

산화망간이 첨가된 혼합 연마제 실리카 슬러리의 산화막 CMP 특성

Chemical Mechanical Polishing Characteristics of Mixed Abrasive Silica Slurry (MAS) by adding of Manganese oxide (MnO_2) Abrasive

서 용 진*★

Yong-Jin Seo*★

Abstract

In this paper, we have studied the chemical mechanical polishing(CMP) characteristics of mixed abrasive silica slurry(MAS) retreated by adding of manganese oxide(MnO_2) abrasives within 1 : 10 diluted silica slurry. A slurry designed for optimal performance should produce high removal rates, acceptable polishing selectivity with respect to the underlying layer, low surface defects after polishing, and good slurry stability. The polishing performances of MnO_2 abrasive-added MAS are evaluated with respect to their particle size distribution, surface morphology, and CMP performances such as removal rate and non-uniformity. As an experimental result, we obtained the comparable slurry characteristics compared to original silica slurry in the view-point of high removal rate and low non-uniformity. Therefore, our proposed MnO_2 -MAS can be useful to save on the high cost of slurry consumption since we used a 1 : 10 diluted silica slurry.

요 약

논문에서는 1:10으로 희석된 실리카 슬러리에 산화망간(MnO_2) 연마제를 첨가하여 재처리된 혼합연마제 슬러리(Mixed Abrasive Slurry; MAS)의 화학기계적연마(CMP) 특성을 연구하였다. 최적의 연마 성능을 갖는 슬러리를 설계하기 위해서는 높은 연마율, 하부층에 대한 적절한 연마선택비, 연마 후의 낮은 표면결함, 슬러리의 안정성 등을 얻어야 한다. 산화망간이 첨가된 MAS의 연마 성능은 연마율 및 비균일도와 같은 CMP 성능, 입도 분석, 표면 형상에 대해 평가하였다. 실험결과, 높은 연마율과 낮은 비균일도 측면에서 볼 때 원액 실리카 슬러리와 대등한 슬러리 특성을 얻을 수 있었다. 따라서 본 연구에서 제안하는 MnO_2 -MAS를 사용하면 고가의 소모재인 슬러리를 절약하는데 매우 유용할 것이다.

Key words : CMP(chemical mechanical polishing), Slurry, MAS(mixed abrasive slurry), Removal rates, MnO_2

* Dept. of Fire Service, Sehan University

★ Corresponding author

E-mail : syj@sehan.ac.kr, Tel : +82-41-359-609

※ Acknowledgment

This work was supported by the Seahn university research fund in 2019.

Manuscript received Nov. 7, 2019; revised Dec. 2, 2019; accepted Dec. 2, 2019.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

I. 서론

반도체 집적회로 공정 라인에서 초미세 공정 기술 도입으로 메모리 및 비메모리가 초고집적화 되어감에 따라 회로 선폭은 더욱 더 미세화되고 있다. 이는 집적회로의 다층배선 내부연결선(multi-level interconnection) 등의 미세공정에 CMP(chemical mechanical polishing) 공정을 도입함으로써 가능하게 되었는데, 이제는 없어서는 안 될 반도체 칩 제작의 핵심 기술로 적용되고 있다. 이러한 CMP 공정은 초고집적회로의 3차원 다층 배선구조를 위한 ILD(inter-layer dielectric), IMD(inter-metal dielectric), PMD(pre-metal dielectric) 층의 평탄화 기술로 현재 많은 연구가 진행되어 GSI(giga scale integrated circuit) 제조공정 중 핵심공정으로 자리매김하고 있다[1-4].

