

DOI <http://dx.doi.org/10.9725/kstle.2016.32.2.67>

CMP 공정에서 압력과 정반속도가 사파이어 웨이퍼 재료제거율에 미치는 영향

박상현 · 안범상 · 이종찬[†]

금오공과대학교 기계설계공학과

The Effect of Pressure and Platen Speed on the Material Removal Rate of Sapphire Wafer in the CMP Process

Sanghyun Park, Bumsang An and Jongchan Lee[†]

Kumoh National Institute of Technology

(Received January 15, 2016; Revised March 18, 2016; Accepted March 20, 2016)

Abstract – This study investigates the characteristics of the sapphire wafer chemical mechanical polishing (CMP) process. The material removal rate is one of the most important factors since it has a significant impact on the production efficiency of a sapphire wafer. Some of the factors affecting the material removal rate include the pressure, platen speed and slurry. Among the factors affecting the CMP process, we analyzed the trends in the material removal rate and surface roughness, which are mechanical factors corresponding to both the pressure and platen speed, were analyzed. We also analyzed the increase in the material removal rate, which is proportional to the pressure and platen speed, using the Preston equation. In the experiment, after polishing a 4-inch sapphire wafer with increasing pressure and platen speed, we confirmed the material removal rate via thickness measurements. Further, surface roughness measurements of the sapphire wafer were performed using atomic force microscopy (AFM) equipment. Using the measurement results, we analyzed the trends in the surface roughness with the increase in material removal rate. In addition, the experimental results, confirmed that the material removal rate increases in proportion to the pressure and platen speed. However, the results showed no association between the material removal rate and surface roughness. The surface roughness after the CMP process showed a largely consistent trend. This study demonstrates the possibility to improve the production efficiency of sapphire wafer while maintaining stable quality via mechanical factors associated with the CMP process.

Keywords – polishing(연마), roughness(표면거칠기), material removal rate(재료제거율), sapphire wafer(사파이어 웨이퍼)

1. 서 론

사파이어는 LED용 기관, 스마트 기기용 Window, 렌즈, SOS(Silicon on Sapphire) 등 다양한 분야에서 활용되며 그 분야 및 시장도 점차 확장되고 있다[1]. 사파이어 활용 분야 중 대표적인 분야로 LED 기관용

사파이어 웨이퍼를 들 수 있는데 사파이어 웨이퍼 위에 GaN 박막을 성장시키기기 위하여 원자층 수준의 평탄면을 필요로 한다. 사파이어는 고경도의 특성을 갖고 있어, 제조가 상당히 어려우며 제작 과정이 복잡하다[2]. 제작 공정은 크게 ‘코어링 - 쏘잉 - Lapping - 열처리 - DMP (Diamond Mechanical Polishing) - CMP(chemical mechanical polishing)’로 나누어 볼 수 있다[3]. 사파이어 웨이퍼 제작 공정이 복잡하고 제작에 상당한 시간이 요구되기 때문에 최근에는 Lapping과 DMP 공정의 단일

[†]Corresponding author : jclee@kumoh.ac.kr
Tel: +82-54-478-7376, Fax: +82-54-478-7382

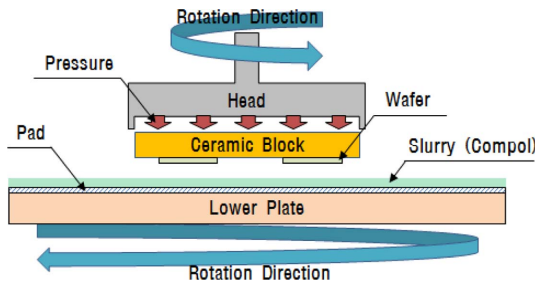


Fig. 1. CMP process.

화 등 제작 공정을 간소화하기 위한 연구가 이루어지고 있다. 공정 간소화에도 CMP 공정은 사파이어 웨이퍼 제작에 있어 가장 마지막에 진행되는 공정으로써 최종적으로 웨이퍼 표면의 스크래치, 거칠기 등 품질을 결정하기 때문에 제거하거나 단일화 할 수 없는 필수 공정으로 판단되고 있다. 이러한 CMP 공정의 안정성을 확보하기 위해 연마 불균일성에 관한 연구, CMP 공정변수에 따른 Scratch 발생 양상에 관한 연구, 슬러리 조건에 따른 표면 품질에 관한 연구 등이 진행되었으며 현재까지도 지속적으로 진행 중에 있다.

