

CMP 패드 컨디셔닝 온도에 따른 산화막의 연마특성

CMP Properties of Oxide Film with Various Pad Conditioning Temperatures

최권우¹, 김남훈², 서용진³, 이우선^{1,a}
(Gwon-Woo Choi¹, Nam-Hoon Kim², Yong-Jin Seo³, and Woo-Sun Lee^{1,a})

Abstract

Chemical mechanical polishing(CMP) performances can be optimized by several process parameters such as equipment and consumables (pad, backing film and slurry). Pad properties are important in determining removal rate and planarization ability of a CMP process. It is investigated the performance of oxide CMP process using commercial silica slurry after the pad conditioning temperature was varied. Conditioning process with the high temperature made the slurry be unrestricted to flow and be hold, which made the removal rate of oxide film increase. The pad became softer and flexible as the conditioning temperature increases. Then the softer pad provided the better surface planarity of oxide film without defect.

Key Words : CMP(chemical mechanical polishing), Oxide film, Pad conditioning, Conditioning temperature

1. 서론

CMP(chemical mechanical polishing) 공정은 플레이트(platen)에 부착된 고분자 물질 계열의 패드(pad) 위에 슬러리(slurry)를 공급하고, 웨이퍼 캐리어에 하중을 가하며 표면을 연마하는 방법으로 가공물을 탄성패드에 누르면서 상대 운동시켜 가공물과 친화력이 우수한 부식액으로 화학적 제거를함과 동시에 초미립자로 기계적 제거를 한다[1-5]. 웨이퍼 표면에 작용하는 높은 압력과 균일한 상대 속도에 의해 패드와의 접촉면에서는 순간적으로 고온, 고압의 분위기가 형성되고, 이로 인해 연마슬러리액에 의한 화학적, 기계적 제거 가공은 상승효과가 유발되어 웨이퍼 전면에서 평탄화 가공을 한다. 이 중에서 기계적인 요소에 해당하는

연마패드는 외부적인 변수에 매우 큰 영향을 받으며 내부적인 공정 변수와도 반응한다. 즉, 연마 패드의 구조 및 재질은 CMP 공정의 평탄화 및 연마 제거율에 중요한 역할을 한다[6]. 소프트(soft) 패드는 연마 균일도가 좋은 반면에 연마 제거율이 떨어지고, 하드(hard) 패드는 높은 연마 제거율을 얻을 수 있지만 연마 균일도가 나쁘기 때문에 서로의 단점을 보완하기 위해 두 종류를 겸친 이중 패드를 일반적으로 많이 사용하고 있다[7]. 상부 패드는 연마되어질 웨이퍼 표면과 직접 반응하는 패드의 일부분이다. 따라서 패드 표면과 groove 깊이는 슬러리와 반응 생성물 이동과 표면에서 국부적인 압력의 차이에 영향을 미친다. 앞서 설명한대로 패드 표면은 마이크로 기공의 형태로 되어있기 때문에 이 기공들은 슬러리의 부산물 이동에 결정적인 역할을 하는데 기공의 크기가 클수록 이동의 효과도 크다. 한편, 패드 컨디셔닝(pad conditioning) 기술은 일반적으로 CMP 공정 전후에 패드 표면의 다공성과 거칠기를 유지하도록 하기 위하여 상온의 DIW(de-ionized water)를 흘려주면서 미세한 다이아몬드 입자가 묻어 있는 컨디셔너(conditioner)를 사용하여 패드 위에서 직접 수행되

1. 조선대학교 전기공학과
(광주시 동구 서석동 375)
2. 조선대학교 에너지자원신기술연구소
3. 대불대학교 전기공학과
a. Corresponding Author : wslee@chosun.ac.kr
접수일자 : 2005. 1. 3
1차 심사 : 2005. 3. 4
심사완료 : 2005. 3. 8

며, 패드 컨디셔닝 기술에 의해 연마 패드가 리프레쉬(refresh)된 후에 연마율을 다시 회복시킬 수 중요한 공정이다[8]. 따라서 본 연구에서는 고온의 DIW를 이용한 효율적인 패드 컨디셔닝 기술을 제안하기 위해 패드 컨디셔닝 온도에 따른 이중 연마 패드의 물성을 분석하였다. 본 연구에서는 진기로부터 성장시킨 열산화막을 실리카 슬러리를 사용하여 패드 컨디셔닝 시에 DIW의 온도를 증가시켜 각각의 온도에서 따로 컨디셔닝한 후, 패드의 기공 및 groove의 특성 변화가 산화막의 연마율 및 표면 특성에 미치는 영향을 분석하였다. 또한, 패드의 온도 변화에 따른 탄성계수를 측정하여 연마율과의 상관관계를 고찰하였다.

