

## CMP공정에 의한 실리케이트 산화막의 오염 최소화

이우선\*, 김상용\*\*, 최권우\*, 조준호\*

\* 조선대학교 전기제어계측공학부

\*\* 아남 반도체(주)

### Minimum Pollution of Silicate Oxide in the CMP Process

Woo Sun Lee\*, Sang Yong Kim\*\*, Gun Woo Choi, Jun Ho Cho

\* School of Electrical and Control Measurement, Chosun University

\*\* Anam Semiconductor

#### ABSTRACT

We have investigated the CMP slurry properties of silicate oxide thin films surface on CMP cleaning process. The metallic contaminations by CMP slurry were evaluated in four different oxide films, such as plasma enhanced tetra-ethyl-ortho-silicate glass(PE-TEOS), O<sub>3</sub> boro-phospho silicate glass(O<sub>3</sub>-BPSG), PE-BPSG, and phospho-silicate glass(PSG). All films were polished with KOH-based slurry prior to entering the post-CMP cleaner. The Total X-Ray Fluorescence(TXRF) measurements showed that all oxide surfaces are heavily contaminated by potassium and calcium during polishing, which is due to a CMP slurry. The polished O<sub>3</sub>-BPSG films presented higher potassium and calcium contaminations compared to PE-TEOS because of a mobile ions gettering ability of phosphorus. For PSG oxides, the slurry induced mobile ion contamination increased with an increase of phosphorus contents.

#### 1. 서 론

CMP는 기존의 회생막 전면의 식각 공정과는 달리 특정부위의 제거 속도를 조절함으로써 평탄화하는 기술로 웨이퍼 전면을 회전하는 탄성 패드(pad)사이 에 화학적인 액상의 슬러리(slurry)를 투입하여 기계적으로 연마하는 기술이다[1]. 최근에 CMP 공정은 그 중요성이 더욱 부각되어 ULSI topography의 광역 평탄화(global planarization)를 얻기 위한 중요한 기술이 되고 있다. IC 제조에 있어서 CMP 공정전 입력 웨이퍼의 적절한 제어 능력은 연마 및 클리닝 공정의 안정성을 보장하기 위한 중요한 단계이다. 또한 CMP 공정은 ILD(Inter-Layer Dielectric)층과 내부연결선(inter-connection line) 등을 평탄화 하는데 매우 주의를 요하는 공정이다[2, 3]. 특히 ILD 층의 완벽한 광역 평탄화를 위해서는 CMP 공정만이 가능하다. 그러나 공정의 특성상 PH adjusted 슬러리(slurry)에 기인하는 입자, K, Na 등과 같은 금속 불순물들이 연마공정 동안에 웨이퍼 표면에 흡착되어 소자특성을 열화시키는 단

점을 갖고 있다. 현재 IC 생산공정에 CMP 공정 기술을 적용하기 위해서는 연마(polishing)와 클리닝(cleaning)을 동시에 고려하여 최적화 시켜야 한다.

CMP 공정을 이용한 다층 구조의 광역 평탄화[1], CMP 공정에 기인하는 소자특성의 열화를 방지하기 위한 PMD(Pre Metal Dielectric) 구조 [4], STI(Shallow Trench Isolation)-CMP 공정 시 연마 정지점(End Point Detection)을 찾기 위한 연마시간 조절[5]-[6] 등에 대해 발표된 바 있다. 그러나 위에서 언급한 바 있는 CMP 슬러리에 의해 생성되는 K, Ca과 같은 이동성 이온들이나 원치 않는 불순물 오염원에 대한 문제점들을 해결하지 못하고 있었다.

따라서 본 논문에서는 CMP 연마된 실리케이트 산화막의 경우 CMP 슬러리에 의해 야기되는 오염을 TXRF 분석을 사용하여 고찰하고자 한다.

## 2. CMP 공정

CMP의 기본 원리는 화학적인 요소와 기계적인 요소가 있다. 화학적인 요소로써 회전하는 탄성체 패드와의 조합에 의해 웨이퍼 표면에서 벗겨져 나가는 것이다. 웨이퍼가 패드의 표면에서 왕복 운동함에 따라 액상 속의 슬러리 입자들이 웨이퍼와 패드의 접촉한 부분에서 웨이퍼 표면에 대해 압력을 가함으로써 연마가 되는 것으로 CMP는 주로 슬러리 입자들에 의한 화학적인 요소와 패드의 재료에 의한 기계적인 요소에 의해 연마하는 기술이다.

연마하는 동안 표면의 상호 작용은 슬러리 안에 물의 존재에 따라 즉, PH농도에 따라 큰 영향을 받는다. 그러나 물이 유기 용매로 대체되면 그 영향은 무시되며 슬러리에 의해 연마되는 과정은 슬러리 내의 용매와 웨이퍼 표면과의 수소결합, 슬러리 입자와 웨이퍼 표면의 수소 결합, 슬러리 입자들이 움직이면서 결합되었던 웨이퍼 표면의 제거이다.

