

## 로타리 연삭에 의한 대직경 Si-wafer 의 ELID 경면 연삭특성

박창수\*(경남대 대학원 기계공학과) 김원일, 이윤경, 왕덕현  
(경남대 기계자동화공학부), 김경년(거제대 기계과)

### Characteristic of Mirror Surface ELID Grinding of Large Scale Diametrical Silicon Wafer with Rotary Type Grinding Machine

C. S. Park \*( Kyungnam Univ), W. I. Kim ,Y. K. Lee, D. H. Wang  
(Kyungnam Univ.), and K. N. KIM (Kojc College).

#### Abstract

Mirror surface finish of Si-wafers has been achieved by rotary in-feed machining with cup-type wheels in ELID grinding. But the diameter of the workpiece is limited with the diameter of grinding wheel in the in-feed machining method. In this study, grinding experiments by the rotary surface grinding machine with straight type wheels were conducted, by which the possible grinding area of the workpiece is independent of the diameter of the wheels. For the purpose of investigating the grinding characteristics of large scale diametrical silicon wafer, grinding conditions such as rotation speed of grinding wheels and revolution of workpieces are varied, and grinding machine used in this experiment is rotary type surface grinding m/c equipment with an ELID unit. The surface ground using the SD8000 wheels showed that mirror like surface roughness can be attained near 2 ~ 6 nm in Ra.

#### Key Words:

Large scale diametrical silicon wafer (대직경 실리콘 웨이퍼), ELID (Electrolytic In-Process Dressing, 전해 인프로세스 드레싱), Mirror like surface (경면), Surface integrity (표면성상) Micro-structure(미세조직)

#### 1. 서론

반도체 장치인 반도체 직접회로의 요구사항은 고 집적성, 고속성 그리고 다기능성 등에 있다. 이에 생산을 동반하는 산업체의 입장에서는 낮은 단가에 높은 생산성을 간과할 수 없다. 반도체 특성에 직접적인 영향을 주는 것은 웨이퍼의 표면 즉, 미소 표면거칠기(Micro Roughness)가 큰 요인 중의 하나

라고 생각된다. 특히, 웨이퍼가 대직경화 됨에 따라 표면의 양호한 가공면 품질을 얻기는 대단히 어렵다.

지금까지 소직경 웨이퍼의 ELID 연삭특성에 대하여는 다수의 연구발표 및 논문이 있고, 그 결과도 상당히 양호하다 [1~3]. 그리고 현재 전기 전자 우주 관련산업이 발달됨에 따라 보다 극한적인 환경 조건하에서도 뛰어난 내열성, 내식성, 기계적 강도 전자기적 특성을 가지며 치수의 정밀도가 좋은 재료가 각광을 받고 있다. 이러한 재료에는 세라믹스를 비롯하여 초경합금, 페라이트계가 있으며 이러한 재료의 특성은 난삭성과 취성이 높다는 것이다. 그러므로 이러한 첨단 난삭재를 효율적으로 가공하기 위한 공구가 필요하게 되었고 그 중에서도 메탈 본드 스톨을 적용한 가공이 점차 확대 되고 있다 [4].

메탈본드 스톨은 래진, 비트리파이드 결합체로 제작된 스톨에 비해 고강성, 자기 유효성을 가지며 연삭비가 현저히 높지만 이러한 메탈 본드 스톨의 이용에 있어서 가장 큰 문제는 드레싱의 어려움이다. 따라서 최근에는 이러한 문제를 해결하기 위해서 연속 전해 드레싱 기술이 개발되었다 [5~6].

웨이퍼의 가공은 통상적으로 래핑에 의해서 이루어지고 있지만 본 연구에서는 횡형 로타리 연삭기 머시인에 300mm 대구경 실리콘 웨이퍼 (Large Scale Diametrical Silicon Wafer)를 장착하여 초정밀 경면연삭 등에 그 성능이 검증되고 있는 연속전해 드레싱 기법을 적용하여 연삭 특성을 평가하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