CMP 공정에서 가장 중요한 소모재(consumable) 중의 하나인 슬러리(slurry)는 액상의 화학용액 내에 나노미터 크기의 고상(solid state) 연마입자가 분산되어 있다[5]. 슬러리 내의 연마제(abrasive)는 기계적인 에너지를 연마될 막의 표면에 전달하여 막을 제거하는 역할을 한다. 일반적으로 사용되는 연마제는 연마될 막의 종류에 따라 산화막 연마에는 실리카(SiO₂), 금속막의 연마에는 알루미늄(Al₂O₃)가 주로 사용되고 있다. 또한, 유리를 연마하는 데 사용했던 세리아(CeO₂) 연마제가 STI(shallow trench isolation) 구조의 산화막 연마에 사용되고 있다. 슬러리에서 연마제와 슬러리 케미컬의 상호작용은 화학적, 물리적 작용을 통해 최적의 연마제 종류, 연마제 입경, 콜로이드(colloidal) 또는 폼드(fumed)와 같은 연마제의 형상 및 연마제의 함량을 결정하는데 매우 중요한 역할을 한다[6]. 최적의 연마 성능을 갖는 슬러리를 설계하기 위해서는 높은 연마율 및 낮은 비균일도(non-uniformity), 하부층과의 연마선택비, 연마 후의 낮은 표면결함, 슬러리의 안정성 등을 고려해야 한다[7]. 하나의 연마제만을 사용하는 슬러리(single abrasive slurry; SAS)에서는 위에서 열거한 모든 필요조건들을 충족시키기 위해서는 여전히 개발의 여지가 남아있다. 이의 대안으로 만들어진 혼합 연마제 슬러리(mixed abrasive slurry; MAS)는 적어도 2개 이상의 연마제 입자(particle)가 혼합된 것으로 고체분말의 성분 및 적절한 조성에 의해 SAS가 갖는 문제점인 연마선택

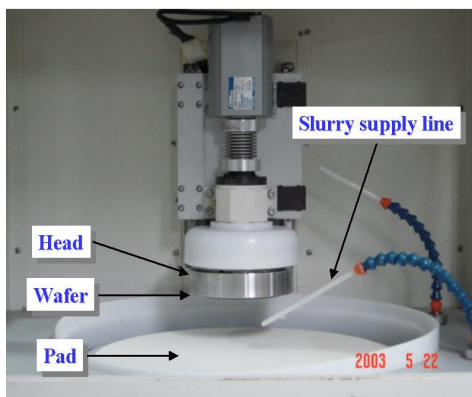
비(polishing selectivity)를 쉽게 조절 할 수 있다고 보고되었다[7, 8]. S. V. Babu 등은 실리카 슬러리에 알루미늄 연마제를 첨가한 MAS를 제조하여 Cu/Ta/산화막 구조에 적용하여 SAS의 문제점이었던 Cu막과 Ta 막의 연마선택비를 개선시킬 수 있음을 제안하였다[9]. 또한, S. Kishii 등은 산화망간(MnO₂) 연마제를 사용한 슬러리를 처음 개발하여 산화막 CMP에 적용하였고[10], Tohru Hara 등은 산화망간 슬러리를 Cu 배선의 하부에 장벽층으로 사용되는 TaN[11]과 저유전율 막인 폴리아릴에테르(polyarylether; PAE)[12]에 각각 적용한 바 있다.

최근에 본 연구진에 의해서도 실리카 슬러리에 알루미늄 연마제가 첨가된 MAS를 제조하여 산화막 CMP에 적용한 바가 있다[13, 14]. 본 연구가 기존의 연구와 다른 점은 실리카 슬러리를 탈이온수와 1:10으로 희석시켜 사용했다는 점이다. 즉, MAS의 효율성을 얻음과 동시에 고가인 슬러리를 상당히 절약할 수 있는 장점도 피할 수 있었다. 이후, 새로운 MAS의 개발에 관심을 갖던 중 혼합 연마제로 산화망간을 첨가한 MAS의 특성을 고찰하게 되었으며[15]. 산화망간이 혼합된 MAS는 종전에 보고되었던 알루미늄 MAS와 동일한 방법으로 제조되었다. 본 논문에서는 고가의 슬러리를 희석시켜 슬러리 비용을 줄임과 동시에 연마선택비 개선의 가능성을 조사하기 위해 1:10으로 희석된 실리카 슬러리에 산화망간(MnO₂) 연마제를 각각 다른 농도로 첨가시켜 혼합 연마제 슬러리(MAS)를 제조하여 연마율과 비균일도, 입도분석 및 AFM(atomic force microscopy) 표면형상을 비교 고찰함으로써 슬러리 재활용의 가능성을 조사하였다.