슬러리에 의한 연마의 최종 방정식은  $\equiv\text{Si-O-Si} \equiv + \text{H}_2 \leftrightarrow 2\equiv\text{Si-OH}$  이고 연마는 반응속도가 빠를 때 이루어지는데 때때로 산화막의 재증착이 더 크다. 슬러리 입자와 웨이퍼 표면 사이의 결합력은 연마하는 동안의 동적 마찰 계수를 정한다. 따라서 슬러리의 화학적인 성질은 제거속도를 좌우하는 중요한 요소이다. 현재 가장 높은 제거속도를 가지는 슬러리 재료는  $\text{CeO}_2$ 이다. 그러나 평탄화에서 제거속도에 기초를 둔 슬러리의 선택뿐만 아니라 슬러리 입자 콜로이드 분포도 중요하다. 물은 산화막의 여러 성질에 영향을 미치게 된다. 산화막 내에서 수소 확산이 크게 되면 이는 하이드록실 결합의 개짐에 영향을 주어 결과적으로 제거되는 입자의 크기에도 영향을 주게 된다.

웨이퍼에 의해 연마 패드라 불리는 연마 표면에 대해 압력이 가해지고 웨이퍼와 패드는 둘 다 회전한다. 세밀한 연마입자와 증성수용액으로 구성되는 연마 슬러리는 패드의 중심으로 분사되어진다. 원심력은 패드 위에 형성된 얇은 층의 액체를 패드를 따라 분산시킨다. 연마입자에 적용된 힘과 회전력으로부터의 기계적인 동작과 웨이퍼와 슬러리로 부터의 chemical 동작의 조화, 이것은 웨이퍼 표면 물질을 제거하는 결과를 갖는다. CMP공정에 의해 평탄화를 수행하는 주요 열쇠는 표면의 낮은 지역에서의 낮은 제거율(removal rate)과 높은 지역에서의 높은 제거율을 유지하는 것이다. 제거율에서의 이러한 차이는 만약 연마 패드가 견고하면 얻어진다. 패드는 높은 지점에서 더 많은 힘이 가해지게 된다. 즉, 패드가 견고하

고, 딱딱하기 때문에 웨이퍼 표면전체에 일정하게 접촉않고, 그러므로 낮은 지역에는 힘이 덜 가해진다. 표면에서의 식각율(etch rate)은 일반적으로 어떤 적용된 힘이 거의 없기에 일반적으로 무시되고, 낮은 지역에서의 제거율은 매우 적다. 평탄화에 대한 CMP 공정의 능력은 평탄화율(planarization rate)에 의해 측정되어진다. CMP 기계적인 요소로써 연마 공정시 웨이퍼와 패드와의 물리적인 운동과 패드 재료특성을 들 수 있다.

## 3. 실험

결정 방향이 (100) 이고 저항율이 0.8 ~ 1.15  $\Omega\cdot\text{cm}$  이며, 직경이 200 mm인 붕소(Boron)가 도핑(doping)된 P형 Si 웨이퍼를 사용하였다. TEOS(Tetra-Ethyl-Ortho-Silicate), BPSG(BoronPhospho-SilicateGlass), PSG(Phospho-Silicate Glass) 막을 PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition) 를 사용하여 Si 웨이퍼 위에 증착 하였고,  $\text{O}_3$  -BPSG 막은 APCVD (Atmosphere Pressure Chemical Vapor Deposition) 를 사용하여 얻었다. 모든 산화막의 연마는 Rodel IC-1000 GRV와 CABOT SS-12를 사용한 IPEC 472 연마기에서 수행되었고 연마된 산화막의 Post CMP 클리닝은 Avanti 900 클리너에서 탈이온수(deionized water)를 이용하였다. 산화막 표면의 결합은 Tencor 6420으로 측정하였고 연마 제거율(polishing removal rate)은 Rudolph PE-III 엘립소미터로 평가하였다. TXRF 측정은 Rigaku사에서 제작된 TXRF 3700-LE를 사용하였다.

## 4. 결과 및 고찰

그림1은 금속 오염원을 as-deposited된 상태의 슬러리 A와 B의 절단면 SEM사진을 나타낸다. CMP 공정은 슬러리에 기인하는 입자, 또는 K, Na 등과 같은 금속 불순물이 웨이퍼 표면에 증착되어 소자특성을 열화시키는 단점을 갖고 있다. 본 논문에서는 PE-TEOS와  $\text{O}_3$ -BPSG 산화막의 경우에 가장 작은 입자수를 나타내었고, 연마된 PE-TEOS와  $\text{O}_3$ -BPSG 산화막의 입자밀도는 두 경우 모두 0.05 [defect/cm<sup>2</sup>] 이하의 값을 보였다.

