

실리콘 웨이퍼의 초정밀 절단가공에 관한 연구

이은상*, 송지복**, 김성철***

A Study on Ultraprecision Dicing Machining of Silicon Wafer

Eun Sang Lee*, Ji Bok Song**, Sung Chul Kim***

ABSTRACT

Recently, a slightest influence to the circuit can be a great damage because the size of semiconductor smaller. It must be controlled the chippingless dicing process and the precision dicing without any damage to the circuit. In this study, the relationship between chipping effect and the force of dicing was analyzed. The rate of chipping was decreased as the force of dicing decreased. It was also examined that the force of dicing decreased according to the lower feed rate and higher blade speed. The lower feed rate and the higher blade speed must be controlled to achieve the chippingless process.

Key Words : dicing(초정밀 절단), dicing force(절단력), chipping(칩핑) silicon wafer(실리콘 웨이퍼), diamond blade(다이아몬드 블레이드)

1. 서론

최근 휴대용 전자제품의 소형화에 따라 노트북과 핸드폰 등 전자제품의 크기가 눈에 띄게 작아지고 있으며 이러한 요구를 맞추기 위해서 반도체의 크기가 작아진 것은 당연하다고 하겠다. 반도체의 크기를 줄이는 것은 회로 설계 기술에의 발전과 회로간의 배선폭을 줄여가는 것, 그리고 CSP(Chip Size Package)와 같이 실제 칩 크기와 거의 비슷한 패키징 기술에 그 중점이 있다. 전자제품들의 크기가 작아질 수 있는 가장 큰 이유가 앞에서 언급된 기술의 발전으로 인해 반도체 칩들의 크기가 점점 작아진다는 데 있다.^{(1)~(2)}

이렇게 칩의 크기가 점점 미세화 됨에 따라 작

은 영향이라도 회로에 손상을 줄 수 있기 때문에 실리콘 웨이퍼를 다이형태로 초정밀 절단하는 공정인 다이싱(Dicing)에서의 칩핑발생을 억제하는 것은 매우 중요한 문제가 되고 있다.^{(3)~(5)}

현재 실리콘 웨이퍼 초정밀 절단 가공에 관한 실험과 전기적 응축을 이용한 칩핑을 줄이는 방법 등 연구 논문이 진행중에 있으나 관련 연구가 많이 부족한 상태이다.⁽⁶⁾

본 연구에서는 웨이퍼 초정밀 절단(Dicing)공정에서 칩핑 발생의 억제로 좋은 가공품질을 얻고 생산성을 높이는 것이 목적이다. 고속 회전하는 공압스핀들의 회전속도와 공작물의 이송속도에 따라 공구 동력계를 이용하여 초정밀 절단가공시 절단력(Dicing force)을 측정하여 가공 특성의 경향을 파악하였다. 또한 칩핑의 발생정도를 측정하여

· 세종대학교 기계공학과
* 부산대학교 기계공학부, 기계기술연구소
** 부산대학교 대학원 정밀기계공학과

절단력과 관계를 파악한 후 최적의 가공조건을 위한 경향을 파악하여 실리콘 웨이퍼의 초정밀 절단가공을 완성하는데 그 목적이 있다.

2. 웨이퍼 초정밀 절단

웨이퍼의 초정밀 절단 공정은 반도체 제조공정에서 웨이퍼 처리공정으로 불리는 전공정과 조립공정이라 불리는 후공정 사이에 위치하며 실리콘 등의 웨이퍼를 날 두께가 아주 얇은 연삭지석인 다이아몬드 블레이드(Diamond blade)를 고속으로 회전시켜 다이(Die)모양으로 초정밀 절단하는 공정으로 금속, 석재, 옥석 등에 널리 사용하고 있는 방법과 동일하다. 반도체 웨이퍼의 초정밀 절단에 일반적으로 사용하고 있는 블레이드는 다이아몬드 입자의 지름이 4~6 μ m, 날두께가 15~60 μ m인 블레이드가 사용되고 있다.

