

## 구리 CMP 후 버핑 공정을 이용한 연마 입자 제거

신운기<sup>1</sup>, 박선준<sup>1</sup>, 이현섭<sup>1</sup>, 정문기<sup>1</sup>, 이영균<sup>1</sup>, 이호준<sup>1</sup>, 김영민<sup>1</sup>,  
조한철<sup>2</sup>, 주석배<sup>3</sup>, 정해도<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup> 부산대학교 기계공학부

<sup>2</sup> 노스이스턴 대학교, 나노 스케일 연구센터

<sup>3</sup> 텍사스 A&M 대학교 기계공학부

## Particle Removal on Buffing Process After Copper CMP

Woon-Ki Shin<sup>1</sup>, Sun-Joon Park<sup>1</sup>, Hyun-Seop Lee<sup>1</sup>, Moon-Ki Jeong<sup>1</sup>, Young-Kyun Lee<sup>1</sup>,  
Ho-Jun Lee<sup>1</sup>, Young-Min Kim<sup>1</sup>, Han-Chul Cho<sup>2</sup>, Suk-Bae Joo<sup>3</sup> and Hae-Do Jeong<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup> Graduate School of Mechanical Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

<sup>2</sup> NSF Nanoscale Science & Engineering Center, Boston 02115-5005, USA

<sup>3</sup> Department of Mechanical Engineering, Texas A&M University, College Station 77843-3123, USA

(Received September 3, 2010; Revised December 6, 2010; Accepted December 20, 2010)

**Abstract:** Copper (Cu) had been attractive material due to its superior properties comparing to other metals such as aluminum or tungsten and considered as the best metal which can replace them as an interconnect metal in integrated circuits. CMP (Chemical Mechanical Polishing) technology enabled the production of excellent local and global planarization of microelectronic materials, which allow high resolution of photolithography process. Cu CMP is a complex removal process performed by chemical reaction and mechanical abrasion, which can make defects of its own such as a scratch, particle and dishing. The abrasive particles remain on the Cu surface, and become contaminations to make device yield and performance deteriorate. To remove the particle, buffing cleaning method used in post-CMP cleaning and buffing is the one of the most effective physical cleaning process. AE(Acoustic Emission) sensor was used to detect dynamic friction during the buffing process. When polishing is started, the sensor starts to be loaded and produces an electrical charge that is directly proportional to the applied force. Cleaning efficiency of Cu surface were measured by FE-SEM and AFM during the buffing process. The experimental result showed that particles removed with buffing process, it is possible to detect the particle removal efficiency through obtained signal by the AE sensor.

**Keywords:** Copper (Cu), Chemical mechanical polishing, Post-CMP cleaning, Buffing, AE

### 1. 서 론

구리 (Copper; 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, 구리 배선의 평탄화를 위하여 2단계 화학기계적 평탄화 (chemical mechanical planarization, CMP)가 사용되고 있다. 이러한 CMP 공정 후에는 화학적 또는 물리적 상호작용에 의해 웨이퍼 표면에 오염물이 부착될

a. Corresponding Author; hdjeong@pusan.ac.kr

수 있다. CMP 공정 중에 공급되는 슬러리에는 부식액, pH 적정제, 연마입자 등이 첨가되며 이러한 오염물질은 세정공정을 통해 제거되지 않으면 추후 공정에 지속적으로 영향을 미치므로 전체 공정의 수율을 감소시키는 문제점이 될 수 있다 [2]. Cu-CMP의 경우 Cu확산에 의한 디바이스 특성열화를 방지하기 때문에 특히 잔류 Cu오염을 제거하는 것이 아주 중요하고, 세정액에 의한 Cu-배선의 에칭이나 부식발생 등의 악영향이 있어서는 안 된다. 종래의 RCA 세정은 기관의 에칭을 통해 입자를 제거하는 세정법으로 세정공정에서 동반되는 기관의 손실이 크고, 다량의 화학액의 사용으로 인하여 환경오염을 일으키는 단점이 있다. 따라서 화학액의 사용을 최소화하는 대표적인 기계적 세정법인 PVA브러쉬 세정이 널리 사용되고 있으며 [3], PVA브러쉬 세정법은 폴리우레탄 재질의 PVA 브러쉬를 회전시키면서 웨이퍼의 표면에 마찰을 일으켜 직접적인 마찰이나, 세정액의 유체역학적 끌림힘을 이용하여 웨이퍼 표면의 오염을 제거하는 방법이다 [4]. 하지만 이러한 세정법은 브러쉬를 이용한 세정라인이 추가되어야 하고, 그에 따른 공정시간의 증가가 발생한다. 화학액에 동반되는 환경오염 문제와 추가적인 PVA 브러쉬 라인추가의 문제점을 해결하기 위한 방법으로 기존 CMP에서 사용되는 방식과 유사한 버핑을 이용하여 세정하는 방법이 있다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 실험 장치