2. 실험

본 실험에서 CMP 공정에 사용되어진 연마패드는 그림 1과 같이 RODEL사의 IC1400™ 연마패드 위에서 수행하였다. 컨디셔닝을 수행할 때 컨디셔너와 함께 주입되어지는 DIW의 온도를 자동 온도조절기에서 각각 20 °C, 35 °C, 50 °C, 65 °C, 80 °C의 온도로 증가시켜서, 각 온도에서 컨디셔닝을 하였을 때 패드 위에 잔류하는 슬러리 흡착 정도와 그 때의 산화막 연마율을 측정하였다. 산화막은 3~6 Ωcm의 저항을 갖는 n-type (111) 방향의 4인치 실리콘 웨이퍼를 열산화 시켰으며, 산화막의 두께는 Ellipsometer(J. A woollam, M-2000V)를 이용하여 측정하였다. CMP 전 열성장한 산화막의 두께는 약 9800 Å이었다. 각각의 온도에서 컨디셔닝을 수행한 이후의 패드의 표면을 분석하고자 SEM(Hitachi, S-4700)을 이용하여 패드의 표면 형상을 관찰하였다. 또한 각 온도증가에 따른 패드의 점탄성 특성을 측정하기 위하여 ARES(Rheometric Scientific)를 사용하여 20 °C에서 90 °C까지 온도의 변화를 주며 측정을 하였으며 주파수는 1 Hz로 고정을 하여 진행하였다. 본 연구에서는 LOGITECH 사의 PM-5 연마 장비를 이용하여 CMP 공정을 수행하였다[9]. 웨이퍼 세정은 NH₄OH : H₂O₂ : H₂O를 1 : 2 : 7의 비율로 제조된 SC-1 케미칼에서 2분, 1 : 10의 DHF 용액에서 1분, 이후 초음파 세척기를 이용하여 5분 동안 클리닝하는 시퀀스를 사용하였다[9,10]. 표 1에 CMP 공정의 전반적인 공정 변수를 나타내었다[11].

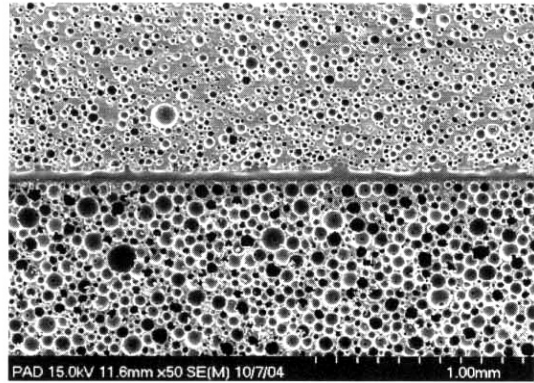


그림 1. 미사용 연마 패드 단면의 SEM 사진.

Fig. 1. Cross-sectional SEM image of new polishing pad.

표 1. CMP 공정조건.

Table 1. Process conditions of CMP.

| CMP parameter | CMP condition |
|------------------|-------------------------|
| wafer(4 inch) | blanket wafer |
| pad | IC1400™ |
| slurry | KOH based silica slurry |
| slurry flow rate | 90 ml/min |
| head speed | 50 rpm |
| table speed | 50 rpm |
| polishing time | 60 sec |

