

층간절연막 화학기계연마에서 입자코팅패드에 관한 연구

김호윤*, 박재홍*, 정해도*, 서헌덕**, 남철우***, 이상익***

Study on the Abrasive Capsulation Pad in Interlayer Dielectric Chemical Mechanical Polishing

Ho Youn Kim*, Jae Hong Park*, Hae Do Jeong*, Heon Deok Seo**, Chul Woo Nam***, Sang-Ick Lee***

ABSTRACT

The chemical mechanical polishing (CMP) is generally consisted of pad, slurry including abrasives and so on. However, there are some problems in a general CMP: defects, a high Cost of Consumable (CoC), an environmental problem. The slurry including abrasives especially gives rise to not only increase a CoC, but also prohibition from achieving an eco-process. This paper introduces an abrasive capsulation pad to achieve an eco-process decreasing abrasives used in CMP. The binder with a water swelling and a water soluble characteristic is used for an auto-conditioning, and the CeO₂ abrasive is selected for an abrasive capsulation pad. Comparing with a conventional CMP, an abrasive capsulation pad appears good characteristics in ILD CMP and is able to achieve an eco-process decreasing wasted slurry.

Key Words : Chemical Mechanical Polishing(화학기계연마), Abrasive capsulation pad(입자코팅패드), Auto-conditioning(연속컨디셔닝), Interlayer dielectric(층간절연막), Cerium oxide(산화세륨)

1. 서론

반도체는 최소 선폭의 감소와 다층배선으로의 구조적 변화가 계속적으로 이루어지고 있으며, 이를 위하여 노광 공정 시 더 짧은 광원이 필요로 되고 있다. 그러므로, 칩 내의 평탄화는 더욱더 엄격하게 요구되어 질 것이며, 웨이퍼 내의 광역평탄화 역시 수율 측면에서 중요한 인자로 작용되어 진다 [1]. 평탄화를 위한 공정은 etch-back, reflow, spin-on glass(SOG), chemical mechanical polishing(CMP) 등이 있다. 이중 화학기계연마

(CMP)는 가장 효과적인 평탄화 방법으로 이용되고 있다. 화학기계연마는 크게 장비, 종점검출 시스템, 세정과 소모품 등으로 구성되어진다. 소모품은 입자와 화학액을 포함하는 슬러리, 폴리우레탄 발포체로 구성되는 패드, 그리고 웨이퍼의 가공 기준점을 확보하기 위한 백킹재로 이루어지며, 가공 재현성을 위한 컨디셔너가 있다. 슬러리는 물질 제거, 선택비, 표면 조도 측면에서 중요한 인자로 작용하며 [2], 패드는 특히 웨이퍼 내의 연마균일성(WIWNU: Within Wafer Non-Uniformity), 웨이퍼 간의 연마균일성(WTWNNU: Wafer To Wafer Non-

✉ 2001년 6월 8일 접수
* 부산대학교 정밀기계공학과
** 지엔피테크놀로지
*** 하이닉스 반도체 메모리 연구소

Uniformity)에 영향을 미친다.

평탄화에 뛰어난 특성을 보이는 화학기계연마는 디싱, 에로전, 스크래치, 오염, 높은 소모품 비(CoC: Cost of Consumable) 등과 같은 문제점을 가지고 있다. 디싱과 에로전은 배선 및 소자절연층의 두께를 변화시킴으로서 동작 특성에 영향을 미치므로 해결되어야만 하는 사항이다. 또한, 일반적인 화학기계연마 시 공급되는 슬러리 중 30~40% 정도만 실제 연마에 참가한다. 이는 소모품 비를 증가시키는 가장 큰 요인으로 작용한다 [1].

