

# 슬러리와 패드변화에 따른 텅스텐 플러그 CMP 공정의 최적화

## An Optimization of Tungsten Plug Chemical Mechanical Polishing (CMP) using the Different Sets of Slurry and Pad

김상용\*, 서용진\*\*, 이우선\*\*\*, 이강현\*\*\*\*, 장의구\*\*\*\*

(Sang-Yong Kim, Yong-Jin Seo, Woo-Sun Lee, Kang-Hyeon Rhee, Eui-Goo Chang)

### Abstract

We have been optimized tungsten(W) plug CMP(chemical mechanical polishing) characteristics using two different kinds of component of slurry and two different kinds of pad which have different hardness. The comparison of oxide film roughness on around W plug after polishing has been carried out. And W plug recess for consumable sets and dishing effect at dense area according to the rate of over-polishing has been investigated. Also, the analysis of residue on surface after cleaning have been performed. As a experimental result, we have concluded that the consumable set of slurry A and hard pad was good for W plug CMP process. After decreasing the rate of chemical reaction of silica slurry and adding two step buffering we could reduce the expanding of W plug void, however we are still recognizing to need a more development for those kinds of CMP consumables.

**Key Words (중요용어) :** 소모자재(consumable), 실리카계 슬러리(silica based slurry), 알루미나계 슬러리(alumina based slurry), 하드 패드(hard pad), 소프트 패드(soft pad), 텅스텐 플러그(W-plug), 연마선택비(polishing selectivity), 과도연마율(over polishing rate)

### 1. 서론

회로의 RC 지연시간을 줄이기 위해서 소자의 크기는 계속 축소되고 있고, 이를 만족시키기 위해 낮은 저항율을 갖는 금속, 낮은 유전상수를 갖는 ILD(Inter Level Dielectric)층, 평탄화된 표면 등이 필요하게 되었다. 따라서 내부배선(interconnection)의 수가 증가하고, 설계규칙이 더 스케일 다운되어 식각 공정에서의 초점심도(depth of focus ; DOF)가 감소함에 따라 CMP(chemical mechanical polishing)

공정이 필수적이 되었다[1, 2]. CMP 공정은 화학적이고 기계적인 힘에 의해 표면을 매끄럽게 평탄화하는 공정으로 기존의 회생막 전면의 식각공정과는 달리 특정 부위의 제거 속도를 조절함으로써 평탄화하는 기술로 웨이퍼의 전면을 회전하는 탄성패드(pad) 사이에 화학적인 액상의 슬러리(slurry)를 공급하면서 기계적으로 연마하는 기술이다[3]. 따라서 높은 제거속도를 가지면서 안정한 균일도(uniformity)를 얻기 위해서는 최적의 슬러리 및 패드를 선택하는 것이 매우 중요하다. 여러 종류의 슬러리와 패드 물질의 대표적인 특성에 대해서는 이미 보고한 바 있다[4]. 텅스텐 CMP 공정은 종래의 에치백(etch back) 공정보다는 제어가 더 용이하고 반복 공정이 우수하지만 움푹 패인(recess) 플러그, 디싱(dishing), 산화막 부식(erosion) 등과 같은 몇가지 문제점[5, 6]을 극복해야만 한다. 따라서 본 논문에서는 서로 다른 성분을 갖는 슬러리와 경도(hardness)가 각기 다

\* :아남반도체  
\*\* :대불대학교 전기전자공학부 교수  
\*\*\* :조선대학교 전기공학과 교수  
(광주광역시 동구 서석동 375, Fax:062-230-7020  
E-mail:wslee@mail.chosun.ac.kr)  
\*\*\*\*:중앙대학교 전자전기제어공학부 교수  
2000년 4월 7일 접수, 2000년 6월 24일 심사완료

른 패드의 조합으로 구성된 소모자재(consumable)의 영향을 비교 고찰하여 텅스텐 플러그 CMP 공정의 최적화에 기여하고자 한다.

