

고정입자 패드를 이용한 텅스텐 CMP에 관한 연구

박재홍*, 김호윤*, 정해도**

The Study of Metal CMP Using Abrasive Embedded Pad

Jae Hong Park*, Ho Youn Kim*, Hae Do Jeong**

ABSTRACT

Chemical mechanical planarization (CMP) has emerged as the planarization technique of choice in both front-end and back-end integrated circuit manufacturing. Conventional CMP process utilize a polyurethane polishing pad and liquid chemical slurry containing abrasive particles. There have been serious problems in CMP in terms of repeatability and defects in patterned wafers. Especially, dishing and erosion defects increase the resistance because they decrease the interconnection section area, and ultimately reduce the lifetime of the semiconductor. Methods to reduce dishing & erosion have recently been interface hardness of the pad, optimization of the pattern structure as dummy patterns. Dishing & erosion are initially generated an uneven pressure distribution in the materials. These defects are accelerated by free abrasives and chemical etching. Therefore, it is known that dishing & erosion can be reduced by minimizing the abrasive concentration. Minimizing the abrasive concentration by using CeO_2 is the best solution for reducing dishing & erosion and for removal rate. This paper introduce dishing & erosion generating mechanism and a method for developing a semi-rigid abrasive pad to minimize dishing & erosion during CMP.

Key Words : CMP(Chemical Mechanical Polishing), AEP(Abrasive Embedded Pad: 고정 입자 패드), ILD(Interlayer Dielectric)

1. 서론

CMP(Chemical Mechanical Planarization)공정은 반도체 제조 공정에 있어서 웨이퍼 전면에 평탄화를 이룰 수 있는 가장 효과적인 방법으로 알려져 있으며, 대부분의 반도체 제조 공정에 적용, 검토되고 있다. 평탄화 공정은 초집적회로(ULSI)의 제조 공정에 있어서는 필수 불가결한 중요한 공정으로 다층 배선의 누적에 의한 불량률 제거 할 수 있다. 제거하는 박막의 종류에 따라 ILD CMP와

METAL CMP로 구분되어 진다. 일반적으로 CMP공정은 장비와 슬러리, 패드 등의 특성에 따라 가공 특성이 결정되어진다. 이중 슬러리는 공정 특성에 가장 큰 영향을 미치는 인자중의 하나로 웨이퍼 표면층의 제거와 표면 품질을 결정지어 준다. 패드는 웨이퍼내의 균일가공(WIWN: Within Wafer Non Uniformity)와 웨이퍼간 균일가공(WTWNU: Wafer To Wafer Non-Uniformity) 평활도에 특히 영향을 미친다.

* 2001년 7월 26일 접수

* 부산대학교 정밀기계공학과

** 부산대학교 기계공학부

그러나, 이러한 CMP공정에서도 몇 가지 중요한 문제점이 발생하는데 fig. 1에서 볼 수 있는 dishing^{1),4),6)}, erosion, recess는 CMP공정에서 발생하는 대표적 결함¹²⁾이라 할 수 있다. CMP 가공 결함으로 발생하는 Dishing과 Erosion은 배선층인 금속재질과 절연막의 비금속 재질로 이루어지는 배선구조의 가공시 필연적으로 발생하는 불량현상이다. 발생원인으로는 이종재질간의 기계적 강도의 차이에 의한 부분적인 압력 분포의 차이와 슬러리의 이종 재질간의 선택적 연마 제거량의 차이 등에서이다. 발생되어진 Dishing과 Erosion은 입자 집중에 의해 그 정도가 가속화되어진다. 현상의 심화를 방지하기 위해선 입자의 양의 저감이 일차적으로 필요하다. 이러한 결함들은 칩의 제조 과정에서 누전 전류 및 내구성 저하의 원인이 되어 수명을 저하시키므로 반드시 해결되어야한다. 또한, 기존의 CMP공정은 다량의 슬러리와 화학액을 사용하므로 환경친화 공정 구현에 문제점을 일으키므로 이를 해결하기 위한 연구가 다각적으로 진행되고 있다. 본 논문에서는 고정 입자 패드의 개발 및 METAL CMP로의 적용에 관하여 연구하였다.

