

## CMP 공정을 이용한 Multilevel Metal 구조의 평탄화 연구

### Planarization of Multi-level metal Structure by Chemical Mechanical Polishing

김상윤, 서용진\*, 김태형<sup>Ⓞ</sup>, 이우선<sup>#</sup>, 김창일, 장의구

중앙대학교 전기공학과, 대불대학교 전기전자공학부\*, 여주전문대 전기과<sup>Ⓞ</sup>, 조선대학교 전기공학과<sup>#</sup>

Sang-Yong Kim, Yong-Jin Seo\*, Tae-Hyung Kim<sup>Ⓞ</sup>, Woo-Sun Lee<sup>#</sup>, Eui-Goo Chang  
Dept. of Electrical Eng., Chungang Univ., School. of Electrical & Electronics Eng., Daebul Univ.\*, Dept. of Elcctrical, Yeojoo Technical College<sup>Ⓞ</sup>, Dept. of Electrical, Chosun Univ.<sup>#</sup>

#### Abstract

As device sizes are scaled to submicron dimensions, planarization technology becomes increasingly important, both during device fabrication and during formation of multilevel interconnects and wiring. Chemical Mechanical Polishing (CMP) has emerged recently as a new processing technique for achieving a high degree of planarization for submicron VLSI applications. This paper is presented the results of CMP process window characterization studies for 0.35 micron process with 6 metal layers.

#### 1.서론

최근 반도체 소자의 고속화 및 고집적화에 따라 다층 배선 구조에 있어서 배선층 수의 증가와 배선 패턴의 미세화에 대한 요구가 갈수록 높아져 다층 배선 기술이 서브 마이크론 공정에서 중요한 과제이다. 0.35  $\mu\text{m}$  이하의 공정 기술 시대에 들어서면서 미세 패턴 형성을 실현하기 위한 노광 장치의 초점 심도에 대한 공정여유가 줄어들어 따라 충분한 초점 심도를 확보하기 위하여 칩 영역에 걸친 광역 평탄화 기술이 요구된다. 이와 같은 광역 평탄화를 실현하기 위해 현재

CMP(Chemical Mechanical Polishing)라고 하는 기술이 많이 연구되어지고 있다.(1-5) CMP는 기존의 희생막의 전면 식각 공정과는 달리 특정 부위의 제거 속도를 조절함으로써 평탄화 하는 기술로, 웨이퍼 전면을 회전하는 탄성 패드(pad) 사이에 액상의 슬러리(slurry)를 투입하여 연마하는 기술이다. 현재, 소자의 고속화를 실현하기 위해 다층 배선이 요구되는 논리형 소자에서 많이 적용하고, 또한 기억형 소자에서도 다층화 되어감에 따라 점차적으로 적용을 하고 있는 추세다.(6-12) 본 연구에서는 다층 구조인 6층 금속 구조에서 CMP 공정을 이용하여 평탄화를 실현하였다.

#### 2.실험

패턴 웨이퍼 제조는 실제 0.35  $\mu\text{m}$  소자와 동일하게 단자를 갖도록 제조하였으며 그 구조는 그림 1과 같이 LOCOS구조의 poly gate 위에 PMD 구조와 IMD1 구조가 6번 반복되는 6 Metal 구조를 갖는 logic 소자에 광역 평탄화를 실현하였다. 패턴 웨이퍼를 이용한 실험은 평탄 웨이퍼로 최적 조건 공정 레시피를 바탕으로 하였으며 패턴상의 균일도, 연마율, 평탄화에 대한 최적화를 찾고자 하였으며, 또한 소자에 미치는 전기적 특성, 불순물 잔류 여부등을 관찰 하였다. 슬러리는 COBOT사, 패드와 carrier film는 RODEL사의 제품을 사용하였다. CMP 공정의 균일도 및 연마율은 공정 전후의 박막 두께를 ellipsometer로 측정하여 연마된 양으로 계산하였다. 이때 패턴 웨이퍼의 edge exclusion은 6 mm

