

구리 CMP 후 연마입자 제거에 버프 세정의 효과

김영민[†] · 조한철* · 정해도**

Effect of buffing on particle removal in post-Cu CMP cleaning

Young-min Kim, Han-chul Cho and Haedo Jeong

Key Words : Post Cu CMP cleaning(구리의 화학 기계적 연마 후 세정), buffing(버프 가공), colloidal silica abrasive(콜로이달 실리카 연마입자)

Abstract

Cleaning is required following CMP (chemical mechanical planarization) to remove particles. The minimization of particle residue is required with each successive technology generation, and the cleaning of wafers becomes more complicated. In copper damascene process for interconnection structure, it utilizes 2-step CMP consists of Cu CMP and barrier CMP. Such a 2-steps CMP process leaves a lot of abrasive particles on the wafer surface, cleaning is required to remove abrasive particles. In this study, the buffing is performed various conditions as a cleaning process. The buffing process combined mechanical cleaning by friction between a wafer and a buffing pad and chemical cleaning by buffing solution consists of tetramethyl ammonium hydroxide (TMAH) / benzotriazole (BTA).

1. 서론

구리(Cu)는 낮은 시간 지연성 및 전기적 특성이 우수하여, 반도체 소자의 배선 재료로 널리 이용되고 있다[1]. 이러한 구리 배선은 전기도금과 이중 다마신(dual damascene) 공정으로 진행되고, 구리배선의 평탄화를 위해 2 단계 화학 기계적 평탄화(2-step chemical mechanical planarization : CMP)가 사용되고 있다. 전기도금된 구리를 높은 연마율로 제거하는 구리평탄화와 탄탈륨(Ta) / 탄탈나이트라이드(TaN) / 티탄늄(Ti) 등으로 이루어진 경계층(barrier layer)을 제거하는 경계층 평탄화로 구성된다. 2 단계 CMP 공정 후에는 화학적 또는 물리적 상호작용에 의해 웨이퍼(wafer) 표면에 오염물이 부착될 수 있다[2]. CMP 공정 중에 공급되는 슬러리에는 부식액, pH 적정제, 연마입자 등이 첨가되

며 이 중 연마입자는 CMP 공정 후 입자오염을 유발할 수 있다. 그러므로, CMP 공정에서 발생되어지는 오염으로 인하여 세정 공정은 CMP 공정 후 반드시 필요하게 된다. 따라서 본 연구에서는 CMP 공정 후 웨이퍼 표면에 잔류하는 연마입자를 효과적으로 제거하기 위해 화학적인 입자제거 메커니즘을 바탕으로 버핑 압력/회전속도에 따른 세정효과를 살펴보고자 한다.

2. 실험

2.1 연마 입자 제거 메커니즘

경계층을 제거하기 위한 CMP 는 알카리 슬러리를 사용하여 행하여지며 높은 pH에 의한 제타 전위 차이로 콜로이달 실리카 입자들은 구리 표면에 흡착되어진다. 이러한 연마입자 흡착현상은 알카리 슬러리에 의한 구리막 부식과 산화 구리막의 형성에 관련이 있으며, 이는 슬러리속의 과산화수소가 구리막 표면층에 산화구리막 또는 수산화 구리막을 형성시키기 때문이다. 이러한 보호막(passivation layer)들은 콜로이달 실리카 입자와 산소결합(oxygen bonding)을 이루어 연마입자를

