

산화제 배합비에 따른 연마입자 크기와 Cu-CMP의 특성

김태완, 이우선¹, 최권우², 서용진²

¹조선대학교 전기공학과, ²대불대학교 전기전자공학과

The Cu-CMP's features regarding the additional volume of oxidizer

Tae-Wan Kim, Woo-Sun Lee¹, Gwon-Woo Choi¹, Young-Jin Seo²

Abstract

As the integrated circuit device shrinks to the smaller dimension, the chemical mechanical polishing (CMP) process was required for the global planarization of inter-metal dielectric(IMD) layer with free-defect. However, as the IMD layer gets thinner, micro-scratches are becoming as major defects. Chemical-Mechanical polishing(CMP) of conductors is a key process in Damascene patterning of advanced interconnect structure. The effect of alternative commercial slurries pads, and post-CMP cleaning alternatives are discuss, with removal rate, scratch dentisty, surface roughness, dishing, erosion and particulate density used as performance metrics. Electroplated copper deposition is a mature process from a historical point of view, but a very young process from a CMP perspective. While copper electro deposition has been used and studied for decades, its application to Cu damascene wafer processing is only now gaining complete acceptance in the semiconductor industry. The polishing mechanism of Cu-CMP process has been reported as the repeated process of passive layer formation by oxidizer and abrasion action by slurry abrasives. however it is important to understand the effect of oxidizer on copper passivation layer in order to obtain higher removal rate and non-uniformity during Cu-CMP process. In this paper, we investigated the effects of oxidizer on Cu-CMP process regarding the additional volume of oxidizer.

Key Words : chemical mechanical polishing(CMP), Cu Damascene, IMD, oxidizer

1. 서론

CMP (chemical mechanical polishing)공정은 deep 서브마이크론 집적회로의 다층배선구조를 실현하기 위해 IMD, ILD, PMD 층과 같은 절연막 외에도 W, Al, Cu와 같은 금속층을 평탄화 하는데 효과적으로 사용되고 있으며, 다양한 소자 제작 및 새로운 물질 등에도 광범위하게 응용되고 있다. 금속막의 CMP는 산화막의 연마 메카니즘과는 달리 표면산화와 더불어 부동태층(passivity)을 형성하면서 연마가 진행되기 때문에 산화제가 슬러리에 혼합된다. 일반적으로 혼합되는 산화제로서는 질산철 ((FeNO₃)₃), 과산화수소(H₂O₂), 옥소산칼륨(KIO₃)

등이 검토되고 있으며 pH 2~4정도의 산성 슬러리가 일반적이다. Cu의 경우는 산화성이 큰 물질로서 연마과정 중 슬러리내의 산화제에 의한 Cu₂O와 같은 부동태층의 형성과 기계적인 패드(pad)에 의한 복합적인 연마작용이 Cu CMP의 주요 관건이라 할 수 있겠다. 그러나 현재 Cu CMP를 위해 상용화되어 있는 슬러리는 없으며 알루미늄, 텅스텐과 같은 금속막용으로 개발된 슬러리에 다양한 첨가제를 혼합하여 사용하고 있는 실정이다. 따라서 본 논문에서는 텅스텐용 슬러리를 Cu CMP에 적용하기 위해 본 논문에서는 DC-sputtering으로 증착된 Cu박막을 W-slurry에 산화제를 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 1:5의 비율로 배합하여 산화제의 첨가량에 따른

Cu-CMP의 특성을 연구하였다. 또한 산화제의 첨가량에 따른 연마입자의 크기를 측정하여 원액 W-slurry에 적절한 산화제의 첨가량을 알아보고자 하였다.

