

최적 가공 조건을 위한 4인치 웨이퍼의 가공 특성에 관한 연구

원종구⁺, 이정택⁺, 이정훈⁺, 이은상^{*}
(논문접수일 2007. 4. 18, 심사완료일 2007. 8. 20)

The Study on the Machining Characteristics of 4 inch Wafer for the Optimal Condition

Jong-koo, Won⁺, Jung-Taik, Lee⁺, Jung-Hun, Lee⁺, Eun-Sang, Lee^{*}

Abstract

Single side final polishing is a very important role to stabilize a wafer finally before the device process on the wafer is executed. In this study, the machining variables, such as pressure, machining time, and the velocity of pad table were adopted. These parameters have the major influence on the characteristics of wafer polishing. We investigated the surface roughness changing these variables to find the optimal polishing condition. Pad, slurry, slurry quantity, and oscillation distance were set to the fixed variables. In order to reduce defects and find a stable machining condition, a hall sensor was used on the polishing process. AE sensor was attached to the polishing machine to verify optimal condition. Applying data analysis of the sensor signal, experiments were performed. We can get better surface roughness from loading the quasi static force and improving wafer-holding method.

Key Words : Single side polishing(단면연마), Optimal condition(최적 조건), Machining variables(가공 요소), Acoustic emission sensor(음향 방출 센서), Hall sensor(홀 센서)

1. 서론

반도체 디바이스 생산을 위한 실리콘 웨이퍼 프로세스는 크게 웨이퍼 제조 공정과 디바이스 제조공정으로 나누어진다. 웨이퍼 제조공정에 해당하는 기계 가공은 디바이스 제작에 결정적인 영향을 미친다. 최근 웨이퍼의 대직경화, 고정밀화에 따라 기계가공에 대한 중요도가 날로 더해지고 있으며, 복잡한 제조공정을 간소화 시키면서 단위시간당 처리

량(throughput)을 향상시킬 수 있는 가공 기술에 대한 요구가 심화되고 있는 상황이다.

웨이퍼가 디바이스 공정에서 최대한의 성능을 발휘하기 위해서는 디바이스 공정 전의 상태, 즉 최종 폴리싱에서 나온 제품의 웨이퍼 상태가 다음 공정에서의 수율을 좌우하는 인자가 된다. 아직도 웨이퍼 생산 업체에서는 최종 폴리싱을 마친 웨이퍼에서 PIP 결함, Haze 결함, Dimple 결함 등이 존재하고 있으며 이는 웨이퍼의 생산 수율을 떨어뜨리는 원

* 교신저자, 인하대학교 기계공학과 (leees@inha.ac.kr)
주소: 402-751, 인천시 남구 용현동 253
+ 인하대학교 기계공학과 대학원

인이 되고 있다. 또한 웨이퍼의 직경이 8인치에서 12인치로 대구경화 되는 추세에 있고, 이에 따라 웨이퍼를 가공하는 전공정(total process)에서의 장비 및 생산 공정 시스템이 급격하게 변하고 있는 상황이다.

2. 기본이론

웨이퍼의 최종 폴리싱은 화학적인 요소와 기계적인 요소가 복합된 공정으로서, 기계적인 요소는 슬러리에 포함된 연마입자에 의한 제거가공이며 화학적인 요소는 웨이퍼 표면에서의 화학적인 반응 현상이다. 기계적인 요소는 폴리싱 패드, 연마입자, 웨이퍼 표면과의 상호 물리적인 작용과 관계가 있다. 화학적인 요소는 주로 슬러리의 점성과 pH값, 웨이퍼의 상대속도, 수직압력, 연마입자의 크기와 경도, 패드성질, IC패턴 밀도, 웨이퍼 곡률 등에 의하여 좌우되는 윤활 특성에 의해 결정된다.

통상적인 연마 가공의 경우 화학적 작용과 기계적 작용은 잘 알려져 있지 않다. 래핑의 경우 재료의 제거는 주로 연마입자에 의한 굽힘, 압입, 스크래치 등의 기계적인 현상에 좌우되고, 슬러리의 화학적 효과는 표면을 연화시킨다거나 재료 제거율을 높여준다는 것으로 알려져 있다⁽¹⁾. Fig. 1은 웨이퍼 폴리싱 가공의 기본적인 방법을 대략적으로 도시한 것이다. 웨이퍼를 헤드 유닛의 척(chuck)부분에 고정시킨 후 패드 테이블과 헤드가 회전함에 따라 상대속도를 만들고 슬러리와 웨이퍼 표면이 패드위에서 상호 작용 함으로써 가공이 수행된다⁽²⁾.