CMP공정은 화학적 특성을 갖는 특정 슬러리를 이용하여 사파이어 웨이퍼 표면을 경질화하고 Pad를 이용하여 연마하는 방식이다. 이러한 연마과정은 통상 Preston의 식으로 표현되며 Preston식은 다음과 같다[4].

$$RR (\mu\text{m}/\text{hr}) = \eta \cdot \rho \cdot v \quad (1)$$

여기서 RR(Removal rate)은 재료제거율, ρ 는 압력, v 는 상대속도, η 는 Preston 계수를 나타낸다[5].

통상적으로 사파이어 웨이퍼의 CMP공정 시간은 DMP 공정에서 발생한 스크래치를 충분히 제거하기 위하여 3시간 이상 소요되며, 시간당 1~2 μm 수준으로 총 4~6 μm 를 연마한다. 이와 같이 CMP 공정에서 상당한 시간이 소요되기 때문에 사파이어 웨이퍼의 생산성 향상을 위해서 CMP 공정 시간 절감과 동시에 표면거칠기 확보가 필수적이다. CMP 공정에 영향을 미치는 요인으로는 크게 슬러리, Pad, 압력, 정반 속도, 온도 등이 있으며, 이중 대표적인 기계적 요인으로는 압력과 정반 속도를 들 수 있다. CMP 공정을 개선시키기 위해 대부분의 연구자들은 슬러리의 개발을 통해 화학적 효과를 극대화시켜 연마율을 높이려고 했다. 하지만 이러한 방식은 연마율을 높이는데 한계를 가지고 있기 때문에 화학적인 요소 보다는 기계적인 요소를 이용하여 연마율을 높여주는 방식에 대한 연구가 진행

되고 있다[6].

본 연구에서는 CMP공정의 기계적인 요소인 압력과 정반 속도 조건이 재료제거율에 미치는 영향을 알아보고자 한다. 또한 재료제거율 변화에 따른 표면거칠기의 경향성을 분석하여 재료제거율과 표면거칠기의 상관성에 대해 확인하고 최적 가공 효율을 확보하기 위한 방안을 검토해보고자 한다.

2. 연구방법 및 내용

2-1. 실험 및 측정 장치

본 연구에서는 사파이어 웨이퍼 CMP 가공 특성 분석을 위해 4인치 사파이어 웨이퍼를 사용하였다. CMP 장비로는 NTS사의 'NSC-4036' 36G모델을 사용하였으며, 사용된 슬러리는 AMC사의 Colloidal Silica 소재의 'ecosil'로 D.I. Water와 1:1 동일한 부피 비율로 혼합하여 사용하였다. Fig. 2와 Fig. 3은 실험에 사용된 CMP 패드와 장비에 대해 나타내었다. 표면거칠기 측정에는 PARK SYSTEM사의 'XE-100' 모델의

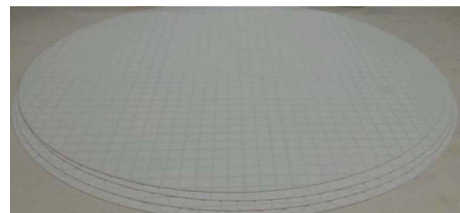


Fig. 2. The CMP Pad used in the experiments.



Fig. 3. CMP Machine.

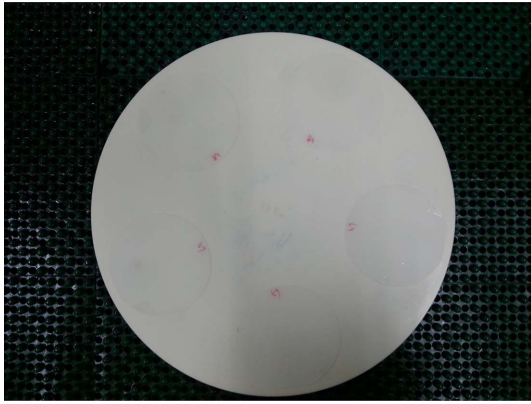


Fig. 4. The sapphire wafer used in the experiments.