† 부산대학교 대학원 기계공학부

* 부산대학교 대학원 기계공학부

** 부산대학교 기계공학부

E-mail : hdjeong@pusan.ac.kr

TEL : (051)510-3210 FAX : (051)510-8442

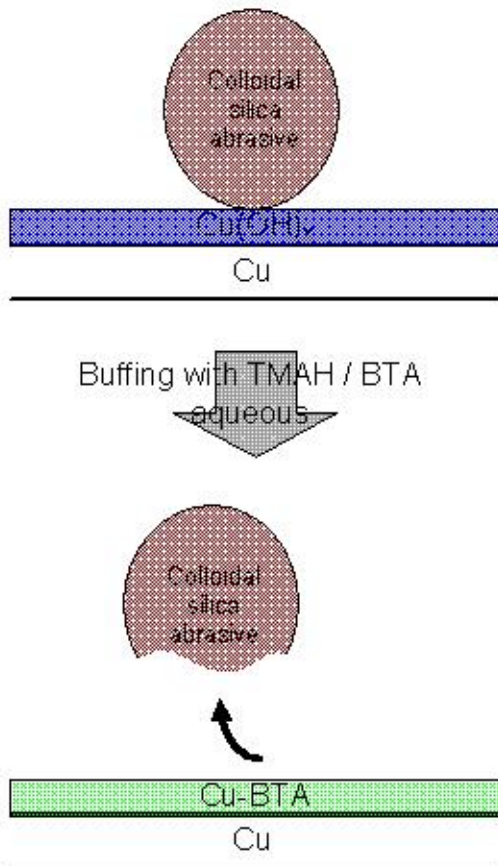


Fig. 1 Schematic of abrasive removal by buffing with TMAH / BTA

흡착하려는 경향이 있다[3]. 본 연구에서는 TMAH(tetramethyl ammonium hydroxide)와 BTA(Benzotriazole)로 이루어진 버핑액이 사용된다. TMAH는 구리 표면의 입자를 느린 속도로 식각시킬 수 있을 정도의 높은 pH를 가지며, 식각을 통해, 구리 표면과 접한 부분이 용해되어, 표면으로부터 떨어져나가게 된다. 그리고 TMAH로 이루어진 버핑액은 산화층과 금속층에 대하여 분당 150 Å 이하의 식각을 보인다[4]. BTA는 잘 알려진 Cu CMP의 부식 방지제이며 구리 이온과 결합하여 Cu-BTA 보호층을 형성하여 산화구리막 생성을 방지한다. 그러나 Cu-BTA 층은 소수성의 특성에 의하여 콜로이드 실리카 입자의 재흡착을 촉진한다[5].

2.2 실험장치

본 실험은 2.0x2.0cm 크기의 구리막 및 산화막 (TEOS) 조각 웨이퍼와 패턴이 형성된 구리막 웨이퍼가 사용되었으며, CMP 공정은 지앤피 테크놀로지(주)사의 POLI400 연마기를 이용하여 IC1400 상용 패드(Rohm & Hass)와 테크노세미캠(주)사의 상용 슬러리(TST-D2)로 연마하였고, 버핑공정은 같은 지앤피테크놀로지(주)사의 POLI250 연마기상

에서 연속발포형 최종연마용 패드(Nitta Hass)를

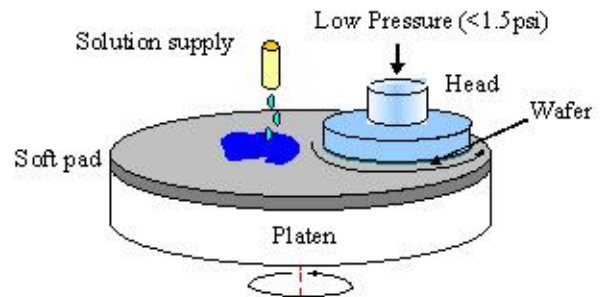


Fig. 2 Schematic illustration of buffing process

사용하였다. 연마후 슬러리의 건조, 흡착을 방지하기 위해 즉시 버핑 공정을 실시하였다. 그림.1은 버핑공정을 나타낸 것이다 구리막과 산화막이 연마입자간의 상호 표면전위를 측정하기 위해서 zeta potential analyzer(ELS-8000, Otsuka Electronics, Co.)가 사용되었으며, 표면거칠기는 Atomic Force Microscopy(AFM)을 통해 측정하였다. 또한, 구리 함몰(dishing)량을 측정하기 위해 ALPHA STEP을 이용하였다.