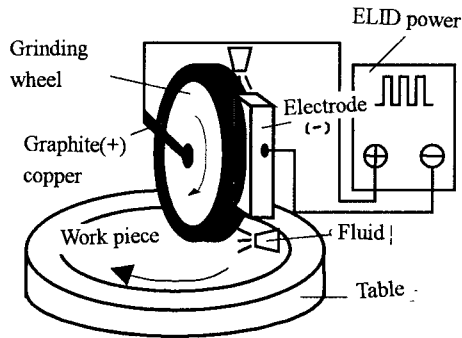


Fig. 1 Schematic illustration of ELID grinding

본 연구에 사용한 실험장치 및 측정기는 횡형로타리 평면 연삭기와 표면 거칠기는 비접촉식 형상 측정기 등이다. 횡형로타리 평면 연삭기는 최소절입량을  $0.1\mu\text{m}$ 으로 조절할 수 있도록 디지털 스케일 장치를 부착하였다. 그리고 대형 테이블의 직경 방향으로 변하는 주속도의 영향을 최소화 하기 위하여 스톱의 위치에 따라서 1:3의 비율로 테이블의 회전수가 변하게 되어 있다. 회전하는 테이블에 대하여 상향연삭(Up-grinding) 방식을 채택하고 있는 기계에 ELID 시스템을 장착하였으며, 실험의 개략을 Fig. 1에 표시하였다. 전극은 스톱면의 1/4 면적에 대응하는 것을 사용하였다.

### 2.1 전해 메커니즘 순서

Fig. 2는 연속 전해 드레싱 래핑의 원리를 나타낸 것으로서 미세한 다이아몬드 연마재를 가진 메탈본드 스톱들은 트루잉 작업후에도 연마재와 결합재는 평탄화되어 연마성이 저하된다. 그래서 초기전해 드레싱을 통하여 결합재를 전해 용출하여 연마재를 돌출시킨다.

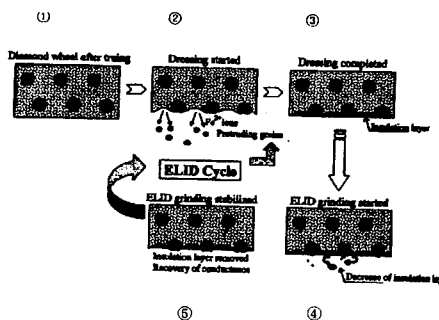


Fig. 2 The basically chemical theory of ELID cycle

### 2.2 전기적 거동의 방법

Fig. 3은 전해 드레싱에 있어서 전기적 거동을 나타내고 있다. 초기 드레싱시에는 트루잉된 스톱표면의 전기전도성은 양호하다. 이 때문에 전류는 전원상에서 설정된 최대치에 가까운 값이 흐르고, 스톱(양극)과 전극(음극)사이의 전위차는 다음과 같다. 이들의 순차적인 반응에 의해 스톱면의 전기전도도는 부도체피막의 성장에 따라서 적게 되고 전해전류는 감소하고 실제로 전위는 전원상에서 개방전압으로서 설정된 값에 근접하고 있다.

이 전해 현상에서 래핑 스톱들의 결합재가 수  $\mu\text{m}$  용출한 후, 빠르게 부도체피막 수산화철, 산화철 등에 의한 절연층이 래핑 스톱표면에 형성되고 과도한 용출은 방지된다. 그리고 래핑을 시작하면 공작물이 부도체 피막과 접촉하여 연마재가 마멸된 분량만큼 피막이 벗겨진다. 이에 피막에 의한 절연이 저하되고 또다시 결합재가 돌출되어져 안정된 가공이 진행된다. 이러한 연속드레싱 래핑의 자율적인 제어기능에 의해 초정밀의 가공이 유지된다.

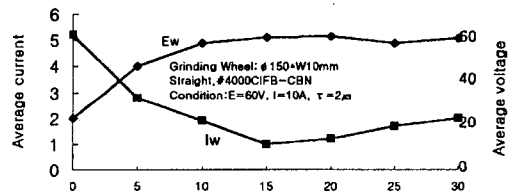


Fig. 3 The electrical behavior of ELID

### 2.3 실험재료 및 장비

본 로타리 횡형 연삭기 실험에 사용되어지는 실험재료는 Table 1에 표시하였다.

Table 1 The experimental material

Material	Diameter	Thickness	Hardness (Hv)
Si-wafer	300mm	0.8mm	Abt.800-900

또한 본 왕복형 평면 연삭기에서 사용되어진 재료는 Table 2에 표시하였다.

**Table 2 Instrument for experimental**

Grinding machine	Rotary grinding M/C Co. (AMADAWASINO Co., SS501)
Grinding Wheel	Cast Iron Bond Diamond for ELID SD8000N100M 300mm x W10 (Fuji Co.)
ELID power	Power supply of ELID FUJI ELID 920 (FUJIDAI SU Co.)
Fluid	AFG-M (50:1 dilute) NORITAKE Co.
Work piece	Si-Wafer (300mm)
Measuring Equipment	SAFUTESUTO 701 MITUTOYO Co.

