

실리카 연마제가 첨가된 재활용 슬러리를 사용한 2단계 CMP 특성

Characteristics of 2-Step CMP (Chemical Mechanical Polishing) Process using Reused Slurry by Adding of Silica Abrasives

서용진^{*}, 이경진^{*}, 최운식^{*}, 김상용^{**}, 박진성^{***}, 이우선^{****}
(Yong-Jin Seo^{*}, Kyoung-Jin Lee^{*}, Woon-Shik Choi^{*}, Sang-Yong Kim^{**},
Jin-Seong Park^{***}, and Woo-Sun Lee^{****})

Abstract

Recently, CMP (chemical mechanical polishing) technology has been widely used for global planarization of multi-level interconnection for ULSI applications. However, COO (cost of ownership) and COC (cost of consumables) were relatively increased because of expensive slurry. In this paper, we have studied the possibility of recycle of reused silica slurry in order to reduce the costs of CMP slurry. The post-CMP thickness and within-wafer non-uniformity (WIWNU) were measured as a function of different slurry composition. As an experimental result, the performance of reused slurry with annealed silica abrasive of 2 wt% contents was showed high removal rate and low non-uniformity. Therefore, we propose two-step CMP process as follows ; In the first-step CMP, we can polish the thick and rough film surface using remaked slurry, and then, in the second-step CMP, we can polish the thin film and fine pattern using original slurry. In summary, we can expect the saving of high costs of slurry.

Key Words : CMP (chemical mechanical polishing), Consumables, Reused slurry, Abrasive, Removal rate

1. 서 론

CMP (chemical mechanical polishing) 기술은 반도체 제조 공정의 집적도가 증가함에 따라 의존도 또한 높아져 ILD (inter-level dielectric), PMD (pre-metal dielectric)막의 광역 평탄화[1, 2]에 없어서는 안될 필수적인 공정으로 자리 잡았다.

CMP 공정은 화학적이고 기계적인 힘에 의해

표면을 매끄럽게 평탄화하는 공정으로 웨이퍼의 전면을 회전하는 패드 사이에 화학적인 액상의 슬러리를 공급하면서 기계적으로 연마하는 기술이다 [3, 4]. 그러나, 현재 광범위하게 사용되는 CMP 장비와 소모자재 (consumables)는 반도체 제조 공정에서 단가를 높이는 주요한 요인이 되고 있다. 특히, CMP와 관련하여 COC (cost of consumables)의 약 50 % 정도가 슬러리에 해당된다[5]. 또한, 높은 연마 제거율과 낮은 비균일도의 특성을 얻기 위해서는 충분한 슬러리의 투입이 요구되어 이러한 슬러리의 재활용에 대한 연구는 매우 의미 있는 일이 아닐 수 없다.

따라서 본 논문에서는, 슬러리의 재활용에 대한 가능성을 조사하기 위해 산화막 CMP 슬러리를 사용하여 그 특성을 알아보고, 재활용된 슬러리를 사용하여 원액과 희석[6]시킨 후, 자체 제작한 실

* : 대불대학교 전기전자공학과
(전남 영암군 삼호면 산호리 대불대학교,
Fax: 061-469-1260
Corresponding Author : syj@mail.daebul.ac.kr)
** : (주)동부아남반도체 Fab. 사업부
*** : 조선대학교 신소재공학과
**** : 조선대학교 전기공학과
2002년 12월 31일 접수, 2003년 1월 27일 1차 심사완료,
2003년 4월 30일 최종 심사완료.

리카 연마제를 첨가하여 슬러리의 향상된 결과를 얻기 위해 노력하였다. 이러한 결과를 바탕으로 1 단계에서 재활용된 슬러리를 이용하여 두껍고 거친 표면을 1차 연마[7]하고, 2단계로 원액의 슬러리를 사용하여 2차 CMP를 함으로써 고가의 슬러리에 대한 소비량을 줄일 수 있는 방법을 제안하고자 한다.

