

W CMP 공정에서의 연마패드표면 안정화 상태와 그 개선

Stability and Improvement of Polishing Pad in W CMP

박재홍^{1,2}, 키노시타 마사하루¹, 요시다 코이치¹, 신이치 마츠무라¹, 정해도^{2,a}
(Jaehong-Park^{1,2}, Masaharu Kinoshita¹, Koichi Yoshida¹, Shinichi Matsumura¹, and Hae-Do Jeong^{2,a})

Abstract

In this research, the polishing pad for W CMP has been analyzed to understand stabilization of polishing performance. For stabilization of process, the polishing pad condition is one of important factors. The polishing pad plays a key role in polishing process, because it contact with reacted surface of wafer[1]. The physical property of pad surface is ruled by conditioning tool which makes roughness and profile of pad surface. Pad surface affects on polishing performance such as RR (Removal Rate) and uniformity in CMP. The stabilized pad surface has stable roughness. And its surface has high level of wettability which can increase the probability of abrasive adhesion on pad. The result of this research is that the reduction of break-in and dummy polishing process were achieved by artificial machining to make stable pad surface. 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 the most conventional type.

Key Words : Dressor, Conditioning, Break-In, Wettability, Zeta potential, CMP

1. 서론

W은 나날이 고집적화 되고 있는 각종 칩의 제작에 있어 층간 배선으로 널리 쓰여 지고 있는 재료중의 하나이다. 다층화된 칩 구조에서는 층간의 회로를 연결하는 구조가 필요한데 그 구조를 일반적으로 홀이라 하며 홀을 층만 시켜 전도 하는 것이 W이다. 이 구조는 반도체 공정 기술을 사용하여 형성하며, 그 형성과정에서 필요한 공정이 W CMP(Chemical Mechanical Planarization)공정이다.

W CMP 공정은 크게 연마기와 연마재로 구성되어지는 시스템에서 행하여진다. 연마재로는 입자와 화학액으로 구성되어지는 슬러리와 가압 시 웨이퍼와 접촉하여 직접 화학반응과 제거가 발생하는 면으로서의 역할을 수행하는 패드가 있다.

우레탄수지로 구성된 패드의 단면은 다이아몬드 입자가 표면에 전착 고정되어진 드레서공구로 그 표면 거칠기를 생성 유지하면서 연마능력을 유지해 준다. 연마패드의 상부 면은 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]. 연마용 패드의 경우는 본 공정에 앞서 BI(Break-In)이라는 패드의 안정화 조건이 필요한데 이는 패드 표면이 전체적으로 안정된 수준의 조건에 이르게 하기 위한 공정이다(그림 1). BI 공정의 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. 그 이후에도 본 연마공정에 앞서 Dummy연마와 중간 컨디셔닝 공정을 반복적으로 수행해 가면서 패드 표면의 거칠기와 형상을 안정된 상태로 유지하는 공정을 필수적으로 수행하고 있다[3].

1. 니따하스 주식회사
2. 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구소
(부산 금정구 장전2동 산30)
a. Corresponding Author : hdjeong@pusan.ac.kr
접수일자 : 2007. 10. 17
1차 심사 : 2007. 11. 5
심사완료 : 2007. 11. 10

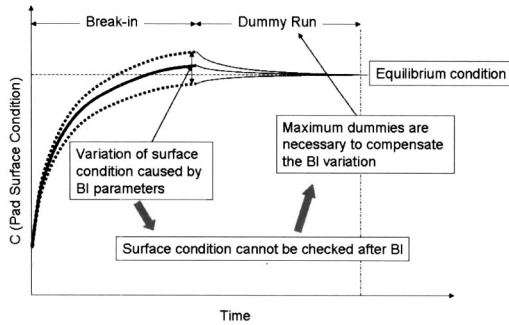


그림 1. 패드표면의 안정화.
Fig. 1. Stabilization of pad surface condition.

