

논문 20-10-2

연마성능 제어를 위한 연마패드표면 해석과 개선

Polishing Pad Analysis and Improvement to Control Performance

박재홍^{1,2}, 키노시타 마사하루¹, 요시다 코이치¹, 박기현², 정해도^{2a}
(Jaehong-Park^{1,2}, Masaharu Kinoshita¹, Koichi Yoshida¹, Kihyun-Park², and Hae-Do Jeong^{2a})

Abstract

In this paper, a polishing pad has been analyzed in detail, to understand surface phenomena of polishing process. The polishing pad plays a key role in polishing process and is one of the important layer in polishing process, because it is a reaction layer of polishing[1]. Pad surface physical property is also ruled by pad profile. The profile and roughness of pad is controlled by different types of conditioning tool. Conditioning tool add mechanical force to pad, and make some roughness and profile. Formed pad surface will affect on polishing performance such as RR (Removal Rate) and uniformity in CMP. Pad surface condition is changed by conditioning tool and dummy run and is stable at final. And this research, we want to reduce break-in and dummy polishing process by analysis of pad surface and artificial machining to make stable pad surface. The surface treatment or machining enables to control the surface of polishing pad. Therefore, this research intends to verify the effect of the buffing process on pad surface through analysis of the removal rate, friction force and temperature. In this research, urethane polishing pad which is named IC pad(Nitta-Haas Inc.) and has micro pore structure, is studied because, this type of pad is most conventional type.

Key Words : CMP(Chemical mechanical planarization), Conditioning, Break-in, Profile, Wettability

1. 서론

연마용 패드는 CMP공정에서 연마액의 운반과 연마 시 반응계면으로서의 역할을 수행하는 중요한 구성 요소의 하나이다. 현재 일반적으로 쓰여지고 있는 CMP용 연마패드는 우레탄 계열의 수지로 구성되어져 내부에 수많은 미세 포어(Pore) 구조를 가진 패드가 사용되어지고 있다. 미세 포어는 연마 중 가해지는 압력조건에서 연마입자와 화학 성분으로 이루어진 연마액을 가공 중의 웨이퍼 하부면까지 운반하여 연마능력을 유지해주는 기능을 담당한다. 우레탄수지로 구성된 패드의 단면은 다

이아몬드입자가 표면에 전착 고정되어진 드레서공구로 그 표면 거칠기를 생성 유지하면서 연마능력을 유지하는 공정(컨디셔닝)을 거쳐 연마능력을 유지해 준다. 연마패드의 상부면은 직접 가공물과 접촉하여 연마가공을 수행하는 반응계면으로 그 물리적 특성은 연마 성능에 영향을 미치게 된다. 이러한 물리적 특성으로는 표면의 거칠기, 표면의 형상(Profile), 패드 전체의 강성, 패드의 점탄성 특성 등이 있다[2,3].

연마용 패드의 경우는 본 공정에 앞서 Break-In이라는 패드의 안정화 조건이 필요한데 이는 패드 표면이 전체적으로 안정된 수준의 조건에 이르게 하기 위한 장시간의 컨디셔닝 공정이다. (그림 1) Break-In공정의 의미로는 첫째, 연마가 발생하는 계면 즉, 패드 표면의 거칠기를 전면에 균일하게 그리고 특정 거칠기 수준까지 생성시키기 위함이며, 두 번째 의미는 새 패드의 표면에 생성되어져 있는 형상을 안정되고 일정하게 생성시키기 위함이다.

1. 니따하스 주식회사
2. 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구소
(부산시 금정구 장전동 산 30)
a. Corresponding Author : hdjeong@pusan.ac.kr
접수일자 : 2007. 8. 21
1차 심사 : 2007. 9. 12
심사완료 : 2007. 9. 18

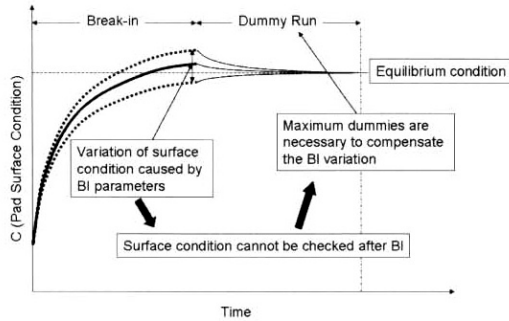


그림 1. 패드표면의 안정화.
Fig. 1. Stabilization of pad surface condition.

