

## CMP 공정중 박막 종류에 따른 AE 신호 분석<sup>§</sup>

박선준\* · 이현섭\*\* · 정해도\*†

\* 부산대학교 기계공학부, \*\* 동명대학교 기계공학과

### Analysis of Acoustic Emission Signal Sensitivity to Variations in Thin-film Material Properties During CMP Process

Sun Joon Park\*, Hyun Seop Lee\*\* and Hae Do Jeong\*†

\* School of Mechanical Engineering, Pusan Nat'l Univ.

\*\* Dept. of Mechanical Engineering, Tongmyoung Univ.

(Received April 16, 2014 ; Revised May 14, 2014 ; Accepted May 14, 2014)

**Key Words:** CMP(화학 기계 연마), Acoustic Emission Sensor(음향 방출 센서), Monitoring System(감시 시스템)  
Oxide Wafer(산화막 웨이퍼), Cu Wafer(구리막 웨이퍼)

**초록:** 본 연구에서는 화학 기계 연마(CMP) 공정 중 발생하는 다양한 영역대의 신호를 분석하기 위하여 음향 방출 센서(AE)를 이용하였다. 특히 음향 방출 센서는 공정 중 발생하는 기계적 소음을 전기적 신호로 변환하기 용이하며, 특히 고주파 영역대의 신호를 감지하기에 용이하다. 그래서 본 연구에서는 CMP 장비에 음향 방출 센서를 부착하여 CMP 공정 중 발생하는 신호를 동시에 획득하였다. 본 음향 방출 모니터링 시스템은 CMP 공정 조건 변화 및 패드, 슬러리, 웨이퍼와 같은 소모재의 변화에 따른 신호분석을 하기 위해 제작 되었다. 본 연구에서는 산화막 웨이퍼와 구리막 웨이퍼에 본 시스템을 적용 하였다. 음향 방출 센서로 획득한 신호로 Raw 신호 분석, 주파수 분석, 진폭 분석을 통해서 CMP 공정 중 발생하는 현상을 분석하였다. 최종적으로 다양한 대역폭의 신호를 음향 방출 센서로 획득하여 CMP 공정 모니터링이 가능함을 확인하고자 하였다.

**Abstract:** In this study, an acoustic emission (AE) sensor was used for measuring the abrasive and molecular-scale phenomena in chemical mechanical polishing (CMP). An AE sensor is a transducer that converts a mechanical wave into an electrical signal, and is capable of acquiring high-level frequencies from materials. Therefore, an AE sensor was installed in the CMP equipment and the signals were measured simultaneously during the polishing process. In this study, an AE monitoring system was developed for investigating the sensitivity of the AE signal to (a) the variations in the material properties of the pad, slurry, and wafer and (b) the change in conditions during the CMP process. This system was adapted to Oxide and Cu CMP processes. AE signal parameters including AE raw frequency, FFT, and amplitude were analyzed for understanding the abrasive and molecular-level phenomena in the CMP process. Finally, we verified that AE sensors with different bandwidths could function in complementary ways during CMP process monitoring.

### 1. 서론

최근 반도체 공정에서는 공정 중에 발생하는 문제점들을 해결하기 위한 노력이 계속되고 있다.

특히 화학 기계적 연마(Chemical Mechanical Polishing; CMP)에서는 화학적 및 기계적 제거에 의해 웨이퍼 표면에서 발생하는 결함들을 줄이기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>(1,2)</sup> 이러한 결함을 줄이기 위해서는 각종 센서들을 이용한 공정 모니터링이 중요하게 부각된다.<sup>(2,3)</sup> CMP 공정중 웨이퍼 표면에 발생하는 결함 중에는 스크래치(Scratch), 스틱 슬립(Stick Slip) 등과 같은 결함들이 있다. 이러한 웨이퍼 표면 결함들은 슬러리(Slurry),

§ 이 논문은 2014년도 대한기계학회 생산 및 설계공학부문 춘계학술대회(2014. 4. 24.-25., 라마다프라자호텔) 발표논문임

† Corresponding Author, [hdjeong@pusan.ac.kr](mailto:hdjeong@pusan.ac.kr)

