

모니터링을 통한 사파이어 기판 연마에서의 마찰 특성

Friction Monitoring of Sapphire Substrate during Polishing

*이호준¹, 이창석¹, 최성하¹, 신운기¹, 이현섭², 조형호³, 정해도¹

*H. J. Lee¹, C. S. Lee¹, W. K. Shin¹, H. S. Lee², H. H. Cho³, #H. D. Jeong(hdjeong@pusan.ac.kr)¹
¹부산대학교 기계공학부, ²부산대학교 ERC, ³한국생산기술연구원 융합부품소재센터

Key words : Sapphire substrate, CMP, Monitoring, Friction, COF

1. 서론

최근 고휘도 LED 기술개발의 급속한 발전과 시장의 급격한 팽창에 따라서 활용분야가 광범위하게 넓어져 산업 전반에 사용되고 있으며, 또한 차세대 광 기술로서의 중요성이 인식되고 있다. 특히 청색 LED용 질화물계 반도체인 GaN의 경우 박막성장시 고온하에서 이루어지므로 변형 응력을 적게 받는 사파이어 기판(sapphire substrate)을 쓰고 있지만 부정합이 13.6%나 되며 7.8의 격자간의 평균적인 배치로 이루어지는 기하학적 부정합으로 인해 양질의 박막성장을 저해하므로 특히, 사파이어 기판의 표면조도, 평탄도의 확보가 중요하다[1].

광역 평탄화를 위한 연구는 반도체 공정을 중심으로 광범위하게 연구가 진행되고 있으며, VLSI 반도체 공정에서 광역 평탄화(global planarization)를 이루기 위한 CMP(chemical mechanical polishing) 공정이 제시되었다[2][3]. CMP 공정은 연마패드(pad)와 사파이어 웨이퍼(wafer) 사이에 화학 슬러리(slurry)를 공급하여 압력을 가한 상태에서, 서로 상대운동으로 연마 가공되어지는 메커니즘을 갖는다. 이러한 연마과정은 Preston의 식으로 표현되어진다[4].

$$RR \text{ (nm/min)} = \eta \cdot \rho \cdot v \quad (1)$$

RR(removal rate)은 시간당 표면제거량 즉 연마율, ρ 는 접촉면의 연마압력이고 v 는 웨이퍼와 패드의 상대속도이다. η 는 연마 조건으로 정해지는 상수로 Preston 계수이다. 화학적 작용이 복합된 CMP 공정에서는 Preston 계수 η 에 의해서 연마율이 크게 변동되어진다[5]. CMP 공정은 슬러리가 개입된 두개의 표면이 상대속도와 압력을 가지고 운동을 하는 전형적인 마찰과 마멸을 이용하는 공정이다. 따라서 마찰면에서 발생하는 마찰력과

연마온도 등의 모니터링 시스템을 통한 측정은 연마 현상을 이해하는데 많은 도움이 된다.

본 연구에서는 모니터링 시스템을 이용하여 연마 공정의 마찰 신호를 획득하고 마찰력(friction force)과 마찰계수(COF; coefficient of friction)에 대한 분석을 통하여 사파이어 웨이퍼 연마 특성을 파악하였다.

2. 실험방법 및 조건

실험에 사용된 웨이퍼는 r-plane의 4인치 사파이어 웨이퍼이고, 패드는 연질 부직포(felt) 패드인 Suba 800을 사용하였다. 슬러리는 콜로이달 실리카 입자의 단일 입자 슬러리(SAS; single abrasive slurry)와 고능률 연마를 위하여 다이아몬드 입자를 첨가한 혼합 입자 슬러리(MAS; mixed abrasive slurry)를 사용하여 비교·분석하였다. 연마기는 POLI400(G&P Technology Inc.) 장비를 사용하였다. 구체적인 실험 조건은 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Experimental conditions

Wafer	4inch sapphire
Pad	Felt type (Suba800, XY groove)
Pressure	100 / 200 / 300 / 400 / 500 g/cm ²
Velocity	40 / 60 / 80 / 100 / 120 rpm
Slurry	SAS : colloidal silica (120nm, 20wt%) MAS : colloidal silica + diamond (125nm, 25g/l)
Flow rate	150 ml/min
Process time	30min

3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 연마 압력 및 속도에 따른 연마율, 마찰력 그리고 마찰계수에 대한 그래프이다. Preston의 식에 따라 연마 압력 및 속도가 증가함에 따라 연마율도 선형적으로 증가하였다. MAS를 사용한

경우, 연마 압력 500g/cm², 80rpm의 연마 속도 조건에서 약 19.22nm/min의 가장 높은 연마율을 나타내었고, 전체적으로 SAS의 연마율에 비해 약 20%가 증가한 것을 알 수 있었다.