AFM(Atomic Force Microscope) 장비를 이용하여 측정하였다.

2-2. 실험 조건

실험은 DMP 공정까지 완료된 4인치 사파이어 웨이퍼를 세라믹 블록에 5매씩 마운팅하여 회당 20장의 웨이퍼를 사용하였다. Fig. 4은 세라믹 블록에 마운팅된 사파이어를 나타내었다. 실험 변수로는 압력과 정반 및 헤드 속도를 적용하였으며, 압력의 경우 최소 0.6 MPa부터 1.5 Mpa까지 0.3 MPa 단위로 구분하여 적용하였고, 정반 속도의 경우 최소 30 rpm부터 최대 40 rpm까지 5 rpm 단위로 구분하여 적용하였다.

CMP 가공 시간은 DMP 가공 이후 충분한 스크래치 제거를 위하여 3시간을 적용하였으며, 정반 온도는 30°C로 설정하여 Table 1에 나타난 조건을 바탕으로 진행하였다.

Table 1. Experimental condition

Parameter	Condition
Pressure(MPa)	0.6
	0.9
	1.2
	1.5
Platen/Head Velocity (rpm)	30
	35
	40
Platen Temperature (°C)	30
Polishing Time (h)	3

3. 결과 및 고찰

3-1. 재료 제거율

사파이어 웨이퍼의 CMP 가공 후 웨이퍼의 위치별 두께 측정을 통해 재료제거율을 확인하였다. 재료제거

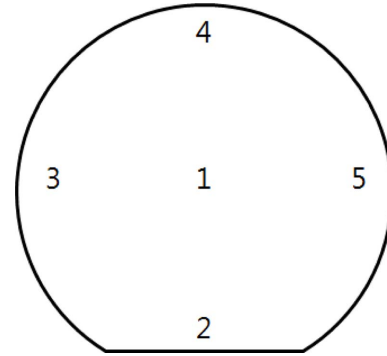


Fig. 5. Thickness measurement locations of sapphire wafer.

Table 2. Result for experimental of material removal rate

No.	Experimental Condition	Removal rate	standard deviation
1	Pressure (MPa) : 0.6 Platen Velocity (rpm) : 30	2.08 μm/hr	0.424
2	Pressure (MPa) : 0.9 Platen Velocity (rpm) : 30	1.87 μm/hr	0.461
3	Pressure (MPa) : 1.2 Platen Velocity (rpm) : 30	2.55 μm/hr	0.543
4	Pressure (MPa) : 1.5 Platen Velocity (rpm) : 30	2.43 μm/hr	0.406
5	Pressure (MPa) : 0.6 Platen Velocity (rpm) : 35	1.68 μm/hr	0.475
6	Pressure (MPa) : 0.9 Platen Velocity (rpm) : 35	1.97 μm/hr	0.375
7	Pressure (MPa) : 1.2 Platen Velocity (rpm) : 35	2.81 μm/hr	0.469
8	Pressure (MPa) : 1.5 Platen Velocity (rpm) : 35	2.89 μm/hr	0.443
9	Pressure (MPa) : 0.6 Platen Velocity (rpm) : 40	2.16 μm/hr	0.432
10	Pressure (MPa) : 0.9 Platen Velocity (rpm) : 40	2.63 μm/hr	0.444
11	Pressure (MPa) : 1.2 Platen Velocity (rpm) : 40	2.94 μm/hr	0.457
12	Pressure (MPa) : 1.5 Platen Velocity (rpm) : 40	3.41 μm/hr	0.501

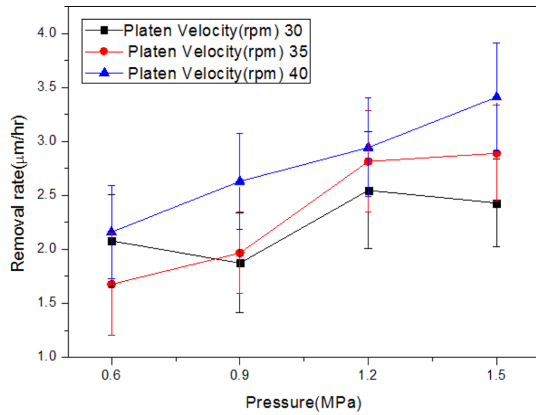


Fig. 6. Removal rate by Pressure.

