

# 초경면 표면연마공정에서 패드표면상태 계측에 관한 연구

## Characterization and Monitoring of Pad Surface Condition in Mirror Surface Polishing Process

\*김형재<sup>1</sup>, 김성렬<sup>1</sup>, 류호연<sup>1</sup>, 강필식<sup>1</sup>

\*H.J. Kim<sup>1</sup>(hyjakim@kitech.re.kr), S.R. Kim<sup>1</sup>, H.Y. Ryu<sup>1</sup>, P.S. Kang<sup>1</sup>,

<sup>1</sup> 한국생산기술연구원 동남권기술지원본부

Key words : polishing, roughness, pad, characterization

### 1. 서론

초정밀 연마공정(Fig. 1)은 유리연마, 광학 렌즈의 마무리 가공, 실리콘 웨이퍼의 생산 등에서 표면거칠기 감소, 가공변질층 제거를 목적으로 사용되어왔으며 가장 정밀한 연마공정 중의 하나이다. 이러한 초경면 연마는 마멸을 적극적으로 이용하는 공정으로서 가공 대상재료의 마멸은 접촉하는 재료의 화학적 그리고 기계적 물성에 의존하여 그 가공량이 결정되어진다. 이와 동시에 상대 표면의 형상(topography)과 압력 및 상대속도 조건이 연마현상에 결정적인 영향을 미친다. 따라서 두 표면의 기하학적인 형상과 운동조건에서 기인되는 마찰, 마멸 및 유체 역학적인 윤활 상태 등 트라이블로지적인 인자가 연마기구를 결정하는데 매우 중요한 요인이 된다.

특히 초정밀 연마공정에서는 연마패드의 표면 상태에 의해 연마율이 지배적으로 영향을 받는 것으로 알려져 있다[1,6]. 이러한 연마패드의 표면형상은 웨이퍼와 패드가 상대 운동하는 미끄럼면의 윤활상태를 결정하는 인자 중의 하나로서 최소윤막두께( $h_{min}$ )와 거칠기 높이분포의 편차값( $\sigma$ )의 비( $h_{min}/\sigma$ )로 경계(boundary), 혼합(mixed), 탄성유체(elastohydrodynamic), 완전유체(hydrodynamic) 윤활 상태를 결정하는 기준이 되며[2] 이러한 윤활 영역의 변환에 따라 연마기구의 변화가 필수적으로 발생한다는 것은 당연한 사실이다. 또한 패드의 표면 형상은 마찰력과 연마액의 수송능력[3], 연마열의 발생크기[4] 및 패드와 웨이퍼간의 실 접촉 면적을 결정하는 중요한 역할을 하게 되어 연마에 가장 직접적인 영향을 미치는 인자중의 하나이다.

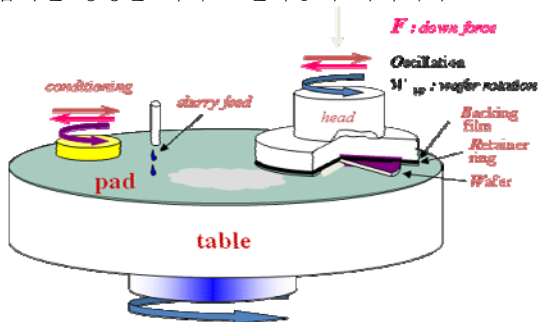


Fig. 1. Schematics of precision polishing equipment

따라서 본 논문에서는 초경면 연마공정 중 패드의 표면 상태가 어떻게 변화해 나가는가에 대하여 조사하며 이러한 패드 표면상태의 변화를 정량적으로 측정하였다. 또한 기존의 표면 거칠기 인자 중 연마현상과 관계가 깊은 인자에 대해 조사하고 이들과 연마율과의 관계에 대한 연구결과를 기술하였고 이를 바탕으로 추후 마찰력, 연마온도 및 박막의 연마형상과의 관계에 대하여 연구할 수 있는 기반을 마련하고자 한다. 이러한 연구결과는 실제 연마공정이나 컨디셔너의 개발 혹은 컨디셔닝 기법의 개발 및 패드 개발에 실질적인 도움을 줄 수 있을 것이다.