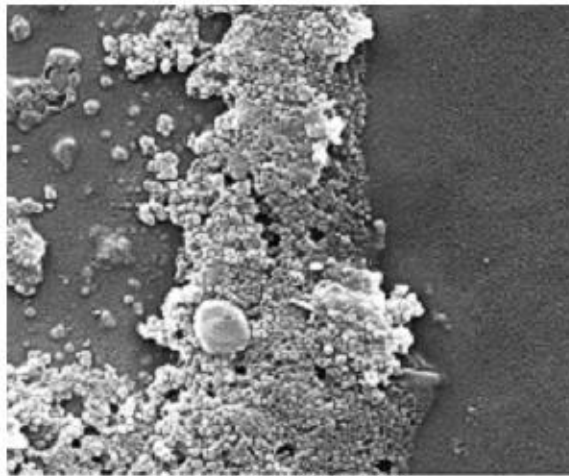
3. 실험결과

3.1 연마입자 흡착

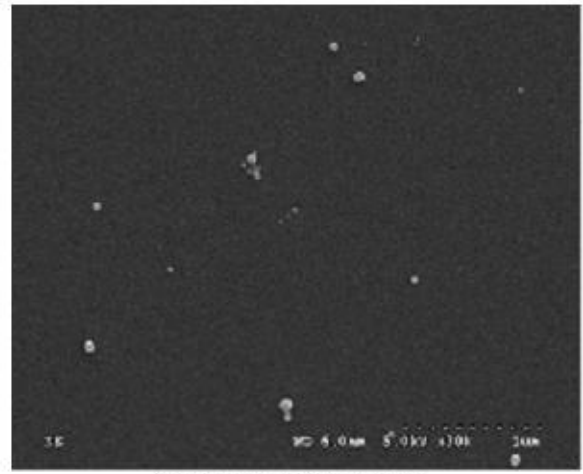
콜로이드 실리카 연마입자의 표면흡착현상을 알아보기 위해서 구리막과 산화막을 갖는 조각 웨이퍼를 슬러리에 1분간 담근(dipping) 후, FE-SEM을 통해 표면을 측정하였다. Fig.3은 각각 구리막과 산화막의 dipping 후 표면의 FE-SEM 이미지로서 산화막의 표면엔 연마입자가 거의 잔류하지 않은 것에 비해 Cu 표면에는 수많은 연마입자가 잔류하는 대조적인 모습을 보이고 있다. 이것은 콜로이드 실리카 입자가 구리막/산화막 표면과의 상대 표면전위에 따른 것으로 같은 극성의 표면전위를 띠게 되면 척력이 작용하고 반대일 경우 인력이 작용하게 된다. Table 1은 콜로이드 실리카 입자가 구리막과 산화막상에서 갖는 각각의 상대

Wafer	Surface zeta(mV)	Abrasive zeta(mV)
Cu	-3.26	1.61
PETEOS	-26.25	-89.45

Table 1. Relative zeta potential between colloidal silica and Cu / PETEO



Cu wafer after dipping



TEOS wafer after dipping

Fig. 3. FE-SEM images of Cu TEOS wafer surface after dipping on colloidal silica slurry

표면전위를 나타낸 것이다. 그러므로

Cu CMP 후 세정공정에서는 Cu 표면 위의 연마입자제거가 중요하다.

3.2. BTA 함유량에 따른 버핑 성능

버핑액은 TMAH 와 BTA 로 이루어진다. 이 중 BTA 는 부식방지제로서 Cu CMP 에서 폭넓게 사용되어지고 있으며 BTA 의 함유량에 따라 버핑 후 Cu 표면 상태가 결정된다. Fig.4 는 BTA 함유량에 따른 표면거칠기 및 Cu 연마율을 나타낸 것으로 실험은 1wt% TMAH 로 고정시킨 후[5], BTA 의 함유량을 0 / 0.01 / 0.05 / 0.10 / 0.20 % 로 변화시키며 80rpm / 0.5psi 에서 버핑이 실시되었고, 각 BTA 값에 따라 표면거칠기는 AFM, 연마율은 4-point probe 로 측정되었다. 결과에 따르면 BTA 가 증가함에 따라 연마율을 감소하며 표면거칠기는 나빠지는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과는 BTA 가 Cu

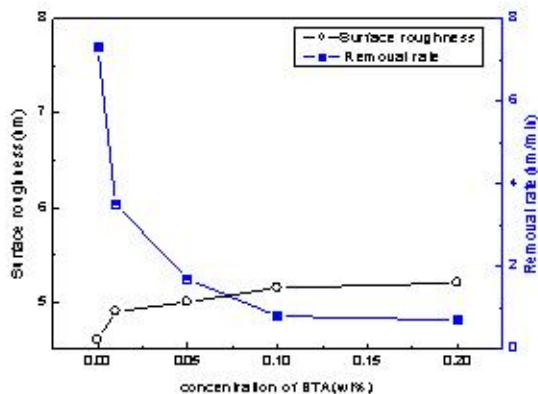


Fig.4. Effect of BTA concentration on the surface roughness and copper removal rate

