

CMP 패드 강성에 따른 산화막 불균일성(WIWNУ)에 관한 연구

A Study on the Within Wafer Non-uniformity of Oxide Film in CMP

박기현², 정재우², 박범영², 서헌덕², 이현섭², 정해도^{1,a}
(Ki-Hyun Park², Jae-Woo Jung², Boum-Young Park², Heon-Deok Seo²,
Hyun-Seop Lee², and Hae-Do Jeong^{1,a})

Abstract

Within wafer non-uniformity(WIWNУ) improves as the stiffness of pad decrease. We designed the pad groove to study of pad stiffness on WIWNУ in Chemical mechanical polishing(CMP) and measured the pad stiffness according to groove width. The groove influences effective pad stiffness although original mechanical properties of pad are unchanged by grooving. Also, it affects the flow of slurry that has an effect on the lubrication regime and polishing results. An increase of the apparent contact area of pad by groove width results in decrease of effective pad stiffness. WIWNУ and profile of removal rate improved as effective pad stiffness decreased. Because grooving the pad reduce its effective stiffness and it makes slurry distribution to be uniform. Futhermore, it ensures that pad conforms to wafer-scale flatness variability. By grooving the top pad, it is possible to reduce its stiffness and hence reduce WIWNУ and edge effect.

Key Words : Within wafer non-uniformity(WIWNУ), Chemical mechanical polishing(CMP), Groove, Stiffness, Apparent contact area, Edge effect

1. 서 론

반도체 소자가 고성능 및 고집적화가 됨에 따라 배선의 다층화와 선폭의 미세화가 요구되고 있다. 다층배선이 필요하기 때문에 소자의 표면구조가 복잡하게 되고 표면요철의 정도가 심해지게 된다. 서브마이크론(sub-micron) 이하의 반도체 소자를 제작하기 위해서 평탄화 공정이 필요하다. 이러한 평탄화 공정중에서 CMP 기술은 종래의 물리적 및 화학적 평탄화 기술보다 월등한 평탄화길이를 얻을 수 있기 때문에, CMP에 의한 평탄화 공정이 점점 더 중요해지고 있다[1,2].

연마 패드는 화학 기계적 연마공정의 특성에 영향을 미치는 중요한 인자중의 하나이다. 패드 인자에는 그루브, 경도, 포어, 탄성계수 등 다양하며, 이러한 인자들 중에서 패드 그루브는 패드와 웨이퍼가 접촉하는 연마지점에 공급되는 슬러리의 공급량의 변화를 발생시킬 것이다. 또한 패드의 상부표면에 그루브를 가공하면 패드의 유효강성을 변화시킬 것이다. 이러한 영향으로 그루브에 의한 패드의 강성변화는 연마불균일도에 영향을 미칠 것이다.

따라서 본 연구에서는 그루브에 의한 패드 강성의 변화가 연마불균일도에 미치는 영향을 연구하고자 한다.

1. 부산대학교 정밀정형 및 금형가공연구소
(부산시 금정구 장전동 산 30)

2. 부산대학교 정밀기계공학과

a. Corresponding Author : hdjeong@pusan.ac.kr

접수일자 : 2005. 3. 2

1차 심사 : 2005. 3. 28

2차 심사 : 2005. 4. 21

심사완료 : 2005. 4. 27

2. 패드의 거동특성

CMP 공정에서 이상적인 연마의 경우에 웨이퍼 전면이 동일한 연마율로 제거되어야 하지만, 실제 연마의 경우에는 웨이퍼와 패드의 접촉특성으로

인한 압력의 불균일한 분포로 인해 재료 제거율이 웨이퍼 전면에서 균일하지 못한 특성을 나타낸다고 알려져 있다[3]. 그리고 연마불균일도는 연마속도에 큰 영향을 받지 않고, 가해진 압력에 의한 패드의 변형특성에 의해 지대한 영향을 받는다고 기술하고 있다[4,5]. 이러한 연구 결과를 바탕으로 연마 균일성은 패드의 강성에 따른 변형특성과 상관관계가 있다는 것을 알 수 있다.

패드는 응력-변형특성에서 패드의 물리적 특성인 강성과 슬러리 입자와의 상호작용으로 수평방향 및 수직방향에 대하여 불규칙한 거동특성을 보인다. 인가된 하중에서 패드의 수직 및 수평방향에 파급되는 변형영역은 평탄화 가공에 있어서 중요한 인자가 될 것으로 생각된다. 패드의 거동특성에 따른 평탄화의 기본적 모델을 그림 1에 제시하였다. 수직방향으로 하중이 인가되면 강성이 높고 낮음에 따라 변형이 파급되는 영역의 차이가 발생할 것이다. 또한 웨이퍼와 패드가 접촉하는 지점과의 거리, 즉 수평방향의 변형영역도 차이가 발생할 것이다. 이러한 패드 강성에 따른 패드의 변형영역은 강성에 의해 구분할 수 있다.