최근의 초정밀 절단 장치는 반도체 장비의 고집적화, 고부가가치화에 따라 수반되는 고성능화, 다기능화가 되고 있어 초정밀 절단 그 자체도 한층 고가공 품질과 안정가공이 요구되어지고 있다.

초정밀 절단 공정의 가공품질은 다음과 같은 많은 변수에 의존하며 대상웨이퍼에 따라 가공조건이 다르다.⁽⁷⁾

- ① 웨이퍼 품질, 표면 코팅 재질, 두께
- ② 블레이드 결합재 경도, 다이아몬드 입도, 강성
- ③ 절삭 냉각수, 유량 압력, 분사방향
- ④ 공작물의 이송속도
- ⑤ 스피들 회전속도

본 연구에서는 공작물의 이송속도와 스피들의 회전수를 변수로 하여 절단력과 웨이퍼 칩핑을 측정하여 동일한 초정밀 절단 조건에서 절단력과 웨이퍼 칩핑과의 관계를 고찰하였다.

실리콘 웨이퍼의 절단력 이론식은 연삭공정에 관련된 이론식을 실험에 의하여 수정하여 다음과 같이 주어진다.⁽⁴⁾ 수평절단력을 F_t , 수직 절단력을 F_n 이라 하면

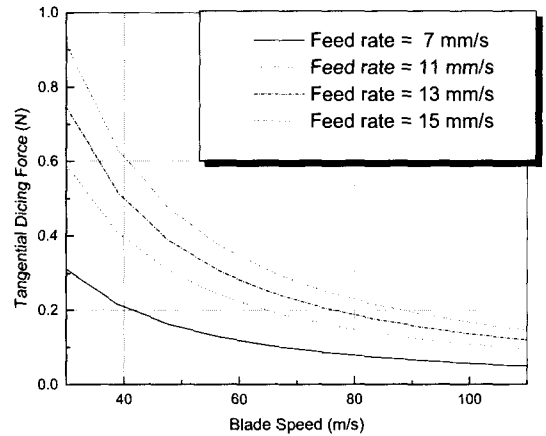
$$F_t = Kb \left(\frac{v_w}{v_s} a \right)^a \quad (1)$$

$$F_n = \lambda \cdot F_t \quad (\lambda : \text{constant value}) \quad (2)$$

여기서 b 는 블레이드 두께, a 는 절단 깊이, v_w 는 이송속도, v_s 는 스피들의 회전속도이고 하향

절단의 경우 상수 $K = 2.19 \times 10^6$, $a = 1.41$ 이다.

Fig. 1은 식 (1)을 이용하여 초정밀 절단 조건에 따른 수평 절삭력을 나타낸 것이다. 식 (1)과 Fig. 1에서 회전속도가 증가하고 이송속도가 작아짐에 따라 절단력이 작아짐을 이론적으로 알 수 있다.



Dicing condition

$a = 0.5 \text{ mm}$, $b = 0.05 \text{ mm}$, $v_w = 7 \sim 15 \text{ mm/s}$
 $v_s = 30 \sim 110 \text{ m/s}$ (10000 ~ 38000 rpm)

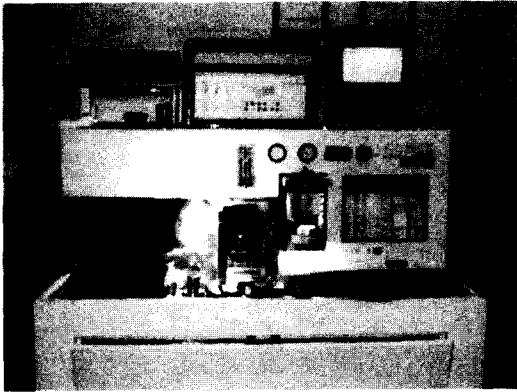
Fig. 1 Theoretical tangential dicing force

