

# 실리콘 웨이퍼 연삭의 형상 시뮬레이션

김상철<sup>#</sup>, 이상직<sup>\*</sup>, 정해도<sup>\*\*</sup>, 최현종<sup>\*\*\*</sup>, 이석우<sup>\*\*\*</sup>

## Profile Simulation in Mono-crystalline Silicon Wafer Grinding

Sang Chul Kim<sup>#</sup>, Sang Jik Lee<sup>\*</sup>, Hae Do Jeong<sup>\*\*</sup>, Heon Zong Choi<sup>\*\*\*</sup> and Seok Woo Lee<sup>\*\*\*</sup>

### ABSTRACT

Ultra precision grinding technology has been developed from the refinement of the abrasive, the development of high stiffness equipment and grinding skill. The conventional wafering process which consists of lapping, etching, 1st, 2nd and 3rd polishing has been changed to the new process which consists of precision surface grinding, final polishing and post cleaning. Especially, the ultra precision grinding of wafer improves the flatness of wafer and the efficiency of production. Furthermore, it has been not only used in bare wafer grinding, but also applied to wafer back grinding and SOI wafer grinding. This paper focuses on the flatness of the ground wafer. Generally, the ground wafer has concave profile because of the difference of wheel path density, grinding temperature and elastic deformation of the equipment. Wafer tilting is applied to avoid non-uniform material removal. Through the geometric analysis of wafer grinding process, the profile of the ground wafer is predicted by the development of profile simulator.

**Key Words** : Mono-crystalline Silicon wafer (단결정 실리콘 웨이퍼), Wafer grinding (웨이퍼 연삭), Wheel path density (휠 패스 밀도), Profile simulation (형상 시뮬레이션)

### 1. 서론

최근 반도체 산업은 끊임없는 발전을 거듭하여 마이크로 프로세서와 메모리를 비롯한 각종 반도체 디바이스는 점차 고집적화·고기능화 되어가고 있으며 패턴의 미세화만으로는 완전히 대처하기 곤란하므로 칩의 크기도 증가하고 있는 추세이다. 특히 디바이스 공정에서 다층 배선을 위한 평탄화에 대한 요구가 날로 심해짐에 따라, 현재 공정을 형성

하고 있는 래핑, 에칭, 1, 2, 3차 폴리싱으로는 이러한 요구조건을 충족시키기 어렵고 생산 단가도 높아져 가격 경쟁이 힘들다. 웨이퍼 고정밀 연삭 가공 기술을 확보함으로써 래핑, 에칭, 1, 2차 폴리싱을 정밀 연삭 공정으로 대체할 수 있으므로 제품 요구 사양을 만족시키면서 생산 효율 측면에서 상당한 이점을 가질 수 있다. 또한 고정밀 연삭 가공 기술은 웨이퍼 후면 연삭(back grinding), SOI(Silicon On Insulator) 웨이퍼의 박막 형성, 화합물 반도체의

접수일: 2003년 7월 18일; 게재승인일: 2004년 8월 13일

# 교신저자 : 부산대학교 정밀기계공학과

E-mail next176@dsemi.com Tel. (043) 879-5807

\* 부산대학교 정밀기계공학과

\*\* 부산대학교 정밀정형 및 금형가공연구소

\*\*\* 한국생산기술연구원

초정밀 경면 연삭 가공, 디바이스 집적 중 손상된 웨이퍼의 표면 재생 가공 등에 절대적으로 필요한 기술이라 할 수 있다.<sup>1,2</sup>

웨이퍼 연삭 공정이 여타 공정에 비해 상대적으로 평탄도 측면에서 우수한 장점을 지니고 있으나<sup>4</sup> 이런 장점을 더욱 부각시키기 위해서는 공정 특성상 필연적으로 발생하는 휠 패스 밀도의 차이, 슷들의 변형 그리고 연삭열 분포등 불균일 요소에 대한 발생원인과 감소 방법에 대한 연구가 지속적으로 수행되어야 할 것이다. 실제 연삭 가공된 웨이퍼를 측정해보면 중심부가 오목한 형상을 띄게 되며 이런 형상 오차는 디바이스 공정에서 로광시 초점심도의 오차율을 높이게 되며 미세 패턴의 형성을 어렵게 한다.<sup>2,3</sup>

