

최적 가공 조건 선정을 위한 300mm 웨이퍼 폴리싱의 가공특성 연구

원종구*, 이정택*, 이은상⁺

(논문접수일 2007. 4. 7, 심사완료일 2007. 9. 6)

The Study on the Machining Characteristics of 300mm Wafer Polishing for Optimal Machining Condition

Jong-Koo Won*, Jung-Taik, Lee*, Eun-Sang Lee⁺

Abstract

In recent years, developments in the semiconductor and electronic industries have brought a rapid increase in the use of large size silicon wafer. For further improvement of the ultra precision surface and flatness of Si wafer necessary to high density ULSI, it is known that polishing is very important. However, most of these investigation was experiment less than 300mm diameter. Polishing is one of the important methods in manufacturing of Si wafers and in thinning of completed device wafers. This study reports the machining variables that has major influence on the characteristic of wafer polishing. It was adapted to polishing pressure, machining speed, and the slurry mix ratio. the optimum condition is selected by ultra precision wafer polishing using load cell and infrared temperature sensor. The optimum machining condition is selected a result data that use a pressure and table speed data. By using optimum condition, it achieves a ultra precision mirror like surface.

Key Words : 300mm Wafer Polishing(300mm 웨이퍼 폴리싱), Optimum Machining Condition(최적가공조건), Down Force(가압력), Temperature Variation(온도변화)

1. 서론

최근 반도체 시장은 200mm 웨이퍼에서 300mm 웨이퍼로 빠르게 전환되고 있다. 요즘의 대부분의 반도체 칩은

200mm 웨이퍼나 150mm 웨이퍼로 만들어 진다. 300mm 웨이퍼는 200mm 웨이퍼에 비하여 2배 이상의 생산수율을 낼 수 있는 장점이 있다. 반도체 시장은 이미 300mm 웨이퍼 시장으로 활성화되기 시작했고 주 생산업체는 이러한 300mm

* 인하대학교 기계공학과 대학원
⁺ 교신저자, 인하대 기계공학과 (leees@inha.ac.kr)
주소: 402-705 인천시 남구 용현동 253

웨이퍼에 대한 반도체 기술을 가진 업체가 앞으로 반도체 시장을 주도할 것으로 예상된다⁽¹⁾.

300mm웨이퍼로의 전환시점에서 가장 두드러진 현상은 과거의 반도체 제조업체에서 경비가 창출되는데 반하여 대부분의 비용이 장비 시장에서 창출되는데 기인한다⁽²⁾.

아직도 웨이퍼 생산 업체에서는 최종 폴리싱을 마친 웨이퍼에서 PIP결함, Haze결함, Dimple 결함 등이 존재하고 있으며 이는 웨이퍼의 생산 수율을 떨어뜨리는 원인이 되고 있다.

웨이퍼의 직경이 200mm에서 300mm로 대구경화 되는 추세에 따라 웨이퍼를 가공하는 전공정(total process)에서 대구경 웨이퍼의 표면 거칠기의 균일도가 중요한 기술적 난제가 되었다. 웨이퍼의 구경이 증가 할 때 마다 설계 방법(design rule)이 변하며 실리콘 웨이퍼 역시 그 수준에 준하는 기술과 물성치가 필요하게 되기 때문이다. 폴리싱은 웨이퍼가 디바이스 과정에 들어가기에 앞서 최종적으로 평탄도와 표면 정도를 만드는 과정이기 때문에 매우 중요한 과정이다. 이러한 중요성 때문에 많은 연구소와 연구원들에 의해서 다루어지고 있다. 그러나 이러한 연구는 300mm 이하의 웨이퍼에서 대부분이 이루어지고 있다.

300mm 웨이퍼의 특수성으로 인해 대부분의 총체적인 연구가 행해지기 어려워 300mm 웨이퍼에 대한 폴리싱에 대하여 아직까지 완벽하게 밝혀진 바가 드물다⁽³⁾.

본 연구에서는 300mm 웨이퍼의 폴리싱에 대하여 로드셀과 온도센서를 적용하여 가공 시 발생하는 신호를 분석하여 압력과 온도에 대한 가공 영향을 분석 평가하였다. 로드셀의 신호는 가압력(down force)에 대한 가압력의 변화를 측정하였는데, 이를 위하여 주축에 로드셀을 설치하였으며, 발생하는 신호를 1Hz로 10분간 샘플링하여 저장하였다. 온도 측정을 위하여 헤드와 플레이트(plate)와 접촉면 부분에 10cm로 띄어 반경 5cm의 범위로 측정 하였다. 본 연구의 가장 중요한 목적중의 하나는 웨이퍼의 표면 거칠기에 영향을 미치는 주된 인자의 상호간의 관계를 규명하여 대구경 웨이퍼에서 가장 중요한 균일 가압에 대하여 분석하였다. 또한 측정된 신호들은 가공 조건에 대한 영향을 보다 세밀하게 분석할 수 있었다. 그리고 최종적으로 최적의 가공조건을 선정하는데 영향을 주었다.

2. 300mm 웨이퍼 폴리싱

웨이퍼의 폴리싱은 화학적인 요소와 기계적인 요소가 복합된 공정으로써, 기계적인 요소는 슬러리에 포함된 연마입자에 의한 제거가공이며 화학적인 요소는 웨이퍼 표면에서

의 화학적인 반응 현상이다. 기계적인 요소는 폴리싱 패드, 연마입자, 웨이퍼 표면과의 상호 물리적인 작용과 관계가 있다. 화학적인 요소는 주로 슬러리의 점성과 pH값, 웨이퍼의 상대속도, 연마입자의 크기와 경도, 패드의 성질, 웨이퍼 곡률 등에 좌우되는 윤활 특성에 의해 결정된다. 연마 가공의 경우 화학적 작용과 기계적 작용은 잘 알려져 있지 않다.