화학기계연마 시 발생하는 이러한 문제점을 해결하기 위한 연구가 여러 문헌에서 보고되고 있으며, 그중 하나가 고정입자패드 적용이다 [4-5,8]. 고정입자패드는 화학기계연마 적용 시 기본적으로 박막제거율, 연마균일성을 만족하여야 하며, 또한 연마입자의 연속적인 공급을 위한 새로운 개념의 컨디셔닝이 필요하다. 일반적으로 웨이퍼 상의 패턴을 이용한 컨디셔닝 방법이 소개되고 있으나, 이는 한계점을 가지고 있다. 패턴 웨이퍼는 화학기계연마 시 패턴을 가지는 표면형상에서 궁극적으로 평탄한 표면으로 변화하므로 연마 중점에 가까울수록 박막제거율이 감소하는 문제점을 가진다. 본 연구는 연속 컨디셔닝을 위한 수용성과 친수성 폴리머를 이용한 입자코팅패드의 개발을 소개하고자 한다.

2. 입자코팅패드

화학기계연마는 웨이퍼가 패드상에 가압되면서 동시에 회전하는 구조이며, 입자와 화학액을 포함한 슬러리가 패드 상에 공급되어진다. 연마입자에 가해지는 압력과 상대속도에 의한 기계적 작용과 화학액에 의한 화학적 작용의 조합으로 웨이퍼 표면의 박막 제거가 이루어진다 (Fig. 1) [6].

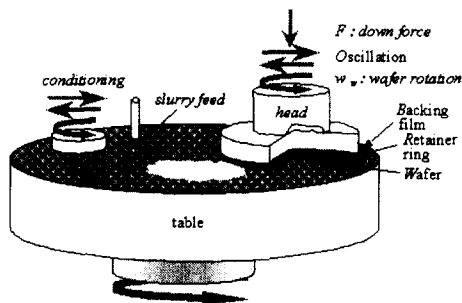


Fig. 1 The schematic diagram of CMP

입자코팅패드는 박막제거를 위한 입자층, 칩과 웨이퍼 전체의 평탄화를 위하여 적층 구조, 세 개의 층으로 구성되어진다 (Fig. 2). 연마입자는 수용성 폴리머에 의해 표면이 코팅 되어지고, 코팅된 연마 입자는 친수성 폴리머에 의해 적층 패드 상에 형성된다. 코팅재로 사용되는 수용성 폴리머에는 polyvinyl-alcohol (PVA), polyvinyl-pyrrolidone (PVP) 등이 있으며, 본 연구에서는 PVP 를 이용하였다. 경화재로 사용되는 친수성 폴리머는 polyethylene glycol (PEG), polyethylene glycol monomethacrylate (PEGMA), trimethylolpropane trimethacrylate (TMPTA) 등이 있으며 이 세 가지 친수성 폴리머의 조합으로 코팅된 입자를 패드 상에 경화시켰다.

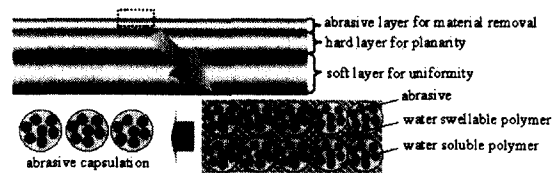


Fig. 2 The schematic diagram of an abrasive capulation pad

수용성 및 친수성 폴리머의 메커니즘은 친수성기로 설명할 수 있다. 친수성 기로는 hydroxyl (-OH), carboxyl (-COOH), carbonyl group (-CO) 등이 있다. 이러한 친수성 기가 물과 접촉하면 물분자는 폴리머 내로 침투하여 기 주위로 모기게 되며, 폴리머 구조는 팽창하게 된다. 물의 침투와 흡수가 어느 이상이 되면 폴리머 구조는 점점 더 팽창하여 폴리머는 하나씩 분리되어진다. 이러한 특성을 가지는 폴리머를 수용성 폴리머라 한다. 그리고, 폴리머 구조가 분리되지는 않고 팽창 특성을 가지는 폴리머를 친수성 폴리머라 한다.