3. 결과 및 고찰

그림 2(a)는 CMP 공정 전의 미사용 패드의 표면 형상으로서 다공성이 뚜렷하게 보인다. 그림 2(b)는 컨디셔닝을 하지 않았을 때의 표면으로서 표면의 기공들이 슬러리로 완전히 메워져 패드 표면을 덮어버린 형상을 보이고 있다. 그림 2(c)는 과도한 컨디셔닝으로 인해 glazing 현상이 일어나 표면의 기공이 구분이 모호해지고 표면의 거칠기가 무더짐을 볼 수 있다. 패드의 표면 거칠기와 다공성은 패드 표면의 슬러리 흐름, 웨이퍼 표면의 패드 접촉면, 표면으로부터 물질의 흐름을 결정하는데 이러한 glazing 현상은 패드의 수명 유지에 악영향을 끼침과 동시에 연마율을 감소시킨다[12]. 그림 2의 (d), (e), (f)는 실리카 슬러리를 사용하여 CMP공정 후 각각 20 °C, 50 °C, 80 °C의 온도로 컨디셔닝을 했을 때 패드의 SEM 사진이다. 20 °C

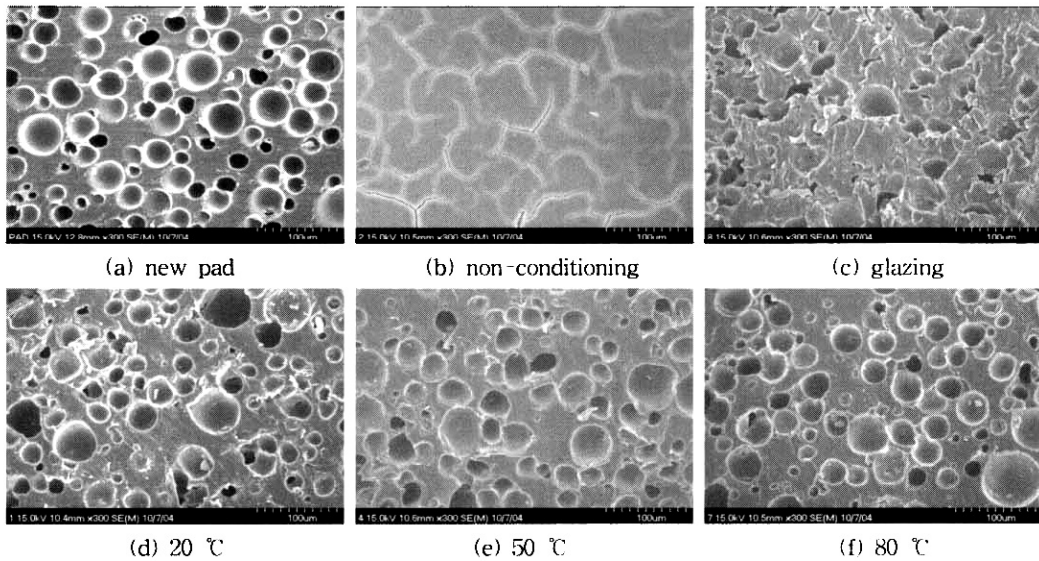


그림 2. 컨디셔닝 온도에 따른 패드 표면 SEM 사진.

Fig. 2. SEM micrographs of pad surface with various conditioning situations.

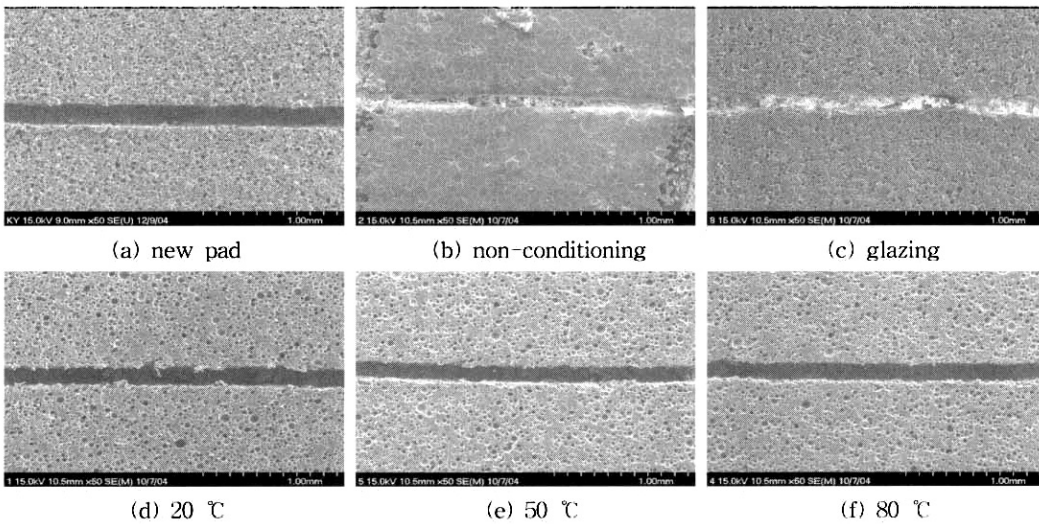


그림 3. 컨디셔닝 온도에 따른 패드 groove SEM 사진.

