

---

# Least Square Circle Fitting을 이용한 Pre-Alignment

이남희\* · 조태훈\*\*

\*한국기술교육대학교 전기전자공학과

\*\*한국기술교육대학교 정보기술공학부

## Pre-Alignment Using the Least Square Circle Fitting

Nam-Hee Lee\* · Tai-Hoon Cho\*\*

\*Korea University of Technology and Education, Graduate School,  
Dept. of Electricity & Electronic Eng.

\*\*Korea University of Technology and Education, School of Information Technology Eng.

E-mail : [mireking@gmail.com](mailto:mireking@gmail.com)\*, [thcho@kut.ac.kr](mailto:thcho@kut.ac.kr)\*\*

### 요 약

웨이퍼 Pre-Alignment는 반도체 공정에서 장비에 웨이퍼를 놓기 전에 웨이퍼의 중심 및 방향을 정확하게 정렬할 필요가 있는데, 이를 위해서 일정한 수준 이하로 중심과 방향을 찾아 Alignment 하는 방법을 말한다. 본 논문에서는 웨이퍼를 Alignment 하기 위해 기존의 Mechanical한 방법이 아닌 Area 카메라를 통한 비접촉식 방법을 이용하였다. 이 방법은 웨이퍼를 45도씩 8번씩, 한 바퀴를 회전하여 이미지를 획득한 뒤, 이미지의 웨이퍼의 에지값 들을 이용하여 Least Square Circle Fitting 을 이용하여 웨이퍼의 중심과 방향을 정확하게 측정하여 Alignment를 한다.

### ABSTRACT

Wafer pre-alignment is to find the center and the orientation of a wafer and to move the wafer to the desired position and orientation.. In this paper, an area camera based pre-aligning method is presented that captures 8 wafer images regularly during 360 degrees rotation. From the images, wafer edge positions are extracted and used to estimate the wafer's center and orientation using least square circle fitting. These information are utilized for the proper alignment of the wafer.

### 키워드

Pre-Aligner, Least Square Circle Fitting, Alignment, Notch Detection

## I. 서 론

반도체 공정에서 웨이퍼(Wafer)의 중심 및 방향을 정확하게 정렬(Alignment)할 필요가 있는데 이를 위해서 정렬하기 전에 일정한 수준의 이하로 정렬을 하여 장비에 쉽게 웨이퍼를 정렬할 수 있도록 하는 것을 Pre-Aligner라고 한다. [1]

기존의 Mechanical한 방법은 척(Chuck)과 웨이퍼 뒷면의 기구적인 마찰이 발생하는데 이 단점을 보완하기 위해 비접촉식의 Area 카메라를 이용하여 정확하고 빠르게 Alignment를 가능하게 하였다.[2][3]

이 논문의 Pre-Aligner는 웨이퍼를 360도 회전

장치인 척(Chuck) 위에 올려놓으면 MCU(Motion Control Unit) 2축 제어를 이용하여 45도씩 8번, 한 바퀴를 회전하며 HR-50 Area 카메라를 통하여 웨이퍼의 에지데이터를 획득한다. 이 데이터 값을 이용하여 Least Square Circle Fitting을 이용하여 웨이퍼의 중심을 찾아 웨이퍼와 척(Chuck) 중심 간의 거리 및 각도를 찾아 이를 Alignment를 하게 된다.

## II. 기구부 구성 및 동작순서

### 2.1 기구부 구성

HR-50 Area 카메라를 이용하여 웨이퍼의 에지 이미지를 얻기 위해 웨이퍼의 가장자리와 Area 카메라를 수직으로 배치시킨다.

조명장치는 척의 밑에 조명을 배치하여 웨이퍼의 반사와 주위 조명의 영향을 최소화 시켜 깨끗한 이미지를 획득할 수 있게 한다.

기구부는 MCU(Motion Control Unit) 2축을 이용하여 RS-232C를 통한 시리얼통신으로 기구부를 제어하여 X축으로는 A1K-S543W모터를 사용하여 5μm의 정밀도로 이동하게 되고, 척(Chuck) 중심으로 회전을 하게 될 때는 ARS-936-HP06L-076모터를 사용하여 0.004°의 정확도를 가지고 회전을 하게 된다.

