

가열에 의한 웨이퍼 형상 변화가 CMP에 미치는 영향

권대희*, 김형재*, 정해도**

Effects of Change of Wafer Shape through Heating on Chemical Mechanical Polishing Process

Dae Hee Kwon*, Hyoung Jae Kim* and Hae Do Jeong**

ABSTRACT

Removal rate and Within Wafer Non-Uniformity (WIWNU), the most critical issues in Chemical Mechanical Polish (CMP) process, are related to the pressure distribution, wafer shape, slurry flow, mechanical property of pad and etc. Among them, wafer warp generated by other various manufacturing process of wafer may induce the deviation of pressure distribution on the backside of wafer. In the convex shaped wafer the pressure onto the backside of wafer is higher than that of perfectly flat shaped wafer. Besides, such an added pressure is in proportion to the curvature of wafer. That is, the bigger the curvature of wafer becomes the higher the removal rate goes. And the WIWNU is known to be directly related to the pressure distribution on the wafer as well. In other words, the deviation of pressure distribution is in proportion to the WIWNU. In this paper, it is found that the wafer shape may be modified through heating the backside of it and thus properly changed pressure onto the backside of it may improve the WIWNU.

Key Words : CMP(화학 기계적 연마), Temperature(온도), Characteristic(특성), Wafer Shape(웨이퍼 형상), WIWNU(웨이퍼내 연마불균일)

1. 서론

서브マイ크론(sub-micron) 영역의 선폭으로 반도체를 제조하게 됨에 따라 평탄화 공정이 필수적인 것으로 부각되게 되었다. 많은 방법 중에서 평탄화 길이의 우수성으로 인해 화학 기계적 연마(CMP)가 평탄화 공정으로 채택되어 적용되어 왔다. CMP에서 평가되는 연마 결과를 결정짓는 주요한 특성들로는 연마율(removal rate)과 연마 평탄도(uniformity), 연마 균일도(planarity) 등이 있다. 높은

연마율의 획득과 연마 평탄도 및 연마 균일도의 향상은 칩의 생산성 측면에서 바람직하기 때문에 많은 연구자들이 이의 개선을 위해 노력해 왔다. 연마 평탄도에 영향을 미치는 인자는 여러 가지가 있다. 그 중에서 웨이퍼 배면에 형성되는 압력의 분포는 연마 평탄도에 직접적인 영향을 미치는 것으로 보고되었다. 또한, 단순히 캐리어에 하중(down force)을 가하는 것만으로는 패드 전면에 걸쳐 발생하는 불균일한 굽힘 강성(bending stiffness)에 의해 서 양호한 평탄도를 얻기가 곤란하므로 웨이퍼 중

* 2002년 8월 8일 접수
부산대학교 대학원 정밀기계공학과
** 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터