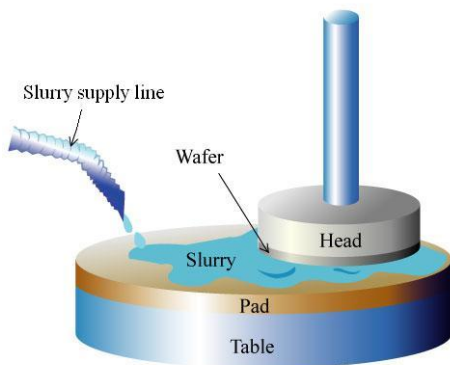
II. 실험

본 실험에서는 CMP 성능을 평가하는 대표적인 특성인 연마율 및 비균일도를 비교 분석하였다. 희석을 위해 KOH-Based 폼드 실리카(fumed silica) 슬러리를 사용하였고, Millpore MILLI-Q를 통해 제조되는 탈이온수(DIW)를 이용하여 슬러리를 1:10으로 희석시켰으며 감소한 pH 값을 회복시키기 위한 완충제로 KOH를 첨가하여 pH 값을 9.6~11.5로 조정하였다. 여기에 연마제로 산화망간(MnO₂) 입자를 각각 1 wt%, 3 wt%, 5 wt% 첨가하였고, 분산시간은 20, 40, 60초 동안 실시하여 CMP 연마

을 및 비균일도, 입도분석 및 AFM 표면형상 등을 고찰하였다. 시료 준비를 위해 TEOS(tetra-ethyl ortho-silicate) 막이 1800 nm 증착되어 있는 블랭킷(blanket) 웨이퍼를 2 cm × 2 cm 크기로 절편하여 사용하였다. CMP 장비는 G & P Technology의 POLI-380을 사용하였으며 연마패드는 IC-1400을 사용하였다. 테이블의 회전속도는 40 rpm, 헤드의 회전속도는 60 rpm, 헤드압력은 300 gf/cm²로 고정하였다. 연마시간도 모두 동일하게 60초로 고정시키고 실험하였다.



(a)



(b)

Fig. 1. (a) Photograph of G&P POLI-380 polisher, (b) schematic diagram of CMP process.

그림 1. (a) G&P POLI-380 연마기 사진, (b) CMP 공정 개략도

CMP 공정 후의 산화막 두께는 K-MAC 사의 ST-200을 사용하였고, Malvern 사의 제타전위 측정기를 이용하여 입도 분석을 실시하였다. Post-CMP 클리닝(cleaning)은 NH₄OH : H₂O₂ : H₂O = 1:2:7의 비율로 섞인 SC-1 케미컬에 3분간 담금질(dipping) 한 후, 1:10의 DHF 용액에 2분간 클리닝

한 후, 4분 동안 초음파 세척하는 시퀀스를 적용하였다. 그림 1은 본 실험에서 사용된 CMP 장비의 사진 및 연마공정 개략도를 보인 것이다. 본 연마 장비는 16인치의 연마패드와 4인치의 웨이퍼를 장착시키는 헤드부분을 가지고 있으나, 본 실험에서 사용한 2 cm × 2 cm 크기의 웨이퍼가 장착될 수 있는 backing film을 별도 제작하여 사용하였다.

III. 결과 및 고찰

그림 2는 1:10으로 희석한 실리카 슬러리에 산화망간 연마제를 1 wt%에서 5 wt%까지 첨가하여 CMP 공정을 수행한 후의 연마율 및 비균일도를 나타낸 것이다. 1:10으로 희석한 슬러리에 산화망간 연마제를 5 wt% 첨가한 경우 연마율은 204 nm/min, 비균일도는 2.1%로 매우 우수한 특성을 나타내어 원액의 실리카 슬러리와 거의 비슷한 수준을 나타내었다. 그러나 5 wt%보다 연마율은 약간 떨어지지만 1 wt%를 첨가하는 것이 고가인 산화망간 연마제를 절약할 수 있다는 점에서 1 wt%의 산화망간 연마제를 첨가하는 것이 높은 연마율과 낮은 비균일도를 동시에 트레이드 오프(trade off) 할 수 있는 가장 적절한 첨가량인 것으로 예측된다. 이처럼 1:10으로 희석시킨 실리카 슬러리에 산화망간 연마제를 소량 첨가시켜 줌으로써 원액 슬러리에 준하는 연마율을 얻을 수 있어 실리카 슬러리의 재활용 가능성을 보여주고 있다. 실리카와

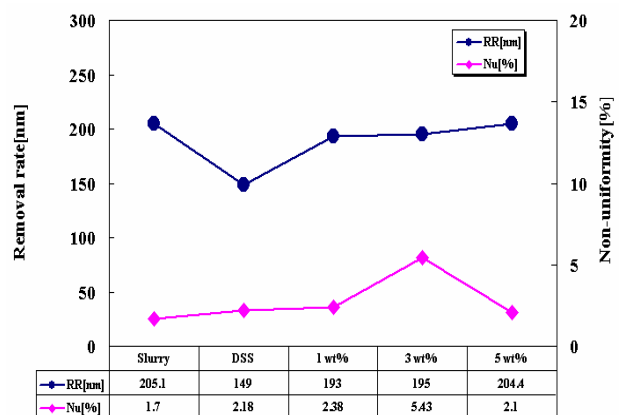


Fig. 2. Removal rates and non-uniformity as a function of manganese oxide (MnO₂) abrasive contents.