### 2. 표면거칠기의 정의 및 종류

표면의 기하학적인 형상을 정의하는 가장 대표적인 방법이 표면거칠기(surface roughness)로서 이것은 표면의 기하학적인 형상을 통계적인 방법을 이용하여 정의하며, 표면 돌기들의 높이(amplitude parameter), 넓이(spacing parameter), 형상(hybrid parameter) 등을 수치적으로 제시 하게 된다. 높이 인자로서 대표적인 것은 Ra, Ry, Rz(=Rp+Rv), Rq, Rsk 등이 있으며, 넓이 인자로서는 주로 표면 돌기들의 개수와 간격을 대표하는 인자인 RSm(mean spacing between profile peak), HSC(High Spot Count), RPe(Number of local peaks) 등이 있다. 또한 형상에 관한 인자들로서는 BAC (Bearing area curve)로부터 얻어지는 Rpk, Rvk, Rk, MR1 등의 인자들로서 표면 거칠기를 정의하게 된다[5].

일반적으로 반도체 연마공정에서 가장 많이 사용되는 연마 패드는 독립 발포형 패드로서 표면적의 약 50%정도가 직경 20~50 $\mu$ m 정도의 발포체(pore)로 이루어져 있다. 이러한 독립 발포구조는 슬러리의 수송능력을 확보하여 웨이퍼 전면에 입자와 화학 액을 균일하게 공급하는 기능을 가지고 있으며 또한 발포체를 제외한 표면 상층부(wall)의 비교적 높은 경도를 이용하여 패딩 구조의 평탄화 특성을 높여주는 역할을 하게 된다. 따라서 웨이퍼와의 접촉이 일어나는 경우 실질적인 접촉은 패드 표면부에서 이루어 지게 될 것으로 예상된다. 따라서 연마작용에 가장 직접적인 영향을 미치는 부분은 표면 상층부이며 이 면의 표면거칠기에 대한 정보가 가장 중요함을 예상할 수 있다.

### 3. 실험 및 결과고찰

연마 시 패드의 표면 상태 변화와 연마율과의 관계를 확인하기 위하여 실험을 수행하였다. 먼저 연마패드 초기 표면을 형성을 위해 ABT 사의 8 인치 컨디셔너를 이용하여 150 g/cm<sup>2</sup>의 압력으로 30 분 동안 컨디셔닝 한 이후 60 분 동안 컨디셔닝 없이 연마를 진행하면서 패드 표면조도의 변화를 관찰하였다. 연마조건은 패드 IC1400(Rodel), 슬러리 ILD1300(Rodel), 웨이퍼 및 패드 회전수 60/60rpm 그리고 연마압력은 300 g/cm<sup>2</sup>이다. 패드 표면조도의 측정은 연마 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 60 분 후에 각각 측정을 수행하였다. 연마율은 각 실험마다 1 분 동안 6 인치 PETEOS 막을 연마하여 Rudolph 사의 엘립소메타(Ellipsometer)인 Auto EL-III 를 이용하여 연마량을 측정하였다. 연마시간에 따른 표면거칠기의 변화를 측정하기 위하여 접촉식 표면조도 측정기인 Mitutoyo 사의 SJ-301 기종을 사용하였다. 측정침은 플라스틱 재질의 측정이 가능하도록 반경(nose radius) 5 $\mu$ m 의 팁을 사용하였으며, 측정침의 각도(nose angle)는 90 도, 측정하중은 4mN 이다. 또한 AE 센서(PAC 사)와 압전형 하중센서를 이용하여 패드 표면과 접촉진동을 측정하고 표면거칠기의 실시간 감시 가능성을 평가하였다.

시간에 따른 표면거칠기의 변화 측정 값 중 시간에 따른 경향성을 가지는 인자와 랜덤한 형태의 값을 보이는 인자가 있음을 알 수 있다(Fig.2). 이러한 인자들을 연마율과의 선형상관계수를 계산하여 Fig. 2(lower)에 나타내었다.