로하여 13 point를 패턴 위치에 따라 측정하였다. 평탄화 측정 방법은 SEM촬영과, Profiler, AFM(Atomic Force Microscope)의 mapping과 profiling으로 관찰 하였으며 박막 표면의 거칠기(roughness)도 관찰 하였다. CMP 공정이 소자의 전기적 특성면에서 어떠한 영향을 주는지를 알아보기 위해  $0.35\mu\text{m}$  소자에 CMP 공정을 적용하여 PCM data로 관찰 하였다. CMP공정에서 사용되는 화학 물질(chemical)인 슬러리는 웨이퍼에 불순물을 남길 소지가 많으므로 연마후에 세정 과정에서 충분히 세척되어야 한다. CMP 공정후 TENCOR 6420 system 으로 particle를 관찰하였으며, KOH base인 COBOT사의 슬러리를 사용함으로써 웨이퍼 표면에 남아있거나 생성될 불순물 물질을 관찰하고자 RIGAKU사의 TXRF 3700LE 시스템을 사용하여 data를 얻었다.

### 3. 결과 및 고찰

본 연구의  $0.35\mu\text{m}$  소자 구조에 평탄화를 실현 하였으며, 그제조 결과를 SEM 사진으로 촬영하여 그림 2에 보였다.

CMP 레시퍼에서 연마판 온도는  $40^\circ\text{C}$ , 연마 압력은 5.0 psi, back pressure는 2.0 psi, platen speed는 30 rpm, carrier speed는 34 rpm, 슬러리 flow rate는 180 ml/min로 set-up하였다. 패드 컨디션닝은 웨이퍼를 연마하는 동안 계속 컨디션닝 하도록 set-up 하였으며, 컨디션닝 압력은 2.0lbs, 컨디션닝 속도는 25rpm으로 set-up하여 안정된 값을 얻었다. 이 레시퍼로 웨이퍼 간 웨이퍼 균일도와 연마율을 보기 위하여 edge exclusion 6 mm로 웨이퍼 100장을 연속적으로 연마하여 그 결과를 그림 3에 나타냈다. 이때의 패턴 웨이퍼의 전체 평균 연마율은 2271 A/min, 전체 평균 균일도는 3.33%, 웨이퍼 간 웨이퍼 전체 평균 균일도는 1.57%로 매우 안정된 결과를 얻었다.

그림 4는 CMP 전과 후의 표면 요철을 보여주는 AMF image 이다. 이는  $0.5\mu\text{m}$  SEMVIEW 패턴에서 관찰한 것으로 연마전에는 단차가  $800\text{A} \sim 1500\text{A}$ 이었으나 연마후의 단차는  $30\text{A} \sim 40\text{A}$ 으로 평탄화를 보였으며 패턴과 패턴 사이에도 양호한 결과를 보였다. CMP 공정후 소자의 광역 평탄화를 보기위하여 AFM보다 폭 넓게 관찰할 수 있는 Profiler 장비를 이용하여 그림 5에 보였다.  $0.35\mu\text{m}$  소자의 주변회로 영역과 cell 영역, SEMVIEW 영역에서 패턴 크기와 단차에 관계없이 CMP 공정후에 매우 양호한 평탄화를 보여주

고 있다. 즉 공정 전의 단차가  $975\text{A} \sim 2325\text{A}$ 보였으나 CMP 공정후 약  $15\text{A}$ 이하로 평탄화 됨을 보였다.

그림 6은 CMP 공정후 소자의 광역 평탄화를 보여주는 SEM사진이다. 이는 CMP 공정후 부수적으로 생기는 rounding, dishing, erosion(thinning) 등 문제점은 전혀 보이지 않았으며 매우 양호한 평탄화를 보여 주었다. CMP 공정에 있어서 연마후 공정상 발생한 particle과 불순물에 대한 제어 문제를 중요시 하여야만 한다. 본 실험에서는 세정 시스템을 이용하여 세척할 뿐만 아니라 연마중에도 연마 시스템에서 웨이퍼 세척 공정 단계를 추가하여 실시하고 있으며, 또한 final platen에서 슬러리를 첨가하지 않고 DI water로만 연마하도록 하였다. 이때 실질적으로 final platen에는 연마가 되지않으며 웨이퍼 세척 개념이 강하다. 세정 시스템의 세척 조건으로 세척한 웨이퍼에서의 잔존 particle( $\geq 0.2\mu\text{m}$ ) 갯수에 대한 data를 그림 7에 보였다. PETEOS 박막에서는 15개 이하의 particle data를 보였으며, BPSG 박막에서는 20개 전후로 나타났다. 이는 양호한 결과로 사료되나 연마의 후속 공정으로 세정 공정에 대해 공정 최적화의 검토가 이루어져야 하겠다.