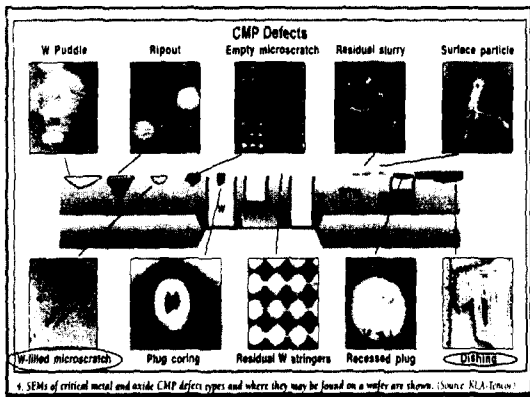


Fig. 1 The defects which are generated during CMP (Source: Semi-material)

2. metal CMP

금속 배선막의 제거가 주된 가공인 metal CMP의 메카니즘은 fig.2와 같다. 슬러리의 산화제가 금속박막에 산화층을 생성시켜 연마입자에 의한 제거

가 용이하게 이루어지도록 물성을 변화시킨다. 패턴상에서 상대적으로 돌출되어진 부위는 연마입자에 의해 제거되어지고, 오목부의 산화층이 부동태막을 형성시켜 과도한 에칭을 방지한다. 이러한 메카니즘으로 형상에 대한 선택비를 구현할 수 있다. 이러한 상부 피막의 산화, 연마입자에 의한 박막의 제거와 신생면의 도출, 산화층의 형성이 반복적으로 진행되면서 가공이 이루어진다. metal CMP의 주된 연마 대상은 W, Al, Cu 등이 있으며, 본 논문에서는 고정입자 패드의 텅스텐 박막 적용에 관하여 연구하였다.

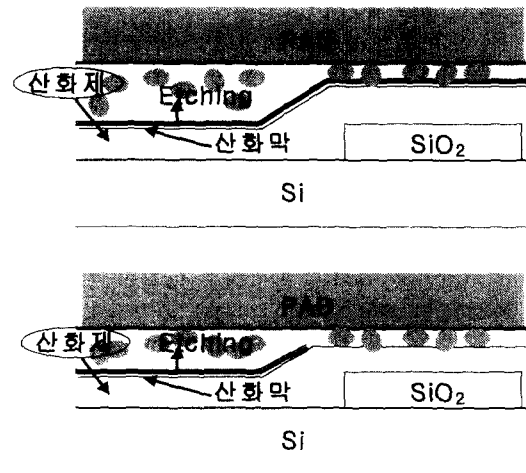


Fig. 2 Mechanism of Metal CMP

3. 입자 함침 패드

3.1 입자함침패드

고정입자 패드의 CMP적용에 관한 연구는 국외에서 수년 전부터 연구 중에 있다. 그 중 이미 개발되어진 고정입자패드는 기존의 CMP와 비교하여 가장 중요한 결함 중에 하나인 dishing 및 erosion 감소 효과를 나타내는 것으로 발표되고 있다. 입자 함침 패드의 METAL CMP의 적용 시 상기의 결과 이외에도 생산라인에서의 설비 문제도 해결할 수 있는 이점도 예상할 수 있다. 생산라인의 경우에는 슬러리내 연마입자의 응집특성으로 인해 슬러리 공급시 분산과 필터링등의 복잡한 과정과 설비를 거쳐야만 한다. 이러한 슬러리 관련 설비를 입자함침

패드의 경우 생략 할 수 있어 경제적 이점과 불량 예상 요소를 제거 할 수 있다. 그러나, 고정입자 패드의 경우 기존의 CMP와 달리 새로운 컨디셔닝 방법이 필요하며, 현재 적용되고 있는 방법은 웨이퍼 상의 패턴 형상을 이용하는 방법이다. 그러나, 이러한 컨디셔닝은 웨이퍼 표면 형상의 변화에 따라 영향을 받으므로, 평탄화가 진행됨에 따라 연마제 거울이 현저하게 떨어지는 단점이 있다. 본 연구에서는 이러한 컨디셔닝 문제점을 해결하기 위한 방법으로 swelling 특성을 가지는 친수성 바인더를 이용한 고정입자 패드에 관하여 연구하였다.

3.2 Swelling 메커니즘

본 연구에서 사용한 바인더는 친수성을 가지는 바인더를 사용하였으며, 친수성은 주위의 수분을 흡착하는 특성을 가지고 있다. 일반적으로 친수성은 hydroxyl group(-OH), carbonyl group(-CO), carboxyl group(-COOH) 등이 있으며, 고정입자 패드의 제작을 위하여 carboxyl group을 가지는 바인더를 이용하였다.