© 2014 The Korean Society of Mechanical Engineers

웨이퍼(Wafer), 패드(Pad)와 같은 소모재의 종류에 따라서도 영향을 받지만, 다양한 CMP 공정 조건에 의해서 복합적으로 발생하게 된다. 특히 연질의 Cu CMP 에서는 많은 결함이 문제시 되고 있다.<sup>(4,6)</sup> 이때에 발생하는 신호는 저주파에서부터 고주파까지 다양하게 발생하게 된다. 이에 적절한 센서를 선택하여 공정 모니터링을 하게 되면 특정 신호 영역대의 검출로 가공 결함을 줄이는데 중요한 역할을 할 수 있을 것으로 사료된다.<sup>(7)</sup>

이에 본 연구에서는 웨이퍼 표면에서 발생하는 다양한 신호 중에서 고주파 영역대의 신호를 분석하기 위하여 음향 방출(Acoustic Emission; AE) 센서를 도입하였다. 일반적으로, AE 센서는 높은 주파수 응답을 가지고 있기 때문에 연마 과정 동안 발생하는 마이크로 스크래치, 마이크로 피로, 마이크로 부식 등을 감지하는 데 유용한 것으로 알려져 있다.<sup>(2-6)</sup> 이에 본 연구에서는 상하부가 모두 회전하는 구조에 AE 센서 부착을 위하여 슬립 링을 이용하여 시스템을 구축하였다. 측정된 AE 신호를 이용하여 AE 원신호(Raw signal) 분석 및 주파수 분석(Fast Fourier Transform; FFT)을 실시하였다.

## 2. 실험 장치 및 방법

### 2.1 실험 장치

본 연구에서는 CMP 공정 중에 발생하는 고주파 신호를 획득하기 위하여 AE 센서를 적용한 모니터링 시스템을 구축하였다. 그러나 고주파 신호는 AE 센서가 공작물에 직접적으로 접촉한 상태가 아니면 공정 중에 발생하는 미세한 신호가 유실되어 신호 획득이 어렵게 된다. 따라서 AE 센서가 웨이퍼 표면에 직접 접촉을 해야 하는데

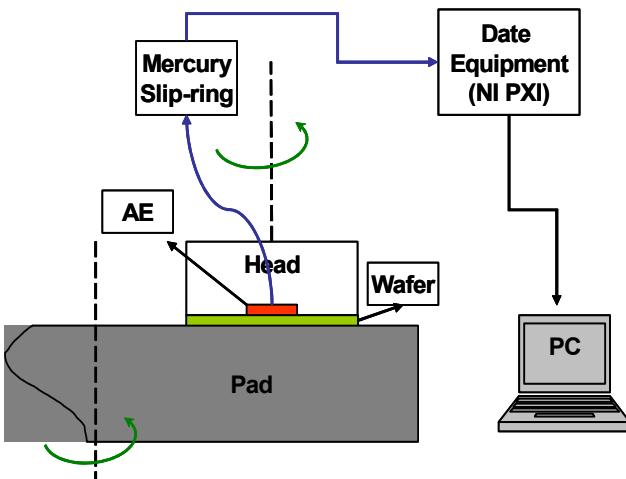


Fig. 1 A Schematic of AE monitoring system

CMP 공정은 상하가 모두 회전하는 메커니즘을 가지고 있다. 이러한 상하부가 모두 회전하는 공정에서는 센서와 모니터링 시스템을 연결하는 유선이 꼬이는 현상이 발생하게 된다. 이러한 현상을 방지하기 위하여 수은 슬립링(Slip Ring)을 이용하여 회전하는 상태에서도 모니터링이 가능하도록 AE 모니터링 시스템을 구축하였다.

