

## 산화막 CMP에서 패드 두께가 연마율과 연마 불균일도에 미치는 영향

배재현<sup>1</sup>, 이현섭<sup>1</sup>, 박재홍<sup>2</sup>, 니시자와 히데키<sup>2</sup>, 키노시타 마사하루<sup>2</sup>, 정해도<sup>3,a</sup>

<sup>1</sup> 부산대학교 기계공학부 정밀가공시스템전공

<sup>2</sup> Nitta Hass Incorporation

<sup>3</sup> 부산대학교 기계공학부

### Effect of Pad Thickness on Removal Rate and Within Wafer Non-Uniformity in Oxide CMP

Jaehyun Bae<sup>1</sup>, Hyunseop Lee<sup>1</sup>, Jaehong Park<sup>2</sup>, Hideaki Nishizawa<sup>2</sup>, Masaharu Kinoshita<sup>2</sup>, and Haedo Jeong<sup>3,a</sup>

<sup>1</sup> Graduate School of Mechanical Engineering, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea

<sup>2</sup> Nitta Hass Incorporation, Kyoto 610-0333, Japan

<sup>3</sup> School of Mechanical Engineering, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea

(Received March 17, 2010; Accepted April 12, 2010)

**Abstract:** The polishing pad is important element for polishing characteristic such as material removal rate(MRR) and within wafer non-uniformity(WIWNU) in the chemical mechanical planarization(CMP). The result of the viscoelasticity measurement shows that 1st elastic modulus is increased and 2nd elastic modulus is decreased when the top pad is thickened. The finite element analysis(FEA) was conducted to predict characteristic of polishing behavior according to the pad thickness. The result of polishing experiment was similar with the FEA, and it shows that the 1st elastic modulus affects instantaneous deformation of pad related to MRR. And the 2nd elastic modulus has an effect on WIWNU due to the viscoelasticity deformation of pad.

**Keywords:** Chemical mechanical planarization (CMP), Pad thickness, Viscoelasticity, Material removal rate (MRR), Within wafer non-uniformity (WIWNU)

#### 1. 서론

화학기계적평탄화(chemical mechanical planarization; CMP)는 다층, 고집적 반도체에 필수적으로 적용되는 공정기술이다 [1].

CMP 공정에 사용되는 연마 패드(pad)는 웨이퍼(wafer)에 가해지는 가공압력을 지지해주며 슬러리

(slurry)를 웨이퍼 면내로 전달시켜주는 역할을 한다 [2]. 그리고 슬러리 속에 포함되어 있는 연마 입자를 웨이퍼 표면에 대해 수직으로 가압하고 수평으로 구름운동을 시켜 원활한 연마가 일어나도록 한다 [3].

이러한 기능을 하는 패드는 주어진 하중에 대해 고분자 물질의 거동 특성인 탄성 거동과 점탄성 거동을 보이며 [4], 연마작용 동안 웨이퍼에 직접적으로 접촉을 하여 연마결과에 영향을 미치게 된다. 그러므로

a. Corresponding author; hdjeong@pusan.ac.kr

웨이퍼의 연마율(removal rate)이나 연마 불균일도(within wafer non-uniformity; WIWNU)는 패드의 거동특성에 지배적인 영향을 받게 된다.

Bastawros 등은 수치적 해석을 이용하여 연마율에 영향을 미치는 패드와 웨이퍼 간의 접촉 압력은 패드 표면의 물리적인 특성에 의해 결정된다고 하였다 [5].

Park 등은 패드 표면 거칠기는 연마 불균일도에 직접적으로 영향을 미치는 인자임을 실험적으로 확인하였다. 그리고 패드 표면의 그루브(groove) 가공을 함으로써 상대적인 유효강성이 감소하여 연마 불균일도가 감소하는 결과를 얻을 수 있었다 [6].

이와 같이 패드의 표면 거칠기나 그루브 등 CMP의 연마특성에 미치는 패드의 물리적 특성에 대한 많은 연구가 있었지만, 패드두께의 영향에 대해서는 명확하게 제시되지 않았다. 따라서 본 실험에서는 패드 두께와 연마특성과의 상관관계에 대해 조사하고자 한다.