버핑 공정은 가공하고자 하는 대상물을 버퍼 (패드)의 회전을 통해 그 표면을 가공한다는 점에서 CMP 공정과 유사하나 그 목적에서 서로 다르다. CMP의 경우, 공정의 목적이지만, 버핑은 대상물의 표면 스크래치를 제거하거나 광택을 내는 것이 목적이다. 그리고 동일 시간에 브러쉬 세정에 비해 웨이퍼 전면의 접촉으로 인해 넓은 면적을 세정할 수 있는 장점이 있다. 버핑 공정은 GnP Technology의 Poli-400을 이용하였으며 슬러리 대신 초순수 (Deionized Water)를 공급하였고, 연마 공구로서 패드는 일반적으로 버핑에 사용되는 Rohm&Haas의 폴리텍스 패드를 사용하였다. 세부적인 실험 조건은 표 1과 같다. 실험에 사용된 패드는 다공성 구조를 가지고 있으며, 이러한 연결 패드는 CMP관점에서는 국소

Table 1. Process conditions for buffing.

Parameter	Conditions
Wafer	4 inch blanket wafer (CVD Cu deposition 1 $\mu$ m)
Slurry	TST-D2 (techno Semichem Co.), Mean diameter of abrasive :60nm pH : 10
Cleaning solution	DIW
Cleaning time (s)	60
Platen speed (rpm)	80
Pressure (g/cm <sup>2</sup> )	60
Flow rate (ml/min)	120

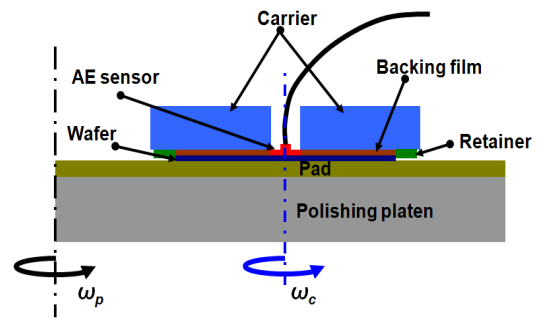


Fig. 1. Wafer head with integrated AE sensor.

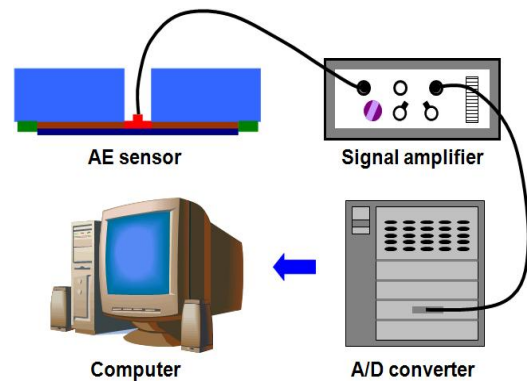


Fig. 2. Signal acquisition process to detect particle removal.