그림 2. 산화망간 연마제 첨가량에 따른 연마율 및 비균일도 비교

산화망간 연마제가 함께 분산되어 있는 MAS는 두 연마제 간의 상호작용, 즉, 두 연마제 사이에 인력이 작용하면 연마제의 응집 현상이 일어나고, 실리카와 산화망간 연마제 사이에 반발력이 작용한다면 분산이 일어나 CMP 동안 연마제와 산화막 사이의 상호작용에 영향을 준다.

본 실험에 사용한 MAS는 원액의 실리카 슬러리가 1:10으로 희석되어 있기 때문에 실리카 연마제의 함량은 상대적으로 매우 작으므로 실리카 연마제의 영향보다는 첨가된 산화망간 연마제의 기계적인 에너지에 의해 연마작용이 일어난 것으로 예상된다. 이상과 같이 산화망간이 첨가된 MAS의 향상된 CMP 성능은 MAS 내에서 두 연마제의 거동을 예측한 Babu[9] 등이 제안한 것처럼 비교적 작은 입경을 갖는 실리콘 입자들이 큰 입경을 갖는 산화망간 연마 입자를 둘러싸고 있는 형상, 소위 말하는 chemical-tooth 특성[9]과 큰 입경의 산화망간 자체의 기계적인 연마능력 사이의 상호작용에 기인한 것으로 생각된다.

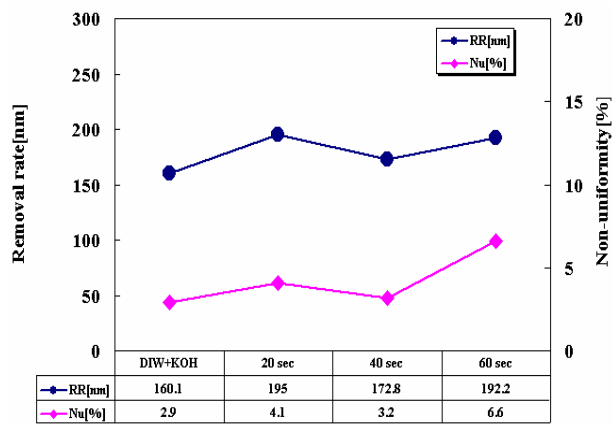


Fig. 3. Removal rates and non-uniformity as a function of dispersion time after adding of manganese oxide (MnO₂) abrasive.

그림 3. 산화망간 연마제 첨가 후 분산시간에 따른 연마율 및 비균일도 비교

그림 3은 MAS 내에서 실리카와 산화망간 연마 입자의 분산 능력을 고찰하기 위해 1:10으로 희석시킨 실리카 슬러리에 MnO₂ 연마제를 1 wt% 혼합한 후 20초, 40초, 60초로 초음파 분산시켜 CMP 공정을 수행한 후의 연마 특성을 나타낸 것이다. 20초, 60초로 분산한 경우 연마율은 각각 195 및 192 nm/min로 높게 나타났으나, 60초 분산한 경우

비균일도가 6.6%로 높은 값을 나타내었다. 따라서 높은 연마율과 낮은 비균일도를 만족시킬 수 있는 트레이드 오프 값은 20초에서 40초 사이에서 분산시키는 것이 적합할 것으로 생각된다. 즉, MAS 내에서 산화망간 입자들과 실리콘 입자들이 효과적으로 분산되어 두 입자들의 응집을 막을 수 있어 우수한 연마 특성을 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