이온과 결합하여 Cu-BTA 층을 형성하며 이에 따라 산화구리막의 형성을 방지되므로 Cu 연마가 억제되는 것이다. 그리고 BTA 함유량이 증가함에 따라 BTA 입자가 Cu 표면에 흡착하여 표면 거칠기를 악화시키는 것으로 보인다[6]. 위 결과로 BTA 함유량이 버핑 후 표면 성능에 영향을 미친다고 볼 수 있다.

3.3. 버핑을 통한 디싱 발생

버핑 공정이 CMP 에 비하면 저압의 공정이지만 함몰(dishing)을 심화시킬 수 있으므로 버핑에 의한 함몰 발생을 알아보기 위해 버핑 속도와 압력을 변수로 두어 각각의 경우의 함몰 발생량을 측정해 보았다. 실험은 2 단계 CMP 를 거쳐서 Cu / TEOS 구조가 드러난 패던 웨이퍼에 대하여 속도 20 / 40 / 80 / 160rpm 과 압력 0.5 / 0.75 / 1.0 / 1.5 psi 로 변화시켜가며 1wt% TMAH / 0.1 wt% BTA 로 버핑을 실시하고 Cu 와 TEOS 의 단차를 통해 함몰량을 측정하였다. Fig.5. 는 압력과 속도의 곱에 대

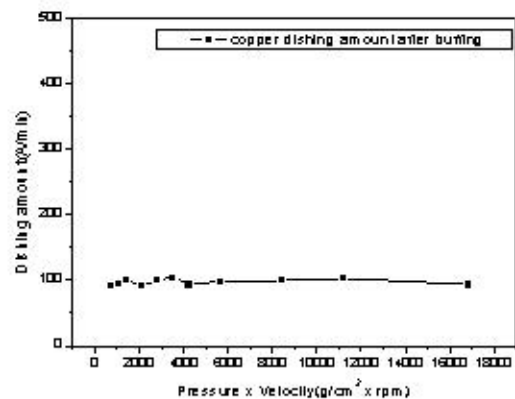


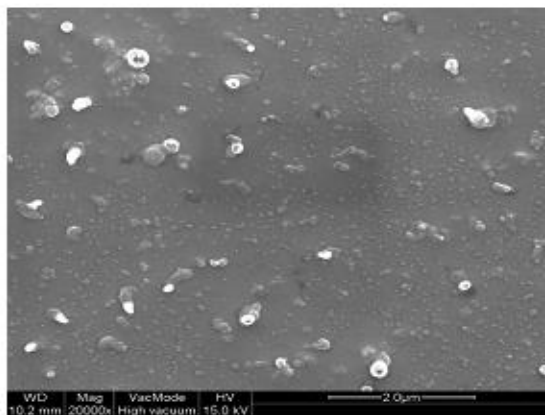
Fig.5. Copper dishing amount after buffing with 1wt% TMAH / 0.1 wt% BTA aqueous as a function of velocity and pressure

한 함몰량을 나타낸 그래프로서 전 영역에 대하여 100 Å 정도의 함몰 발생을 보이고 있다. 이는 버핑을 통한 함몰이 속도 / 압력과는 무관하게 발생한다는 것을 보여준다.

