

## 연마불균일도에 영향을 미치는 패드 표면특성에 관한 연구

### Effect of Pad Surface Characteristics on Within Wafer Non-uniformity in CMP

박기현<sup>1</sup>, 박범영<sup>1</sup>, 김형재<sup>2</sup>, 정해도<sup>3,a</sup>

(Ki-Hyun Park<sup>1</sup>, Boum-Young Park<sup>1</sup>, Hyoung-Jae Kim<sup>2</sup>, and Hae-Do Jeong<sup>3,a</sup>)

#### Abstract

Pad surface characteristics such as roughness, groove and wear rate of pad have a effect on the within wafer non-uniformity(WIWNU) in chemical mechanical polishing(CMP). Although WIWNU increases as the uniformity of roughness(Rpk: Reduced peak height) becomes worse in an early stage of polishing time, WIWNU decreases as non-uniformity of the Rpk value. Also, WIWNU decreases with the reduction of the pad stiffness, though original mechanical properties of pad are unchanged by the grooving process. In addition, conditioning process causes the inequality of pad wear during in CMP. The profile of pad wear generated by the conditioning process has a significant effect on the WIWNU. These experiments results could help to understand the effect of pad surface characteristics in CMP.

**Key Words** : Surface roughness(Rpk: Reduced peak height), Pad stiffness, Groove, Pad wear, Within wafer non-uniformity(WIWNU)

#### 1. 서 론

반도체 소자가 고성능 및 고집적화가 됨에 따라 배선의 다층화와 선폭의 미세화가 요구되고 있다. 이에 따라 서브마이크론(sub-micron) 이하의 반도체 소자를 제작하기 위해서는 평탄화공정이 필요하다. 이러한 평탄화공정 중에서 CMP 기술은 종래의 평탄화기술에 비해 안정하고 우수한 평탄화를 가능하게 하기 때문에, CMP에 의한 평탄화공정은 점점 더 중요해지고 있다[1].

CMP 공정이란 연마패드와 웨이퍼 사이에 슬러리(Slurry:연마입자+연마액)를 공급하여, 압력을 가

한 상태에서 서로 상대 운동을 시켜 연마하는 가공기술이다. 이 연마공정은 연마입자, 웨이퍼와 패드의 접촉에 의한 기계적인 작용과 연마액의 화학성분에 의한 화학적인 작용이 복합되어 웨이퍼 표면의 요철이 선택적으로 제거되면서 평탄화가 이루어진다[2].

이상적인 연마의 경우에 웨이퍼 표면이 동일한 연마율로 재료가 제거되어야 하지만, 실제 연마의 경우에는 웨이퍼와 패드의 접촉특성으로 인한 압력의 불균일한 분포로 인해 재료 제거율이 웨이퍼 전면에서 균일하지 못한 특성을 나타내는 것으로 알려져 있다[3]. 이러한 연마불균일도에 영향을 미치는 인자는 연마압력, 상대속도, 패드물성, 슬러리 특성 그리고 기구학적인 인자 등 매우 다양하다. 특히 패드의 표면 거칠기, 패드 강성, 패드 마멸은 연마 불균일도에 직접적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있다[4,5].

따라서 본 연구에서는 패드 표면특성 중에서 패드의 표면거칠기, 그루브 그리고 패드 마멸이 연마 불균일도에 미치는 영향을 알아보고자 한다.

1. 부산대학교 정밀기계공학과  
(부산시 금정구 장전동 산30)

2. (주) 지엔피테크놀로지

3. 부산대학교 기계공학부

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

접수일자 : 2005. 9. 13

1차 심사 : 2005. 10. 18

2차 심사 : 2006. 2. 7

심사완료 : 2006. 2. 9

표 1. 연마실험 조건.

Table 1. Polishing parameters and conditions.

Polishing parameters	Conditions
Pad	IC1400 k groove
Slurry	*ILD1300
Pressure	300 g/cm <sup>2</sup>
Velocity	Head 60/Table 60 rpm
Polishing time	1 min
Film thickness measure. (Ellipsometer)	Rudolph Auto EL-III
Surface roughness measure.	Mitutoyo SJ-301
	Nanosystemz Nanoview

## 2. 실험

### 2.1 실험장치

패드 표면특성을 표면거칠기, 패드 강성 그리고 컨디셔닝 공정에 따른 패드 마멸 프로파일로 분류하고, 이러한 인자가 연마 불균일도에 미치는 영향을 확인하기 위한 실험을 하였다. 모든 실험은 표 1에 제시한 실험조건으로 연마를 수행하였다.