수용성 및 친수성 폴리머로 구성된 연마입자가 물과 접촉하면 친수성 폴리머는 팽창함과 동시에 수용성 폴리머는 분해되게 된다. 이러한 과정을 거치면서 연마입자는 고정 상태에서 자유 상태로 바뀌게 되고 화학기계연마에 참여하게 된다. 코팅재인 수용성 폴리머의 목적은 연속적인 컨디셔닝을 가능케 함으로서 연마입자가 화학기계연마에 참여하게 한다. 그리고, 친수성 폴리머는 과도한 연마층의 제거를 방지함과 동시에 팽창된 구조는 웨이퍼와의 마찰력에 의하여 쉽게 제거된다.

이는 웨이퍼 상의 특정 형상과 패턴 및 박막 웨이퍼에 관계없이 화학기계연마를 가능하게 한다.

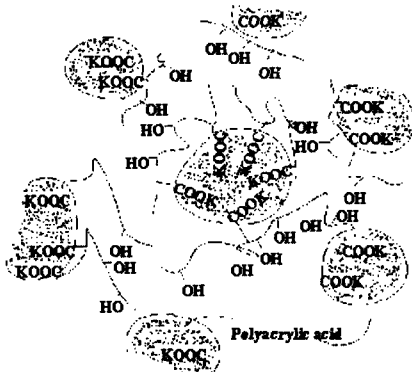


Fig. 3 The swelling mechanism by a hydrophilic polymer

3. 입자 코팅과 폴리머 조성

입자코팅패드에서 입자층은 두 가지 공정을 거쳐 형성된다. 입자코팅공정과 코팅입자의 경화 과정이며, Fig. 4는 제작 과정을 나타내고 있다. 연마입자는 수용성 폴리머가 녹아 있는 용매에 분산된다. 분산된 용매는 분사, 건조 공정을 거치면서 용매를 휘발되고, 수용성 폴리머는 연마입자를 코팅하게 된다. 코팅된 입자는 친수성 폴리머와 혼합되며, 적층 패드 상에 형성된다. 형성된 입자층은 자외선을 이용하여 완전히 경화되어진다.

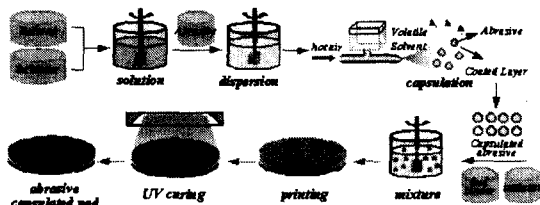


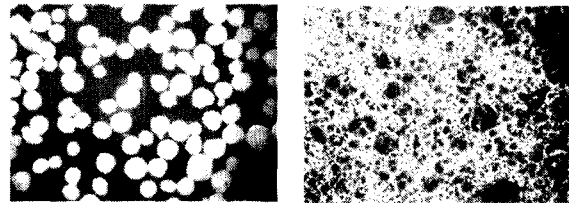
Fig. 4 The manufacturing sequence of an abrasive capsulation pad

3.1 수용성 폴리머를 이용한 입자 코팅

입자 코팅은 화학기계연마 시 수용성 폴리머가 물에 쉽게 분해되어 새로운 연마입자를 자유입자 상태에서 연마에 참여시키는데 그 목적이 있다. 본 연구에서는 입자 코팅에 분사, 건조 방법을 이

용하였다. 수용성 폴리머와 연마입자가 분산되어 있는 용매는 가열된 공기와 함께 챔버 내로 분사된다. 분사와 동시에 용매는 휘발되고 수용성 폴리머는 연마입자 표면에서부터 석출되어 입자 코팅이 이루어진다. 코팅 입자 크기는 주로 분사 속도와 공급량에 의해 결정된다. 입자코팅패드에 사용된 연마입자로는 산화세륨 (CeO_2)를 이용하였으며, 평균입경은 250 nm (D50)을 나타내었다. 코팅된 입자는 분쇄 후 입경의 분포는 1~5 μ m를 나타내었다.