본 연구는 W CMP에서의 연마성능 안정화 상태에서의 연마패드 상태와 조건을 파악하고 패드에 특정 가공을 행하여 그 연마성능을 향상 시키고자 하는데 그 목적을 두고 수행되었다.

2. 연마패드 표면의 안정화

본 연구에서는 연마성능의 안정화 상태와 그때의 패드 표면 상태를 확인하기 위해, 표 1과 같은

표 1. W CMP 공정 조건.

Table 1. W CMP condition.

		SSW2000+Softer IC Pad	
Equipment & Consumable	M/C	EPO222D	
	Head	Normal	
	Pad	Softer IC Pad	
	Slurry	SSW2000 : DIW 1 : 1 (with 2% H ₂ O ₂)	
	Backing Film	R60f	
	BSP Hole Pattern	0-4-4-8-4-8-8 0-15-28-41-53-65-77mm	
	Dresser Type		KJNK PDE181
			EP1 AG 150730
			Φ270mm Pallet
Main Polish	Time	60sec	
	Down Force	34.5kPa (5psi)	
	BSP	0kPa	
	TT/TR Speed	120/119rpm	
	Slurry Flow Rate	125ml/min	
Dresser	Dresser Timing	Ex-situ	
	Time	18sec	
	Down Force	100N	
	TT/DR	40/17rpm	
	DIW Flow Rate	1000ml/min	

조건에서 W CMP공정을 진행하였다. 연마실험에 사용한 연마기는 EBARA사의 EPO-222이며, 가공막으로는 W막을 선택 하였다. 연마액으로는 SSW2000(Nitta-Haas Inc.)를 사용하여 연마실험을 행하였다. Break-In과 중간 컨디셔닝에 사용한 다이아몬드 컨디셔너는 Kinik사의 드레서를 사용하였다.

2.1 W CMP 공정의 안정화 상태

Removal Rate의 안정화

그림 2에서도 확인 할 수 있듯이 Break-In공정을 적용한 경우(With Break-In), 공정이 진행됨에 따라 연마량 (RR; Removal Rate)이 안정화 되어가는 상태를 확인 할 수가 있다. Break-In공정을 적용하지 않은 경우는 초기 연마량이 낮은 수준에서 출발하여 수차례의 공정을 수행한 후에도 낮은 연마량을 유지하는데 이는 Break-In 공정의 생략으로 패드 표면에 충분한 거칠기가 생성되지 않았음을 말해주고 있다. 이때 전체 연마공정의 안정성은 WTWNU(Wafer to Wafer Non Uniformity)로 표시할 수 있는데, Break-In 공정을 적용하지 않은 경우가 각 공정에서의 연마량이 안정적이지 못한 결과를 나타내고 있다.

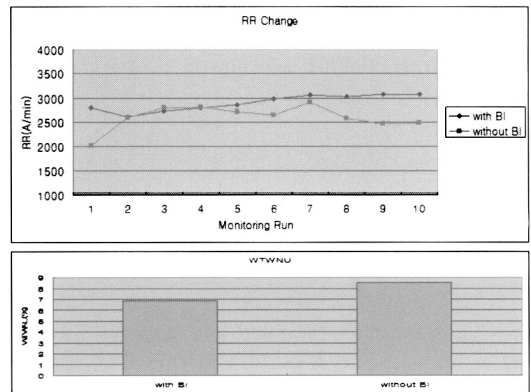


그림 2. W CMP공정에서의 연마량 안정화.
Fig. 2. Removal Rate stabilization in W CMP.