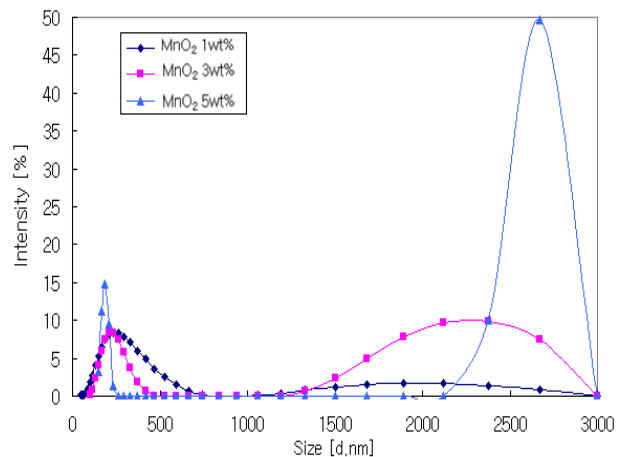


Fig. 4. Analysis of particle size distribution as a function of MnO₂ abrasive contents.

그림 4. 산화망간 연마제 첨가량에 따른 입도분석

그림 4는 입도분석이 가능한 Malvern 사의 제타 전위 측정기를 이용하여 MnO₂ 연마제의 첨가량에 따른 입자크기의 분포를 나타낸 것이다. 1 wt%의 MnO₂ 연마제가 첨가된 경우 250 nm에서 10% 정도의 분포를 갖는 1차 피크(peak)가 나타난 후 고르게 분포하고 있으나, 첨가량이 증가함에 따라 연마입자의 크기가 증가함을 알 수 있다. 특히, 산화망간을 3 wt% 첨가한 경우에는, 0~500 nm와 1500~3000 nm 사이에서 bi-modal 분포를 보였다. 즉, 250 nm와 2250 nm에서 평균 응집 입경을 갖는 2개의 피크가 관찰되었다. 이처럼 나노미터 크기의 초소형 입자들과 이보다 훨씬 더 큰 거대입자들이 생성되는 것은 변형된 산화망간 입자들의 응집 현상에 기인한 것이다[15]. 이는 큰 입경을 갖는 산화망간 연마 입자를 비교적 작은 입경을 갖는 실리카 입자들이 둘러싸고 있는 chemical-tooth 특성[9]으로 그림 4에 나타난 bi-modal 특성으로 설명될 수 있다. 또한 이는 2개의 연마제가 혼합되어 있기 때문에 2개의 피크가 나타난 것은 당연한 결과이며, 연마제의 첨가량이 많을수록 거대 입자의 분포가

더 증가한 이유는 연마제의 과잉첨가로 인해 연마 입자의 응집 현상이 더 많이 발생하기 때문으로 생각되며, 그림 2에 보인 바와 같이 1 wt%에서 가장 높은 연마성능을 보인 원인을 뒷받침해주는 결과이다. 즉, 연마제를 많이 첨가한다고 해서 CMP 특성이 우수해지는 것이 아니며, 높은 연마율과 낮은 비균일도 특성의 트레이드 오프를 만족시킬 수 있는 산화망간의 첨가량은 대략 1 wt% 근처이고, 분산시간은 30초 정도가 가장 적합할 것으로 판단된다.