따라서 본 연구에서는 평탄도에 악영향을 미치는 불균일 요소 중 휠 패스 밀도를 기구학적 모델링을 통해 정리한 후 틸팅각을 이용하여 평탄도를 향상시키기 위해 형상 시뮬레이션을 작성하여 틸팅각의 변화에 따른 웨이퍼 형상을 예측해 보았다.<sup>3,4</sup>

## 2. 웨이퍼 형상 시뮬레이션

### 2.1 휠 패스 밀도와 재료 제거율

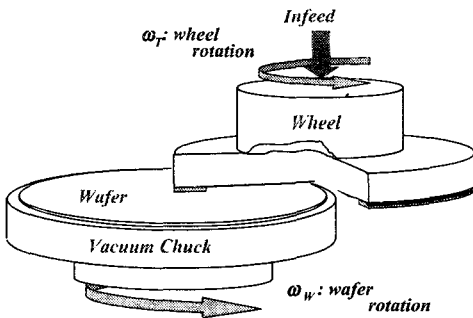


Fig. 1 Schematic diagram of infeed wafer grinding

Fig. 1에서 보는 것과 같이 웨이퍼 연삭 가공은 휠과 웨이퍼의 회전운동과 휠의 절입으로 구성되어 있다. 가공 되는 웨이퍼의 면적이 항상 같으므로 연삭저항이 일정하기 때문에 웨이퍼의 형상 정밀도와 표면 품질을 동시에 구현하면서 가공 능률을 높일 수 있다.<sup>3,5,6</sup> 하지만 웨이퍼 연삭 공정의 기구학적 특성상 웨이퍼의 반경 방향에 대해 휠 입자의

패스 밀도, 연삭열 분포가 균일하지 않고 장비 및 휠의 변형에 의해서 웨이퍼의 평탄도에 악영향을 초래할 것으로 예상된다.<sup>2,7</sup> 본 논문에서는 웨이퍼의 평탄도에 영향을 미칠 것으로 예상되는 인자 중 휠 패스 밀도를 정의하고 그것이 반경 방향으로 어떠한 분포를 지니는지 간단한 모델링을 통해 규명해 보았다.

반경 방향에 따른 휠 패스 밀도는 웨이퍼 중심으로부터 반경  $r$ 의 위치에 있는 미소 면적  $S_w$ 를 지나는 휠 입자의 궤적 넓이  $S_a$ 로 정의할 수 있다. Fig. 2에서 알 수 있듯이  $S_a$ 는 웨이퍼의 반경에 따라 조금씩 커지는 경향을 보이거나 그 정도는 미소하며, 현재 웨이퍼 가공에 쓰이는 입자의 직경이 수  $\mu\text{m}$ 에서 수십  $\mu\text{m}$ 에 불과하여 웨이퍼의 넓이에 비해 극히 미소한 양인 것을 감안하면 휠의 궤적을 직선으로 가정할수 있으며, 이로써 휠 패스 밀도를 아래와 같이 간략화하여 정리할 수 있다.

$$S_a = D_a \times dr$$

$$S_w = 2\pi r \times dr$$

Wheel Path Density

$$= \frac{S_a}{S_w} = \frac{D_a \times dr}{2\pi r \times dr} = \frac{D_a}{2\pi} \left( \frac{1}{r} \right) \quad (1)$$

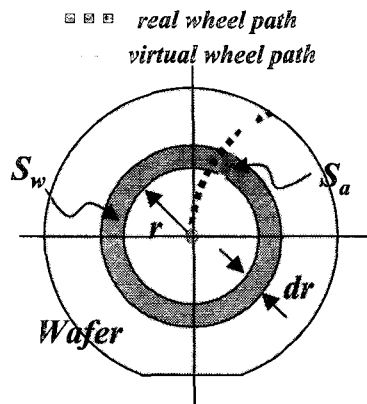


Fig. 2 Wheel path density model

여기서  $D_a$ 는 휠 입자의 직경이다. 반경 방향에 대한 휠 패스 밀도는 웨이퍼 중심에서의 거리  $r$ 에 반비례하는 함수임을 알 수 있다. 따라서 휠 패스

밀도는 웨이퍼 중심부에서 가장 높고 외곽에서 가장 낮다. 일정한 양으로 점차적인 강제 절입을 수행하는 인피드 연삭에서 이런 휠 패스 밀도의 차이는 재료 제거율과 표면 거칠기에 직접적인 영향을 미칠 것으로 예상된다.<sup>4</sup>