3. 실험장치 및 방법

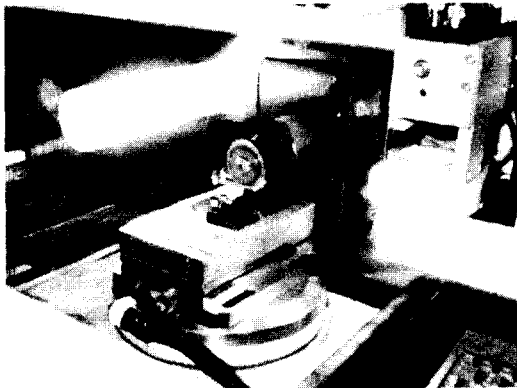
3.1 절단력의 측정

절단력을 측정하기 위한 시스템을 Fig. 2와 Fig. 3에 나타내고 있다. 공구동력계에서 나온 신호는 전하 증폭기(Charge amplifier)를 통과하면서 증폭이 됨과 동시에 고주파 성분을 제거하기 위해 저주파 통과 필터를 통과하고 A/D 변환기를 통하여 컴퓨터로 데이터를 저장하게 된다.

여기서 측정되어지는 힘의 성분은 X, Y, Z 방향의 3가지 성분이나, Y성분의 힘은 매우 미약하기 때문에 본 연구에서는 고려 대상에서 제외시켰으며 상기의 방법으로 하여 공작물의 이송속도와 블레이드의 회전속도에 따라 X, Z성분의 힘을 측정하였다.



(a)



(b)

Fig. 2 (a) Photograph of experiment machine - automatic dicing system APS-200A

(b) Photograph of Dicing process

수직방향의 절단력(Normal force), 수평방향의 절단력(Tangential force)과 Z방향 절단력, X방향 절단력 사이의 관계는 다음과 같다.

F_r 은 수평 절단력과 수직 절단력의 합력으로 다음과 같이 정의하면

$$F_r = \sqrt{F_t^2 + F_n^2} \quad (3)$$

$$\theta = \cos^{-1}\left(1 - \frac{2a}{D}\right) \quad (4)$$

F_z 와 F_x 는 다음과 같이 F_n , F_t 로 표현된다.

$$F_z = F_n \cos \theta + F_t \sin \theta \quad (5)$$

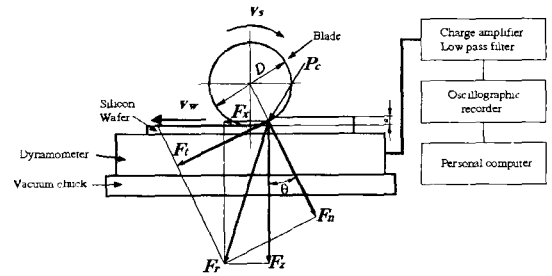
$$F_x = F_t \cos \theta - F_n \sin \theta \quad (6)$$

여기서 θ 는 매우 작으므로

$$F_z = F_n \quad (7)$$

$$F_x = F_t \quad (8)$$

으로 근사화 할 수 있다.



v_s : blade speed v_w : workpiece feed rate

D : blade diameter a : depth of cut

F_n : normal dicing force

F_t : tangential dicing force

F_z : Z direction dicing force

F_x : X direction dicing force

F_r : resultant force of F_x and F_z

Fig. 3 Experiment system

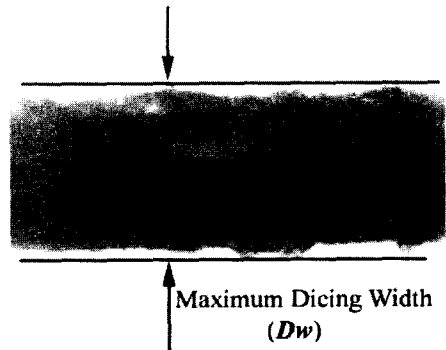


Fig. 4 Maximum Dicing Width

3.2 웨이퍼 칩핑(Wafer Chipping)

웨이퍼의 절단폭을 측정하기 위해서는 일반적으로 칩핑을 제외한 절단폭인 커프폭(Kerf width)을 사용하나 본 연구에서는 웨이퍼 칩핑을 측정하기 위해서 칩핑을 포함한 최대절단폭(Maximum Dicing Width)을 Fig. 4와 같이 정의하여 CCD카메라와 현미경으로 그 길이를 측정하여 경향을 분석하였다.