## 2. 실험

### 2.1 패드의 점탄성 측정

상용으로 사용되는 대부분의 패드는 폴리우레탄 계열의 고분자물질이다. 그러므로 패드는 일반적인 고분자 물질의 거동특성과 동일하게 하중이 가해졌을 때 순간적인 변형을 보이는 탄성거동과 시간이 지남에 따라 변형이 회복되는 점탄성거동, 그리고 시간이 지나도 회복되지 않는 점성거동을 동시에 보인다.

패드의 거동특성은 그림 1(a)과 같이 4요소 버거스 모델(4-element burger's model)로 나타낼 수 있다 [7]. 모델의 각 요소를 살펴보면 직렬로 연결된 스프링 요소  $E_1$ (1st elastic modulus)은 순간적인 변형과 회복의 특성에 영향을 미치며, 병렬로 연결된 스프링  $E_2$ (2nd elastic modulus)와 대쉬팟(dashpot)  $\eta_2$  요소는 시간경과에 의한 점탄성 거동에 영향을 미친다. 또한 직렬 연결된 대쉬팟  $\eta_1$  요소는 패드의 영구변형을 유발하는 점성거동을 나타내는 인자이다.

이러한 패드의 거동특성을 측정하기 위해 그림 1(b)의 점탄성 측정기를 사용하여 하중을 주기적으로 부가·제거하면서 패드의 압축·회복 특성을 확인하였다.

본 실험에서는 연마 특성 비교의 기준으로서 그림 2(a)와 같은 연결단층패드(SUBA400)를 사용하였으며, 두께에 대한 영향을 확인하기 위하여 그림 2(b), (c)와 같이 연/경질 복층패드(Nitta Hass Inc., Japan)

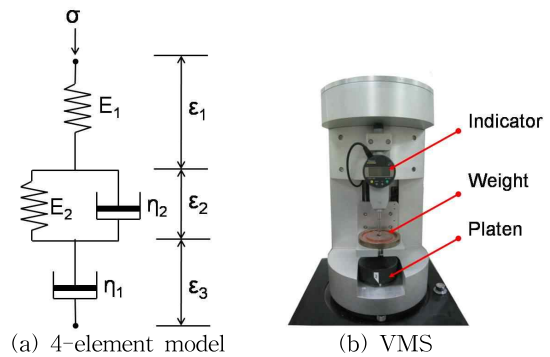


Fig. 1. 4-element burger's model(a) and Visco-elasticity measurement system(VMS)(b).

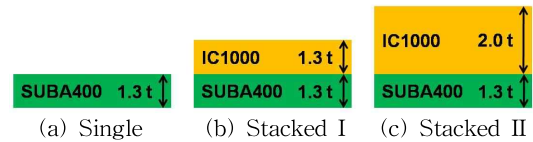


Fig. 2. Type of pad.

의 상부패드(IC1000) 두께를 1.3 mm와 2.0 mm로 달리하였다

### 2.2 시뮬레이션

패드의 두께 변화에 따른 웨이퍼의 연마 특성을 알아보기 위해 유한 요소법(finite element analysis; FEA)으로 시뮬레이션을 수행하였다.

그림 3은 시뮬레이션을 위한 2차원 모델이다.

시뮬레이션을 구성하는 웨이퍼, 패드, 리테이너 링(retainer ring), 지지 필름(backing film)은 탄성거동을 하는 등방성 물질이라 고려하며, 웨이퍼와 상부 패드의 요소 망(mesh)을 0.05 mm, 그 외의 물질은 0.1 mm 크기로 나누었다. CMP 공정 중에서 패드와 연마 헤드(head)의 회전과 슬러리의 영향은 무시하고 단순 접촉상태에서 압력을 가한다고 가정한다.

CMP 공정 중의 연마율은 주로 식 (1)과 같은 프레스턴 방정식(Preston's equation)으로 표현 된다 [8].

$$MRR = C_p \cdot P \cdot V \tag{1}$$

여기서  $P$ 는 연마압력,  $V$ 는 상대속도,  $C_p$ 는 프레스턴 상수(Preston constant)이다.