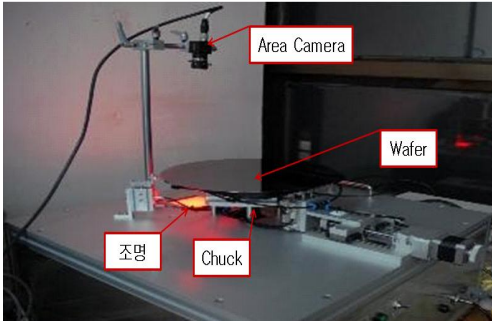


그림 1. 기구부 구성도

### 2.2 기구부 동작순서

- 1) 척 중심으로 웨이퍼를 45도씩 8번 회전하여 Area 카메라를 이용하여 웨이퍼의 에지 영상 취득
- 2) 웨이퍼의 에지의 오프셋(Offset) 및 각도 추출
- 3) 추출된 각도만큼 척 중심으로 회전
- 4) 오프셋(Offset)만큼 X축으로 웨이퍼 이동
- 5) 노치의 각도(a)만큼 회전

## III. 웨이퍼 Alignment

### 3.1 웨이퍼 Alignment

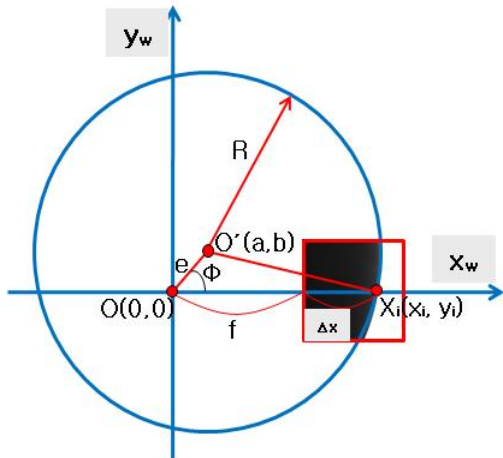


그림 2. 웨이퍼와 척 중심의 거리 및 각도

- e : 웨이퍼 중심(O')과 척 중심(O) 사이의 거리
  - Φ : 웨이퍼 중심(O')과 척 중심(O) 사이의 각도
  - R : 웨이퍼의 반지름
  - Δx : 이미지의 실제 거리
  - f : 척 중심과 카메라간의 거리
  - li : 척 중심과 웨이퍼에지간의 거리
- $$(f + \Delta x)$$

$$S(a,b,R) = \sum_{i=1}^N (\sqrt{(x_i - a)^2 + y_i - b)^2} - R)^2 \quad (1)$$

여기서  $x_i = l_i \cos \theta_i$ ,  $y_i = l_i \sin \theta_i$  를 이용하여 극좌표를 직교좌표로 변환하여 구할 수 있다.

$l_i = f + \Delta x$ 를 구하기 위해서는 척 중심과 웨이퍼 에지간의 거리(f)를 구해야 되는데 이를 위해서는 (1)식을 이용하여 R값(웨이퍼의 반지름)을 우리가 알고 있다고 하면 (1)식을 최소화하는 값을 찾아 f값을 구할 수가 있다.

또한 Δx를 구하기 위해서는 웨이퍼 이미지의 에지 좌표를 구한 후 고차 polynomial을 이용한 캘리브레이션을 이용하여 실제계 좌표로 변환한다.[4]

(1)식을 최소화하기 위해 a, b, R로 각각을 편미분을 하게 되면

$$\frac{\partial S}{\partial a} = 2 \sum_{i=1}^N [(x_i - a)^2 + (y_i - b)^2 - R^2] (-2)(x_i - a) = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial S}{\partial b} = 2 \sum_{i=1}^N [(x_i - a)^2 + (y_i - b)^2 - R^2] (-2)(y_i - b) = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial S}{\partial R} = 2 \sum_{i=1}^N [(x_i - a)^2 + (y_i - b)^2 - R^2] (-2)R = 0 \quad (4)$$