2. 실험

본 실험에서는 두 종류의 슬러리와 두 종류의 패드가 사용되었다. 여기서 슬러리 A는 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 산화제의 실리카계 슬러리(silica based slurry)이며, 슬러리 B는 KIO<sub>3</sub> 산화제의 알루미나(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)계 슬러리(alumina based slurry)이다. 또한 경도가 각기 다른 하드 패드와 소프트 패드가 텅스텐 플러그 CMP 공정의 최적화를 위해 두 종류의 슬러리와 각각 조합되어 사용되었다. 소프트 패드는 Hardness range 가 52~62 이고 하드 패드는 Hardness range 가 54~68 (미국표준 method D-2240기준)인 것이다. 본 실험에서는 슬러리와 패드 성분을 서로 달리하여 4가지의 조합[(a) 슬러리 A + 하드 패드, (b) 슬러리 A + 소프트 패드, (c) 슬러리 B + 하드 패드, (d) 슬러리 B + 소프트 패드]으로 나누어 평가하였다. CMP 연마는 4개의 웨이퍼 평탄기(planarizer)와 이중의 패드 컨디셔닝(pad conditioning) 시스템, 세정을 위한 PVA 브러쉬(brush)를 갖는 궤도형 연마기(orbital polisher)인 IPEC Avanti 776에서 수행되었다.

먼저, 텅스텐 플러그 구멍이 이미 형성되어 있는 1 μm의 BPSG 막 위에 W(4500 Å)/TiN(1200 Å)/Ti(380 Å) 구조로 텅스텐이 블랑킷(blanket) 코팅(coating)된 200 mm 직경의 실리콘 웨이퍼가 준비되었다. 다음으로 BPSG에 대한 텅스텐 블랑킷(blanket) 막의 선택비(selectivity)를 비교하기 위하여 텅스텐 막과 BPSG 막이 연마기에서 동일한 레시피(recipe)로 연마되었다. 세번째로 산화막 위의 텅스텐과 장벽 금속을 제거하기 위하여 텅스텐 블랑킷 막에 대한 식각율(removal rate)에 근거하여 텅스텐 플러그 패턴의 연마시간을 결정하였고, 각각 총 연마시간에 대한 0~30 %의 과도연마시간(over polishing time)을 적용하였다. 그리고 나서 연마 후의 웨이퍼는 2 %의 NH<sub>4</sub>OH와 탈이온수(D. I. water)에서 PVA 브러쉬를 사용하여 세정되었다. 또한 텅스텐 플러그를 연마한 후에 산화막 주위의 표면 거칠기, 텅스텐 플러그의 void와 recess 등이 과도 연마율에 의존하는 10 μm×10 μm 면적 내에서 AFM(Atomic Force Microscope)에 의해 측정되었다. 또한 매우 조밀한(dense) 면적 위의 디형이 서로 다른 높이를 갖는 지역 들 사이의 단차(step height)를 측정하는데 사용하는 프로파일러(profiler)에 의해 측정되었다. 그리고 텅스텐 플러그와 주변지역을 In-Line SEM(Scanning Electron Microscopy)으로

관찰하였다. 마지막으로 화학반응 속도를 줄임으로써 텅스텐 플러그의 void가 확장되는 것을 방지하기 위하여 슬러리 A에 첨가제(additive)를 넣어주었다. 마지막으로 main polishing이 행해졌고, 탈이온수와 슬러리에서 동시에 연마시켜 텅스텐 플러그의 SEM 단면을 관찰하였다.

표 1. BPSG에 대한 텅스텐의 연마 선택비

Table 1. Polishing selectivity of tungsten to BPSG film

	Test 1	Test 2	Test 3	Average
(a) Slurry A + Hard pad	37 : 1	40 : 1	40 : 1	39 : 1
(b) Slurry A + Soft pad	25 : 1	23 : 1	22 : 1	23 : 1
(c) Slurry B + Hard pad	19 : 1	21 : 1	20 : 1	20 : 1
(d) Slurry B + Soft pad	12 : 1	18 : 1	19 : 1	16 : 1

표 2. CMP 공정 후 BPSG 위에서의 표면 거칠기

Table 2. Surface roughness on BPSG after CMP process.