Fig. 3. SEM micrographs of pad groove with various conditioning situations.

의 온도에서 컨디셔닝을 하였을 경우는 기공에 슬러리의 잔류물이 남아있음을 확인할 수 있다. 잔류물이 남아있는 경우 박막과 패드와의 접촉 면적이 적어짐에 따라 연마특성에 좋지 않은 영향을 준다. 50 °C의 온도로 컨디셔닝을 하였을 경우의 패드표

면은 20 °C의 경우에 비해서 잔류물이 확연히 감소되어지며 기공의 모양이 새 패드와 비슷한 원형의 모양으로 유지됨을 알 수 있다. 컨디셔닝 온도가 80 °C일 경우는 슬러리 잔류물이 대부분 제거되었으며 기공의 모양이 새 패드와 비교하여 완벽

한 원형의 모양을 유지하여 슬러리의 흐름에 영향을 주는 표면의 다공성이 확연히 드러남을 알 수 있다. 기공의 크기가 클수록 슬러리의 유입과 이동이 자유로워 연마율이 증가됨을 감안 할 때에 컨디셔닝 온도가 증가할수록 슬러리 잔류물의 제거를 향상시켜서 기공 크기가 커지며 다공성이 유지되는 이유로 연마율이 증가되는 것으로 판단된다 [13,14].

그림 3은 컨디셔닝 온도에 따른 패드 groove의 SEM 분석 결과이다. 그림 3(a)는 CMP 공정 전 비사용 패드의 groove 형상으로서 홈의 경계가 뚜렷하고 이물질의 흡착이 없이 깨끗한 형태를 보인다. 그림 3(b)의 경우는 CMP 공정 후 컨디셔닝을 하지 않았을 경우의 분석결과로서 groove와 기공이 슬러리에 의해 완전히 매워짐과 동시에 슬러리의 유입이 되어지지 않아 CMP 공정에 있어 화학적 작용이 배제되어버린 결과를 가져오게 된다. 그림 3(c)의 경우는 glazing 현상으로 인해 groove에 슬러리가 매워짐과 동시에 패드 표면 또한 마모되어 매끄러워짐을 확인 할 수 있었으며 패드 표면의 기공의 형태는 패드의 마모로 인해 변형이 일어났음을 알 수 있었다. 이와 glazing 현상이 일어난 패드는 조속한 패드의 교환이 이루어져야 한다 [15]. 그림 3(d)의 경우는 컨디셔닝의 온도가 20 ℃인 경우로서 groove의 상하의 경계부분에 완벽하게 제거되지 않은 실리카 슬러리의 잔류물이 후속 CMP공정에 있어 슬러리의 표면상의 흐름에 악영향을 주어 연마율을 저하시키는 요인으로 작용된다. 그림 3(e)의 경우는 50 ℃의 온도로 컨디셔닝을 하였을 때의 분석결과로서 20 ℃의 경우에 비해서 상하 경계 부분에 슬러리의 흡착이 현저히 감소함을 보인다. 그림 3(f)는 80 ℃로 컨디셔닝을 하였을 경우의 SEM 분석결과로서 높은 온도에 의해 groove의 양쪽 벽면까지의 슬러리 잔류물이 제거되어짐에 따라 groove가 더욱 넓어짐을 확인할 수 있으며, 넓어진 groove의 홈을 따라 슬러리의 유입이 증가하여 높은 연마율을 얻는 결과를 얻은 것으로 생각된다.

