

◆특집◆ 지능형 연삭 가공 시스템 I

공기정압 주축을 장착한 웨이퍼 단면 연삭기술

안대균*, 김동석*, 하상백*, 이상직*

Grinding Technologies of the In-feed Grinding Machine with Air Bearing Spindle

D. K. Ahn*, D. S. Kim*, S. B. Ha*, S. J. Lee*

Key Words : Air Bearing Spindle(공기정압주축), In-Feed Grinding Machine(인피드 연삭기), Inclination of Chuck Table(테이블 기울기), Flatness(평탄도), Form Accuracy(형상 정밀도)

1. 서론

마이크로 프로세서(Micro Processor)와 메모리(DRAM)를 비롯한 각종 반도체 디바이스의 고집적화, 고기능화에 따라 고정밀도의 웨이퍼가 요구되면서 평탄도 규격도 엄격화 되고 있고 래핑 및 폴리싱 공정의 대체기술로서 평탄도에 우수한 특징을 가지고 있는 인피드 연삭에 대한 중요도가 부각되고 있다. 인피드 연삭의 장점은 래핑공정에서 어려웠던 자동화가 가능하고 고정입자에 의한 가공으로 고정도의 평탄화와 표면품위를 얻을 수 있다는 점이다. 그리고 래핑과 예칭공정을 대신할 수 있어 공정감소와 환경 친화적인 면에서도 장점을 가지고 있다. 특히, 매엽식 가공으로 대구경의 웨이퍼에 대응가능하여 300mm 와 400mm 의 웨이퍼 가공에도 채용이 시작되고 있다.

인피드 연삭기에 사용되고 있는 주축은 공기정압주축으로 우수한 회전 정밀도, 고속회전 특성, 낮은 발열특성, 반영구적인 수명, 기름을 사용하지 않아 환경 친화적이라는 특성을 가지고 있다. 공기정압주축은 이미 1960 년대부터 선진국을 중심으로 연구가 시작되어 현재는 초정밀 공작기계 및

측정기기에 널리 활용되고 있고 용도에 따라 치수와 형상을 표준화하여 제작되고 있다. 국내에서도 1990 년 이후 들어 공기정압주축에 관한 연구가 활발히 진행되고 있고 일부 제품화 되어 판매되고 있다. 그러나 인피드 연삭기에 사용되고 있는 공기정압 주축은 모터 내장형이고 단면적이 크기 때문에 설계 제작상의 어려움이 있어 세계에서 몇몇 업체만이 제작을 하고 있고 국내에서는 아직 개발한 사례가 없다.

본 논문에서는 웨이퍼 단면연삭기의 발전동향에 대하여 살펴보고 웨이퍼 단면 연삭기술 및 장비기술에 대하여 소개하였다. 그리고 공기정압주축을 장착한 단면연삭 테스트기를 제작하여 연삭 실험한 내용을 일부 소개하였다.

2. 인피드 연삭기 발전 동향

Fig. 1 은 인피드 연삭기의 시장점유율을 나타낸 그래프이다. 인피드 연삭기의 시장 점유율을 살펴보면 몇몇 제작 업체가 있지만 주로 DISCO사와 OKAMOTO사에서 양분하고 있는 것을 볼 수 있다. 웨이퍼 단면연삭기의 발전동향을 살펴보면 실리콘 웨이퍼의 평탄화 가공기술로서의 인피드 단면연삭기가 채용된 시기는 얼마 되지 않는다. 8" 용 인피드 연삭기는 수 년전부터 8"웨이퍼의 양산공정에 채용되어 사용되고 있고, 현재는 양면 동

* 한국공작기계 기술연구소

Tel. 055-282-7781, Fax. 055-282-7174

Email hamtech@hanmachine.com

시연삭기 및 12"웨이퍼 가공용 장비가 개발되어 출시되고 있다. Fig. 2 는 1998 년에 NACHI 사에서 출시한 양면 동시연삭기이고 Fig. 3 은 2001 년 Disc 사에서 출시한 12"용 단면연삭기의 사진이다.