Fig. 1 은 AE 모니터링 시스템의 개략도를 나타내고 있으며, 다음과 같이 구성되어 있다. 우선, 공작물인 웨이퍼 뒷면에 AE 센서를 직접 부착하기 위하여 센서 헤드를 설계하고, 가공한 다음 웨이퍼에 센서를 부착하여 CMP 공정을 진행하게 된다. CMP 공정으로부터 획득된 AE 신호는 슬립링을 통해서 데이터 수집장치(NI PXI)로 전송되고, 다시 수집 장치로부터 PC 로 전송되는 방식으로 구성되어 있다. 본 연구에 사용된 AE 센서는 PAC사의 Nano30s 모델이며, 이는 125 ~750 KHz 의 주파수 영역대의 신호를 획득할 수 있다. 슬립 링은 Asiantool 사의 A2S 수은 슬립 링을 이용하였고, 이는 접촉 저항이 1m 미만으로 알려져 있다. 또한 획득된 신호는 각각의 모듈을 통하여 NI 사의 PXI6163 으로 전송되며, 이를 PC 로 신호분석을 진행하였다.

### 2.2 실험 방법

본 연구에서는 CMP 공정에서 발생할 수 있는 고주파 신호를 AE 모니터링 시스템을 통해 획득하기 위하여 Oxide 와 Cu 웨이퍼를 이용하였다. 각각의 웨이퍼를 가공하는 공정 조건은 다음과 같다. 우선 압력 조건은 300 g/cm<sup>2</sup>, 연마헤드 및 하정반의 회전 속도는 60/60 rpm, Ex-situ 컨디셔닝으로 일정한 공정 조건을 유지하였다. 이는 동등한 실험 조건을 유지하기 위함이다. 또한 각각의 공정에서 입자의 유무에 의한 특성을 파악하기 위하여 탈이온수(DIW), 슬러리, 다이아몬드 입자(Diamond Abrasive)를 공정 중에 유입하였다. 슬러리(EPL 3wt% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, ILD 1300) 및 DIW 는 30 ml/min 로 유입하였고, 입자는 30~40 μm 의 다이아몬드 입자를 사용하였으며 패드는 IC 1400 을 사용하였다. Table 1 에서는 실험조건을 확인할 수 있다. 신호의 획득은 1 MHz 의 샘플링 주파수로 신호를 획득하였고, 각각의 획득된 신호에 대하여 AE 원신호(Raw signal) 분석과 주파수 분석(FFT)을 실시하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 AE 원신호(Raw signal) 분석

Fig. 2 는 Cu CMP 와 Oxide CMP 공정 중에 DIW

Table 1 Conditions of experimental

Parameters	Conditions
Pressure	300 g/cm <sup>2</sup>
Velocity	60/60 rpm
Conditioning	Ex-situ
Pad	IC1400
Oscillation	None
Slurry	ILD1300 & EPL
Wafer	Thermal oxide& Copper 4"