그 이후에도 본 연마공정에 앞서 Dummy연마와 중간 컨디셔닝 공정을 반복적으로 수행해 가면서 패드 표면의 거칠기와 형상을 안정된 상태로 유지하는 공정을 필수적으로 수행하고 있다. 이는 연마능력을 안정화 시키는 일에도 직결되며 그로서 연마 후 결과물의 일정한 품질을 유지하고자 하는 의도에서 행하여진다. 본 연구는 Break-In후의 패드표면을 해석 관찰하여 그 상태를 파악하고 그 표면 상태를 전 단계의 공정, 즉 특정의 표면처리 가공을 이용하여 Break-In공정을 단축 또는 제거하는 목적을 두고 수행되었다[4].

2. 패드 표면과 표면처리 공정

2.1 패드 표면 처리 공정

패드의 표면처리 공정에서는 물리력을 가해 패드 표면에 특정의 거칠기와 형상을 생성시키는 과정을 수행하였다. 이때 사용한 툴(Tool)로는 입자크기에 의해 고정되어진 형태의 것을 사용하였다.

표면처리 후 패드의 표면은 초기 표면 상태와는 상이한 물리적인 특성을 가지게 된다. 표 1은 표면처리 가공에 의해 영향을 받는 물리적 특성을 정리한 것이다.

표 1. 표면처리에 의한 패드의 영향.

Table 1. Affected factors by Surface treatment.

Buffing Factors	Buffing Effect	Dominant Factors	Measurement
Surface roughness	Pad stabilization time	Surface roughness / Waviness	Possible
Modulus (NU)	Removal rate	Modulus (NU)	Possible
Hydrophilicity	Uniformity	Contact area	Difficult
Hardness (NU)	TTV	Compressibility	Possible
Thickness	Roughness	<i>Dominant Effect</i>	
Flatness	Friction force	Break-in (pad stabilization) time	
Contact area	Temperature	Removal rate and uniformity	
Abrasion resistance	Defects	TTV	
Compressibility		Friction force and Temperature	

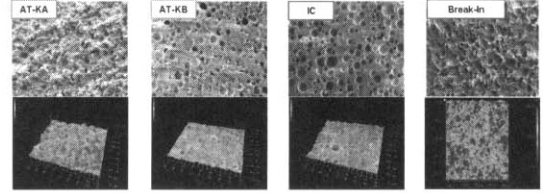


그림 2. 샘플패드 표면 이미지(SEM).
Fig. 2. SEM Image of sample pads.

2.2 표면처리에 따른 물성의 변화

SEM Image

그림 2는 연마패드의 표면에 기계적인 물리력을 가하여 가공하는 방법을 이용하여 처리 되어진 패드와 미처리된 패드표면의 SEM (Scanning Electron Microscope) 사진이다. 표면처리 가공의 경우 툴의 입자 크기를 두 종류를 선택하여 가공하였다. 입자 크기가 150 um인 경우가 IC AT-KA, 입자 크기가 70 um인 경우가 IC AT-KB로 표시하였다. IC AT-KA에서 가장 거친 표면을 관찰할 수 있으며, IC AT-KB가 그 다음 단계의 거칠기를 가지고 있음을 시각적으로 관찰할 수 있다. 미처리패드(IC)의 경우는 포어 사이의 패드 표면에서 거칠기가 그다지 형성되어 있는 양을 관찰할 수 있었다.

거칠기(Roughness) & asperity height distribution

표 2는 제작되어진 샘플 패드의 거칠기를 비접촉식 광학계(Laser confocal microscope)를 이용하여 측정된 결과이다. 측정영역을 200 um x 200 um에 설정한 경우에는 SEM이미지와 상관관계가 관찰하기 어렵고, 재현성이 확보되지 않았으나, 측정영역을 18 um x 18 um로 측정된 경우는 각 sample

표 2. 각 샘플 패드의 표면 거칠기.

Table 2. Roughness of sample pads.