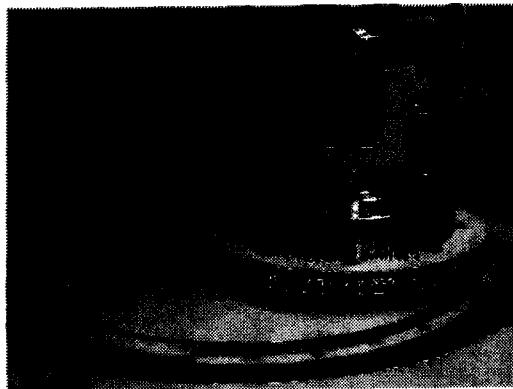


Fig. 1 Specially designed head with heat device

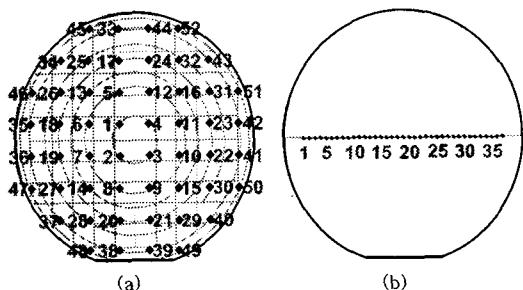
심부에 추가적인 압력(back pressure)을 가하여 평탄도를 향상시키는 방법이 사용되기에 이르렀다. 한편, 완전한 평면을 가지는 웨이퍼일지라도 다양한 가열 공정에 노출되면 일정한 곡률(curvature)을 가지는 형상으로 바뀌게 된다. Zhang은 이러한 곡률을 지닌 웨이퍼와 연마율, WIWNU과의 관계를 조사하였는데, 웨이퍼의 형상이 오목(concave)한 것에서 불록(convex)해 질수록 연마율과 WIWNU가 감소한다고 보고하였다^[1]. Runnels는 CMP에서의 접촉을 슬러리와 웨이퍼의 완전 유체 윤활 접촉이라는 가정 하에서 웨이퍼와 패드사이에 계재되는 유막의 최소 두께가 웨이퍼의 곡률에 의하여 변하고, 이는 연마 결과에 영향을 미칠 수 있음을 보고하였다^[2]. Tseng은 웨이퍼의 곡률 반경에 따른 박막의 압축 또는 인장응력에 의한 효과가 연마 결과에 미치는 영향은 미미하지만, 웨이퍼 형상에 따라 그 배면에 작용하는 압력 분포가 변화하고 이는 연마 결과에 영향을 미칠 수 있으므로 이러한 측면에서 웨이퍼 형상에 대한 효과를 고려해야만 한다고 보고하였다^[3]. 한편, 웨이퍼에 열을 가하게 되면 웨이퍼의 곡률 반경이 변하게 된다. 본 논문에서는 가열에 의한 웨이퍼의 곡률 변화가 가공 결과에 미치는 영향을 알아보기 위해서 실시간으로 웨이퍼를 가열하면서 CMP를 수행하였고 연마율에 미치는 영향을 살펴보고 WIWNU를 향상시키는 방법에 대하여 고찰하였다.

2. 연마 실험

가열에 의한 웨이퍼의 곡률 변화와 연마 특성과



Fig. 2 LGP 381 polisher and AutoEL III



키기 위하여 각각의 연마 온도 조건에 대하여 웨이퍼를 3장씩 사용하였으며, 이후의 연마 결과는 이 3장의 평균값을 바탕으로 하여 획득한 데이터에서 산출되었다. 그리고, 패드의 안정화를 위하여, #100의 다이아몬드 컨디셔너를 이용하여 패드 표면에 대하여 컨디셔닝(conditioning)을 3분간 수행한 후, 나일론 브러쉬를 이용하여 패드 표면의 잔류물을 제거하였으며, 더미 웨이퍼(dummy wafer)를 이용하여 2.5분 동안 연마를 수행하였다. 실험 중에는 컨디셔닝에 의한 연마 특성의 변화를 제거하기 위하여 컨디셔닝을 수행하지 않았다.

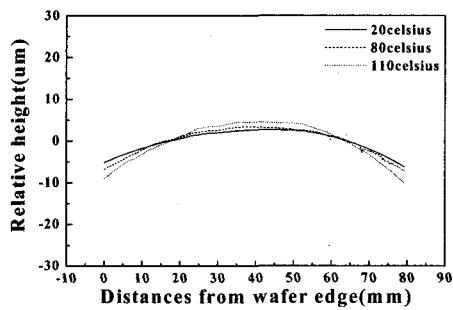


Fig. 4 The shape alteration of wafer with respect to the temperature

3. 결과 및 고찰

3.1 연마율과 웨이퍼 곡률과의 관계

Fig. 4는 가열을 하였을 경우, 웨이퍼의 곡률 반경의 온도에 대한 변화를 나타낸 그림이다. 온도가 증가할수록 곡률이 반경이 감소하는 방향으로 웨이퍼의 형상이 변화하게 된다. 이러한 웨이퍼의 형상 변화는 압력 분포의 변화와 밀접한 관련이 있다. 또한, 연마율과 WIWNU는 이러한 압력에 직접적으로 영향을 받으므로 정확한 연마 결과를 예측하기 위해서는 웨이퍼의 형상에 대한 연구가 필요하다.

