

반도체 절단 공정의 웨이퍼 자동 정렬에 관한 연구

김형태[#], 송창섭^{*}, 양해정^{**}

A study on the automatic wafer alignment in semiconductor dicing

Hyung Tae Kim[#], Chang Seop Song^{*}, and Hae Jeong Yang^{**}

ABSTRACT

In this study, a dicing machine with vision system was built and an algorithm for automatic alignment was developed for dual camera system. The system had a macro and a micro inspection tool. The algorithm was formulated from geometric relations. When a wafer was put on the cutting stage within certain range, it was inspected by vision system and compared with a standard pattern. The difference between the patterns was analyzed and evaluated. Then, the stage was moved by x , y , θ axes to compensate these differences. The amount of compensation was calculated from the result of the vision inspection through the automatic alignment algorithm. The stage was moved to the compensated position and was inspected by vision for checking its result again. Accuracy and validity of the algorithm was discussed from these data.

Key Words : Automatic alignment(자동 정렬), Wafer processing(웨이퍼 공정), Semiconductor manufacturing(반도체 생산), Dicing machine(다이싱 머신), Vision inspection(비전 인식), Dual camera(듀얼 카메라)

기호설명

- c_x, c_y = center of rotation viewed from vision
- x, y = mechanical position for standard pattern
- x', y' = mechanical position of real pattern
- x'', y'' = mechanical position after θ compensation
- x_c, y_c = amount of compensation
- $\Delta x, \Delta y$ = deviations inspected by vision
- θ = compensation angle or deviation angle

1. 서론

일반적으로 반도체 제조 공정은 대량 생산이라는 특성상 자동화가 많이 이루어졌고 현재에도 많은 연구가 진행되고 있는 분야이다. 웨이퍼 자체를 생산하는 공정은 이미 상당 수준까지 연구가 진행되었으나, 웨이퍼를 이용하여 칩을 조립하는 과정은 좀더 복잡하고 섬세한 동작을 요구하므로 아직까지는 보다 많은 연구가 이루어져야 한다.

특히 웨이퍼를 칩으로 절단하는 다이싱 공정은 반도체 생산공정 중에서 작업 조건이 아주 나쁜 편에 속하므로 자동화보다는 수동 혹은 반자동으로 작업을 해야 하는 경우가 많다. 웨이퍼를 5-

· 접수일: 2003년 3월 12일; 게재승인일: 2003년 11월 14일
 # 교신저자: 한양대학교 대학원 정밀기계공학과
 E-mail holonomic@freechal.com Tel. (02) 2290-0433
 * 한양대학교 기계공학부
 ** 한국산업기술대학교 기계설계학과

10 μ m 정도의 허용 오차로 절단을 하는데 약 20,000-60,000rpm 의 고속 에어 스피들로 작업을 하면 절삭수가 안개같이 비산하고 웨이퍼 절단면에서는 미립자 분진이 발생하게 된다.¹⁾ 따라서 테이블과 센서는 항상 오염의 위험성에 노출되어 있기 때문에 새로운 웨이퍼를 올려놓을 때마다 자동으로 패턴을 정확히 인식시키기가 쉽지 않다. 그러므로 기존 장비들은 웨이퍼를 절단할 때 정렬하기 위해 정위치를 찍은 화상과 현재의 화상을 작업자가 비교하여 정렬을 맞추게 된다.

다이싱 공정은 완성이 거의 다된 제품을 다루는 작업이므로 절단 위치를 잘 못 잡게 되면 웨이퍼 1 장이 전부 불량이 되므로 이에 따르는 경제적 손실은 다른 공정에 비해서 치명적이라고 할 수 있다. 또한 점차로 웨이퍼의 크기가 대형화됨에 따라서 요구되는 정밀도는 높아지고 있는 추세이다. 그러므로 인력으로 이러한 정렬 작업을 계속한다면 앞으로 더욱 많은 시간을 요구하게 되므로 다이싱 절단 공정에서의 자동 정렬 과제는 반드시 해결해야 할 문제이다.

자동 정렬에 관한 연구는 레이저를 이용한 광학적 방법¹⁾⁻⁵⁾과 비전에 의한 방법⁶⁾⁻⁸⁾ 기구에 의한 방법⁹⁾ 등이 있으며 일부 Package 공정에 관하여 연구¹⁾가 진행되었으나, 주로 lithography 공정을 위해 사용되는 광학적인 방법²⁾⁻⁵⁾에 관한 연구가 주류를 이루고 있다. 그러나, 이러한 연구들도 주로 편차량을 측정하는 방법에 중점을 두고 있으며, 실제 기계적으로 보상하는 과정은 명확하게 제시하지 못하고 있다. 또한, 자신들의 연구가 다이싱 같은 공정에는 적용하기 어려움을 지적한 사례도 있으며, 각도 보정에 대해서는 언급한 사례가 거의 없다.¹⁾ 일부 사례에 의하면 공작물을 비전으로 인식하여 공구가 접촉하는 점을 계산한 연구도 있으나, 다이싱 장비에 적용하기에는 오차가 너무 큰 단점이 있다.⁶⁾ 일부 비전에 의한 방법은 비전 알고리즘 자체 관하여 기술하고 있으며, 보상 방법이 명확하지 못하다.^{7), 8)} 기구에 의한 방법도 정밀도에 한계가 있다.⁹⁾

본 연구에서는 다이싱 공정에서 작업자가 웨이퍼를 테이블에 올려 놓았을 때, 비전을 이용하여 실제품과 정위치 사이의 편차를 계산한 다음, 편차량을 보상하여 절단시 정위치로 이동하게 하였다. 이를 위하여 편차량 보상 알고리즘을 유도하여 프로그램에 이식시켰다. 그리고, 듀얼 카메라

체제로 운용되는 비전 시스템을 제작하여 4 축 다 이싱 머신에 장착하였다. 실험에서는 절단 길이가 비교적 긴 스트립(strip)을 사용하여 알고리즘의 정밀도를 측정하고 실제 절단 작업을 통하여 유효성을 확인해 보았다.