Measurement Condition				
Equipment: Lazertec Inc. (Laser micro-scope1LM21D)				
Lens: x 100				
Source: HeNe Laser (λ = 639 nm)				
Scanning depth: ± 10 μm / Resolution: 0.03 μm				
Scanning Area (wall): 18 × 18 μm × 5point				
Ra (um)	AT-KA	AT-KB	IC	BI후
1	1.75	1.25	0.45	1.53
2	2.62	1.64	0.53	1.93
3	2.70	0.99	0.63	2.56
4	1.77	1.81	0.67	1.29
5	1.75	1.10	0.63	1.40
Ave.	2.12	1.36	0.58	1.74

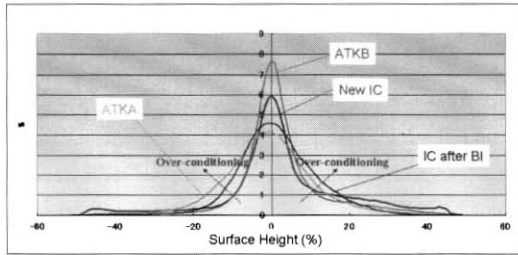


그림 3. 각 샘플패드의 높이에 따른 거칠기 분포.
Fig. 3. Asperity height distribution of samples.

간의 거칠기가 확연하게 차이를 나타내고 있다. 이 결과로 넓은 측정영역의 경우에는 포어의 존재로 인해 실제 거칠기 차가 판단하기 어려운 반면, 좁은 영역, 특히 포어 사이의 패드 표면만을 측정하는 경우가 실제 샘플의 거칠기 차를 관찰 할 수 있는 것으로 판단되어진다. 거칠기의 측정 비교결과로는 IC AT-KA가 가장 높은 거칠기를 나타내며, Break-In후 패드표면 거칠기와 가장 유사한 거칠기를 생성 할 수 있음을 관찰 하였다.

거칠기의 분포 확률 그래프는 표면의 거칠기 상태를 파악하는데 유용하다[4]. 그림 3은 이상의 결과에서 얻어진 패드 거칠기의 정보에서 실제 패드의 돌기 즉 일정 높이에서의 거칠기가 존재확률을 해석한 결과이다. IC AT-KA와 IC AT-KB의 경우는 전체적으로 포어의 분포상태가 미처리 패드에 비해 상이한 결과로 관찰되어지므로 Break-In후 패드 표면과 같이 Over-conditioning된 표면 상태를 나타내고 있다. IC AT-KB의 분포에서는 중앙에 분포되어진 거칠기 성분이 상대적으로 높게 나타나고 있는데 이는 표면에 제어된 거칠기가 형성되어져 있음을 나타내고 있는 결과이다.

Surface zeta potential

일반적으로 Break-In후의 패드표면은 초기의 발수성면과 달리 어느 정도의 친수성을 나타내고 있는데 이를 일반적인 액적 각도측정에 의한 정량화는 포어의 존재에 의해 신뢰성 있는 데이터를 취득할 수 없다. 본 연구에서는 Break-In후의 패드의 표면 Zeta potential을 측정함으로써 표면 처리 공정의 유효성을 확인하고자 했다[5]. 그림 3은 전체 샘플패드의 측정결과와 측정 장치의 개념도이다. 마이너스에 차지되어진 입자의 유동성을 측정하여 패드표면의 마이너스 차지도를 측정하는데 Break-In후 패드 표면의 Zeta-potential이 상승하는 것을 관찰 할 수 있다. 이는 입자가 패드 표면에 존재할 확률이 높아지는 것을 의미하며 간접적으로 패드

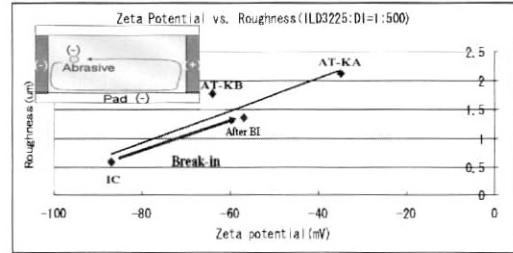


그림 4. 각 샘플 패드의 표면 제타 포텐셜.
Fig. 4. Surface zeta potential of sample pads.

