

실리콘 웨이퍼의 고정밀 단면 연삭에 관한 연구

안대균*, 황정연, 최성주, 곽창용, 하상백(한국공작기계)

A Study on Precision Infeed Grinding for the Silicon Wafer

D. K. Ahn, J. Y. Hwang, S. J. Choi, C. Y. Kwak, S. B. Ha (Hankook Machine Tools. Co. Ltd.)

ABSTRACT

The grinding process is replacing lapping and etching process because significant cost savings and performance improvemnets is possible. This paper presents the experimental results of wafer grinding. A three-variable two-level full factorial design was employed to reveal the main effects as well as the interaction effects of three process parameters such as wheel rotational speed, chuck table rotational speed and feed rate on TTV and STIR of wafers. The chuck table rotaional speed was a significant factor and the interaction effects was significant. The ground wafer shape was affected by surface shape of chuck table.

Key Words : 웨이퍼(Wafer), 웨이퍼 연삭(Wafer Grinding), 인피드 연삭(Infeed Grinding), 인피드 연삭기(Infeed Grinder), TTV(Total Thickness Variation), STIR(Site Total Indicator Reading), 평탄도 (Flatness)

1. 서론

웨이퍼의 대구경화 및 고정밀화 추세와 함께 웨이퍼 제작공정에 있어서 연삭 (Surface Grinding)의 중요성이 점차 높아져 가고 있다. 현재 300mm 웨이퍼 제조공정에서는 연삭공정이 거의 필수적으로 적용되고 있고 200mm 웨이퍼 제조공정에서도 고정밀화를 요구하는 제품에 대해서는 연삭공정이 적용되고 있다. 연삭 공정에는 인피드 연삭 방식이 주로 사용되고 있는데 인피드 연삭 방식은 고속으로 회전하는 컵형 휠의 외주날이 휠에 비해 상대적으로 저속으로 회전하는 척테이블의 중심을 지나고 깊이 방향으로 절입이 되면서 연삭하는 방식이다. 인피드 연삭은 웨이퍼를 연삭하기 전에 Self Grinding 을 통하여 웨이퍼를 고정하는 다공질 세라믹 척테이블의 형상을 Conic 하게 만든 상태에서 웨이퍼를 연삭하기 때문에 휠과 웨이퍼가 반경부분만 접촉되어 연삭된다. 이와 같이 인피드 연삭 방식은 휠과 공작물과의 접촉길이가 일정하기 때문에 일반 평면 연삭방식에 비해 평탄도, 표면조도, 스크래치, 치핑등의 측면 에서 우수한 성능을 나타

낸다.[1] 뿐만아니라 형상제어를 통하여 후공정에서 Polishing 량을 줄일 수 있기 때문에 웨이퍼의 요구되는 평탄도가 높아질수록 경제적인 측면에서 더 많은 비용을 절감할 수 있는 장점을 가지고 있다.[2]

인피드 연삭에 관한 현재까지의 연구내용을 살펴보면 Pei 와 Strasbaugh 는 연삭휠 및 Coolant 공급량과 공급위치 등이 실리콘 웨이퍼의 정밀 연삭에 중요한 역할을 한다는 것을 밝혔다.[3] 특히 이들은 휠속도, 척테이블 속도, 절입속도가 연삭저항력, 스펀들 전류치, 사이클 타임, 표면거칠기, 휠마크등에 미치는 주 영향력 및 상호영향력을 밝히기 위해 3 가지 인자에 대한 2 수준으로 Full Factorial 로 실험하여 척테이블 속도가 표면거칠기에 가장 큰 영향을 미치고 척테이블 속도가 빠를수록 거친표면이 얻어진다는 결론을 얻었다.[4] Pei 는 300mm 웨이퍼에 대하여 유사한 실험을 수행하여 휠주속이 느리고 절입속도가 빠를수록 거친표면이 얻어진다는 결론을 얻었다.[5] Chidambaram et al. 은 휠마크 및 척테이블 형상에 대한 수학적