래핑의 경우 재료의 제거는 주로 연마 입자에 의한 굽힘, 압입, 스크래치 등의 기계적인 현상에 좌우되고, 슬러리의 화학적 효과는 표면을 연화 시킨다거나 재료 제거율을 높여 주는 것으로 알려져 있다⁽⁴⁾.

Fig. 1은 웨이퍼 폴리싱 가공의 기본적인 방법을 대략적으로 도시한 것이다. 웨이퍼를 헤드 유닛의 척 부분에 고정시킨 후 테이블과 헤드가 회전함에 따라 상대속도를 만들고 슬러리와 웨이퍼 표면이 패드위에서 상호 작용 함으로써 가공이 수행된다⁽⁵⁾.

3. 실험 장치 및 조건

3.1 실험 장치

웨이퍼 폴리싱의 가공 특성을 분석하기 위하여 사용한 실험

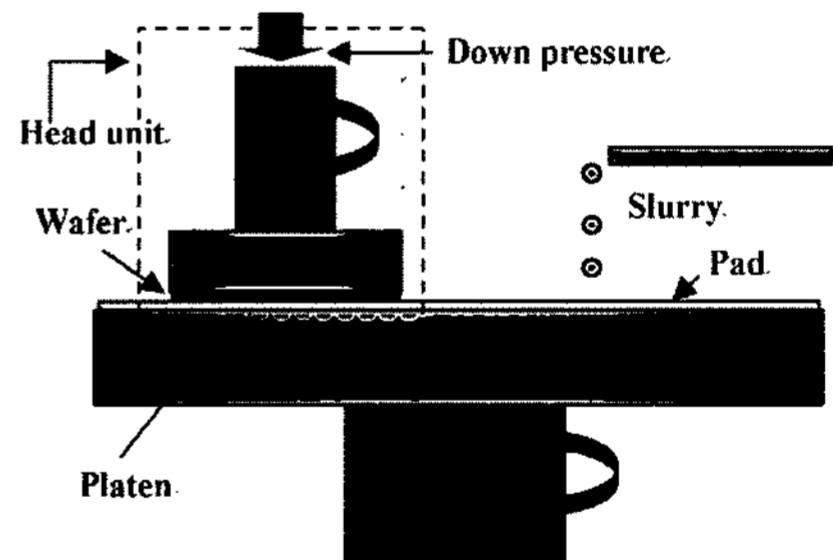


Fig. 1 Principle of wafer polishing

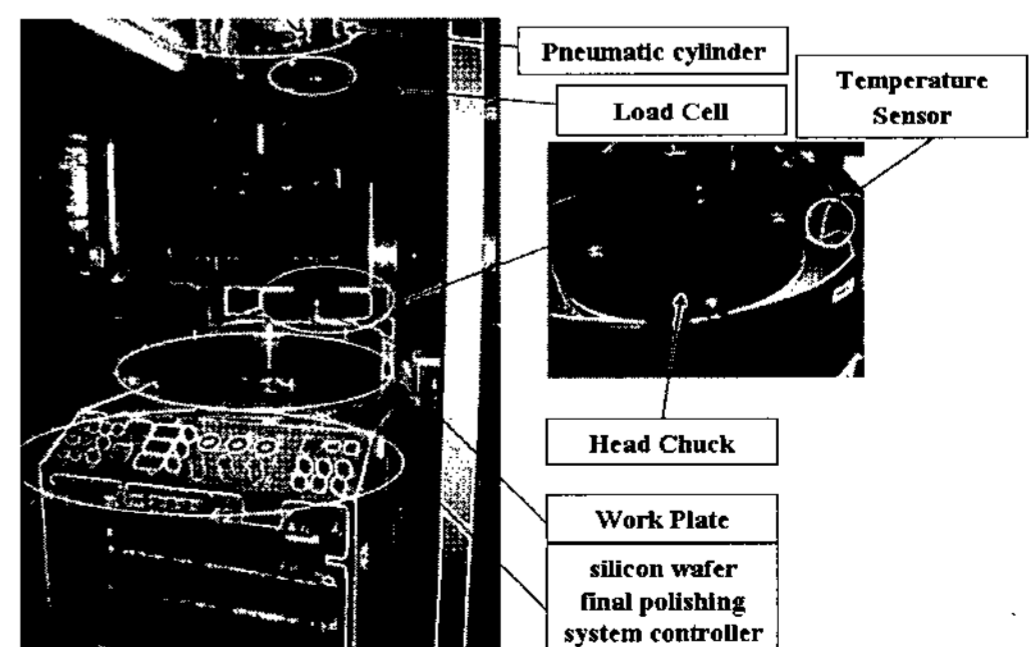


Fig. 2 Wafer polishing system

험 장치를 Fig. 2에 나타내었다.

웨이퍼 폴리싱 시스템은 공압 실린더로 헤드 유닛의 상하 이동을 하며, 로드셀이 실린더 아래에 위치해 있어 가공 시 신호를 측정한다. 헤드 척의 가압은 웨이퍼의 연마 시 직접적인 영향을 주는 부분이다. 가공 시 압력 구배가 일정하게 유지되어야 하므로 히스테리시스를 최대한 보상하도록 설계되었다. 웨이퍼의 척킹 방식은 템플릿을 사용하였다. 템플릿 방식은 다공질 재질의 진공현상을 이용하여 만들어진 방식으로 표면이 정밀한 웨이퍼를 캐리어 하기에는 적당한 방식이다.

헤드축의 구동은 플레턴부와 비슷한 벨트구동방식을 이용하여 제작 하였다. 헤드축의 구동 모터는 헤드축 뿐만 아니라 컨디셔너가 장착되어있는 컨디션축과도 연결되어 있다. 앞부분에 위치한 콘트롤러를 이용하여 가압력, 테이블 속도(table speed), 가공 시간을 정한다.