패드 표면거칠기 실험은 먼저 초기 패드면의 상태를 없애고, 완전하게 컨디셔닝 된 ABT사의 패드 표면을 얻기 위하여 패드 표면을 상용으로 사용하는 ABT사의 8인치 컨디셔너를 이용하여 150 g/cm<sup>2</sup>의 압력으로 30분동안 컨디셔닝 하였다. 이후 60분 동안 컨디셔닝 없이 연마를 진행하면서 패드 표면 거칠기의 변화를 관찰하였으며, 자세한 실험 조건은 표 1에 표시하였다. 패드 표면거칠기는 Mitsutoyo SJ-301을 사용하여 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 60분의 연마시간에 각각 측정하였다. 또한 이때 각각의 연마율과 연마형상을 측정하기 위하여 위의 각 실험마다 1분 동안 연마하여 그 값을 평가하였으며, 그 이외의 시간은 더미(dummy) 웨이퍼를 사용하여 연마를 하였다. 연마시간에 따른 표면 거칠기의 변화를 측정하기 위하여 접촉식 표면조도 측정기인 Mitutoyo사의 SJ-301을 사용하였다. 측정된 거칠기 파형 데이터는 가우시안 필터(Gaussian filter)를 거쳐 장파장인 파상도(waviness) 성분을 제거하였으며, ISO, DIN 두 가지의 측정규정에 의해 표면 거칠기 값을 얻었다[6].

그리고 그루브가 연마 불균일도에 미치는 영향을 파악하기 위하여 패드 표면에 동심원타입으로 그루브 밀도를 조절하여 가공하였으며, 이에 따른

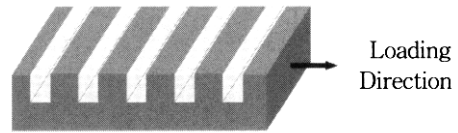


그림 1. 패드의 강성 측정개념도.

Fig. 1. Schematics of measuring the stiffness of pad.

패드강성을 UTM을 사용하여 측정하였다. 그루브에 의한 패드강성의 변화가 연마 불균일도에 미치는 영향을 관찰하였다. 그루브 밀도 실험에 사용된 웨이퍼는 반경방향으로 5 mm EE(edge exclusion)을 적용하여 연마 전후의 박막의 두께를 측정하여 연마율을 산출하였다. 그루브 밀도에 따른 패드의 상대적인 유효강성의 측정은 패드의 동일한 위치에서 시편을 채취하고, 그림 1에서 나타난 것처럼 시편의 표면에 존재하는 그루브의 수직방향으로 하중을 인가하면서 시편의 변위와 변위에 저항하는 힘을 측정하였다. 시편의 변형률은 5 mm/min의 조건으로 Instron사의 Instron4466을 사용하여 측정하였다.

또한 패드 컨디셔닝에 의한 패드 마멸이 연마 불균일도에 미치는 영향을 확인하기 위하여 컨디셔너 속도(W<sub>c</sub>)와 패드 속도(W<sub>p</sub>)의 비(R)를 식 (1)과 같이 정의하였다.

$$R = \frac{W_c}{W_p} \quad (1)$$

컨디셔너 속도와 패드 속도의 비(R)를 조절하여 연마실험을 수행하였고, 이에 따라 패드 표면의 마멸 프로파일을 측정하였다. 이러한 결과를 연마불균일도의 결과와 비교하였다.

따라서 패드 표면 거칠기, 패드 강성 그리고 패드 마멸의 관점에서 패드 표면특성이 연마 불균일도와 관계를 파악하기 위해서 실험을 수행하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 패드 표면의 분석

연마패드는 표면에 불규칙적인 거칠기가 존재하고, 이로 인해서 웨이퍼와 패드의 접촉은 전체 하중을 지지하는 불연속점에서 발생하게 된다. 그림 2는 비접촉 3차원 표면 형상 측정기(Nanoview)를

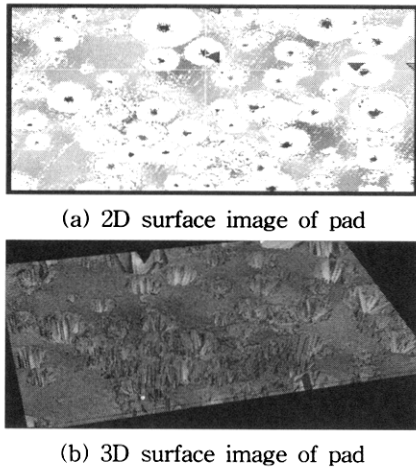


그림 2. 패드 표면의 광학 이미지.  
Fig. 2. 2D and 3D surface image of pad.