Table 1 Experimental Conditions

Experiment	Automatic dicing system
Machine	APS-200A(AM Technology.co)
Dicing Blade	Hub type, Metal bond, Shpae: 55.56 OD, 19.95 ID, 0.050 t (mm)
Workpiece	Silicon Wafer (t=0.730mm)
Dicing Condition	Dicing direction : down cut Feed rate : 7~15 mm/s Blade Speed : 12000~20000rpm Depth of cut : 0.5 mm
Tool Dynamometer	Kistler 9272
Tool Microscope	STM-MJS2 (Olympus)

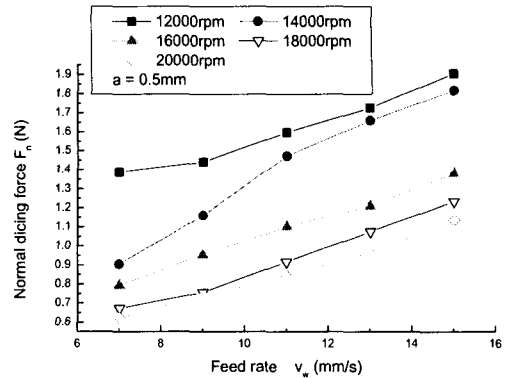
4. 실험결과 및 고찰

4.1 웨이퍼 초정밀 절단시 절단력

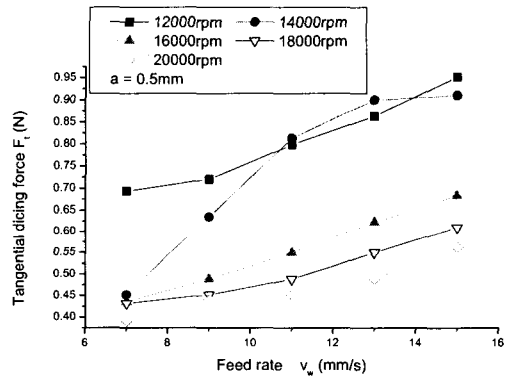
Table 1의 실험 조건으로 이송속도, 블레이드 회전속도에 따라 수평, 수직 방향의 절단력(dicing force)을 측정하였다.

Fig. 5에서는 블레이드 회전속도가 일정할 때 이송속도와 절단력과의 관계를 나타낸 것이다. Fig. 5 (a)는 이송속도와 이송방향에 수직방향의 절단력 F_n 과의 관계를 나타낸 것이며 이송속도에 따라 F_n 이 증가하는 현상을 나타내고 있고, 식 (2)에서 보여진 바와 같이 수직방향의 절단력은 이송속도에 따라 증가하는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 5 (b)는 이송속도와 이송방향의 절단력 F_t 와의 관계를 나타낸 것이며 이송속도에 따라 F_t 가 증가하는 현상을 나타내고 있고, 식 (1)에서 보여진 바와 같이 수평 방향의 절단력은 이송속도에 따라 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이송속도가 작아질수록 수직방향의 절단력이 일정하게 감소하는 것을 알 수 있다. 더 작은 이송속도에서는 더 작은 절단력이 작용한다는 것을 예측할 수 있으나 7mm/s이하의 이송속도는 생산성에 문제가 있기 때문에 실험에서 제외 시켰다.



(a) Relationship between feed rate and normal dicing force

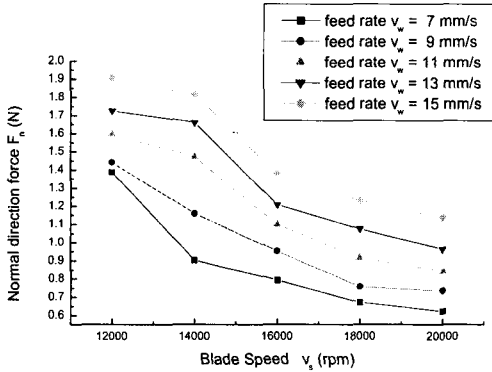


(b) Relationship between feed rate and tangential dicing force

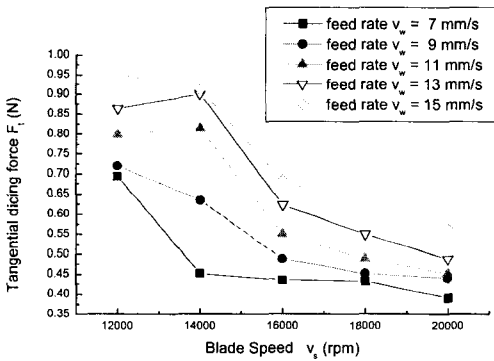
Fig. 5 Relationship between feed rate and dicing force