2. 자동정렬 알고리즘

2.1 자동 정렬의 개념

일반적으로 반도체 다이싱 혹은 슬라이싱 공정은 절단 공구가 처음 웨이퍼에 닿는 초기점을 기준으로 인덱스와 반복횟수로 작업을 수행한다. 작업은 웨이퍼를 지그나 진공척에 물려놓고 초기점을 맞추어 놓고, 정해진 프로그램을 동작시키게 된다. 따라서 아무리 지그나 진공 척을 잘 제작하더라도 웨이퍼가 놓이는 위치는 정위치에 비하여 어느 정도 벗어날 수 밖에 없다. 이러한 편차량은 센서나 비전을 이용하여 계산한 다음, 자동 정렬 알고리즘을 이용하여 보상치를 결정하여 절단 작업에 들어갈 때 초기치에 보정해주면 정위치에서 절단한 것과 같은 효과를 볼 수 있다. 생산 장비가 이러한 기능을 가지면 작업자가 직접 정렬 작업을 필요가 없으므로 생산시간 단축과 인력관리 측면에서 대단한 강점을 지니게 된다. Fig. 1은 절단을 위한 정위치와 실제 웨이퍼가 놓인 위치의 차이를 나타낸 것이다.

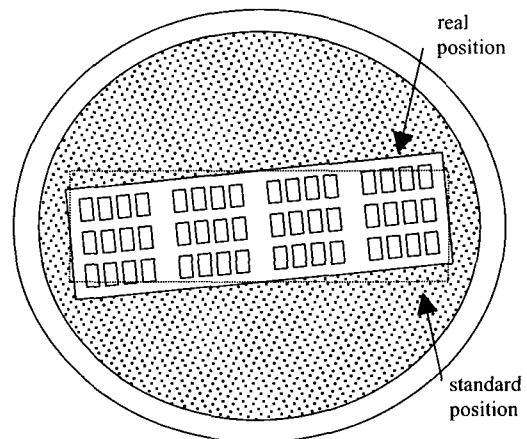


Fig. 1 Difference between standard and real position of a wafer

2.2 정위치와 실제위치의 개념

웨이퍼의 편차량을 읽어내기 위한 비전 시스템은 패턴을 인식하는 일 이외에도 정밀하게 위치를 계산해 내야한다. 일반적으로 비전에 쓰이는 카메라의 해상도는 640×480 정도이고 고해상도라고 해도 2048×2048 정도가 한계이다. 만일 해상도가 1024 이고 관측하는 영상의 크기가 3cm×3cm 이라면 한 픽셀이 갖는 거리는 30μm 정도 되므로 다이싱에서 요구하는 허용 공차를 만족시킬 수 없다. 이정도 범위를 3μm 의 정밀도로 관측하려면 10000×10000 픽셀의 카메라가 필요한데, 이런 고해상도 카메라를 구하는 것은 다소 어려운 점이 있다. 따라서, 두 대의 표준 카메라를 이용하여 한쪽에는 저배율 렌즈를 장착시키고, 한쪽은 고배율 렌즈를 장착시켜, 각각 macro, micro 로 명명하였다. 즉, macro 를 이용하여 1 차적으로 정렬을 수행하여 어느 정도 오차를 잡고, 다시 micro 로 정확하게 정렬을 수행한다. 이와 같은 개념으로 웨이퍼 상의 특정한 두 점을 지정하여 카메라를 이동 시켜가면서 패턴을 읽으면 웨이퍼의 편차를 계산해 낼 수 있다. 따라서, 패턴을 카메라로 보았을 때 두 점이 각각 패턴의 정중앙에 맞추면 기준으로 사용할 수 있다. 이때의 기구상의 두 점을 정위치로 정의한다. 정위치는 자동 절단 작업에 있어서 모든 기준 데이터가 된다. 정위치는 항상 두점의 쌍으로 표시되며, macro 를 위한 위치와 micro 를 위한 위치가 각각 지정된다. 정위치 선정이 끝나면 다른 웨이퍼를 테이블에 올리게 되는데, 이때 비전으로 보면 아무리 잘 맞추어도 정위치에서 벗어나게 된다. 이 위치를 실제 위치로 정의한다. Fig. 2 는 비전 카메라를 이동시켜 위치를 인식하여 오차를 산출해내는 개념이다.