3.2 실험 조건

300mm 웨이퍼 폴리싱 가공에 있어서 슬러리 배합비율, 가압력, 속도, 온도 등이 각종 결함 생성에 영향을 미치는 요소들이다⁽⁶⁾. 실제로 이러한 요소들이 복합적인 작용에 의해서 최종 제품의 품질에 영향을 미치고 이러한 각 요소 인자를 충분히 제어하고 적절한 결합에 의해서 최적의 가공 조건을 도출해야 한다. 하지만 웨이퍼가 한정되어 있기 때문에 모든 가공인자에 대하여 충분한 실험을 하기는 불가능하다. Table 1은 실험 조건을 나타내고 있다.

Table 1 Experiment condition

Item	Contents
Size	1131mm(W) × 1522mm(D) × 2375mm(H)
Weight	2000kg
Diameter	760mm
Thickness	40mm
Wheel speed	0~70rpm
Environmental temperature	21.5℃
Humidity	43%
Slurry	Nalco(RHEM) Partcle size(30~40nm)
Pad	Suba
Template assembly	ID(내경)=300mm, OD(외경)=380mm, T(두께)=600μm

중요인자인 가압력, 테이블 속도(table speed), 가공시간을 실험 인자로 정하였다. 선정된 인자와 인자수준은 Table 2와 같다.

웨이퍼의 표면 거칠기 측정을 위하여 Fig. 3은 폴리싱된 웨이퍼의 측정 장치를 보여준다. 대구경 웨이퍼에서 가장 중요한 균일 가압 측정을 위하여 아래와 같이 5지점의 표면 거칠기를 각각 5회씩 측정하여 평균값을 표면 거칠기로 정하였다. 표면 거칠기는 Ra로 측정하였다.

3.3 실험 결과

Fig. 4는 가공 속도에 따른 압력의 변화를 나타낸 그래프이다. 압력의 변화를 측정하기 위하여 실험 장치에 설명되어 있듯이 로드셀을 이용하여 패드와 테이블의 회전에 따른 마찰력과 온도 변화에 대한 가압력의 변화를 나타내고 있다. 이 그래프는 측정된 신호 데이터를 RMS값으로 변환하였다. 0.1Mpa에서는 가압력 변화에 따른 압력의 변화가 불규칙적으로 형성 되고 있으며, 0.2Mpa에서는 회전 속도에 관계 없이 비슷한 지점에서 압력의 신호가 나타나고 있다. 하지만 각각의 속도에 따라 파형이 상이함을 알 수 있다. 10rpm에서는 두껍고 넓은 파형을 보여 주고 있으며, 20rpm은 10rpm에 비하여 진폭이 짧게 형성 되고 있다. 하지만 30rpm의 파

Table 2 Experiment parameters

Table speed	10rpm	20rpm	30rpm
Down Force [Mpa]	0.1		
	0.2		
	0.3		
Oscillation	12rpm		
Slurry Ratio	1:10		
Running Time	600seconds		

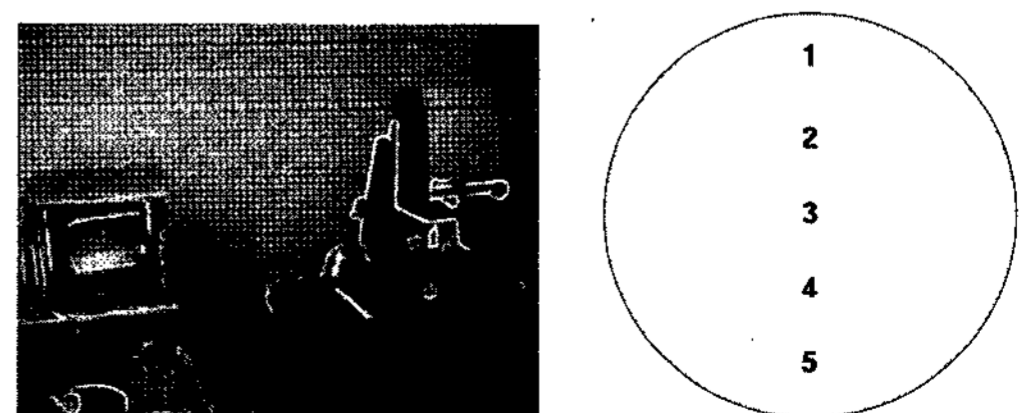
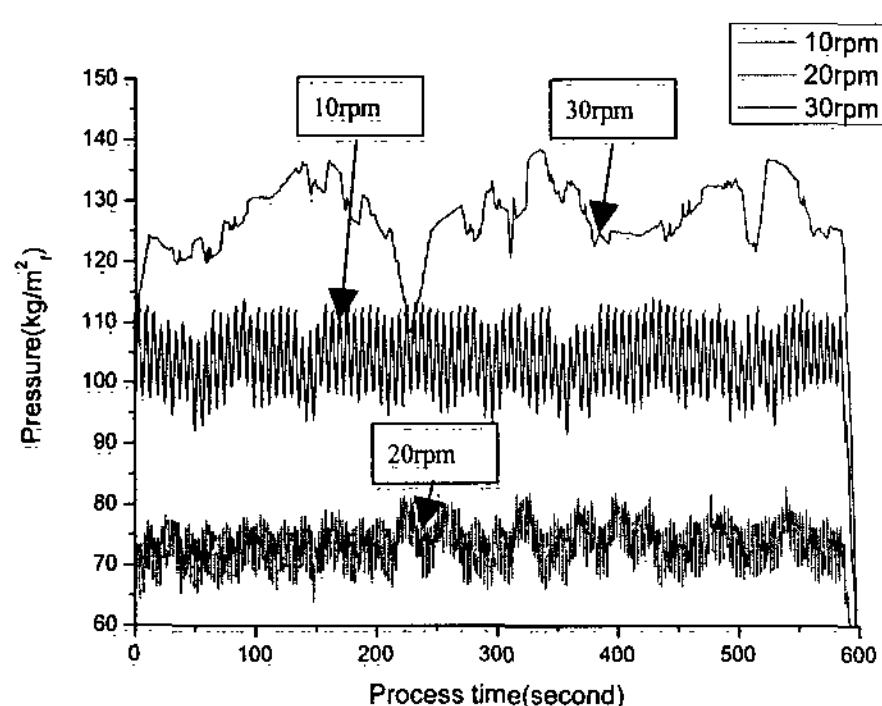