Fig. 5는 웨이퍼 배면의 가열 온도별 연마율을 나타낸 그래프이다. CMP가공에서 conditioning을 수행하지 않을 경우, 연마량은 연마 시간에 대해서 지수적으로 감소하게 되는데, Fig. 5에서는 그러한 경향을 관찰할 수가 없고 연마율이 유지됨을 알 수가 있다. 이와 같은 현상이 발생하는 이유로 형상의 변화에 의한 연마제 개입의 증가와 연마 압력의 변화를 생각할 수가 있다. 앞서 언급한 바와 같이

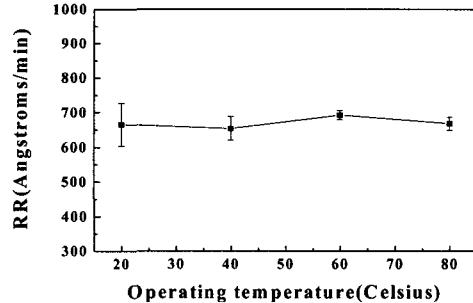


Fig. 5 Removal rate with respect to the operating temperature of wafer

Runnels는 웨이퍼의 형상에 의한 슬러리 유막의 두께에 관한 연구를 하였는데, 볼록한 형상의 웨이퍼에서 웨이퍼의 곡률이 증가할수록 슬러리 유막의 두께는 증가함을 보고하였다^[2]. 이는 슬러리내 연마 입자가 연마에 참여하는 비율이 증가함을 의미하는 것으로 곧 연마율의 증가를 뜻한다. 한편, Tseng은 웨이퍼의 배면에 작용하는 압력과 웨이퍼 형상과의 관계를 보고한 연구에서 Fig. 6(b)와 같이 볼록(convex)한 웨이퍼는 곡률이 증가할수록 웨이퍼 배면에 작용하는 압력이 증가하게 되어 연마량이 증가함을 보고하였다^[3].

3.2 WIWNU와 웨이퍼 곡률과의 관계

웨이퍼 내 연마 불균일(WIWNU : Within Wafer Non-Uniformity)은 다음과 같이 정의된다.

$$WIWNU = \frac{RR_{stdv}}{RR_{avg}} \times 100(%) \quad (1)$$

여기서, RR_{stdv} 는 연마율의 표준 편차이고, RR_{avg} 는 웨이퍼 상의 평균 연마율이다. WIWNU에 영향을 미치는 인자는 압력, 상대 속도, 패드의 물성, 패드상의 슬러리 분포, 온도 분포, 웨이퍼의 형상 등 여러 가지가 있다. 그 중에서 웨이퍼 배면에 형성되는 압력 분포는 WIWNU에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있으며, 이것은 Preston 방정식에서도 알 수 있는 바와 같이 연마량은 압력에 비례하기 때문이다.

$$RR = K_p P V \quad (2)$$

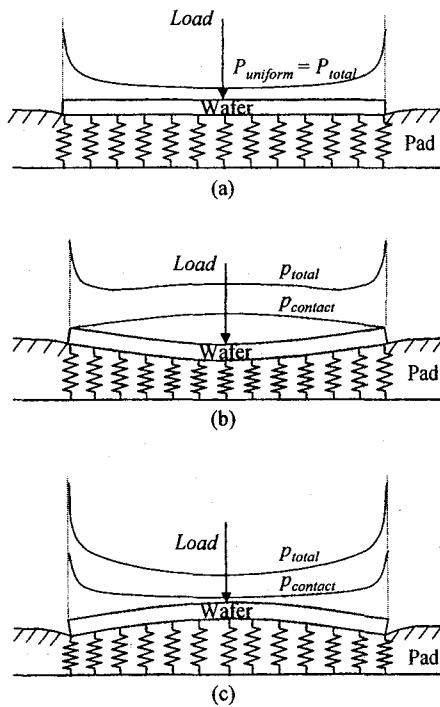


Fig. 6 Pressure distribution across the wafer :

- (a) In the case of the perfectly flat wafer,
- (b) In the case of the convex shaped wafer,
and,
- (c) In the case of the concave shaped wafer

여기서, K_p 는 Preston상수이고, P 는 압력, V 는 상대 속도이다.