또한 불순물 평가에 대한 data는 그림 8에 보였다. K, Ca, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn 등의 불순물이 나타났으며, K와 Ca가 비교적 많이 검출됐다. K의 경우 공정전의  $2.7 \sim 3.7(x10^{10}\text{A}/\text{cm}^2)$ 의 불순물 농도를 보였으나 연마 공정후 후속 공정으로 세척한 웨이퍼에서  $67.7 \sim 72.3(x10^{10}\text{A}/\text{cm}^2)$ 의 불순물 농도를 보였으며 Ca 경우 공정전의  $1.3 \sim 2.4(x10^{10}\text{A}/\text{cm}^2)$ 의 불순물 농도를 보였으나, 연마 공정후 후속 공정으로 세척한 웨이퍼에서  $4.3 \sim 4.7(x10^{10}\text{A}/\text{cm}^2)$ 의 불순물 농도를 보였다. 그러나 Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn 경우  $1.0(x10^{10}\text{A}/\text{cm}^2)$ 이하의 불순물 농도로 양호한 결과를 얻었다. CMP 공정후 앞에 기술한 문제점으로 인하여 소자에 어떠한 영향을 주는지를 알아보기 위하여 전기적 특성을 고찰 하였다. 그 전기적 특성을 조사하여 표 1에 나타냈다. 이 결과를 보면 CMP 공정을 한 소자와 하지 않은 소자의 전기적 특성은 별 차이점 없이 양호한 결과를 얻었다.

#### 4. 결론

본 실험에서 결론은 다음과 같다.

1. 본실험에서 CABOT사의 슬러리와 RODEL사의 패드가 사용 되었다.
2. 패턴 웨이퍼는 실지 0.35 $\mu$ m 소자에서 Stack via 6층 금속 구조에서 광역 평탄화가 실현되었다.
3. CMP의 공정 변수 값은 platen 온도 40 $^{\circ}$ C, down pressure 5.0 psi, back pressure 2.0 psi, platen speed는 30rpm, carrier speed는 34 rpm, 슬러리 flow rate는 180 ml/min로 하였다.
4. 패드 condition은 웨이퍼를 연마하는 동안 계속 conditioning 하도록 set-up 하였으며(just while), conditioning pressure는 2.0lbs, conditioning speed 25rpm으로 set-up 하였다.
5. Edge exclusion 6mm로 웨이퍼가 100장을 연속적으로 연마한 결과 패턴 웨이퍼의 평균 연마율은 2271 $\text{\AA}/\text{min}$ , 균일도가 3.33%, 웨이퍼간 균일도 (웨이퍼 간 웨이퍼 균일도)는 1.57%로 매우 안정된 결과를 얻었다.
6. AFM를 통한 평탄도의 관찰 결과 0.5 $\mu$ m SEMVIEW 패턴에서 연마전에는 단차가 800 $\text{\AA}$  ~ 1500 $\text{\AA}$  이었으나 연마후의 단차는 30 $\text{\AA}$  ~ 40 $\text{\AA}$ 으로 평탄화를 보였으며 모든 조건에서 패턴과 패턴 사이에도 양호한 결과를 보였다.
7. Profiler의 평탄도 결과는 0.35 $\mu$ m 소자의 주변 회로 영역과 셀(cell)영역, SEMVIEW 영역에서 패턴 크기와 단차에 관계없이 CMP 공정후에 매우 양호한 평탄화를 보여주고 있다. 즉 공정 전의 단차가 975 $\text{\AA}$  ~ 2325 $\text{\AA}$  보였으나 CMP공정후 약 15 $\text{\AA}$ 이하로 표면 평탄화를 실현됨을 보였다.
8. CMP 공정후 소자의 광역 평탄화를 보기 위하여 SEM으로 관찰하였으나 non-uniformity, rounding, erosion(thinning)등 문제점은 전혀 보이지 않았으며 매우 양호한 평탄화를 보여 주었다.
9. CMP 공정후의 particle은 PETEOS 박막에서는 15개 이하 였으며 BPSG 박막에서는 20개 전후로 양호한 결과를 얻었다.
10. Post-CMP 세정을 한후 TXRF로 관찰한 결과 K, Ca, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn 등의 불순물이 나타났으며, K와 Ca가 비교적 높은 수준의 불순물을 보였다. K의 경우 공정전의 2.67~3.65( $\times 10^{10}\text{A}/\text{cm}^2$ )의 불순물 농도(impurity concentration)를 보였으나 연마 공정후 후속 공정으로 세척한 웨이퍼에서 67.7~