2. 실험

본 실험에서 주요하게 사용된 슬러리는 KOH-based 실리카 슬러리였으며, 공정 조건으로는 표 1과 같이 장비의 DOE (design of experiment)[8]에 의해 설정된 조건을 이용하여 CMP 공정을 수행하였다. 또한, 90 ml/min.의 슬러리 유속으로 웨이퍼 3 장을 연마하고 난 후, 3 분 동안 150 ml/min.의 유속으로 탈이온수 (DIW ; de-ionized water)를 공급하면서 패드 컨디셔닝 (pad-conditioning)을 하였으며, 이와 같은 공정을 4 차례 반복하여 12 장의 웨이퍼를 연마하고 난 후, 총 3420 ml의 재활용 슬러리를 수집하여 사용하였다. 즉, 슬러리의 소비량을 줄이기 위해 원액과 재활용 슬러리를 각각 5 : 5 와 3 : 7로 섞어서 실험하였으며, 각각의 슬러리는 적정 수준의 pH를 회복시키기 위한 완충제 (buffer solution)로써 KOH를 첨가하였다. 연마제로서는 SiO₂ 분말과 1100 °C에서 소성시켜 자체 제작한 SiO₂ 분말을 각각 첨가하여 post-CMP 두께와 비균일도 (non-uniformity)를 고찰하였다. 여기서 1100 °C에서 SiO₂ 분말을 열처리한 이유는 열처리 소성 및 분쇄에 의해 연마제의 기계적 강도를 증가시켜 보기 위해서이다.

CMP 연마 장치는 그림 1의 G&P Technology 사의 POLI380을 사용하였다. 연마 패드는 Rodel사의 IC 1300과 Suba IV를 접착시킨 이중 연마 패드를 사용하였다. 헤드는 4인치 웨이퍼를 장착할 수 있는 구조로써, main 공압은 5 kg/cm² 이상으로 유지하였고, 맥동식 펌프가 장착되어 있는 슬러리 공급장치를 사용하였다. 웨이퍼는 1200 °C의 전기로에서 6 시간 동안 산화막을 증착시킨 4인치 블랭킷 (blanket) 웨이퍼를 사용하였다. 원액과 재활용 슬러리의 희석과 연마제 첨가시 연마 입자의 분산을 돕기 위해 Sonic Tech.사의 초음파 분산기를 이용하였으며, 혼합된 슬러리의 aging 현상 및 침전을 방지하기 위해 연마전 교반기를 사용하여

충분히 교반시켜 주었다. post-CMP 세정공정으로 먼저 2 분간 SC-1 케미칼에 1 분간 DHF 용액에 세정한 후, 4 분동안 초음파 세척기를 이용하여 탈리닝하였다. 그림 2는 두께 측정을 위해 Nanospec /AFT 2100을 사용하여 중심부분에서부터 바깥 부분까지 시계방향으로 9 점을 측정한 것을 보인 것이며, 슬러리는 Accusizer 780을 이용하여 60 ml/min의 유속으로 흘려주면서 슬러리의 입도를 분석하였다.

표 1. CMP 장비의 DOE 조건.

Table 1. DOE conditions of CMP equipment.

테이블 속도	40 rpm
헤드 속도	60 rpm
연마 압력	300 g/cm ²
슬러리 유속	90 ml/min
연마 시간	90 sec

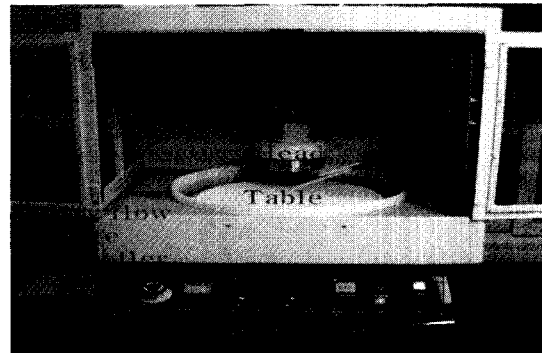


그림 1. G&P Technology사의 POLI380 CMP 장치.
Fig. 1. POLI380 CMP equipment of G&P Technology company.