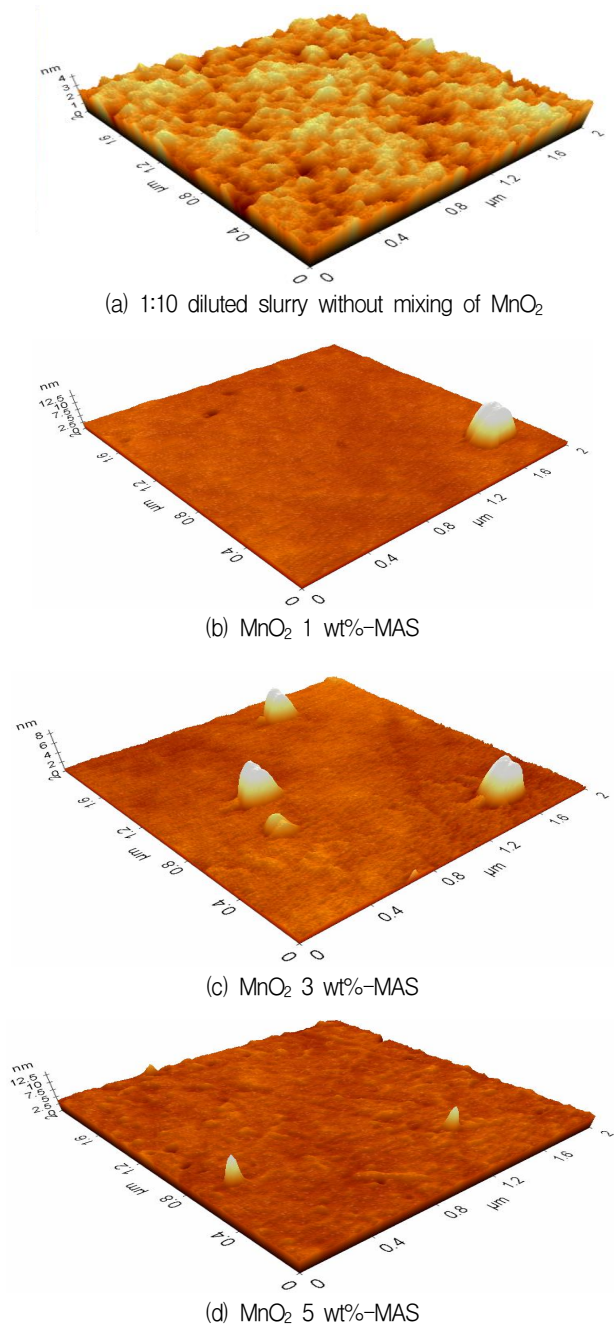


Fig. 5. AFM images as a function of MnO₂ abrasive contents. 그림 5. 산화망간 연마제 첨가량에 따른 AFM 이미지

그림 5는 MnO₂ 연마제의 첨가량에 따른 AFM 표면형상을 비교한 것이다[15]. CMP 공정에서 deep 스크래치의 형성은 회로 고장 등 심각한 문제를 초래한다. post-CMP 클리닝의 오류로 인해 표면에 거대 입자가 잔존하고 있지만 MnO₂ 연마제를 각기 다른 함량으로 첨가한 경우 표면특성이 향상되었으며 스크래치는 관찰되지 않았다. 특히 1 wt%를 첨가한 경우의 3차원 AFM 표면 형상이 가장 우수함을 알 수 있다.

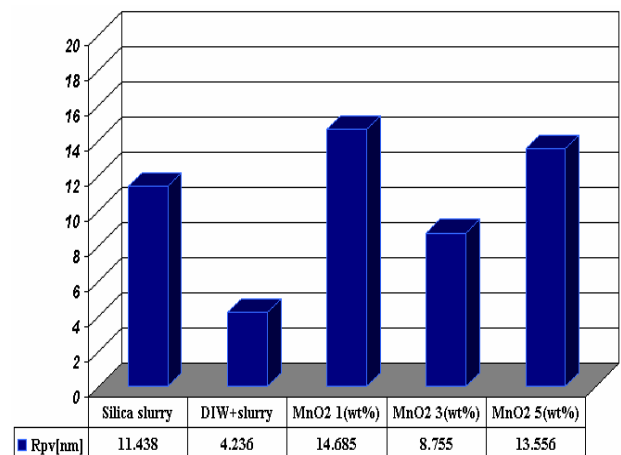


Fig. 6. Peak to valley roughness as a function of MnO₂ abrasive contents.

그림 6. 산화망간 연마제의 첨가량에 따른 표면 거칠기(Rpv) 비교

그림 6은 분산시간은 30초로 고정하고, MnO₂ 연마제를 1 wt%, 3 wt%, 5 wt%씩 첨가하여, 산화막

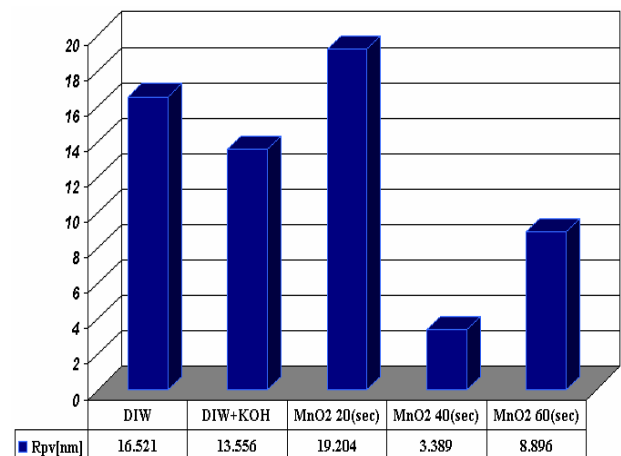


Fig. 7. Peak to valley roughness as a function of dispersion time after adding MnO₂ abrasive.