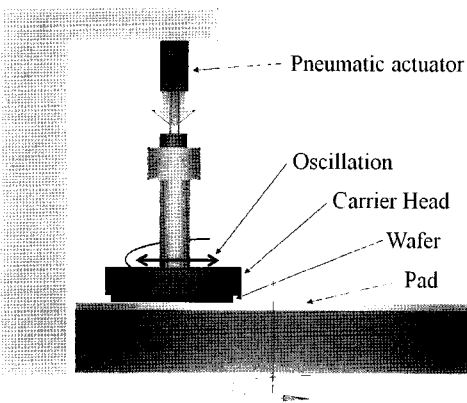


Fig. 1 Principle of wafer polishing

3. 예비 실험

Fig. 2, Fig. 3은 bare 웨이퍼의 형상 사진과 800배 현미경으로 관찰한 표면 사진이다. 웨이퍼의 표면 사진에서 볼 수 있듯이 디바이스를 제작하기 위해서는 경면화 할 필요성이 있다. Bare 웨이퍼의 표면 거칠기 프로파일은 $Ra=0.696\mu m$, $Rmax=5.4\mu m$ 로 측정 되었다. 이곳에서 성장한 웨이퍼는 일정한 두께로 슬라이싱 되어 그라인딩, 래핑, 더블사이드 폴리싱, 파이널 폴리싱 등의 순서를 거치면서 최종적인 거울면을 형성하게 된다. 본 실험에서도 폴리싱 가공에 앞서 어느 정도 경면을 형성하기 위하여 래핑실험을 행하였다. 표 1은 래핑가공의 실험 조건이다.

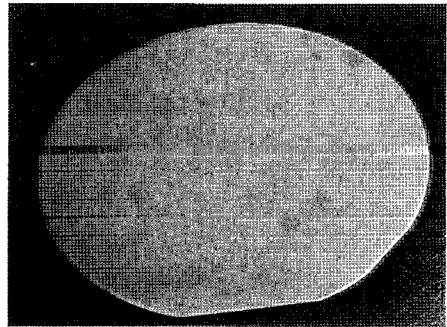


Fig. 2 Appearance of bare wafer

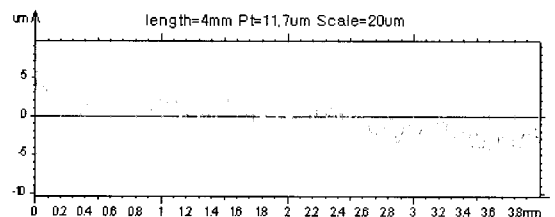
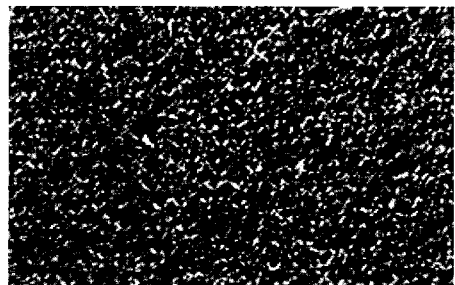


Fig. 3 Micro aspect of bare wafer and surface roughness profile

Table 1 Experimental set up

Lapping condition	Parameter
Platen speed	30rpm
Head speed	30rpm
Slurry	Diamond (6-12 micron size)
Weight(pressure)	4kg _f
Machining time	35min

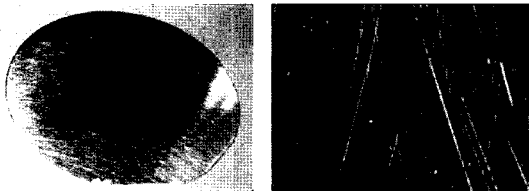


Fig. 4 Lapping wafer appearance and Micro aspect of lapping wafer

표 1의 실험조건에서 래핑 실험 한 결과 Ra=0.354 μ m, Rmax=4.15 μ m로 측정 되었다. 표면 거칠기 값은 어느 정도 양호해 졌으나 Fig. 4에서 알 수 있듯이 웨이퍼 표면 위에 스크래치가 많이 생겼음을 알 수 있다. 본 실험에서의 래핑 가공은 다이아몬드 슬러리를 이용하였으며 황삭의 의미가 강하고 재료 제거율이 높은 특성이 있다.