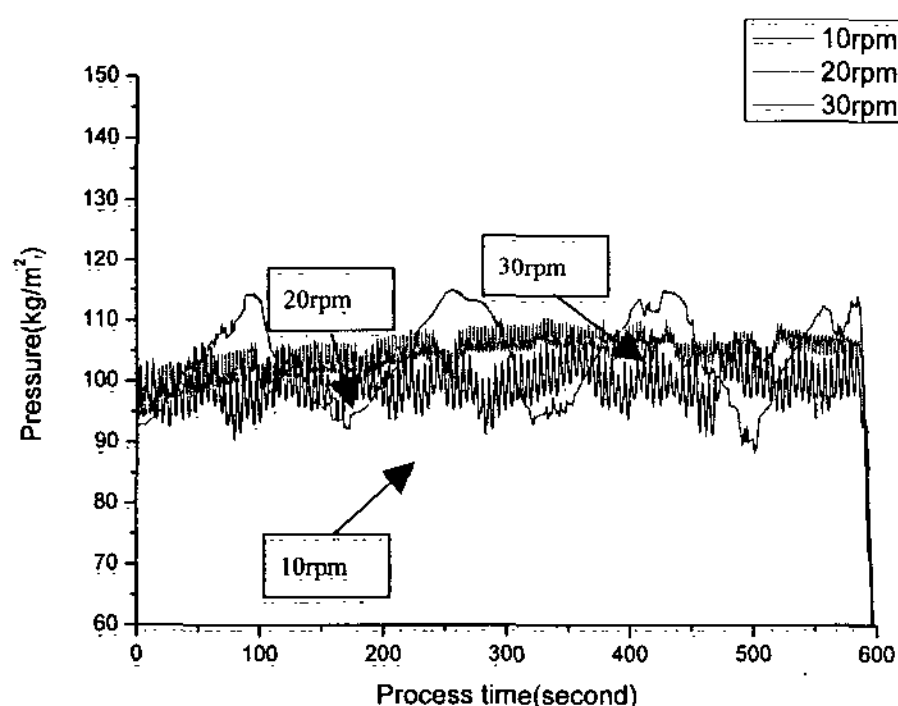
Fig. 3 Non-contact surface profiler measure point of polished wafer

형은 기존 가압력의 파형과는 전혀 다른 형태를 취하고 있다. 그래프에 나타나듯이 피크의 높낮이가 다른 테이블 속도와는 큰 차이를 보이고 있다.

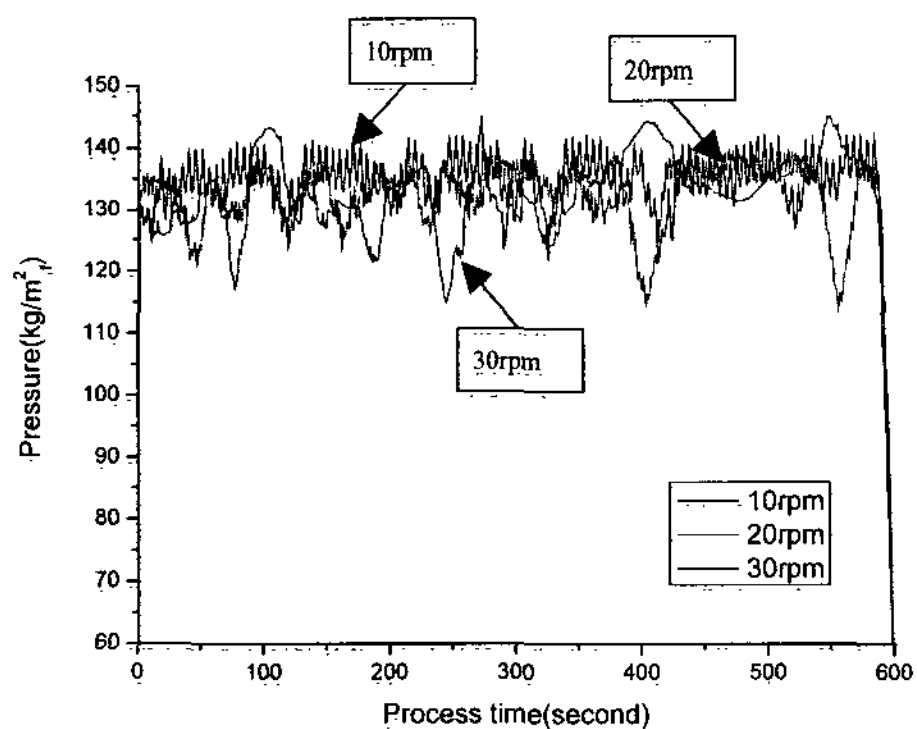
0.1Mpa의 형상은 0.2Mpa, 0.3Mpa에서 나타나는 형상과 유사한 파형을 보이고 있다. 하지만 가압력이 증가 할수록



(a) 0.1 Mpa down pressure



(b) 0.2 Mpa down pressure



(c) 0.3 Mpa down pressure

Fig. 4 The pressure variation in the table speed

30rpm에의 주파수의 길이가 증가함을 알 수 있다.