비록 균일한 하중을 가하였다 하더라도 웨이퍼의 형상이 완전 평면이 아니면 그에 따라 분포하는 압력도 달라지게 된다. 이런 점을 고려하여 Tseng은 웨이퍼의 곡률 반경에 따른 압력을 해석하여 다음과 같은 식을 제안하였다^[3].

$$P_{sum} = P_{uniform} + P_{contact} \quad (3)$$

여기서, $P_{uniform}$ 는 웨이퍼 배면에 가하는 균일한 하중에 의한 압력이고, $P_{contact}$ 는 웨이퍼의 접촉 형태에 의한 압력을 나타낸다. 완전히 평탄한 면을 형성하는 웨이퍼와 탄성체인 패드가 접촉할 경우에

웨이퍼의 반경 방향별 압력은 웨이퍼가 강체이고 하중이 1차원적으로 주어지는 선 하중(line loading)인 경우 다음과 같은 식 (4)에 의해서 가장자리에서 중심으로 갈수록 감소하는 분포를 보인다^[4](Fig. 6(a)).

$$p(x) = \frac{L}{\pi(a^2 - x^2)^{1/2}} \quad (4)$$

여기서, L 은 선 하중, a 는 웨이퍼의 반지름이다. 따라서, 연마율은 압력에 비례하기 때문에 중심부위에서의 연마량이 가장자리에서보다 상대적으로 감소하게 된다.

완전히 평탄하지 못하여 일정한 곡률을 지닌 웨이퍼에 분포하는 압력($P_{contact}$)도 웨이퍼의 반경 방향으로 상이한 분포를 형성한다. 즉, 볼록한(convex) 웨이퍼인 경우, 중심 부위에서 완전히 평탄한 웨이퍼보다 압력이 증가한다. 따라서, 볼록한 정도가 클 수록 중심에서의 연마율은 증가하게 되고, 그 결과 반경 방향별 연마율의 편차가 완전히 평탄한 웨이퍼보다 감소하게 된다(Fig. 6(b)). 오목한(concave) 웨이퍼에서는 그 반대의 경향을 보인다(Fig. 6(c)).

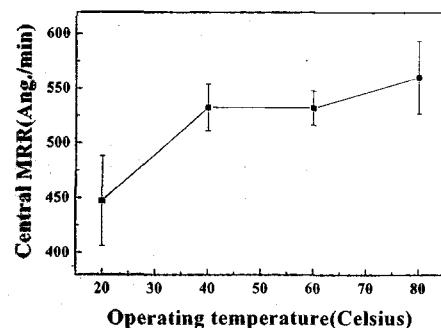


Fig. 7 Central removal rate versus the operating temperature

Fig. 7은 웨이퍼 중심에서의 연마 온도별 연마율의 추이를 나타낸 그래프이고, Fig. 8은 웨이퍼 가장자리에서의 연마율을 나타낸 그래프이다. 웨이퍼의 연마 온도가 증가할수록 웨이퍼 중심에서의 연마율은 증가하지만, 웨이퍼 가장자리에서의 연마율은 감소한다. 이것은 앞에서 설명한 바와 같이 연마 온도가 증가할수록 웨이퍼의 형상이 Fig. 6(b)와 같은 볼록한 형상으로 변화하기 때문이다. 이는

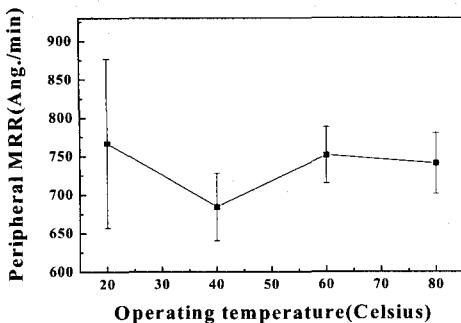


Fig. 8 Peripheral removal rate versus the operating temperature.