강성이 높은 패드는 수직방향 하중(Pressure)이 인가되면 수직방향으로의 변형영역(Vertical deformation area)은 작아질 것이다. 그러나 웨이퍼의 패턴이나 요철을 패드가 잘 추종하지 못함에 따라 수평방향의 변형영역(Horizontal deformation area)은 넓어질 것이다. 이에 따라 칩(chip) 사이즈에서의 국소평탄화 특성(Within die non-uniformity; WIDNU)은 양호하지만, 반대로 웨이퍼 전면에서의 광영평탄화 특성(WIWNNU)은 뒤떨어지게 될 것이다. 그리고 강성이 낮은 패드는 수직방향 하중이 인가되면 웨이퍼와 패드의 접촉이후 수직방향 변

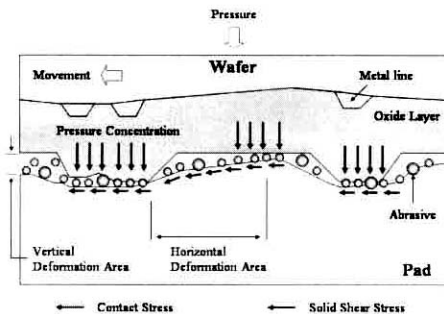


그림 1. 패드의 거동특성에 따른 평탄화 모델.
Fig. 1. Schematic of deformation area with pad stiffness.

형영역은 커질 것이다. 그러나 강성이 낮음으로 인해 하중이 인가되면 웨이퍼의 굴곡을 패드가 잘 추종할 것이다. 웨이퍼와 패드가 접촉하는 지점까지의 거리, 즉, 수평방향 변형영역은 좁게 나타날 것이다. 이에 따라 웨이퍼 전면에서의 연마불균일성(WIWNNU)은 양호한 특성을 보이지만, 패턴 민감도(pattern sensitivity)가 낮은 특성 때문에 국소평탄화 특성(WIDNU)은 나쁘다고 일반적으로 알려져 있다[6,7].

위에서 언급한 것처럼 패드의 강성은 연마불균일성에 직접적으로 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 패드의 강성은 패드 고유의 물성에서 기인하지만, 패드 표면에 존재하는 그루브에 의해서도 패드 강성의 변화는 발생한다. 그루브를 통하여 패드의 표면을 변화시키면 패드 재질 자체의 물리적 특성은 변화가 없지만, 상대적인 패드의 강성은 변하게 될 것이다. 그루브는 연마패드의 전체적이고, 국소적인 강성을 조절하는 역할을 하여, 웨이퍼 전면에서 걸친 연마균일성 및 패턴 웨이퍼의 단차를 균일하게 제거하여 평탄화된 표면을 얻을 수 있도록 패드의 특성을 조절할 수 있기 때문이다[8].

따라서 상부 패드 표면에 그루브를 가공하면 패드의 유효강성이 변화되어서 연마불균일도에 영향을 미칠 것으로 생각된다.

3. 그루브에 따른 패드 강성 실험

3.1 패드 강성 실험

패드의 단면형상에서 그루브 폭을 실험인자로 선정하였고, 그루브 깊이와 피치는 고정하였다. CMP 공정에서 연마불균일도는 하중, 속도, 패드의 물성, 슬러리, 패드의 그루브를 포함하는 구조적 특성 등의 다양한 인자에 의해서 영향을 받는다. 그러나 위에서 기술한 것처럼, 패드의 그루브 폭은 패드와 웨이퍼의 걸보기 접촉면적뿐만 아니라 패드의 상대적인 유효강성에도 영향을 미칠 것이다. 따라서 그루브 폭을 변화시킴으로써 발생하는 연



그림 2. 패드의 강성 측정개념도.
Fig. 2. Schematics of measuring the stiffness (S_H) of pad.

마결과를 파악하기 위해, 실험인자를 그루브 폭으로 선정하였다.

이에 따라 그루브 폭을 1 mm, 2 mm, 3 mm로 변화를 주었다. 즉, 그루브 폭의 치수변화를 통하여 패드의 유효강성을 변화시키고, 이에 따른 연마 불균일도와와의 관계를 파악하고자 한다.