수용성 폴리머의 용해성을 알아보기 위하여 코팅된 입자에 압력을 가하면서 물을 공급하였다. 가압된 압력은 10g/cm²이며, 공급된 화학액은 pH 10.8을 가지는 알칼리 수용액이다. Fig. 5의 왼쪽은 코팅된 입자를 나타내고 있으며, 오른쪽은 압력과 화학액을 3초간 가한 후 입자의 상태를 나타내고 있다. 코팅제인 수용성 폴리머가 쉽게 분해되면서 입자가 쉽게 분산되는 것을 확인할 수 있었다.



(a) capsulated abrasives (b) abrasives in alkali

Fig. 5 The picture of capsulated abrasives

3.2 친수성 폴리머의 팽창 특성

코팅된 연마입자는 친수성 폴리머에 의해 연마층으로 형성되며, 연마층은 패드와 웨이퍼 간의 마찰력에 의해 제거되어야만 한다. 수용성 폴리머로만 연마층을 형성할 경우 연마층의 과도한 마모가 이루어지므로 이를 조절하기 위하여 친수성 폴리머를 이용하였다.

친수성 폴리머를 두 가지 특성에 대하여 평가하였다. 하나는 물의 침투에 의한 팽창정도의 평가와 연마입자로의 압력 전달 정도이다. 물의 침투가 많을수록 폴리머 구조의 팽창은 증가한다. 팽창된 폴리머는 마찰력에 의해 쉽게 제거될 수 있으나, 과도한 팽창 특성은 패드의 수명을 단축시킬 수 있다. 그리고, 물의 침투에 의하여 구조가 팽창할수록 표면 경도는 감소한다. 이는 연마입자

로의 압력 전달이 낮아져 연마제거율이 감소하는 단점을 가진다. 이를 위하여 팽창특성과 마모특성을 고찰하였다.

팽창특성을 평가하기 위하여 친수성 폴리머의 조성비가 각기 다른 시편을 30℃의 수산화칼륨 수용액에 20분 동안 침전시켜서 질량 변화로 평가하였다. 각 시편의 조성비는 Table 1.에 나타내었다. 결과적으로 물의 침투에 의한 팽창 특성은 PEGMA, TMPTA의 지배계수가 PEG에 비하여 5배 정도 높은 것으로 나타났으며, PEGMA의 경우 팽창 특성을 높이는 것으로 나타났다. 그러나, TMPTA의 경우 감소시키는 경향을 나타내었다 (Fig. 6).

Table 1 The formulation of water swelling polymer

	PEG	PEGMA	TMPTA
1	60.0 g	40.0 g	0.0 g
2	40.0 g	60.0 g	0.0 g
3	40.0 g	40.0 g	20.0 g
4	50.0 g	50.0 g	0.0 g
5	50.0 g	40.0 g	10.0 g
6	40.0 g	50.0 g	10.0 g
7	53.3 g	43.3 g	3.4 g
8	43.3 g	53.3 g	3.4 g
9	43.3 g	43.3 g	13.4 g
10	46.7 g	46.7 g	6.6 g

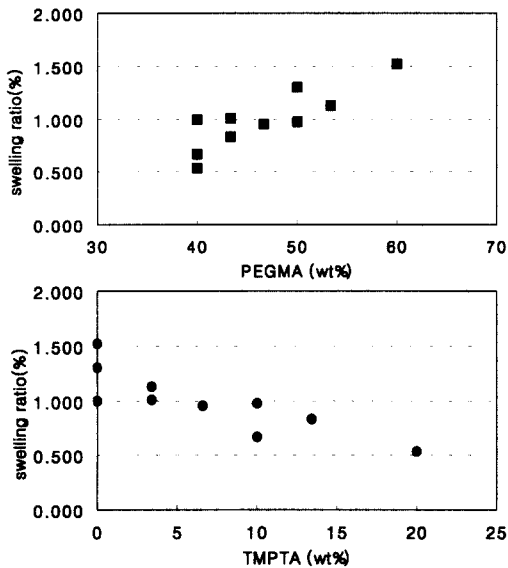


Fig. 6 The swelling ratio as polymer formulation

3.3 친수성 폴리머의 마모 특성

마모특성평가는 입자코팅패드의 표면경도와 관계된다. 습식상태에서의 패드 표면은 폴리머 구조가 팽창되어 있는 상태이므로 건식일때의 표면경도와는 차이를 나타낸다. 즉, 습식 상태에서는 건식에서보다 폴리머의 팽창으로 인하여 표면경도가 감소한다. 건식 상태에서의 표면 경도는 Asker-C 경도계로 85~95 정도로 일반적인 폴리우레탄 패드의 경도(80~85)와 비교해서 약간 높게 나타났다. 습식에서의 표면 상태를 알아보기 위하여 마모특성을 평가하였다.