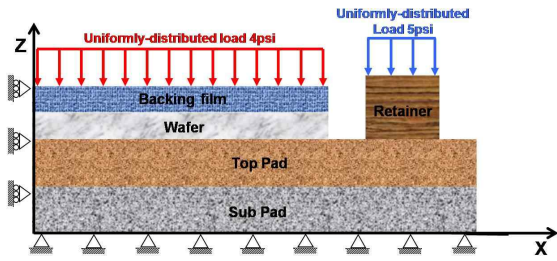


Fig. 3. 2-dimensional model for FEA.

Table 1. Experimental condition.

Parameter	Conditions		
Polisher	GnP POLI500		
Material	8 inch oxide wafer		
Pad	Single	Stacked I	Stacked II
Slurry	ILD3225		
Slurry flow rate	200 ml/min		
Velocity	Head: 80 rpm	Platen: 80 rpm	
Pressure	Wafer: 4 psi	Retainer: 5 psi	

연마실험에서 패드와 연마 헤드의 회전 속도는 동일하기 때문에 상대속도는 일정하다고 가정할 수 있다 [9]. 결과적으로 압력이 연마율에 가장 큰 영향을 미치는 인자라고 생각 할 수 있으므로, 시뮬레이션을 통해 웨이퍼 표면의 압력 분포를 해석하였다.

### 2.3 연마실험

연마패드의 두께가 웨이퍼의 연마특성에 미치는 영향에 대한 시뮬레이션의 결과를 검증하기 위해 연마실험을 수행하였으며, 공정 조건은 표 1과 같다.

본 연구에서는 GnP Technology 사의 POLI500 연마기를 사용하였으며, CMP 후 박막두께측정기를 이용하여 연마 전·후의 박막두께를 직각 좌표계 형태로 측정하고 이를 계산하여 연마율과 연마 균일도( $1\sigma$ )를 계산하였다.

연마실험의 재현성에 대한 신뢰도를 평가하기 위해 먼저 3장의 더미(dummy) 웨이퍼로 연마를 하여 패드 표면을 안정화시킨 뒤, 2장의 모니터링(monitoring) 웨이퍼로 실험을 수행하였다.

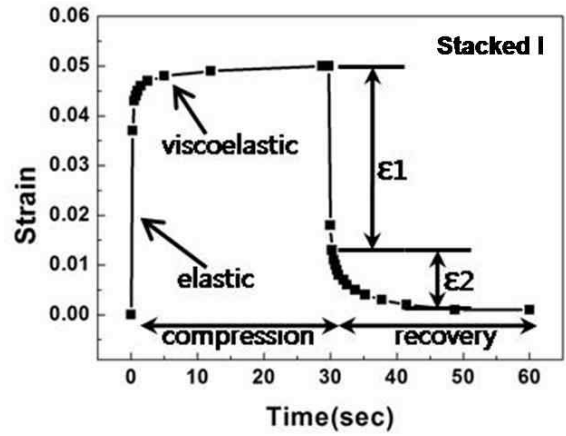


Fig. 4. Compression and recovery behavior of pad.

Table 2. Pad property.

Pad	E1 (kpa)	E2 (kpa)
Single	1438	2557
Stacked I	8103	23077
Stacked II	9138	14345

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 패드 점탄성 측정 결과

점탄성 측정 실험을 통해 하중의 부가·제거에 따른 패드의 압축·회복 특성을 확인할 수 있다.

그림 4는 Stacked I의 점탄성 측정 결과이다. 0-30 초 동안은 하중의 부가에 따른 패드의 변형량을 나타내며, 30-60 초 동안은 하중의 제거에 따른 패드의 회복량을 나타낸다. 초기에 하중이 부가 될 때 순간적으로 변형량이 증가한 구간이 탄성 변형구간이며, 시간이 지남에 따라 변형량이 서서히 증가한 구간이 점탄성변형구간이다. 그리고 하중이 제거되는 순간에 탄성 변형되었던 만큼의 변형량이 회복되었고, 시간이 흐름에 따라 나머지 변형량도 서서히 회복을 한다. 점탄성 특성에 의한 영구변형도 발생하였으나 그 값이 매우 작아 변별력이 없으므로 무시한다.