**2.4 실험방법**

본 연구에 사용한 공작물은 직경 300mm의 대구경 실리콘 웨이퍼이고, 슷들은 ELID 연삭용 주철본드 다이아몬드 슷들 #8000이다. 집중도 100의 스트레이트 슷들이며, 직경 300mm, 폭 10mm이다. 특히, 슷들은 WA325의 브레이크 트루아에 의해서 트루잉 시켜서 연삭 개시전 20~30분 정도 초기전해 드레싱하여 날 세우기를 하였다.

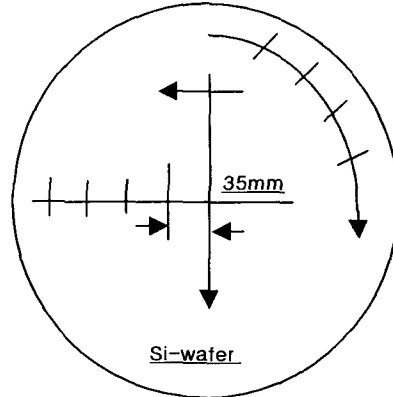
공작물은 직경 300mm의 치구 플레이트에 접착하여 원판 전자척에 고정하였다. 전해조건은 인가전압 90V, 설정최대전류 20A, 파형은 직류펄스를 적용하여 펄스 on-off 시간을 2μs로 하였다. 연삭가공은 절입량 1μm, 램의 이송속도 120mm/min으로 하여 슷들 회전수 및 공작물 주속도를 각각 800 · 1000 · 1150 (rpm), 150 · 174 · 197 (m/min)의 3단계로 설정하였다. 설정한 연삭 및 전해조건은 Table 3에 요약하였다. 이 조건에 따라 평면연삭을 행하고, 연삭조건이 표면거칠기 및 표면성상에 미치는 영향을 조사하였다.

**Table 3. The specification of experimental conditions**

Grinding Condition	Revolution of table (rpm)	800,1000,1150
	Work piece speed (m/min)	150,174,197
	Ram feed speed (mm/min)	120
Elid Condition	Cutting depth (μm)	1
	Voltage (V)	90
Elid Condition	Peak Current (A)	20
	On-off time (μs)	2/2
	Pulse	D.C Pulse wave

Fig. 4는 표면거칠기 측정을 위해서 공작물 전체에 걸쳐 가공의 불균일성을 검토하기 위하여 공작물의 중심부터 끝단까지 35mm 간격으로 측정하였다. 각

측정점에서 원주방향 및 반경방향으로 분리하여 가공의 방향성에 대하여도 고찰하였다.

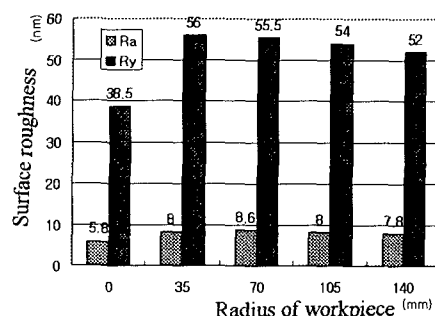


**Fig. 4 The measuring point of surface roughness**

**3. 실험결과 및 고찰**

**3.1 공작물 반경에 대한 표면거칠기**

Fig. 5는 슷들회전수 800 rpm 및 공작물 주속도 174 m/min의 경우에 있어서 반경방향의 표면거칠기를 표시한다. 표면거칠기(Ra)는 공작물 중심으로부터 반경위치에 대하여 약 8mm에서 거의 변하지 않았다. 표면거칠기(Ry)도 거의 동일한 경향을 나타내고 있지만 Ra에 비해서 약간 감소하는 경향이 보인다. 단, 중심부의 표면거칠기는 Ra, Ry 모두 이외의 위치보다 양호한 것은 이 위치에서 램의 이송방향이 바뀌면서 머무르는 것이 그 원인이라 생각된다.