습식 상태에서 다이아몬드 휠을 사용하였으며, 표면경도가 높을수록 마모율은 증가하게 된다. 각 시편의 마모율은 팽창특성과 반대의 경향을 나타내었다 (Fig. 7). TMPTA의 지배계수는 PEG에 비해 13배 정도로 가장 크게 나타났다. 이는 TMPTA의 경우 3 관능기를 가지고 있으므로 폴리머 구조밀도를 더욱더 높게 하는 역할을 하며, 폴리머 구조밀도가 높을수록 팽창특성은 감소하므로 마모율은 증가한다는 것을 의미한다.

결과적으로 팽창특성과 마모특성은 반대의 경향을 나타내었으며, 두 가지 특성을 고려한 친수성 폴리머의 조성비를 선택하여 입자코팅패드를 제작하였다.

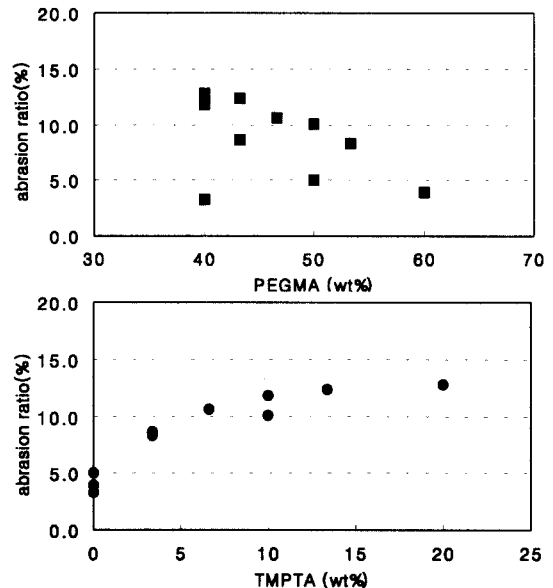


Fig. 7 The abrasion ratio as polymer formulation

입자코팅패드는 마모 및 팽창 특성을 고려한 친수성폴리머와 수용성 폴리머로 코팅된 산화세륨 입자를 사용하였다. 입자층은 원기둥 형상으로 구성하였으며, 경화방법은 광경화 방법을 사용하였다. 사용한 광은 자외선으로 일반적으로 열경화에 비하여 30초 내외의 짧은 시간에 완전 경화를 이룰 수 있다. Fig. 8은 제작된 입자코팅패드의 표면을 나타내고 있다.

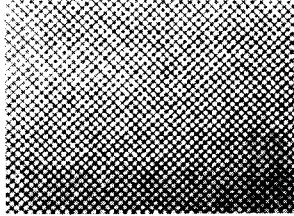


Fig. 8 The picture of an abrasive capsulation pad

4. 실험 및 고찰

4.1 실험 조건

제작한 입자코팅패드를 층간절연막 화학기계 연마에 적용하여, 일반적인 화학기계연마와 비교하였다. 일반적인 화학기계연마로는 IC1400™과 두 종류의 슬러리를 이용하였으며, 로터리 형식의 연마기를 사용하였다. 압력과 상대속도는 일정한 300g/cm²과 30T/30H rpm으로 고정하였다. 입자코팅패드의 화학기계연마 시에는 5wt%, pH 10.8의 수산화칼륨 수용액을 공급하였으며, 10000Å 두께를 가지는 PETEOS film wafer를 사용하였다. 그리고, 입자코팅패드에는 컨디셔닝을 적용하지 않았으며, 일반적인 화학기계연마에는 용착다이아몬드 디스크로 웨이퍼 사이에 컨디셔닝을 적용하였다.

