

탈이온수로 희석된 실리카 슬러리에 알루미나 연마제가 첨가된 혼합 연마제 슬러리의 CMP 특성

Chemical Mechanical Polishing Characteristics of Mixed Abrasive Slurry by Adding of Alumina Abrasive in Diluted Silica Slurry

서용진¹, 박창준², 최운식³, 김상용⁴, 박진성⁵, 이우선⁶
(Yong-Jin Seo¹, Chang-Jun Park², Woon-Shik Choi³, Sang-Yong Kim⁴, Jin-Sung Park⁵,
and Woo-Sun Lee⁶)

Abstract

The chemical mechanical polishing (CMP) process has been widely used for the global planarization of multi-layer structures in semiconductor manufacturing. The CMP process can be optimized by several parameters such as equipment, consumables (pad, backing film and slurry), process variables and post-CMP cleaning. However, the COO(cost of ownership) is very high, because of high consumable cost. Especially, among the consumables, the slurry dominates more than 40 %.

In this paper, we have studied the CMP characteristics of diluted silica slurry by adding of raw alumina abrasives and annealed alumina abrasives. As an experimental result, we obtained the comparable slurry characteristics compared with original silica slurry in the view-point of high removal rate and low non-uniformity. Therefore, we can reduce the cost of consumables(COC) of CMP process for ULSI applications.

Key Words : CMP (chemical mechanical polishing), Slurry, Abrasive, COC (cost of consumables), COO (cost of ownership)

1. 서론

최근 반도체 집적 회로 공정 라인에서 차세대 초미세 공정 기술 도입의 가속화를 통해 메모리 및 비메모리가 초고집적화 되어감에 따라 0.13/0.10 μm 크기의 회로 선폭 미세화를 초래하였다. 이러한 미세 공정은 CMP(chemical mechanical polishing) 공정을 도입함으로써 가능하게 되었고, 이제는 없

어서는 안될 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 ULSI 제조공정 중 핵심공정으로 자리매김 하고 있다[1-4]. 그러나, CMP 공정을 위한 운전비용 중 슬러리와 패드와 같은 소모자재의 비용이 약 70%를 차지하고 있어 CMP 운전비용이 높다는 단점을 가지고 있다. 따라서 고농도의 슬러리에 탈이온수(DIW)를 혼합하는 방식을 채택하여 슬러리의 단가를 낮추려는 시도가 진행되고 있다. 한편, 차세대 배선재료의 도입으로 Cu 시대를 맞이하여, 연마할 대상은 더욱 다양해지는 경향에 있으며, 공정 개발의 부담은 더욱 더

* : 대불대학교 전기공학과
(전남 영암군 삼호면 산호리 산 72번지
Fax: 061-469-1260
Corresponding Author : syj@mail.daebul.ac.kr
** : (주)아남반도체 FAB 사업부
*** : 조선대학교 전기공학과
2002년 12월 6일 접수, 2003년 1월 27일 1차 심사완료,
2003년 3월 10일 최종 심사완료

커지고 있는 현실이다. 즉, Cu CMP 공정을 수행하기 위하여 Cu/Ta/산화물 구조와 같은 각 층간의 서로 다른 기계적 요소와 화학적 요소 때문에 두 층간의 연마 선택비[5]가 다르기 때문에 두 층 사이의 높은 연마 선택비(selectivity)를 가지는 슬러리[6-8]를 개발하여야 할 필요가 있으며, CMP 공정 이후에 표면의 마이크로 스크래치와 같은 결함 및 각종 불순물 입자에 의한 오염원들을 최소화하는 것도 매우 중요하다[9]. 이러한 관점에서 앞으로는 안정된 CMP 공정의 실현을 위하여, 슬러리카나 패드 기술의 신속하고 유연한 개발 및 국산화도 중요하게 될 것이다.

따라서 본 연구에서는 고가의 슬러리를 희석시켜[10] 슬러리 비용을 줄임과 동시에 Cu와 SiO₂ 사이의 연마 선택비 개선의 가능성을 조사하기 위해 알루미늄과 실리카 연마제를 혼합시킴으로써 연마율과 비균일도의 특성이 우수한 새로운 혼합 연마제(Mixed abrasive) 슬러리에 대한 특성을 고찰하였다. 또한 탈이온수로 희석한 실리카 슬러리[10]에 열처리 하지 않은 알루미늄 연마제와 열처리한 알루미늄 연마제를 각각 첨가하여 산화막에 대한 CMP 특성을 비교하여서 열처리된 알루미늄 연마제의 기계적 강도 개선 및 향후, Cu 금속과 하부 산화막 사이의 연마 선택비 개선에 적용하고자 한다.

