

실리콘 웨이퍼의 초정밀 절단가공에 관한 연구 A Study on Ultraprecision Dicing Machining of Silicon Wafer

김성철*(부산대 대학원), 이은상(부산대 공대), 송지복(부산대 공대)
Sung Chul Kim(Graduate School, Pusan Univ.), Eun Sang Lee(Pusan Univ.),
Ji Bok Song(Pusan Univ.)

Abstract

Recently, the miniature of electric products such as notebook, cellular-phone etc. is apparently appeared, due to the smaller size of the semiconductor chips. As the size of chip gets smaller, the circuit could be easily damaged by the slightest influence, so it is important to control the chipping generation in the process of dicing. This paper deals with chipping of the silicon wafer dicing. The relationships between the dicing force and the wafer chipping are investigated. It is confirmed that the wafer chipping increases as the dicing force increases.

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

1. 서론

최근 전자제품의 소형화가 눈에 띄게 두드러지고 있다. 특히 노트북과 핸드폰 등의 크기가 눈에 띄게 작아지고 있으며 이러한 전자제품들의 크기가 작아질 수 있는 가장 큰 이유가 바로 반도체 칩들의 크기가 점점 작아진다는 데 있다.

칩의 크기가 점점 미세화됨에 따라 작은 영향이라도 회로에 손상을 줄 수 있기 때문에 실리콘 웨이퍼 초정밀 절단공정인 다이싱(dicing)에서의 칩핑(chipping) 발생을 억제하는 것은 상당히 중요한 문제가 되고 있다.⁽¹⁾

현재 일본 등에서 웨이퍼 초정밀 절단 가공에 관한 실험과 전기적 응축을 이용한 칩핑을 줄이

는 방법등 연구 논문이 나와 있으나 관련 연구가 많이 부족한 상태이다.⁽²⁾

본 연구에서는 웨이퍼 초정밀 절단(Dicing) 공정에서 칩핑 발생의 억제로 좋은 가공 품질을 얻기 위해서 고속 회전하는 공압스핀들의 회전속도와 공작물의 이송속도에 따라 공구동력계를 이용하여 초정밀 절단가공시 절단력(dicing force)을 측정하여 가공 특성의 경향을 파악하고 칩핑의 발생정도를 측정하여 절단력과 관계를 파악한 후 가장 최적의 가공 조건을 찾아내어 실리콘 웨이퍼의 초정밀 절단가공을 완성하는 것이 본 연구 목적이다.

2. 웨이퍼 초정밀 절단(Dicing)

초정밀 절단 공정은 반도체 제조공정에서 웨이퍼 처리공정과 조립공정 사이에 위치하며 실리콘 등의 웨이퍼를 날 두께가 아주 얇은 다이아몬드 블레이드(diamond blade)를 고속으로 회전시켜 다이(die)모양으로 초정밀 절단하는 공정이다. 반도체 웨이퍼의 초정밀 절단에는 날두께가 15~60 μm 인 블레이드로 절단하고 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.⁽³⁾

- 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

여기서는 공작물의 이송속도와 스피들의 회전수를 변수로 하여 절단력과 웨이퍼 칩핑을 측정하여 같은 초정밀 절단 조건에서 절단력과 웨이퍼 칩핑과의 관계를 알아볼 것이다.

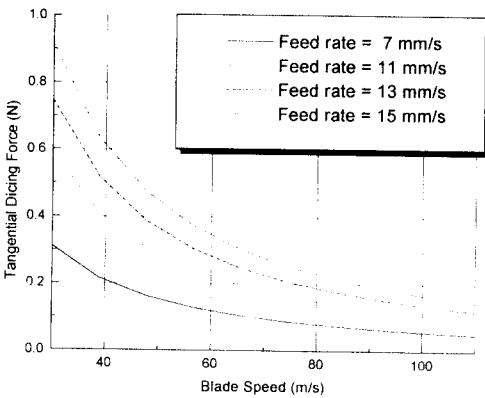
절단력의 이론식은 다음과 같이 주어진다.⁽⁴⁾ 수평절단력을 F_t , 수직 절단력을 F_n 이라 하면

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

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

여기서 b 는 블레이드 두께, a 는 절단 깊이, v_w 는 이송속도, v_s 는 스피들의 회전속도이고 하향 절단의 경우 상수 $K = 2.19 \times 10^6$, $\alpha = 1.41$ 이다.