그림 2는 PE-TEOS와  $\text{O}_3$ -BPSG 막의 금속 오염원을 as-deposited된 상태와 CMP 공정 후로 나누어 비교한 것이다. 그림 2(a)는 as-depo.된

PE-TEOS와 O<sub>3</sub>-BPSG 막의 오염원을 보인 것으로 두 산화막의 주된 불순물은 P(phosphorous), K(potassium), Ca(calcium) 이었고 그 외의 불순물은 거의 TXRF의 검출한계(detection limit) 이하의 값을 보였다. 그림 2(a)에 보인 바와 같이 K의 농도는 PE-TEOS와 O<sub>3</sub>-BPSG 둘 다 2 ~ 3×10<sup>10</sup> atoms/cm<sup>2</sup>의 값을 나타내었으나, O<sub>3</sub>-BPSG 막의 Ca의 농도는 4 ~ 6×10<sup>10</sup> atoms/cm<sup>2</sup> 정도로 PE-TEOS 막보다 더 높은 값을 나타내었다. 그림 2의 (b)와 같은 TXRF 데이터는 CMP 공정 후의 연마된 막에 대한 K와 Ca의 농도는 as-depo.된 산화막의 경우 보다 약 2승 정도 더 높은 값을 보였다. 즉, 연마된 PE-TEOS 막의 K 농도는 대략 10<sup>12</sup> atoms/cm<sup>2</sup>, Ca의 농도는 10<sup>11</sup> atoms/cm<sup>2</sup>인 반면에 O<sub>3</sub>-BPSG막

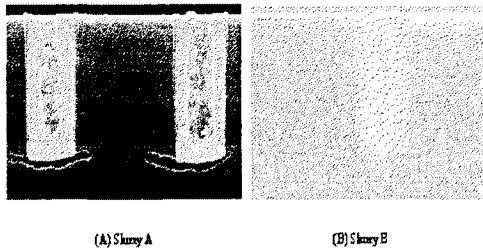


Fig. 1 SEM view of slurry A and B

CMP 환경에서 O<sub>3</sub>-BPSG막이 PE-TEOS막보다 슬러리에 의해 훨씬 더 오염 받기 쉽다는 것을 의미하는 것이다. BPSG 산화막에서 B(boron)와 P(phosphorus)의 역할이 서로 다르다고 보고되어 있다. Yoshimaru 등[6]에 의하면, B는 산화막 속으로 수분의 침투를 증강시키는 반면에, P는 실리케이트(silicate) 산화막의 softening과 flow 특성을 좋게 해줄 뿐만 아니라 TEOS 막내에서 게터링(gettering)원소로 알려져 있어 이동성 이온 등과 같은 오염원에 대하여 보호막으로 작용한다고 보고되어 있다. 따라서 BPSG 산화막에 대한 K와 Ca과 같은 슬러리에 의한 오염의 정도는 PE-TEOS 보다 훨씬 더 컸다. 왜냐하면 BPSG 산화막내의 P가 K와 Ca 이온을 효과적으로 게터링 시켰기 때문으로 생각된다.

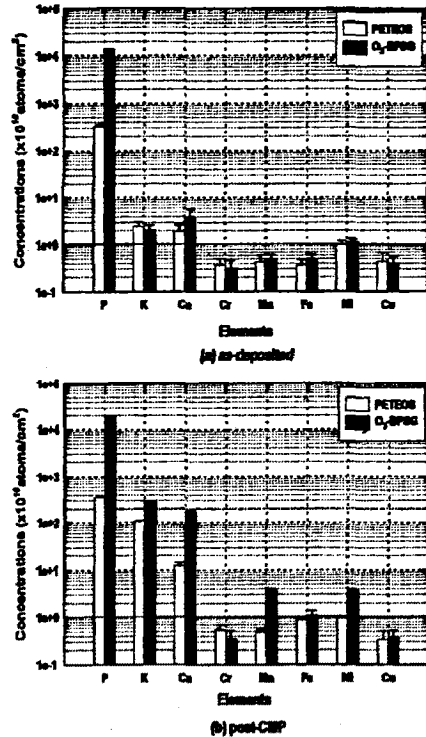


Fig. 2 Metallic impurity levels of PE-TEOS and O<sub>3</sub>-BPSG ;(a) as-deposited, (b) post-CMP.