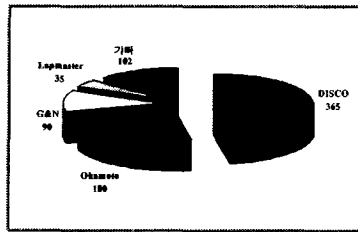


Fig. 1 Grinder market share [NIKKEI MICRODEVICE]

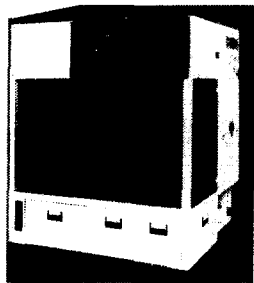


Fig. 2 The double side grinding machine for 8" wafers

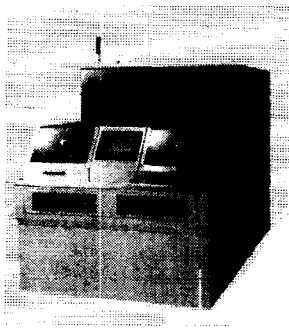


Fig. 3 The Infeed grinding machine for 12" wafers

3. 인피드 단면연삭기술 및 장비기술

Fig. 4 는 인피드 단면연삭의 원리를 나타내는 그림이다. 인피드 단면연삭은 평평한 척테이블 위에 웨이퍼를 고정하고 회전하고 있는 웨이퍼의 회전 중심이 컷타입 다이아몬드 스톨의 작업면에 위

치하도록 하여 휠을 회전시키고 연삭면에 수직인 방향으로 휠을 절입하면서 가공하는 방식이다. 이때 휠의 원주 궤적이 웨이퍼의 센터를 지나야 된다. 만약 휠의 원주 궤적이 웨이퍼의 센터를 지나지 않게 되면 웨이퍼의 중심점에 미가공 부분이 생기기 때문이다.

웨이퍼의 형상 및 평탄도는 가공조건의 영향도 받지만 스펀들과 테이블과의 기하학적인 특성에 많은 영향을 받게되고¹, 웨이퍼의 회전축과 스톨회전축의 평형상태에 따라(Tilting angle β) 웨이퍼의 형상이 달라지게 된다.^{2,3}

Fig. 5 는 Tilting Angle 의 정의와 Tilting Angle 에 따라 생성될 수 있는 웨이퍼 형상을 나타낸 것이다. 즉, Tilting Angle 를 조정하여 원하는 형상의 웨이퍼를 가공할 수 있게 된다.

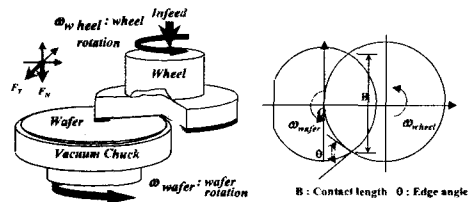


Fig. 4 Principle of infeed grinding

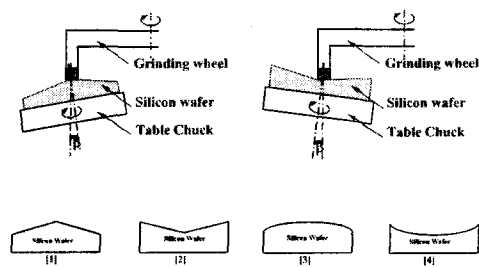


Fig. 5 View of table tilting angle

다음은 웨이퍼의 단면연삭시 평탄도에 영향을 주는 인자로 장비 설계 제작시 고려해야 될 사항들이다.

- 첫째, 스톨과 척테이블 간의 루프강성의 대응한 연삭부하에 의해 장치 각부의 미소 변위
- 둘째, 실온, 수온의 변동에 의한 장치 각부의

온도 요인적 변위
 셋째, 연삭부하에 의한 공기정압주축의 부분 변동
 넷째, 슷돌 세그먼트의 탄성변형
 다섯째, 슷돌 컨디션 변동에 의한 연삭부하의 변위
 여섯째, 연삭부하에 의한 척 테이블의 부분적 변위 등을 들 수 있다.

4. 인피드 단면연삭기용 공기정압주축

앞에서도 언급했듯이 인피드 단면연삭기용 공기정압 주축은 설계제작상의 어려움으로 세계에서 몇몇 업체에서만 제작하고 있다. Fig. 6 은 인피드 단면연삭기용으로 제작되어 판매되고 있는 공기정압주축의 사진들이다. Fig. 6 의 왼쪽 사진은 westwind 사에서 제작한 공기정압주축이고, 오른쪽 사진은 Dover 사에서 제작한 공기정압주축이다. 그리고 Fig. 7 은 실제로 공기정압주축이 인피드 단면 연삭기에 장착되어 판매되고 있는 모습을 보여 준다.