평탄화가 좋지 않으나 표면 결함의 발생이 적어서 표면 품질 유지에 적합하여 웨이퍼 표면의 연마 입자를 제거하기에 용이하다 [5]. 공정 중에는 Fig. 1과 같이 웨이퍼 후면에 AE (Acoustic Emission) 센서를 부착하여 버핑을 통한 세정공정 중에 발생하는 신호를 획득하여 웨이퍼 표면 상태에 따른 신호 특성을 확인하

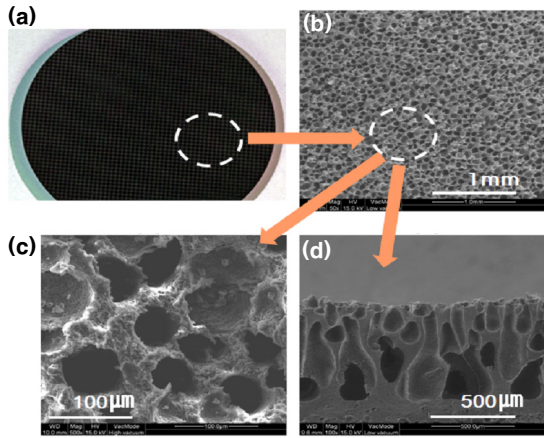


Fig. 3. Images of politex pad; (a) Picture of pad, (b) FE-SEM image of surface (X50), (c) FE-SEM of surface (X500), (d) FE-SEM image of side view (X100).

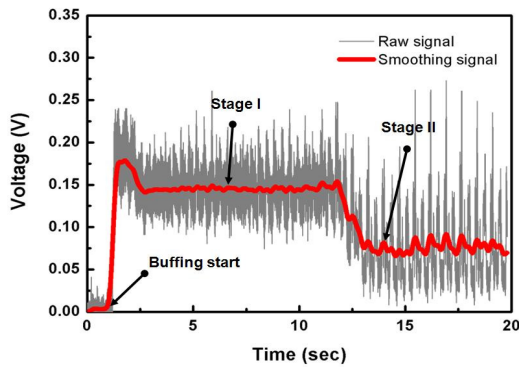


Fig. 4. AE signal during buffing process.

였다.

획득되는 신호는 신호 분석을 하기에는 미약하여 신호 증폭기 (Signal Amplifier)를 통해 신호를 증폭한 후 아날로그/디지털 변환기 (A/D converter)로 분석 가능한 디지털 신호로 변환시켰다 [6]. 버핑 공정 후 웨이퍼의 표면은 FE-SEM을 통하여 관찰, 분석하여 세정 효과를 확인하였다.

### 3. 결과 및 고찰

그림 3은 실험에 사용된 패드의 표면 이미지를 나타낸 것이며 이미지에 나타난 것과 같이 폴리텍스 패드는 표면이 다공성 구조를 가지고 있다. 버핑 세정

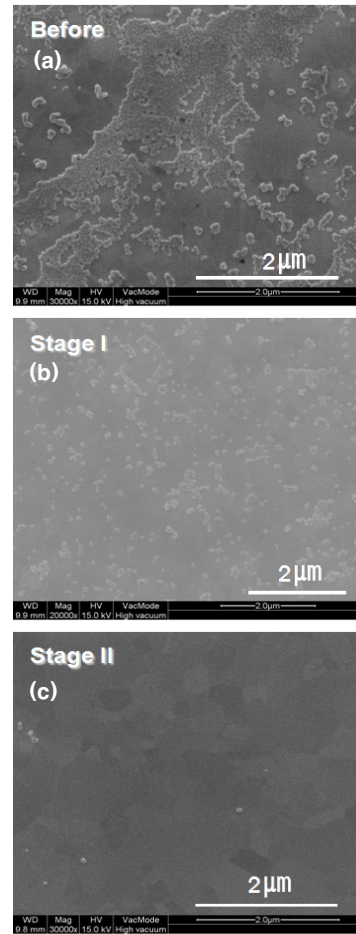
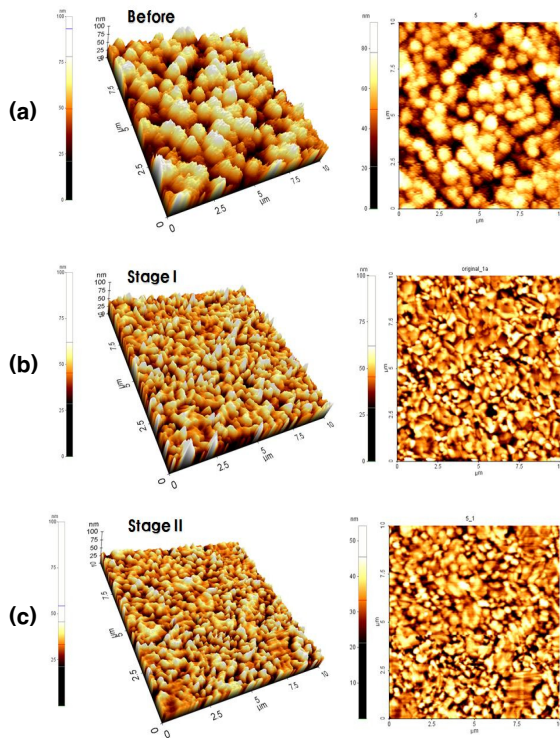