을 측정에는 DMP 완료 후 세라믹에 마운팅 사파이어 웨이퍼의 Fig. 5의 위치에 두께 측정을 실시하고, CMP 완료 후 웨이퍼의 두께 측정을 통해 웨이퍼 20장의 평균 재료제거율을 비교하였으며, 그 결과는 Table 2와 Fig. 6과 같다.

Fig. 6에서 확인할 수 있듯이 압력이 증가함에 따라 시간당 재료제거율 역시 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 정반 속도가 증가함에 따라 재료제거율도 증가하는 경향을 확인하였다. 전체 실험 조건 중 가장 큰 재료제거율을 보인 조건은 압력 조건 1.5 MPa, 정반 속도 40 rpm으로 나타났다. 이는 최소 재료제거율로 나타난 압력 0.6 Mpa, 정반속도 35 rpm 조건의 1.68 $\mu\text{m}/\text{hr}$ 보다 약 1.7 $\mu\text{m}/\text{hr}$ 큰 값으로 상당한 차이를 보였다. 사파이어 웨이퍼 내의 측정위치 별 재료제거량 편차는 2 μm 수준으로 확인되었으며, Head 별 마모 편차 역시 2 μm 수준으로 확인되었다. Table 2에서 확인할 수 있듯이 각 조건 별 재료제거율 평균값에 대한 표준편차는 0.5수준으로 확인되었다. 이는 CMP 실험 전 사파이어 웨이퍼의 두께 표준편차가 2 μm 수준인 점을 미루어보아 가공 전 웨이퍼의 두께 차이에서 발생한 현상으로 판단된다.

3-2. 표면 거칠기

연마에 있어 표면거칠기는 제품의 품질을 결정하는 척도이기 때문에 연마공정을 평가하는데 있어 매우 중요한 요소 중 하나이다. CMP 가공 후 AFM 장비를 통해 표면거칠기를 측정하였다. 표면거칠기 측정 방법에는 사파이어 웨이퍼 중심부의 평방 1 μm 구간을 측정하였으며, 측정된 실험 조건별 표면거칠기는

Table 3. Result for measurement of surface roughness

No.	Experimental Condition	Roughness
1	Pressure(MPa) : 0.6 Platen Velocity(rpm) : 30	0.148 nm
2	Pressure(MPa) : 0.9 Platen Velocity(rpm) : 30	0.108 nm
3	Pressure(MPa) : 1.2 Platen Velocity(rpm) : 30	0.065 nm
4	Pressure(MPa) : 1.5 Platen Velocity(rpm) : 30	0.07 nm
5	Pressure(MPa) : 0.6 Platen Velocity(rpm) : 35	-
6	Pressure(MPa) : 0.9 Platen Velocity(rpm) : 35	0.076 nm
7	Pressure(MPa) : 1.2 Platen Velocity(rpm) : 35	0.075 nm
8	Pressure(MPa) : 1.5 Platen Velocity(rpm) : 35	0.106 nm
9	Pressure(MPa) : 0.6 Platen Velocity(rpm) : 40	0.063 nm
10	Pressure(MPa) : 0.9 Platen Velocity(rpm) : 40	-
11	Pressure(MPa) : 1.2 Platen Velocity(rpm) : 40	0.089 nm
12	Pressure(MPa) : 1.5 Platen Velocity(rpm) : 40	0.089 nm

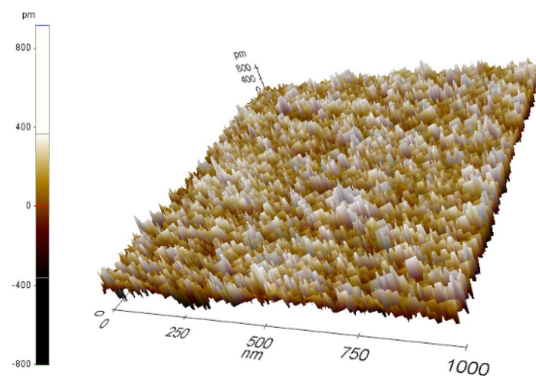


Fig. 7. 3D profile of sapphire wafer after CMP process (0.6 Mpa, 30 rpm).