친수성을 가지는 바인더는 알칼리 또는 수용액 상에서 폴리머 네트워크 내로 수분을 흡착하게 되며, 폴리머 네트워크 상의 결합 강도를 약화시키는 원인이 된다. 약화된 폴리머 네트워크는 웨이퍼와 패드간의 상대운동에 따른 마찰력으로 쉽게 제거되므로 오토 컨디셔닝(auto-conditioning)을 가능하게 한다. (fig. 3) 즉, 기존의 웨이퍼 패턴 형상을 이용한 컨디셔닝의 경우 평탄화에 따라 연마제 거울이 감소하는데 반해 친수성 바인더의 경우 이러한 현상을 감소시킬 수 있다.

의 내구성 및 압력 전사에 필수적인 항목이다. 즉, swelling이 높을 수록 표면 경도는 낮아지는 경향이 있으며, 일정 이하의 표면 경도는 입자를 통한 웨이퍼로의 압력 전사에 악영향을 미치게 된다.

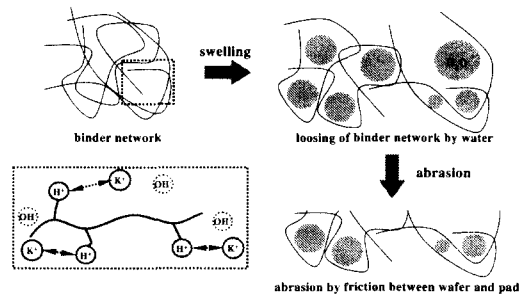


Fig. 3 The Schematic Diagram of Swelling Mechanism

Abrasion ratio의 평가를 위하여 각 조성비에 따라 마멸 테스트를 시행하였으며, CMP 공정과 유사한 분위기를 위하여 유사 가공액을 공급하였다. 마멸 테스트 전, 후 질량 변화를 측정하여 abrasion ratio를 평가하였다. 실험 결과 TMPTA가 내마모성에 가장 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다. (fig. 4) TMPTA의 경우 three-functional로서 네트워크 구조를 강화시켜 표면 경도를 향상시키므로, TMPTA의 비율이 높을수록, abrasion ratio가 향상되는 것으로 생각된다.

4. 고정입자 패드의 개발

4.1 바인더 특성 평가

본 연구에서 사용한 바인더는 polyethylene glycol (PEG), polyethylene glycol monomethacrylate (PEGMA), trimethylolpropane trimethacrylate (TMPTA) 세 가지를 이용하였다. 친수성 바인더를 이용한 패드를 구성하는 바인더의 가장 중요한 특성은 swelling ratio와 abrasion ratio이다.

이러한 요소를 파악하기 위하여 바인더의 조성비에 따른 특성 변화를 관찰하였다. Swelling 특성은 컨디셔닝과 관계가 있으며, abrasion ratio는 패드

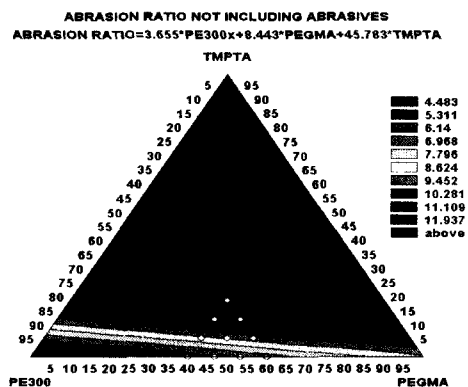


Fig. 4 Abrasion Ratio as Binder Components

swelling ratio는 KOH solution(pH10.8, 5wt%)에 dipping test로 평가하였으며, dipping 전, 후의 질량 변화로 산출하였다. swelling ratio는 PEGMA 비율이 높을수록, TMPTA 비율이 낮을수록 증가하였다. PEGMA의 경우 meta-acolyte를 가지므로 swelling ratio 증가에 가장 민감한 영향을 미치는 것이며, 반면에, TMPTA의 경우 네트워크 밀도를 높이므로 swelling ratio를 감소시키는 것이다. (fig. 5)