모델을 세워 실험을 통하여 모델을 증명 하였고 [2][6]. Wangping Sun 은 웨이퍼 형상에 대한 수학적 모델을 세워 웨이퍼 형상에 미치는 입력값과 출력값에 대하여 논하였다.[7] Libo Zhou et al. 은 인피드연삭에 대한 3D 모델링을 하여 절삭궤적을 수학적으로 묘사하여 표면거칠기와 평탄도에 미치는 영향에 대하여 연구하였다.[8] 이와 같이 이전 연구에서는 가공조건에 대한 표면거칠기, 휠마크에 대한 연구가 많이 수행되어 왔다. 그러나 실제 연삭공정에서 중요하게 관리 되는 항목으로는 제품의 형상정밀도, 치수정밀도, 표면결함, 표면하부결함, 오염물질 등이 있는데 그 중에서 가공정밀도를 평가하는 항목으로 TTV 와 STIR 값을 가장 많이 사용하고 있다.

따라서 본 연구에서는 휠속도, 테이블속도, 절입속도와 같은 가공조건이 TTV 와 STIR 에 미치는 주 영향력 및 상호영향력을 밝히기 위해 3 가지 인자에 대한 2 수준으로 Full Factorial 로 실험을 수행하였다. 그리고 실험과정중 발생한 문제점들을 통하여 인피드연삭기의 설계 및 제작에 있어서 중요하게 고려되어야 할 사항에 대하여 논하였다.

2. 실험 조건 및 방법

실험장비는 Fig. 1 과 같이 자체 제작한 Infeed 방식의 연삭장비를 사용하였다.

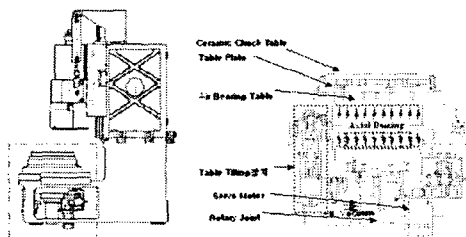


Fig. 1 Test Machine

주축은 고주파 모터가 빌터인 타입으로 연결된 에어정압 주축을 사용하였고, 테이블은 에어베어링 테이블을 사용하였다. 테이블 아래쪽에는 테이블 경사를 미세조정할 수 있는 틸팅부를 설치하였다. 주축 및 테이블의 회전정밀도는 1 μ m 이하이고 Z 축 이송 정밀도는 0.1 μ m 이다. 공작물은 8" 단결정 실리콘 웨이퍼를 사용하고 스톨은 레지노이드 #2000 다이아몬드 휠을 사용하였다. 가공된 웨이퍼의 형상 및 TTV, STIR 은 ADE-9500 을 사용하여 측정하였다. TTV 는 웨이퍼 전체에 대한 두께 편차 값이고 STIR 은 칩사이즈(20x20)크기 내에서의 두

께 편차 값이다.

앞에서 언급했듯이 인피드 연삭은 웨이퍼를 연삭 하기 전에 척테이블의 형상을 Conic 하게 만들어 주는 Self Grinding 작업을 하게된다. Self Grinding 의 순서는 먼저 틸팅부를 조정하여 세라믹 척 테이블이 안착되는 Table Plate 를 Fig. 2(a)와 같이 (0, -11, -20) 으로 경사시킨 후 세라믹 척테이블을 Table Plate 위에 부착시킨다. 여기서 테이블 경사값은 주축스핀들 센터에 인디게이터를 부착하여 Table Plate 의 중심을 지나도록 인디게이터를 반시계 방향으로 회전시키면서 측정한다. 그리고 나서 경사진 세라믹 척테이블에 드레싱 보드를 진공으로 척강한후 휠을 드레싱 하고나서 Fig. 2(b)와 같이 연삭휠로 척테이블 상면을 연삭하면 척테이블이 Conic 한 형상을 갖게된다.