Consumable	Z range (Å)	RMS (Å)	Area
(a) Slurry A + Hard pad	17.7	2.8	10 μm × 10 μm
(b) Slurry A + Soft pad	12.7	1.9	
(c) Slurry B + Hard pad	82.6	8.6	
(d) Slurry B + Soft pad	64.5	5.9	

3. 실험결과 및 고찰

BPSG 막에 대한 텅스텐의 연마 선택비를 표 1에 나타내었다. 연마 선택비의 경우는 슬러리 A가 슬러리 B보다 더 좋았으며 하드 패드가 소프트 패드보다 더 우수하였다.

그림 1은 CMP 연마 후에 텅스텐 플러그 주위 산화막의 표면거칠기를 AFM으로 관찰한 것이고, 표 2는 BPSG위에서의 표면 거칠기를 Z range와 RMS(Root Mean Square)로 나타낸 것이다. 표 2에 보인 바와 같이 슬러리 A가 슬러리 B보다 더 우수하였고, 소프트

트 패드가 하드 패드보다 더 좋았는데 이들 슬러리와 패드를 4가지 형태로 조합한 결과 슬러리 A가

표 3. 슬러리 A와 슬러리 B의 성분

Table 3. Components of slurry A and slurry B.

Component	Slurry A [ppm]	Slurry B [ppm]
Ca	0.044	3.80
Cr	0.15	< 0.10
Co	< 0.025	0.17
Cu	< 0.025	0.27
Mg	0.46	3.33
Ni	0.14	0.10
Na	< 0.25	2.20

많이 포함된 슬러리 A와 칼슘이 많이 포함된 슬러리 B의 성분을 비교하여 나타낸 것이다. 그림 1의 (b) 와 (d)에 보인 것과 같이 슬러리 B와 하드 패드 또는 소프트 패드와 조합하여 텅스텐 플러그를 연마한 경우 모두 micro-scratch가 관찰되었다. 이 결과는 알루미나계 슬러리의 연마제(abrasive) 경도(hardness)가 실리카계 슬러리 보다 훨씬 더 단단하며, 알루미나의 입자크기가 약 180 ~ 280 nm로서 실리카 슬러리의 입자크기인 130 ~180 nm 보다 더 크기 때문이다.

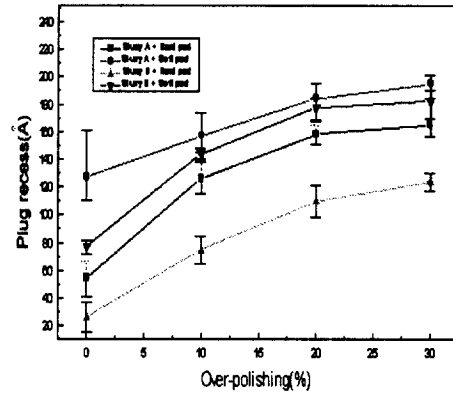


그림 2. 과도연마율에 따른 텅스텐 플러그 리세스의 비교

Fig. 2. Comparison of W-plug recess vs over polishing rate.

그림 1 텅스텐 플러그 주변의 표면 거칠기

Fig. 1. Surface Roughness on around Tungsten Plug

슬러리 B보다 더 우수하였고, 각각의 슬러리 A와 슬러리 B의 경우에 하드 패드보다는 소프트 패드와의 조합이 더 우수한 특성을 나타내었다. 즉, 슬러리 A와 소프트 패드를 조합한 경우가 가장 우수한 특성을 보였고, 슬러리 B와 하드 패드의 조합이 가장 나쁜 결과를 보여서 텅스텐 CMP 공정 동안 텅스텐 산화막은 과산화물(peroxide) 보다는 비과산화물인 경우에 덜 용해됨을 알 수 있다. 표 3은 마그네슘이

그림 2는 과도연마율에 따른 플러그 리세스(recess) 정도를 4가지 조합에 대해 비교한 것이다. 그림 2에서 과도연마율에 따른 텅스텐 recess의 경향을 알 수 있다. 20 %의 과도연마율까지는 텅스텐 플러그 recess가 빠르게 증가를 하다가 30 %의 과도연마율에서 최대의 recess point에 도달하였다. 결과적으로 플러그 recess는 슬러리 A와 소프트 패드의 조합에서 가장 컸고, 슬러리 B와 하드 패드의 조합에서 가장 작았다.