마이크로크랙의 깊이는 500 ~ 2,500 Å의 범위에 있는데 마이크로크랙이 CMP 공정 중의 연마 공정동안 한번 일어나기 시작하면 이들이 K 이온의 확산경로로 작용하게 되어 결과적으로 K 이온들이 활성화된다면 표면 아래의 500 ~ 2,500 Å의 범위까지 확산될 수 있다. CMP 연마된 산화막의 오염깊이를 관찰하기 위하여 희석된(dilute) HF 클리닝을 수반하는 CMP와 post-CMP 클리닝 공정을 사용하여 실리케이트 산화막의 오염층을 제거하였다. TXRF 데이터를 통해 볼 때 약 30 Å을 제거한 산화막 표면 위의 K와 Ca은 연마시키지 않은 막과 거의 동일한 레벨을 나타내었다. 따라서 슬러리에 의해 생성되는 K와 Ca 이온은 실리케이트 표면 아래의 약 30 Å 내에 존재함을 알 수 있다. 또한 Mn과 Ni 레벨은 PE-TEOS 보다 BPSG 막에서 더 높은 값을 나타내었다. 그리고 다른 불순물들은 TXRF의 검출한계 이하의 값을 나타내었다. O<sub>3</sub>-BPSG의 연마제거율(polishing removal rate)은 PE-TEOS 보다 약 2.7 배 더 높았다.

BPSG 내의 B와 P의 함량을 변화시켜 그림 3에 나타내었다. 그림 3의 (a)에 보인 것과 같이 B

와 P의 전체함량이 증가하는 것과는 무관하게 연마된 BPSG 표면 위의 P 레벨은 변하지 않고 약  $1.4 \times 10^{14}$  atoms/cm<sup>2</sup>으로 일정하게 유지되었는데 이는 슬러리와 탈이온수(DIW)로부터 P의 기생오염이 생기지 않았음을 나타내는 것이다. 한편 B와 P 함량 변화에 따른 연마된 BPSG 막의 K와 Ca에 의한 오염정도를 그림 3의 (b)에 나타내었다. Post CMP 공정 결과 BPSG 표면의 K와 Ca 레벨은 as-depo.된 막보다 2승 정도 증가하는 결과를 나타내었다. 또한 연마된 BPSG에 대한 K과 Ca의 오염정도는 B와 P 함량이 증가함에 따라 변하지 않고 일정하였는데 이는 막 위의 P레벨이 동일한 값을 갖기 때문으로 생각된다.

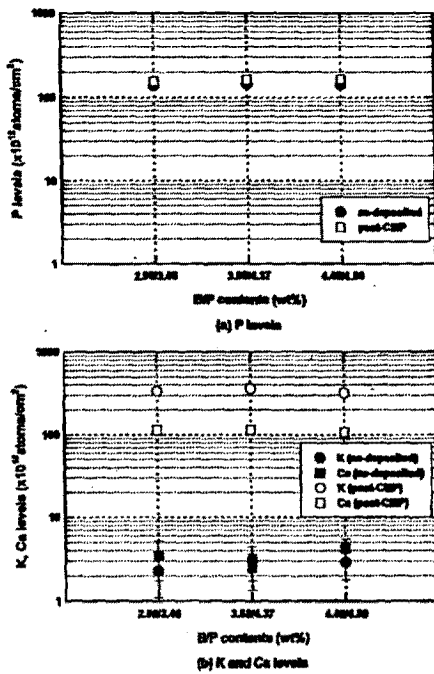


Fig. 3 TXRF results of the as-deposited and polished BPSG as a function of B/P content : (a) P levels (b) K and Ca levels.

## 5. 결론

본 논문에서는 실리케이트 산화막은 CMP 공정 동안 KOH를 함유하는 슬러리(potassium hydroxide containing slurry)산화막의 경우 CMP 슬러리에 의해 야기되는 광역평탄화 및 그 오염을 TXRF 분석을 사용하여 고찰하였다. 실리케이

트 산화막은 CMP 공정 동안 KOH를 함유하는 슬러리에 의해 생성된 K과 Ca 등에 의해 주로 오염됨을 알 수 있었다.

## 참고 문헌

- [1] W. Ong, S. Robles, S. Sohn, and B.C. Nguyen, VMIC conf., p. 197, 1993.
- [2] M. Zaleski, A. Davis, J. Page, and S. Word, "Polishing properties of tungsten CMP slurries," CMP-MIC Conf., p. 25, 1996.
- [3] D. R. Kerr, J. S. Logan, P. J. Burkhardt, and W. A. Pliskin, IBM Journal, 8, 376, 1987.
- [4] 서용진, 장의구, "CMP 공정에 기인하는 소자특성의 열화를 방지하기 위한 PMD 구조에 대한 연구," 전기전자 재료학회 논문지, Vol. 12 No. 2, pp. 111-117, 1999
- [5] 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.
- [6] 김상용, 이경태, 김남훈, 서용진, 김창일, 이우선, 장의구, "STI-CMP 공정을 위한 Pattern wafer와 Blanket wafer 사이의 특성연구," 전기전자 재료학회 춘계학술대회는문집, pp. 211-213, 1999.