**Fig. 5 Influence of feed direction on surface roughness**

원주방향의 표면거칠기의 경향을 Fig. 6에 표시하였다. 경향은 반경방향과 비슷하지만, 그 값은 Ra 4nm, Ry 25nm로써 약 1/2 정도이다. 특히, Ry에 있어서 그 변화경향이 급격한 현상이 보인다. Fig. 5와

6에서의 방향성 및 변화구배의 차는 반경방향에 있어서는 램의 이송속도, 스톨면의 경사정도 등과 원주방향은 입자의 연삭 작용에 크게 영향을 받는다고 생각된다. 이외의 연삭 조건에서도 유사한 현상이 나타났지만, 거칠기의 값에 있어서는 다소 차이가 있었다.

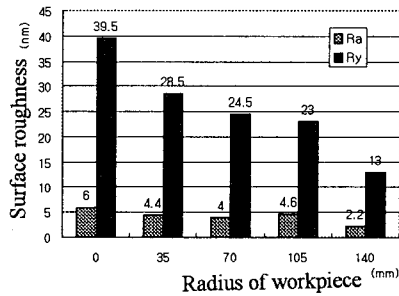


Fig. 6 Influence of grinding direction on surface roughness

### 3.2 표면거칠기와 공작물 주속도와의 관계

Fig. 7은 스톨회전수 800 rpm, 램의 이송속도 120 mm/min에서 공작물의 주속도 150, 174, 197(m/min)에 대한 표면거칠기의 변화를 표시한 것이다. 여기서 표면거칠기는 중심으로부터 끝단까지 10 점의 최대값과 최소값 그리고 평균값을 표시하였다.

공작물 주속도의 증가에 따라 표면거칠기도 증가하고 있지만, 그 변화구배는 크지 않았다. 가공면 거칠기(Ra)는 각 조건에서 평균 5.9, 5.9, 6.2(nm)라는 양호한 결과를 얻을 수 있었지만 150m/min의 조건에서는 공작물 끝단에서 약간 강한 가공흔적이 발견되었다. Fig. 6에서 처럼 입형 로타리 방식의 연삭 가공에서 이와 같은 표면 거칠기의 산포는 해결해야 할 선결과제라고 생각한다.

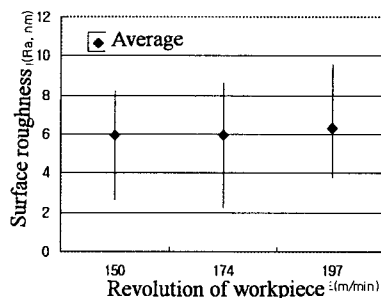


Fig. 7 Influence of workpiece revolution

### 3.3 표면거칠기와 스톨회전수와의 관계

Fig. 8은 스톨회전수 1000 rpm, 램의 이송속도 120 mm/min에 공작물 주속도를 150, 174, 197 (m/min)에 대한 표면거칠기의 변화를 연삭방향별로 표시한 것이다. 여기서 표면거칠기(Ra)는 각 조건 및 연삭방향에서의 평균값이다. 공작물 주속도 174m/min까지는 감소하는 경향을 나타내고 있지만 197m/min에서는 약간 증가하였다. 이 현상은 주속도가 커짐으로 해서 연삭잔량이 증가하고, 입자의 연삭작용시 입자가 깊게 작용하기 때문에 표면거칠기는 다소 증가하는 것으로 생각된다. 따라서, Fig. 11의 결과로써 스톨회전수 1000rpm에서 공작물 주속도 174m/min가 가장 적절한 조건으로 추천할 수 있다.

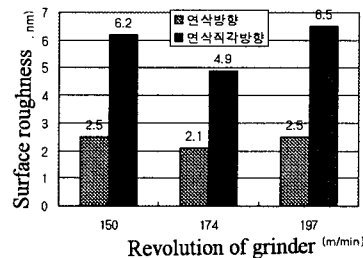


Fig. 8 Surface roughness versus grinding direction

Fig. 9는 공작물 주속도 174 m/min, 램의 이송속도 120 mm/min에서 스톨회전수 800, 1000, 1150(rpm)에 대한 표면거칠기(Ra)의 연삭 방향별 경향을 표시하였다. 반경방향은 스톨회전수가 증가할수록 표면거칠기는 감소하고 있지만 원주방향에서는 1150rpm에서 오히려 증가하였다. 이와 같은 현상은 스톨회전수 1150rpm에서 공작물이 타기 시작한 결과로 생각된다. 표면거칠기의 관점에서는 SD8000 스톨에서 절입량 1 $\mu$ m, 램의 이송속도 120mm/min의 가혹한 조건에서도 Ra2 ~ 8nm(Ry13 ~ 56)의 경면을 얻을 수 있고 고능률 ELID 연삭이 가능하였다.