그림 7. 산화망간 연마제의 분산시간에 따른 표면 거칠기(Rpv) 비교

을 CMP한 후 Rpv(peak to valley roughness) 값을 비교한 것이다. MnO₂를 3 wt% 첨가한 경우 8.8 nm로 원액 슬러리($\cong 11.4$ nm) 보다 우수한 평탄화 특성을 나타내었다.

그림 7은 MnO₂ 연마제의 첨가량을 1 wt%로 고정하고, 각기 다른 분산시간에 따른 산화막 CMP 공정 후에 Rpv 표면 거칠기 값을 비교한 것이다. 20초 분산 후 Rpv 값은 19 nm로 가장 높은 값을 나타내어 표면 거칠기 측면에서 문제점을 나타내었으나, 40초 분산 후 Rpv 값은 3.4 nm로 표면 거칠기가 개선됨을 알 수 있다. 따라서 지금까지의 결과를 종합하여 볼 때, 원액 슬러리의 CMP 특성과 비슷하거나 개선된 표면 거칠기를 얻기 위해 적당한 산화망간의 CMP 공정 조건은 1 wt%의 MnO₂를 첨가한 후, 40초 정도 분산시킨 후 CMP 공정을 수행하는 것이 가장 적절함을 알 수 있다.

IV. 결론

1:10으로 희석된 실리카 슬러리에 MnO₂ 연마제를 첨가하여 만든 MnO₂-MAS가 CMP 연마 특성에 미치는 영향에 대해 고찰하여 얻은 결과는 다음과 같다.

MnO₂ 연마제는 함량이 증가함에 따라 연마율이 다소 증가하였으나, 비교적 고가의 산화망간 소모 비용을 줄일 수 있으면서 높은 연마효율을 얻기 위해서는 1 wt%의 소량으로 충분함을 알 수 있었다. 비균일도는 모든 시료 조건에서 6% 이내의 비교적 안정적인 상태를 보이고 있음을 알 수가 있었다. 입도 분석 결과 MnO₂ 연마제의 첨가량이 증가함에 따라 연마입자의 크기가 증가함을 알 수 있었고, 연마제의 과잉첨가가 연마입자의 응집 현상을 발생시키기 때문으로 생각된다. 요약해서, TEOS 막의 향상된 CMP 성능은 정전퍼텐셜 상호작용에 의해 작은 입경의 실리카 입자들이 산화망간 입자에 흡착되어 산화망간의 표면이 변형되었기 때문으로 생각되며, 이는 입경 분포 곡선에 의해 입증되었다. 즉, MAS에서 연마능력은 거대 입자들 자체의 기계적인 연마능력과 이를 둘러싸고 있는 소형 입자들과의 상호작용에 의해 결정되었다. 이상의 결과를 종합하여 보면, 1:10으로 희석한 슬러리에 산화망간 연마제를 첨가한 혼합 연마제 슬러리를 사용할 경우 산화막에 대한 연마율과 비균일도

측면에서 거의 원액에 가까운 우수한 특성을 보이고 있음을 알 수가 있었다. 따라서 미세한 패턴을 갖는 정밀 연마공정이 필요할 경우, 본 연구에서 제안하는 혼합연마제(MAS) 슬러리를 사용해서 1차 연마공정을 수행하고, 그 다음에 희석되지 않은 원액 슬러리를 가지고 2차 연마공정을 수행하여 마감하면 다소 공정은 복잡해지지만 상당히 비싼 슬러리의 소모를 줄일 수 있을 것이다. 또한 본 연구에서 자체 개발된 MAS 슬러리를 Cu, Al, W과 같은 금속의 CMP 공정 및 새로운 금속의 CMP, PCB(printed circuit board) 기판과 같은 다소 거칠지만 대량의 슬러리를 필요로 하는 CMP 공정에 적용한다면 CMP 공정 중 가장 많은 비용을 부담하고 있는 슬러리를 절약할 수 있어 공정 단가를 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

앞으로 연마선택비와 비균일도의 특성이 우수하고, 표면의 마이크로 스크래치와 같은 결함 및 각종 불순물 입자에 의한 오염원을 최소화하는 등 슬러리에 대한 지속적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