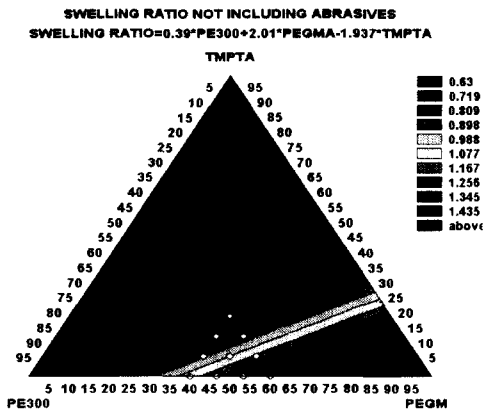


Fig. 5 Swelling Ratio as Binder Components

위의 실험결과 얻어진 상관 관계를 바탕으로 적정 배합비의 조성을 찾고자 대표적인 4가지 조성비 (Table 1)에 대한 CMP 공정 테스트를 실행하였다

Table 1 Components of binders

	BE300	PEGMA	TMPTA
No. 3	40.0	40.0	20.0
No. 6	40.0	50.0	10.0
No. 8	43.3	53.3	3.4
No. 2	40.0	60.0	0.0

그 결과 No.6의 조건이 가장 연마제거율 특성이 가장 양호한 것으로 판명되어 이후의 제작 패드의 조성비로 결정하여 제조하였다. (fig.6)

4.2 고정입자 패드 제조 공정

친수성 바인더를 이용한 입자 함침 패드의 제조 과정을 fig. 8에 나타내었다. 연마입자는 세리아를 사용하였으며, 바인더 조성비는 가장 최적 조건인 No.6의 조건을 선정하였다. (Table 1)

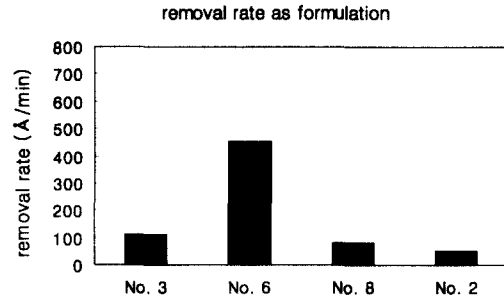


Fig. 6 Result of CMP as Component

연마 입자와 바인더와의 혼합을 위하여 ball-mil 와 stirrer를 이용하였으며, 폴리우레탄 패드상에 연마입자층 형성을 위하여 프린터 스크린을 사용하였다. 바인더 경화 방법은 크게 열경화와 광경화로 나눌 수 있으며, 본 연구에서는 자외선을 이용한 광경화법을 적용하였다. 하부 패드는 기존 CMP 공정에서 일반적으로 사용되어지는 IC 1400™을 사용하였으며, 제조 공정에서 입자 입경, 입자와 바인더의 혼합과 분산, 인쇄 공정 시 점도의 확보, 경화 시 UV조사량이 중요한 요소로 나타났다.(fig.7)

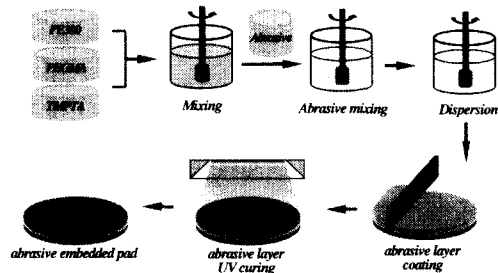


Fig. 7 Manufacturing Sequence of AEP

패드위에 입자와 바인더의 도포는 가공액의 원활한 공급과 전달을 위해 원기둥 형상을 패턴닝한 스크린을 이용 인쇄 후 UV 램프로 경화시키는 방법을 선택하였다.(fig. 8)