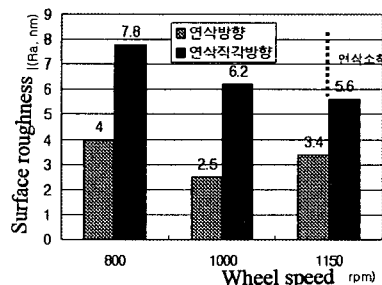


Fig. 9 Influence of wheel speed

### 3.4 실리콘 웨이퍼의 표면성상

Fig. 10 은 #8000 슷들에 의하여 가공한 Si-Wafer 의 AFM(Atomic Force Microscope)상을 나타낸것이다. ELID 연삭표면은 고정입자 선단에서 형성된 예리한 절삭흔적을 나타내고 있다 이러한 연삭방향의 절삭 흔적이 방향에 따른 표면 거칠기의 차이를 나타내는 요인이다.

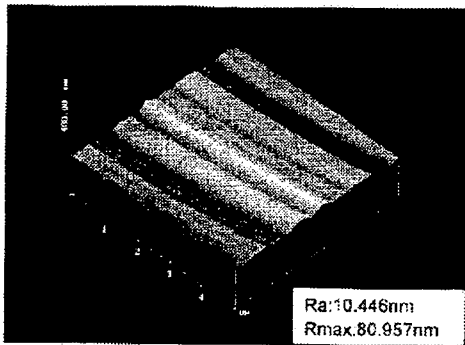


Fig.10 AFM image for Si-wafer by SD#8000

Fig. 11 은 SD8000N100M 스트레이트 슷들에 의한 실리콘 웨이퍼의 ELID 연삭면은 고정입자에 의한 제거가공이기 때문에 미세한 입자선단의 절삭작용에 의하여 어느정도의 가공변질층의 존재는 피할 수 없다. 그러나, 상세한 조사는 할 수 없었지만 Fig. 11 에 의하면 최대 1 $\mu$ m 이하인 것을 알 수 있으며, 관용의 래핑가공에 비하여 수배정도 적은 영향을 받고 있을 뿐 아니라 우수한 고능률 경면연삭도 가능함을 알았다

11 $\mu$ m 이하의 변질층은 ELID 연삭이 웨이퍼의 중간 가공 공정임을 고려할 때 전혀 문제가 되지 않을 것으로 생각된다.

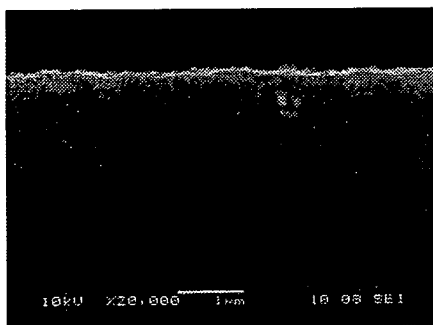


Fig. 11 The cross section of ground Si-wafer

Fig.12 는 실리콘 웨이퍼를 ELID 로 연삭작업 완

료후, 표면의 상태를 이차전자 이미지 SEI(Second Electron Image) 로서 완성되어진 Si-Wafer 의 표면에 원소들을 나타낸 값이다. 실리콘 웨이퍼는 표면에 불순물이 함유되어 있으면 고유의 성능을 얻기가 어렵다. 본 실험에서는 표면분석 결과는 규소(Si) 8 외에 탄소(C)0.2, 산소(O)2.4, 철(Fe)0.3 의 미소량 값은 Si 전체를 8 의 값은 중요시 되지 않는다.

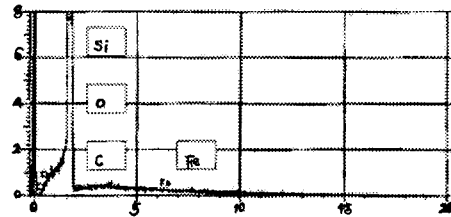


Fig.12 The chemical composition for Si-wafer

래핑후 차기 공정인 화학 기계적 폴리싱 CMP (Chemical Mechanical Polishing)마무리 공정을 거치면 반도체 웨이퍼로서 전혀 무관한 양이다. 또한, 최종 가공된 웨이퍼의 표면 화학성분을 분석한 결과 99%이상은 실리콘으로 구성되어 있으나 약간의 산소, 탄소 그리고 철 성분이 검출되었다. 미소량의 불순물이 웨이퍼의 표면층에 존재하고 있는 미소량의 값은 마무리 가공공정에서 충분히 제거될 수 있으리라 사료되지만, 이러한 불순물 생성기구 및 개선방안에 대하여는 차후 연구가 계속되어야 할 것으로 생각된다.