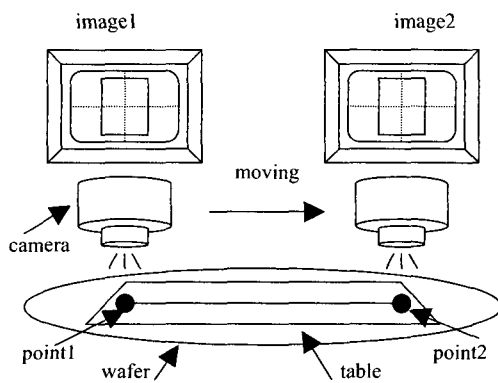


Fig. 2 Conception of camera working

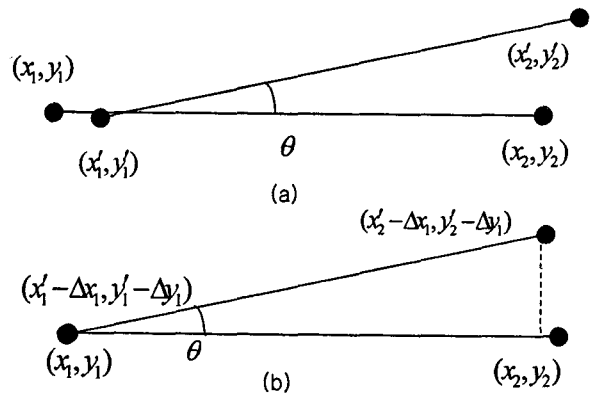


Fig. 3 Calculation for deviation angle

2.3 각도 보상값 계산

정위치의 좌표를 각각 (x_1, y_1) 과 (x_2, y_2) 로 정의하고, 비전 상에서 본 정위치에 대응하는 실제 위치를 각각 (x'_1, y'_1) 과 (x'_2, y'_2) 로 정의하면 Fig. 3(a)와 같이 나타낼 수 있다. 각도 편차를 계산하기 위하여 (x'_1, y'_1) 를 (x_1, y_1) 로 평행 이동시키면 Fig. 3(b)와 같이 되고, 각각의 편차량은 식 (1)과 (2)같이 계산된다. 여기서 편차량 Δx , Δy 는 비전에서 읽어오는 것으로, (x'_1, y'_1) 과 (x'_2, y'_2) 는 각각 비전에서 읽어온 데이터로 산출해 낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} x'_1 \\ y'_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta x_1 \\ \Delta y_1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} x'_2 \\ y'_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta x_2 \\ \Delta y_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

각도 편차는 회전 중심에 상관없이 편차만큼 보상하면 기구학적으로 정위치의 각도로 돌아가게 되므로 각도 보상값은 각도 편차와 같게된다. 그러므로, 각도 보상값은 Fig. 3(b)와 식 (1), (2)에 의한 관계에 의하여 식 (3)과 같이 계산할 수 있다.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} - \tan^{-1} \frac{y_2 - y_1 + \Delta y_2 - \Delta y_1}{x_2 - x_1 + \Delta x_2 - \Delta x_1} \quad (3)$$

2.4 x, y 보상값 계산

xy 평면 상의 점 $P(c_x, c_y)$ 를 중심으로 점 $Q(x, y)$ 가 각도 α 만큼 회전한다면 변환 좌표 $R(x', y')$ 는

다음과 같이 표현된다.¹⁰⁾

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & c_x \\ 0 & 1 & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

이것을 정리하면 아래와 같은 식이 된다.

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & c_x(1 - \cos \alpha) + c_y \sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha & c_y(1 - \cos \alpha) - c_x \sin \alpha \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

2.3 절에서 계산된 식에 의하여 실제 패턴을 비전에서 본 다이싱 척의 회전 중심 (c_x, c_y) 에 대하여 각도 보상을 하면, (5)에 의해 (x_1', y_1') 과 (x_2', y_2') 은 회전후 각각 (x_1'', y_1'') , (x_2'', y_2'') 으로 식 (6)과 (7)과 같이 계산된다.

$$\begin{bmatrix} x_2'' \\ y_2'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (x_2' - c_x) \cos \theta - (y_2' - c_y) \sin \theta + c_x \\ (x_2' - c_x) \sin \theta + (y_2' - c_y) \cos \theta + c_y \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} x_1'' \\ y_1'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (x_1' - c_x) \cos \theta - (y_1' - c_y) \sin \theta + c_x \\ (x_1' - c_x) \sin \theta + (y_1' - c_y) \cos \theta + c_y \end{bmatrix} \quad (7)$$

두 점을 이은 선은 Fig. 4와 같이 실제의 위치를 이은 선이 정위치와 평행이 된다. 그러므로 (8)과 같이 (x'', y'') 와 (x, y) 의 차이가 각 축에 대한 보정량 (x_c, y_c) 로 계산된다. macro 카메라로 읽은 데이터로 계산된 보정량은 micro 카메라의 위치를 보정하는데 사용되고, 실제 작업에 들어갈 때는 macro와 micro 카메라의 보정량이 합해져서 블레이드와 웨이퍼가 접촉하는 좌표값을 보정하게 된다.

$$\begin{bmatrix} x_c \\ y_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1'' - x_1 \\ y_1'' - y_1 \end{bmatrix} \cong \begin{bmatrix} x_2'' - x_2 \\ y_2'' - y_2 \end{bmatrix} \quad (8)$$