(2), (3), (4)의 식으로 부터 a, b, R을 구할 수 있다.[5]

$$a = \frac{(\overline{x^2 \cdot x} + \overline{x y^2} - \overline{x^3} - \overline{x \cdot y^2})(\overline{y^2} - \overline{y^2})}{2(\overline{x^2} - \overline{x^2})(\overline{y^2} - \overline{y^2}) - 2(\overline{x \cdot y} - \overline{x \cdot y})^2} - \frac{(\overline{x^2 \cdot y} + \overline{y y^2} - \overline{y^3} - \overline{y \cdot x^2})(\overline{x \cdot y} - \overline{x \cdot y})}{2(\overline{x^2} - \overline{x^2})(\overline{y^2} - \overline{y^2}) - 2(\overline{x \cdot y} - \overline{x \cdot y})^2} \quad (5)$$

$$b = \frac{(\overline{y^2 \cdot y} + \overline{y x^2} - \overline{y^3} - \overline{y \cdot x^2})(\overline{x^2} - \overline{x^2})}{2(\overline{x^2} - \overline{x^2})(\overline{y^2} - \overline{y^2}) - 2(\overline{x \cdot y} - \overline{x \cdot y})^2} - \frac{(\overline{y^2 \cdot x} + \overline{x x^2} - \overline{x^3} - \overline{x \cdot y^2})(\overline{x \cdot y} - \overline{x \cdot y})}{2(\overline{x^2} - \overline{x^2})(\overline{y^2} - \overline{y^2}) - 2(\overline{x \cdot y} - \overline{x \cdot y})^2} \quad (6)$$

$$R = \sqrt{a^2 - 2\overline{x \cdot a} + b^2 - 2\overline{y \cdot b} + \overline{x^2} + \overline{y^2}} \quad (7)$$

(5), (6)식을 이용하여 웨이퍼 중심과 척 중심사이의 거리 e값과 각도 Φ를 구할 수 있다.

$$e = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (8)$$

$$\Phi = \tan^{-1} \frac{b}{a} \quad (9)$$

### 3.2 노치 Alignment

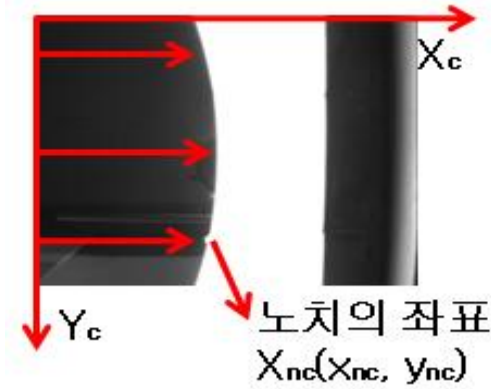


그림 3. 노치(Notch)의 이미지좌표

그림 3은 45°씩 N번 회전시킨 후에 카메라 FOV(Field of View)내에 노치가 들어 있다고 가정하면 노치가 들어있는 이미지의 각도는  $\theta_n = 45 \cdot N$ ,  $N = 0, 1, \dots, 7$ 로 나타낼 수 있다.

이때,  $X_c$  좌표에서 웨이퍼의 에지들의 값 들을 2차 미분을 하여 그 값이 최대가 되는 값을 찾아 노치의 좌표를 찾는다.

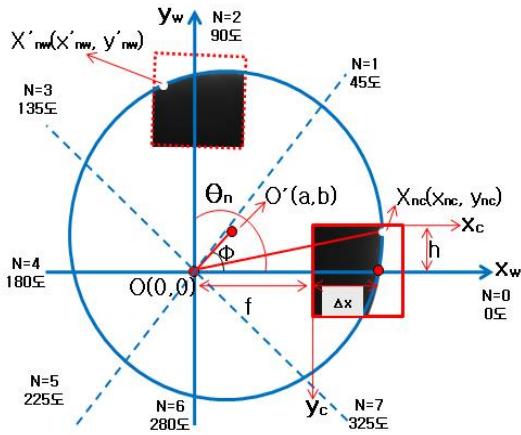


그림 4. 노치(Notch)의 실세계좌표

그림 4.에서  $X_c(x_c, y_c)$ 는 카메라 좌표계(카메라 캘리브레이션 후의 좌표)이고,  $X_w(x_w, y_w)$ 는 실세계 좌표계로 원점(척 중심)을 중심으로 한 좌표계를 나타낸다.