가압력에 대한 압력의 변화를 측정하기 위하여 로드셀에서 발생하는 신호를 1Hz로 10분간 샘플링하여 저장하였다. Fig. 5는 Fig. 4의 데이터를 압력을 기준으로 table speed의 변화에 따른 압력의 증감을 나타내고 있다. 0.1Mpa에서는 10rpm, 30rpm에서는 속도가 증가함에 따라 압력 신호의 증가가 나타났고, 20rpm에서는 압력신호의 감소가 일어났다. 이와 같이 불규칙한 패턴이 나타나는 것은 적은 압력에서의 테이블 속도에 따른 불규칙한 압력변화에 기인한다고 볼 수 있다. 0.2Mpa에서의 압력 변화는 테이블 속도가 증가함에 따른 영향을 크게 받지 않고 있음을 보여주고 있다. 하지만 가압력이 증가함으로 인하여 0.1Mpa에 비하여 안정적인 압력 변화가 나타나고 있다. 0.3Mpa에서는 0.2Mpa보다 높은 압력이 측정 되었다. 또한 테이블 속도에 대한 영향이 없음을 보여주고 있으며, 안정적인 압력변화를 나타내고 있다.

Fig. 6는 테이블 속도를 기준으로 가압력의 변화에 따른

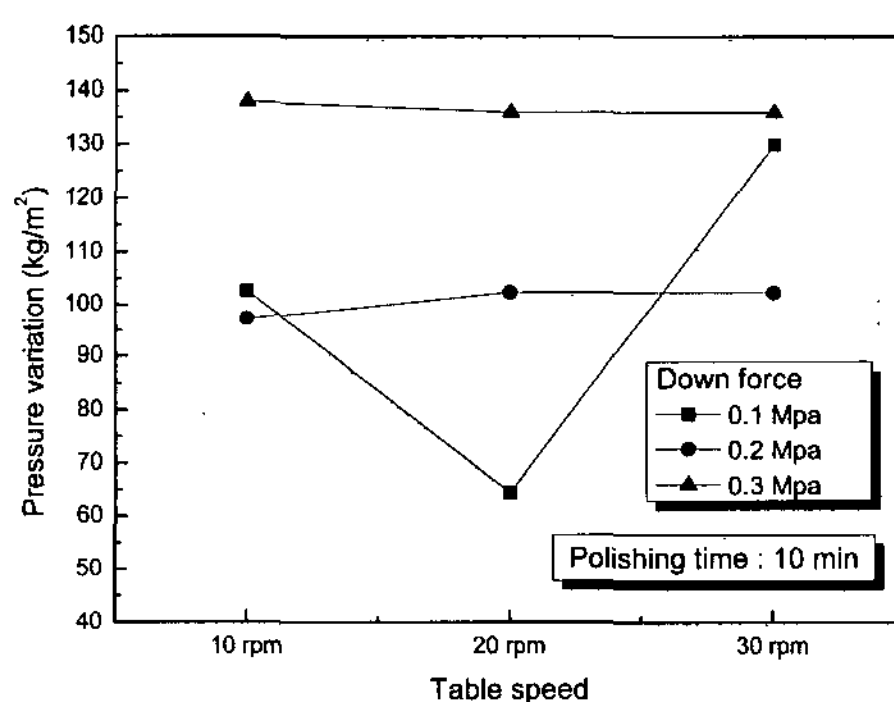


Fig. 5 The pressure variation with down force and table speed

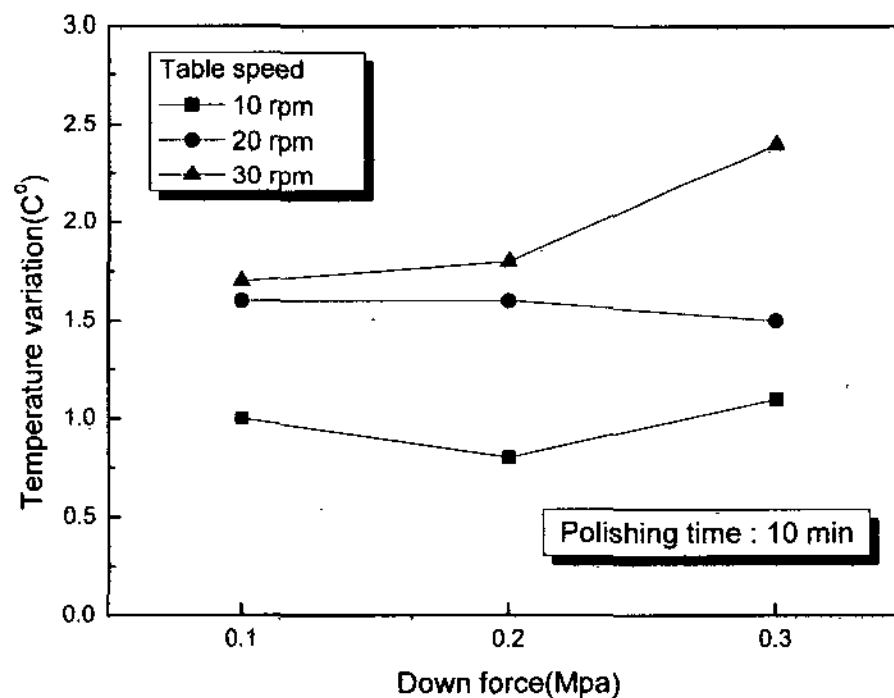


Fig. 6 Temperature variation with down force and table speed

온도의 증감을 나타내고 있다. 온도 변화 측정을 위하여 열 감지 센서를 이용하였으며, 신호를 1Hz로 10분간 샘플링하여 저장하였다.

