너지 ($Q'_{Friction}$), 그리고 웨이퍼와 접촉하는 시간동안 웨이퍼로부터 전도에 의한 열전달 에너지 ($Q'_{Heat transfer}$)이다. 그러므로 패드가 CMP에서 얻는 에너지는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$Q'_{total} = f(Q'_{Heat transfer}, Q'_{Friction}, \dots) \quad [1]$$

연마 과정에서 패드의 온도 분포에 관여하는

여러 가지 인자들 중에서 마찰력과 열전달이 중요한 요소로 작용한다는 것을 알 수 있다.

3.2 패드의 온도 분포가 CMP 결과에 미치는 영향

CMP에서 연마 결과에 영향을 미치는 인자는 여러 가지가 있다. 그 중에서 패드의 물성치는 중요한 변수로 작용한다. 패드의 물성치에는 두께, 밀도, 경도, 정적 압축율, 회복율, 인장강도, 연신율, 탄성 저장율, 손실 탄성율, 표면 거칠기, 포어크기(Pore Size), 슬러리 유동 흡의 형상과 크기 등이 있다. 이러한 여러 가지 물성치들 중에서 어떤 인자가 연마 결과와 강한 상관관계를 가지는지 아직 명확히 규명되지 않았다.(5) 그러나 온도 변화가 패드에 미치는 일부 현상들은 설명이 될 수 있다.

연마 공정중 패드의 온도 분포에 따라 패드의 경도가 변하게 된다. 온도가 높은 부분은 경도가 약해져 웨이퍼와의 실접촉 면적이 늘어나게 되고 그로 인하여 연마 압력은 줄어들게 된다. 온도가 낮은 부분은 온도가 높은 부분보다 상대적으로 강한 경도를 가지게 되고 실접촉 면적은 줄어들게 될 것이다. 이로 인하여 연마 압력이 부분적으로 높아질 것이다. 패드의 온도 차이는 연마 공정에서 패드와 접촉하는 웨이퍼의 연마 결과에 영향을 미치게 된다.

Fig. 4 에서 볼 수 있는 것과 같이 단일 연마 시간 동안 패드는 반경방향으로 온도 편차를 가지게 된다. 이러한 온도 편차는 슬러리의 화학적 상태, 점도 그리고 패드의 물성치 변화를 초래하게 된다. 이로 인하여 웨이퍼 내 각 부분의 연마율이 시간에 따라 일정하지 않게 된다. 패드의 온도 편차에 의한 단일 웨이퍼내의 연마 불균일 현상의 발생은 연마 공정 중 열에너지가 공급되는 정도에 따라 달라지게 된다. 패드와 웨이퍼의 실접촉 면적이 적고 패드와 웨이퍼의 접촉 주기가 낮은 낮은 압력과 속도에서는 연마 공정에서 적은 열에너지를 공급 받게된다. 패드와 웨이퍼의 실접촉 면적이 크고 패드와 웨이퍼의 접촉 주기가 빠른 높은 압력과 속도에서는 연마 공정에서 많은 열에너지를 공급 받게된다. 따라서 높은 압력과 속도를 가지는 공정에서는 낮은 압력과 속도를 가지는 공정보다 패드내의 온도 편차에 대한 영향을 더 많이 받게 될 것이다. 이런 경향은 Fig. 7 에서 확인 할 수 있다.

Fig. 7 의 실험은 압력조건 300g/cm²과 700g/cm²에서 수행하였다. 실험에서 동일 속도 조건에서

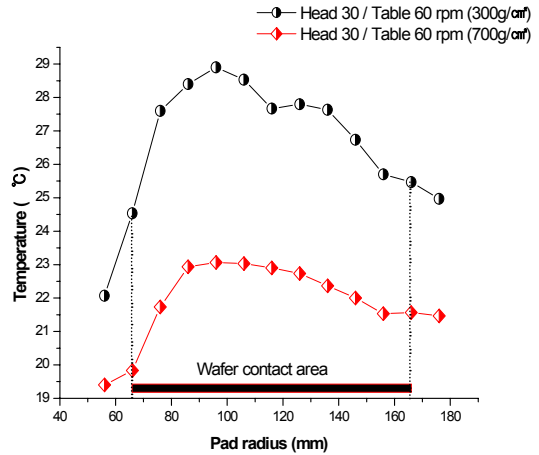


Fig. 7 Temperature distribution at different pressure

압력이 커질수록 웨이퍼 내의 온도 편차가 커지는 것을 알 수 있다. 그리고 연마 과정 중 낮은 압력 조건과 높은 압력이 주어지는 가공 조건에서 발생하는 온도의 편차가 7°C 이상 발생한다는 점을 알 수 있다.

4. 결 론

CMP 공정 중 패드에 발생하는 온도 분포를 측정하여 패드내의 온도편차로 인하여 웨이퍼 내의 각 부분에서 발생할 수 있는 연마결과의 차이에 대하여 연구하였다.

1. 일정한 압력에서 헤드와 테이블의 속도를 바꾸어가며 실험을 시행하였을 때 패드의 온도 분포는 항상 일정한 경향을 보인다.

이것은 패드의 온도 분포가 패드와 웨이퍼가 접촉하면서 발생하는 마찰열 이외에 웨이퍼로부터 패드에게 전달되는 전도에 의한 영향이 있다는 것을 알 수 있다.

2. 연마 온도는 연마 결과에 크게 영향을 미친다. 그러므로 연마 공정 중에 발생하는 패드내의 온도 편차가 커질수록 연마균일도는 악화된다.

연마 공정 중 발생하는 온도 편차는 웨이퍼의

면적이 대구경화 될수록 더욱 커지게 되며 웨이퍼 면적이 증가할수록 패드의 온도분포는 연마균일도와 더 큰 상관관계를 가지게 될 것이다.

3. 연마 공정 중에 발생하는 패드의 불균일한 온도 분포는 접촉에 의해 발생하는 열에너지가 더 많이 공급되어지는 공정에서 더 크게 나타난다.

높은 압력과 속도의 공정에서는 낮은 압력과 속도를 가지는 공정에서 보다 패드의 온도 편차가 더욱 커졌으며 접촉에 의한 열에너지를 더 많이 공급받는 공정에서 패드의 온도분포문제가 연마 결과와 보다 밀접한 상관관계를 가지게 된다.

참고문헌

- (1) Heado Jeong "Development of CMP Process for Global Planarization of ULSI" Journal of the Korean Society of Mechanical Engineers, Vol. 36(3), pp. 220~230, 1996
- (2) Hyoungjae Kim "A Study on the Distribution of Friction Heat generated by CMP Process" Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 20, pp. 42~49, 2003
- (3) Hyoungjae Kim "Friction and thermal phenomena in chemical mechanical polishing" Journal of Materials Processing Technology, Vol. 130-131, pp. 334~338, 2002
- (4) H. Hocheng, Y.L. Huang, L.J. Chen "Kinematic analysis and measurement of temperature rise on a pad in chemical mechanical planarization" Journal of Electrochem. Soc. , Vol. 146(11), pp. 4236~4239, 1999
- (5) J.M.Steigwald "Chemical Mecheanical Planarization of Microelectronic Materials" John Wiley & Sons, New York, pp. 66-84, 1997