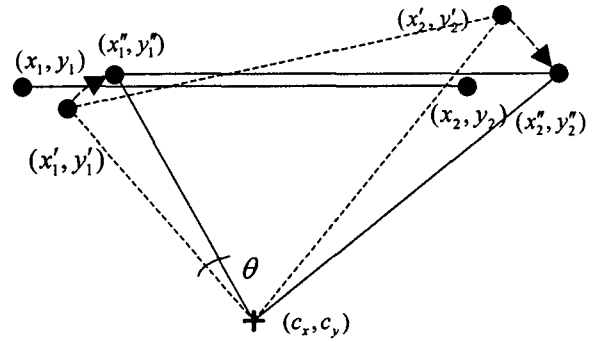


Fig. 4 Position movement after θ compensation

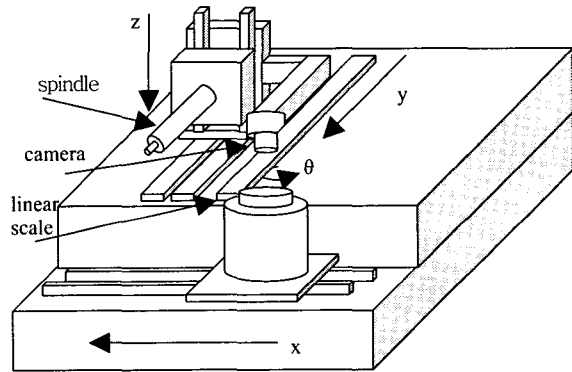


Fig. 5 Kinematic mechanism in dicing machine

3. 자동 정렬 다이싱 머신

3.1 이송기구

다이싱 머신은 x, y, z, θ 의 4 축으로 구성되어 있다. x, y, z 축은 LM과 보울 스크류(ball screw)로 조립된 직선 왕복 운동 기구이고, θ 는 하모닉 드라이브(harmonic drive)로 되어있는 회전 운동 기구이다. z 축은 y 축 위에 올려져 있으며, θ 축은 x 축 위에 올려져 있다. 카메라는 y 축 상에 설치되어 있으며 스피들은 z 축에 설치되어 있다. 그러므로 비전 인식 작업시에는 x, y, θ 축을 구동하여 각각의 위치로 이동한다. 작업 테이블은 θ 축 위에 설치되어 있다. 절단 작업시에는 z 축을 구동시켜 절단 위치까지 하강 시킨다음, x 축을 구동시켜 웨이

피를 절단을 하게 된다. 그리고 z 축을 상승시켜 y 축 이동을 하고, 다음 절단 위치에서 다시 같은 방법으로 절단 작업을 수행한다. Fig. 5 는 다이싱 머신의 이송기구를 간략히 나타낸 것이다.

3.2 제어부

각 축과 외부장치는 기본적으로 PC 상의 모션 콘트롤러(motion controller)로 제어한다. PC 에서 지령이 모션 콘트롤러로 내려가면 드라이버(driver)에 해당 펄스(pulse)를 내보내어 각 축을 구동시킨다. 각 축에는 AC 서보 모터를 사용하였는데, 자체적으로 엔코더(encoder)를 가지고 있어서 드라이버에 전해진 펄스만큼 움직이도록 제어를 수행한다.

드라이브와 엔코더 사이의 제어 방식은 관성 부하를 추정하여 피드백 게인(feedback gain)을 튜닝(tuning)시키는 적응 제어 방식이다. y 축은 인덱싱(indexing)에 의해 블레이드(blade)를 정확하게 절단 위치로 이동시켜야 하므로 리니어 스케일(linear scale)을 추가로 설치하여 축이 지령된 펄스만큼 움직였는지 모션 콘트롤러에서 체크를 하고 직접 제어를 하도록 제작되었다. 즉, y 축은 추가로 비례 제어를 수행하여 2 중 제어 루프를 구성하여 위치 제어의 정밀도를 높였다. Fig. 6 는 y 축 제어부의 구성과 개념을 나타낸 것이다.

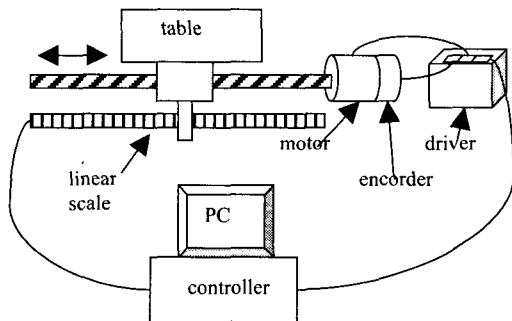


Fig. 6 Conception of control unit for y-axis

3.3 영상 처리부

카메라는 일반 디지털 영상 카메라를 사용하되 각각 저배율과 고배율 렌즈를 설치하였고, macro 와 micro 로 명명하였다. macro 카메라로는 해당 패턴이 정위치로부터 ±7.5mm 까지 벗어나도 인식하여 보상값을 계산하기 위해 설치하였고, macro 로 보상할 경우 경험상으로 보았을 때

200µm 까지 차이가 나므로 정확한 보상을 위해 micro 카메라를 설치하였다. 즉, 본 시스템은 macro 카메라로 인식하여 저정밀도로 보상한 후에 micro 로 정밀한 값을 계산하여 2 단계로 보상을 하는 듀얼 카메라 워킹(dual camera working) 방식이다. 각각의 카메라는 하나의 영상 처리 모듈에 연결되어 있고, 이 외부 모듈은 PC 와 RS-232C 로 통신하도록 되어 있다. 영상 처리 모듈에 미리 표준 패턴을 입력해 놓고 실제 패턴과 비교하여 벗어난 정도를 계산하여 PC 쪽에서 필요한 경우 값을 넘겨준다. Fig. 7 은 영상처리부의 개념도이다.

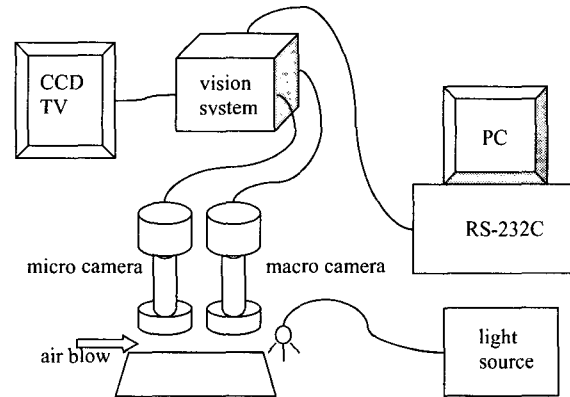


Fig. 7 Conception of vision inspection system

3.4 주변장치

다이싱 머신을 구성하는 장치는 에어 스펀들, 진공흡, 절삭수, 클리너, 에어 블로우 등이 있다. 에어 스펀들을 보호하기 위해 공압, 냉각수, rpm 등의 인터록(interlock)을 설정해 놓았다. 클리너는 웨이퍼를 세정하여 비전 인식이 잘 되도록 설치하였으며, 비전 블로우는 공압으로 카메라 초점 주위의 습기나 먼지를 제거하는 역할을 한다.