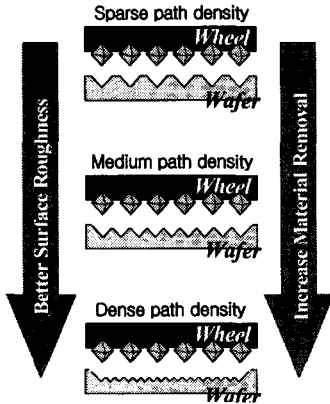


Fig. 3 Effect of wheel path density on roughness and material removal

Fig. 3에서 보이는 메커니즘에 의해 휠 패스 밀도가 높을수록 재료 제거율이 높으며 따라서 오토크 형태의 가공물을 기대할 수 있다. 이것은 웨이퍼의 평탄도에 악영향을 미치는 요소이지만 언급하였듯이 공정 특성상 불가피하게 발생하는 현상으로써 이를 보완해 주기 위해서는 웨이퍼의 회전축과 휠의 회전축을 평행 상태가 아닌 약간의 틸팅각을 부여하는 방법이 있겠다.<sup>3</sup>

## 2.2 형상 시뮬레이션

평탄도를 정의하는 인자로 TTV(Total Thickness Variation)와 STIR(Site Thickness Indicated Readings)을 들 수 있는데 TTV는 웨이퍼를 진공척에 고정시켰을 때 최고면과 최저면의 단차를 말하며 STIR은 칩사이즈내에서의 두께편차를 말한다. 따라서 로깅 공정을 웨이퍼 전체에 대해 일률적으로 시행할 때에는 TTV값이 초점심도내에 들어야 하며 하나의 칩 단위로 공정을 시행할 때에는 STIR값이 초점심도를 만족해야한다. 일반적으로 연삭공정은 타공정에 비해 고강성 장비와 휠을 이용하므로 TTV와 STIR값이 향상되는 반면, 웨이퍼링 공정에서 연삭 후 마무리 공정으로 행하는 폴리싱은 압력전사방식이며 연질 패드를 이용하므로 압력집중현상에 의해

TTV값은 떨어지는 반면 STIR값은 큰 차이가 없다.<sup>2</sup>

앞절에서 언급하였듯이 휠 패스 밀도를 비롯한 여러 가지 불균일 요소에 의해 웨이퍼 평탄도는 악화되는데 이것을 보완해 주는 방법으로 틸팅각을 부여하는 것을 들 수 있다. 웨이퍼와 휠의 회전축을  $z, z'$ 축, 웨이퍼와 휠의 중심을 잇는 선을  $y$ , 그리고  $z$ 와  $y$ 에 수직인 축을  $x$ 축이라 하였을 때  $x, y$ 축의 회전시키면서  $z$ 축을 틸팅시킬 수 있으며, 이는 휠 입자가 웨이퍼 면을 수평으로 가공하는 것이 아니기 때문에 임의의 가공 형상을 기대할 수 있을 것이다.

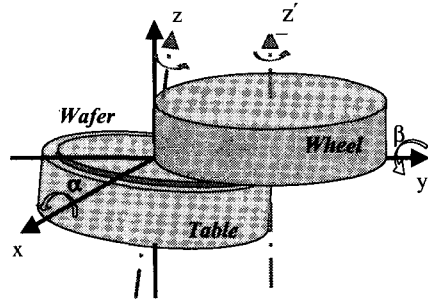


Fig. 4 Schematic diagram of table axis tilt

틸팅을 하였을 때 틸팅각에 따라 예상되는 웨이퍼의 형상을 알아보기 위해 간단히 형상 방정식을 정리하였다. Fig. 5에서 보는 것과 같이 웨이퍼 중심부와 휠과 닿는 웨이퍼 edge 부분을 각각  $O, A, C$ 라 하였을 때  $\widehat{AC}$  전체를 가공하는 방법과  $\widehat{AO}$  부분만 가공하는 방법이 있는데, 끝단 부분에서 스톱이 진입할 시 발생하는 결함을 없애기 위해 중심부에서 완만하게 진입하는 후자의 방법이 쓰이며<sup>3</sup> 따라서 후자의 방법을 모델링하였다.