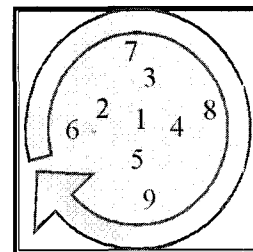


그림 2. 9점 측정 방법.
Fig. 2. Method of 9 point measurement.

3. 결과 및 고찰

그림 3은 재활용 슬러리의 입도 분석 결과를 보인 것이다. 본 실험에서 사용된 재활용 슬러리는 총 12 장의 산화막 CMP 공정 및 패드 컨디셔닝 후에 수집된 슬러리이므로 여기에는 연마된 SiO₂ 산화막 찌꺼기, 및 패드 컨디셔닝 후 다량의 탈이온수와 각종 오염원등이 포함되어 있을 것으로 생각되어 입도 분석을 수행하였다. 50 μm 이상의 파티클은 거의 검출되지 않고 대략 1 μm 정도의 파티클만 분포하고 있어 재활용의 가능성을 1차적으로 보여주고 있다.

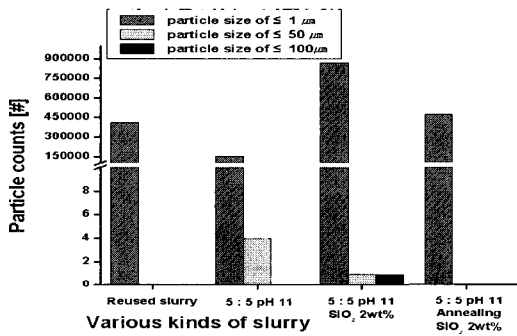


그림 3. 재활용 슬러리의 입도분석.
Fig. 3. Particle size analysis of reused slurry.

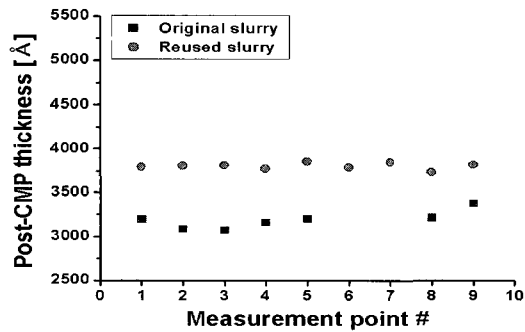


그림 4. 재활용 슬러리에 대한 post-CMP의 두께 특성.
Fig. 4. Post-CMP thickness as a function of reused slurry.

그림 4는 원액의 슬러리와 재활용된 슬러리를 사용하여 CMP 한 후 시료의 두께를 측정하여 나타낸 것이다. CMP 공정을 거치기 전 시료에 대해 두께를 측정한 결과 대략 5400 Å이었으며, 90 초

의 공정 시간을 두어 얻어진 결과, post-CMP 두께는 원액의 경우 3180 Å 이었고, 재활용된 슬러리를 사용한 결과 3800 Å 정도였다. 재활용된 슬러리가 원액의 경우 보다 600 Å 정도 낮은 post-CMP 두께를 나타내었지만, 비균일도 측면에서 비슷한 양상을 보여 재활용 가능성이 충분함을 보여 주었다.

그림 5는 원액의 슬러리와 재활용 슬러리를 5 : 5로 섞은 슬러리에 각종 연마제로 SiO₂ 분말을 각각 다른 함량으로 첨가한 경우와 열처리된 2 wt%의 SiO₂ 분말을 첨가한 경우 post-CMP 두께를 측정하여 각각 나타낸 것이다. 각각의 시료에 대해

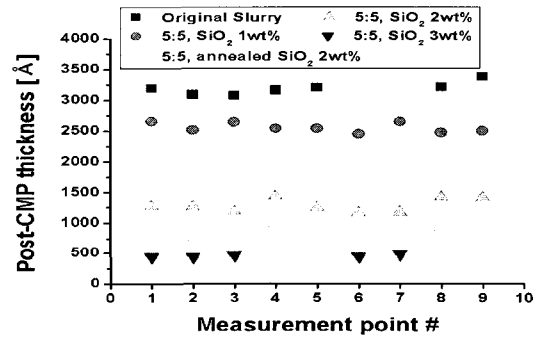


그림 5. 5 : 5로 섞은 슬러리에 연마제를 첨가한 경우의 post-CMP 두께 특성.
Fig. 5. Post-CMP thickness as a function of abrasive adding of different content in the 5 : 5 mixed silica slurry.