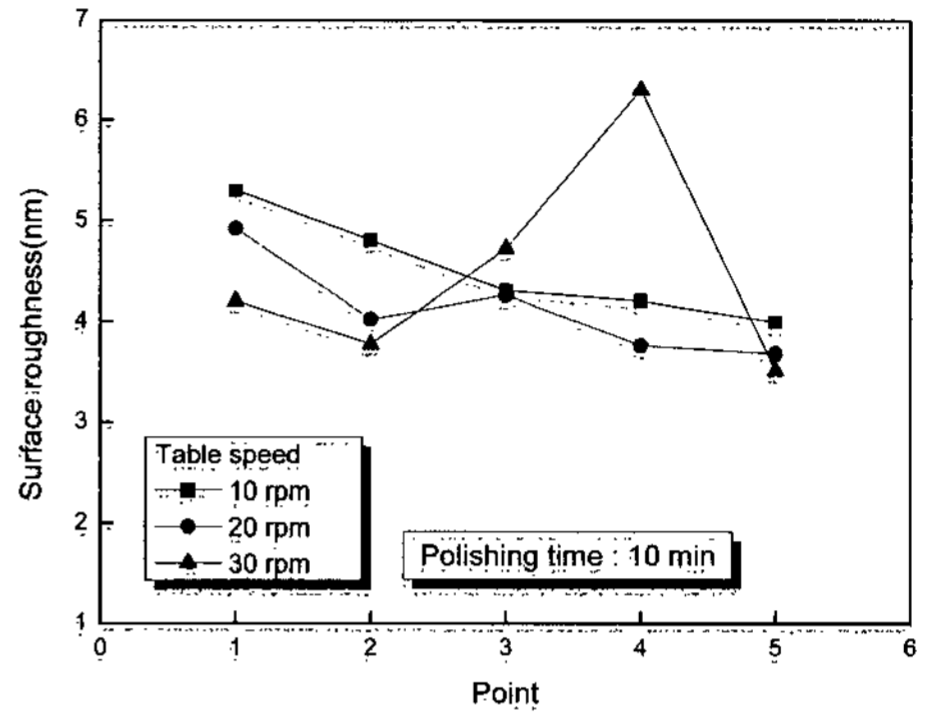
10rpm일 때 온도 변화는 0.1Mpa일 때 1°C로 측정 되었다. 같은 조건에서 0.2Mpa에서는 0.8°C로 측정 되는데 이는 Fig. 4에 있는 같은 조건에서의 압력 변화와 일치한다. 또한 같은 조건에서 0.3Mpa일 때에는 1.1°C로 나타난다. 즉 압력의 증감에 따른 온도변화에 영향이 크지 않음을 나타내고 있다. 하지만 20rpm, 30rpm에서의 온도와 압력의 변화를 분석하여 보면, 압력이 일정한 영향이 있지만, 테이블 속도가 온도의 변화에 더 큰 영향을 주는 것을 알 수 있다. Fig. 6의 그래프를 테이블 속도의 관점에서 분석해보면 10rpm일 때 온도 변화는 20rpm에 비하여 낮고, 30rpm이 20rpm보다 더 큰 온도 변화를 보여 주고 있다. 압력과 테이블 속도가 가장 높은 0.3Mpa 과 30rpm일 때 가장 높은 온도 변화(2.4°C)가 보여 진다.

Fig. 7은 테이블 속도와 다운 포스(down force)에 따른 표면 거칠기를 나타내고 있다. 대구경 웨이퍼에서 가장 중요한 균일 가압에 대한 평가를 위하여 5지점의 표면 거칠기 각각 5번 이상을 측정 하였고, 이 총합에 평균을 표면 거칠기를 값으로 선정하였다. Fig. 7은 압력 변화와 온도 변화에 따라 어떤 영향이 있는 가를 확연히 나타내어 주고 있다.

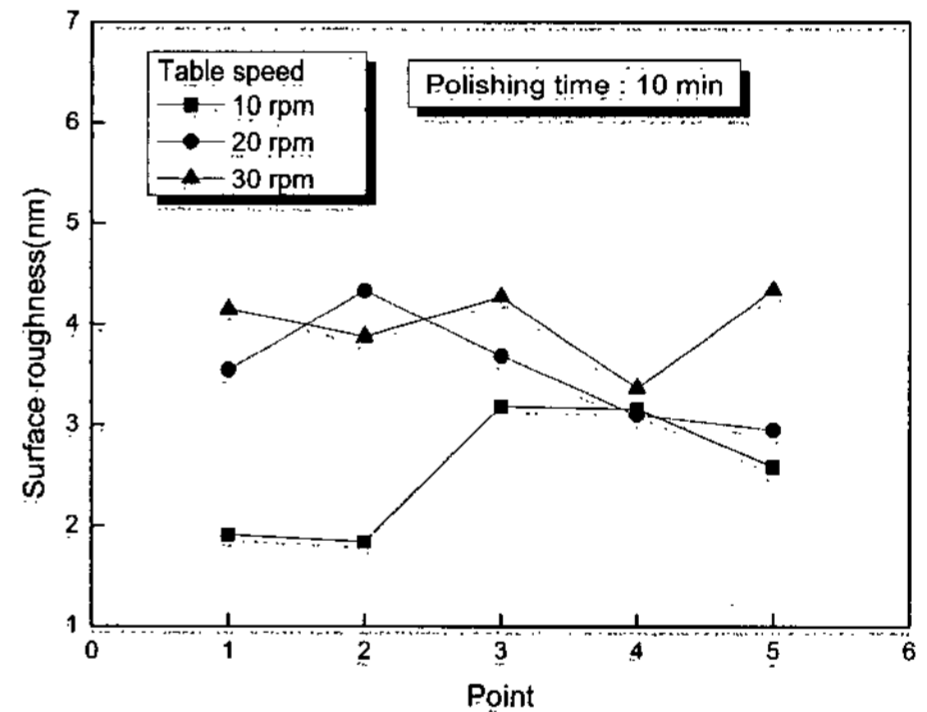
압력의 관점에서 표면 거칠기를 분석하여 보면, 압력이 가장 높게 측정 되어 지는 0.3Mpa과 30rpm에서의 표면 거칠기는 가장 높은 값이 3.8nm이다. 이 조건에서 온도 변화가 가장 높은 2.4°C이다. 즉 가장 높은 압력과 온도 변화가 표면 거칠기를 향상 시키지 않는 것을 나타내고 있다. 하지만 가압력이 증가함에 따라 5지점의 표면 거칠기 편차가 감소하는 경향을 나타내고 있다. 그러면 온도 변화가 가장 낮은 조건인 0.2Mpa과 10rpm의 표면 거칠기는 3.1nm를 나타내고 있다. 5지점 표면 거칠기 그래프가 압력이 감소함에 따라 0.3Mpa에 비하여 불규칙한 형태를 나타내고 있다. 압력의 상관관계를 규명하기 위하여 다른 조건들의 표면 거칠기를 분석하여 보면, 낮은 압력과 높은 압력에 따른 표면 거칠기의 분포는 불규칙하게 나온다. 표면 거칠기는 압력보다는 더 큰 영향을 미치는 인자가 존재함을 알 수 있다. 표면 거칠기가 가장 좋게 나타난 가공 조건은 0.3Mpa과 10rpm이다. 이 조건에서는 온도 변화는 1.1°C이며, 압력은 Fig. 5에서 나타나듯이 10rpm, 0.3Mpa 일 때 큰 변화가 나타나지 않고 있다. 또한 20rpm, 0.3Mpa에서 나타나는 표면 거칠기의 평균은 4.2nm이며, 온도 변화는 1.5°C 이다. 테이블 속도가 낮을 때에 온도 변화가 가장 낮았으며, 표면 거칠기 또한 양호하게 나타남을 알 수 있다. 또한 낮은 온도 변화 그래프에서는