Fig. 6에서는 공작물의 이송속도가 일정할 때 블레이드 회전속도와 절단력과의 관계를 나타낸 것이다. Fig. 6 (a)는 회전속도와 이송방향에 수직 방향의 절단력 F_n 과의 관계를 나타낸 것이며 블레이드의 회전속도가 증가함에 따라 F_n 이 감소하는 현상을 나타내고 있고 식 (2)에서 보여진 바와 같이 블레이드의 회전속도가 증가함에 따라 감소하는 것을 확인할 수 있다. 12000rpm에서 16000rpm 사이는 수직방향의 절단력의 감소가 현저히 나타나지만 16000rpm과 20000rpm사이에서는 절단력의

감소가 줄어드는 것을 알 수 있다.



(a) Relationship between blade speed and normal dicing force



(b) Relationship between blade speed and tangential dicing force

Fig. 6 Relationship between blade speed and dicing force

Fig. 6 (b)는 블레이드의 회전속도와 이송방향의 절단력 F_t 와의 관계를 나타낸 것이며 블레이드의 회전속도에 따라 F_t 가 감소하는 현상을 나타내고 식 (1)에서 보여진 바와 같이 블레이드의 회전속도가 증가함에 따라 F_t 가 감소하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 절단력을 줄이기 위해서는 공작물의 이송속도를 줄이고 블레이드의 회전속도를 크게 하여야 함을 알 수 있다.

수직방향의 절단력과 수평방향의 절단력을 비

교해 보면 수직방향의 절단력이 수평방향의 절단력의 약 2배 정도의 값으로 수직방향의 절단력이 더 크게 나타난다는 것을 실험 데이터를 통해서 알 수 있다. 수직방향의 절단력은 블레이드의 회전속도에 의한 영향이 크다고 생각할 수 있고 수평방향의 절단력은 공작물의 이송속도에 한 영향이 크다고 생각할 때 절단력은 공작물의 이송속도보다는 블레이드의 회전속도에 더 큰 영향을 받는다고 생각할 수 있다.

절단력을 $y = ax^b$ 의 형태로 근사화하여 실험식을 만들면 블레이드의 회전속도 20000rpm의 조건에서 v_w 를 변수로 하여 식 (9), (10)과 같이 F_t , F_n 의 실험식을 얻을 수 있고, 공작물의 이송속도 7mm/s의 조건에서 v_s 를 변수로하여 식 (11), (12)와 같이 F_t , F_n 의 실험식을 얻을 수 있다.

$$F_t = 0.15 v_w^{0.48} \quad (9)$$

$$F_n = 0.13 v_w^{0.79} \quad (10)$$

$$F_t = 2.56 \times 10^4 v_s^{-1.12} \quad (11)$$

$$F_n = 3.2 \times 10^6 v_s^{-1.56} \quad (12)$$

4.2 웨이퍼 칩핑(Wafer Chipping)

공작물의 이송속도, 블레이드 회전속도에 따라 칩핑의 정도를 나타내는 최대절단폭(Maximum dicing width : D_w)를 측정하였다. Fig. 7에는 공작물 이송속도와 최대절단폭의 관계를 나타낸 것으로서 이송속도가 증가함에 따라 최대절단폭이 증가하는 것을 알 수 있다. Fig. 8에서는 블레이드 회전속도와 최대절단폭과의 관계를 나타낸 것이며 블레이드 회전속도가 증가함에 따라 최대절단폭이 감소하는 것을 알 수 있다. 이 실험 결과로부터 웨이퍼 칩핑을 줄이기 위해서는 이송속도를 작게 하고 블레이드 회전속도를 크게 하여야 함을 알 수 있다. 그러나 공작물 이송속도는 생산성에 가장 큰 영향을 미치므로 이송속도를 어느정도 크게 하면서도 칩핑을 줄이기 위해서는 블레이드의 회전속도를 크게 유지하여야 할 필요가 있다.