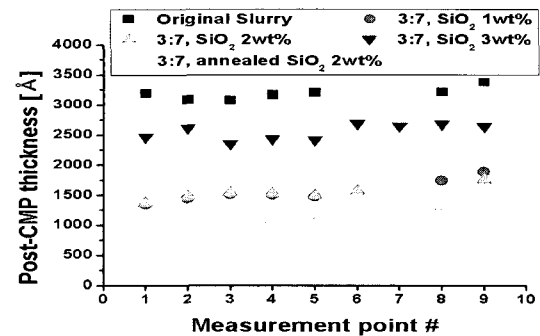
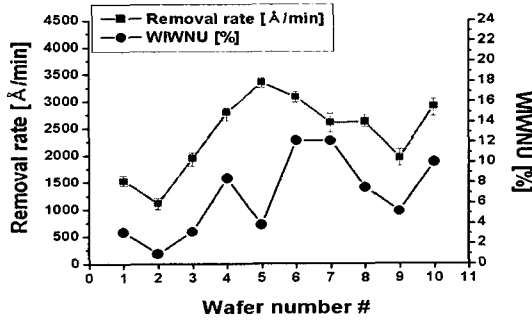


그림 6. 3 : 7로 섞은 슬러리에 연마제를 첨가한 경우의 post-CMP 두께 특성.
Fig. 6. Post-CMP thickness as a function of abrasive adding of different content in the 3 : 7 mixed silica slurry.

90 초의 공정 시간을 두어 연마한 결과, 열처리된 SiO₂를 2 wt% 첨가한 경우와 SiO₂를 3 wt% 첨가한 경우에서 post-CMP 두께가 각각 830 Å과 450 Å으로 매우 높은 연마율을 보였다.

3 : 7로 원액과 재활용 슬러리를 섞은 경우에 대해 post-CMP 두께를 측정하여 그림 6에 나타내었다. 90 초동안 연마한 결과, 5 : 5로 희석된 경우와 마찬가지로 3 : 7로 희석된 경우에서도 post-CMP 두께는 열처리된 SiO₂를 2 wt% 첨가한 경우에서 1100 Å으로 우수하였으나, SiO₂를 1 wt%와 2 wt%를 첨가한 경우에는 1500 Å 정도의 비슷한 연마율 특성을 나타내었다.



(a)

Wafer No.	Slurry composition
1	Original slurry
2	Reused slurry
3	5 : 5, SiO ₂ 1 wt% 첨가
4	5 : 5, SiO ₂ 2 wt% 첨가
5	5 : 5, SiO ₂ 3 wt% 첨가
6	5 : 5, 1100°C-annealed SiO ₂ 2 wt% 첨가
7	3 : 7, SiO ₂ 1 wt% 첨가
8	3 : 7, SiO ₂ 2 wt% 첨가
9	3 : 7, SiO ₂ 3 wt% 첨가
10	3 : 7, 1100°C-annealed SiO ₂ 2 wt% 첨가

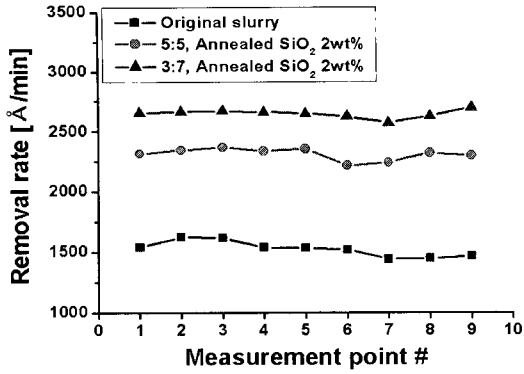
(b)

그림 7. 슬러리 조성에 따른 연마율과 비균일도 특성. (a) 각 시료의 연마율과 비균일도 특성. (b) 슬러리 조성에 따른 웨이퍼 종류.