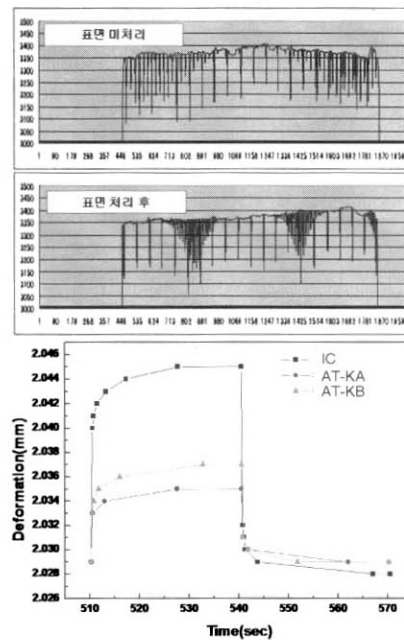


그림 5. 패드의 프로파일과 변형량.
Fig. 5. Pad profile & deformation.

표면의 친수성화를 보여주고 있다. IC AT-KA, KB 패드가 Break-In후의 패드 표면 이상으로 zeta-potential이 상승되어 있음을 알 수 있으며 패드의 표면 거칠기와 zeta-potential이 비례하고 있는 결과를 보여 주고 있다.

Pad profile & deformation

그림 5는 표면처리 전후의 패드 표면 형상 즉 프로파일과 각 샘플의 가압 시 변동량을 측정한 결과이다. 표면 처리 후의 패드 형상은 전보다 평탄화 되어있는 특성을 보이고 있다. 패드의 형상이 평탄화 되면 가압 시 표면의 변형량은 가압면적의 증가로 인하여 상대적으로 줄어들게 된다. IC AT-KA

가 가장 적은 변동량을 나타내며, IC AT-KB도 미처리 패드에 비해 그 변동량이 줄어들음을 알 수 있다. Si 폴리싱 패드의 가압 시 변형량은 연마성능에도 영향을 미치는데, 본 연구에 사용되어지는 패드는 최초의 컨디셔닝이외에도 중간 컨디셔닝을 필수적으로 사용하는 공정이 일반적이기 때문에 그 영향은 상대적으로 적을 것이라 예상되어 진다.

3. 표면처리후의 연마특성

3.1 실험 조건

표면처리의 효과와 연마 성능을 확인하기 위하여 표 3과 같이 실제 CMP 공정에 작성한 패드를 적용하여 연마 실험을 실시하였다.

연마실험에 사용한 연마기는 EBARA사의 EPO-222이며, 가공막으로는 ILD의 대표적인 TEOS막을 선택 하였다. 연마액으로는 ILD3225(Colloidal silica slurry; Nitta-Haas Inc.)를 사용하여 연마실험을 행하였다. Break-In과 중간 컨디셔닝에 사용한 다이아몬드 컨디셔너는 Kinik사의 드레서를 사용하였다. 연마 샘플로는 기존의 IC 패드와 표면처리 패드 중 Break-In후 표면에 가깝다고 판단되는 IC AT-KA를 선택하였다. 연마 실험 조건으로는 Break-In공정의 필요성을 확인하기위해 미처리 패드를 Break-In공정 적용유무에 따라 실험한 후 IC AT-KA를 적용하여 그 연마 결과를 비교하는 순으로 실험을 진행하였다. 연마 실험은 각 조건에 대해 20회 실행하여 전체적인 결과를 비교 판단하도록 했다.

3.2 실험 결과

RR & RR Profile

그림 6은 각 샘플의 연마 결과이다.

먼저 미처리 패드를 Break-In공정 없이 연마를 실행한 경우 RR은 다른 조건에 비해 낮은 연마율에서 시작하여 20회의 연마와 중간 컨디셔닝을 거쳐 안정화되는 경향을 보여주고 있다.

미처리 패드에 Break-In공정을 적용한 경우는 전 결과는 달리 높은 연마율에서 시작하여 공정의 진행과 함께 안정된 연마율을 보여주고 있다.

IC AT-KA패드는 Break-In공정을 적용하지 않고도 같은 연마율 경향을 보여주고 있다.

연마율의 경향성과 함께 부분적 연마율을 나타내고 있는 연마 프로파일에서도 IC AT-KA패드는 Break-In공정의 적용 없이도 일반적인 공정조건과 같은 성능을 나타내고 있음을 알 수 있었다.

표 3. ILD CMP공정 실험조건.