패드의 경도는 스크래치, 결함 및 평탄도와 관련이 있다고 알려져 있는데, 비교적 경도가 큰 패드의 경우에는 우수한 평탄도 특성을 제공하는데 비하여 경도가 낮은 패드의 경우에는 결함이 없는 우수한 표면 특성을 제공한다 [16]. 하지만, 패드의 경도를 측정하기는 어렵다고 알려져 있어서, 패드의 탄성 거동을 통해서 필요한 정보를 얻고 있다 [17]. 한편 tangent δ 는 물질의 점탄성도를 나타내는 유용한 방법으로서 물질의 점성도를 탄성도로

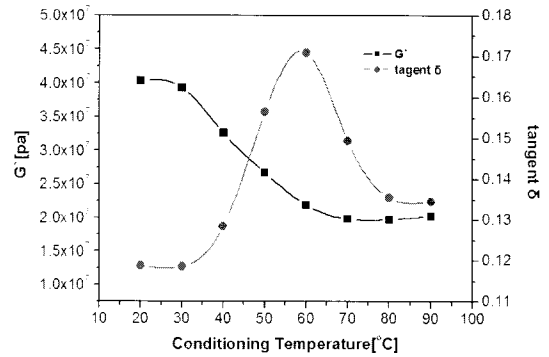


그림 4. 컨디셔닝 온도에 따른 패드의 탄성계수와 tangent δ .

Fig. 4. Elastic coefficient and tangent δ of pad with conditioning temperatures.

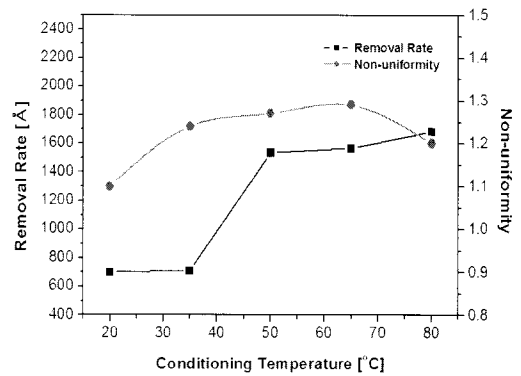
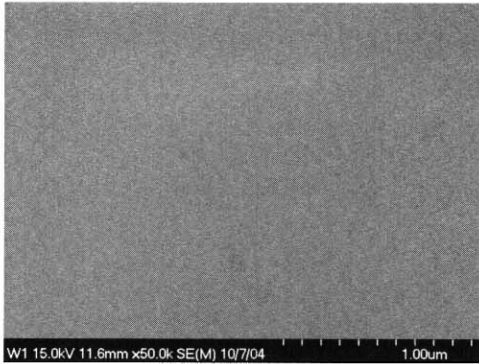


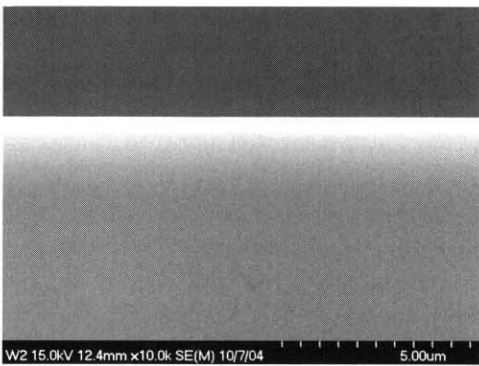
그림 5. 컨디셔닝 온도에 따른 산화막의 연마율과 비균일도.

Fig. 5. Removal rate and nonuniformity of oxide film with conditioning temperatures.

나를 값이다 [18]. 즉, tangent δ 가 1로 접근할 경우에는 점성도가 우세한 물질이고, 반대로 0으로 접근할 경우에는 탄성도가 우세한 물질을 의미한다. 그림 4는 패드의 온도를 20 ℃에서 90 ℃까지 증가시켰을 때의 탄성계수와 tangent δ 를 나타낸다. 온도가 증가함에 따라 탄성계수는 감소하는 경향을 보이는데 탄성계수와 변형율이 반비례함을 감안한다면 온도가 증가함에 따라 패드의 변형이 증가하는 메카니즘으로 생각 할 수 있다. 이러한 메카니즘은 높은 온도에서 컨디셔닝을 할 때, 고온에 의해 다소 유동화된 패드가 컨디셔너와 접촉성



(a)



(b)

그림 6. 80 °C 컨디셔닝 후 CMP 공정 실시한 산화막의 표면 및 단면 SEM 사진.