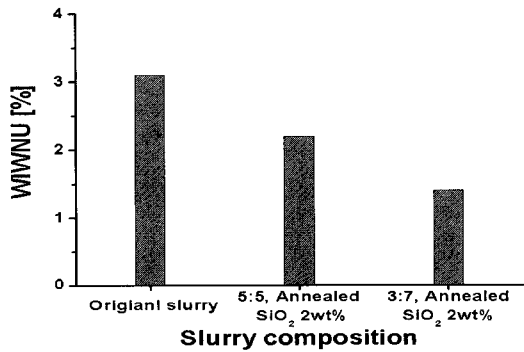
Fig. 7. Relation of removal rate and non-uniformity as a function of slurry composition. (a) relation of removal rate and non-uniformity as a function of each sample. (b) kinds of wafer as a function of slurry composition.

그림 7은 본 실험에서 사용한 각각의 슬러리 조성에 따른 연마 제거율과 비균일도 특성을 비교한 것이다. 슬러리 원액의 경우 1500 Å/min의 연마 제거율과 3 %의 낮은 비균일도를 나타내었다. 재활용 슬러리의 경우에는 1100 Å/min의 연마 제거율과 2 % 이하의 비균일도를 나타내었다. 또한, 슬러리 원액과 재활용 슬러리를 5 : 5로 희석하고 열처리된 SiO₂를 2 wt% 첨가한 경우에 3000 Å/min의 비교적 높은 연마 제거율과 8 %의 비균일도 특성을 나타내었다. 또한, 슬러리 원액과 재활용 슬러리를 3 : 7로 희석하고 열처리된 SiO₂를 2 wt% 첨가한 경우에 3000 Å/min의 비교적 높은 연마 제거율과 10 %의 비균일도 특성을 나타내었다. 이와 같은 1차 실험 결과로 인해, 본 연구의 초점인 2단계 CMP 방법을 제안하기 위해 두겹고 거친 표면의 CMP에서는 각각의 희석비에 따라 열처리된 SiO₂를 2 wt% 첨가하여 1단계 CMP한 후, 원액의 슬러리를 사용하여 2단계 CMP를 적용하였다.

그림 8 (a)는 2단계 CMP후의 연마율을 비교한 것으로서, 슬러리 원액의 경우 연마 제거율은 1500 Å/min이었다. 슬러리 원액과 재활용 슬러리를 5 : 5로 희석하고 열처리된 SiO₂를 2 wt% 첨가하여 1단계로 CMP하고, 슬러리 원액으로 2단계 CMP한 경우 연마 제거율은 2300 Å/min이었다. 또한, 3 : 7로 희석하고 열처리된 SiO₂를 2 wt% 첨가하여 1단계로 CMP하고 슬러리 원액으로 2단계 CMP한 경우 연마 제거율은 2600 Å/min의 비교적 높은 연마율을 나타내었다. 그림 8 (b)는 2단계 CMP에 따른 비균일도를 나타낸 것으로, 슬러리 원액의 경우 비균일도는 3.1 %를 나타내었다. 슬러리 원액과 재활용 슬러리를 5 : 5로 희석하고 열처리된 SiO₂를 2 wt% 첨가하여 1단계로 CMP하고 슬러리 원액으로 2단계 CMP한 경우 비균일도는 2.2 %였고, 3 : 7로 희석하고 열처리된 SiO₂를 2 wt% 첨가하여 1단계로 CMP하고 슬러리 원액으로 2단계 CMP한 경우에 비균일도는 1.4 %의 가장 낮은 비균일도 특성을 나타내었다. 따라서, 본 연구에 사용된 웨이퍼의 산화막 두께인 6000 Å을 EPD (end point detection) 관점에서 고찰해 보면, 슬러리 원액의 경우 연마율이 1500 Å/min이므로 총 4분의 연마시간이 소요되지만, 높은 연마율을 보인 3 : 7로 희석하고 열처리된 SiO₂를 2 wt% 첨가하여 2단계로 CMP한 경우에는 연마율이 2600 Å/min이므로 대략 2분을 약간 넘는 연마시간이 소요되어 연마시간 단축뿐만 아니라 상대적으로 슬러리의 소모를 줄일 수 있었다. 표 2는 이상의 결과를 요약하여 나타낸 것이다.