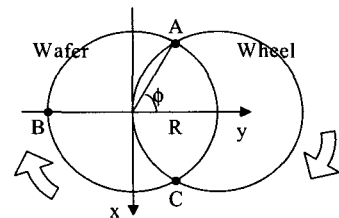


Fig. 5 3-points on the table

웨이퍼의 끝단 부분과 휠이 만나는 점을 각각  $A, C$ 라 하고 웨이퍼와  $y$ 축이 만나는 점을  $B$ 라고 하

였을 때 A 고정시 B, C를 그리고 C 고정시 A, B의 높이를 변화시키면서 킬팅 효과를 주며 두 방식은 같은 효과를 낸다. 먼저 웨이퍼의 중심(O)을 원점으로 한 세 점의 위치는 다음과 같이 나타내어진다.

$$\begin{aligned} A & (-R \times \sin \phi, R \times \cos \phi, 0) \\ B & (0, -R, b) \\ C & (R \times \sin \phi, R \times \cos \phi, c) \end{aligned}$$

여기서  $R$ 은 휠의 반경을 나타내며 A점의 위치를 고정시키고  $z$ 축을 킬팅시켜 B와 C점을 각각  $b, c$  만큼 이동하였을 때의 위치값을 나타낸 것이다.

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{2b - c}{1 - 2R(1 + \cos \phi)} \right) \quad (2)$$

$$\beta = \tan^{-1} \left( \frac{-c(1 + \cos \phi)}{\sin \phi(1 - 2R(1 + \cos \phi))} \right) \quad (3)$$

또한 Fig. 6의 모델링에 의해서 이 세 점이 이루는 웨이퍼 평면의 법선 벡터를 이용하면  $x, y$ 축을 중심으로 회전한 각  $\alpha, \beta$ 는 식(2), (3)으로 정리되며, 웨이퍼 중심에서 임의의 거리  $r(r_x, r_y)$ 에 위치하는 입자의 거리와  $y$ 축에서의 편각( $\theta$ )와의 관계는 다음과 같이 정리될 수 있다.

$$\begin{aligned} R^2 &= R^2 + r^2 - 2rR \cos \theta \quad \text{에서} \\ r &= 2R \cos \theta \end{aligned} \quad (4)$$

따라서

$$r_x = r \sin \theta = 2R \cos \theta \sin \theta \quad (5)$$

$$r_y = r \cos \theta = 2R \cos^2 \theta \quad (6)$$

식 (5), (6)를 이용하면 휠 입자가 지나는  $Z$ 축 방향의 높이는 다음과 같이 간단하게 정리할 수 있다.

$$Z_{total} = Z_\alpha + Z_\beta \quad (7)$$

where,

$$Z_\alpha = r_y \sin \alpha = -2R \cos^2 \theta \sin \alpha$$

$$Z_\beta = r_x \sin \beta = -2R \cos \theta \sin \theta \sin \beta$$

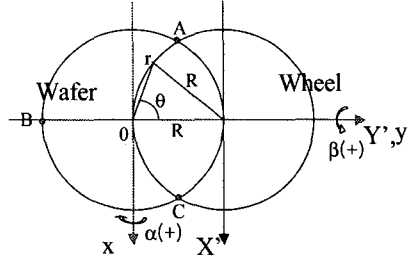


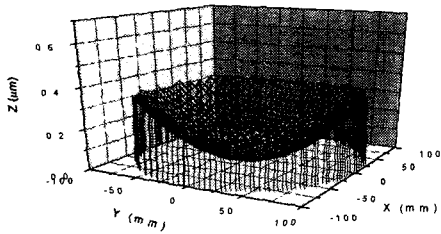
Fig. 6 Table axis tilt model

이 식(2), (3), (7)을 이용하여 8inch 웨이퍼를 대상으로 시뮬레이션을 실시하였다. Fig. 7은  $b, c$ 의 효과를 보여준다.