Table 2 Experimental condition

	CMP using abrasive Capsulation pad	conventional CMP	conventional CMP
pressure	300 g/cm ²	300 g/cm ²	300 g/cm ²
velocity (carrier/table)	30/30 rpm	30/30 rpm	30/30 rpm
pad	abrasive capsulation pad (CeO ₂)	IC 1400™	IC 1400™
slurry	KOH solution (5wt%, pH10.8)	fumed silica	fumed silica
supply volume	150 ml/min	150 ml/min	150 ml/min
conditioning	brush type	diamond	diamond
temperature	45 °C	40 °C	40 °C

4.2 연마제거율과 균일가공성

화학기계연마 후 PETEOS film wafer의 박막 두께를 52-point cartesian coordinate 방식으로 측정, 평가하였다^[7]. 입자코팅패드를 이용한 연마제거율은 일반적인 화학기계연마에 비하여 30% 정도 증가하였다. 이는 산화세륨 입자의 가공성과 입자코팅패드에서의 층간절연막 화학기계연마의 적용이 가능함을 보여준다 (Fig. 9). 그러나, 연마 재현성 측면에서는 일반적인 화학기계연마에 비해 다소 넓은 분포를 가졌으며, 이는 연마층 하부에 존재하는 PC 필름과 연마층의 두께 불균일에 의해 발생하는 것으로 생각된다.

웨이퍼 전체의 균일가공성은 세 가지 실험조건에서 모두 비슷한 경향을 나타내었다. 이는 입자코팅패드에서 화학액이 웨이퍼 내부로 균일하게 공급되는 것과 웨이퍼 수율면에서도 양호함을 의미한다 (Fig. 10)

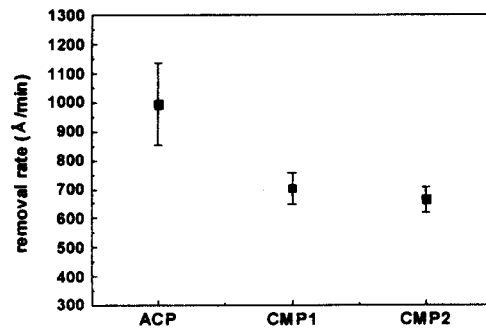


Fig. 9 The removal rate of PETEOS wafer

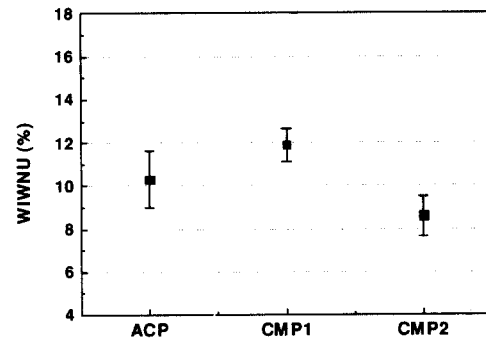


Fig. 10 The WIWNU of PETEOS wafer

$$WIWNU(\%) = \frac{\sigma}{R.R. \text{ avg}}$$

(σ: standard deviation, R.R._{avg}: average removal rate)

입자코팅패드에서 연속 컨디셔닝의 여부를 살펴 보았다. 입자코팅패드에 초순수만 공급하여 BPSG film wafer 25 장을 연속 가공하여서 그 결과로 평가하였다. 가공조건은 200g/cm², 25H/20T rpm 그리고 초순수를 800cc/min 공급하였다. 컨디셔닝은 사용하지 않았으며, 브러시를 사용한 표면 세정만 적용하였다. BPSG film wafer 의 입자코팅패드에서의 연마제거율을 Fig. 11 에 나타내었다. 연마제거율이 다소 감소하는 경향을 보이고 있으나, 연마 후반부에 입자층의 부분적인 탈락으로 인한 현상으로 생각되며, 연속 컨디셔닝이 이루어지고 있음을 알 수 있었다. 이러한 연속 컨디셔닝 특성은 입자코팅패드의 가장 큰 장점으로 생각되며 컨디셔닝으로 인하여 발생하는 문제점들을 상당 부분 개선할 수 있을 것으로 기대된다.