(a)



(b)

그림 8. 2단계 CMP에 따른 연마율과 비균일도 특성. (a) 2단계 CMP에 따른 연마율 특성. (b) 2단계 CMP에 따른 비균일도 특성.

Fig. 8. Removal rate and WIWNU as a function of 2-step CMP. (a) Removal rate as a function of 2-step CMP. (b) WIWNU as a function of 2-step CMP.

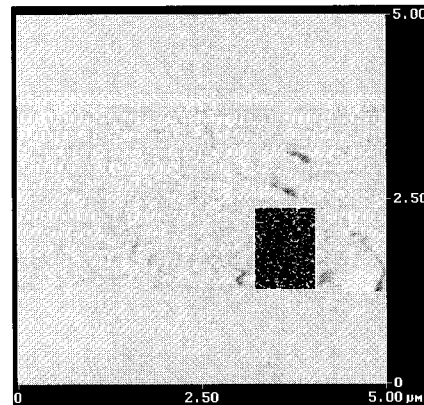
그림 9는 2단계 CMP한 후의 AFM (atomic force microscope) 사진을 나타낸 것이다. 슬러리 원액과 재활용 슬러리를 5 : 5로 희석하고 열처리된 SiO₂를 2 wt% 첨가하여 1단계로 CMP하고 슬러리 원액으로 2단계 CMP한 경우와 3 : 7로 희석하고 열처리된 SiO₂를 2 wt% 첨가하여 1 단계로 CMP하고, 슬러리 원액으로 2단계 CMP한 경우 모두 비교적 안정된 표면 특성을 나타내었다. 또한, 그림 9 (c)는 슬러리 원액으로 CMP한 경우와 2단계 CMP한 경우의 RMS (root mean square)와 표면 거칠기를 보인 것으로, RMS는 각각 2.8 nm,

6.6 nm, 3.9 nm이었고, 표면 거칠기는 각각 1.9 nm, 3.5 nm, 1.6 nm로 비교적 우수하였다.

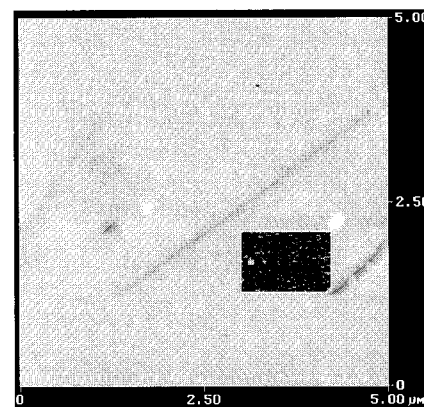
표 2. 슬러리 사용량 비교.

Table 2. Compared the amount of slurry.

	Original slurry	5:5, annealed SiO ₂ 2wt%	3:7, annealed SiO ₂ 2wt%
Removal rate [Å/min]	1524	2310	2645
WIWNU [%]	3.1	2.2	1.4
EPD time (6000 Å)	4 min	2.6 min	2.2 min
Slurry Saving	360 ml 0 %	175.5 ml 51.3 %	128.7 ml 64.3 %



(a)



(b)

	Original slurry	5 : 5, annealed SiO ₂ 2wt%	3 : 7, annealed SiO ₂ 2wt%
RMS [Rq]	2.8 nm	6.6 nm	3.9 nm
Rough-ness	1.9 nm	3.5 nm	1.6 nm

(c)

그림 9. 2단계 CMP에 따른 AFM 사진과 RMS. (a) 5 : 5, 열처리된 SiO₂ 2wt%. (b) 3 : 7, 열처리된 SiO₂ 2wt%. (c) 2단계 CMP에 따른 RMS와 거칠기.