후의 법칙(Hook's law)에서 식 (2)와 같이 탄성 계수는 변형률에 반비례하므로 점탄성 측정을 통해 구한 탄성 변형( $\epsilon_1$ )과 점탄성 변형( $\epsilon_2$ )을 사용하여 탄성계수( $E_1$ )과 점탄성계수( $E_2$ )를 구한다.

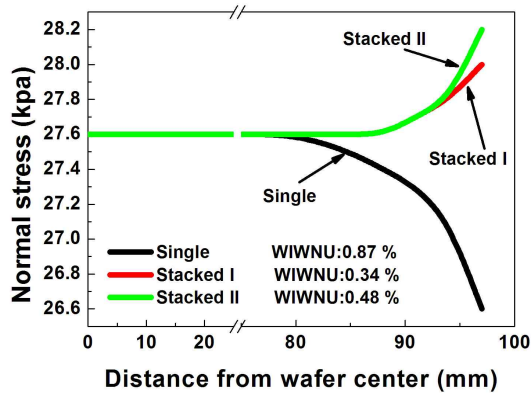


Fig. 5. Stress distribution on wafer.

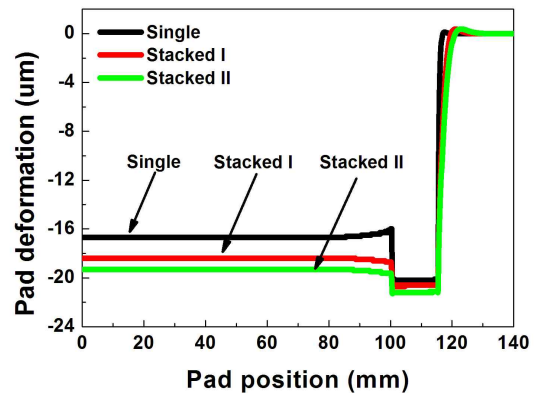


Fig. 6. Pad deformation.

$$\epsilon = \sigma \cdot \frac{1}{E} \quad (2)$$

각각의 패드에 대한 물성치 측정 결과는 표 2와 같다.

### 3.2 시뮬레이션 결과

시뮬레이션을 통해 도출된 웨이퍼 표면의 압력분포와 패드의 변형량을 각각 그림 5과 그림 6에 도시하였다.

산화막 CMP에서 연마율은 압력에 큰 영향을 받으므로 각각의 패드에 대한 웨이퍼 표면의 압력분포를 통해 연마 균일도를 예상할 수 있다. 따라서 Stacked가 Single에 비해 좀 더 균일한 연마율을 보인다고 생각할 수 있다.

그림 6의 패드 변형 그래프에서 0-100 mm는 웨이퍼에 의한 패드의 변형, 100-115 mm는 리테이너 링에 의한 패드의 변형을 나타낸다. 그림 6에서 동일한 하중일 때 패드의 변형이 큰 것이 더 많은 가공압력을 지지한다고 볼 수 있으므로, 패드 변형이 상대적으로 큰 Stacked II에서 연마율이 가장 높게 나올 것으로 생각된다.

### 3.3 연마 결과

표 3에 서로 다른 패드를 사용하여 연마를 수행하였을 때의 연마율과 연마 불균일도를 나타내었다.

Table 3. Results of polishing experimental.

Pad	MRR ( $\text{\AA}/\text{min}$ )	WIWNU (%)
Single	825	17
Stacked I	2953	4.8
Stacked II	3059	11.2

시뮬레이션을 사용하여 예측하였던 결과와 같이 연마율은 Stacked II일 때 가장 많고, Single일 때 가장 작다. 연마 불균일도에 대해서는 Stacked가 Single에 비해 상대적으로 더 균일한 연마 결과를 나타냄을 알 수 있다.