72.3( $\times 10^{10}\text{A}/\text{cm}^2$ )의 불순물 농도를 보였으며, Ca 경우 공정전의 1.3~2.4( $\times 10^{10}\text{A}/\text{cm}^2$ )의 불순물 농도를 보였으나 연마 공정후 후속 공정으로 세척한 웨이퍼에서 4.3~4.7( $\times 10^{10}\text{A}/\text{cm}^2$ )의 불순물 농도를 보였다. 그러나 Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn 경우 1.0( $\times 10^{10}\text{A}/\text{cm}^2$ )이하의 불순물 농도로 양호한 결과를 얻었다.

11. CMP 공정을 한 소자의 전기적 특성은 전혀 영향을 주지 않았다.

#### 참고문헌

1. H. Landis, IBM Technology Products
2. W. J. Patric, JECS, Vol 138, No. 6, June, p.1778, 1991
3. C. W. Kaanta, VMIC conf., June, p.144, 1991
4. B. Davari, IEEE, p.61, 1989
5. A. Isobe, Semicon Japan, p.272, p.4, 1991
6. M. W. Horn, solid state technology, Nov., p.59, 1991
7. J. J. Esttabil, VMIC conf., June, p.242, 1991
8. T. Tucker, CMP seminar notes, 1993
9. S. Sivaram, solid state technology, May, p.87, 1992
10. M. E. Thomas, semicon Japan, p.296, 1991
11. Rodel's pad and slurry presentation notes
12. L. M. Cook, Rodel's seminar paper, 1993

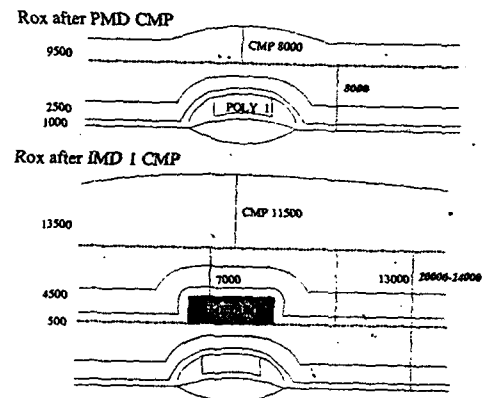


그림. 1. PMD 와 IMDI 구조의 6 Metal layers

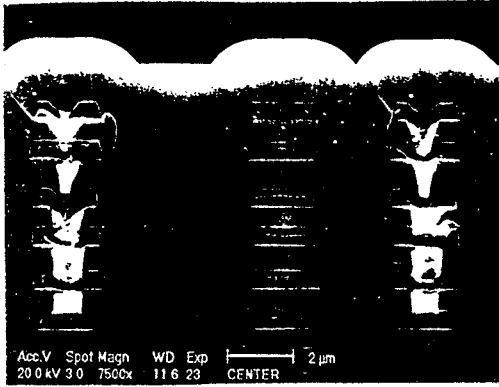


그림 2. 평탄화한 0.35 μm 소자구조 SEM 사진.

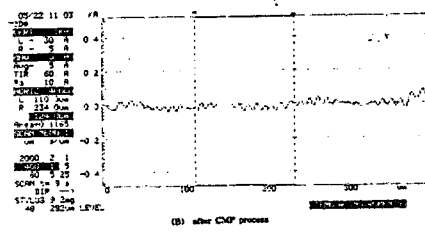
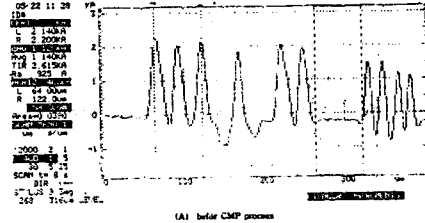


그림 5. CMP 공정후 profiler data.