3.5 구동 프로그램

구동 프로그램은 GUI 환경하에서 실행되도록 사용자위주의 환경으로 구성되어 있다. 자동으로 정렬을 하여 절단 작업도 가능하지만 수동으로도 작업이 가능하고, 여러가지 주변 장치들을 수동으로 가동 및 중지시킬 수 있도록 구성되어 있다. 또한, 데이터 수집 및 설정을 위한 유틸리티 기능으로 조그(jog), MPG, 터치(touch), 호밍(homing) 등이 있으며, 영상 처리부를 위한 유틸리티 기능은 비전 모드가 있다. 사용자에게 의해 설정된 데이터

는 저장, 호출 및 변경이 가능하고, 이를 근거로 실제 절단 작업을 수행할 때 필요할 때 마다 계산하여 결과를 모션 컨트롤러나 영상 처리부에 지령을 내린다. 또한 필요한 결과는 수시로 각 장치로부터 받아와서 화면에 표시하도록 구성되어 있다. 자동 정렬을 실시할 때에는 정위치를 이동시켜 비전으로부터 오차값을 읽어오고 보상 알고리즘을 통해 보상값을 결정하여 기구상 위치를 수정한다.

4. 다이싱 실험 및 결과

4.1 다이싱 장치의 구성

비전 기능을 가진 4 축의 다이싱 머신을 실제로 제작하여 실험을 수행하였다. Table 1 은 다이싱 머신의 사양이고, Fig. 8 은 실제 다이싱 머신의 주요부 사진이다.

Table 1 Specifications of dicing machine

Name	Contents	specification
Kinematic Mechanism	resolution	x,y,z : 0.2 μ m, θ : 2 $\times 10^{-4}$ deg
	accuracy	x,y,z : 1 μ m, θ : 1 $\times 10^{-3}$ deg
	stroke	x : 420mm, y : 210mm, z : 50mm, θ : 380deg
	Max. speed	x : 250mm/s, y : 100mm/s, z : 100mm/s, θ : 60deg/s
Air Spindle	Max. rev.	50,000rpm
	Power	2.2kW
Camera	range	macro : 15mm \times 15mm micro : 1.5mm \times 1.5mm
Vision	resolution	512 \times 480 (0.1 sub pixel)
	exposure	1/30 sec.
	interface	RS-232C
Chuck	size	ϕ 203.2

4.2 영상 처리 방법

테스트용 웨이퍼는 Fig. 9 의 우측과 같은 패턴을 가진 웨이퍼를 실험에 사용하였다. 웨이퍼 상에는 크게 20 \times 2 의 메인 패턴이 있으며, 각각에 패턴에는 그림의 좌측과 같이 7 \times 8 의 서브 패턴이 있다. 각 메인 패턴의 상하에는 메인 패턴의 정렬을 위한 마크가 있고, 서브 패턴의 내부와 외곽에는 서브 패턴 정렬 마크가 있다. 자동 정렬은 각 마크를 인식시켜 편차를 계산하게 하였다.

본 실험에서 사용된 웨이퍼는 표면이 금속으로 되어 있어서 정반사가 심하게 일어났다. 따라서 조명을 옆으로 이동시켜 각도를 조절할 수 있게 기구를 꾸민 다음, 각도를 조절하면서 패턴을 관찰하여 패턴이 가장 선명하게 나오는 곳에 고정시켰다. 테스트를 할 때에는 가장 먼저 테이블 위에 곧 샘플(good sample)을 올려놓고 정위치를 잡는 작업을 하였다. 정위치는 비전에서 인식하기 쉬운 마크의 위치로 설정하였다. 정렬 작업의 순서는 첫째 macro 카메라로 읽은 데이터로 웨이퍼의 오차를 계산하여 micro 카메라 위치를 보정하고, 둘째로 micro 카메라로 읽은 데이터로 정밀하게 한번 더 계산한 다음, 두 값을 정위치에 보상하여 마크의 위치를 찾아가서 그 때 비전에서 읽은 값을 측정하였다. 이때 사용된 알고리즘은 카메라에 상관없이 같은 알고리즘을 사용하여 보정하였다. 자동 정렬 작업을 위해 웨이퍼 상에서 읽어야 하는 마크는 macro 카메라의 경우 Fig. 10(a)와 같다. micro 카메라의 경우는 Fig. 10(b) 같이 초기 상태 0 $^{\circ}$ 와 Fig. 10(c)와 같이 90 $^{\circ}$ 회전 하였을 경우 두가지를 ROI 로 설정하였다. 각각의 패턴은 좌측 끝 부분과 우측 끝 부분을 두번 읽게 되며, 이 결과로 알고리즘에 의해 보상값이 결정되었다.