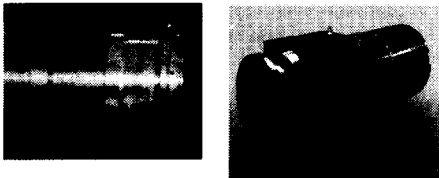


Fig. 6 Air bearing spindles for the infeed grinding machine

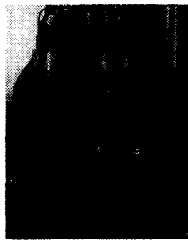


Fig. 7 Application of the air bearing spindle to the infeed grinding machine

5. 공기정압주축을 장착한 웨이퍼 단면 연삭실험

5.1 실험조건 및 방법

본 실험에 사용된 공기정압주축은 축방향 강성은 10.4 kgf/μm 이고 반경 방향강성은 1.5 kgf/μm

이다. 강성측정 부분은 Fig. 8 과 같이 휠 마운트 부분에서 측정된 값이다. 축방향의 강성이 반경방향의 강성보다 훨씬 큰 값을 가지는데 이는 웨이퍼 단면 연삭의 원리에 의해 반경방향강성보다는 축방향 강성이 중요하기 때문이다. 주축의 회전정밀도는 2μm 이내이다. Table 1 에 실험에 사용된 공기정압주축의 사양을 나타내었다. 실험에 사용된 슷돌은 입도#2000 의 레진본드 다이아몬드스�돌을 사용하였고 웨이퍼는 8" 웨이퍼를 사용하였다. 슷핀들 회전수는 4800rpm, 테이블 회전수는 40rpm, 이송속도는 0.3um/sec 으로 하였다. Table 2 에 실험에 사용된 조건을 나타냈다. 본 실험에서는 평탄도는 TTV(Total Thickness Variation)을 측정하였고, 측정 장비는 ADE-9500 을 사용하였다.

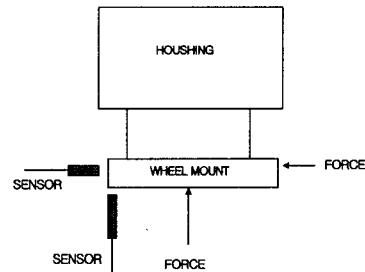


Fig. 8 Measurement of spindle stiffness

Table 1 Specification of air spindle

ITEM	SPEC.
Air Supply Pressure	5.6 kg/cm ²
Motor Cooling Water Flow Rate	2 liter/min
Radial Stiffness	1.8 kgf/μm
Axial Stiffness	10.4 kgf/μm
Rotation Error	< 2μm
Motor Output	4kW @ 4000 rpm

Table 2 Experimental conditions

Wheel	Cup Type Diamond Wheel (#2000, Resin Bond)
Spindle Speed	4800 rpm
Table Speed	40 rpm
Feed Rate	0.3 μm/sec
Wafer	8" Si Wafer

5.2 실험 결과

테스트기를 사용한 실험에 앞서 기존 양산공정에서 생산되고 있는 연삭공정을 거친 웨이퍼의 평탄도 및 형상을 파악하기 위하여 양산제품인 웨이퍼를 ADE-9500 로 측정하였다. 그 결과 Fig. 9 와 같은 형상을 나타냈다.

양쪽 끝부분이 약간 올라간 형상을 나타냈고 TTV 는 $0.87\mu\text{m}$ 를 나타냈다. 연삭공정에서 이러한 형상으로 관리하는 이유는 뒷 공정인 폴리싱 공정에서 시간 단축 및 평탄도 확보를 위해 폴리싱 평탄도에 최대한 플러스 요인을 주는 형상이기 때문이다.⁴