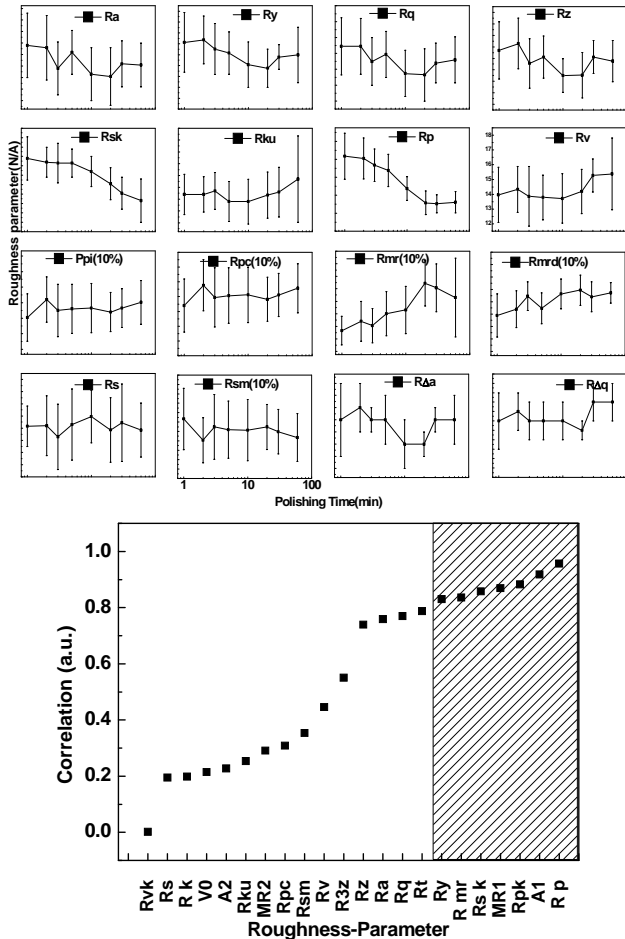


Fig. 2 Roughness variation with time(upper) and correlation plot between removal rate and roughness parameters(lower); shaded area represents correlation with >0.8. (Ry, Rmr, Rsk, MR1, Rpk, A1, Rp)

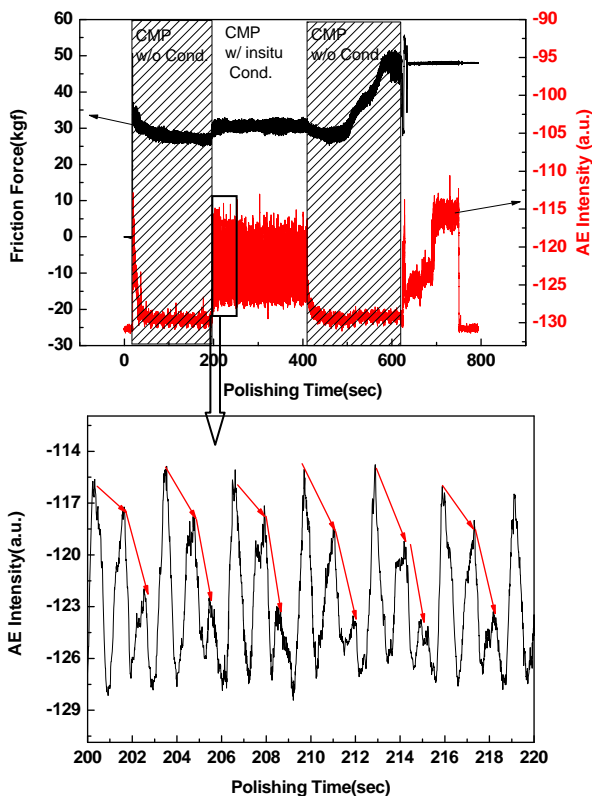


Fig. 3 AE and friction signal during polishing process; (upper) whole data plot of friction and AE, (lower) magnified plot of AE intensity which shows periodical change in intensity.