Fig. 1은 식 (1)을 이용하여 초정밀 절단 조건에 따라 시뮬레이션한 결과이다.



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

식 (1)과 Fig. 1에서 회전속도가 증가함에 따라, 이송속도가 작아짐에 따라 절단력이 작아짐을 시뮬레이션을 통해 이론적으로 알 수 있다.

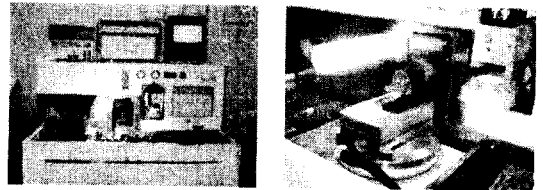
3. 실험장치 및 방법

3.1 절단력의 측정

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

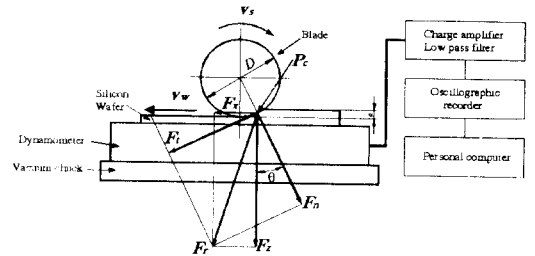
여기서 측정되어지는 힘의 성분은 X, Y, Z방향의 3가지 성분이나, Y성분의 힘은 매우 미약하기 때문에 본 연구에서는 고려 대상에서 제외시켰다.

상기의 방법으로 하여 공작물의 이송속도와 블레이드의 회전속도에 따라 X, Z성분의 힘을 측정하였다.



(a) (b)

Fig. 2 (a) Photographic of experiment machine - automatic dicing system APS-200A
 (b) Dicing process



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

수직방향의 절단력(normal dicing force), 수평방향의 절단력(tangential dicing force)과 Z방향 절단력, X방향 절단력 사이의 관계는 다음과 같

다.

F_r 을 다음과 같이 정의하면

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

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

F_z 와 F_x 는 다음과 같이 F_n , F_t 로 표현된다.

$$F_z = F_n \cos \theta + F_t \sin \theta \quad \text{-----} \quad (5)$$

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

3.2 웨이퍼 칩핑(Wafer Chipping)

웨이퍼 칩핑을 측정하기 위해서 칩핑을 포함한 최대 절단 폭(Maximum Dicing Width)을 Fig. 4와 같이 정의하여 현미경으로 그 길이를 측정하였다.

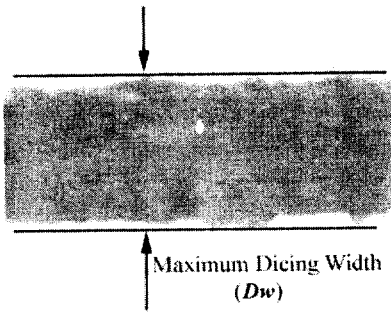


Fig. 4 Maximum Dicing Width

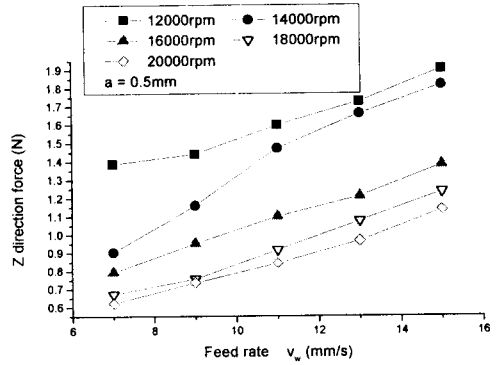
Table 1 Experimental Condition

Experiment Machine	Automatic dicing system APS-200A
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)