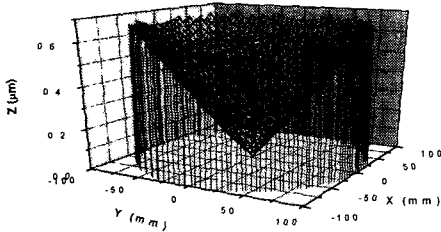
그 결과  $b, c$ 가 각각 양의 값일 때는 오목한 형상을, 음의 값을 가질 때는 볼록한 형태의 웨이퍼가 예상된다. 그러나 같은 볼록한 형상이라고 하더라도 그 형태가 조금씩 차이가 남을 알 수 있다. Fig. 7(c)와 (d)를 비교해보면 알 수 있듯이  $b$ 를 변화시켰을 때에는 구 형상이,  $c$ 를 변화시켰을 때에는 원뿔 형상이 나타났다. 또한 같은 값을 이동시켰을 때에  $b$ 를 조정하는 것이  $c$ 를 조정하는 것보다 미세한 조정이 가능함을 알 수 있다. 각각  $1\mu\text{m}$  이송시 두께편차가  $0.33\mu\text{m}$ 과  $0.67\mu\text{m}$  씩 발생함을 확인할 수 있었다. Fig. 7(a)와 (b)는 (c)와 (d)를 반전한 형상이 된다.

Fig. 8은  $b, c$ 의 적당한 조합으로 만들어지는 다양한 형상의 웨이퍼를 나타낸다. 언급하였듯이 휠 페이스 밀도의 차이로 인해 중심부에서 오목해지는 경향과 후 공정인 폴리싱 공정시 끝단 부분이 과도하게 가공되는 것을 고려할 때 목표로 삼을 형태는 Fig. 8(a) 또는 (c)의 형태가 될 것이다. Fig. 8(a)와 (c)는 조정 방향은 서로 동일하나 그 크기가 다르기 때문에 같은 형상을 지니지만 그 정도에서 차이가 남을 알 수 있다. 후 공정인 폴리싱 공정은 장비와 사용 조건에 따라 가공 형상이 불규칙적으로 이루어져 예측하기 힘들으나 일반적으로 가공 전 형상을 따르는 방향으로 그 정도를 심화시켜 평탄도를 악화시킨다.<sup>3</sup> 따라서 연삭시에는 휠 페이스 밀도의 효과를 보완하면서 끝단 부분을 제외한 부분은 최대한 평탄한 형상을 제조하는 것을 목적으로 삼는 것이 바람직할 것으로 보인다. 결국 웨이퍼의 형상은  $b,$

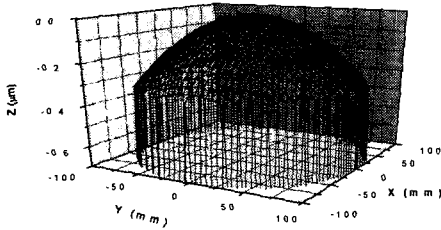
c의 비에 의해 결정됨을 알 수 있으며 그 크기는 휠 패스 밀도의 영향과 폴리싱 공정시 발생하는 끝단효과(Edge effects)를 고려하여 결정될 수 있을 것이다.



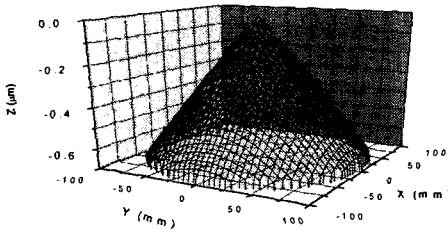
(a)  $b = 1, c = 0$  ( $\mu\text{m}$ )



(b)  $b = 0, c = 1$  ( $\mu\text{m}$ )

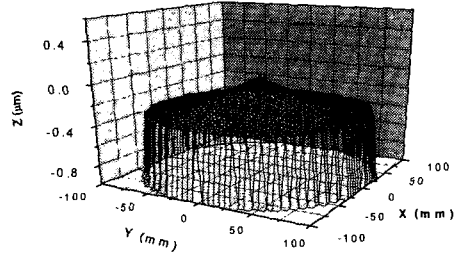


(c)  $b = -1, c = 0$  ( $\mu\text{m}$ )

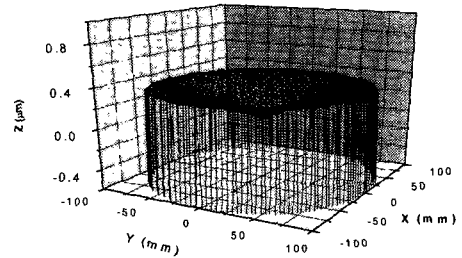


(d)  $b = 0, c = -1$  ( $\mu\text{m}$ )