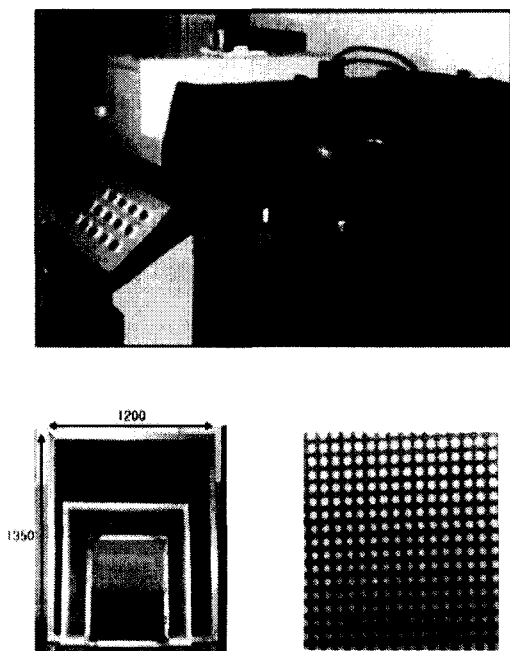


Fig. 8 Manufacturing equipment

5. 고정입자 패드 가공액의 개발

제작된 고정입자 패드의 metal CMP 적용을 위해선 기존의 상용화된 슬러리와는 다른 입자를 함유하지 않은 가공액이 필요하다.

실제 상용화된 metal용 상용 슬러리의 경우에는 Table 2와 같이 기본적인 연마입자와 산화제 이외에도 Acid 액, 버퍼액, 분산제, 소포제, 현탁액등이 첨가되어있다.

가공액 기능에 관해 살펴보면 산화층을 형성시키는 산화제, 제거된 산화층의 액상에서의 용해를 담당하는 acid액, 연마입자의 원활한 분포 및 분산을 위한 분산제, 가공 중 발생하는 기포를 제거하기 위한 소포제, 화학액의 원활한 혼합을 위한 현탁액, 전체적인 화학반응에 참여하는 bulk solution 이 있다. 상용 슬러리에는 이러한 성분외에도 생산 업체별로 각 CMP 공정 특성에 맞게 개발되어진 여러 화학액이 별도로 첨가되어 조성되어진다.

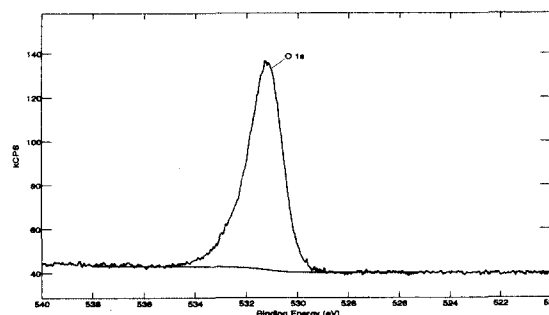
본 논문에서는 이중 metal CMP에서 산화층의 생성시키는 산화제와 제거된 피막의 분해시키는 acid액, pH의 조절과 조정 작용의 버퍼액, 이상의 기본적인 기능액으로 가공액을 조제하였다.

Table 2 Formation of METAL CMP

METAL SLURRY	
구성성분	종류
연마입자	SiO ₂
	SiO ₂
	Al ₂ O ₃
	CeO ₂
Oxidizer	H ₂ O ₂
	Fe(NO ₃) ₃
	KIO ₃
	H ₅ IO ₆
Buffer Solution	NH ₄ OH
Acid	HNO ₃
	H ₂ SO ₄
	HNO ₃ + H ₂ SO ₄
pH	1~4
Bulk Solution	D.I.W.
분산제	연마입자의 분산
현탁액	화학액의 고른 분포
소포제	가공중 기포 발생 억제
반응 억제제	균일한 산화막 형성

실제 조제에 있어, 각 기능액으로 쓰일 수 있는 화학액의 선정에 있어서는 각각의 가공 적용시 특징을 파악해 볼 필요가 있다. 효율적인 기능액의 선정을 위하여 2단계의 실험을 거쳤다.

1단계 과정으로 산화제 선정을 위해 산화제별로 산화량, 산화속도, 산화 균일도에 관한 실험이 필요하였다. 각 산화제를 동일 물밀도로 조성하여 시편을 30초정도 dipping한후 XPS 장치를 이용하여 산화 피막의 텅스텐 산화물과 산소의 양을 측정 평가함으로써 산화량과 산화 균일도를 측정 할 수 있다.(fig. 9,10,11)