패드의 동일한 위치에서 시편을 채취하고, 그림 2에 나타낸 것처럼 시편의 표면에 존재하는 그루브의 수직방향으로 하중을 인가하면서 시편의 변위와 변위에 저항하는 힘을 측정하였다. 그리고 패드 강성 측정시 인가하는 시편의 변형률은 5 mm/min의 조건으로 측정을 하였다. 또한 측정결과와 신뢰성을 확보하기 위하여, 동일한 시편을 5회 측정을 하여 평균값을 취하였다. 패드에 그루브가 전혀 작동되지 않은 패드를 사용하여 먼저 측정조건을 선정하였으며, 사용된 장치는 Instron사의 Instron 4466을 사용하였다.

3.2 패드 강성 측정결과

그루브 폭에 따른 패드의 유효강성을 측정하고, 그 결과를 그림 3에 나타내었다.

그루브의 폭이 1 mm, 2 mm, 3 mm로 증가할수록 패드강성(S_H)은 8.9, 7.0, 5.9(N/mm)로 감소하는 것을 알 수 있었다. 동일한 재료의 패드임에도 불구하고, 패드 표면에 그루브를 가공함으로써 패드의 강성을 변화시킬 수 있다는 사실을 알 수 있었다. 그루브 폭이 증가함에 따라 패드 강성이 증가하지만, 선형적으로 나타나지는 않음을 알 수 있다.

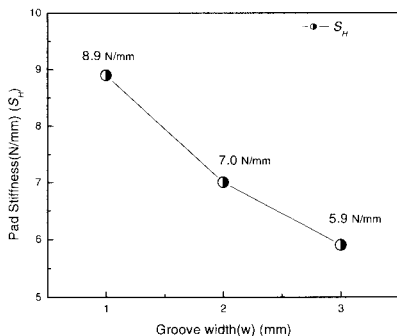


그림 3. 그루브에 따른 패드강성 측정 결과.

Fig. 3. Results of pad stiffness according to groove width.

4. 패드 강성에 따른 연마실험

4.1 연마실험 장치 및 조건

CMP 공정에서 그루브를 통한 패드 강성이 연마불균일도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 연마실험을 수행하였다. 연마에 사용된 연마장치는 G&P Technology 사의 POLI-400 CMP 장비를 사용하였다. 그리고 Roudolp 사의 AutoEL III를 이용하여 연마 전과 후의 산화막의 잔류박막 두께를 측정하였다. 또한 패드는 톰엔하스(Rohm and Haas)사의 IC1400 패드 표면에 그루브 설계에 따라 그루브를 가공하였다. 연마실험은 모두 동일한 연마 장치로 수행하였고, 자세한 실험조건은 표 1에 나타내었다.

표 1. 실험조건.

Table 1. Experimental conditions.

Variables	Conditions
Polisher	POLI-400
Film thickness measure	Rudolph Auto EL-III
Slurry and Flow rate	ILD 1300, 150 ml/min
Polishing pressure	300 g/cm ²
Velocity	Head 65 / Table 65rpm
Polishing time	60 sec
Conditioning time	30 sec
Wafer	4" Thermal Oxide Wafer

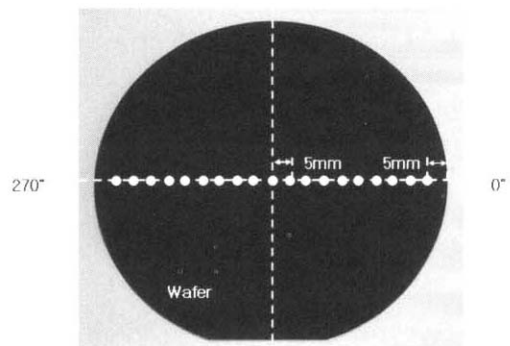


그림 4. 박막 두께 측정 맵 : 반경방향 19포인트.

Fig. 4. Thin film thickness measurement pattern and point : 19-point diameter scan.

실험에 사용된 웨이퍼는 4" 열산화막 웨이퍼 (Thermal oxide wafer)이고 초기 열산화막 두께는 10000 Å이며, 연마율을 웨이퍼의 반경방향으로 5 mm EE(Edge exclusion)을 적용하여 연마 전후의 박막의 두께를 19지점에서 측정하였다. 이러한 웨이퍼의 측정맵을 그림 4에 나타내었다.

본 실험에 사용된 연마장비와 패드의 안정화를 위하여 Break-in 과정을 수행하였다. 실험과 동일한 압력과 속도의 조건으로 패드를 30분 동안 세정(Conditioning)을 수행한 후, 패드표면의 잔류물을 나일론 브리쉬를 사용하여 세정하였다. 그리고 더미웨이퍼(Dummy wafer)를 실제공정과 동일한 압력과 속도의 조건으로 패드 표면 안정화를 위한 연마를 실시하였다.