References

- [1] Y. J. Seo, S. Y. Kim, and W. S. Lee, "Optimization of Pre-Metal Dielectric (PMD) Materials," *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, Vol.12, No.9, pp.551-554, 2001. DOI: 10.1023/A : 101246172
- [2] W. J. Patrick, W. L. Guthrie, C. L. Standley and P. M. Schiabile, "Application of Chemical Mechanical Polishing to the Fabrication of VLSI Circuit Interconnection," *J. of Electrochemical Soc.*, Vol.138, p.555, 1991. DOI: 10.1149/1.2085872
- [3] W. S. Lee, S. Y. Kim, Y. J. Seo, and J. K. Lee, "An optimization of tungsten plug chemical mechanical polishing (CMP) using different consumables," *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, Vol.12, No.1, pp.63-68, 2001. DOI: 10.1023/A : 1011276830620
- [4] W. Ong, S. Robles, S. Sohn, and B. C. Nguyen, "Characterization of Inter-Metal and Pre-Metal Dielectric Oxides for Chemical Mechanical Polishing Process Integration," *VMIC Conference*, pp.197,

1993.

[5] Y. Kamigata, Y. Kurata, K. Masuda, J. Amanokura, M. Yoshida, and M. Hanazono, "Why abrasive free Cu slurry is promising?," *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.*, Vol.671, p.M1.3, 2001.

DOI: 10.1557/PROC-671-M1.3

[6] R. Carpio, J. Farkas, and R. Jairath, "Initial study on copper CMP slurry chemistries," *Thin Solid Films*, Vol.266, p.238, 1995.

DOI: 10.1016/0040-6090(95)06649-7

[7] Y. J. Seo, "Methodological Study on the Recycle of Oxide-chemical Mechanical Polishing Slurry," *Journal of the Korean Physical Society*, Vol.50, No.3, pp.700-707, 2007. DOI: 10.3938/jkps.50.700

[8] S. V. Babu, A. Jindal, and S. Hegde, "Chemical-mechanical polishing," U.S. Pat. Appl., No.US20030047710A1, 2001.

[9] A. Jindal, S. Hegde, and S. V. Babu, "Chemical mechanical polishing using mixed abrasive slurry," *Electrochemical and Solid-State Letters*, Vol.5, No.4, pp.G48-G50, 2002.

DOI: 10.1149/1.1479297

[10] S. Kishii, R. Suzuki, A. Ohishi, and Y. Arimoto, "Completely planarized W plugs using MnO/sub 2/CMP," *Tech. Dig. Int. Electron Devices Meet.*, p.465, 1995. DOI: 10.1109/IEDM.1995.499239

[11] T. Hara, T. Kurosu, and T. Doy, "Chemical mechanical polishing of copper and barrier layer by manganese(IV) oxide slurry," *Electrochemical and Solid-State Letters*, Vol.4, No.12, p.G109, 2001. DOI: 10.1149/1.1391936

[12] T. Hara, T. Tomisawa, T. Kurosu, and T. Doy, "Chemical mechanical polishing of polyarylether low dielectric constant layers by manganese oxide slurry," *J. Electrochemical Society*, Vol.146, No.6, pp.2333-2336, 1999. DOI: 10.1149/1.1391936

[13] Y. J. Seo, W.-S. Lee, and Pochi Yeh, "Improvements of oxide-chemical mechanical polishing performances and aging effect of alumina and silica mixed abrasive slurries," *Microelectronic Engineering*, Vol.75, pp.361-366, 2004.

DOI: 10.1016/j.mee.2004.07.062

[14] Y. J. Seo, "Oxide-chemical mechanical polishing

characteristics using silica slurry retreated by mixing of original and used slurry," *Microelectronic Engineering*, Vol.77, pp.263-269, 2005.

DOI: 10.1016/j.mee.2004.11.015

[15] Y. J. Seo, S. W. Park, and W. S. Lee, "Effects of manganese oxide-mixed abrasive slurry on the tetraethyl orthosilicate oxide chemical mechanical polishing for planarization of interlayer dielectric film in the multilevel interconnection," *Journal of Vacuum Science & Technology A*, Vol.26 No.4, pp.996-1001, 2008.

DOI: 10.1116/1.2936225

BIOGRAPHY

Yong-Jin Seo (Member)



1987 : B.S. degree in Electrical Engineering, Chungang University.

1989 : M.S. degree in Electrical Engineering, Chungang University.

1994 : Ph. D. degree in Electrical Engineering, Chungang University.

1999 ~ 2000 : Visiting Faculty, Department of Electrical Engineering, University of North Carolina at Charlotte (UNCC).

1995 ~ Present : Professor, Sehan University.