2. 실험

본 실험에서 사용된 블랑켓 웨이퍼는 다음과 같이 제조되었다. 비저항이 3~6Ωcm의 4인치 N형(111) 방향의 silicon wafer를 사용하였으며 세척 및 자연 산화막 제거를 위하여 기판을 1:4의 H₂SO₄:H₂O₂ 및 10:1의 H₂O:HF 용액과 탈 이온수(deionized water)를 각각 사용하였다. DC-sputtering 시스템으로 silicon wafer위에 직접 Cu박막을 증착시켰으며 증착시의 공정조건은 Ar가스 20sccm, power 206W, 증착시간 20분, 진공은 10⁻⁶Torr로 행하였으며 박막을 증착시키는 동안 균일한 두께의 박막을 증착시키고자 silicon wafer를 20rpm으로 rotation하였다. 증착속도는 550Å/min이었으며 증착된 Cu 박막의 두께는 약 11,000Å이었다. 박막의 두께는 α-step (TINCO사 5001)을 이용하여 측정되었다. 표1은 위에서 설명된 스퍼터 공정 조건을 요약하여 나타낸 것이다.

표1. 박막증착 공정 조건

Table1. sputtering process condition

sputter parameters	sputter condition
flow rate	20sccm
power	206W
substrate temperature	28℃
deposition time	20min
substrate rotation	24rpm
Vacuum pressure	10 ⁻⁶ Torr
target	Cu(99.995%)
target to substrate distance	6cm

Cu박막 증착 후 RODEL사의 IC-1000/Suba-IV 연마패드위에서 W-slurry(MSW-2000A)에 산화제(MSW-2000B)가 각각 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 1:5의 비율로 배합된 slurry를 사용하여 연마기(LOGITECH사 PM-5)에서 table speed는 30rpm, slurry flow rate는 90ml/min로 동일하게 하여 연마시간은 60초로 CMP공정을 진행하였으며 산화제 첨가량의 증가에 따른 연마입자의 크기를 측정하고자 그림2의 PSS(Particle Sizing System)인 Accusizer 780을 사용하여 particle size를 측정하였다. 그림 1에

평탄화공정의 전반적인 개략도를 나타내었다. 배합된 슬러리의 침전을 방지하기 위하여 연마전 교반기를 이용하여 충분히 교반시켜 주었으며 CMP공정후의 두께 측정 또한 α-step을 이용하여 측정되었다.

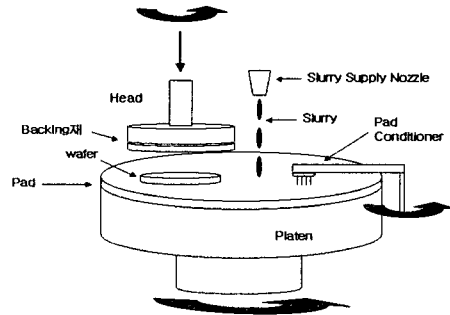


그림1. CMP 공정 개략도

Fig1. Schematic diagram CMP polisher



그림2. 입도분석기

Fig2. Particle sizing system (Accusizer780)

3. 결과 및 고찰

그림3는 연마율과 비균일도를 나타낸 그림이다. 연마율은 산화제의 첨가량이 1:1~1:5까지 증가함에 따라 증가를 하는데 1:1에서는 313Å 정도의 연마율을 보였으며 1:2에서는 373Å 정도의 약간의 증가를 보였고 1:3에서는 440Å 정도의 연마율을 보였다. 이는 산화제의 첨가량이 증가함에 따라 빠른 부동태층의 형성과 빠른 제거에 기인한 것으로 보이며 1:5에서는 1060Å로서 아주 높은 연마율을 보였으나 SEM분석 결과 표면층의 micro scratch가 많이

발생함과 동시에 부식층을 일으켰음을 육안으로 확인할 수 있었다. 이는 산화제의 첨가량이 증가할수록 연마율은 증가를 하나 박막표면이 Cu_2O 의 이상적인 부동태층이 형성이 되기 이전에 급속한 화학반응에 의해 CuO 의 박막의 형성이 이루어진 것으로 보이며 표면층의 micro scratch는 연마입자의 aggregation 현상에 의해 연마입자가 $1.35\mu\text{m}$ 로 증가하기 때문으로 생각된다. 비균일도는 산화제의 첨가량이 1:1인 경우가 2.98로서 안정된 균일도를 나타냈으며 전반적으로 7%이하의 비균일도 특성을 나타내었다.