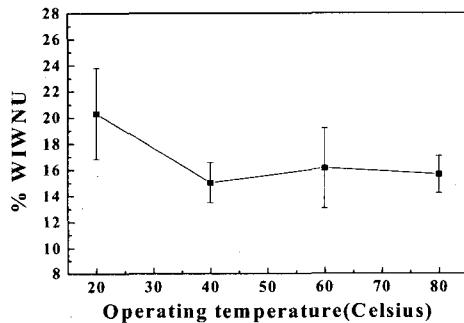


Fig. 9 The WIWNU versus the operating temperature

또한 WIWNU와도 무관하지 않는데, 가장 자리와 중심에서의 압력 편차가 감소할수록 연마율의 편차도 감소하게 되므로 WIWNU는 향상되기 때문이다. Fig. 9는 웨이퍼의 가공 온도별 WIWNU를 나타낸 그래프이다. Fig. 10은 연마 후 웨이퍼의 가공 온도별 잔류 박막 두께를 반경 방향별로 측정한 그래프이다. 연마 온도가 증가할수록 잔류 박막 두께의 반경 방향별 편차가 감소하는 것을 알 수가 있다. 한편, 공정시 실시간으로 가열하는 열은 웨이퍼뿐 만 아니라 웨이퍼의 이탈을 방지할 목적으로 캐리어에 부착된 캐리어 필름(carrier film)의 물성치에도 영향을 미친다. 캐리어 필름은 고분자 재질로 구성되어 있고 그 특성에 따라 연마결과에 미치는 영향이 크다. 이러한 캐리어 필름의 형상, 탄성 계수 등이 가열에 의하여 민감하게 변할 것으로 예상된다. 또한, 화학액으로 구성된 슬러리는 온도의 증가에 의해 그 활성도가 증가하게 되어 연마율의 증가를 야기한다고 알려져 있다. 정확한 예측을 위해서는 이러한 영향들을 고려해야만 한다.

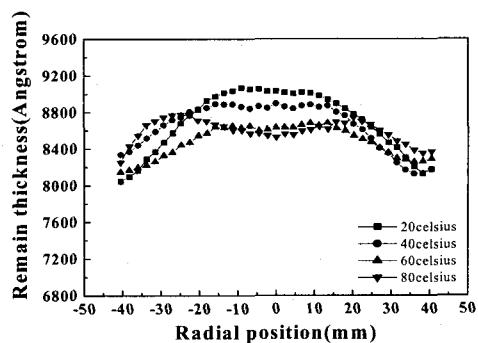


Fig. 10 The remain thickness variation of film in radial direction versus the operating temperature

4. 결론

웨이퍼에 박막을 형성시키는 공정은 고온에서 이루어지게 되고 이러한 열에 의하여 웨이퍼와 박막에 잔류 압력이 형성되어 웨이퍼에 휨이 발생하게 된다. 따라서, 비록 일정한 압력을 가하였다 하더라도 웨이퍼의 곡률에 따라 서로 상이한 압력 분포를 형성하게 되고, 연마율과 WIWNU 등 연마 결과에 직접적인 영향을 미치게 된다. 한편, 박막이 증착된 웨이퍼에 열을 가하여도 웨이퍼의 형상이 변하게 되는데, 이 점을 이용하면 웨이퍼의 곡률을 가열로써 조절할 수 있게 된다. 웨이퍼의 형상이 불록해질수록 가공에 참여하는 슬러리 유막의 두께가 증가하는 것도 연마율의 향상에 영향을 미친다. 또한, 웨이퍼 형상이 불록해질수록 웨이퍼 전체에 분포하는 압력 편차는 감소하게 되어 WIWNU가 향상된다.

참고문헌

- Yuan Zhang et al, "Wafer Shape Measurement and Its Influence on Chemical Mechanical Planarization," the Electrochemical Society Proceedings, 96-22, pp. 91~96, 1997.
- Scott R. Runnels, "Tribology Analysis of Chemical-Mechanical Polishing," J. Electrochem. Soc., Vol. 141, No. 6, pp. 1698~1701, 1994.
- Wei-Tsu Tseng et al, "Effects of Film Stress on the Chemical Mechanical Polishing Process," J.

Electrochem. Soc., Vol. 146, No. 11, pp.
4273~4280, 1999.

4. K. L. Johnson, "Contact Mechanics," Cambridge University Press, Cambridge, New York, New Rochelle, Melbourne, Sydney, pp. 36~38, 1985.