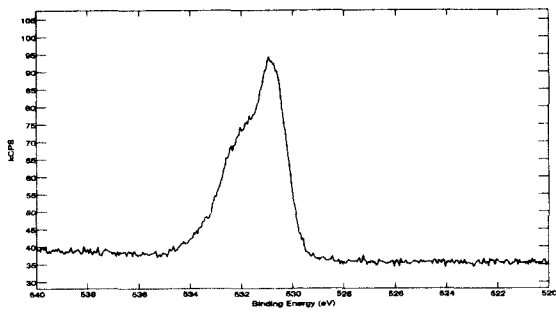


Fig. 9 Quantity of Oxygen in Fe(NO₃)₃

이러한 방법에 의해 산화량을 측정해 보면 fig. 12와 같이 나타나는데 Fe(NO₃)₃, H₂O₂, KIO₃의 순서로 산화량을 가지고 있다. 이제까지 산화제는 이미 상용화 되어 사용되고 있는 metal CMP용 슬러리에서 산화제로 사용되어 지고 있으며, 성분마다 각기 다른 장단점을 가지고 있어 사용되어지는 CMP공정의 특성에 따라 조정하여 슬러리를 조성하고 있다.

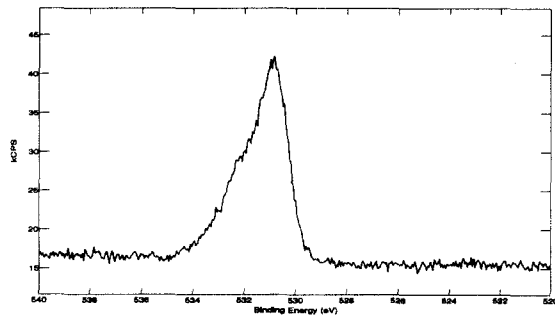
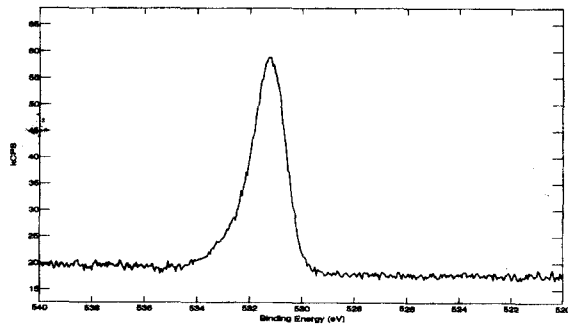


Fig. 11 Quantity of Oxygen in H₂O₂

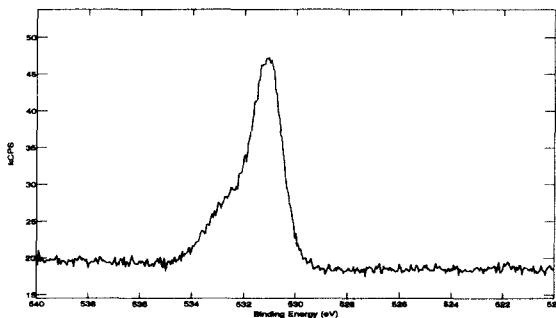
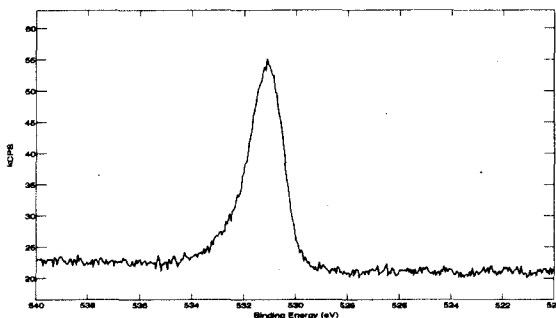


Fig. 10 Quantity of Oxygen in KIO₃

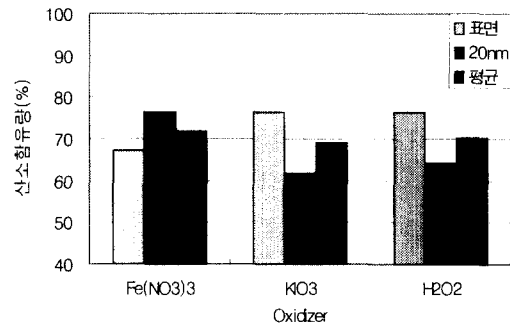


Fig. 12 Degree of Oxidization

산화 속도와 함께 중요하게 고려 되어야할 사항은 산화 균일도인데 가공물의 표면에 균일한 산화막을 이 형성되어야 연마가공도 균일하게 진행되어진다. fig. 9,10,11에서 얻어진 산화량을 각 시편마다 네곳을 측정하여 그 산화량의 분산정도를 가지고 산화 균일도를 측정할 수 있다.