2. 실험

실험은 크게 두 가지로 나누어 진행되었다. 첫째는 희석된 실리카 슬러리에 열처리하지 않은 알루미늄 연마제를 첨가하여 CMP 특성을 알아보고, 두 번째는 희석시킨 실리카 슬러리에 열처리한 알루미늄 연마제를 첨가하여 CMP 특성을 비교하였다.

희석을 위해 KOH-Based 폼드 실리카(fumed silica) 슬러리를 사용하였고, Millpore MILLI-Q를 통해 제조되는 탈이온수를 이용하여 슬러리를 1:10으로 희석시켰으며 감소한 pH 값을 회복시키기 위한 완충제로 KOH를 첨가하여서 pH 값을 회복하였다[10]. 여기에 연마제로 알루미늄 분말과 열처리한 알루미늄 분말을 각각 첨가하여 CMP 연마율 및 비균일도를 비교해 보았다. 시료 준비를 위해 4인치 블랭킷(blanket) 실리콘 웨이퍼를 1200 °C에서 6시간 동안 전기로에서 산화시켰으며 산화막

두께는 6500 Å 이었다. CMP 장비는 G & P Technology의 POLI-380을 사용하였고, 연마패드는 Redel사의 IC-1300과 Suba IV 패드를 PSA-II로 접착시킨 이중 패드를 사용하였다. 표 1은 본 실험에서 자체 제작한 알루미늄 연마제 분말의 열처리 조건 및 분쇄 방법을 나타낸 것이다.

표 1. 연마제 분말의 열처리 조건.

Table 1. Annealed conditions of abrasive powders.

연마제 분말	알루미늄(Al ₂ O ₃)
열처리 시간	2 [Hour]
열처리 온도	1100°C & 1500 °C
건조 방법	100°C 오븐 사용
분쇄 방법	Mono mill, 200 rpm, 20 [Hour]
용 매	아세톤

표 2. CMP 장비의 공정 변수.

Table 2. Typical process variables of CMP equipment.

Table Speed	60 rpm
Head Speed	60 rpm
Polisher Pressure	300 g/cm ² (4.2 psi)
Pad Width	16 inch
Pad	IC 1300 + Suba IV
Time	90 sec
Post-CMP Cleaning	SC-1 → DHF → Ultrasonic

표 2는 본 CMP 공정에 적용된 공정변수를 요약한 것이다[10]. 테이블과 헤드의 회전속도는 60 rpm으로 동일하게 셋팅하였고, 헤드압력은 300 g/cm²로 고정하였다. 연마시간도 모두 동일하게 90 초로 고정시키고 실험하였다.

슬러리의 희석과 연마제 첨가시 연마 입자가 용액 중에 고르게 퍼지도록 하기 위해서 SONY사의 초음파 분산기를 이용하였으며, 혼합된 슬러리의 aging 현상 및 침전을 방지하기 위해서 연마하기 전에 교반기를 이용하여서 충분히 교반시켜주었고, CMP 후의 세정공정은 NH₄OH : H₂O₂ : H₂O = 1

: 2 : 7의 비율로 섞은 SC-1 케미컬(chemical)에 2분간 세정하고 1:10의 DHF 용액에 1분간 담근 후, 4분 동안 초음파 세척하는 시퀀스를 적용하였다. CMP 후의 산화막 두께는 Nanospec/AFT 2100을 사용하여 측정하였고, 슬러리 입도 분석을 위하여 Accusizer 780 시스템을 사용하였다. 최종적으로 연마 제거율과 비균일도를 측정하여 희석된 슬러리에 알루미나 분말을 첨가한 것과 열처리한 알루미나 분말을 첨가한 슬러리의 CMP 특성을 비교하였다.

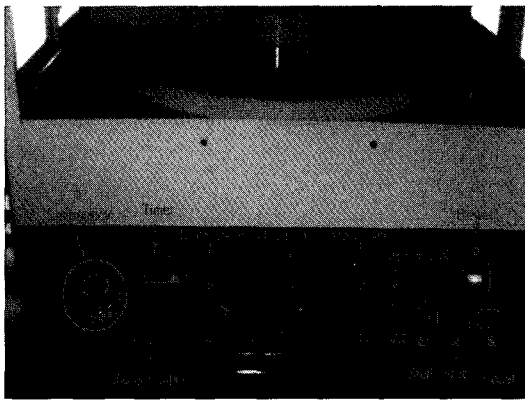


그림 1. CMP 장비의 조작 패널 사진.
Fig. 1. Photographs of CMP equipment showing a control panel.