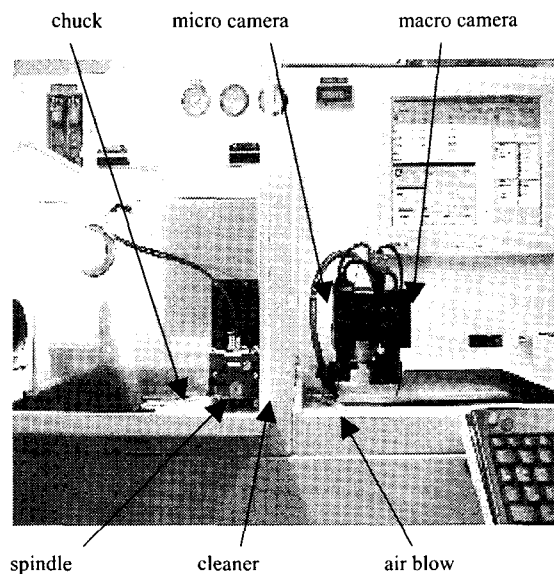


Fig. 8 Photo of main part in dicing machine

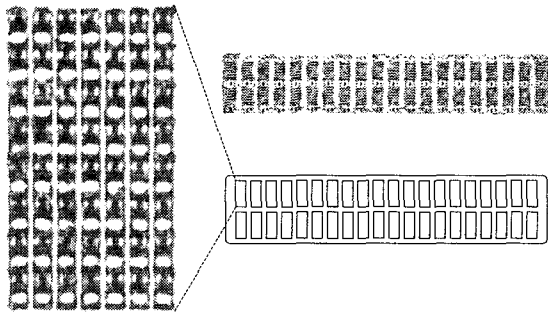


Fig. 9 Photo of test specimen

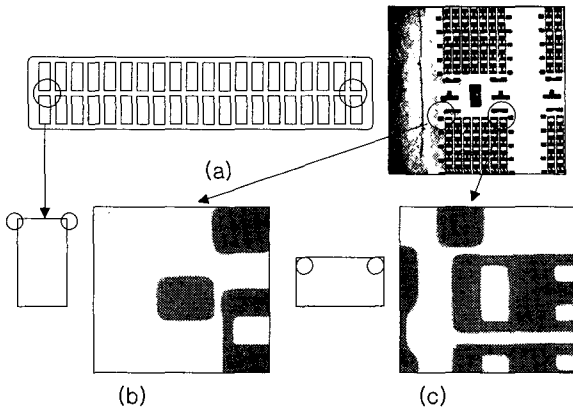


Fig. 10 Inspection mark patterns for auto alignment

4.3 실험 방법

실험은 균 샘플로 정위치를 잡고, 3 장의 웨이퍼에 대해서 행하여 졌다. 실험용 제품은 작업자가 테이블에 손으로 올려놓아 오차가 임의적으로 발생하게 하였다. 정렬은 macro 카메라로 각 point 가 15mm× 15mm 안에 들어오면 값을 읽어 1 차로 보상하도록 되어 있으며, 1 차 보상에 의한 오차를 micro 카메라에 의해 1.5mm× 1.5mm 안에 보상하도록 되어 있다. micro 카메라의 보상은 기준점이 수평인 0° 보상과 90° 회전 후 보상하는 90° 보상 두가지가 있다. macro 카메라에 의한 정렬은 웨이퍼당 2 point 를 잡았으므로 총 6 point 에 관한 결과를 얻었다. micro 카메라에 의한 2 차 정렬은 0° 정렬은 매크로 패턴이 2 줄이므로 웨이퍼당 4 point, 90° 정렬은 매크로 패턴이 20 줄이므로 총 40 point 를 잡았다. 그러므로, 총 12 회와 120 회 의 결과를 각각 얻을 수 있었다. 또한, 실제 위이퍼를 절단하여 웨이퍼상의 마크가 잘렸는지를 보

아서 보상값이 절단 작업에 정확히 동작을 하는지 확인하였다.

4.4 결과 및 고찰

Fig. 11~Fig. 13 은 비전으로 측정된 정렬 오차이다. 비전에서 인식되는 오차는 x-y 두 방향의 정렬 오차가 있으므로 이를 그래프상에 각각 비전에서 인식한 픽셀 단위로 표시하였다. 그래프에서 ◆ 표시는 웨이퍼가 정렬되기 전에 인식된 마크의 편차이고, *표시는 알고리즘에 의해 정렬된 상태에서 인식된 마크의 편차이다.

Fig. 11 은 macro 카메라에 의해 1 차로 정렬시킨 결과이다. macro 는 웨이퍼 마다 2 점을 잡았고, 총 3 장의 웨이퍼를 가지고 실험을 했으므로 6 점의 결과를 얻었다. 1 차 정렬 결과 비전 상에서 최대 x=55.8 픽셀, y=136.3 픽셀까지 차이가 나던 위치 오차가 보상 후에는 오차가 약 3 픽셀 정도로 감소했음을 알 수 있다.

Fig. 12 에서는 위치 오차가 각 웨이퍼에서 인식한 1 차 보상의 결과로 그룹으로 나타난 것을 볼 수 있다. macro 카메라를 이용하여 보상하더라도 micro 카메라로 보면 최대 x=29.9 픽셀, y=51.9 픽셀까지 차이가 나는 것을 알 수 있다. 오차들이 2 차 보상 후에는 최대 2.4 픽셀로 감소한 것을 볼 수 있다.

Fig. 13 에서는 각 웨이퍼 당 40 점이 그룹으로 나타난 것을 뚜렷이 볼 수 있고, 2 차 보상 결과 오차가 평균 1 픽셀 내외로 감소한 것을 볼 수 있다. 이와 같은 결과에 의해 제시된 정렬 알고리즘이 유효함을 알 수 있다.