4.2 실험결과 및 고찰

패드 그루브의 폭의 변화에 따른 연마불균일도의 결과를 그림 5과 그림 6에 나타내었다. 그루브 폭이 1 mm, 2 mm, 3 mm로 증가함에 따라 연마 불균일도가 17 %, 14 %, 7 %로 감소하는 것을 그림 5에서 확인할 수 있다. 또한 그림 6에서 패드의 강성이 증가함에 따라 연마불균일도가 증가하는 것을 알 수 있다. 이러한 결과로부터 그루브 폭이 증가함에 따라 패드 강성이 감소하고, 이에 따라 연마불균일도는 감소하는 것으로 생각된다. 인가된 하중에서 패드의 수평방향 및 수직방향으로 전달되는 변형영역이 연마균일성에 영향을 미치는 것이라고 생각된다. 패드 강성이 감소함에 따라 패드는 상대적으로 부드러운 특성을 보일 것이며, 인가된 하중을 전달하는 수평방향의 영역이 좁아짐에 따라 연마 균일성은 향상되는 것으로 생각할 수 있다.

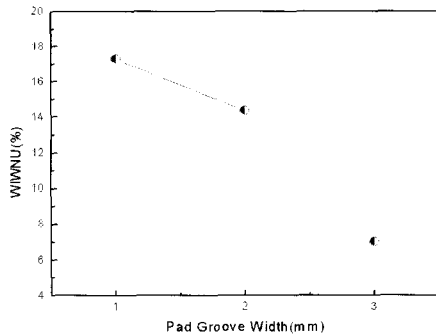


그림 5. 패드 그루브 폭에 따른 연마불균일도.
Fig. 5. Within wafer non-uniformity as groove width of pad.

그리고 패드 강성에 따른 edge effect의 결과를 그림 7에 나타내었다. 패드의 그루브 폭에 따라서 웨이퍼의 중심보다 가장자리의 연마율이 높게 나타나는 edge effect 현상이 변화가 있음을 알 수 있다. 그루브 폭이 1 mm인 경우는 웨이퍼의 중심보다 가장자리의 연마율이 매우 높게 나타난다. 그러나 그루브 폭이 증가할수록 이러한 edge effect는 감소하는 것을 그림 7에서 확인할 수 있다. 이러한 현상은 그루브 폭이 증가할수록 패드의 강성이 감소하여 edge effect를 감소시킨 것으로 보인다.

이러한 실험결과로부터 그루브의 폭이 증가하여 패드 그루브 강성이 감소하면 박막의 연마불균일도와 edge effect는 감소하는 것으로 생각할 수 있다. 이러한 결과는 패드 강성이 감소하면 웨이퍼와

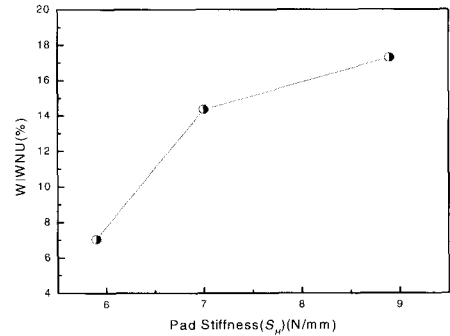


그림 6. 패드 강성에 따른 연마불균일도.
Fig. 6. Within wafer non-uniformity as stiffness of pad.

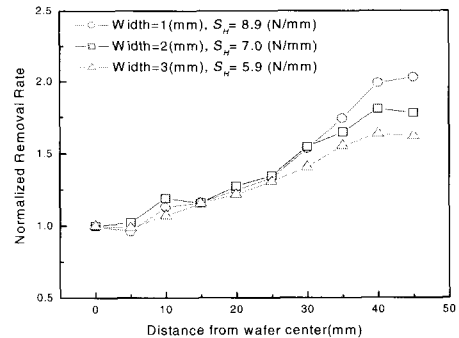


그림 7. 패드 강성에 따른 연마율 프로파일.
Fig. 7. Normalized removal rate profile as stiffness of pad.

패드가 접촉하는 가장자리에 압력의 불균일한 분포가 감소하고, 이에 따라 edge effect와 연마불균일도는 감소한다는 Baker의 이론과 일치하는 것을 알 수 있다[3].