압력 값이 높을수록 향상된 표면 품질을 보여 주고 있다.

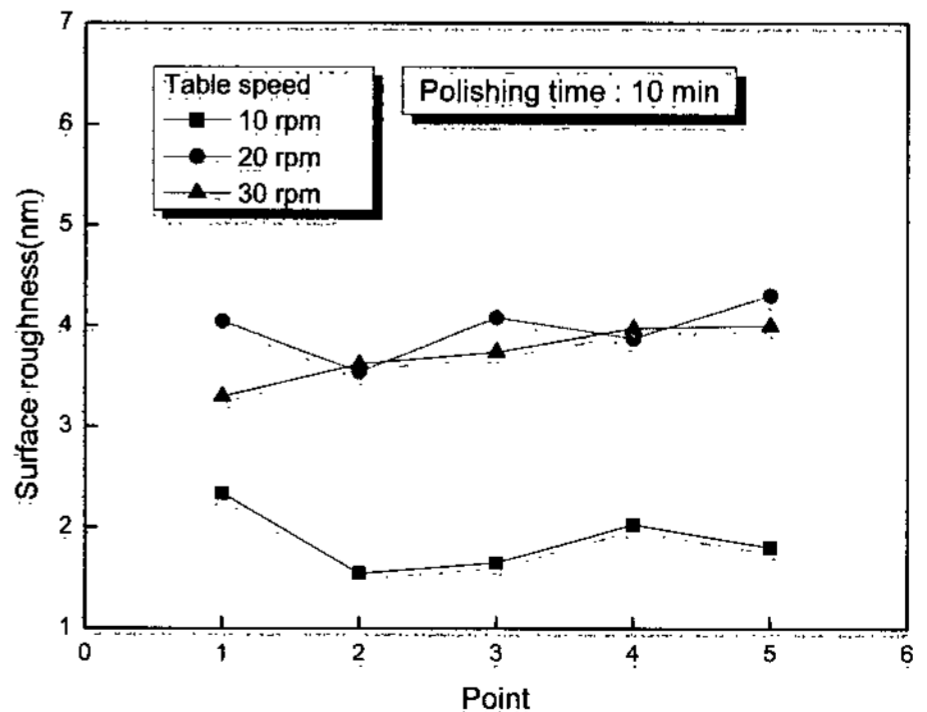
Fig. 8에서는 측정된 표면 거칠기 값 중 가장 좋은 형상의 표면 정도를 가공전과 후의 비교를 나타내고 있다. 최적 조건은 0.3Mpa, 10rpm일 때 표면 거칠기(Ra)가 1.8nm로 나타났다.