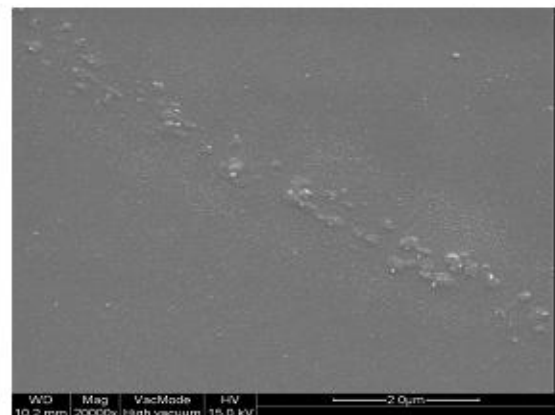
3.4. 버핑을 통한 연마입자 제거

버핑을 통한 세정효과를 확인하기 위해 CMP 공정을 거친 구리막 웨이퍼를 1 wt% TMAH / 0.1 wt% BTA 의 버핑액으로 0.5psi 압력을 고정한 후 버핑 속도를 20 / 40 / 80 / 160rpm 으로 변화 시켜가면 버핑을 수행한 후 그 표면을 FE-SEM 으로 측정하였다. Fig 6 은 그 표면 이미지로서 fig 6(a)에서 (d)까지 각각 20 / 40 / 80 / 160 rpm 으로 버핑한 표면을 보여주고 있다. Fig 6(a)를 보면 구리막 웨이퍼 표면에 수많은 연마입자의 덩어리들이 존재함을 볼 수 있으며 20rpm 의 조건에선 버핑을 통한 세정이 제대로 이루어 지지 않고 있다. 버핑 속도가 20rpm 에서 160rpm 으로 증가됨에 따라 웨이퍼 표면의 연마입자의 잔류가 확연히 줄어들음을 확인할

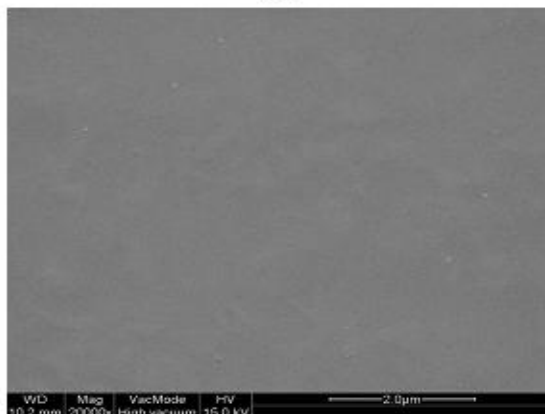
수 있으며, 80rpm 이상부터는 표면의 연마입자 제거율이 탁월함을 볼 수 있다. 하지만 fig 6(c)와 (d)에서 버핑으로도 제거가 되지 않는 연마입자가 여전히 웨이퍼 표면에 잔류함을 확인할 수 있었다. 이러한 현상은 버핑으로 웨이퍼 표면으로부터 제거된 콜로이달 실리카 입자가 Cu-BTA 층이 가지는 소수성에 의해 웨이퍼 표면에 재흡착되어서 발생하는 것으로 보인다[5]. Fig 7 은 2 단계 CMP 를 통해 Cu / TEOS 가 드러난 구리 패턴 웨이퍼를 1 wt% TMAH / 0.1 wt% BTA 를 이용하여 압력 0.5psi, 속도 80rpm 에서 1 분간 버핑을 통해 콜로이달 실리카 연마입자 제거를 확인해 보았다. 버핑 전의 이미지를 보면 Cu / TEOS 의 연마입자 잔류가 확연히 드러나고 있음을 볼 수 있다. 상대 표면전위 차에 의해 구리막 표면에 연마입자가 집중적으로 흡착되어 있으며 비교적 산화막 표면은 연마입자 흡착이 적다. 하지만 버핑 공정을 수행한 후의 이미지를 보면 구리막 표면상의 연마입자가 대부분 제거 된 것을 볼 수 있으며, 버핑을 통한 세정능력이 탁월함을 볼 수 있다.



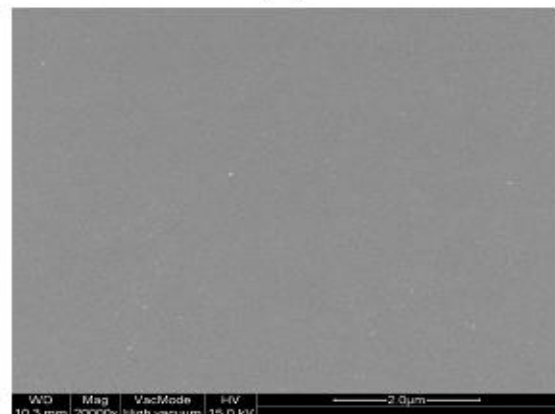
(a)



