

## 사파이어 웨이퍼 DMP에서 마찰력 모니터링을 통한 재료 제거 특성에 관한 연구

조원석<sup>1</sup> · 이상직<sup>1,\*</sup> · 김형재<sup>1</sup> · 이태경<sup>1</sup> · 이성범<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국생산기술연구원 정밀가공제어그룹 · <sup>2</sup>인제대학교 고안전차량핵심기술연구소

### A Study of Material Removal Characteristics by Friction Monitoring System of Sapphire Wafer in Single Side DMP

Wonseok Jo<sup>1</sup>, Sangjik Lee<sup>1,\*</sup>, Hyoungjae Kim<sup>1</sup>, Taekyung Lee<sup>1</sup> and Seongbeom Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Korea Institute of Industrial Technology

<sup>2</sup>High Safety Vehicle Core Technology Research Center, Inje University

(Received October 23, 2015; Revised February 25, 2016; Accepted February 29, 2016)

**Abstract** – Sapphire has a high hardness and strength and chemical stability as a superior material. It is used mainly as a material for a semiconductor as well as LED. Recently, the cover glass industry used by a sapphire is getting a lot of attention. The sapphire substrate is manufactured through ingot sawing, lapping, diamond mechanical polishing (DMP) and chemical mechanical polishing (CMP) process. DMP is an important process to ensure the surface quality of several nm for CMP process as well as to determine the final form accuracy of the substrate. In DMP process, the material removal is achieved by using the mechanical energy of the relative motion to each other in the state that the diamond slurry is disposed between the sapphire substrate and the polishing platen. The polishing platen is one of the most important factors that determine the material removal characteristics in DMP. Especially, it is known that the geometric characteristics of the polishing platen affects the material removal amount and its distribution. This paper investigated the material removal characteristics and the effects of the polishing platen groove in sapphire DMP. The experiments were preliminarily carried out to evaluate the sapphire material removal characteristics according to process parameters such as pressure, relative velocity and so on. In the experiment, the monitoring apparatus was applied to analyze process phenomena in accordance with the processing conditions. From the experimental results, the correlation was analyzed among process parameters, polishing phenomena and the material removal characteristics. The material removal equation based on phenomenological factors could be derived. And the experiment was followed to investigate the effects of platen groove on material removal characteristics.

**Keywords** – sapphire wafer(사파이어 웨이퍼), diamond mechanical polishing(다이아몬드 기계적 연마), material removal rate(재료 제거율), friction monitoring system(마찰력 감시 시스템)

#### Nomenclature

$\dot{q}$  : Material removal rate ( $\mu\text{m}/\text{min}$ )  
K : Preston coefficient  
P : Pressure( $\text{g}/\text{cm}^2$ )

V : Velocity(rpm)  
 $F_f$  : Friction force(kg)  
s : Distance(m)

#### 1. 서 론

\*Corresponding author : sjiklee@kitech.re.kr  
Tel: +82-51-974-9344, Fax: +82-51-974-9291

LED용 웨이퍼로 사용되는 사파이어는 경도가 강하고 화학적으로 안정하여 고정도, 고품위 가공을 위해서

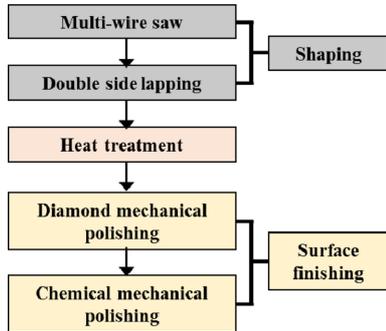


Fig. 1. Flowchart of wafering process.