KIO₃, H₂O₂, Fe(NO₃)₃의 순서로 산화 균일도를

나타내고 있다.(fig. 13) $Fe(NO_3)_3$ 의 경우는 산화의 양적인 측면에서는 우수한 성질을 가지고 산화 균일도의 측면에서는 다소 불안정한 점이 있다. 반면 KIO_3 는 산화정도에 있어서는 $Fe(NO_3)_3$ 에 비해 떨어지나 산화 균일도에 있어서는 우위의 성질을 지니고 있다.

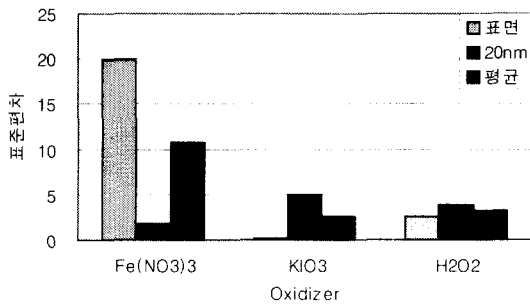


Fig. 13 Uniformity of Oxidization

2단계 과정에서 산화제별 적절한 조성비를 찾기 위하여 wt%별 가공특성을 연마제거량에 대하여 동일 가공조건 (압력:200g/cm², 공급량:200ml/min, 정반 및 헤드속도:30rpm) 가공 후 평가하였다. 이 실험에서 고정입자 패드의 metal CMP 적용시 가공액의 조성에 관한 기본 정보를 축적하여 연마제거율을 제어 할 수 있었다. 산화제로선 상기 1단계 실험에서 사용된 H_2O_2 와 $Fe(NO_3)_3$ 를 사용하였다.

먼저, H_2O_2 의 경우에 대해 wt%별 연마제거율에 관한 실험 결과는 fig. 14와 같다.

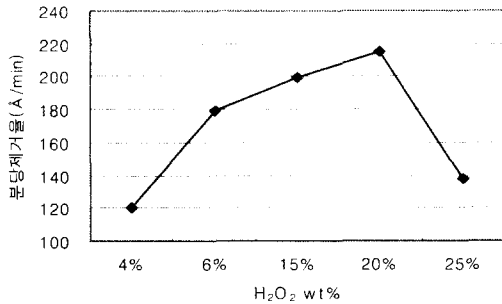


Fig. 14 The effect of wt% on MRR

위의 실험으로 H_2O_2 각 조성비에서의 연마제거율 특성을 구할 수 있었다. H_2O_2 의 경우는 최대치가 본 실험의 조건에서는 220 Å/min인 것을 알 수 있었다.

$Fe(NO_3)_3$ 의 경우도 각 조성비에 따른 연마제거율과 최대치가 약 800 Å/min임을 알 수 있었다.(fig. 15)

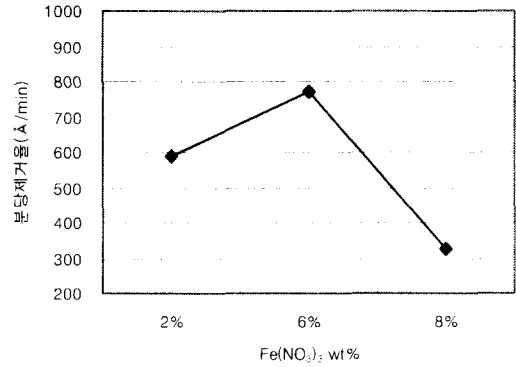


Fig. 15 The effect of wt% on MRR

6. metal CMP 적용 결과

제작된 입자 함침 패드의 metal CMP 적용을 위하여 기존의 알루미늄 베이스 슬러리와 비교실험을 통해 그 가능성을 평가해 보았다. 입자함침 패드용 가공액의 조성비는 선행 실험에서 얻어진 결과를 바탕으로 여러 가는 조성비 중 $Fe(NO_3)_3$ 6wt%과 HNO_3 0.5wt%의 조건을 선택하였다. 실험 조건은 Table.3에 나타내었으며, CMP 장비는 1head/1plate를 가지는 장비를 이용하였다. 가공 결과의 측정을 위하여 비저항 측정에 의한 금속 박막 두께측정기인 4-point probe를 사용하여 측정 평가하였다.