NU의 안정화

연마시 각 웨이퍼의 연마균일도를 표시하는 WIWNU(With In Wafer Non Uniformity)를 살펴보면 평균적으로 Break-In 공정을 적용하지 않은

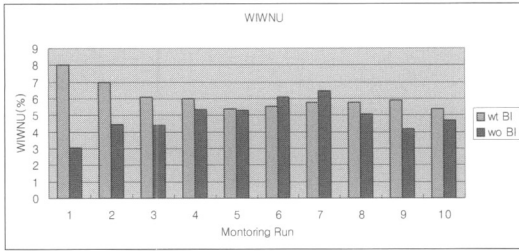


그림 3. W CMP공정에서의 NU 안정화.
Fig. 3. Non uniformity stabilization in W CMP.

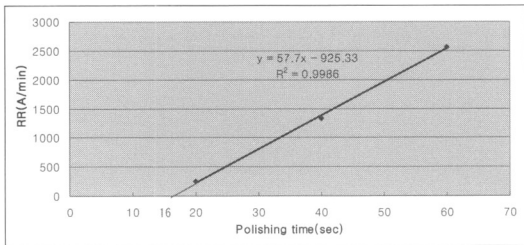


그림 4. W CMP공정에서의 연마량 변화.
Fig. 4. RR cahange in W CMP process.

경우가 낮은 수준을 나타내고 있으나, 이는 연마량이 BI공정을 적용한 경우에 비해 낮게 나타나고 있기 때문이다. 각 연마공정에서의 WIWNU변동에서는 Break-In공정을 적용한 경우가 안정된 결과를 보여주고 있다(그림 3).

W CMP process에서의 초기 연마지연시간

W CMP의 경우, 선택비가 높은 연마액의 경우, 화학적 제거 능력을 우선적으로 기능에 포함하는 관계로 연마공정 초기에는 W막을 제거하지 못하는 시간인 초기연마 지연시간이 발생한다. 초기연마 지연시간의 발생 요인으로는 제거막에 화학반응이 발생 할 수 있는 온도의 상승 지체시간과 제거막 상부에 존재하는 산화막의 제거 시간에 있다. 초기연마 지연시간에서의 막 제거 상태를 확인하기 위해 연마시간을 제어하여 각 시간별 연마량을 비교하면, 그림 4와 같이 나타난다. 그래프에서도 확인 할 수 있듯이 초기 연마공정시간에서는 W막의 제거를 관찰 할 수 없는 초기연마 지연시간을 관찰 할 수 있다.

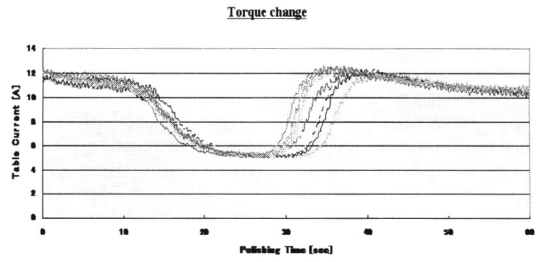


그림 5. W CMP공정에서의 토르크 안정화.
Fig. 5. Torque stabilization in W CMP.

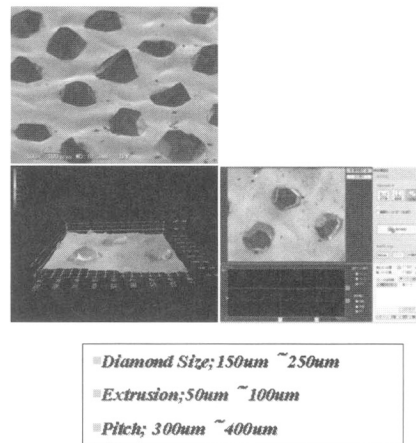


그림 6. W CMP에 사용한 다이아몬드 드레서.
Fig. 6. Diamond dresser using in W CMP.

Torque의 안정화

그림 5는 20회 연마 중 측정 샘플을 연마한 10회 연마 각 공정의 토르크 변화를 보여주고 있는데 Break-In공정을 적용한 경우는 그 초기연마 지연시간이 공정 진행에 따라 단축되며 각 공정에서의 토르크 특성도 재현성 있게 나타난다. 이는 패드표면이 안정화 되어진 상태에서 연마공정이 진행되었음을 의미한다[4].