그림 1은 본 실험에서 사용된 CMP 장비 사진을 보인 것으로 조작판넬 부분과 16인치의 연마판과 4인치의 웨이퍼를 장착시키는 헤드부분을 나타낸 것이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 알루미나 연마제의 CMP 특성

그림 2는 1:10으로 희석한 실리카 슬러리[10]에 알루미나 연마제를 0.5wt%에서 2.5wt%까지 첨가하여 CMP 공정 후의 연마율을 웨이퍼 측정위치에 따라 나타낸 것이다. 여기서 두께 측정은 그림 3과 같이 웨이퍼의 센터(포인트 1)에서 바깥쪽(포인트 9)으로 옮겨가면서 측정하였고, 측정 데이터는 각 포인트에 대해 9번씩 측정 후의 평균값을 나타낸 것이다. 1:10으로 희석한 슬러리에 알루미나 연

마제를 0.5wt% 첨가한 경우 연마율은 1400 [$\text{\AA}/\text{min}$] 정도로 가장 우수하였으며, 그 이상의 연마제를 첨가하였을 경우에는 800 [$\text{\AA}/\text{min}$] 정도로 연마율 특성이 향상되지 않고 오히려 감소함을 확인할 수가 있었다.

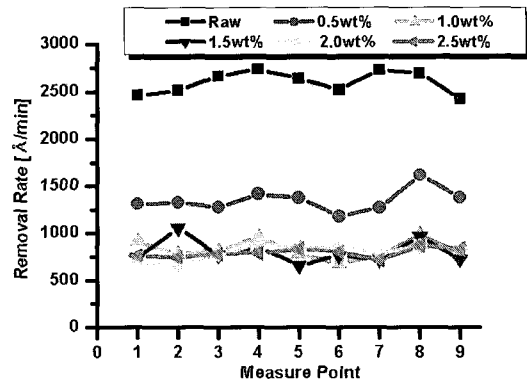


그림 2. 알루미나 연마제 첨가 함량에 따른 연마율 비교.
Fig. 2. Removal rates as a function of alumina (Al_2O_3) abrasive contents.

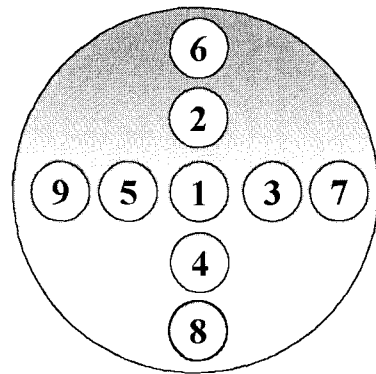


그림 3. 웨이퍼의 측정 위치.
Fig. 3. Measurement points of wafer.

그림 4는 각각의 준비된 슬러리에 따른 연마율과 비균일도를 보인 것이다. 알루미나 연마제의 함량이 증가함에 따라 연마율은 더 감소하고 비균일도도 불안정한 경향을 나타내었다. 이는 연마제를 많이 첨가한다고 해서 CMP 특성이 우수해지는 것이 아니라 어느 적정 수준까지는 증가한 후 떨어

저 불안정한 CMP 특성을 보임을 알 수 있다. 따라서 높은 연마율과 낮은 비균일도 특성의 trade-off를 만족시킬 수 있는 알루미나 첨가량은 대략 0.3wt% ~ 0.5wt%가 가장 적합할 것으로 판단되었다.

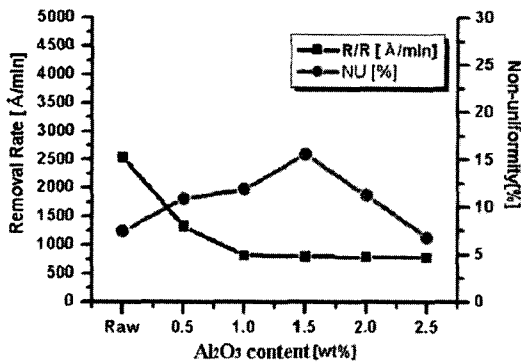


그림 4. 알루미나 연마제 함량에 따른 연마율과 비균일도 관계.