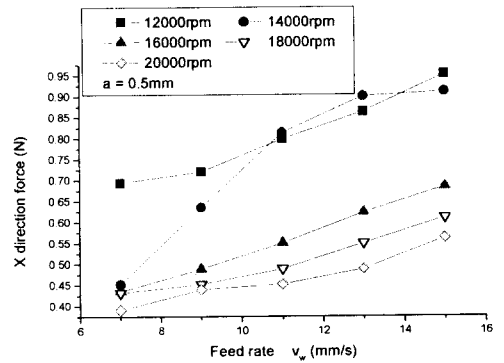
4. 실험결과 및 고찰

4.1. 초정밀 절단시 절단력

Table 1의 실험 조건으로 이송속도, 블레이드 회전속도에 따라 Z, X 축 방향의 절단력(dicing force)을 측정하였다.



(a) Relationship between feed rate and Z direction dicing force

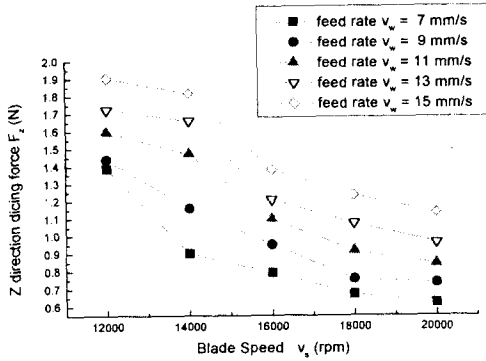


(b) Relationship between feed rate and X direction dicing force

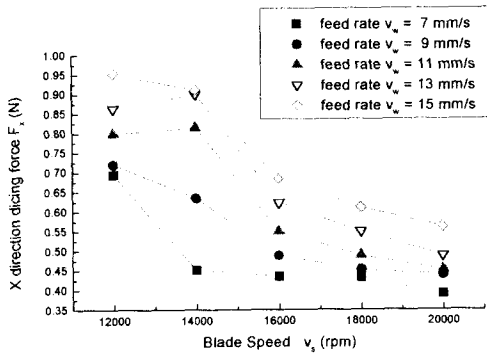
Fig. 5 Relationship between feed rate and dicing force

Fig. 5에서는 블레이드 회전속도가 일정할 때 이송속도와 절단력과의 관계를 나타낸 것이다. Fig. 5 (a)는 이송속도와 이송방향에 수직인 Z방향의 절단력 F_z 와의 관계를 나타낸 것이며 이송속도에 따라 F_z 가 증가함을 알 수 있다. Fig. 5 (b)는 이송속도와 이송방향인 X방향의 절단력 F_x 와의 관계를 나타낸 것이며 이송속도에 따라 F_x

가 증가함을 알 수 있다. 이 실험 결과에서 앞에서 본 식 (5), (6)의 절단력 이론식과 같이 이송속도에 따라 절단력이 증가하는 경향을 나타내는 것을 확인 할 수 있다.



(a) Relationship between blade speed and Z direction dicing force



(b) Relationship between blade speed and X direction dicing force

Fig. 6 Relationship between blade speed and dicing force

Fig. 6에서는 공작물의 이송속도가 일정할 때 블레이드 회전속도와 절단력과의 관계를 나타낸 것이다. Fig. 6 (a)는 회전속도와 이송방향에 수직인 Z방향의 절단력 F_z 와의 관계를 나타낸 것이며 블레이드의 회전속도가 증가함에 따라 F_z 가 감소하는 것을 알 수 있다. Fig. 6 (b)는 블레이드의 회전속도와 이송방향이 X방향의 절단력 F_x 와의 관계를 나타낸 것이며 블레이드의 회전속도에 따라 감소하는 것을 알 수 있다. 이 실험 결과에

서 앞에서 본 식 (5), (6)과 같이 블레이드의 회전속도에 따라 절단력이 감소하는 경향을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 따라서 절단력을 줄이기 위해서는 공작물의 이송속도를 줄이고 블레이드의 회전속도를 크게 해주어야만 한다.