2.2 안정화 상태에서의 패드 표면

연마 공정에 앞서 드레서를 이용한 장시간의 컨디셔닝 공정을 Break-In공정으로 표현하였는데 이때, 패드표면에서의 물리적 특성은 이 공정에 의해 변화되어 진다. 본 연구에서 사용되어진 드레서(그림 6)가 CMP 공정에서는 가장 일반적인 형태이며, 드레서의 가공성을 결정 짓는 중요한 스펙으로는 다이아몬드 입자의 형태, 크기, 돌출량, 피치가 있다.

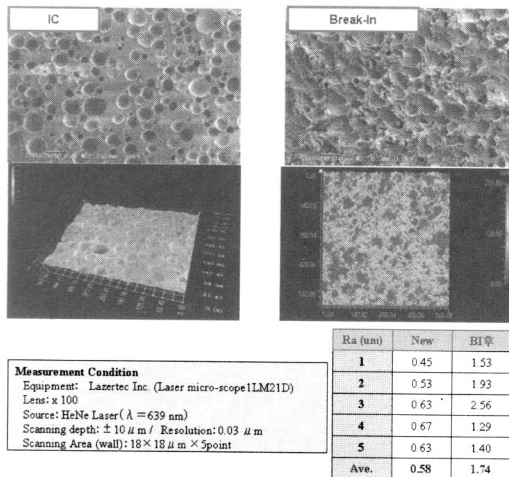


그림 7. 패드의 SEM 이미지와 거칠기.
 Fig. 7. SEM Image & roughness of pads.

이 공정에서는 초기의 패드 표면에 형성되어져 있는 형상이 가압된 공구에 의해 절삭이 발생하여 패드 각 부분에서 절삭양 만큼 형상의 변화가 발생한다. 또한, 연마패드의 표면 거칠기가 그 가공 상태에 따라 변화되어 진다. 이때 변화되어지는 표면의 물리적 성질에는, 대표적인 것으로는 가압시의 변형량, 연마액의 보지능력 등이 있다[5]. 최초의 Break-In 공정은 연마 공정에서 특히 연마량과 밀접한 관계를 가지는 거칠기를 전 패드 면적에 있어 안정화, 균일화 시키는 역할로서도 중요한 의미를 가지고 있는 공정이다.

SEM Image와 거칠기

그림 7은 연마패드에 Break-In공정을 적용한 이후의 패드표면 SEM (Scanning Electron Microscope) 사진이다. 초기의 패드 표면과는 달리 포어의 중간면에 거칠기가 생성되었음을 정성적인 결과로 알 수 있다. 그림 7은 제작되어진 샘플 패드의 거칠기를 비접촉식 광학계(Laser confocal microscope)를 이용하여 측정한 결과이다. 측정영역을 18 um x 18 um로 포어가 없는 부분을 5회 측정한 결과로 초기 0.53 um에서 1.74 um로 변화되었다.

Asperity height distribution

거칠기의 확률분포 그래프는 표면 거칠기를 측정하여 그 평균 거칠기를 기준점으로 하여 각 높이에 거칠기가 존재할 확률을 구한 그래프인데 미세포어를 가진 패드 표면의 거칠기 상태를 파악하는데 유용하다[6]. 그림 8은 이상의 결과에서 얻어진

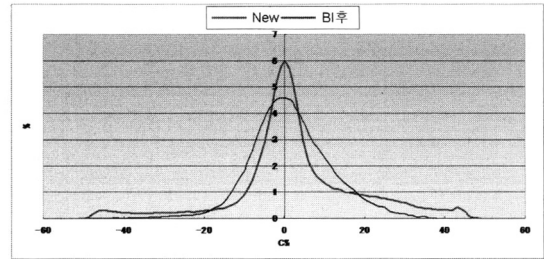


그림 8. 각 샘플의 거칠기 확률 분포.
 Fig. 8. Asperity height distribution of samples.