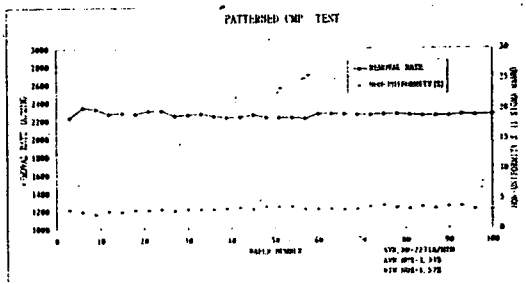


그림 3. 100장의 wafer를 CMP 처리한 결과.

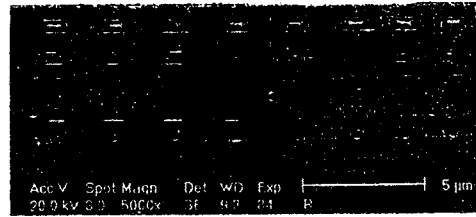


그림 6. CMP 공정후 SEM 사진.

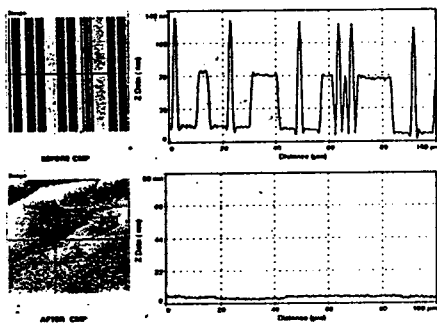


그림 4. CMP 전후의 AFM image.

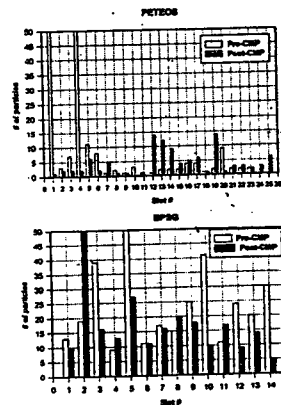


그림 7. 세척 조건에 따른 잔존 particle 개수.

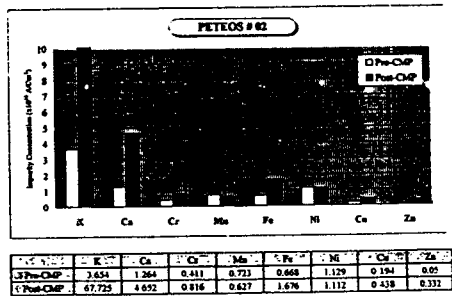
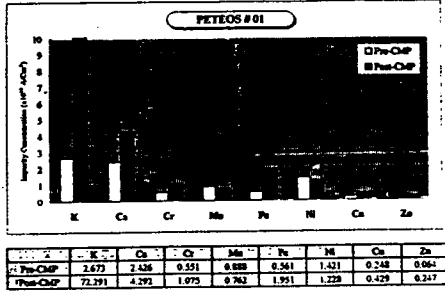


그림. 8. CMP 전후 불순물 농도.

표. 1. 전기적 특성

KEY PCM PARA/RUN NO	NON-CMP RUN	CMP RUN 2
VTN 20/20 (V)	0.598	0.596
BVDSSN (V)	8.29	8.31
VTN 20/0.35 (V)	0.595	0.646
BVDSS (V)	8.26	8.26
IDSAT (mA)	11	10.5
VTP 20/20 (-V)	0.558	0.562
BVDSSP (-V)	8.22	8.15
VTP 20/0.35 (-V)	0.475	0.485
BVDSSP (-V)	8.02	8.11
IDSAT (-mA)	5.76	5.36
VTFN 100/0.35(V)	25	23.7
BVDSS (V)	8.26	8.33
VTFP 100/0.35(-V)	25	11.0
BVDSS (-V)	7.76	8.65
N GOX/BV(-V)	/	-6.98
MJ-N (Ω)	0.798	0.48
N AR/BV(V)	8.56	8.6
P AR/BV(V)	8.76	8.0
N MI(KEL)(0.6)	2.46	3.4
P MI(KEL)(0.6)	1.83	2.3
N MICHN(0.6)	4.8	4.44
P MICHN(0.6)	6.1	4.2