그림 3은 조밀한 지역 위의 텅스텐 플러그의 디싱 깊이(dishing depth)를 과도연마율 변화에 따라 나타낸 것으로, 텅스텐 플러그 디싱은 하드 패드 보다는 소프트 패드에서 더 컸으며, 슬러리 A가 슬러리 B보다 약간 더 영향을 받음을 알 수 있다. 결과적으로 과도연마율이 증가함에 따라 디싱은 서로 다른 슬러리와 패드의 조합에 의존하여 선형증가를 하였으며 그림 2의 결과와 마찬가지로 슬러리 A와 소프트

트 패드의 조합이 가장 컸고, 슬러리 B와 하드 패드의 조합이 가장 작았다.

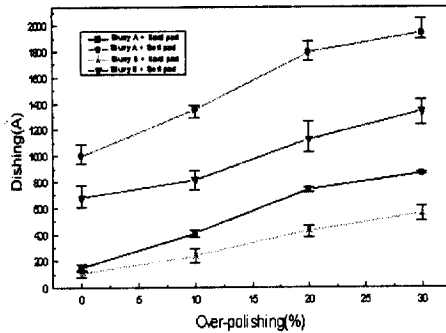


그림 3. 조밀한 플러그 위에서 과도연마율에 따른 디싱 깊이

Fig. 3. Dishing depth vs. over polishing rate on dense plug area.

그림 4는 CMP 공정 후에 텅스텐 플러그의 SEM 단면을 비교한 것이다. 슬러리 A의 경우는 그림 4의 (a)에 보인 것과 같이 텅스텐 플러그를 연마한 후에 텅스텐 플러그의 보이드(void)가 확장됨을 관찰할 수 있었다. 이는 텅스텐 플러그를 연마하는 동안 일어나는 화학반응 때문으로 생각된다.

그림 5는 그림 4의 (a)에 보였던 보이드의 크기를 줄이기 위해 슬러리 A에 첨가제(additive)를 넣고 2단계의 연마를 실시한 후, AFM으로 플러그 표면을 측정된 결과를 나타냈다. 첫 번째 단계에서 텅스텐 벌크(bulk)를 연마하였고, 두 번째 단계에서는 슬러리와 탈이온수를 동시에 공급하면서 남아있는 텅스텐과 장벽 금속을 연마한 후에 산화막을 버핑(buffing)하였다. 또한 연마공정 동안 발생하는 열(heat)을 고려하여 웨이퍼 압력과 테이블의 회전속도를 감소시켰다. 그림 5의 (b)에서 알 수 있듯이, 두 번째 연마 단계 후에 보이드가 더 채워지고 있으며 표면이 더 매끄러워지고 있음을 알 수 있다.

그림 6은 슬러리 A에 첨가제를 넣어 준 후 2단계의 연마를 실시한 후의 SEM 단면을 나타낸 것으로 그림 5의 (b)의 결과와 마찬가지로 텅스텐 보이드를 더 감소시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.

그림 4. 텅스텐 플러그의 단면 SEM 사진

Fig. 4. Cross sectional SEM view of tungsten plug.

그림 7은 in-line SEM을 사용하여 텅스텐 플러그 위에 남아있는 알루미늄 잔존물(residue)을 조사한 SEM 단면사진이다. 슬러리 A 보다는 슬러리 B의 경우에 표면에 더 많은 잔존물이 남아 있어서 세정하기가 더 어려웠다[6]. 따라서 텅스텐 플러그 위의 알루미늄 잔존물은 금속 내부배선에 있어서 높은 저항을 초래할 것이다.

그림 5. 2단계 연마후의 텅스텐 플러그의 AFM  
결과 비교 (a) 1단계 (b) 2단계

Fig. 5. AFM comparison of tungsten plug after  
two step polishing. (a) 1st step (b) 2nd step

그림 6. 슬러리 A에 연마제를 첨가한 후의 텅스  
텐 플러그의 SEM 단면 비교

- (a) 슬러리 A
- (b) 텅스텐 보이드를 감소시키기 위해 슬  
러리 A에 연마제를 첨가한 경우

Fig. 6. SEM comparison of tungsten plug after  
adding additive to slurry A.