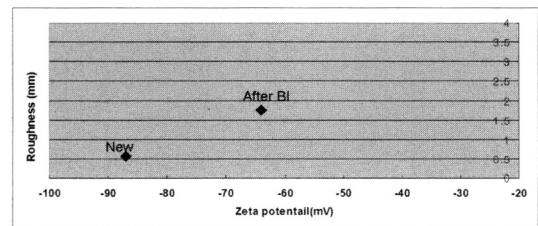
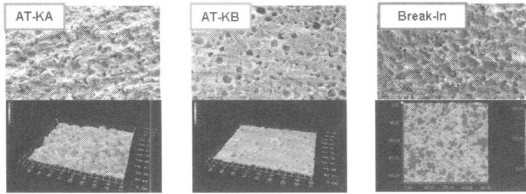


그림 9. 각 샘플의 표면 제타 포텐셜.
 Fig. 9. Surface zeta potential of sample pads.

패드 거칠기의 정보에서 실제 패드의 돌기 즉 일정 높이에서의 거칠기의 존재확률을 해석한 결과이다. Break-In후 패드 표면은 새 패드의 표면에서 관찰되어진 포어의 분포 곡선에서 상태가 Over-conditioning된 표면 상태를 나타내고 있다. 이는 드레서에 의해 거칠기 뿐 아니라 포어의 존재확률 분포가 변화된 점을 보여주며, 아울러 포어의 구조 특성이 변화된 것을 알려 주기도 한다.

Surface zeta potential

일반적으로 Break-In후의 패드표면은 초기의 발수성면과 달리 어느 정도의 친수성을 나타내고 있는데 이를 일반적인 액적 각도측정에 의한 정량화로는 포어의 존재로 신뢰성 있는 데이터를 취득할 수 없다. 본 연구에서는 친수화 되는 정도를 정량적인 측정에 의해 측정하고자 Break-In후의 패드의 표면 Zeta potential을 측정하였다. 그림 9는 패드의 측정결과이다. 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 표면의 친수성화를 보여주고 있다[7]. 또한, 패드의 표면 거칠기와 zeta-potential이 비례하고 있는 결과를 보여 주고 있다(그림 9).



Ra (um)	AT-KA	AT-KB	BI후
1	1.75	1.25	1.53
2	2.62	1.64	1.93
3	2.70	0.99	2.56
4	1.77	1.81	1.29
5	1.75	1.10	1.40
Ave.	2.12	1.36	1.74

그림 10. 각 패드 샘플의 SEM이미지와 거칠기.
Fig. 10. SEM Image & roughness of pads.

3. 표면처리에 의한 W연마특성제어

3.1 표면처리

패드의 표면처리 공정에서는 물리력을 가해 패드 표면에 특정의 거칠기와 형상을 생성시키는 과정을 수행하였다. 이때 사용한 툴(Tool)로는 입자가 수지에 의해 고정되어진 형태의 것을 사용하였다. 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. 표면처리의 효과와 연마 성능을 확인하기 위하여 표 1과 같이 실제 W CMP 공정에 작성한 패드를 적용하여 연마 실험을 실시하였다.

SEM Image와 거칠기

그림 10은 표면 처리를 적용한 IC AT-KA와 IC AT-KB패드, Break-In공정을 적용한 이후의 패드표면의 SEM (Scanning Electron Microscope) 사진이다. Break-In 공정이후의 패드 표면과 같이 패드 표면에 거칠기가 생성되었음을 알 수 있다. IC AT-KA가 가장 거친 거칠기가 생성되었음을 알 수 있다.