는 복잡한 공정이 요구된다. Fig. 1과 같이 사파이어 웨이퍼 제조 공정은 크게 형상 결정 공정(shaping)과 표면 결정 공정(surface finishing)으로 나눌 수 있으며, 형상 결정 공정은 성장된 사파이어 잉곳을 절삭하는 와이어 쏘우(Multi-Wire Saw, MWS)와 절단된 웨이퍼의 두께 편차와 평면도를 바로잡기 위한 양면 랩핑(Double Side Lapping, DSL)공정으로 구성된다. 표면 결정 공정은 이전 공정에서 발생한 표면 결함과 형상 오차를 최소화하고 최종 두께를 결정하는 DMP공정, 표면의 결함을 완전히 제거하는 CMP공정으로 구성된다[1]. DMP 공정은 연마 정반과 웨이퍼 사이에 1~6  $\mu\text{m}$ 의 다이아몬드 슬러리를 개재시킨 후 가압된 상태의 웨이퍼와 정반 간의 상대운동으로 웨이퍼 표면을 정밀 가공하는 재료 제거 메커니즘을 가진다[2]. DMP공정은 전형적인 마찰과 마멸을 이용하는 공정으로 접촉면에서 발생하는 전단력이 절삭력으로 작용하여 마찰력의 형태로 나타나게 되며, 접촉면에서 발생하는 마찰력을 측정하는 것은 연마 현상을 이해하는데 중요한 역할을 한다[3].

본 연구에서는 사파이어 웨이퍼의 DMP 공정에서 재료 제거 특성을 살펴보기 위해 Preston 방정식에 기초한 가공 압력과 속도에 대한 실험을 진행하였다. 그리고 이때의 마찰력을 측정하여 재료 제거 특성에 대한 관계를 확인하고, 이를 통해 재료 제거와 관련된 실험적 모델을 제안하고자 하였다.

## 2. 공정변수가 DMP 공정에 미치는 영향

### 2-1. 실험방법 및 내용

DMP 공정에서 압력과 속도가 재료제거와 마찰특성에 미치는 영향을 분석하기 위한 실험을 진행 하였다. 실험에는 Fig. 2와 같이 마찰력 감시 시스템이 설치된

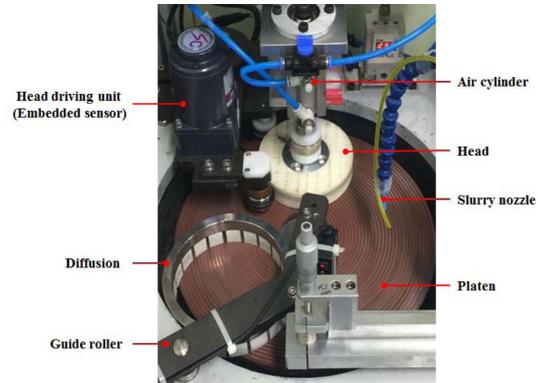


Fig. 2. Experiment equipment.

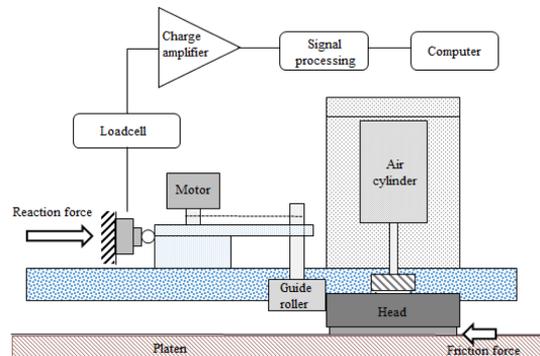


Fig. 3. Schematic of friction force monitoring system.

Single-head rotary 연마장치를 사용하였다. 가공 중에 발생하는 마찰력은 Piezoelectric quartz sensor (9134B, Kistler) 및 전하증폭기(5039A, Kistler)로 실시간 모니터링하였다. Fig. 3와 같이 센서를 통해 획득된 마찰력은 이를 분석하기 위하여 제작된 소프트웨어(CMPeye, G&P tech.)의 분석기능을 통해 확인하였다.