4. 실험 결과

4.1 폴리싱 실험

래핑 실험에서 전면에 걸쳐 균일한 표면 거칠기 값을 가지는 웨이퍼를 선택하여 폴리싱 실험을 행하였다.

본 실험의 가공 변수는 계량 인자로서 압력, 테이블 속도, 가공 시간을 선택하였으며 슬러리 농도와 종류, 실험 온도, 패드의 종류, 헤드가 병진운동 하는 거리(Oscillation)는 고정 인자로 간주 하였다.

Fig. 5는 패드 테이블의 회전 속도를 각각 달리 했을 때 가공 시간에 따른 표면 거칠기 값을 비교한 그림이다.

패드 테이블 회전 속도를 10rpm으로 고정하고 시간변화에 따른 표면 거칠기 값을 측정하였다. 병진운동 거리는 30mm로 지정하고 슬러리는 10초에 한번씩 2초 동안 분사 하도록 하였다. 가압은 추를 이용하여 4kg로 균일하게 인가 하였다. 20분 가공하였을 때에는 Ra=0.166 μ m로 거칠기 값이 25분까지 큰 변화는 거의 없는 것으로 나타났다.

Table 2 Experimental set up

Polishing variables	Polishing condition
Platen speed	10, 20, 30rpm
Oscillation	30mm
Slurry	2times / 10second
Weight(pressure)	4kg _f

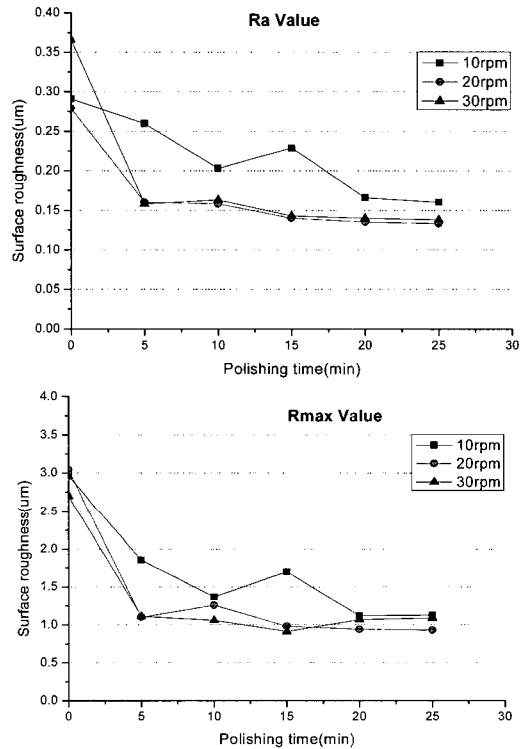


Fig. 5 Surface roughness profile with time variable

위 실험에서는 25분 가공하였을 때 Ra=0.160 μ m, Rmax=1.128 μ m으로 가장 좋은 표면 거칠기 값을 가졌다.

패드 테이블 속도를 20rpm에서는 가공시간이 25분일 때 Ra=0.133 μ m, Rmax=0.929 μ m로 가장 양호한 표면 거칠기 값을 가졌다. 10rpm보다 표면 거칠기 값이 안정적으로 나온 것은 속도가 증가함에 따라 슬러리의 유동이 균일하게 분포하여 웨이퍼 전면에 걸쳐 고른 가공이 이루어진 것으로 사료된다. 패드 테이블 속도가 30rpm일 때에는 25분 가공했을 때 Ra=0.138 μ m, Rmax=1.090 μ m로 비교적 양호한 표면 거칠기 값을 가졌다. 하지만 가속으로 인해 슬러리 유동이 많아지고 재료 제거율이 높아짐에 따라서 표면에 스크래치가

증가하는 것을 관찰 할 수 있었다. 이는 Rmax값의 증가로 이어졌다. 위의 실험에서는 테이블을 20rpm으로 회전시키고 25분 동안 가공했을 때 가장 안정된 표면 거칠기 값을 얻었다. 하지만 Fig. 6에서와 같이 부분적으로만 가공이 된 경우가 발생하는 문제를 개선하기 위해 가압력의 변화에 따른 폴리싱 실험에 앞서 균일한 가압을 위한 실험 조건을 추가할 필요가 있었다.