Fig. 5. Results of buffing process; Detail FE-SEM image; (a) Before buffing process, (b) After Stage 1 and (c) After Stage 2.

실험에 사용된 폴리텍스 패드는 두께 1.471mm, 웨이퍼와 접하는 패드의 기공 체적은 78.1%, 기공의 평균 직경은 55µm의 물리적 성질을 가진다.

그림 4는 버핑 공정 중에 AE센서로 획득한 신호 그래프를 나타낸 것이다. 신호 그래프를 살펴보면 4가지 구간으로 신호를 나눌 수 있다. 초기의 마찰력이 0인 구간은 버핑 공정을 시작하는 단계이며, 버핑 고정 시작 후 2~4초간의 구간은 버핑 공정이 시작된 후 웨이퍼의 표면에 초순수가 유입되면서 버핑 공정이 안정화 되는 구간으로 볼 수 있다. 4~11초까지의 구간은 버핑이 안정적으로 진행되는 구간으로 시그널은 일정하게 유지된 상태이다 (Stage 1). 마지막으로 신호가 감소되는 영역을 지난 후 일정한 패턴을 가지는 신호를 볼 수 있다 (Stage 2).



**Fig. 6.** AFM image of copper wafer surface after buffing process; (a) Before buffing process, (b) After Stage 1 and (c) After Stage 2.

버핑에 의한 세정 효율과 각 신호에서의 세정 진행 정도를 파악하기 위해서 FE-SEM을 사용하여 각 신호 영역에 해당하는 웨이퍼의 표면을 측정하였다. 그림 5은 FE-SEM으로 측정한 이미지를 보여준다. 그림 5(a)는 버핑 공정을 시작하기 전에 CMP로 인해 웨이퍼 표면에 광범위하게 분포된 연마입자를 확인할 수 있다. 버핑 공정이 시작이 시작된 Stage 1 구간에서는 FE-SEM 이미지 상으로 웨이퍼 표면의 연마입자가 제거되어 가는 것을 볼 수 있으며 이를 통해 실질적으로 연마 입자가 제거되기 시작하는 세정 구간으로 볼 수 있다 (그림 5(b)). 신호가 감소되고 일정한 패턴의 신호를 보이는 Stage 2구간에서는 웨이퍼 표면의 연마 입자가 완전히 제거 되어 있는 것을 확인할 수 있으므로 이와 같은 신호는 본래의 구리 웨이퍼 표면의 거칠기에 의한 신호인 것으로 보인다 (그림 5(c)).

이 실험을 통해 화학 기계적 연마 공정과 버핑 공정 동안에 패드와 웨이퍼 사이에서 발생하는 마찰 신호를 실시간으로 검출함으로써 연마의 상태 및 웨이퍼

표면 상태를 예측할 수 있음을 알 수 있다.

또한 고주파 영역대의 AE 센서를 이용하여 실험을 진행하는 동안에 받은 신호를 처리하기 위해서는 많은 시간과 안정된 주위 환경이 요구되는 어려움이 있다. 하지만 회전하는 구조를 가진 연마, 버핑 특성상 AE센서는 매우 효과적이다.