#### 3.3.1 연마율에 대한 영향

패드의 두께가 연마율에 미치는 영향에 대해 분석을 하였다.

일반적으로 웨이퍼와 접촉하고 있는 패드의 탄성이 다른 경우에는 연마압력의 차이에 의해 연마율이 달라지므로 [3,10] 패드 종류에 따른 패드의 1차 탄성율과 연마율을 알아보았다.

그림 7에서와 같이 1차 탄성율이 높은 패드, 즉 상부패드가 두꺼운 경우에는 연마율이 높게 나오며, 이를 통해 패드의 1차 탄성율과 연마율에는 큰 상관관계가 있다는 것을 알 수 있다. 이는 연마가 일어나는 순간의 패드와 웨이퍼의 접촉 시간은 아주 작기 때문에 시간-지연변형을 보이는 2차 탄성율의 영향은 상대적으로 작아지며 순간변형을 보이는 1차 탄성율의 영향이 연마에 지배적인 영향을 미치는 것이라고 생각할 수 있다.

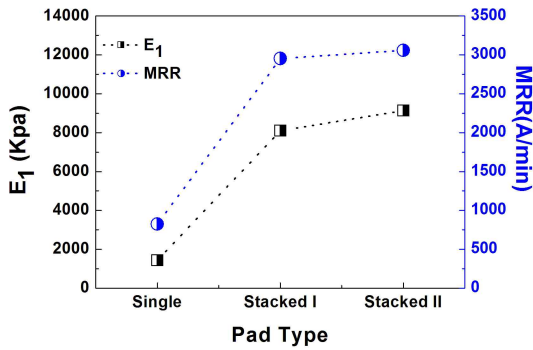


Fig. 7. 1st elastic modulus and removal rate according to pad type.

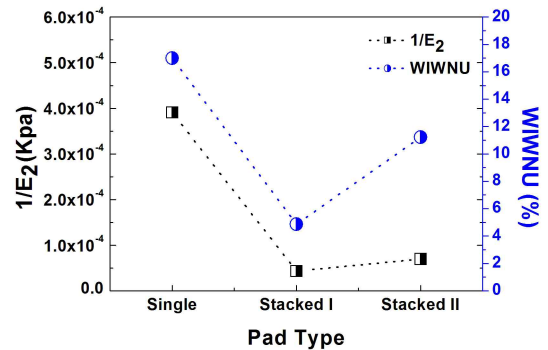


Fig. 9. 2nd modulus and WIWNU according to pad type.

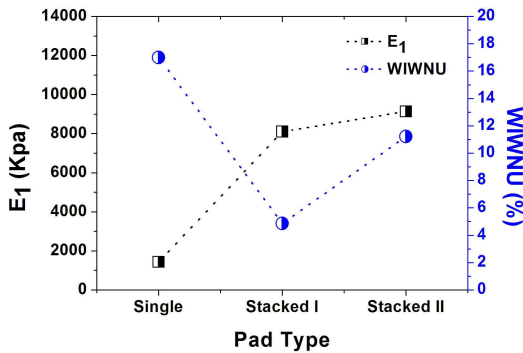


Fig. 8. 1st elastic modulus and WIWNU according to pad type.

3.3.2 연마 불균일도에 대한 영향

패드의 두께가 연마 불균일도에 미치는 영향에 대해 결과를 분석하였다. 일반적으로 연질패드의 경우 웨이퍼 표면의 굴곡 추종성이 양호하기 때문에 연마 균일도가 높다. 이러한 특성을 확인하기 위해 패드 종류에 따른 연마 불균일도와 패드의 1차 탄성율을 알아보았다.

그림 8에서 Single은 매우 연질패드임에도 상대적으로 경질인 적층패드보다 연마 불균일도가 높게 나타났다. 이를 통해 웨이퍼의 연마 불균일도는 패드 표면의 연·경질 특성, 즉 1차 탄성율에만 영향을 받는 것이 아니라 다른 인자에 의해 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.