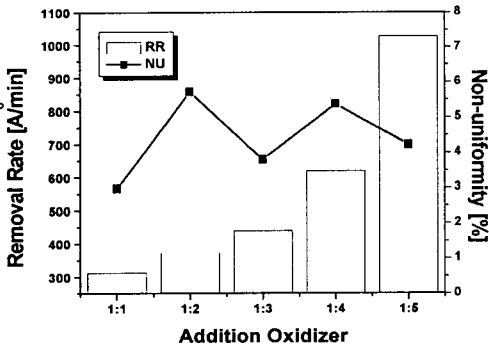
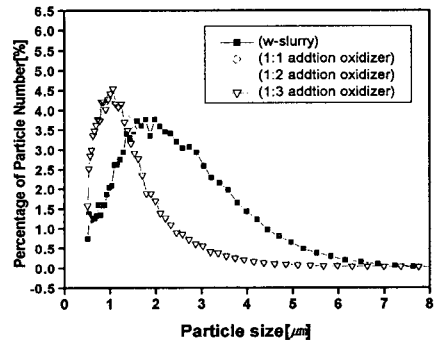


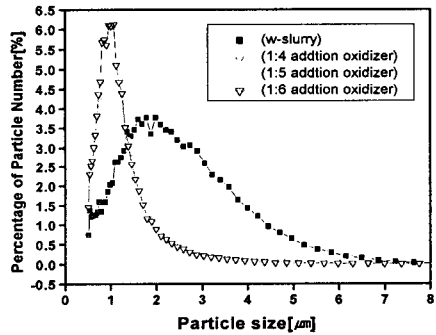
그림 3. 산화제 첨가량에 따른 연마율과 비균일도
Fig.3. non-uniformity and removal rate regarding the additional volume of oxidizer

산화제를 첨가하지 않은 W-slurry의 평균 particle size는 $2.01\mu\text{m}$ 이었으며 산화제가 각각 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 1:5의 비율로 첨가된 W-slurry의 평균 particle size는 $1.40\mu\text{m}$, $1.29\mu\text{m}$, $1.26\mu\text{m}$, $1.21\mu\text{m}$, $1.35\mu\text{m}$ 으로서 산화제 첨가량이 증가할수록 그림 4와 같이 연마입자의 크기는 감소하였는데, 이는 산화제가 금속표면을 Cu_2O 의 부동태층(passivity)의 금속 산화막으로 변환시킴과 동시에 연마입자를 산화시키는 화학적 반응에 의해 연마입자의 전자가 떨어져 나가면서 입자반경이 줄어들어 연마제 입자의 크기가 감소를 한 것으로 추측된다. 산화제가 1:4의 첨가 비율까지는 $1.21\mu\text{m}$ 로 연마입자가 계속 감소하는 현상을 보이다가 1:5의 첨가 비율에서는 다시 연마입자의 크기가 다소 $1.35\mu\text{m}$ 로 증가를 하였는데 이는 산화제의 과잉첨가가 연마입자의 뭉침 현상(aggregation)을 발생시키기 때문으로 생각된다. 그러나 첨가량이 더 증가하면서부터 산화와 환원의 계속적인 반응에 의하여 연마입자의 크기가

거의 일정함을 관찰 할 수 있었다. 여기서 주목해야 할 것은 1:6의 첨가량 이후부터 더 이상 연마입자 크기가 줄어들지 않고 포화하는 경향을 보이는 것으로 보아 본 실험에서 사용한 슬러리는 종래의 보고문헌과는 달리 1:6으로 판단된다.