AFM을 통해서 버핑 공정 전, Stage 1, Stage 2의 각 웨이퍼의 표면을 측정된 결과를 그림 6에 나타내었다. 버핑 공정 전의 AFM 이미지에는 웨이퍼 상의 입자가 확인되는 것을 볼 수 있다 (그림 6(a)). 하지만 버핑 공정이 진행된 뒤의 그림 6(b), (c)에서는 깨끗한 구리 표면을 확인할 수 있었다. 그리고 그림 6(b)에서는 연마 입자가 제거되는 과정에 따라 몇 개의 입자들이 확인된다. 이는 FE-SEM의 측정 결과와 동일한 경향을 보였고, 이러한 결과를 통하여 버핑 공정 시 구리 웨이퍼 표면의 연마 입자를 제거하기 위해 10초 내외의 시간이 필요함을 알 수 있다. 브러쉬 세정이 60초 내외의 시간이 필요한데 비해 상대적으로 짧은 공정 시간이 필요하다. 그리고 웨이퍼 전면의 직접 접촉에 의한 버핑 세정법은 브러쉬 세정에 비해 세정 면적이 넓으므로 상대적으로 세정 효율이 높고, 추가 세정 스테이션이 필요한 브러쉬 세정에 비해 버핑 공정은 기존 CMP 장비 상에서 즉시 가능하여 공정의 간소화에도 유리하다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 반도체 제조 공정에서 CMP 공정 후 웨이퍼 표면에 연마 입자의 잔류에 의한 오염을 해결하고, 회로의 선폭이 미세해짐에 따라 허용되는 입자의 개수와 크기, 한계가 점점 엄격해지고 있는 상황에서 구리 표면 위의 연마 입자를 효과적으로 제거하고자 버핑 공정을 이용하였다.

1. 초순수와 연질 다공성의 패드를 이용한 버핑 공정에서 AE센서를 이용하여 연마 입자가 제거 되는 신호를 획득하였다.

2. AE 센서를 통한 모니터링 결과 시간에 따른 각각의 시그널 구간에 따라 신호가 변함을 확인하였고, FE-SEM과 AFM을 통하여 분석한 결과 AE센서 모니터링 신호와 구리 표면의 입자 제거와의 상관관계를 확인하였다.

3. 고이득, 저노이즈를 갖춘 AE 센서는 고주파 영역을 감지할 수 있기 때문에 버핑 시 발생하는 미세

한 표면 변화를 감지할 수 있어 실시간 모니터링에 매우 효과적이다.

고속으로 회전하는 패드와 웨이퍼를 가지는 버핑공정에서 직접 신호를 검출하여 감시하기 위해서는 무선 AE 모니터링 시스템의 연구 및 신뢰성 테스트들이 추가적으로 필요한 것으로 사료된다.

### 감사의 글

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비 (2년)에 의하여 연구되었음

### REFERENCES

- [1] S. H. Jeong, H. D. Seo, B. Y. Park, J. H. Park, and H. D. Jeong, *J. KIEEME*, **20**, 213 (2007).
- [2] Y. K. Hong, D. H. Eom, S. H. Lee, T. G. Kim, J. G. Park, and A. A. Busnaina, *J. of the Electrochem. Soc.*, **151**, 756 (2004).
- [3] S. Wolf, and R. N. Tauber, *Silicon Processing for the VLSI Era*, 2nd ed. (Sunset Beach, Calif. Lattice Press, 2000).
- [4] A. A. Busnaina, H. Lin, N. Moumen, J. W. Feng, and J. Taylor, *IEEE Transaction on Semiconductor Manufacturing*, **15**, 374-382 (2002).
- [5] H. C. Cho, and M. D. *Thesis*, p. 12-26, Pusan National University, Busan (2009).
- [6] H. D. Jeong, H. J. Kim, S. H. Lee, and D. Dornfeld, *Annals of the CIRP*, **55**, 325-328 (2006).

[1] S. H. Jeong, H. D. Seo, B. Y. Park, J. H.