이러한 경향은 CMP 공정 중 패드와 웨이퍼의 회전에 의해 패드에 주기적인 하중이 가해지기 때문이라

생각된다. 하중에 의한 패드의 탄성변형과 점탄성 변형 중에서 완전히 회복하지 못한 점탄성 변형성분에 의해 패드의 변형이 누적되어 패드 반경방향의 두께가 달라진다. 불규칙한 패드의 두께는 웨이퍼 표면의 불균일한 압력분포나 슬러리 유동특성 등에 영향을 미치게 되어 불균일한 연마를 초래 할 것이라 생각된다.

즉, 연마 불균일도는 점탄성 변형에 영향을 받으며, 점탄성 거동은 후의 법칙에 의하여 점탄성계수의 역수에 비례하게 된다.

그림 9에서와 같이 연마균일도와 2차 탄성계수의 역수는 매우 높은 상관관계를 가진다는 것을 알 수 있으며 연마 불균일도는 패드의 누적변형에 관여하는 점탄성 거동에 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 패드의 두께가 산화막 CMP의 연마율과 연마 균일도에 미치는 영향에 대해 연구하였다. 패드의 점탄성 측정 결과를 통해 상부패드가 두꺼워질수록 1차 탄성율이 커지고, 2차 탄성율은 감소함을 알 수 있었다. 시뮬레이션을 사용하여 패드두께변화 따른 연마 특성에 대해 예측해 보았고, 연마실험을 통해 시뮬레이션의 타당성을 검증하고 패드두께변화에 따른 탄성·점탄성 변화와 연마특성의 상관관계를 조사하였다.

연마율의 경우에는 실제 연마에서 패드와 웨이퍼의 접촉 시간이 짧기 때문에 패드의 순간적인 탄성변형에 영향을 미치는 1차 탄성율이 연마율과 큰 상관관계가 있다는 것을 알 수 있다.

연마 균일도는 CMP 공정 중 완전히 회복되지 못한 패드의 점탄성 변형에 큰 영향을 받기 때문에 패

드의 2차 탄성율의 역수에 비례함을 알 수 있다.

동일한 물질로 만들어진 패드일지라도 두께에 따라 연마에 영향을 미치는 탄성율과 점탄성율이 달라지기 때문에 연마 시에는 패드의 두께에 대한 영향도 고려하는 것이 바람직하다.

### 감사의 글

본 연구는 2단계 BK21 사업 및 과학기술부/한국과학재단 국가핵심연구센터사업 (R15-2006-022-01003-3) 지원으로 수행되었음.

### REFERENCES

- [1] P. B. Zantye, A. Kumara, and A. K. Sikder, *J. Mater. Sci.* **R45**, 89 (2004).
- [2] D. Wang, J. Lee, K. Holland, T. Bibby, S. Beaudoin, and T. Cole, *J. Electrochem. Soc.* **144**, 1121 (1997).
- [3] C.-W. Liu, B.-T. Dai, W.-T. Tseng, and C.-F. Yeh, *J. Electrochem. Soc.* **143**, 716 (1996).
- [4] J. M. Steigwald, Shyam P. Murarka, Ronald J. Gutmann, *Chemical mechanical planarization of microelectronic materials* (John Wiley & Sons, New York, 1997) p. 66.
- [5] A. Bastawros, A. Chandra, Y. Guo, and B. Yan, *J. Electro. Mater.* **31**, 1022 (2002).
- [6] K. H. Park, B. Y. Park, H. J. Kim, and H. D. Jeong, *J. KIEEME* **19**, 309 (2006).
- [7] W. Flugge, *Viscoelasticity* (Springer-Verlag, Berlin, 1975) p. 4.
- [8] F. Preston, *Glass Tech.* **11**, 214 (1927).
- [9] C. Srinivasa-Murthy, D. Wang, S. P. Beaudoin, T. Bibby, K. Holland, and T. S. Cale, *Thin Solid Films*, **308-309**, 535 (1997).
- [10] H. J. Kim, H. Y. Kim, and H. D. Jeong, *J. of KSPE(in Korean)* **7**, 188 (2000).