Fig.13 은 웨이퍼 중심으로 부터 반경 150mm 까지 비접촉식 형상측정기로 형상오차를 측정하여 나타내었으며, 가장자리를 기준하여 중심부에서 약 4 $\mu$ m 정도의 연삭 잔량이 관측되었다. 이러한 현상은 대 직경의 공작물을 가공하면서 슷들의 날무덤 현상을 전해속도가 따르지 못하였거나 지나친 램의 이송속도 그리고 기계의 가공 원리상 중심부의 주속도 저하 등으로 추측된다.

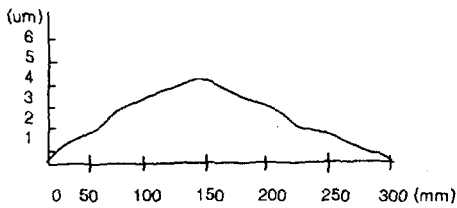


Fig. 13 The flatness of ground si-wafer

Fig 14 은 웨이퍼의 거울면표면이 꽃병의 꽃이 비치 는 모습을 디지털 카메라로 촬영한후의 모습을 보여진다.

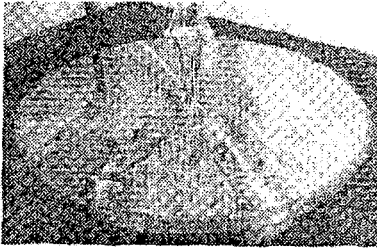


Fig. 14 The mirror like surface on Si-wafer

#### 4. 결론

본 연구는 #8000 메탈본드 다이아몬드 슷돌에 의한 300mm 대구경 실리콘 웨이퍼의 ELID 경면연삭 특성을 시험한 것이다. 또한 연속 전해 드레싱 방법을 채택하여 안정적인 메탈 본드스�돌의 드레싱에 의해 각각의 연삭조건에 대한 표면 거칠기의 방향성과 표면성상 등에 대하여 본 연구의 작업조건 범위 내에서 요약하면 다음과 같다.

- (1) 공작물 주속도는 표면거칠기에 거의 영향을 미치지 않았다.
- (2) 표면거칠기는 반경방향에 비해서 원주방향이 1/2 정도 양호하였다.
- (3) 슷돌회전수 1000rpm, 공작물 주속도 174m/min 에서 가장 양호한 결과를 얻을 수 있었고, 실리콘 웨이퍼의 고능률 경면연삭이 가능하였다.
- (4) 웨이퍼 중심으로부터 150mm 위치에서 4 $\mu$ m 정도의 형상오차가 있었다.
- (5) 표면에 산소, 탄소 그리고 철성분이 1% 미만으로 함유되어 있었다.

금후, 가공물이 웨이퍼임을 고려할 때 표면거칠기의 방향성 및 산포에 대하여 더 많은 검토가 필

요하며, 공작물의 가공변질층, 평면도 그리고 휨 등에 대하여도 검토할 필요가 있다고 생각된다.

#### 참고문헌

1. 大森 整, "ロータリサーフェスグラインダによる電解ドレッシング鏡面 研削," ELID 研削會報, Vol. 1, pp. 56 - 57, 1991.
2. 大森 整, "ELID による超 精密 鏡面研削システム," ELID 研削會報, Vol. 10, pp. 136-149, 1994.
3. 大森 整, "鑄鐵ボンドダイヤモンドによるシリコンの研削加工," 昭和 63 年度精密工學會春季講演論文集, p. 519, 1988.
4. Matsuo, T, Okamura, "Wear Characteristic of General and Super hard Abrasive Grain against Various Hard Materials," annuals of the CIRP, Vol. 30, pp 233-237,1981.
5. E. S. Lee, J. D. Kim, "A Study on the Analysis of Grinding Mechanism and Development of Dressing System by using Optimum In-Process electrolytic Dressing," Int. J. Mach. Tools Manufacture. Vol. 37, No. 12, pp. 1673-1681,1997.
6. N. Itoh, H. Ohmori "Finishing Characteristic of ELID-lap grinding Using Ultra Fine Grain Lapping Wheel," International Journal of JSPE, Vol. 30, pp. 305-308, 1997.