(a)

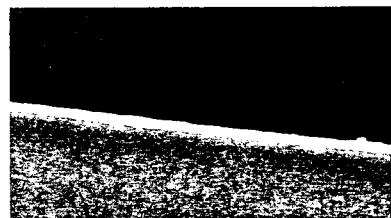


(b)

그림 4. 산화제 첨가량에 따른 연마입자의 크기
(a) 1:1 ~ 1:3 비율 (b) 1:4 ~ 1:6 비율

Fig. 4 particle size regarding the additional volume of oxidizer

(a) 1:1 ~ 1:3 rate (b) 1:4 ~ 1:6 rate



(a) 1:1



(b) 1:2



(c) 1:4



(d) 1:5

그림5. CMP 공정후에 SEM 분석
Fig5. SEM image of post-CMP
(a)1:1, (b)1:2, (c)1:4, (d)1:5

산화제 첨가 비율이 1:1인 경우의 slurry를 사용하여 CMP 공정을 하였을 시의 SEM 분석결과 단면의 경우는 평탄화가 잘 이루어 졌음을 확인할 수 있었고 산화제 첨가 비율이 1:2로 배합된 slurry를 사용하여 CMP 공정을 하였을 시의 SEM 분석 결과 산화제가 1:1의 첨가 비율로 CMP 공정을 수행한 경우보다 연마율은 60Å의 아주 미세하게 증가를 보이나 산화제의 영향에 의해 표면에 defect가 미세하게 형성되었음을 알 수 있었다. 1:4인 경우의 연마율은 620Å/min으로서 1:1인 경우에 비해 증가를 하나 SEM 분석 결과 평탄화에 이어 표면에 산화막층이 미세하게 형성됨을 알 수 있다. 산화제 첨가량이 1:5인 경우 SEM 분석 결과 그림에서 나타난 바와 같이 부식층이 형성되어 있음

을 알 수 있다.

4.결 론

본 논문에서는 산화제의 첨가량에 따른 W 슬러리의 Cu CMP특성과 연마제 입자의 입도특성을 알아보았다. 산화제의 첨가량이 1:1~1:4까지 증가할수록 연마입자는 산화 부식작용에 의해 계속 감소함을 알 수 있었으며 1:5에서는 aggregation현상에 의해 다시 증가를 보임과 동시에 micro scratch가 형성되었음을 알 수 있었다. 또한 비균일도는 전반적으로 7%이하의 안정적인 특성을 보였다. 이상과 같이 Cu CMP에 있어서 산화제의 역할이 중요함을 알 수 있었고 이상적인 부동태 층을 형성과 더불어 높은 연마율과 안정적인 비균일 특성을 얻기 위해서는 산화제의 적절한 배합이 고려되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] 이우선, 신재욱, 최권우, 고필주, 서용진, "열처리된 산화막 CMP 슬러리 노화현상", 한국전기전자재료학회 하계학술대회논문집, pp.335-338, 2003. 7.
- [2] 이우선, 고필주, 최권우, 신재욱, 서용진, "첨가제에 따른 SiO₂ CMP 특성", 한국전기전자재료학회 하계학술대회논문집, pp.378-381, 2003. 7.
- [3] J. Huang, H. C. Chen, J. Y. Wu, and W. Lur, "Investigation of CMP Micro-Scratch in the Fabrication of Sub-quarter Micron VLSI circuit". Proceeding of Chemical Mechanical Polishing-Multi level Conference (CMP-MIC), pp. 77-79, 1999.
- [4] M. Lin, C. Y. Chang, D. C. Liao, B. Wang and Allen Henderson, " Improved STI CMP Technology for micro-scratch issue " , Proceedings of CMP-MIC, pp. 322-326, 1999.
- [5] Woo-Sun Lee, Sang-Yong Kim, Yong-Jin Seo, Jong-Kook Lee, " An Optimization of Tungsten Plug Chemical Mechanical Polishing (CMP) using Different Consumables, Journal of Materials Science : Materials in Electronics, Kluwer Academic Publishers, Vol. 12, pp. 63-68. 2001.