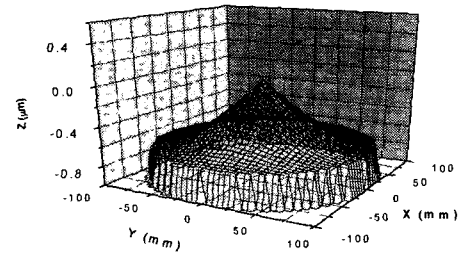
Fig. 7 Profile transition at different of b or c



(a)  $b = 1, c = -1$  ( $\mu\text{m}$ )



(b)  $b = -1, c = 1$  ( $\mu\text{m}$ )



(c)  $b = 2, c = -2$  ( $\mu\text{m}$ )

Fig. 8 Profile transition at different combination of tilt angle

### 3. 실험 및 결과

앞절에서 언급하였듯이 In-feed 연삭 공정의 특성상 웨이퍼의 평탄도에 약영향을 미치는 인자로 휠패스 밀도의 불균일성, 연삭열의 불균일 분포, 장비의 탄성 변형 등이 있으며 평탄도는 웨이퍼와 휠의 상대속도, 절입량, 추가공량 그리고 휠의 결합재 등에 영향을 받을 것으로 보인다. 또한 평탄도는 서보마이크로 단위로 제어되기 때문에 이것은 장비

의 안정화, 작업 조건, 환경의 영향을 많이 받아 예측하기 힘들다. 특히 장비가 안정화되기 전에는 평탄도가 불규칙적으로 분포되고 그 크기도 매번 달라 일반적으로 더미 웨이퍼 9~10장 정도를 이용하여 시 공정을 거치고 본 공정에 돌입하게 된다. 이때 시 공정 때 나타나는 웨이퍼의 형상과 정밀도 수준을 측정하고 본 공정시 틸팅을 통해 개선하는 방식을 이용하게 된다.

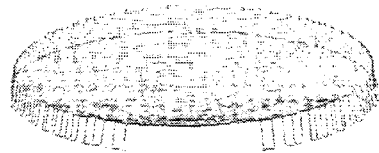
본 연구에서는 틸팅을 통해 평탄도를 제어하는 시뮬레이션 결과를 실험적으로 규명하기 위해 B점의 위치에 따른 웨이퍼의 형상을 측정해 보았다. 그리고 공정 변수 중 휠의 속도와 절입량에 따른 형상 정밀도 특성을 실험을 통해 알아보았다. 장비는 웨이퍼 연삭에 가장 많이 이용되는 DFG-830(DISCO co.)를 사용하였으며 8" 단결정 실리콘 웨이퍼를 가공하였다. 측정은 9500ultraguage(ADE co.)를 이용하여 웨이퍼당 8700개의 포인트를 대상으로 시행하였다. 아래의 Table 1은 실험에 사용된 장비와 구체적인 실험 조건을 나타낸다.

Table 1 Experimental conditions

Parameters	Conditions
Machine	DFG-830(DISCO 社)
Workpiece	8" Monocrystalline Silicon Wafer(100)
Wheel	SD2000N100R
Coolant	Water
Wafer Speed	40 rev/min
Stock removal	10 $\mu\text{m}$
Measurement	9500ultraguage(ADE co.)
Wheel Speed	3200~6400 rev/min
Feed rate	0.1~0.7 $\mu\text{m}/\text{s}$
B point	-28 ~ 7 clicks

Fig. 9는 휠속도와 절입량은 각각 4800RPM, 0.1  $\mu\text{m}$ 로 고정한 후 B 점의 위치에 따른 평탄도를 나타낸 것이다. 여기서 B 점은 Fig. 5에서 설명하고 있