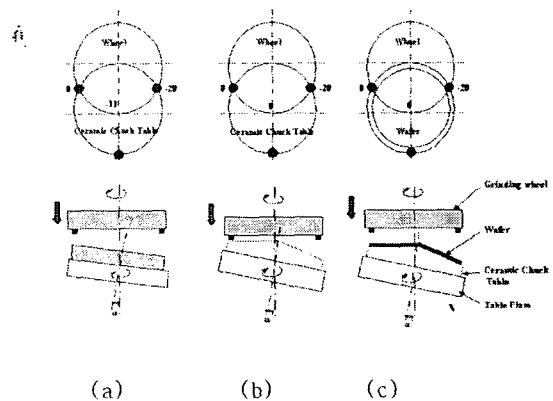


Fig. 2 Self Grinding & Wafer Grinding

위 순서로 Self Grinding 을 하고나면 척테이블의 상면 기울기가 (0, 0, -20)이 된다. 이 상태에서 웨이퍼를 척테이블 중심에 놓고 진공으로 흡착을 하면 Fig. 2(c)와 같이 웨이퍼가 척테이블 형상으로 변형되면서 척테이블에 고정되기 때문에 연삭시 웨이퍼의 반경만 휠과 접촉하면서 연삭이 되게 된다. Fig. 3 은 Self Grinding 후 연삭한 웨이퍼의 형상이다. TTV 3.22 μ m 의 오목한 형상으로 웨이퍼가 가공되었다. 이와 같은 원인은 휠 패스 밀도차이에 의하여 가운데가 많이 가공되는 부분과[8][9] 구조적인 측면에서 보면 주축 및 테이블의 바깥쪽 강성이 떨어지기 때문에 연삭시 발생하는 연삭저항력에 의하여 바깥부분에 처짐이 생겨 적게 가공되어 오목한 형상의 웨이퍼가 가공되는 것으로 판단된다.



Fig. 3 The wafer ground in table inclination of (0.0,-20)

본 연구에서는 TTV 가 좋은 웨이퍼를 얻기 위하여 Self grinding 후 틸팅부를 조정하여 테이블의 경사를 (0,-2,-19) 로 조정된 상태에서 Warming up 을 1 시간 정도 하였다. 그런데 Warming Up 후에 다시 테이블 경사를 측정해본 결과 (0, -4, -18)로 테이블 경사가 변화 된 것을 확인할 수 있었다. 이와 같은 원인은 세라믹 척테이블을 고정하는 Table plate 의 재질이 Stainless Steel 이기 때문에 Warming up 시 발생한 온도상승에 의한 세라믹 척테이블과 Table Plate 의 열팽창 차이로 인하여 세라믹 척테이블이 오목한 형상으로 변형된 것으로 사료된다. 척테이블의 형상은 웨이퍼의 형상에 직접적으로 영향을 미치기 때문에 웨이퍼의 가공전에 충분한 Warming up 을 해준 상태에서 테이블의 경사를 조정해 주어야 된다는 것을 알 수 있었다.

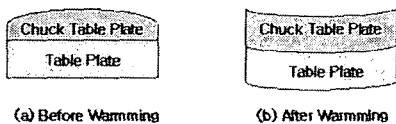


Fig. 4 Chuck table shape before & after warming up

그리고 웨이퍼의 연삭시 발생하는 온도상승에 의해서도 세라믹 척테이블의 변형이 발생하여 웨이퍼의 형상에 악영향을 미칠수 있다는 것을 예상할 수 있었다. 따라서 연삭시 발생하는 열에 의한 척테이블 변형을 최소화 할 수 있도록 장비를 설계 제작하는 것이 중요하다. 열변형 문제를 해결할 수 있는 방법으로는 연삭시 테이블로 전달 되는 열을 최소화 할 수 있도록 Coolant 를 공급하는 방법과 세라믹 척테이블과 Table Plate 의 재질을 동일하게 하든지 열팽창 차이를 최소화하여 열팽창에 대한 영향을 최소화하는 방법 그리고 Table 로 전달되는 열을 신속히 제거할 수 있도록 Cooling

Jacket 을 설계하는 방법등이 있다. 그리고 열 및 연삭저항력에 의한 테이블 변형에 관한 연구가 앞으로 수행되어져야 될 것으로 생각된다.

한편 실험순서는 Table 1 과 같이 직교배열표에 따라 실험을 수행하였고 실험인자는 휠속도, 척테이블 속도, 절입속도의 3 개로 하였고 수준은 2 수준으로 하여 반복실험을 2 회 수행하였다. 각 인자에 대한 수준은 Table 2 와 같다.