Fig. 4. Relation of removal rate and non-uniformity as a function of Al₂O₃ abrasive contents.

3.2 열처리한 알루미나 연마제의 CMP 특성

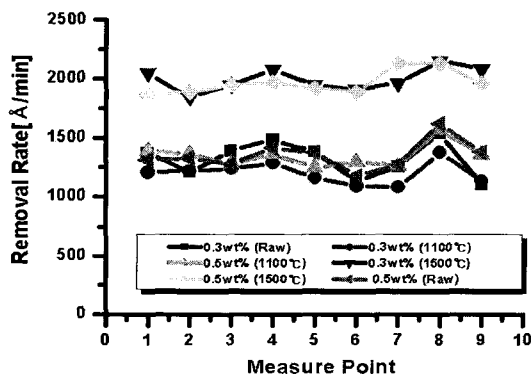


그림 5. 열처리한 알루미나 연마제의 연마율 특성.

Fig. 5. Removal rates as a function of annealed Al₂O₃ abrasive content.

그림 5는 열처리하지 않은 알루미나 분말 연마제의 불안정한 CMP 특성을 개선하기 위해서 1:10으로 희석한 슬러리에 표 1에 보인 열처리 공정

조건을 이용하여 1100°C와 1500°C로 각각 열처리한 알루미나 연마제를 각각 0.3wt와 0.5wt%를 첨가하여 CMP 공정 후의 산화막의 연마율 및 면내균일성을 웨이퍼 측정위치에 따라 나타낸 것이다. 여기서 두께 측정은 그림 3과 같이 웨이퍼의 안쪽(포인트 1)에서 바깥쪽(포인트 9)으로 옮겨가면서 측정하였고, 측정 데이터는 각 포인트에 대해 9번씩 측정 후의 평균값을 나타낸 것이다.

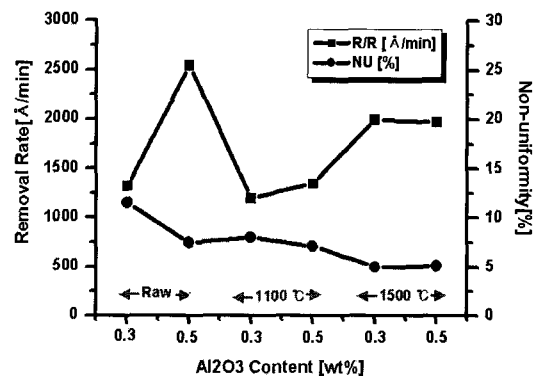


그림 6. 열처리한 알루미나 연마제의 연마율과 비균일도 특성.

Fig. 6. Relation of removal rate and non-uniformity as a function of annealed Al₂O₃ abrasive contents.

그림 6은 1100°C와 1500°C에서 열처리한 알루미나 연마제가 각각 0.3wt%와 0.5wt% 첨가된 슬러리의 경우 알루미나 함량에 따른 연마율과 비균일도를 열처리하지 않은 알루미나 연마제 슬러리와 비교한 것이다.

그림 5와 6에 보인 것처럼, 1100°C에서 열처리한 알루미나 연마제의 특성은 열처리하지 않은 연마제의 비균일도와 비교하여 볼 때 어느 정도 개선되었지만 연마율 특성에서는 비슷한 경향을 보이며 큰 변화를 보이지 않았다. 그러나 1500°C로 열처리한 연마제의 경우는 연마율면에서도 2000 [Å/min] 정도로 다른 연마제보다 600 [Å/min] 정도가 더 우수하여 슬러리 원액에 가까운 연마율을 얻을 수 있었으며, 비균일도면에서도 5%로 다른 연마제에 대해서 2 ~ 5% 정도 더 우수하게 나타냄을 알 수가 있었다. 이는 1500°C에서 열처리한 알루미나 연마제의 기계적 강도가 열처리에 의해 더 커졌기 때문으로 생각되며, 또한, 열처리 후 Mono Mill 분쇄에 의해 연마제 입자의 사이즈가

더 작아져 비균일도 특성은 더 향상되었음을 알 수 있다.