Fig. 6. Surface and cross-sectional SEM images of oxide film polished after conditioning at 80 °C.

이 증가되어 패드의 기공 및 groove의 슬러리 잔류물의 제거에 기여하여 이후 CMP 공정 시에 산화막의 연마율도 증가시킬 것으로 생각된다. 한편 패드의 tangent δ 는 60 °C에서 최고값을 갖는데, 컨디셔닝 시에 높은 온도의 DIW를 사용하면 잔열이 CMP 공정 중에 패드 특성에 영향을 미치고 결과적으로 CMP 특성에도 영향을 미친다. 따라서, 경도가 다소 낮아진 패드에 의해서 연마된 산화막 표면은 결함없는 우수한 표면 특성을 얻을 것으로 예상된다.

그림 5는 컨디셔닝 온도에 따른 산화막의 연마율과 비균일도 특성을 나타낸 그림이다. DIW 온도를 조절하면서 컨디셔닝을 수행한 직후에 CMP 공정을 실시하였을 시에 CMP 공정 온도가 컨디셔닝

온도에 영향을 받음을 확인 할 수 있었다. 즉, 컨디셔닝 온도가 20 °C, 50 °C, 80 °C였을 때의 CMP 공정중에 실시간 모니터링한 공정 온도는 각각 22 °C, 37 °C, 47 °C를 나타냈다. 결과적으로 컨디셔닝 온도가 20 °C일 때 연마율은 700 Å, 35 °C일 때는 710 Å, 50 °C일 때는 1535 Å, 65 °C일 때는 1765 Å, 80 °C일 때 경우는 1685 Å을 얻을 수 있었다. 이는 저온에서보다 고온에서의 컨디셔닝을 하였을 때 패드 표면이 양호한 다공성의 기공을 확보할 수 있었고, groove에서 슬러리의 잔류물도 제거할 수 있어서 CMP 공정 시에 슬러리의 흐름이 원활해짐에 따라 연마율이 증가한 것으로 판단된다. 비균일도 측면에서는 모든 온도에서 1.3이하로 균일한 연마가 이루어졌음을 알 수 있었다[7,14].

한편 그림 6은 80 °C로 컨디셔닝 후 CMP 공정을 실시한 산화막의 표면 및 단면 SEM 사진을 보인 것으로, 대단히 양호한 연마 특성을 얻을 수 있었다. 즉, 80 °C로 컨디셔닝한 직후 CMP 공정을 진행할 때에 47 °C의 공정 온도를 유지하여 그림 4에서와 같이 높은 tangent δ 값을 확보할 수 있음에 기인하는 것이다. 즉, 고온에서의 컨디셔닝으로 패드의 점성도가 다소 상승하는 영향으로 스크래치 등의 결함이 없으면서 전반적으로 경도가 큰 IC1000 계열의 상부 패드 특성에 따라서 우수한 평탄도 특성도 확보할 수 있었다.

4. 결 론

본 논문에서는 패드 컨디셔닝 시의 온도 조절을 통하여 패드의 표면 형상 및 물성 변화가 산화막 CMP에 미치는 영향에 대해서 연구하였다. 컨디셔닝 시의 온도가 40 °C 이후에서는 온도가 증가함에 따라 산화막의 연마율은 큰 폭으로 증가하였으며 패드 표면과 패드의 groove도 컨디셔닝 온도가 증가함에 따라 우수한 다공성의 표면 특성 및 슬러리 잔류물이 없는 깨끗한 groove 특성을 갖는 것으로 확인되었다. 이렇듯 패드 컨디셔닝 온도에 따라서 개선된 다공성 표면 및 groove 특성은 슬러리의 흐름을 개선하여 산화막의 연마율을 증가시킨다. 또한, 패드의 온도가 증가함에 따라 탄성 계수가 감소하여 변형율이 50 °C~60 °C의 경우에 현저하게 상승함을 알 수 있었는데, 이는 고온의 패드 컨디셔닝이 패드를 다소 유동화시켜 컨디셔너와 패드의 접촉 시에 기공 및 groove의 잔류물 제거에 기여를 하여 연마율의 증가에도 영향을 준 것으로 보인다. 한편, 80 °C로 컨디셔닝한 직후 CMP 공정을 진행할 시에 잔열에 의해 CMP

광정 온도는 패드의 tangent δ 가 가장 높은 50 °C ~ 60 °C에 근접한 47 °C를 유지한다. 따라서, 패드의 점성도가 다소 상승하는 영향으로 스크래치 등의 결함이 없고 우수한 평탄도 특성을 확보할 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 2004년도 학술진흥재단의 중점 연구소 지원에 의해서 연구되었음(KRF-2004-005-D00007).