공정 변수인 압력과 속도는 각각 200~400  $\text{g}/\text{cm}^2$ , 60~105 rpm로 변경하며 진행하였으며, 정반의 피치는 4 mm로 고정하고, 랜드의 폭이 2 mm가 되도록 깊이 1 mm의 나선형 그루브를 가공한 구리-수지 정반을 사용하였다. 직경 4 inch 사파이어 웨이퍼를 오일기반의 3  $\mu\text{m}$  다이아몬드 슬러리를 사용하여 가공하였으며, 슬러리의 유량은 4 ml/min으로 공급하였다. 실험은 10분간 4회 진행하였으며, 자세한 실험 조건은 Table 1에 나타내었다.

### 2-2. 공정변수가 재료 제거 특성에 미치는 영향

Preston 방정식은 연마공정에서의 일반적인 재료제거

**Table 1. Experimental condition**

| Parameters    | Conditions  |
|---------------|---|
| Platen        | Copper-Resin Plate (KEMET)  |
| Platen design | Pitch 4 mm, Groove 2 mm   |
| Slurry        | Polycrystal diamond, Primary diameter 3 μm (Link Korea)               |
| Slurry flow   | 4 ml/min  |
| Wafer         | 4 inch sapphire   |
| Time          | 10 minutes (4 times)  |
| Pressure      | 200 g/cm <sup>2</sup> , 300 g/cm <sup>2</sup> , 400 g/cm <sup>2</sup> |
| Velocity      | 60 rpm, 75 rpm, 90 rpm, 105 rpm                                       |
| Equipment     | Single-head rotary polisher with monitoring system                    |

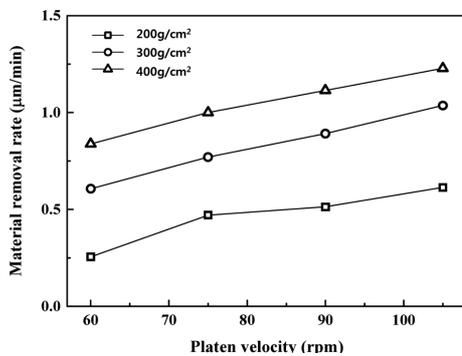
모델로서 DMP와 같이 기계적 에너지를 이용하는 연마 공정에서 웨이퍼에 대한 재료 제거 특성을 나타내는 대표적인 지배방정식이다. 식 (1)은 Preston 방정식을 나타낸 것으로 재료 제거율은 압력과 속도에 선형 비례한다는 것을 의미한다[4].

$$\dot{q} = K \cdot P \cdot V \tag{1}$$

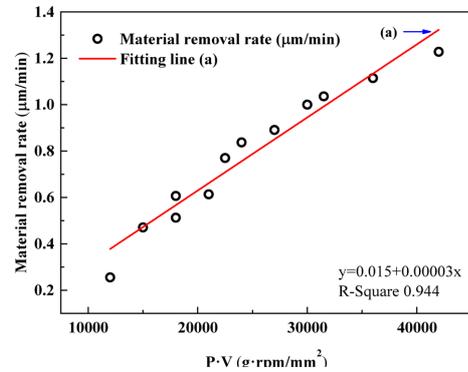
이때  $\dot{q}$ 는 단위시간당 재료 제거율을 나타내며,  $K$ 는 Preston 상수,  $P$ 는 가공 압력,  $V$ 는 정반의 상대 속도를 나타낸다.

Fig. 4는 압력과 속도의 변화에 따른 재료 제거율 변화를 나타낸 결과이다. 재료 제거율은 압력과 속도에 대해 비례 증가하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 5에서와 같이 압력과 속도의 곱에 대해 재료 제거율로 분석해 보았을 때 재료 제거율은 선형 비례



**Fig. 4. Results of material removal rate between pressure and the velocity of plate.**



**Fig. 5. Corelation of material removal rate for the product of the values of the pressure and the velocity of platen.**

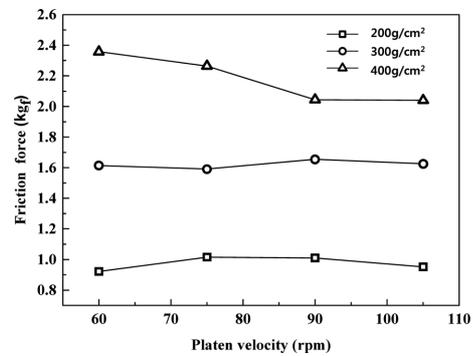
관계에 있으며, 이는 사파이어 DMP에서 압력 속도의 영향을 분석하는데 있어 Preston 방정식이 유효함을 알 수 있다.