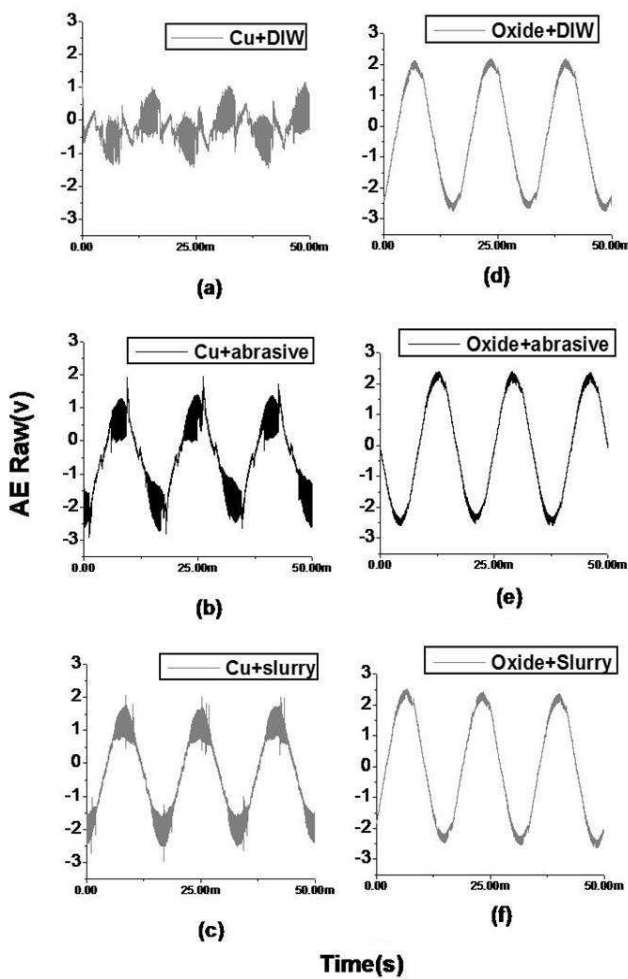


Fig. 2 Acquired AE raw signals in Cu CMP and Oxide CMP

와 슬러리, 다이아몬드 입자를 유입한 경우에 발생하는 AE 원신호를 나타낸다. Cu CMP에서는 발

생된 AE 원신호가 각각의 연마제(DIW, Diamond Abrasive, Slurry)에 따라 확연하게 구분이 되는 것을 확인할 수 있었다. 연마 결과 또한 Cu 웨이퍼 표면에 많은 스크래치가 발생함을 육안으로도 확인할 수 있었다. 하지만, Oxide CMP에서는 AE 원신호가 거의 변화가 없으므로 확인되었고, 연마 결과 또한 Oxide 웨이퍼의 표면에서는 육안으로 식별 가능한 스크래치는 거의 발생하지 않았다. 이는 Oxide 웨이퍼에 비해 상대적으로 연질인 Cu 웨이퍼가 입자에 의한 결함이 쉽게 발생한다는 것을 알 수 있으며, 이러한 결함을 AE 원신호로도 검출할 수 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 CMP 공정중에 발생하는 원신호를 분석함으로써 CMP 결함과의 상관관계를 유추할 수 있음을 가늠해 해준다. 특히, Cu 웨이퍼에서는 연마 입자에 따른 AE 원신호 특성이 다르기 때문에 CMP 결함과 입자와의 상관관계에 대한 연구가 추가적으로 진행될 필요가 있다. 그러나 AE 원신호 분석만으로는 AE 주파수 특성을 확인하기 어렵다. 이에 본 연구에서는 추가적인 주파수 분석을 통해서 연마 결과와의 상관관계를 확인해 보고자 하였다. 그래서 특정 주파수에서 발생하는 신호를 찾아내기 위하여 각 신호에 대해 FFT를 실시하였다.

### 3.2 AE FFT 분석

Fig. 3은 각 공정에 따른 FFT 해석 결과를 나타낸다. 본 연구에서는 FFT window 함수 중에서 Hamming window 함수로(식 (1))를 사용하였다.

$$w[n] = 0.54 - 0.46 \times \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right), 0 \leq n \leq N-1 \quad (1)$$

이는 FFT 주파수 분석에 있어서 Hamming window 함수가 진폭 정밀도에서는 오차가 존재할 수 있다는 단점이 있지만, 신호의 비주기성을 줄여서 누설 주파수를 줄여주기 때문에 스펙트럼 영역이 넓어지고, 주파수의 분해능을 향상시킬 수 있다는 장점이 있기 때문에 FFT 분석 함수로 선택하였다. 여기서  $N$ 은 구간 데이터의 수를 나타내며 1M의 데이터 개수로 취해서 FFT를 실시하였다.

우선 Fig. 3(a)에서는 Cu와 Oxide CMP 공정 중에 다이아몬드 입자(30~40  $\mu\text{m}$ )를 넣은 결과인데, Oxide에 비해 Cu에서는 주파수의 진폭이 크게 나타남을 확인할 수 있다. Cu CMP에서는 전반적으로 전 영역에 주파수 변화가 나타나며, 특히 120 KHz 이하에서는 진폭의 변화가 확연히 차이가 남

을 확인할 수 있었다. 또한 20, 40 KHz 부근에서는 진폭의 변화가 크게 나타남을 확인할 수 있었다. 그러나 Oxide CMP 에서는 20, 40 KHz 부근에서 진폭 변화가 있지만 전반적으로 주파수 특성 변화가