Table 3. Conditions of ILD CMP experiment.

	Main Polish	Time	60sec
		Down Force	48kPa
		BSP	30kPa
		TT/TR Speed	60/41rpm
		Slurry Flow Rate	100ml/min
	DIW Polish	Time	30sec
		Down Force	10kPa
		BSP	Vacuum
		TT/TR Speed	60/41rpm
	Dresser	DIW Flow Rate	1000ml/min
		Dressor Timing	Ex-situ
		Time	30sec
		Down Force	200N
		TT/DR	40/17rpm

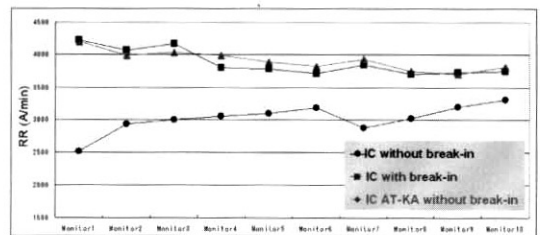


그림 6. 20회의 연마 공정에서의 연마량 변동.

Fig. 6. Removal rate change in 20 polishing runs.

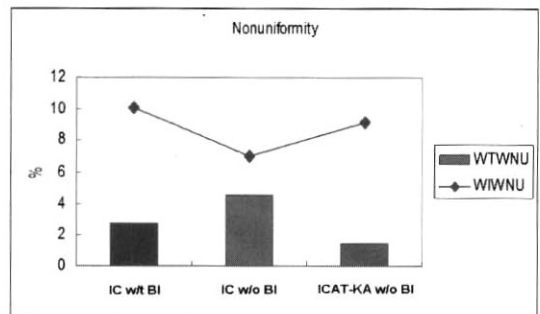


그림 7. 각 샘플의 WIWNU와 WTWNU.

Fig. 7. WIWNU & WTWNU of sample pads.

Uniformity

연마성능 판단하는 기준으로는 WIWNU(Within Wafer Non Uniformity), WTWNU(Wafer To Wafer Non Uniformity)를 일반적으로 사용하고 있다. 그림 7은 각 조건에서의 Non uniformity결과를 보여주고 있는데 표면처리 패드가 우수한 결과를 보여주고 있음을 알 수 있다[6].

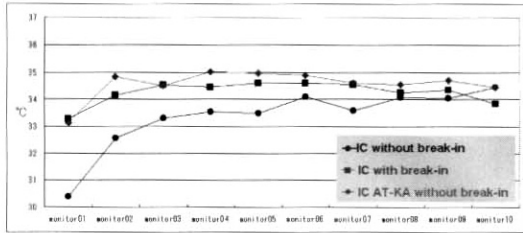


그림 8. 각 샘플의 공정 진행 중 연마 온도변화.
Fig. 8. Temperature profile of sample pads.

Temperature change

직접적인 연마 성능 평가 외에도 본 연구에서는 연마 중 패드 표면의 온도를 관찰하였다. 이는 CMP 공정 중에서의 온도 분포와 그 변화가 연마 성능에 중요한 영향을 미치기 때문이다[7]. 연마 실험에서는 열카메라(Avio Inc.)를 이용하여 각 조건에서의 온도를 모니터링 하였다.(그림 8)

미처리 패드를 Break-In공정 없이 연마를 실행한 경우 다른 조건에 비해 낮은 온도에서 시작하여 20회의 연마와 중간 컨디셔닝을 거쳐 상승 안정화되는 경향을 보여주고 있다.

미처리 패드에 Break-In공정을 적용한 경우는 전 결과는 달리 높은 온도에서 시작하여 공정의 진행과 함께 안정된 온도 특성을 보여주고 있다.

IC AT-KA패드는 Break-In공정을 적용하지 않고도 같은 온도 경향을 보여주고 있다.