Fig. 2(lower) 에서 볼 수 있는 바와 같이 연마율과 높은 상관관계를 가지는 인자는 Amplitude parameter 가 대부분을 차지하고 있으며 Hybrid parameter 중에서는 BAC(Bearing Area Curve) 에서 도출된 인자들임을 알 수 있다.

특히 이들 중 연마율과 상관관계수 0.8 이상을 보이는 표면 거칠기 인자들은 패드 돌기의 가장 높은 지점을 통계 처리한 인자들과 하이브리드 인자 중 돌기(asperity)상부 정보를 통계 처리한 실접촉 면적과 관련된 인자이다. 본 결과를 통하여 실험된 범위 내에서의 연마 메커니즘은 패드와 웨이퍼의 직접 접촉에 의한 연마로 볼 수 있다. 따라서 패드 표면상태의 실시간 계측은 연마공정 감시 및 제어의 핵심적인 공정제어기술이 됨을 알 수 있다.

연마가 돌기 접촉으로 이루어 지는 경우 직접 접촉 시 발생하는 신호를 감지하는 것은 연마에 관한 매우 유용한 정보를 얻을 수 있다는 것을 예측할 수 있다. 따라서 접촉 탄성파변화에 가장 민감한 센서 중 하나로 알려진 AE(acoustic emission) 센서를 적용하여 패드상태 모니터링 적용가능성에 대해 기초 테스트한 결과를 Fig. 3 에 나타내었다. 측정은 연마 시 in-situ 및 ex-situ 로 하여 패드 표면 거칠기 변화 특성이 감지되는가를 평가하였다. Fig. 3(lower) 에서 볼 수 있는 바와 같이 in-situ 컨디셔닝 시 패드 표면을 주기적으로 긁을 때 나타나는 거칠기 변화가 AE 센서에 관측 가능한 형태로 측정됨을 알 수 있으며 향후 관련 연구를 통하여 패드 표면상태 감시 부분에 적용가능성이 있음을 보여주고 있다.

#### 4. 결론

패드 표면 상태와 연마에 관한 상관관계를 실험적인 방법으로 연구하였다. 실험결과를 통하여 패드의 거칠기 인자 중 높기와 관련된 인자의 변화가 연마율과 높은 상관관계를 보였으며 이 중 돌기 최상부를 통계처리한 인자가 연마율과 가장 큰 상관관계를 보였다. 이를 통하여 돌기와 직접적인 접촉에 의해 연마가 이루어짐을 보여주고 있다. AE 센서를 이용한 결과에서도 직접 접촉 메커니즘을 잘 반영하고 있다. 또한 본 논문에서는 AE 센서를 이용한 패드표면상태 계측이 연마현상 연구 및 산업적 응용가능성이 높음을 제시하였다.

#### 참고문헌

1. Y. Obeng et. al., "Characterization of In-process Degradation of Polyurethane CMP Pads", Chemical Mechanical Planarization V, Electrochemical Society Proceedings Vol. PV2002-1, pp13-25, 2002.
2. B. Bhushan, "Principles and Applications of Tribology", John Wiley & Sons Inc, NY, pp586-591.
3. J. Coppeta et. al. "Investigating Slurry Transport Beneath a Wafer during Chemical Mechanical Polishing Process", J. of the Electrochemical Society, Vol. 147(5) pp1903-1909, 2000.
4. H. Kim, D. Kwon, H. Jeong, E. Lee, Y. Shin, "Tribological Aspects in Chemical Mechanical Polishing", 9th International Chemical-Mechanical Planarization for ULSI Multilevel Interconnection Conference (CMP-MIC), 201-208, Santa Clara CA, 2002.
5. Mitutoyo Co. SJ-301 User's manual, No.99MBO91A, Series No.178, pp14.1-14.36, 1999.
6. L. Shan, "Mechanical Interactions at the Interface of Chemical Mechanical Polishing", Ph.D thesis, Georgia Institute of Tech. 2000.