다. 일반적으로 테이블 틸팅을 통한 형상 제어에서는 A점을 고정시키고 B 점과 C 점의 위치를 변화시키면서 틸팅 효과를 줄 수 있다. 하지만 실제 현장에서는 B와 C를 동시에 제어하기엔 그 경우의 수가 많으므로 C점 역시 고정시키고 B점만 제어하면서 평탄도를 개선시키고 있다. 1click 당 약 0.25  $\mu\text{m}$  정도 제어되며 Z축의 양의 방향을 (+)로 표현하였다. Fig. 9(b)에서 보는 바와 같이 위치를 이동시키지 않았을 때에는 오목한 형상의 웨이퍼가 형성되었다. 이것은 앞 절에서 이론적으로 고찰한 것과 같이 휠 패스 밀도의 차이에 기인한 것으로 사료된다. 시뮬레이션을 통해 예상한 것과 같이 B점을 (-) 방향으로 이동시켰을 때 볼록한 형상이 나타났으며 이를 통해서 평탄도를 향상시킬 수 있었다. 또한 7click 당 약 0.4  $\mu\text{m}$  정도씩, 즉 1  $\mu\text{m}$ 이송시 0.23  $\mu\text{m}$  정도 TTV값이 변화하는 것을 볼 수 있었다. 시뮬레이션 결과보다 0.1  $\mu\text{m}$  정도 적게 변화하는 것을 확인할 수 있었는데 이는 연삭열 및 장비의 탄성변형 등의 영향이 복합적으로 작용한 것에 기인하는 것으로 사료된다.



(a). Click : 7(1.75  $\mu\text{m}$ ), TTV : 1.62  $\mu\text{m}$



(b). Click : 0(0  $\mu\text{m}$ ), TTV : 1.28  $\mu\text{m}$

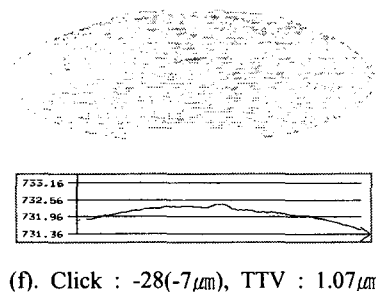
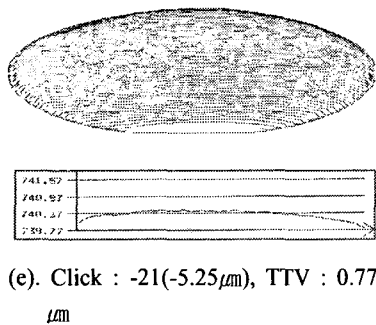
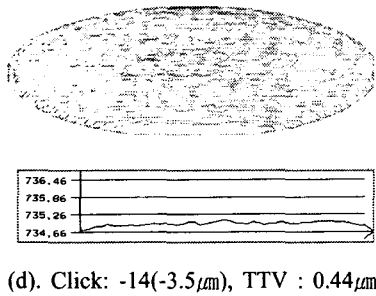
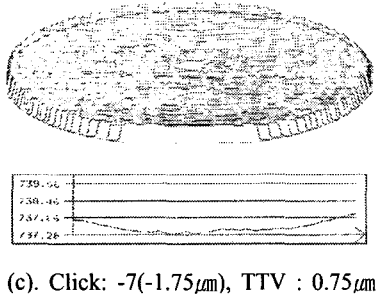


Fig. 9 Flatness(TTV) according to the B point variation

Fig. 10는 휠속도에 따른 웨이퍼 평탄도(TTV)를 나타낸다. 본 실험은 테이블 상에서 테이블 축의 각을 결정하는 B, C 점을 조정하여 평탄도를 약 0.5 $\mu\text{m}$ 으로 유지시킨 상태에서 휠속도를 변화시켰다. 이는 요구되는 평탄도를 만족시키기 위한 공정 조건 설정에 있어서 속도 변화로 이를 이룰 수 있는가를 동시에 확인하기 위해서이다. 절입 속도는 0.3 $\mu\text{m/s}$ , B point는 -14click이다. 그림에서 보는 바와 같이 특정한 포인트를 제외한 부분에서 휠속도가 증가할수록 평탄도는 양호해지는 경향을 보인다.