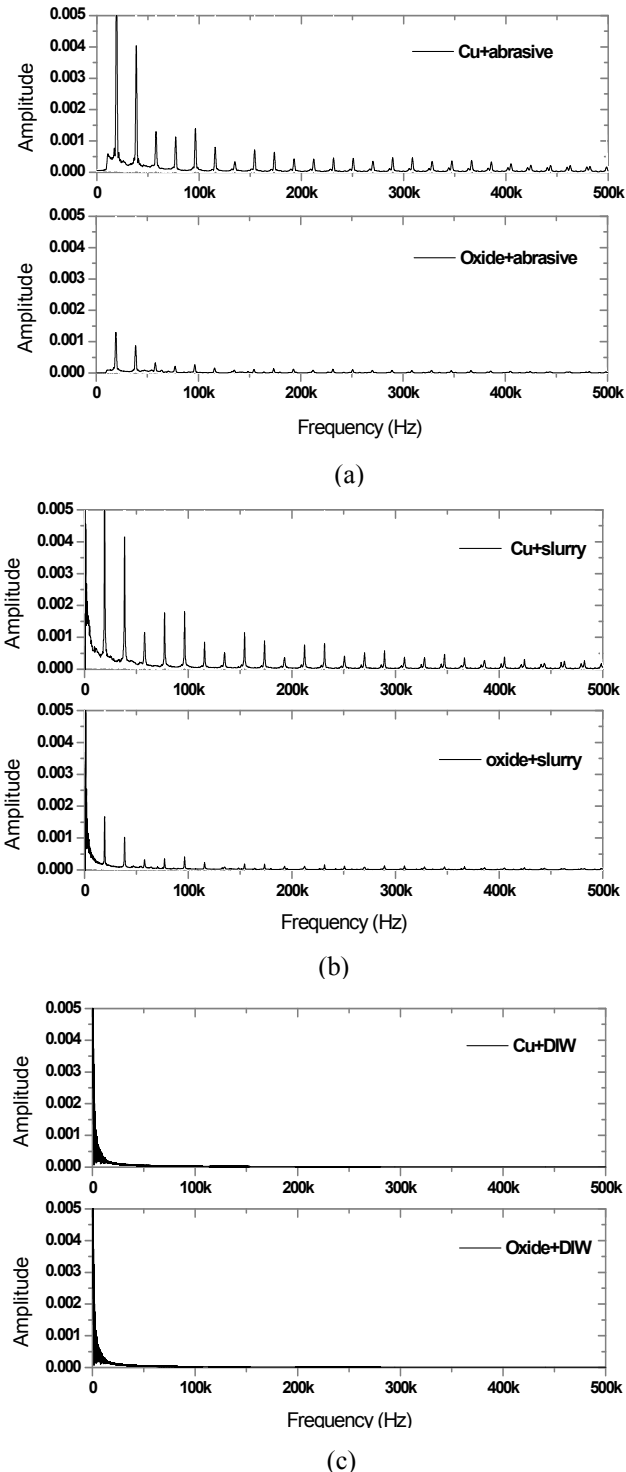


Fig. 3 Results of FFT; (a) with abrasive (Dia abrasive), (b) with slurry (EPL 3 wt %, and ILD1300), (c) with DIW

없음을 확인할 수 있었다.

Fig. 3(b)에서는 각각의 공정 중에 슬러리의 유입에 따른 신호의 분석 결과인데, Fig. 3(a)와 유사한 결과를 나타냄을 확인할 수 있었다. 또한 60, 80, 100 KHz 부근에서 큰 진폭의 변화가 나타남을 확인할 수 있었다. 그러나 이는 서로 다른 종류의 박막을 연마하기 위해 서로 다른 종류의 슬러리를 사용하였기 때문에 연마 결과와의 비교가 필요한 것으로 사료된다. 즉 기계적 연마와 화학적 연마의 상관관계에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다.