이용하여 측정된 패드 표면의 2D(a)와 3D(b) 이미지를 보여주고 있다. 계면에 대하여 임의로 분포하는 서로 다른 크기의 접촉점이 형성되어 있는 전형적인 접촉 계면을 보여주고 있음을 그림 2에서 확인할 수 있다. 연마시점마다 다른 크기의 거칠기의 멀티스케일 때문에 공간적 무질서도가 발생하고, 이로 인하여 웨이퍼의 연마율이 불균일하게 된다. 연마 공정 중에 압력이 증가한다면, 연마시점에서의 패드가 웨이퍼에 접촉하는 면적은 증가하게 되고, 새로운 접촉지점이 생겨서 여러 개의 접촉점은 더 큰 하나의 점점으로 형성될 수도 있다[6].

그리고 Yu등에 의해 연구된 바와 같이 패드와 웨이퍼가 직접 접촉하여 연마가 일어나는 경우, 패드 표면 돌기들의 높이 분포와 돌기 반경의 크기에 의해 접촉 면적과 접촉 압력이 결정되는 것으로 알려져 있다[7]. 따라서 웨이퍼가 접촉하는 패드 면상의 표면 거칠기의 공간적 불균일은 연마 불균일도에 직접적인 영향을 미치게 될 것으로 생각된다. 또한 CMP 공정동안 웨이퍼의 표면이 연마되는 것과 동시에 패드 표면 돌기들도 마멸이 이루어지게 되며, 패드의 돌기 중에서 가장 높은 영역이 먼저 마멸이 진행 될 것이므로, 높이인자(amplitude parameter) 중에서  $R_{pk}$ (Reduced peak height)를 선정하였다[8].

### 3.2 패드 표면거칠기와 연마 불균일도

연마 시간동안 패드의 표면 거칠기( $R_{pk}$ )를 패드의 반경방향으로 측정된 결과를 그림 3에 나타내었다. 여기서 볼 수 있듯이 패드 표면 거칠기는 연

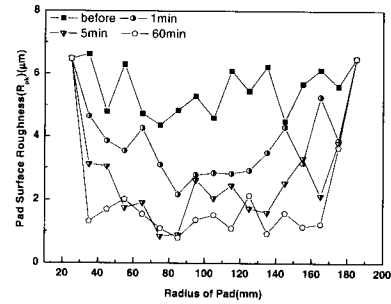


그림 3. 연마시간에 따른 패드 반경방향의 표면 거칠기.  
Fig. 3. Pad surface roughness( $R_{pk}$ ) and the radius of pad with the polishing time.

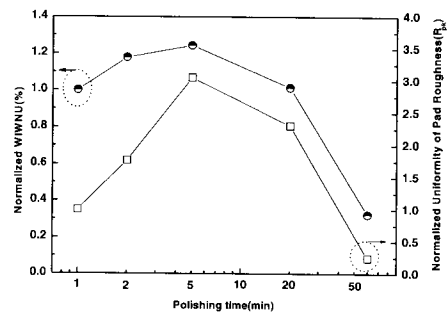


그림 4. 패드 표면 거칠기( $R_{pk}$ )에 따른 연마 불균일도(WIWNU).  
Fig. 4. Uniformity of pad surface roughness ( $R_{pk}$ ) with WIWNU.

마 시간과 반경방향에 대해 변화량이 큰 것을 알 수 있다. 연마시간이 증가할수록 표면 거칠기( $R_{pk}$ )의 값이 감소하는 것을 알 수 있으며, 60분 동안 연마를 한 후의 표면 거칠기( $R_{pk}$ )의 값이 초기값에 비해 현저히 감소했음을 알 수 있다. 또한 동일한 시간대의 표면 거칠기( $R_{pk}$ )가 패드의 반경방향으로 불규칙한 형상을 나타냄을 알 수 있다.