Torque change

그림 9는 각 실험조건에서의 연마 중 하부 정반에 걸리는 토크를 모니터링한 결과이다[8]. 미처리 패드에 Break-In공정을 수행한 조건과 IC AT-KA패드에 Break-In 공정을 수행하지 않았을 경우의 토크 변화가 전 20회의 연마공정에서 같은 경향을 보이고 있다. 연마 중 하부 정반에 부과되어지는 토크는 연마 중 웨이퍼에 걸리는 마찰력을 나타내어 주며, 연마 패드의 표면 상태와도 밀접한 관계를 나타내어 주는 측정치이다. 두 조건에서의 토크는 전체 60초의 연마시간 중에 최종적으로는 9 mv정도에서 안정화 되는 경향을 보이는 반면 미처리 패드에 Break-In공정을 적용하지 않은 경우는 7에서 8 mv사이에 안정화 되어지는 경향을 보여주고 있다. 이는 연마율의 측정 결과와도 같은 경향을 보이고 있음을 확인 할 수 있다.

Profile change

다이아몬드 전착 컨디셔너를 각 연마 공정에서 사용해야 하는 CMP공정에서는 공정이 진행됨에

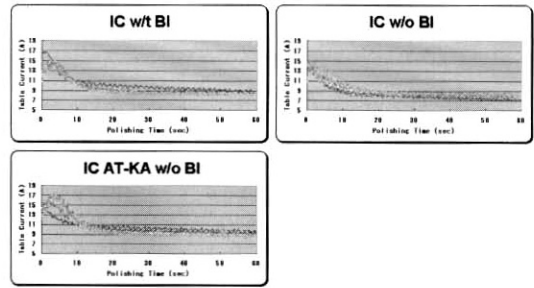


그림 9. 각 샘플 패드의 연마 중 토크 경향.
Fig. 9. Torque change in polishing process.

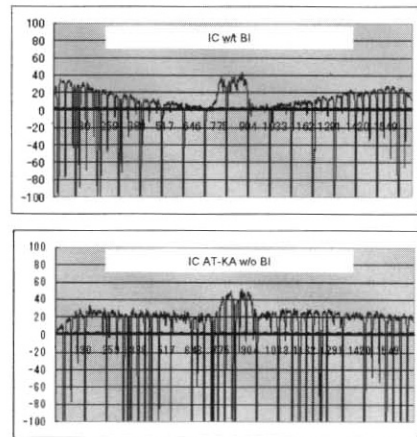


그림 10. 20회의 연마 공정후의 패드표면 형상.
Fig. 10. After 20run, profile change of samples.

따라 패드의 거칠기 외에도 패드의 형상도 변화하게 된다. 그림 10은 미처리 시점에서의 패드와 Break-In공정 적용 후 20회의 연마공정후의 패드, 그리고 IC AT-KA 패드에 Break-In공정을 미 적용한 경우의 패드 프로 파일을 나타내고 있다. 연마 패드의 경우는 컨디셔너에 의해 절삭되어지는 패드의 두께는 그 패드의 수명과도 직결되어지는데 결과에서도 알 수 있듯이, Break-In공정을 적용하지 않을 경우 그 공정 중 필연적으로 발생하는 패드의 절삭량이 없어져 최종프로 파일이 상이한 결과를 확인 할 수 있다. IC AT-KA패드의 경우 그만큼의 수명을 연장하는 효과도 확인 할 수 있다.

Defectivity

그림 11은 미처리패드와 IC AT-KA패드의 연마 후 웨이퍼의 스크래치 정도를 보여주고 있다. 표면처리패드의 경우가 선상의 스크래치가 줄어든

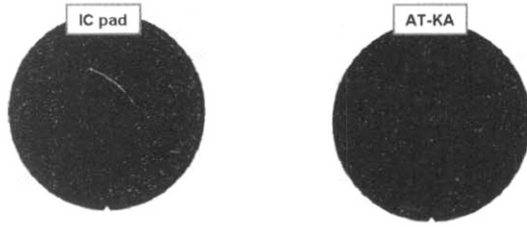


그림 11. 연마 공정 후 각 패드의 스크래치 경향.
Fig. 11. Scratch mark of sample pads.

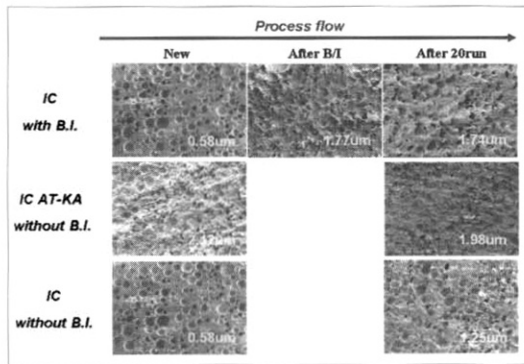


그림 12. 각 경우의 패드 표면 거칠기의 변화.
Fig. 12. Roughness change of sample pads.