Fig. 3(c)에서는 각각의 공정 중에 DIW의 유입에 따른 신호 분석 결과를 나타낸다. 각각의 공정 중에 DIW만을 유입하면서 획득된 신호인데, 주파수 분석 결과 특정 주파수대의 신호가 발견되지 않았다. 이는 단순한 웨이퍼와 패드의 마찰에 의한 신호는 검출되지 않음을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 상하부가 모두 회전하는 CMP의 공정 구조에서, 회전에 의해 발생하는 신호가 아니라 연마에 관여하는 입자에 의해 발생하는 신호를 검출할 수 있음을 여실히 보여준다. 이러한 결과를 토대로 볼 때, CMP 공정 중에 주입하는 연마 입자의 종류 및 양에 따라 상이한 미세 신호가 발생하게 되고, 이를 AE 모니터링 시스템을 이용하여 검출하여 주파수 분석이 가능함을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 CMP 공정에서 발생하는 여러가지 신호 중에서 AE sensor를 이용한 신호 획득 및 신호분석을 통해 CMP 공정과의 상관관계를 알아보고자 하였다. 실험 결과, AE 원신호 분석에는 Cu CMP가 Oxide CMP에 비해 다이아몬드 입자나 슬러리와 같은 입자의 영향을 많이 받음을 확인할 수 있었다. 이는 Cu 웨이퍼가 Oxide 웨이퍼에 비해 연질이기 때문에 입자에 의한 스크래치나 크랙 등이 많이 발생함을 유추할 수 있다. 그러나 AE 원신호 분석에서는 Oxide CMP에서 발생하는 신호 파형의 변화가 미미하여 미세 신호를 분석하기 어려움이 있었다. 이에 추가적으로 FFT 분석을 통해서 두 공정의 비교해 보았다. CMP 결과와 신호 분석의 관계에서 연마결과에 영향을 미치는 입자의 종류에 따라서 FFT 결과가 상이하게 나옴을 확인할 수 있었다. 또한 FFT를 통해서 AE 원신호 분석에서는 확인할 수 없었던 특정 영역대의 신호를 발견할 수 있었다. 더불어 FFT를 통해서

CMP 공정에서 발생하는 신호 중에서 단순히 회전  
에 의해 발생하는 신호는 입자의 유입에 의한 신  
호에 비해 아주 미미하다는 것을 확인할 수 있었  
다. 이러한 결과는 본 연구에 적용된 AE 모니터  
링 시스템을 이용하여 좀 더 다양한 웨이퍼 및 소  
모재에 대한 연구가 진행될 수 있음을 시사한다.

#### 참고문헌 (References)

- (1) Berman, M., Bibby, T. and Smith, A., 1998, "Review of In Situ & In-line Detection for CMP Applications," *Semiconductor Fabtech, 8<sup>th</sup> edition*, pp. 267~274.
- (2) Lee, Y., Chang, A. K. and Dornfeld, D. A., 2002, "Acoustic Emission Monitoring for the Diamond Machining of Oxygen-free High-conductivity Copper," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol 127, No.2, pp. 199~205.
- (3) Wang, L., Gao and Rober, X., 2006, "Condition Monitoring and Control for Intelligent Manufacturing," *Springer*, pp. 126~129.
- (4) Karpuschewski, B., Wehmeier, M. and Inasaki, I., 2000, "Grinding Monitoring System Based on Power and Acoustic Emission Sensor," *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, Vol 49, Issue 1, pp. 235~240.
- (5) Lturrospe, A., Dornfeld, D. A., Atxa, V. and Abete, J. A., 2005, "Bicepstrum Based Blind Identification of the Acoustic Emission(AE) Signal in Precision Turning," *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol 19, Issue 3, pp. 447~466.
- (6) Choi, J. H. and Lee, D. E., 2005, "In-Situ Acoustic Emission Monitoring of Surface Chemical Reactions for Copper CMP," *CMP-MIC*, pp. 415-422.
- (7) Jeong, H. D., Kim, H. J., Lee, S. H. and Dornfeld, D. A., 2006, "Multi-Sensor Monitoring System in Chemical Mechanical Planarization(CMP) for Correlations with Process Issues," *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, Vol 55, Issue 1, pp. 325~328.
- (8) Lee, H. S., Park, B. Y., Kim, G. Y., Kim, H. J., Seo, H. D. and Jeong, H. D., 2004, "Effects of Friction Energy on Polishing Results in CMP Process," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A*, Vol. 28, No. 11, pp. 1807~1812.
- (9) Lee, H. S., Park, B. Y., Seo, H. D., Jang, W. M. and Jeong, H. D., 2005, "A Study on the CMP of Lithium Tantalate Wafer," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A*, Vol. 29, No. 9, pp. 1276~1281.