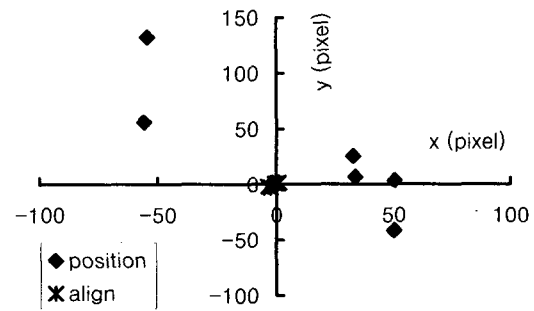


Fig. 11 Inspected error by macro camera

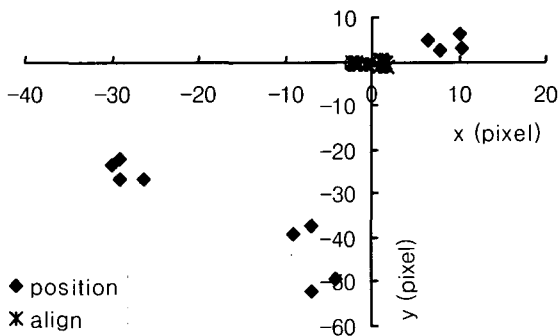


Fig. 12 Inspected error by micro camera in 0°

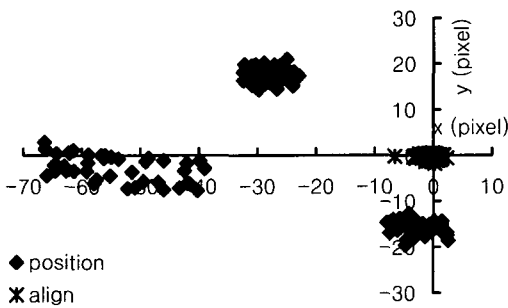


Fig. 13 Inspected error by micro camera in 90°

Table 2 Experiment result (unit:pixel)

Contents		Macro	0° Micro	90° Micro
No. of points		2×3	4×3	40×3
Maximum error (position)	x	55.8	29.9	6.6
	y	136.3	51.9	1.7
Average error (position)	x	46.1	14.6	66.4
	y	44.3	24.4	20.9
Maximum error (align)	x	3.4	2.4	6.6
	y	2.7	1.3	1.7
Average error (align)	x	1.5	1.3	0.8
	y	1.7	0.6	0.4

Table. 2 는 Fig. 11~ Fig. 13 의 결과를 정리한 것으로 정렬 전의 위치 오차와 정렬 후의 위치오차를 비교하고 있다. 각각의 오차는 비전에서 인식된 픽셀수의 절대값으로 표시하였고, 최대 오차값과 평균오차를 같이 보여주고 있다. macro 와

micro 에 상관 없이 정렬 후에는 오차가 감소함을 볼 수 있고, 매크로로 xy 각각 평균 약 46, 44 픽셀 까지 차이가 나던 오차가 최종 적으로 정렬된 후에는 0° 정렬의 경우 1.3, 0.6 픽셀, 90° 정렬의 경우는 0.8, 0.4 픽셀 정도로 대폭 감소함을 볼 수 있다. 그러므로, 제안된 알고리즘과 시스템에 의해 자동 정렬이 정밀하게 되는 것을 알 수 있다.

Table 3 Alignment performance result (unit:pixel)

Contents		Macro	0° Micro	90° Micro
No. of points		2×3	4×3	40×3
Maximum error	x	3.4	2.4	6.6
	y	2.7	1.3	1.7
Minimum error	x	0.5	0.4	0.0
	y	0.9	0.1	0.0
Average error	x	1.5	1.3	0.8
	y	1.7	0.6	0.4
Standard deviation	x	1.9	1.5	1.2
	y	1.9	0.5	0.4

실험 결과를 자동 정렬 성능을 평가하기 위해 정리하여 Table 3 과 같은 결과를 얻었다. 여기서 나타나는 오차는 정위치와 실제 웨이퍼를 정렬시킨 후 비전에서 인식한 오차값을 의미한다. macro 카메라는 정렬 후 오차는 xy 각각 1.5 pixel, 1.7 pixel, 편차는 약 1.9 pixel 정도가 되었다. 또한 micro 카메라의 경우 역시 정렬 후의 오차는 0.4~1.3 pixel, 편차는 0.4~1.2 pixel 정도가 되었다. 여기서 사용된 계산값은 모두 절대 값을 사용하여 계산된 수치이다. 보통 반사율이 높은 재질의 경우 인식된 위치가 떨리는 현상을 볼 수 있고, 웨이퍼 자체도 약간 불룩하게 굽어져 있으므로 이러한 것을 고려하면 비교적 우수한 결과라고 할 수 있다. 각 오차는 x 축이 y 축보다 큰 경향을 볼 수 있는데, 이는 x 축의 백래쉬(backlash)가 7µm 정도 인데 비해, y 축은 0 백래쉬에 리니어 스케일로 제어를 했기 때문이라고 추정된다. 정렬을 위한 마크의 크기와 위치 자체도 양산되는 제품이므로 10µm 가량 차이가 나는 것도 감안할 수 있다.

다이싱 머신의 브레이드는 y 축에 의해 인택싱이 되므로, x 축 보다는 y 축이 정밀하게 제어되어야 한다. y 축의 결과를 보면 평균오차는 비전 상

의 1pixel 이내이고, 표준편차와 최대 오차도 1pixel 안쪽이므로 상당히 정밀하게 보상 및 제어됨을 알 수 있다.