4.2 센서 신호 분석을 통한 실험 조건 개선

본 실험에서는 가공의 안정성을 평가하기 위해 AE (acoustic emission) 센서와 홀(hall) 센서 두 가지를 이용하였다. AE 센서는 고체 재료가 소성변형이나 파괴될 때 발생하는 탄성에너지가 음파의 형태로 고체에 전달되는 신호이다. 따라서 가공 중에 발생하는 미세한 신호를 분석하면 가공 특성을 파악할 수 있다⁽³⁾. 폴리싱의 경우 AE 신호를 분석함으로써 화학반응으로 인한 연화 과정인지 소성 변형을 동반한 가공인지 혹은 벌크(bulk) 형태의 가공인지를 분석하는 것이 가능한 것으로 알려져 있다⁽⁴⁾.

홀 센서는 자계를 이용하여 전류의 변화를 측정하는 것으로 토크나 마찰 저항력의 변화를 감지하는데 유용하다⁽⁵⁾.

Fig. 7은 폴리싱 장비에 AE 센서와 홀 센서를 부착한 사진이다. AE센서의 경우 가공이 일어나는 헤드부분에 최대한 가까이 부착하여 실험하였고 홀 센서의 경우 구동 모터에서 직접 나오는 전선이 통과하도록 하였다.

Fig. 8는 웨이퍼에 과도한 가압을 한 상태에서 가공을 시작하였을 때 홀 센서로 받은 전압 값을 보여준다. 전압값의 변화가 심하게 요동하는 것을 알 수 있으며 웨이퍼 표면에도 스크래치를 유발하거나 불균일 가압조건을 생성하는 것으로 나타났다. 따라서 가압력을 가공 변수로 하여 가압력을 증가시키는 경우 준정적 로딩(quasi static loading)을 인가해줄 필요성이 있다. 본 실험에서는 준정적 가압을 인가하기 위해서 홀더위에 물을 적재할 수 있는 컨테이너를 설치하고 일정

시간 동안 천천히 물을 채우는 방법을 선택하였다.

부분적으로 가공되는 현상을 최소화하기 위한 목적으로 본딩 후 평탄도의 유지가 필요하고, 이를 위해 일정시간 동안 가압 추를 이용해서 눌러 주었다. Fig. 9는 본 실험에서 사용된 웨이퍼 홀딩 방법이다. 웨이퍼 홀더가 리테이너 안에서 공회전하는 것을 방지하여 균일한 상대 속도를 유도할 수 있고 리테이너가 패드에 직접 닿지 않으므로 슬러리 유동을 방해하는 요인을 줄일 수 있다.

Fig. 10은 균일 가압을 인가하기 위해 준정적 하중 조건을 추가한 상태에서 슬러리 유동을 원활히 하고 균일한 속도 구배를 위해 홀딩방법을 개선하여 처음 실험 했을 때의 AE 신호와 실험 조건을 추가하여 실험했을 때의 AE 신호를 비교한 그래프이다. RMS값을 비교한 그래프에서 알 수 있듯