결과를 보여주고 있는데 이는 간접적으로 표면 처리에 의해 패드의 형상이 평탄화 되어 전체적으로 웨이퍼와의 접촉 면적이 늘어나, 스크래치를 유발시키는 부분적 하중의 집중이 발생하지 않았음을 보여주고 있다[9].

Roughness change

마지막으로 표면처리의 효과를 확인하기 위해 20회의 연마공정후의 각 패드 거칠기를 비교하였다.(그림 12) IC AT-KA패드의 경우 표면 처리후의 거칠기는 미처리 패드의 Break-In 공정후의 거칠기 보다는 약간 높은 성향을 보이고 있으나, 20회의 연마공정 후에는 안정된 거칠기를 유지하고 있음을 알 수 있다. 반면, 미처리 패드에 Break-In 공정을 적용하지 않은 경우의 조건에서는 20회 연마 후 패드의 거칠기가 아직 충분한 레벨을 달성하지 못하고 있으나 초기 거칠기보다는 중간 컨디션에 의해 상승되었음을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구는 CMP공정에서 사용되어지고 있는 연마용 패드를 안정화 상태에서의 패드표면을 해석하고, 표면처리 기술을 이용하여 안정화 상태의 표면을 사전에 함으로써 그 패드의 연마성능 제어를 목적으로 실행되었다. 그 결과 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

-Break-In 공정의 의미는 패드의 형상을 보정하고 패드전면에 균일한 표면 거칠기를 생성하는 공정으로서의 의미를 띠고 있다. 또한 Break-In 공정 적용 후의 패드표면 zeta potential은 입자가 표면에 존재할 수 있는 확률을 상승시키는 상태를 생성하게 된다.

-패드의 표면처리 공정은 표면의 거칠기와 형상을 제어하는 공정으로 Break-In후의 패드 표면을 사전에 가공하는 공정으로 정의한다.

-패드의 표면처리 효과로서는 Break-In공정의 단축 혹은 폐기, 연마안정성의 확보, 스크래치의 저감효과 면에서 유용한 결과를 얻을 수 있었다.

-패드의 표면처리 공정은 연마 패드의 성능 제어의 수단임을 패드의 표면 상태 비교와 실제 연마 성능 전반에 있어서 확인 할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] Huey. S, "Thecnology breakthrough in pad pad life improvement and its impact on CMP CoC", Advanced Semiconductor Manufacturing, IEEE/SEMI, p. 54, 1999.
- [2] Tatkwon Yu, "A statistical polishing pad model for chemical-mechanical polishing", Electron Device Meeting, p. 865, 1993.
- [3] S. H. Lee, "Development of CMP pad with controlled micro features for improved performance", Semiconductor Manufacturing, IEEE International Symposium, p. 173, 2005.
- [4] A. Scot Lawing, "Pad conditioning and textural effect in chemical mechanical polishing", 9th CMP-MIC, Session 2, p. 33, 2005.
- [5] Gregory P. Muldowney, "Optimization CMP pad groove arrays for improve slurry transport, wafer profile correction, and defectivity reduction", 9th CMP-MIC, Session 4, p. 156, 2005.
- [6] N. H. Kim, "Temperature effects of pad conditioning process on oxide CMP: Polishing

- pad, slurry characteristics, and surface reactions", *Microelectronic Engineering*, Vol. 83, p. 362, 2007.
- [7] 박기현, 정재우, 박범영, 서현덕, 이현섭, 정해도, "CMP 패드강성에 따른 산화막 불균일성 (WIWNU)에 관한 연구", *전기전자재료학회논문지*, 18권, 6호, p. 521, 2005.
- [8] 이현섭, 박범영, 서현덕, 박기현, 정해도, "CMP에서의 스틱-슬립 마찰특성에 관한 연구", *전기전자재료학회논문지*, 18권, 4호, p. 313, 2005.
- [9] Gregory P. Muldowney, "On the contact mechanics and fluid mechanics of CMP oad texture", *10th International CMP Symposium*, 2005.