연마불균일도와 더불어 그루브 폭에 따른 연마율의 결과를 그림 8에 나타내었다. 그루브 폭이 1 mm에서 3 mm로 증가함에 따라 연마율은 1470 Å/min에서 1630 Å/min로 증가하였다. 그루브 폭에 따른 연마율은 큰 차이가 없지만, 초기에 그루브 폭이 증가함에 따라 연마율은 조금 증가한 것을 알 수 있다. 그루브 폭이 1 mm, 2 mm, 3 mm의 패드 전체면에 대한 그루브가 차지하는 면적을 살펴보면 5.2%, 10.6%, 16%으로 나타난다. 따라서 폭이 2 mm와 3 mm의 경우는 연마율이 거의 동일하지만, 그루브 폭이 1 mm의 경우는 그루브 밀도가 너무 낮아서 연마지점에서의 공급되는 슬러리양에 문제가 발생한 것으로 생각되어진다. 그림 8의 결과를 바탕으로 그루브 폭이 증가하면 패드 강성이 감소와 그루브 밀도의 증가를 초래하여 연마불균일도와 연마율에 영향을 미친 것으로 생각된다. 이러한 현상은 패드의 상부표면에 그루브를 가공함으로써 패드의 강성을 감소시키고, 이에 따라 패드가 웨이퍼표면의 굴곡에 대하여 추종성이 양호하기 때문에 발생한 결과라고 보여진다. 또한 강성이 낮은 패드는 강성이 높은 패드보다 연마공정 중에 웨이퍼와의 접촉 지점에서 압력편차가 작기 때문에 전체적인 연마불균일도가 양호한 것으로 생각된다.

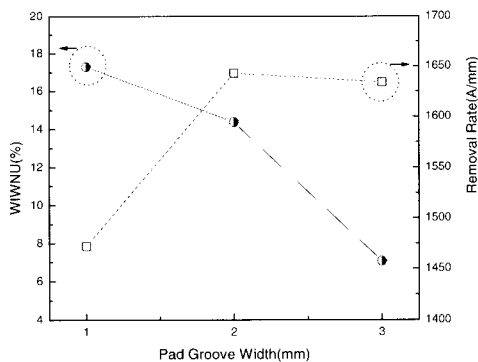


그림 8. 패드강성에 따른 연마불균일도와 연마율.
Fig. 8. Within wafer non-uniformity and removal rate as pad stiffness of pad.

5. 결론

본 연구에서는 CMP에서 패드 강성이 연마불균일도에 미치는 영향을 분석하였고, 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

패드의 상부표면에 그루브를 가공함으로써 패드 강성을 감소시키고, 이를 통하여 연마불균일도를 향상시킬 수 있다는 사실을 확인할 수 있었다. 또한 패드 강성의 감소를 통해서 웨이퍼의 중심보다 가장자리의 연마율이 높게 나타나는 edge effect의 현상을 감소시킬 수 있다는 결과를 얻을 수 있었다. 이러한 결과를 바탕으로 패드의 상부표면에 그루브를 가공하면 슬러리의 유동에 변화가 발생할 뿐 아니라, 패드의 유효강성을 변화시킴으로써 연마불균일도와 edge effect의 현상을 향상시킬 수 있다는 사실을 얻을 수 있었다.

이러한 결과는 패드 제조 시 그루브를 설계함에 있어서, 그루브에 의한 패드의 강성과 그루브 밀도를 조절함으로써 연마불균일도와 연마율에 미치는 영향을 예측하는데 도움을 줄 수 있을 것이라 생각된다.

감사의 글

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었습니다.

참고 문헌

- [1] P. Singer, "The future interconnects", Semiconductor International, Vol. 6, p. 90, 1998.
- [2] 정해도, "차세대 반도체 제조를 위한 초정밀 가공기술", 대한기계학회지, Vol. 36.3, p. 221, 1996.
- [3] A. Richard Baker, "The origin of the edge effect in CMP", J. of The Electrical Society, Vol. 96-22, p. 228, 1996.
- [4] S.-C. Lin and M.-L. Wu, "A study of the effect of parameters on material removal rate and non-uniformity", International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 42, p. 99, 2002.
- [5] A. Modak, P. Monteith, and N. Parekh, "Components of within wafer non-uniformity in a dielectric CMP process", CMP-MIC

- Conference, Vol. 200P, p. 169, 1997.
- [6] T. Doi, T. Kasai, and T Nakagawa, “半導體平坦化CMP技術”, Books-Hill Publishing Co., Inc, p. 96, 1998.
- [7] M. R. Oliver, “Chemical mechanical planarization of semiconductor materials”, Physics and Astronomy, Springer, Vol. 69, p. 6.1, 2003.
- [8] D. Wang, “Von mises stress in chemical mechanical polishing process”, J. of The Electrical Society, Vol. 144, No. 3, p. 1121, 1997.