Table 1. Test matrix

Run Order	Wheel Speed	C/T Speed	Feed Rate
1	1	1	1
2	-1	1	-1
3	-1	-1	1
4	-1	-1	-1
5	1	-1	1
6	1	1	-1
7	1	-1	-1
8	-1	1	1

Table 2. Factor levels

Factor	Low Level	High Level
Wheel Speed	4200 rpm	4800 rpm
Chuck Table Speed	20 rpm	40 rpm
Feed Rate	0.1 um/s	0.3 um/s

3. 실험결과

Fig. 5 는 실험계획법에 의한 실험순서로 가공한 웨이퍼들의 형상이다. 16 개 웨이퍼 모두 오목한 형상의 웨이퍼가 얻어졌다. 그러나 틸팅부 조정을 통하여 Fig. 3 보다는 오목함이 줄어든 것을 볼 수 있다. 척테이블의 가운데 부분이 낮아 졌기 때문에 바깥쪽이 많이 가공되어 전체적으로 TTV 가 향상된 것을 볼 수 있다. 이와 같이 인퍼드 연삭기에서 틸팅부의 역할은 크게 2 가지로 볼 수 있는데 첫번째가 Self Grinding 을 통하여 척테이블의 형상을 Conic 하게 만들어 주기 위하여 Table Plate 를 경사시키는 역할이고 두번째가 연삭된 웨이퍼의 형상을 조정해 주는 역할이다. 따라서 틸팅부는 정밀하게 조정될 수 있도록 미세조정이 되어야 되고 울리고 내릴때 백래쉬가 없도록 설계되어야 된다는 것을 알 수 있다.

Table 3 은 각 조건에 대한 TTV 와 STIR 값이다.

No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
No. 5	No. 6	No. 7	No. 8
No. 9	No. 10	No. 11	No. 12
No. 13	No. 14	No. 15	No. 16

Fig. 5 Ground wafer shape

Table 3. TTV & STIR data

Test matrix			TTV (um)	STIR(um)
1	1	1	2.25	1.16
1	1	1	1.99	1.04
-1	1	-1	2.9	1.27
-1	1	-1	2.5	1.14
-1	-1	1	1.49	0.78
-1	-1	1	1.59	0.78
-1	-1	-1	1.45	0.63
-1	-1	-1	1.21	0.54
1	-1	1	1.98	0.88
1	-1	1	1.74	0.84
1	1	-1	1.94	0.93
1	1	-1	1.89	0.85
1	-1	-1	1.53	0.7
1	-1	-1	0.82	0.36
-1	1	1	1.9	0.99
-1	1	1	1.75	0.88

Fig. 6 과 7 은 TTV 와 STIR 에 미치는 Main Effect 를 나타낸 그래프이다. 분석결과 척테이블의 속도가 TTV 와 STIR 에 가장 영향을 많이 미치는 것으로 나타났고 휠 주속 및 절입속도는 상대적으로 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 휠 주속의 경우 휠주속이 빠른 조건에서 TTV 값이 낮게 나타났고 STIR 은 큰 변화가 없었다. 휠 주속은 Low Level 과 High Level 의 휠주속 차이가 크지 않아서 영향력이 크게 나타나지 않은 것으로 보여진다. 테이블 속도의 경우 테이블 속도가 빠른조건에서 TTV 와 STIR 값이 낮게 나타났고 절입속도의 경우 절입속도가 느린 조건에서 TTV 와 STIR 값이 좋게 나타났다. 이와 같은 결과는 이전에 행해진 휠속도, 척 테이블 속도, 절입속도가 표면거칠기기에 미치는 영향에 관한 연구 결과[4][5]와 유사한 경향을 나타냈다.