**2-3. 공정변수가 마찰특성에 미치는 영향**

공정변수인 압력과 속도에 대한 실험을 통해 얻은 마찰력 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 마찰력은 속도 조건보다 압력에 지배적인 영향을 받는 것을 확인하였으나, 마찰력의 경향이 재료제거율과 동일하게 나타나지 않았다. 하지만 이 결과를 Fig. 7과 같이 재료 제거율과 마찰에너지에 대한 결과로 나타내었을 때, 선형 관계에 있는 것을 알 수 있었으며, 이로부터 마찰에너지에 기반한 새로운 재료제거 방정식 식 (2)를 유도하였다.

$$\dot{q} = K' \cdot F_f \cdot s \tag{2}$$

$\dot{q}$ 는 재료제거율,  $K'$ 는 재료 제거 상수,  $F_f$ 는 마찰



**Fig. 6. Friction force according to pressure and the velocity of platen.**

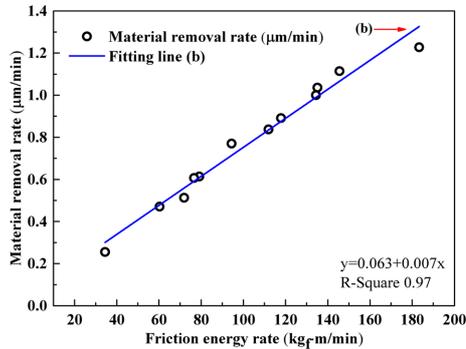


Fig. 7 Correlation of material removal rate for friction energy rate.

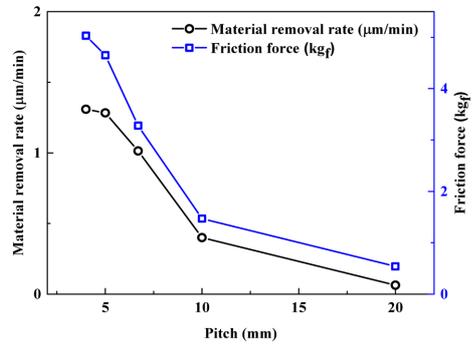


Fig. 8. The measurement result of the material removal rate and the friction force on the pitch size.

력, s는 상대이동거리를 나타낸다.

### 3. 정반의 피치 변화가 DMP공정에 미치는 영향

#### 3-1. 실험방법 및 내용

DMP 공정에서 연마 정반의 피치 변화가 재료제거율에 미치는 영향을 알아보고 제안된 재료제거 방정식의 유효성을 확보하기 위한 실험을 실시하였다. 실험은 정반의 형상을 피치에 대한 그루브의 형상과 크기는 고정하고, 피치를 4, 5, 6.7, 10, 20 mm까지 변화시켰으며, 압력을 400 g/cm<sup>2</sup>, 정반의 속도를 90 rpm으로 고정하고 안정화 공정(charging process)을 거친 후 실험을 진행하였다. 초기 웨이퍼의 표면은 DMP

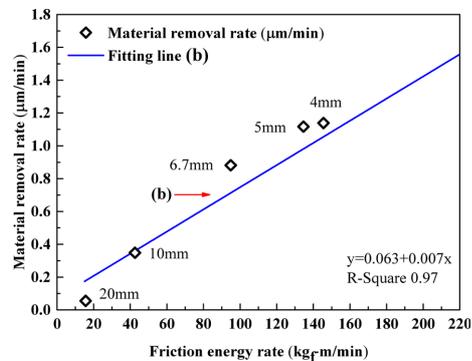


Fig. 9. Results of the friction energy rate and material removal rate on the pitch size.