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 작게하고 블레이드 회전속도를 크게 해주어야 함을 알 수 있다. 그러나 공작물 이송속도는 생산성에 가장 큰 영향을 미치므로 이송속도를 어느정도 크게 하면서도 칩핑을 줄이기 위해서는 블레이드의 회전속도를 크게 해야 할 필요가 있다.

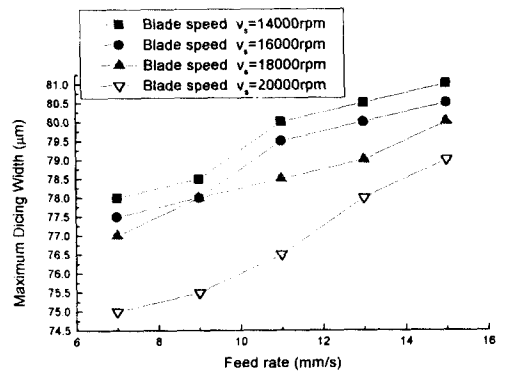


Fig. 7 Relationship between feed rate and maximum dicing width

5. 결론

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

초정밀 절단시 절단력은 공작물의 이송속도가 증가함에 따라 증가하고, 블레이드 회전속도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내고 있다. 웨이퍼 칩핑은 이송속도가 증가함에 따라 커지고, 회전속도가 증가함에 따라 작아지는 경향을 나타내고 있다. 웨이퍼 칩핑을 줄이기 위해서는 이송속도를 작게하고 회전속도를 크게하여 초정밀 절단시에 작용하는 절단력을 작게하여야 한다.

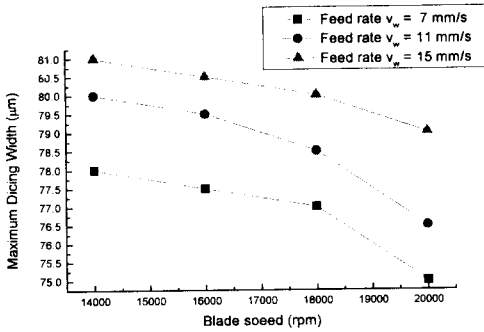


Fig. 8 Relationship between blade speed and maximum dicing width

Fig. 9는 웨이퍼 초정밀 절단가공시 블레이드의 회전속도에 따른 칩핑의 형상을 보여주는 것으로서 회전속도가 증가함에 따라 칩핑이 줄어드는 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 중요한 요인이다.

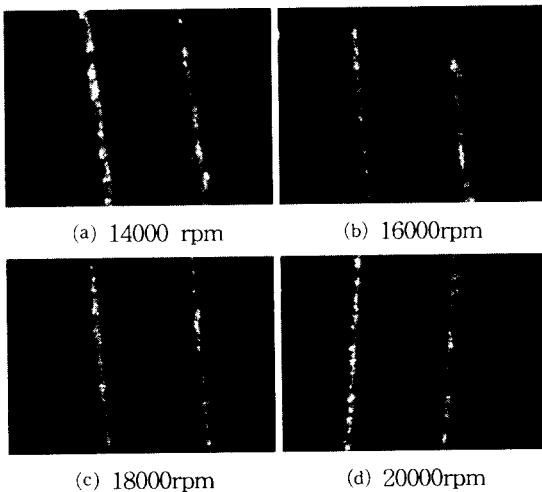


Fig. 9 Wafer chipping (feed rate = 11 mm/s)

참고문헌

- (1) I. Inasaki, 1999, "Dicing of Silicon Wafer", EUSPEN, Preceeding - vol.1 pp. 280-281
- (2) J. Ikeno, Y. Tani, A.fukutani, 1991, "Development of Chipping-Free Dicing Technology Applying Electrophoretic Deposition of Ultrafine Abrasives", CIRP, Vol.40 pp. 351-354
- (3) 월간 반도체 편집부, 1997, "Dicing 장치"(월간 반도체, pp. 33 - 43
- (4) T. Miwa, I. Inasaki, 1997, "Blade Wear and Wafer Chipping in Dicing Process", ICPE '97 Taipei, Taiwan pp. 399-400