패드 반경방향의 표면 거칠기( $R_{pk}$ )의 변화를 표준화하고, 그 값의 균일도를 측정하였고, 패드 표면 거칠기( $R_{pk}$ ) 변화의 균일도와 연마 불균일도(WIWNU)의 변화를 비교하여 그림 4에 나타내었다. 연마 불균일도는 초기에 표면거칠기( $R_{pk}$ )와 함께 증가하며, 일정 시간이 지난 후 표면거칠기( $R_{pk}$ )가 감소함에 따라 연마 불균일도가 낮아지는 것을 알 수 있다. 이러한 결과로부터 공간상의 패드 표면거칠기( $R_{pk}$ ) 균일도는 연마 불균일도를 직접적으로 결정하는 인자가 됨을 알 수 있다.

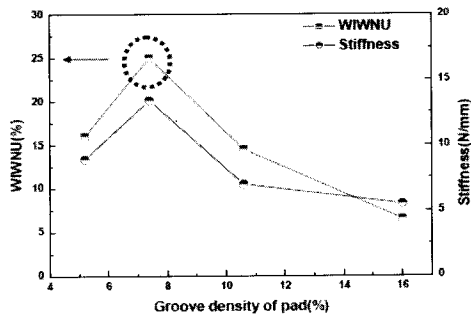


그림 5. 그루브 밀도에 따른 패드강성과 연마불균일도

Fig. 5. WIWNU and relative stiffness of pad with groove density.

### 3.3 패드 표면의 강성과 연마불균일도

표면 거칠기뿐만 아니라 패드의 상부표면에 그루브를 가공함으로써 패드의 표면 특성은 변하게 된다. 즉, 패드 표면에 그루브를 가공하는 것은 패드 고유의 물성에는 변화가 없지만, 상대적인 패드 강성의 변화를 초래하게 된다. 그루브 밀도에 따른 패드의 유효강성을 측정하였고, 이에 따른 연마 불균일도의 결과를 그림 5에 나타내었다. 그루브 밀도의 변화와 패드 강성이 선형성을 나타내지는 않지만, 그루브 밀도가 증가하면 패드 강성이 감소하고, 궁극적으로 연마 불균일도가 감소하는 것을 알 수 있다.

또한 패드 강성과 연마 불균일도의 실험결과에서 연마 후의 박막의 연마율 형상을 측정하고, 측정값을 표준화시켜 그림 6에 나타내었다. 패드의 강성이 증가할수록 연마 프로파일은 박막의 중심보다 가장자리 부분이 현저히 연마율이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 현상은 edge effect와 연관 지어서 생각할 수 있다. 또한 Baker의 연구에서 웨이퍼의 중심보다는 외주부근에서 압력이 불균일하게 집중하고, 연마 공정 중 패드 강성의 의해서 웨이퍼의 압력분포와 패드 변형량의 차이가 발생한다고 설명하고 있다[3]. 즉, 패드 강성의 차이가 웨이퍼 외주의 연마 불균일 현상을 초래한다는 Baker의 연구와 일치하는 실험결과에서 알 수 있다.

이러한 실험 결과로부터, 그루브 밀도에 따른 패드의 강성(stiffness)과 연마 불균일도(WIWNU)는 강한 상관관계를 나타냄을 확인할 수 있다. 또한 패드 표면에 그루브를 가공함으로써 패드의 유효강성을 감소시켜 연마 불균일도를 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

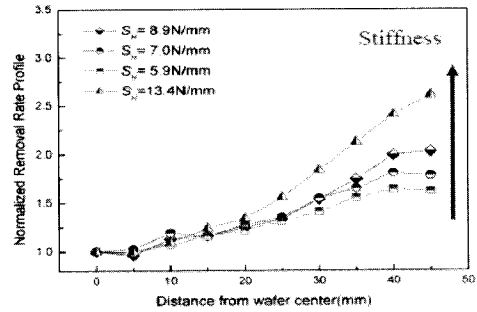


그림 6. 패드 강성과 박막의 연마 프로파일 비교.  
Fig. 6. Relative stiffness of pad and normalized removal rate profile.

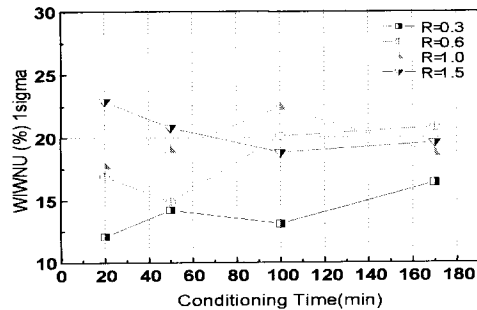


그림 7. 패드 표면 마멸과 연마 불균일도.