Asperity height distribution(그림 11)

이때의 거칠기의 확률분포 그래프에서는 샘플 패드가 전체적으로 Break-In후 패드 표면과 같이 Over-conditioning된 표면 상태를 나타내고 있다. IC AT-KB패드의 경우는 표면의 거칠기 분포가 중앙에 집중되어진 형태로 생성된 거칠기가 균일한 상태로 제어 되어 있음을 보여주고 있다.

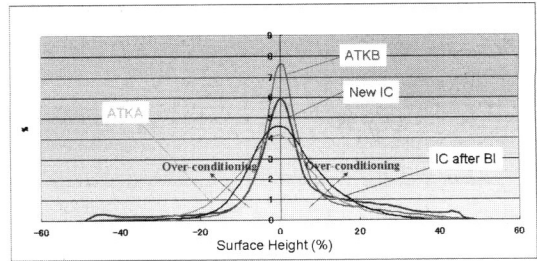


그림 11. 각 샘플의 거칠기 확률 분포.
Fig. 11. Asperity height distribution of samples.

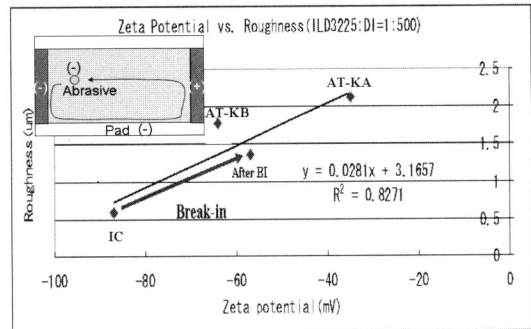


그림 12. 각 샘플의 표면 제타 포텐셜.
Fig. 12. Surface zeta potential of sample pads.

Surface zeta potential

그림 12는 표면 처리를 행한 IC AT-KA와 IC AT-KB패드가 Break-In공정을 적용한 이후의 패드표면의 zeta potential이상의 레벨을 유지하고 있음을 볼 수 있다. 이로서 친수화 정도가 Break-In공정을 적용하지 않고도 표면처리 공정에 의해 충분한 레벨을 달성한 사실을 확인 할 수 있다.

3.2 연마실험 결과

표면처리의 효과와 연마 성능을 확인하기 위하여 표 1과 같은 조건으로 제작한 샘플 패드를 적용하여 연마 실험을 실시하였다.

RR의 안정성

그림 13은 각 샘플의 연마 결과이다. IC AT-KA와 IC AT-KB패드는 Break-In공정을 적용하지 않고도 같은 연마율 경향을 보여주고 있다. 연마율은 전체적으로 높은 레벨을 유지하고 있다. WTWNU에서도 표면처리 패드가 안정된 경향을 보여주고 있음을 알 수 있다.

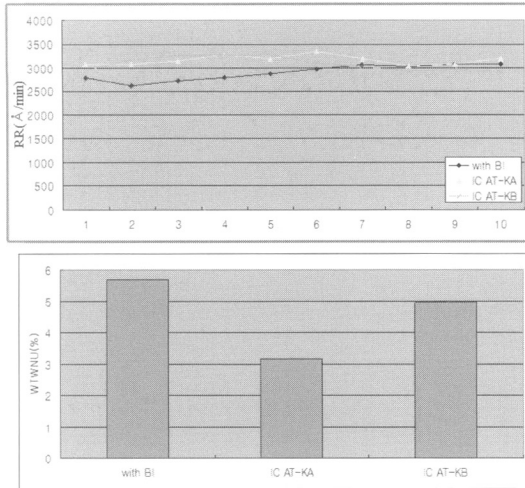


그림 13. 각 샘플의 연마량과 연마재현성.
Fig. 13. Removal rate & WTWNU of samples.