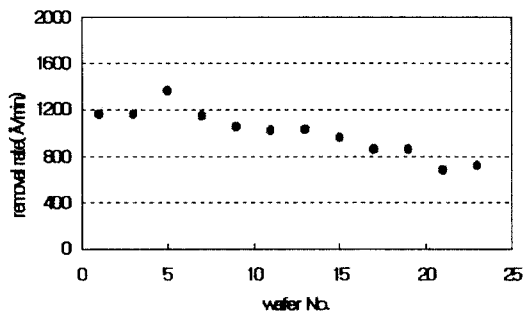


Fig. 11 The removal rate of BPSG wafer

5. 결론

본 논문에서는 연속 컨디셔닝(auto-conditioning)의 가능성과 소모품비(CoC: Cost of Consumable)를 감소시킬 수 있는 입자코팅패드의 개발에 관하여 연구하였다. 개발된 입자코팅패드를 PETEOS, BPSG film wafer 에 적용하여 연마제거율과 연마균일성에 대해서 평가하였다.

I) 입자코팅패드는 일반적인 화학기계연마에 비하여 연마제거율이 30% 증가하였다.

II) 연마균일성은 일반적인 화학기계연마와 동일한 수준을 나타내었다.

III) 수용성 및 친수성 폴리머를 이용하여 연속 컨디셔닝 기술을 확립할 수 있었다.

IV) 페슬러리를 줄임으로서 환경친화적 화학기계연마 공정을 이룰 수 있었다.

V) 사용되는 연마입자, 화학액을 줄임으로서 소모품비(CoC)를 감소시킬 수 있었다.

VI) 화학기계연마 환경을 입자코팅패드를 적용함으로써 향상시킬 수 있었다.

참고문헌

1. H. Lim, S.S. Kim, K.S. Chung, "Influence of Polysilicon Deposition Conditions on the Characteristics of Oxide-Nitride-Oxide Memory Capacitors," J. Korean Phys., Vol. 33, 501, 1998.
2. 정해도, "화학기계적 폴리싱(CMP)에 의한 층간절연막의 광역평탄화에 관한 연구," 한국정밀공학회지, 제 13 권, 제 11 호, pp. 46-56, 1996.
3. Thomas F.A. Bibby, John A. Adams, Karey Holland, Gerald A. Krulik, Paul Parikh, "CMP CoO reduction: slurry reprocessing," Thin Solid Films, 308-309, pp. 538-542, 1997.
4. Vilas Koinkar, Reza Golzarian, Qiuliang Luo, Matthew VanHanehem, Jim Shen, Peter Burke, "Chemical Mechanical Planarization of copper interconnects using fixed abrasive polishing pad," Proceedings of fifth international CMP-MIC, Santa Clara, U.S.A., March 2-3, pp. 58-65, 2000.
5. Andreas Römer, Timothy Donohue, John Gagliardi, Frauke Weimar, Peter Thieme, Mark Hollatz, "STI CMP using fixed abrasive demands, measurement methods and results," Proceedings of fifth international CMP-MIC, Santa Clara, U.S.A., March 2-3, pp. 265-274, 2000.
6. Joseph M. Steigerwald, Chemical Mechanical Planarization of Microelectronic Materials, John Wiley, 1997.
7. Thomas F.A. Bibby, Randy Harwood, Dennis Schey, Kevin Mckinley, "Cartesian coordinate maps for chemical mechanical planarization uniformity characterization," Thin Solid Films, 308-309, pp. 512-517, 1997.
8. M. fayolle, J.F. Lugand, F. Weimar, W. Bruxvoort, "Evaluation of a new slurry-free CMP technique for oxide planarization," Proceedings of third international CMP-MIC, Santa Clara, U.S.A., February 19-20, pp. 128-133, 1998.