Fig. 9. AFM image and RMS as a function of 2-step CMP. (a) 5 : 5, annealed SiO₂ 2wt%. (b) 3 : 7, annealed SiO₂ 2wt%. (c) RMS and roughness as a function of 2-step CMP.

4. 결론

본 연구에서 얻어진 결과는 다음과 같다. 재활용 슬러리의 감소된 연마율은 열처리된 SiO₂ 연마제를 첨가시켜 연마제의 기계적 강도를 충분히 보상시켜 줄 수 있어 높은 연마율을 나타내었다. 연마 제거율과 비균일도 측면에서 3 : 7로 희석하고 열처리된 SiO₂를 2 wt% 첨가하여 1단계 CMP를 하고, 슬러리 원액으로 2단계 CMP한 경우에 가장 높은 연마율과 낮은 비균일도를 나타내었다. 이러한 결과를 바탕으로, 두껍고 거친 표면에 대해서는 재활용된 슬러리와 원액의 비율 3 : 7로 희석하고 여기에 열처리된 SiO₂를 2 wt% 첨가하여 1차적으로 연마하고, 미세 패턴을 갖는 정밀한 연마 공정에 대해서는 원액의 슬러리를 이용하여 2차적으로 연마하면 다소 공정이 복잡해질 수 있다. 하지만, EPD (end point detection) 관점에서 수치적으로 고찰해보면 6000 Å을 원액의 슬러리로 연마했을 경우 4 분이 소요되지만 본 연구에서와 같이 2단계로 연마하면 2.2 분의 시간이 소요되어 연마 시간을 줄일 수 있음을 알 수 있다. 또한, 슬러리 원액의 경우 웨이퍼 1 장을 연마하기 위해 총 360 ml의 슬러리를 소모하는 반면, 2단계로 CMP하면 128 ml의 슬러리 밖에 소모되지 않아 상대적으로 64 %의 슬러리 소비량을 줄일 수 있을 것으로 사료된다. 앞으로 필터링 방법의 도입을 통해 스크래치에 의한 표면 결함들을 더 줄일 수 있을 것으로 본다.

감사의 글

이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2002-005-D00011).

참고 문헌

- [1] S. Y. Jeong, Y. J. Seo, and S. Y. Kim, "Effect of system facility factors for hot spot reduction of inter-level dielectric (ILD) CMP process", ISEIM-2001, p. 95, 2001.
- [2] 서용진, 김상용, 김태형, 김창일, 이우선, 장의구, "CMP 공정에 기인하는 소자특성의 열화를 방지하기 위한 PMD 구조에 대한 연구", 전기전자재료학회 논문지, 12권, 2호, p. 111, 1999.
- [3] H. Nojo, M. Kodera and R. Nakata, "Slurry engineering for self-stopping, dishing free SiO-CMP", IEDM, p. 349, 1996.
- [4] I. Kim, K. Nurella, and J. Schlueter, "A detailed look at oxide CMP pad to pad consistency", CMP-MIC proc., p. 335, 1997.
- [5] H. J. Kim, D. H. Eom, and J. G. Park, "Physical and chemical characterization of reused oxide chemical mechanical planarization slurry", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 40, p. 1236, 2001.
- [6] 박창준, 김상용, 서용진, "실리카 슬러리의 희석과 연마제의 첨가가 CMP 특성에 미치는 영향", 전기전자재료학회 논문지, 15권, 10호, p. 851, 2002.
- [7] 이경진, 서용진, 최운식, 김기욱, 김상용, 이우선, "재활용 슬러리를 사용한 2단계 CMP 특성", 한국전기전자재료학회 추계학술대회논문집, p. 39, 2002.
- [8] 이경진, 김상용, 서용진, "반경험적인 실험설계 (Design of Experiment) 기법을 이용한 CMP 공정 변수의 최적화", 전기전자재료학회 논문지, 15권, 11호, p. 939, 2002.