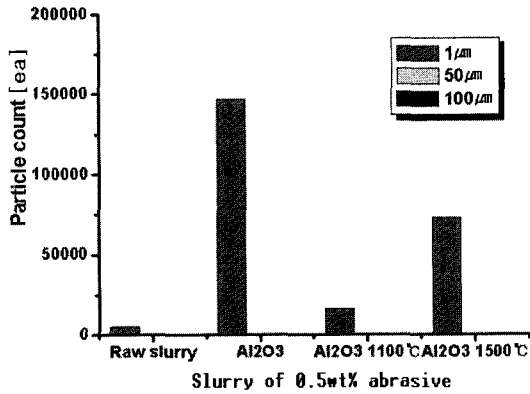
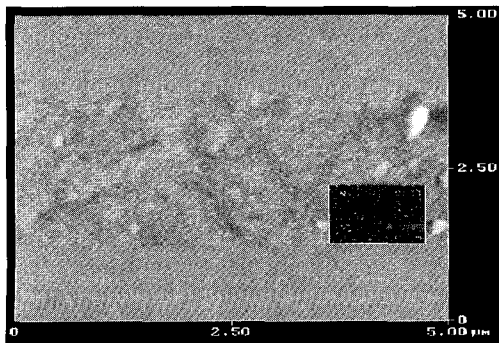


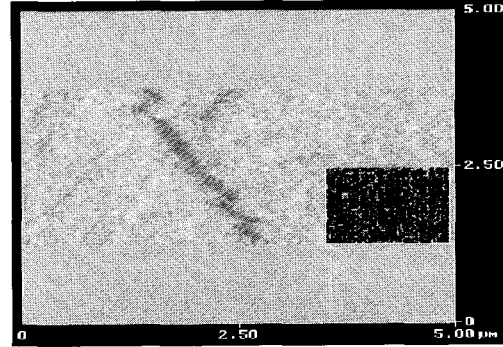
그림 7. 슬러리의 입자수.

Fig. 7. Particle counts of slurry.

그림 7은 본 실험에서 사용된 원액, 열처리되지 않은 연마제, 열처리된 알루미늄 연마제를 각각 첨가한 슬러리의 입자 수를 나타낸 그래프이다. 그래프에서 알 수 있듯이 원액의 경우 1µm의 크기의 입자가 2×10^3 개 정도로 나타났으며, 열처리하지 않은 알루미늄 슬러리에 경우에는 1.5×10^5 의 입자수를 가졌으나 1100°C와 1500°C로 열처리한 알루미늄 슬러리에서 2×10^4 개와 7×10^4 개로 열처리하지 않은 경우보다 더 우수하게 나타났으며, 스크래치와 같은 결함을 일으킬 수 있는 50µm 이상의 크기를 갖는 입자들은 모든 슬러리에서 발견되지 않았다. 즉, 알루미늄 연마제를 열처리한 후, 다시 분쇄하여 사용함으로써 연마 입자 측면에서 원액의 특성에 더 가까운 슬러리를 제조할 수 있었다.



(a) 1100 °C (0.5wt%)



(b) 1500 °C (0.5wt%)

그림 8. 1100°C와 1500°C 열처리한 연마제에 따른 AFM 이미지.

Fig. 8. AFM images as a function of 1100°C and 1500°C annealed abrasives.

그림 8은 1100°C와 1500°C로 열처리된 알루미늄 연마제가 0.5wt% 첨가된 슬러리를 사용하여 CMP한 후의 AFM 표면 이미지를 나타낸 것이다. 두 경우 모두 비교적 우수한 표면 특성을 나타내었으며, 표면 거칠기는 평균 10nm 이하로 우수하게 제어되었다.

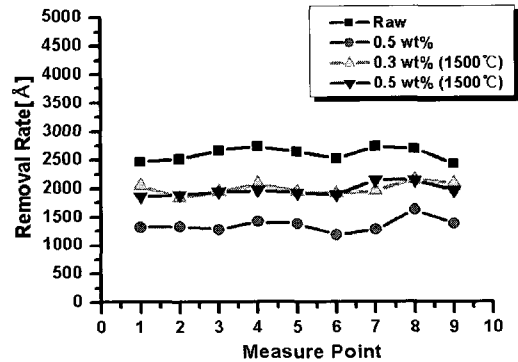


그림 9. 각종 슬러리 연마제의 연마율 특성.

Fig. 9. Removal rate as a function of different slurry abrasives.