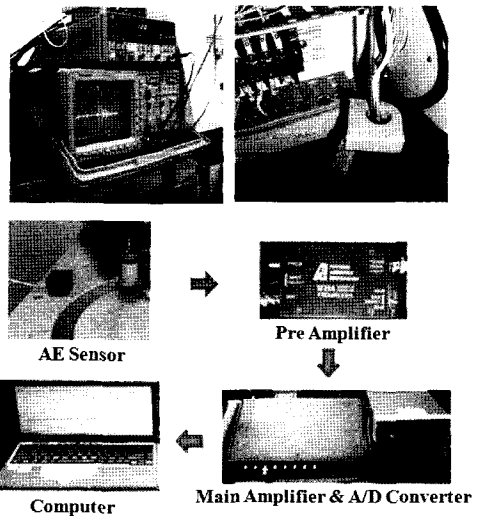


Fig. 7 Sensor detection system set up

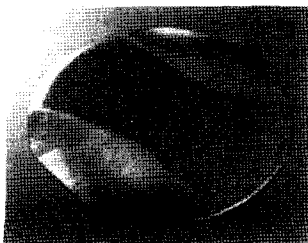


Fig. 6 Partially machined wafer aspect

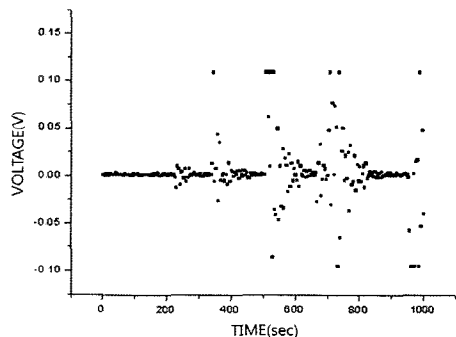


Fig. 8 Hall sensor data as to excessive loading

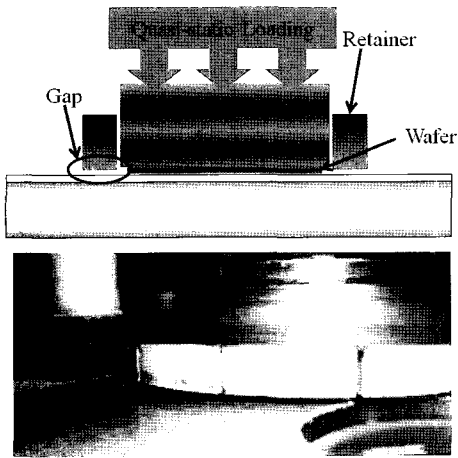


Fig. 9 Wafer holding method

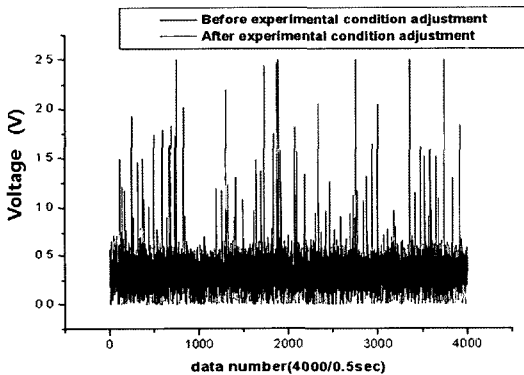
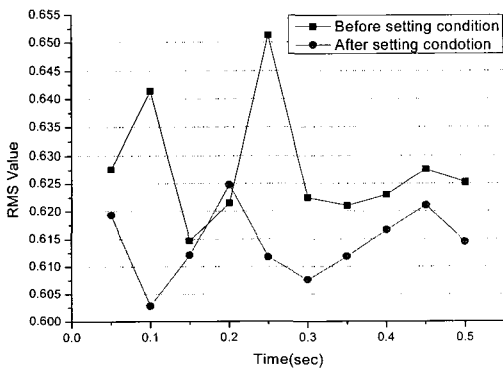


Fig. 10 AE signals before polishing condition and after polishing condition



이 실험 조건을 추가했을 때 노이즈가 상당량 감소하는 것을 보였고 평균적인 스윙폭도 다소 줄어드는 것을 알 수 있었다.