- (a) slurry A only
- (b) slurry A + additive to reduce W void

조합에 따른 CMP 공정의 결과를 고찰하였다. BPSG에 대한 텅스텐의 연마 선택비는 슬러리 B보다는 슬러리 A가, 소프트 패드보다는 하드 패드가 더 좋았다. 표면의 거칠기는 알루미늄 슬러리인 B보다는 실리카 슬러리인 A에서 더 매끄러운 결과를 나타내었다. 그리고 알루미늄 슬러리를 사용할 때는 표면에 micro-scratch가 형성되었다. 텅스텐 플러그 recess의 경우는 알루미늄 슬러리(B)가 실리카 슬러리(A) 보다 더 좋았으며 또한 하드 패드가 소프트 패드보다 더 좋았다. 과도연마시간에 대한 텅스텐 플러그 recess의 크기는 과도연마율이 증가함에 따라 선형증가를 하였다. 텅스텐 플러그 디형 현상은 하드 패드 보다는 소프트 패드에서 더 잘 일어났다. 실리카 슬러리의 화학반응속도를 감소시키고, 2단계의 버핑 단계를 추가한 후에 텅스텐 플러그 보이드의 확장을 감소시킬 수 있었다. 또한 알루미늄 슬러리가 더 세정하기가 어려웠다. 결론적으로 텅스텐 플러그 CMP의 경우에는 슬러리 A와 하드 패드의 조합이 더 우수한 특성을 나타내고 있음을 알 수 있었다. 그러나 이상의 결과가 텅스텐 CMP 공정에 적용 가능하지만 앞으로도 지속적인 CMP 소모재 개발을 위한 더 많은 노력이 필요할 것으로 생각된다.

#### 감사의글

본 연구는 1999년도 한국전력공사의 지원에 의하여 기초전력공학 공동연구소 주관으로 수행 되었음. (과제번호 99-038)

#### 참 고 문 헌

그림 7. 텅스텐 플러그 CMP 공정 후 알루미늄 잔존물의 In-line SEM 사진.  
(a) 슬러리 A (b) 슬러리 B  
Fig. 7. In-line SEM view of alumina residue after tungsten plug CMP process.  
(a) slurry A (b) slurry B

#### 4. 결 론

본 논문에서는 텅스텐 플러그 CMP 공정의 최적화를 위해 실리카 슬러리(A)와 알루미늄 슬러리(B), 경도가 서로 다른 하드 패드와 소프트 패드를 이용한 서로 다른 4가지 조합을 구성하여 이들 각각의

1. William J. Patrick, et al., "Application of Chemical Mechanical Polishing to the Fabrication of VLSI Circuit Interconnection", J. Electrochem. Soc., Vol. 138, pp.555-561, June 1991.
2. W. L. Guthrie, et al., "A Four-Level VLSI Bipolar Metallization Design with Chemical Mechanical Planarization", IBM J. Res. Develop., Vol. 36, No. 5, pp. 845-857, Sep. 1992.
3. 김상용, 서용진, 김태형, 이우선, 김창일, 장의구, "Chemical Mechanical Polishing(CMP) 공정을 이용한 Multilevel Metal 구조의 광역평탄화에 관한 연구," 전기전자재료학회 논문지, Vol. 11, No. 12, pp. 1084-1090, 1998.

4. 김상용, "Chemical Mechanical Polishing 공정변수의 이해", 전기전자재료 제12권 제10호, pp. 9-18, 1999.
5. Shin Hwa Li, et al., Advanced Technology Department, SGS-THOMSON MICROELECTRONICS, "Evaluation of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, KIO<sub>3</sub>, and Fe(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> - based W CMP Slurries for 8 inch 0.35 $\mu$ m CMOS Technology", 1998, Proceedings Third International CMP for ULSI Multilevel Interconnection Conference(CMP-MIC), pp. 165 - 168.
6. Volker Blaschke, et al., "Process Window Characterization For a Robust W CMP Process", 1997, Proceedings Second International CMP for ULSI Multilevel Interconnection Conference (CMP-MIC), p. 219-226.