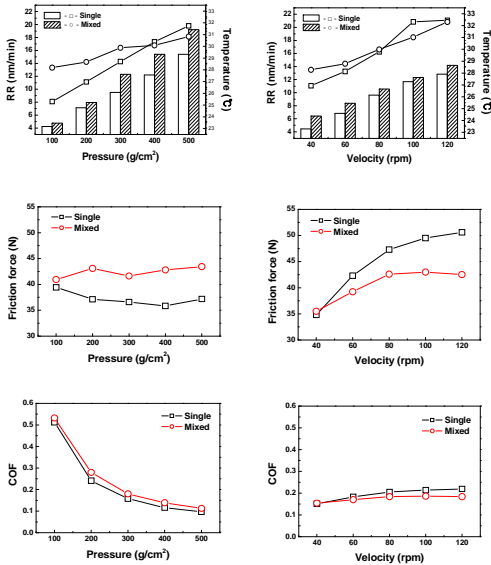


Fig. 1 Material removal rate, friction force and COF as a function of pressure and velocity.

마찰력은 압력이 증가함에 따라 값의 큰 변화가 없고 속도가 80rpm까지 증가함에 따라 증가하다가 안정화되는 현상을 볼 수 있다. 따라서 본 실험 조건의 사파이어 연마에서 마찰력에 대한 주 인자는 연마 속도라고 할 수 있다.

이 현상은 유체가 개입된 상태에서 상대 운동하는 두 면의 접촉상태를 확인 할 수 있는 Stribeck 곡선에 의해 확인된다[6]. 실험을 바탕으로 한 Stribeck 곡선을 Fig. 2에 나타내었다. 이는 완전유체 윤활상태(HL; hydrodynamic lubrication)로써 표면거칠기에 비해 유막의 두께가 매우 두꺼워 두 면 사이의 마찰 현상은 유체의 점도와 유막 두께에 의존하며 압력에 대한 영향은 작은 구간이다. 따라서 이 실험에서의 사파이어 연마는 완전유체 윤활 상태에서 이루어졌음을 예측 할 수 있다.

압력에 대한 마찰력은 SAS보다 MAS의 마찰력이 크게 측정되었다. 이는 높은 경도의 다이아몬드 입자의 첨가로 인한 현상으로 판단된다. 속도에 대한 마찰력은 MAS가 더 작은 마찰력이 측정되었다. 이는 입자함량이 많은 MAS가 연마속도 증가로

인한 슬러리의 유속 변화가 상대적으로 적기 때문에 SAS보다 마찰력이 낮은 것으로 판단된다.

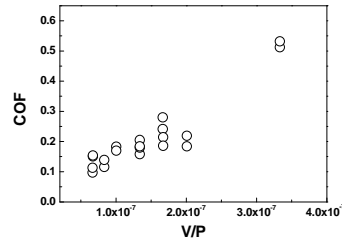


Fig. 2 Stribeck curve of sapphire CMP (V/P: Sommerfeld number, V: velocity and P: pressure)

4. 결 론

마찰력 모니터링 시스템을 이용하여 사파이어 웨이퍼 연마를 실시하였다. 콜로이달 실리카와 다이아몬드 입자가 혼합된 MAS를 사용하여 SAS보다 낮은 마찰력과 COF를 나타내며 19.22nm/min의 높은 연마율을 보였다.

마찰력 모니터링 결과, 마찰력에 대한 주 인자는 연마 속도임을 확인하였고, Stribeck 곡선을 통하여 사파이어 웨이퍼는 완전유체 윤활상태에서 연마가 이루어짐을 예측 할 수 있었다.

참고문헌

1. Kim, K and Koh, J. C., "GaN epitaxial growths on chemically and mechanically polished sapphire wafers grown by Bridgeman method," J. of KACG, Vol. 10, No. 5, pp. 350-355, 2000.
2. Ali, I., Roy and S.r. G. Shinn, "Chemical Mechanical Polishing of Interlayer Dielectric: A review," Solid State Technology, Vol. 37, pp. 63-70, 1994.
3. Desai, M., Jairath, M., Stell, M. and Tolles, R., "Chemical Mechanical Polishing for Planarization in Manufacturing Environment," Mat. Res. Soc. Symp. Proc. 337, pp. 99-104, 1994.
4. Preston, F. W., "The Theory and Design of Plate Glass Polishing Machines," Journal Society of Glass Tech, pp. 214-256, 1927.
5. Cook, L. M., J. Non-cryst. solids, Vol. 120, pp. 152, 1990.
6. Bhushan, B., "Principles and Applications of Tribology," New York, John Wiley & Sons, 1999.