Fig. 9는 웨이퍼 초정밀 절단가공시 블레이드의 회전속도에 따른 칩핑의 형상을 공구현미경으로 관찰한 것이며 그림에서 하얗게 나타나는 부분

이 칩핑이다. 회전속도가 증가함에 따라 칩핑이 줄어들어 가는 것을 확인할 수 있다.

상기의 실험결과로부터 이송속도 감소와 블레이드 회전속도 증가 따른 웨이퍼 칩핑 감소와 절단력의 감소는 비슷한 경향을 나타내고 있다. 따라서 칩핑을 줄이기 위해서는 공작물의 이송속도와 블레이드의 회전속도를 조절하여 웨이퍼 초정밀 절단시의 절단력을 줄이는 것이 가장 중요하인 요인이다.

최대절단폭 D_w 를 $y = A + Bx$ 의 형태로 근사화하여 실험식을 만들면 20000rpm의 조건에서 v_w 를 변수로 하여 식 (13)과 같이 얻을 수 있고, 7mm/s조건에서의 이송속도에서 v_s 를 변수로 하여 식 (14)와 같은 D_w 에 대한 실험식을 만들 수 있다.

$$D_w = 71.03 + 0.53 v_w \quad (13)$$

$$D_w = 85.65 - 3.25 \times 10^{-4} v_s \quad (14)$$

식 (9), (10)의 v_w 를 식 (13)에 넣으면,

$$D_w = 71.03 + 0.53 \left(\frac{F_t}{0.15} \right)^{\frac{1}{0.48}} \quad (15)$$

$$D_w = 71.03 + 0.53 \left(\frac{F_n}{0.13} \right)^{\frac{1}{0.79}} \quad (16)$$

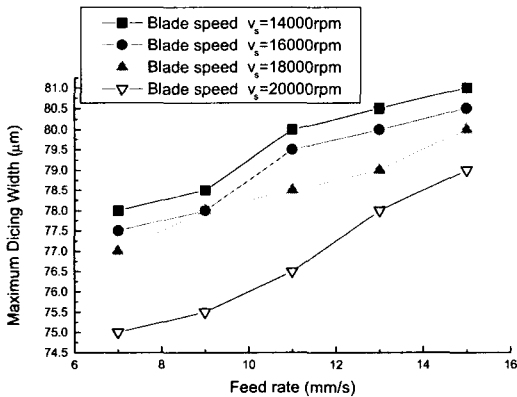


Fig. 7 Relationship between feed rate and maximum dicing width

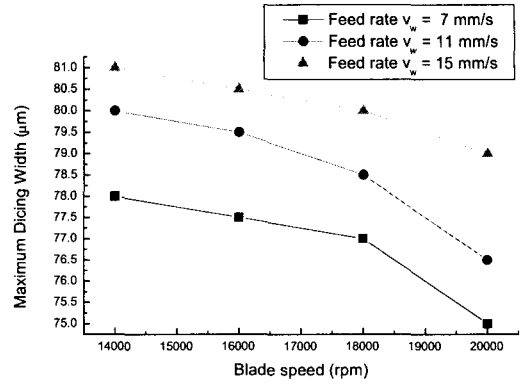


Fig. 8 Relationship between blade speed and maximum dicing width

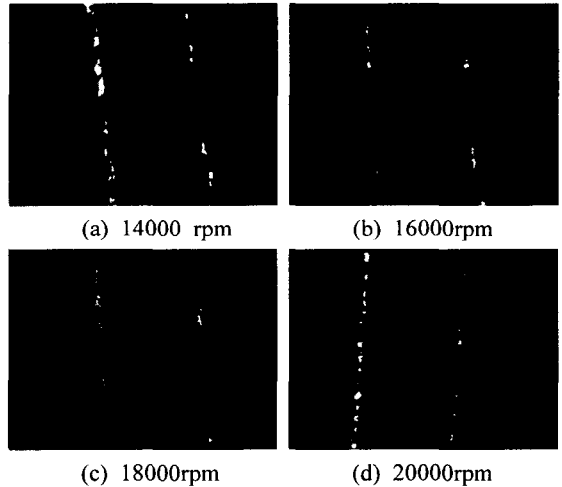


Fig. 9 Wafer chipping (feed rate = 11 mm/s)