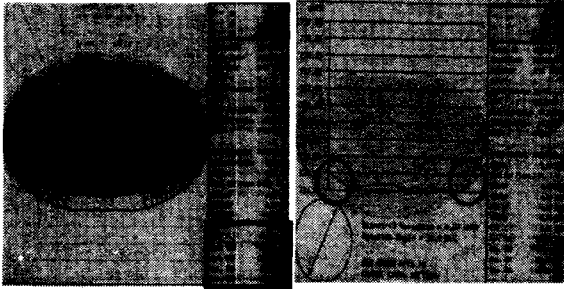


Fig. 9 Shape & TTV of sampling wafer in field (TTV:0.87um)

Fig. 10 에서 12 는 단면연삭 테스트기로 웨이퍼를 가공하는 동안 발생한 대표적인 웨이퍼들의 형상이다. Fig. 10 의 경우 가운데가 볼록한 형상을 나타내었는데, 이와 같은 형상은 척테이블의 Tilting 각을 너무 작게 하였을 때 나타내게 되고, Fig. 11 과 같이 가운데가 오목한 형상을 나타내는 경우는 Tilting 각을 너무 많이 하였을 때 나타나게 된다.

그리고 Fig. 12 는 웨이퍼 표면에 Dimple 이 생겨있고 동심원의 꼴이 파여 있는 것을 볼 수 있다. Dimple 이 발생하는 이유는 웨이퍼를 연삭하기 전에 세라믹 척테이블을 Cleaning 을 해주게 되는데 세라믹 척테이블의 Cleaning 이 제대로 되지 않아 세라믹 척테이블 위에 존재하는 파티클들이 웨이퍼 표면에 전사되기 때문인 것으로 나타났다. 그리고 웨이퍼 표면에 동심원이 생기는 이유도 웨이퍼의 탈착시 Air Blow 를 시켜줄 때 Particle 들이 Air Blow 가 되지 않는 지점으로 모여서 동심원을 이루어 쌓이게 되는데 이 파티클들을 척 Cleaning

을 통하여 완전히 제거하지 못하여 웨이퍼 가공시 동심원으로 전사되는 것으로 밝혀졌다.

이와 같이 웨이퍼 단면연삭에 있어서 형상제어와 가공정도를 높이기 위해서는 테이블 Tilting 과 세라믹 척테이블 세척이 매우 중요하다는 것을 알 수 있었다.

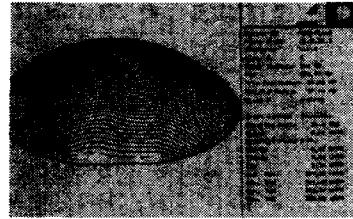


Fig. 10 Ground wafer with convex shape

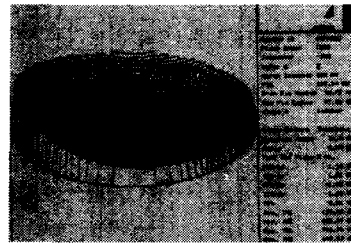


Fig. 11 Ground wafer with concave shape

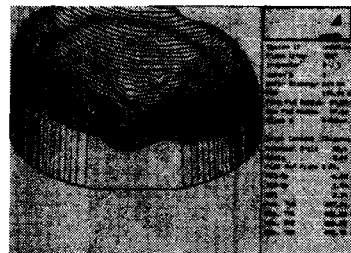


Fig. 12 Ground wafer with dimple and ring type valley

그리고 웨이퍼의 두께가 일정한 값이 나오지 않는 경우가 있었는데 이의 원인은 Coolant 온도 변화에 따라 Height Gauge 자체가 팽창과 수축을 하여 가공오차가 발생하는 것으로 나타났다. Height Gauge 는 Fig. 13 와 같이 측정 헤드와 외팔보 형식으로 측정을 할 수 있는 Finger 부와 측정을 담당하는 Contact 로 구성 되어 있고 1 개의 Head Unit 이 기준값(Reference Value)을 측정하고 나머지 1 개의 Head Unit 이 가공물의 두께를 측정

하여 두 값의 차에 의해 웨이퍼 두께를 결정하게 된다. 특히, Contact 및 Finger 부는 항상 Coolant 에 노출되어 있는 관계로 Coolant 온도를 일정하게 유지시켜주는 것이 중요하다.