된 면을 사용하였으며, 10분씩 4회의 연마 가공하였다. 각 실험마다 재료 제거율과 마찰력을 측정하여 비교하였으며, 자세한 실험 조건은 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Experimental condition

| Parameters    | Conditions   |
|---------------|--|
| Platen        | Copper-Resin Plate (KEMET)                                 |
| Platen design | Pitch 4, 5, 6.7 10, 20 mm,<br>Groove 2 mm                  |
| Slurry        | Polycrystal diamond, Primary diameter<br>3 μm (Link Korea) |
| Slurry flow   | 4 ml/min   |
| Wafer         | 4 inch sapphire  |
| Time          | 10 minutes (4times)  |
| Pressure      | 400 g/cm <sup>2</sup>                                      |
| Velocity      | 90 rpm   |
| Equipment     | Single-head rotary polisher with<br>monitoring system      |

#### 3-2. 피치 변화에 대한 마찰특성

피치에 따른 재료 제거율과 마찰력 변화 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 피치가 감소함에 따라 재료 제거율과 마찰력은 증가하는 경향을 보였다. Fig. 9는 마찰에너지에 대한 재료 제거율을 나타낸 결과이다. 피치 변화에 대한 마찰에너지와 재료 제거율이 Fig. 7의 마찰에너지 추세선과 마찰에너지에 기초한 재료 제거 모델을 잘 따르고 있음을 확인하였으며, 피치가 증가하는 것에 따른 마찰에너지와 재료 제거율이 선형 비례 관계에 있음을 알 수 있다.

이를 바탕으로 마찰력 측정을 통한 마찰에너지 기반의 재료제거 모델은 압력, 속도 이외의 가공인자가 미치는 영향을 분석하는데 있어서도 유용하게 활용될 수 있음을 확인하였다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 가공 압력과 속도에 대한 기초적인 실험을 통하여 재료제거율은 가공압력과 속도에 비례함을 알 수 있었으며, Preston 방정식이 사파이어 웨이퍼 재료 제거특성을 분석하는데 유효함을 확인하였다. 또한 실험에서 획득한 마찰력을 이용하여 마찰에너지와 재료제거율이 선형 비례에 있음을 확인하고, 이에 기반한 재료 제거 모델을 제안하였다.

정반의 그루브 피치 변화가 재료제거에 미치는 영향을 분석하기 위한 실험을 통해 정반의 피치가 감소할수록 재료 제거율은 증가함을 알 수 있었다. 연마 중에 측정된 마찰력을 이용하여 새롭게 제안한 마찰에너지 기반 재료 제거 모델 결과와 비교함으로써 압력과 속도 이외에도 가공에 미치는 인자를 분석하는데 있어 마찰력을 모니터링하여 재료 제거특성을 예측 및 분석

것이 유효하다는 것을 실험적으로 확인하였다.

#### References

- [1] Toshiro K. Doi, Toshio Kasai, Hans K. Tonshoff, "Lapping and Polishing", *Handbook of Ceramic Grinding & Polishing*, 1999, pp. 354-442.
- [2] S. W. Hwang, G. S. Shing, K. J. Kim, N. S. Suh, "A Study on the Micro-Lapping Process of Sapphire Wafers for Optoelectronic Devices", *Journal of Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 21, No. 2, 2004.
- [3] Yoshio Homma, "Effects of Mechanical Parameters on CMP characteristics Analyzed by Two-Dimensional Frictional-Force Measurement", *Journal of The Electrochemical Society*, 2003, pp. 751-757.
- [4] F. W. Preston, "The Theory and Design of Plate Glass Polishing Machine", *Journal of The Society of Glass Technology*, Vol. 11, 1927, pp. 214-256.