식 (15), (16)과 같은 F_t , F_n 과 D_w 와의 실험식을 얻을 수 있으며 이 식을 이용하여 절단력에 따라 칩핑의 발생정도를 예측할 수 있다. Fig. 10은 F_t 와 D_w 와의 관계를 그림으로 나타낸 것이며 점선이 식 (15)의 F_t 와 D_w 와의 실험식을 그래프로 나타낸 것이고, 실선이 실험 데이터의 그래프이다. 여기서 F_t 가 증가함에 따라 D_w 가 증가함을 알 수 있고 칩핑을 줄이기 위해서는 절단력을 작게 하여야 함을 알 수 있다.

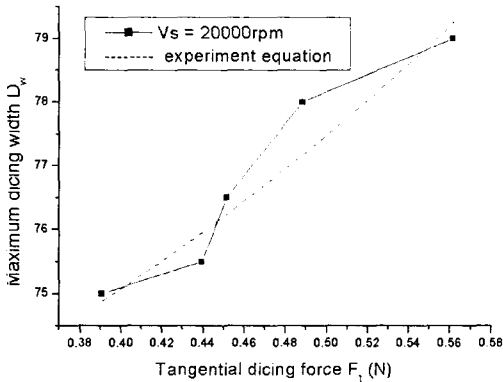


Fig. 10 Experimental equation of maximum dicing width

5. 결론

본 연구에서는 초정밀 절단조건, 초정밀 절단시 절단력, 웨이퍼 칩핑과의 관계를 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 실리콘 웨이퍼 초정밀 절단시 절단력은 공작물의 이송속도가 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 공압스핀들의 회전속도인 블레이드 회전속도의 증가에 따라 수직 및 수평 절단력이 감소되는 경향을 나타내고 있다.
2. 웨이퍼 칩핑은 공작물의 이송속도가 증가함에 따라 커지고, 블레이드의 회전속도가 증가함에 따라 작아지는 경향을 나타내고 있다. 웨이퍼 칩핑을 줄이기 위해서는 이송속도를 작게하고 회전속도를 크게하여 초정밀 절단시에 작용하는 절단력을 작게 하여야 한다.

참고문헌

1. I. Inasaki, "Dicing of Silicon Wafer," EUSPEN, Proceeding - Vol. 1 pp. 280-281, 1999.
2. T. Watanabe, I. Inasaki, "Detection and Analysis of Groove Meandering Phenomen in Dicing Process," Trans. of the Japan Society of Mechanical Engineers, Vol. 72, No. 4, pp. 387, 388, 1995.
3. A. Miyajima, I. Inasaki, "Precision Cut Off Grinding with a Diamond Blade," Trans. of the Japan Society of Mechanical Engineers, Vol. 56, No. 521, pp. 212-216, 1989.
4. T. Miwa, I. Inasaki, "Blade Wear and Wafer Chipping in Dicing Process," ICPE '97 Taipei, Taiwan pp. 399-400, 1997.
5. H. K. Tonshoff, I. Inasaki, "Abrasive Machining of Silicon," Annal of the CIRP, Vol. 39, No. 2, pp. 621-635, 1990.
6. J. Ikeno, Y. Tani, A. fukutani, "Development of Chipping-Free Dicing Technology Applying Electrophoretic Deposition of Ultrafine Abrasives," CIRP, Vol. 40 pp. 351-354, 1991.
7. 월간 반도체 편집부, "Dicing 장치," No. 8, pp. 33-43, 1997.