(a) 0.1Mpa

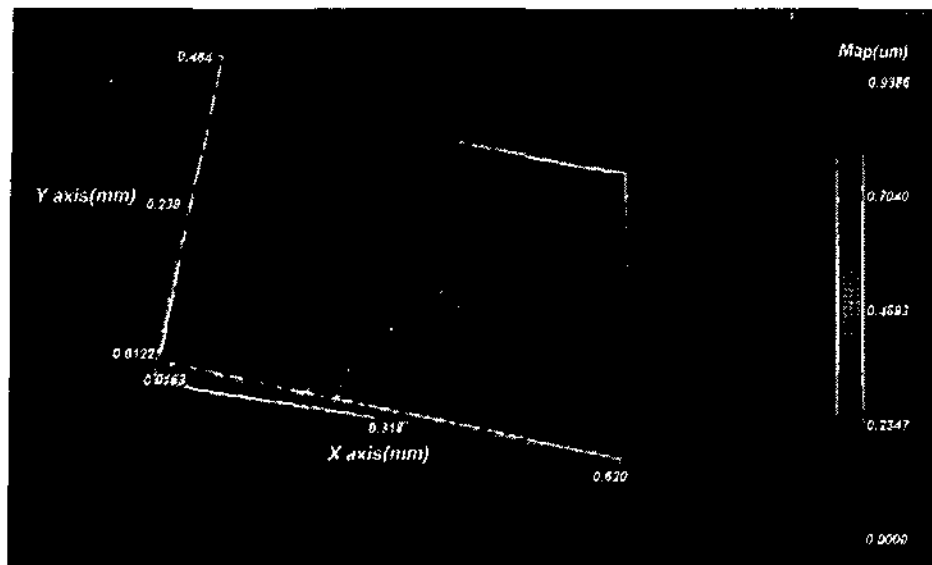


(b) 0.2Mpa

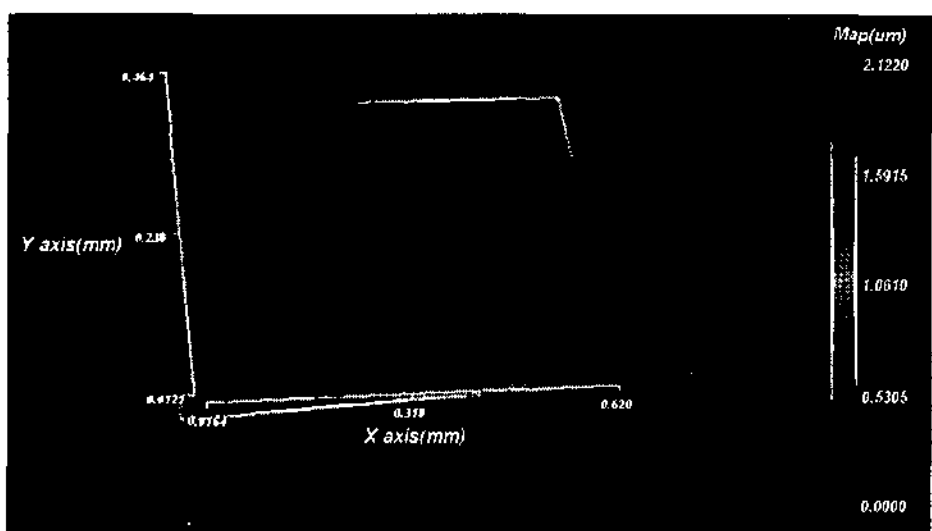


(c) 0.3Mpa

Fig. 7 Comparison of 5 point surface roughness with down force and table speed



(a) before polishing



(b) after polishing

Fig. 8 The surface roughness profiles on the optimum condition

4. 결론

본 연구에서는 압력과 온도의 영향에 의한 300mm 웨이퍼 폴리싱의 표면 거칠기의 균일도와 최적 조건에 관하여 연구하였다. 좀더 세밀한 가공 조건을 선정하기 위하여 압력 측정을 위해 로드셀을 적용하였으며, 온도변화의 영향을 측정하기 위하여 적외선 온도센서를 사용하였다.

가공 인자로서 다운 포스(down force)와 테이블 속도의 변화를 측정하였으며, 궁극적으로 이 가공인자들로 인한 압력과 온도의 변화가 표면 거칠기에 주는 영향에 대하여 분석하였다.

0.1Mpa에서 압력과 온도변화 그래프에서 불규칙적인 형상이 나타난 것은 낮은 압력에서 회전으로 인한 슬러리와 웨이퍼의 불규칙한 마찰로 사료된다.

온도 변화가 가장 낮은 조건인 0.2Mpa과 10rpm의 표면 거칠기는 평균값으로 2.2nm를 나타내고 있다. 압력의 상관관계를 규명하기 위하여 다른 조건들의 표면 거칠기를 분석하여 보면, 낮은 압력과 높은 압력에 따른 표면 거칠기의 평균값의 분포는 불규칙하게 나온다. 하지만 균일 가압에 의한 5지점의 표면 거칠기의 변동 폭이 감소하는 경향을 보이고 있다. 압력과 함께 영향을 미치는 인자가 존재함을 알 수 있다. 표면 거칠기가 가장 좋게 나타난 가공 조건은 0.3Mpa과

10rpm이다. 이 조건에서는 온도 변화는 1.1°C이다. 표면 거칠기 그래프를 분석하여 보면 온도 변화가 적은 10rpm에서 다른 웨이퍼의 표면 거칠기보다 좋은 값이 나타났으며, 이중가압력이 높아 비교적 일정한 압력변화를 나타낸 0.3Mpa에서 최상의 표면 거칠기가 측정 되었다. 또한 표면 거칠기의 변동 폭이 적음을 알 수 있다.

이번 연구에서는 표면 거칠기에 영향을 주는 인자로서 압력과 온도 변화가 존재 하는데, 이중 온도 변화가 표면 거칠기에 큰 영향을 주는 인자임을 알 수 있었으며, 압력은 대구경 웨이퍼에 균일한 표면 거칠기에 영향을 주는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 압력과 온도 변화를 적용하여 가공에 미치는 인자를 선정하였고, 최적 가공 조건은 0.3Mpa, 10rpm일 때 표면 거칠기가 1.8nm로 나타났다.

후기

본 연구는 인하대학교의 지원에 의해 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고 문헌

- (1) Won, J. K., Lee, J. T., and Lee, E. S., "The study on the optimum Machining characteristic of 12 inch wafer polishing," *Proceedings of the KSME 2006 Spring Annual Meeting*, p. 281.
- (2) Hahn, P., 2001, "The 300 mm silicon wafer - a cost and technology challenge," *Microelectronic Engineering*, Vol. 56, pp. 3~13.
- (3) Pei, Z. J., 2002, "A study on surface grinding of 300 mm silicon wafers," *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 42, pp. 385~393.
- (4) Won, J. K., Lee, J. T., and Lee, E. S., 2006, "The study on the optimum Machining characteristic of 12 inch wafer polishing," *Proceedings of the KSME 2006 Spring Annual Meeting*, p. 282.
- (5) Kwon, D. H., Kim, H. J., and Jeong, H. D., 2002, "A study on the decay of friction force during CMP," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, pp. 972~975.
- (6) Lee, J. H., Baek, S. Y., and Lee, E. S., 2007, "Selection of Optimum Conditions for Improving Surface Roughness of Ferrule in Centerless Grinding," *Transaction of KSMTE*, pp. 63~69.