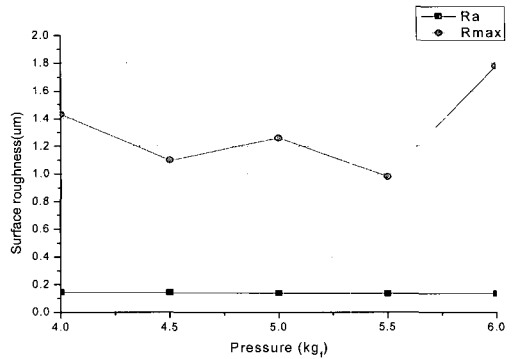


Fig. 11 Surface roughness profile with pressure variables

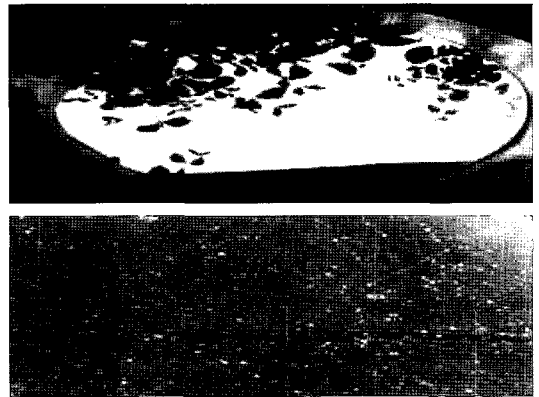


Fig. 12 Wafer aspects at additional experimental condition

Fig. 11은 패드 테이블 속도를 20rpm, 가공 시간을 20분으로 하고 Fig. 9의 웨이퍼 홀딩 조건과 준정적 하중을 인가하여 실험조건을 달리하였을 때 가압력의 변화에 따른 표면 거칠기의 변화 값을 보여준다. Ra는 압력이 6.0kgf 일 때, 0.134um로 가장 작은 값을 취하였으나, Rmax의 값은 가장 높은 1.780um이다. 그리고, 압력이 5.5kgf 일 때는 가장 작은 표면거칠기 값과 큰 차이가 없는 Ra=0.136um였으며, Rmax =0.980um로 가장 양호한 값을 가졌다.

Fig. 6과 Fig. 12를 비교해 볼 때 가압 방법과 웨이퍼 홀딩 방법을 개선하여 실험한 경우 전면에 걸쳐 고른 가공 상태를 보였다. 래핑 가공 후(Fig. 4)에서 다수 나타났던 가공 스크래치가 거의 제거되는 현상이 나타났다.

5. 결론

본 연구에서는 가공 실험을 통하여 반도체 디바이스 제조

를 위해 최종적으로 가공을 수행하는 single side polishing의 가공 특성에 대하여 알아보았다. 가공 변수로 패드 테이블의 속도, 가공 시간, 가공 압력을 변수로 하고 이에 따른 표면 거칠기 값의 변화를 관찰 하였다.

표면 거칠기 $Ra=0.696\mu m$ 인 Bare 웨이퍼를 래핑 가공을 통해 $Ra=0.354\mu m$ 의 값을 얻었고 폴리싱 가공을 수행하여 $Ra=0.133\mu m$ 일 때, $Rmax=0.929\mu m$ 의 표면 거칠기 값을 얻었다. 하지만 국부적으로만 가공되는 문제점이 있었고 이러한 문제를 개선하기 홀딩 방법을 개선하고 준정적 하중을 인가하였다. 과하중으로 인한 과부하 현상을 모니터링하기 위해서 홀 센서를 이용하였다. 또한 원활한 슬러리 공급을 위해서 웨이퍼 홀더에 고무링을 끼워 리테이너와 일체형으로 회전하도록 하였으며 웨이퍼가 리테이너 안에서 공회전하는 현상을 방지 하였다.

AE 신호를 통하여 가공 조건을 변화 시켰을 때 가공 상의 미세한 변화를 감지 할 수 있었으며 조건 변화 시에 가공 안정성을 여부를 평가 할 수 있었으며 홀 센서 신호를 통해 가공 시의 이상상태를 모니터링 할 수 있는 가능성을 보여주었다.

후 기

본 연구는 산업자원부가 주관하는 “지역산업중점기술개발”의 지원에 의해 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) Shin, Y. J., Lee, E. S. and Kang, J. H., 2000, “Identification of the Mechanical Aspects of Material Removal Mechanisms in CMP,” *Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 9, No. 5, pp. 7~12.
- (2) 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.
- (3) Park, K. T., Lee, B. R., Park, K. Y. and Hong, D. P., 2000, “A Study on the Fracture Behavior in Silicon Wafer Using the Ultra-Precision Micro Positioning System,” *Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 9, No. 1, pp. 38~44.
- (4) Kim, J. D., Kim, S. R., Kim, H. Y. and Ahn, J. H., 2001, “Development of Acoustic Emission Sensor Using Piezoelectric Elements and Monitoring System for Polishing Process,” *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, pp. 560~565.
- (5) Song, J. B., Lee, E. S. and Kim, N. H., 2000, “A Study on the Evaluation of Machining States in the Plunge Grinding Using the Current Signals of a Spindle Motor,” *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 17, No. 6, pp. 76~82.