Table 3과 같다.

측정 결과 전체적인 표면거칠기의 값이 1 nm가 초과 되지 않아 매끄러운 표면상태로 가공된 것을 확인하였다. 실험 변수에 따른 표면거칠기는 압력 조건과

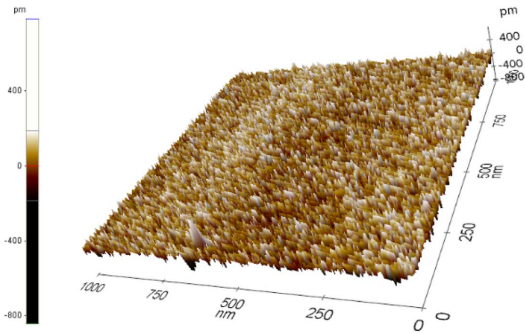


Fig. 8. 3D profile of sapphire wafer after CMP process (0.6 Mpa, 40 rpm).

정반 속도에 따른 특별한 경향성은 확인되지 않았다.

4. 결 론

본 연구에서는 사파이어 웨이퍼의 CMP 가공 특성에 관하여 실험적 분석을 진행하였다. 압력 조건과 정반 속도를 변수로 두고 CMP공정의 기계적 요인에 따른 재료제거율과 표면거칠기를 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 압력과 정반 속도가 증가할수록 재료제거율 또한 증가하였다. 실험 간 최대 재료 제거율은 3.41 $\mu\text{m}/\text{hr}$ 로 최소 재료제거율에 비해 단위시간당 1.7 μm 의 차이며 통상 CMP 공정이 시간당 1 μm ~2 μm 인 점을 미루어 봤을 때 CMP 공정에서 기계적 요인이 재료제거율에 미치는 영향이 상당하다는 것을 확인할 수 있었다.

2. 표면거칠기는 압력과 정반 속도의 조건에 큰 영향을 받지 않았다. 압력과 정반 속도가 증가함에 따라 표면거칠기의 변화는 거의 없었으며, Ra 0.2 nm 이하의 수준을 유지하였다. 이는 3시간이라는 CMP 실험 조건상 이전 공정인 DMP 공정에서의 스크래치가 모두 제거가 됨에 따라 나타나는 현상으로 판단된다.

3. 본 연구 결과 재료제거율이 증가하는 경향을 보

이면서 표면거칠기는 일정 수준을 유지하는 것으로 보아 재료제거율과 표면거칠기와의 직접적인 상관성은 없다고 판단된다. CMP 공정 간 기계적 요인의 개선을 통한 가공 효율 개선이 효과적일 것으로 보인다. 또한 CMP 공정의 최적 조건 검토를 위해서는 본 연구에서 고정인자로 설정한 온도, Pad, 슬러리 조건을 변수로 한 추가적인 실험을 통해 표면거칠기에 직접적인 영향을 갖는 인자를 검토하는 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

Acknowledgements

“본 연구는 2012년도 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술평가관리원(KEIT)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 10052882)”.

References

- [1] T.-S. Kwak, T.-S. Han, M.-W. Jung, Y.J. Kim, Yoshihiro Uehara, Hitoshi Ohmori, “A Study on Characteristics of ELID Lapping for Sapphire Wafer Material”, *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, Vol. 29, No. 12, pp. 1285-1289, 2012.
- [2] C. J. Park, H. J. Kim, D. Y. Kim, T. K. Lee, M. H. Jeon, “Study on the Effect of Dilution Ratio of Slurry on the Roughness and Removal Rate in Sapphire CMP”, *Journal of KSPE*, pp. 145-146, 2012.
- [3] Chan Hong Chung, “Mixed Nano Silica Colloidal Slurry for Reliability Improvement of Sapphire Wafer CMP Process”, *Journal of Applied Reliability*, Vol. 14, No. 1, pp. 11-19, 2014.
- [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] C. J. Park, H. D. Jeong, H. J. Kim, D. Y. Kim, “A Study on Ultra-high Pressure CMP for LED Sapphire Substrate”, *Journal of KSPE*, pp. 1211-1212, 2014.