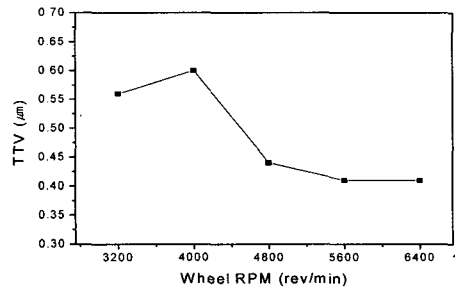


Fig. 10 Flatness(TTV) as wheel RPM variation

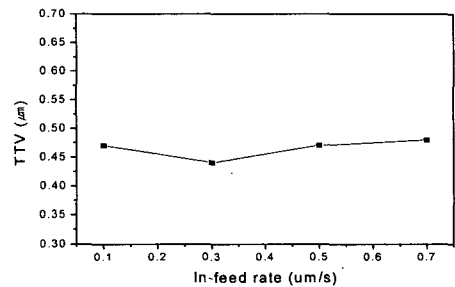


Fig. 11 Flatness(TTV) as feedrate variation

Fig. 11은 절입량에 따른 웨이퍼 평탄도(TTV)를 나타낸다. 역시 평탄도를 0.5 $\mu\text{m}$ 로 조정된 상태에서 절입량을 변화시켜 보았다. 휠 속도는 4800RPM, B point는 -14click이다. 그림에서 보는 것과 같이 절입량은 평탄도에 뚜렷한 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 일반적으로 절입량의 증대는 미연삭량을 증가시키며 이로 인해 배분력의 증가로 장비나 스톨의 탄성변형이 일어나 평탄도의 악화를 유

발할 것으로 예상되었으나<sup>7</sup> 본 실험의 조건하에서 그 양이 적어 평탄도에 크게 영향을 미치지 않은 것으로 사료된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 평탄도에 악영향을 미칠 것으로 사료되는 휠 패스 밀도를 정리해 보았고 이런 영향을 보완해 주기 위해 틸팅각을 부여하여 웨이퍼 형상을 임의로 제어하는 형상 시뮬레이션을 실시하였다. 그리고 실험을 통해 평탄도 측면에서의 가공 특성을 파악해 보았다. 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 휠 패스 밀도는 웨이퍼 중심에서의 거리  $r$ 에 반비례하는 것으로 나타났으며 웨이퍼가 오목하게 가공되는 현상은 이에 기인하는 것으로 사료된다.
- (2) B, C점의 이송은 각각 웨이퍼를 오목하게 하거나 볼록하게 할 수 있으나 그 형태와 크기는 달랐다.
- (3) B점의  $1\mu\text{m}$ 이송은  $0.33\mu\text{m}$ 정도 두께 편차를 유발할 것으로 예측되었으나 실험결과  $0.23\mu\text{m}$ 정도 차이를 보였다.
- (4) 휠 속도가 증가할수록 평탄도는 양호해지는 경향을 보였다.

본 논문에서는 평탄도에 영향을 미치는 인자 중 휠 패스 밀도에 대해 연구하였으나 연삭열 분포 및 장비의 주축 및 휠의 탄성 변형에 대한 연구도 향후 이루어져야 할 것이며 현재 진행 중에 있다.

#### 후기

본 연구는 산업자원부에서 주관하는 중기거점 사업인 “고기능성 부품 가공용 지능형 연삭 시스템”의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. Oishi, H., "400mm-Diameter wafer qualities from slicing to grinding," *Advances in Abrasive Technology*, Vol. 3, pp. 29-36, 2000.
2. Tso, P. L. and Liao, W. J., "A study of surface profile on grinding of silicon wafer," *Advance in Abrasive Technology*, Vol. 3, pp. 219-225, 2000.

3. Kerstan, M. and Pietsch, G. J., "Silicon wafer substrate planarization using simultaneous double-disk grinding : impact on wafer surface geometry, morphology & subsurface crystal damage," *Advances in Abrasive Technology*, Vol. 3, pp. 211-218, 2000.
4. Conway, J. C. and Kirchner, H. P., "The mechanics of crack initiation and propagation beneath a moving sharp indenter," *Journal of Materials Science*, Vol. 15, pp. 2879-2883, 1980.
5. Komanduri, R., Chandrasekaran, N. and Raff, L. M., "Orientation effects in nanometric cutting of single crystal materials : An MD simulation approach," *Annals of CIRP*, Vol. 48, pp. 67-72, 1998.
6. Jeong, H. D., Ohmori, Hitoshi., Qian, Jun., Kato, Teruko. and Kim, G. N., "Fabrication of micro shapes for advanced materials by ELID grinding," *Journal of KSPE*, Vol. 17, No. 3, pp. 122-128, 2000.
7. Jeong, H. D., Qian, Jun., Kim, G. N. and Ohmori, Hitoshi., "Internal cylindrical grinding with super abrasive wheel and electrolytic in-process dressing," *Journal of KSPE*, Vol. 17, No. 4, pp. 155-162, 2000.