(b)

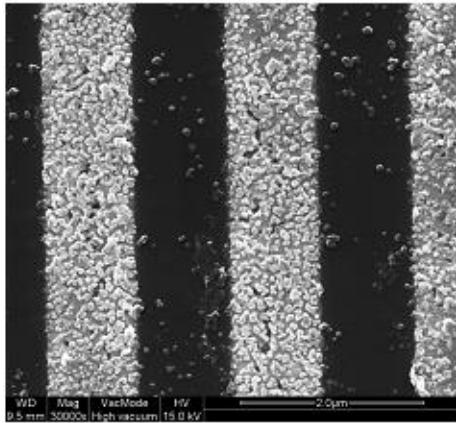


(c)

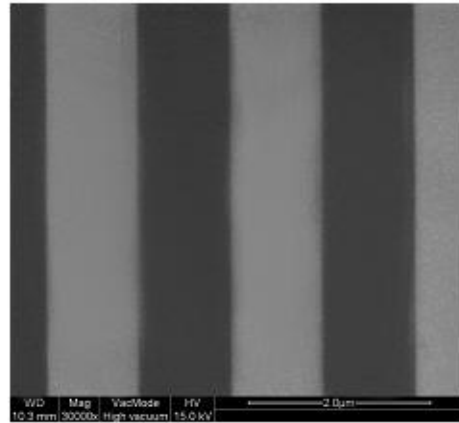


(d)

Fig. 6. FE-SEM images of copper wafer surface after buffing at (a) 20rpm; (b) 40rpm; (c)80rpm; (d)160rpm with 1 wt% TMAH / 0.1 wt% BTA for 60seconds



Before buffing



After buffing

Fig. 7. FE-SEM images of patterned copper wafer before and after buffing with 1 wt% TMAH / 0.1 wt% BTA in 80rpm and 0.5psi for 60seconds.

4. 결 론

본 연구에서는 TMAH 와 BTA 로 이루어진 버핑액을 이용한 버핑공정을 통해 구리막 웨이퍼 표면으로부터 콜로이달 실리카 연마입자의 효과적인 제거에 대하여 연구하였고, 실험 결과를 통해 버핑을 통한 세정은 연마입자 제거에 탁월함을 볼 수 있었다. 하지만, 버핑액에 함유된 BTA 는 부식 방지제로서 구리 연마제거율을 감소시키지만, 한편 버핑 후 구리막 표면 거칠기의 증가를 가져오기 때문에 BTA 함유량의 조절을 통해 버핑 후 구리막 연마율과 표면거칠기의 최적화를 행하였다. 또한, 버핑 공정을 저압의 CMP 공정으로 볼 수 있기에 버핑을 통한 구리 함몰이 발생을 알아보기 위해 버핑 속도와 압력을 변수로 여러 조건 하에서 버핑을 수행하였고 그 결과 버핑속도와 압력은 구리 함몰 발생과는 무관함을 알 수 있었다.

(3) Liming Zhang, Sriniraghavan, Milind Weling, J. Vac., 1999, *Sci. Technol.* B 17, 2248.

(4) M. Jolley, 1999, "Applications of Tetramethylammonium Hydroxide (TMAH) as a Post Tungsten CMP Cleaning Mixture", *Solid state phenomena*, vols. 65-66, p. 105~ 108

(5) 송근규, 정창오, 조범석, 노남석, 2002, "반도체소자의 세정방법", *대한민국특허청*, 10-2002-0016300

(6) Po-Lin Chen, 2004, "Post-Cu cleaning for colloidal silica abrasive removal", *Microelectronic Engineering* 75, p352~360

감사의 글

본 연구는 2 단계 BK21 사업 및 과학기술부/한국과학재단 국가핵심연구센터사업(R15-2006-022-01003-3) 지원으로 수행되었음.

참고문헌

(1) Ying Ping Lee, Ming-Shih Tsai, Ting-Chen Hu, Bau-Tong Dai, Ming-Shiann Feng, 2001, *Electrochem. Solid-State Lett.* 4 C47

(2) S.Y. Lee, S. H. Lee, and J.G. Park, J., 2003, *Electrochem. Soc.*, 150(5), G327 ~ G332