카메라 좌표계  $X_c(x_c, y_c)$ 와 실세계 좌표계  $X_w(x_w, y_w)$ 의 관계는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} x_w &= f + x_c \\ (10) \\ y_w &= -(y_c - h) \end{aligned} \quad (11)$$

식(10), (11)을 이용하여 웨이퍼의 중심 보정 전 카메라의 노치의 좌표  $X_{nc}(x_{nc}, y_{nc})$ 를 실세계 좌표  $X_{nw}(x_{nw}, y_{nw})$ 로 변환하면 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} x_{nw} &= f + x_{nc} \\ (12) \\ y_{nw} &= -(y_{nc} - h) \end{aligned} \quad (13)$$

$$x'_{nw} = x_{nw} \cos(-\theta_n) + y_{nw} \sin(-\theta_n) \quad (14)$$

$$y'_{nw} = -x_{nw} \sin(-\theta_n) + y_{nw} \cos(-\theta_n) \quad (15)$$

웨이퍼의 중심 보정전의 노치의 좌표  $X'_{nw}(x'_{nw}, y'_{nw})$ 는 보정 후  $X''_{nw}(x''_{nw}, y''_{nw})$ 로 다음과 같이 바뀐다.

$$x''_{nw} = x'_{nw} \cos(\Phi) + y'_{nw} \sin(\Phi) - e \quad (16)$$

$$y''_{nw} = -x'_{nw} \sin(\Phi) + y'_{nw} \cos(\Phi) \quad (17)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{y''_{nw}}{x''_{nw}} \quad (18)$$

식 (18)을 이용하여 웨이퍼의 각도( $\alpha$ ) 만큼 반시계 방향으로 돌리면 노치의 방향을 Alignment 할 수 있다.

## IV. 성능평가

위의 Least Square Circle Fitting 방법을 이용한 Alignment의 성능을 평가하기 위하여 테스트를 하였다.

표 1. 웨이퍼 Alignment의 오차

|                           | 1        | 2        | 3        | 4        |
|---------------------------|----------|----------|----------|----------|
| e<br>(웨이퍼 중심과 척 중심 간의 거리) | 0.031 mm | 0.012 mm | 0.017 mm | 0.024 mm |
| Notch Alignment           | 0.061°   | 0.038°   | 0.042°   | 0.05°    |

이 결과를 통하여 오차가 e값은 0.04mm안에 들어오고, 노치의 Alignment는 0.1°이내에 들어오는 것을 확인 할 수 있었다.

## V. 결 론

본 논문에서는 Area 카메라를 이용하여 웨이퍼의 에지 데이터를 이용하여 Least Square Circle Fitting을 통해 웨이퍼의 중심을 찾아 웨이퍼의 중심과 척의 중심 간의 거리 및 각도를 찾아 Alignment를 할 수 있었다. 이 방법을 사용하면 기구적인 마찰로 인한 파티클을 발생하는 공정에서의 치명적인 단점을 해결할 수 있으며, Alignment의 성능의 웨이퍼의 중심과 척 중심 간의 거리인 E값의 0.04mm내, 노치의 Alignment인 0.1°안에 오차를 들어오게 할 수 있었다.

## Acknowledgment

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임

## 참고문헌

- [1] 이남희, 조태훈 "웨이퍼 에지의 위치 데이터를 이용한 Pre-Alignment", Proceedings of KIIS Spring Conference, No. 1. pp.303-305, 2009.
- [2] 박홍래, 유준 "웨이퍼 정렬법과 정밀도 평가", 제어·자동화·시스템공학 논문지 제 8권 제 9호, pp.812-817, 2002. 9.
- [3] Hee-Sub Lee, Jae-Wook Jeon, Joon-Woo Kim, Jong-Eun Byun "A 12-inch wafer prealigner", Microprocessors and Microsystems 27, pp.151-158, 2003.
- [4] 조태훈, "고차 polynomial을 이용한 정밀한 카메라 캘리브레이션", Proceedings of KFIS Spring Conferences, pp.413-416, 2007.
- [5] Qu Dongsheng, Qiao Suilong, Rong Weibin, Song Yixu, Zhao Yannan, "Design and Experiment of The Wafer Pre-alignment System", Proceedings of the 2007 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, pp.1483-1488, August 5-8, 2007.