Fig. 7. WIWNU and the wear of pad surface with the ratio R.

### 3.4 패드 표면의 마멸과 연마불균일도

박막의 재료 제거량의 신뢰성과 재현성을 위해서 CMP 공정에서 컨디셔닝(conditioning) 공정을 수행하는 것으로 일반적으로 알려져 있다. 그러나 이러한 컨디셔닝 공정은 패드 표면의 불규칙적인 마멸을 초래하여 패드의 형상을 변화시킬 수 있다 [9]. 즉, 연마 시 주기적인 컨디셔닝 공정에 의해서 패드의 마멸이 발생하게 되고, 이러한 컨디셔닝 공정 시 컨디셔너와 패드의 속도비에 따라 불균일한 패드 마멸이 연마 불균일도에 영향을 미치게 된다.

컨디셔너 속도( $W_c$ )와 패드 속도( $W_p$ )의 비(R)에 따라 컨디셔닝을 수행하였고, 패드 마멸과 연마 불균일도의 결과를 그림 7에 나타내었다. 속도비 인자(R)의 변화와 연마 불균일도는 선형적인 결과를 보여주지는 않음을 확인할 수 있다. 그러나 속도비 인자(R)에 따른 패드 마멸이 연마 불균일도에 영향을 미친다는 것은 명확히 확인할 수 있다. 컨디

서너와 패드의 속도비(R)가 0.3일 때 연마 불균일도가 가장 낮음을 알 수 있다. 컨디셔닝 공정에 따른 패드의 마멸량을 정량적으로 확인할 수는 없지만, 패드 마멸이 연마 불균일도에 미치는 영향은 파악할 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 패드 표면특성 중에서 표면거칠기, 패드 강성 그리고 패드 마멸이 연마 불균일도에 미치는 영향을 알아보았다.

패드 표면 거칠기( $R_{pk}$ )는 연마 불균일도에 직접적으로 영향을 미치는 것이 실험적으로 확인되었으며, 표면 거칠기의 불균일도가 감소할수록 연마 불균일도는 감소하였다.

또한 패드 표면에 그루브를 가공함으로써 패드의 상대적인 유효강성이 감소하여 연마 불균일도는 감소하는 결과를 얻을 수 있었다.

그리고 컨디셔너 속도와 패드의 속도비(R)에 따른 컨디셔닝에 따라 패드의 불균일한 마멸이 발생되며, 컨디셔너와 패드의 속도비(R)가 0.3일 때 가장 낮은 연마 불균일도를 나타냄을 알 수 있었다.

패드의 표면특성이 연마 불균일도에 미치는 영향을 명확히 파악하기 위해서는 이러한 인자들에 대한 마찰력의 변화를 고려한 실험이 진행되어야 할 것이다.

#### 참고 문헌

- [1] P. Singer, *Semiconductor International*, Vol. 6, p. 90, 1998.
- [2] S. H. Li, "Chemical Mechanical Polishing in Silicon Processing", Academic Press, p. 186, 2000.
- [3] A. R. Baker, "The origin of the edge effect in CMP", *Proc. 1996 Electrochemical Society*, p. 229, 1996.
- [4] C. S. Murthy, *CMP MIC Conference*, Vol. 200, p. 281, 1997.
- [5] K. H. Park, J. W. Jung, B. Y. Park, H. D. Seo, H. S. Lee, and H. D. Jeong, "A study on the within wafer non-uniformity of oxide film in CMP", *J. of KIEEME(in Korean)*, Vol. 18, No. 6, p. 521, 2005.
- [6] B. Bhushan, 김청균, "마이크로/나노 트라이볼로지", Korean Translation Copyright©2000 by The Korea Economic Daily&Business Publication Inc., p. 76, 2000.
- [7] <http://www.taylor-hobson.com>
- [8] T. K. Yu, C. C. Yu, and M. Orłowski, "A statistical polishing pad model for chemical mechanical polishing", *IEEE*, p. 29, 1994.
- [9] M. R. Oliver, "Chemical Mechanical Planarization of Semiconductor Materials", *Physics and Astronomy*, p. 260, 2003.