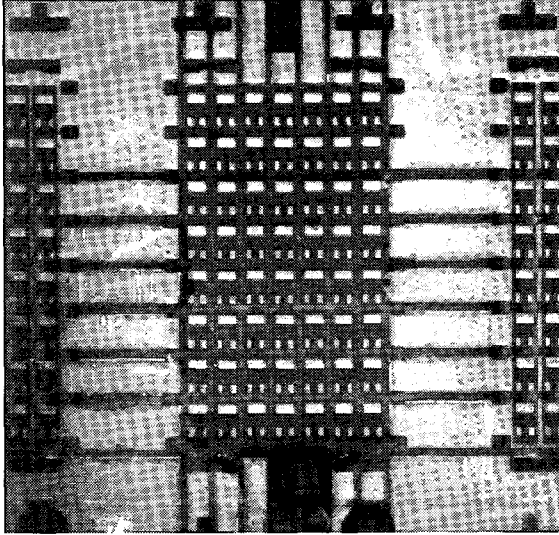


Fig. 14 Photo of macro pattern after cutting

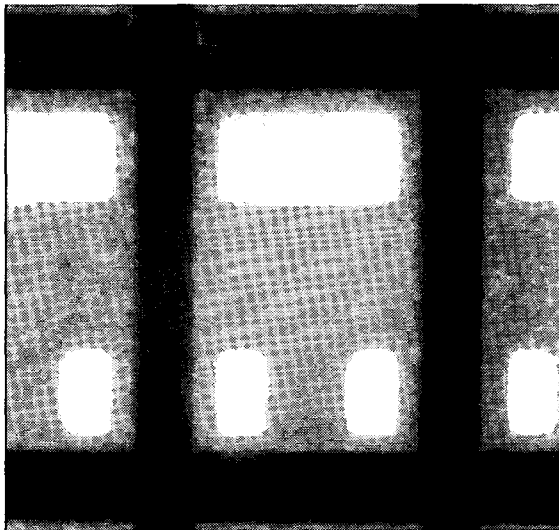


Fig. 15 Photo of micro pattern after cutting

Fig. 14 는 실제로 절단 작업을 수행한 결과 브레이드가 웨이퍼를 절단한 모양을 macro 카메라로 보여주고 있다. 브레이드가 각 웨이퍼 상의 마크를 잘 인식하여 정확하게 절단한 것을 볼 수 있다.

Fig. 15 에서는 micro 카메라로 절단된 다이(die)를 본 것으로 다이싱 작업이 잘 수행된 것을 확인할 수 있다. 따라서 작업자가 수동으로 웨이퍼를 테이블에 올려 놓아도 자동 정렬 알고리즘에 의해 정위치를 찾아 정확한 절단 작업이 수행됨을 알 수 있다.

5. 결론

반도체 절단 공정에서 필요한 자동 정렬 작업을 위하여 알고리즘을 작성하였고 장비를 제작하였다. 듀얼 카메라로 운용되는 실험을 하여 그 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1. 기하학적인 관계에 의하여 x, y, θ 의 3축 보상 알고리즘을 작성할 수 있었다.
2. 자동 정렬에 필요한 운동 기구를 설계하고 다이싱 머신을 제작할 수 있었다.
3. 듀얼 카메라에 의한 운용 방법으로 알고리즘의 타당성과 정밀도를 확인할 수 있었다.
4. 작업자가 웨이퍼를 수작업으로 테이블에 올려 놓아도 보상 알고리즘에 의해 정확하게 절단 작업을 수행함을 알 수 있었다.
5. 다이싱 공정에 웨이퍼 자동 정렬 알고리즘을 적용하여 활용할 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

1. Cohen, M. S., DeFranze, M. J., Canora, F. J., Cina, M. F., "Improvements in Index Alignment Method for Laser-Fiber Array Packaging," IEEE Trans. on Components, Packaging, and Manufacturing Technology - Part B, Vol. 17, No. 3, pp. 402-411, 1994.
2. Uchida N. R., Ishibashi, Y. Y., Kikuri, N. T., Tabata, M. T., Hirano, R. C., "A dual grating alignment method insensitive to mask-wafer gap variation," J. of the JSPE, Vol. 54, No. 10, pp. 123-128, 1988.
3. Akiyama, N. Y., "Precision position detecting technique for alignment mark applied in a step-and-repeat projection aligner (3rd Report)," J. of the JSPE, Vol. 57, No. 5, pp. 75-81, 1991.
4. Yuan, C. M., Strojwas, A. J., "Modeling Optical Equipment for wafer Alignment and Line-Width Measurement," IEEE Trans. on Semiconductor Manufacturing, Vol. 4, No. 2, pp. 99-110, 1991.
5. Gruber, M., Hagedorn D., Eckert W., "Precise and

- simple optical alignment method for double-sided lithography," *Applied Optics*, Vol. 40, No. 28, pp. 5052-5055, 2001.
6. Liao, J. B., M. Wu, H., Baines, R. W., "A coordinate measuring machine vision system," *Computers in Industry*, Vol. 38, No. 3, pp. 239-248, 1999.
 7. Gong, Y. T., "A method to measure the alignment accuracy on automated visual inspection system," PH.D. Thesis, Seoul Univ., pp. 10-16, 1993.
 8. Hong, J. H., Jin, K.H., Kim, K. K., Lee S. H., Choi, B. Y., Lee, Y. J., Lee., S. H. A., "Study on high speed, high precision auto-alignment system using vision system," *Proc. of IEEK Fall Conference*, Vol. 21, No. 2, pp. 457-459, 1998.
 9. Han., S. J., Pak, J. H., Pak, H. J., "Development of Three D.O.F Alignment Stage for Vacuum Environment," *J. of the KSPE*, Vol. 18, No. 11, pp. 138-147, 2001.
 10. Herwig M., "Virtual Automation Enviroments," Marcel Dekker, Inc., pp. 43-48, 2002.