참고 문헌

- [1] S. P. Murarka, "Metallization Theory and Practice for VLSI and ULSI", Butterworth Heinemann, p. 100, 1993.
- [2] 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, p. 63, 2001.
- [3] Y.-J. Seo and S.-Y. Kim, "Effects of various facility factors on chemical mechanical polishing process defects", Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 41, No. 11A, p. 6310, 2002.
- [4] Y. J. Seo, W.-S. Lee, S.-Y. Kim, J.-S. Park, and E. G. Chang, "Optimization of post CMP cleaning process for elimination of CMP slurry induced metallic contaminations", Journal of Materials Science : Materials in Electronics, Vol. 12, No. 7, p. 411, 2001.
- [5] 김상용, 서용진, 김태형, 이우선, 김창일, 장의구, "Chemical mechanical polishing(CMP) 공정을 이용한 multilevel metal 구조의 광역평탄화에 관한 연구", 전기전자재료학회논문지, 11권, 12호, p. 1084, 1998.
- [6] 김상용, 김남훈, 김인표, 장의구, "금속 CMP 공정시 경질 나공성 패드의 적용", 전기전자재료학회논문지, 16권, 5호, p. 385, 2003.
- [7] W. Li, D. W. Shin, M. Tomojawa, and S. P. Murarka, "The effect of the polishing pad treatments on the chemical mechanical polishing of SiO₂ films", Thin Solid Film, Vol. 270, p. 601, 1995.
- [8] John McGrath and Chris Davis, "Polishing pad surface characterisation in chemical mechanical planarisation", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 153-154, p. 666, 2004.
- [9] 이우선, 최권우, 김남훈, 박진성, 서용진, "가스센서 적용을 위한 SnO₂ 박막의 CMP 특성 연구", 한국진기전자재료학회논문지, 17권, 12호, p. 1296, 2004.
- [10] 이우선, 고필주, 김남훈, 서용진, "산화제 첨가에 따른 WO₃ 박막의 CMP 평탄화 특성", 전기전자재료학회 논문지, 18권, 1호, p. 12, 2005.
- [11] 이경진, 김상용, 서용진, "반경험적인 실험설계 기법을 이용한 CMP 공정 변수의 최적화", 전기전자재료학회논문지, 15권, 11호, p. 939, 2002.
- [12] J. M. Steigerwald, S. P. Murarka, and R. J. Gutmann, "Chemical Mechanical Planarization of Microelectronic Materials", John Wiley & Sons, p. 87, 1997.
- [13] H. Lu, B. Fookes, Y. Obeng, S. Machinski, and K. A. Richardson, "Quantitative analysis of physical and chemical changes in CMP polyurethane pad surfaces", Materials Characterization, Vol. 49, Iss. 1, p. 35, 2002.
- [14] H. Lu, Y. Obeng, and K. A. Richardson, "Applicability of dynamic mechanical analysis for CMP polyurethane pad studies", Materials Characterization, Vol. 49, Iss. 2, p. 177, 2002.
- [15] Farid Malik and Masood Hasan, "Manufacturability of the CMP process", Thin Solid Film, Vol. 270, p. 612, 1995.
- [16] M. R. Oliver, "Chemical-mechanical Planarization of Semiconductor Materials", Springer-verlag, p. 197, 2004.
- [17] J. M. Steigerwald, S. P. Murarka, and R. J. Gutmann, "Chemical Mechanical Planarization of Microelectronic Materials", John Wiley & Sons, p. 45, 1997.
- [18] G. S. Grover, H. Liang, S. Ganeshkumar, and W. Fortino, "Effect of slurry viscosity modification on oxide and tungsten CMP", Wear, Vol. 214, Iss. 1, p. 10, 1998.