그림 9는 이해를 돕기 위해 이상에서 보인 각종 연마제의 CMP 특성 중 우수한 특성을 보인 연마제의 연마율만을 비교한 그래프이다. 그림 9에서와 같이 원액의 경우 2500Å의 연마율 특성을 보인 반면 1:10으로 희석한 후 1500°C에서 열처리한 알루미늄 연마제를 사용한 슬러리는 2000Å으로

다소 낮은 연마율 특성을 보이지만 1:10으로 희석한 슬러리라는 점을 감안할 때 열처리한 알루미늄을 연마제를 첨가한 슬러리의 경우 연마율 특성이 거의 원액에 가깝도록 우수하다고 볼 수 있다. 이는 연마율을 개선시킴과 동시에 고가의 슬러리를 상당히 절약 할 수 있음을 의미하는 것이다. 하지만 여전히 마이크로 스크래치와 같은 결함들이 다수 발생하였는데, 이는 열처리 후, 알루미늄 연마제를 분쇄하는 과정에서 2차 불순물이 첨가되었거나, 1 μ m 이상의 비교적 큰 입경을 갖는 연마제의 영향으로 생각된다. 앞으로 열처리 조건 및 나노분쇄 조건을 확립한다면 해결 될 수 있을 것으로 생각된다.

4. 결 론

희석된 실리카 슬러리에 알루미늄 연마제를 첨가한 경우 CMP 연마 특성에 미치는 영향에 대해 고찰하여 얻은 결과는 다음과 같다.

첫째, 1:10으로 희석한 슬러리에 열처리를 하지 않은 알루미늄 연마제를 첨가하였을 경우 불안정한 CMP 특성을 보였다. 둘째, 1:10으로 희석한 슬러리에 열처리한 알루미늄 연마제를 첨가하였을 경우 연마율과 비균일도가 향상됨을 보였다.

이상의 결과를 종합하여 보면, 1:10으로 희석한 슬러리에 열처리한 알루미늄 연마제를 사용할 경우 산화막에 대한 연마율과 비균일도 측면에서 거의 원액에 가까운 우수한 특성을 보이고 있음을 알 수가 있었다. 따라서 CMP 공정 중 가장 많은 비용을 부담하고 있는 슬러리를 절약할 수 있어 공정 단가를 줄일 수 있을 것으로 기대된다. 앞으로 연마 선택비와 비균일도의 특성이 우수한 슬러리에 대한 지속적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

감사의 글

이 논문은 2002년도 학술진흥재단의 중점 연구소 지원에 의해서 연구되었음 (KRF-2002-005-D00011).

참고 문헌

[1] 김상용, 이우선, 서용진, 김창일, 장의구, 박진성, "달 이온수 압력과 정제된 N₂ 가스가 ILD-CMP 공정에 미치는 영향", 전기전자재

료학회논문지, 13권, 10호, p. 812, 2000.

- [2] S. W. Park, S. Y. Kim, and Y. J. Seo, "Reduction of micro-defects in the inter-metal dielectric (IMD) chemical mechanical polishing (CMP) for ULSI applications", Proc. ISEIM-2001, Japan, p. 63, 2001.
- [3] Y. J. Seo, S. Y. Kim, and W. S. Lee, "Optimization of pre-metal dielectric (PMD) materials", J. Materials Science : Materials in Electronics, Vol. 12, No. 9, p. 551, 2001.
- [4] 김상용, 서용진, 김태형, 이우선, 김창일, 장의구, "Chemical Mechanical Polishing(CMP) 공정을 이용한 Multilevel Metal 구조의 광역 평탄화에 관한 연구", 전기전자재료학회 논문지, 11권, 12호, p. 1084, 1998.
- [5] S. Y. Jeong, S. Y. Kim, and Y. J. Seo, "A study on the reproducibility of HSS STI-CMP process for ULSI applications", Proc. IUMRS-ICEM, p. 509, 2002.
- [6] A. Jinda, S. Hegde, and S. V. Babu, "Chemical mechanical polishing using mixed abrasive slurry", Electrochemical and Solid-State Letters, Vol. 5, No. 4, p. G48, 2002.
- [7] 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
- [8] 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, p. 2333, 1999
- [9] S. Y. Kim, Y. J. Seo, W. S. Lee, and E. G. Chang, "Study of micro-defect on oxide CMP in VLSI circuits", Electrochem. Soc. Proc., Vol. 99, p. 275, 1999.
- [10] 박창준, 김상용, 서용진, "실리카 슬러리의 희석과 연마제의 첨가가 CMP 특성에 미치는 영향" 전기전자재료학회 논문지, 15권, 10호, p. 851, 2002.