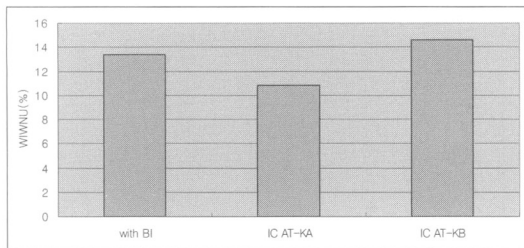


그림 14. 각 샘플의 WIWNU.
Fig. 14. WIWNU(%) of sample pads.

Uniformity

그림 14는 각 조건에서의 Non uniformity 결과를 보여주고 있는데 표면처리 패드가 우수한 결과를 보여주고 있음을 알 수 있다.

Torque change

그림 15는 각 실험조건에서의 연마 중 하부 정반에 걸리는 토크를 모니터링한 결과이다. Break-In 공정을 적용하지 않았을 경우의 토크 변화가 20회의 연마공정에서 가장 크다. 반면 Break-In 공정을 적용한 패드도 어느 정도의 변화폭을 가지고 있으나, 20회의 연마공정 중 초기 연마지연시간이 단축되는 경향을 보여 주고 있다. 패드의 표면 처리를 적용한 패드의 경우는 20회의 연마 공정에서 매우 안정된 토크 경향을 보이고 있다. 이는

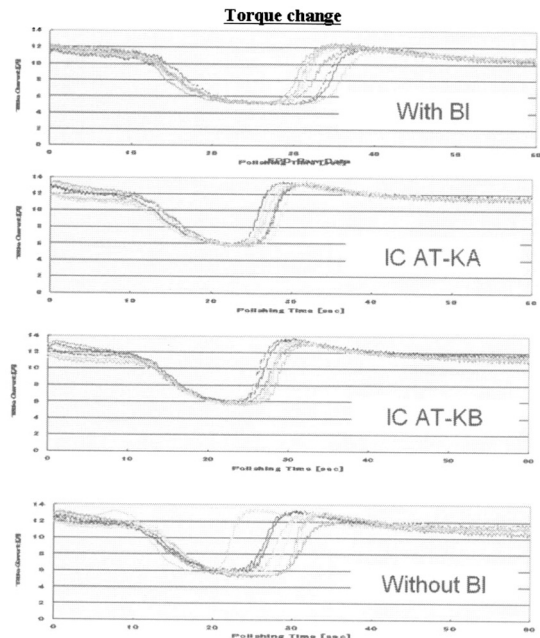


그림 15. 각 조건에서의 공정 중 토크 변화.
Fig. 15. Torque change in polishing process.

표면 상태가 안정화된 조건에서는 연마중 토크 변동도 재현성 있는 결과로 나타남을 의미한다.

4. 결론

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

-W CMP 공정의 안정화는 연마량, 균일성, 재현성이 확보되어진 단계를 말하며, 이때, 연마시 하부정반에 걸리는 부하는 안정된 재현성을 가지며 초기 연마지연시간이 단축되는 경향을 가지고 있다.

-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(초기;-87 mv →BI후;-64 mv →표면처리;-35 mv).

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

(WTWNU;일반5.8 % → 표면처리후;3.1 %)

(WIWNU;일반13 % → 표면처리후;10.5 %)

-패드의 표면처리 공정이 연마 패드의 성능 제어의 수단임을 패드의 표면 상태 비교와 실제 연마 성능 비교 결과에서 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] Tatkwan Y., "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] 박기현, 정재우, 박범영, 서헌덕, 이현섭, 정해도, "CMP 패드강성에 따른 산화막 불균일성 (WIWNU)에 관한 연구", 전기전자재료학회논문지, 18권, 6호, p. 521, 2005.
- [5] 이현섭, 박범영, 서헌덕, 박기현, 정해도, "CMP 에서 스틱-슬립 마찰 특성에 관한 연구", 전기전자재료학회지, 18권, 4호, p. 313, 2005.
- [6] A. Scot Lawing, "Pad conditioning and textural effect in chemical mechanical polishing", 9th CMP-MIC, Session 2, p. 33, 2005.
- [7] 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.