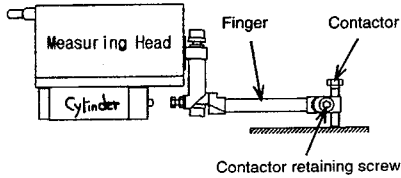


Fig. 13 Height gauge

위에서 언급한 것과 같이 웨이퍼의 단면연삭에 미치는 인자들을 파악하여 문제점들을 해결한 결과 Fig. 14 와 같이 TTV 를 향상시킬 수 있었다. 초기에는 TTV 가 3 μm 이상이 나왔지만 가공정도에 미치는 영향들을 제거하여 TTV 가 0.5-0.8 μm 의 값을 얻을 수 있었다. Fig. 15 는 테스트기로 가공한 대표적인 웨이퍼의 형상을 나타낸다. 그러나 아직 까지 완전히 해결하지 못하고 남아 있는 부분이 있는데 플랫폼 부분이 과연삭되는 문제이다. 발생하는 골의 깊이가 연삭후 공정인 폴리싱 공정에서 제거될 수 있는 양이지만 이러한 형상이 나타나는 원인을 파악하기 위하여 많은 실험을 수행하여 Fig. 16 과 같이 노치 웨이퍼에서는 골이 생기지 않는다는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 플랫폼 웨이퍼에서는 연삭부 길이가 플랫폼부분에서 변화되기 때문에 연삭저항력의 불균형이 발생하여 플랫폼부분에 과연삭이 발생된다는 것을 알게 되었다. 이 문제를 해결하기 위해서 기계적인 측면과 제어적인 측면에서 해결방법을 계속 연구 중에 있다.

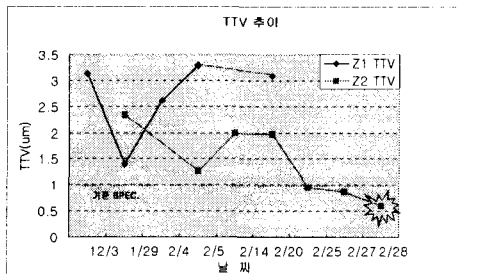


Fig. 14 The trend of TTV

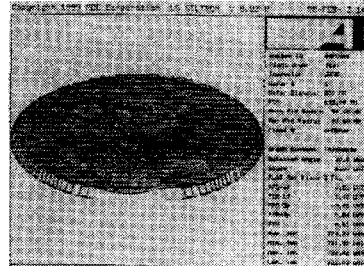


Fig. 15 The wafer ground with test machine (TTV:0.51 μm)

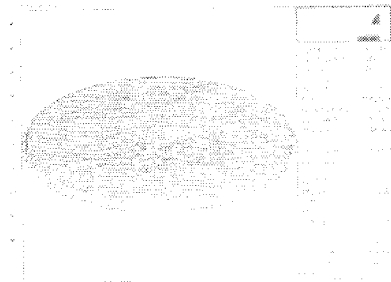


Fig. 16 The notched wafer ground with test machine (TTV:0.50 μm)

6. 결론

본 논문에서는 인피드연삭기의 발전동향 및 인피드 단면연삭기술과 장비기술에 대해서 소개하였다. 그리고 웨이퍼 단면 연삭실험을 통하여 축방향 강성 10.4 kgf/ μm , 반경 방향강성 1.5 kgf/ μm 이고 회전정밀도가 2 μm 이내인 공기정압주축의 경우 8"웨이퍼의 단면연삭에 적용 가능하다는 것을 알 수 있었다. 또한, 인피드단면연삭기의 주변 기술인 세라믹 척 테이블의 세정 및 Coolant 온도가 웨이퍼의 표면 정도에 중요한 영향을 미친다는 사실을 확인하였다.

후 기

본 연구는 산업자원부에서 주관하는 “고기능성 부품용 지능형 연삭시스템개발”의 지원에 의해 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. Pei, Z. J., Strasbaugh, A., "Fine Grinding of Silicon Wafers," *Int. J. of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 41, pp. 659~672, 2001.
2. Matsui, "A Study on Straightness of Ground Surface of Silicon Wafer," *J. of JSPE*, No. 8, pp. 1265~1270, 1987.
3. TSO, "A Study Of Surface Profile on Grinding of Silicon Wafer," *Proceeding of Abrasive Technology*, pp. 219~225, 2001.
4. Ahn, D. K., et. al., "The Trend of wafer Grinding Technology and Improvement of Machining Accuracy," *KSPE Fall Conference 2001*, pp. 300-304, 2001.