Table 3 Experimental Condition

	AEP	Conventional
Pressure	200g/cm ²	200g/cm ²
Relative velocity	30/30rpm	30/30rpm
Pad	AEP(CeO_2)	IC 1400
Slurry	$Fe(NO_3)_3$ wt6%	MSW2000
Suply volume	200ml/min	200ml/min
Wafer	W(8000 Å)	W(8000 Å)

각 가공 조건에 따른 연마제거율을 fig. 16에 나타내었다. 입자를 포함하지 않는 가공액만을 공급하는 입자함침패드의 경우 기존의 metal CMP와 비교하여 동등한 정도의 성능을 가짐을 알 수 있다. 이는 고정 입자로 쓰인 세리아 입자의 연마 특성 우수성과 고정 입자 가공의 결과로 사료된다. 그리고, 수용성 바인더를 이용한 입자함침패드의 연마제거율은 swelling 특성에 의해 입자의 배출이 원활히 이루어졌으며, 이는 오토 컨디셔닝이 이루어짐을 알 수 있다.

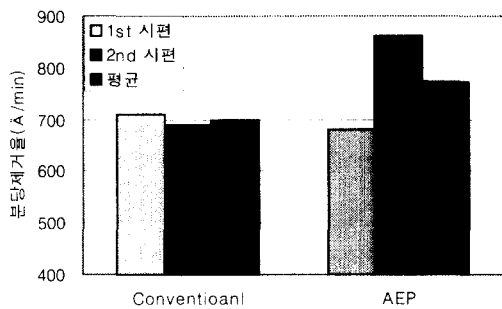


Fig. 16 MRR in Different CMP Method

패드의 제작 시 패드의 물리적인 특성인 탄성과 탄성회복률 등은 연마제거율과 연마균일도에 큰 영향을 미치므로 특성의 파악과 선택이 중요하다. 본 논문에서는 고정입자 패드의 하부층의 경우 기존 상용 패드를 사용하였으므로 하부층의 선택실험은 생략하였다. 그러므로, 하부 패드의 영향에 의한 연마특성의 평가가 추가로 진행되어야 한다. 가공 후 웨이퍼 표면의 scratch 유무를 광학현미경을 사용하여 평가하였으며, 그 결과 현미경상으로 관찰되는 scratch는 발견되지 않았다. 그러나, 반도체 공정 특성상 AFM 또는 surf-scan을 이용한 micro-scratch 평가가 필요할 것으로 사료된다.

7. 결론

본 논문은 수용성 바인더를 이용한 입자 함침 패드의 metal CMP 적용에 관하여 아래의 결론을 고찰하였다.

- (1) 바인더의 조성에 따른 swelling 특성과 abrasion과의 상관 관계를 알 수 있었다.
- (2) 연마제거율은 상용의 CMP와 비교하여 동등한 정도의 결과를 알 수 있었다.
- (3) 입자함침패드의 가공 재현성을 위한 오토 컨디셔닝 개념을 확립하였다.
- (4) 슬러리 사용을 최대한 억제시킴으로서 eco-process를 구현할 수 있었다.
- (5) 산화제별 산화 특성과 연마제거율 특성을 알 수 있었다.

입자 함침 패드의 metal CMP 적용 시 발생할 수 있는 실제 공정특성 변화의 문제점들은 적절한 하부 패드의 개발과 새로운 공정에 맞는 공정 조건에 대한 연구가 진행된다면 충분히 해결 될 수 있는 문제점이라 생각되며, 이에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

1. Joseph M. Steigerwald, "Chemical Mechanical Planarization of Microelectronic Materials," pp. 255-267, 1996.
2. 土肥 俊郎, "Details of Semiconductor CMP Technology," pp. 319-332, 2000.
3. Peter Powell, "Engineering with Polymers," Chapman and Hall, pp. 89-95, 1983.
4. S. Kordic, A. Imard, and P. Mote., "Cu-CMP Strategies," Proceeding of CMP-MIC Conference, pp. 341-348, 2001.
5. Doglus P Goetz, "The Effect of Subpad Construction on Patern Density Effects for Slurry-free CMP," Proceeding of CMP-MIC Conference, pp. 234-241, 1999.
6. Hsueh-Chung Chen, Teng-Chun Tsai, Sho-Chung Hu, "Charactrization of Dishing Behavior on Copper CMP for Advanced ULSI Interconnect," Proceeding of CMP-MIC Conference, pp. 601-604, 2001.