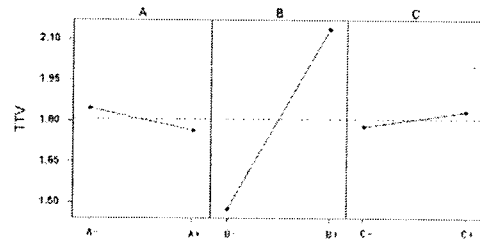


Fig. 6 Main effect plot for TTV

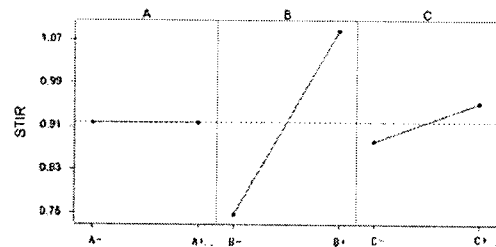


Fig. 7 Main effect plot for STIR

Fig. 8 은 TTV 와 STIR 에 대한 교호작용을 포함한 영향력을 나타낸 것이다. TTV 의 경우 척테이블 속도, 휠속도, 절입속도 순으로 영향을 많이 미치는 것으로 나타났고 휠속도와 절입속도는 각각의 영향도는 작지만 교호작용의 영향이 커진 것을 알 수 있다. STIR 은 척테이블 속도, 절입속도, 휠 속도 순으로 영향을 많이 미치는 것으로 나타났고 휠속도와 절입속도는 각각의 영향도는 작지만 교호작용의 영향이 커진 것을 알 수 있다.

위 결과에 대한 TTV 와 STIR 에 대한 회귀분석결과 식 (1), (2) 과 같은 방정식이 얻어졌다.

$$TTV=1.81-0.04A+0.332B+0.028C \text{ -----(1)}$$

$$STIR=0.861-0.016A+0.172B+0.058C \text{ -----(2)}$$

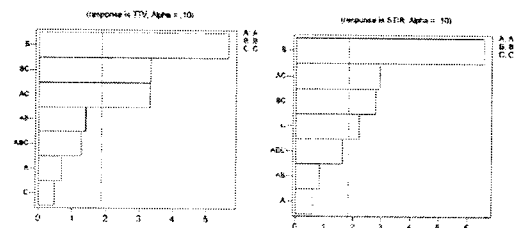


Fig. 8 Pareto chart of the effects for TTV & STIR

4. 결 론

본 연구에서는 실험계획법을 통하여 휠주속, 척 테이블 속도, 질입속도의 3 가지 인자에 대한 2 수준으로 Full Factorial 로 실험하여 이들 인자들이 TTV 와 STIR 에 미치는 영향력을 살펴보았다.

1. 척테이블 속도가 TTV 와 STIR 에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.
2. Wheel Speed 와 Feed rate 는 각각의 영향도는 작지만 교호작용에 의해 영향도가 크지는 것을 알 수 있었다.
3. 척테이블의 표면 형상이 웨이퍼의 형상과 밀접한 관계가 있고 장비의 Warming up 이 척테이블의 표면 형상에 영향을 주는 것으로 나타났다.

후 기

본 연구는 산업자원부에서 주관하는 “고기능성 부품용 지능형 연삭시스템 개발” 과제의 지원에 의해 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. S. Matsui, “An experimental study on the grinding of silicon wafers-the wafer rotation grinding method(1st report)”, Bull. Jpn. Soc. Prec. Enging. 22(4), pp. 295-30, 1988
2. S. Chidambaram et al., “Fine grinding of silicon wafers: a mathematical model for grinding marks”, International Journal of Machine Tools & Manufacture 43, pp. 1595-1602, 2003
3. Z.J.Pei, Alan Strasbaugh , “Fine grinding of silicon wafers”, International Journal of Machine Tools & Manufacture 41, pp. 659-672,
4. Z. J. Pei, Alan Strasbaugh, “ Fine grinding of silicon wafers: designed experiments”, International Journal of Machine Tools & Manufacture 42 , pp. 395-404, 2002
5. Z. J. Pei, “A study on surface grinding of 300mm silicon wafers”, Internation Journal of Machine Tools & Manufacture 42 pp. 385-393, 2002
6. S. Chidambaram et al., “Fine grinding of silicon wafers: a mathematical model for the chuck shape”, International Journal of Machine Tools & Manufacture 43, pp. 739-746, 2003
7. Wangping Sun et al., “ Fine grinding of silicon wafers: a mathematical model for the wafer shape”, International Journal of Machine Tools & Manufacture. Article in press,

pp. 1-10, 2004

8. Libo Zhou et al. “ Three-dimensional kinematical analyses for surface grinding of large scale substrate”, Presion Engineering 27 pp. 175-184, 2003

9. 김상철, “실리콘 웨이퍼 연삭의 기구학적 해석 및 평가” 공학석사학위논문. 2004