반도체디스플레이기술학회지 제9권 제3호(2010년 9월)
Journal of the Semiconductor & Display Technology, Vol. 9, No. 3. September 2010.

하나의 웨이퍼 전체 영상을 이용한 웨이퍼 Pre-Alignment 시스템

구자명 · 조태훈*†
한국기술교육대학교 전기전자공학과, †*한국기술교육대학교 컴퓨터공학부

A Wafer Pre-Alignment System Using One Image of a Whole Wafer

Ja-Myoung Koo and Tai-Hoon Cho*†
Dept. of Electrical and Electronics Engineering, Korea University of Technology and Education
†*School of Computer Engineering, Korea University of Technology and Education

ABSTRACT

This paper presents a wafer pre-alignment system which is improved using the image of the entire wafer area. In the previous method, image acquisition for wafer takes about 80% of total pre-alignment time. The proposed system uses only one image of entire wafer area via a high-resolution CMOS camera, and so image acquisition accounts for nearly 1% of total process time. The larger FOV(field of view) to use the image of the entire wafer area worsen camera lens distortion. A camera calibration using high order polynomials is used for accurate lens distortion correction. And template matching is used to find a correct notch's position. The performance of the proposed system was demonstrated by experiments of wafer center alignment and notch alignment.

Key Words : Wafer Pre-Aligner, Wafer Pre-Alignment System, Wafer Center Alignment, Notch Alignment

1. 서 론

최근에 반도체 산업은 정보화 시대의 핵심 산업으로 중요성이 커지고 집적도가 높아짐에 따라 반도체 공정에서의 웨이퍼(Wafer)의 중심 및 방향의 정렬(Alignment) 또한 중요성이 높아지고 있다[1]. Pre-Aligner는 웨이퍼의 정렬을 수행하기 전에 미리 어느 정도 수준 이하로 정렬을 하여 장비에 쉽게 웨이퍼를 정렬할 수 있게 한다.

기존의 기구적인 Pre-Aligner는 기구적인 마찰로 인한 웨이퍼의 손상과 마이크로 단위로 정렬하기에는 적합하지 않아 최근에는 광학적인 방법이 많이 연구되고 있다. 광학적인 방법으로 CCD형 선형 이미지 센서를 이용한 정렬방법이 많이 사용되고 있으며, 기존의 Area 카메라를 이용한 정렬방법은 웨이퍼 부분별로 이미지를 획득하는 과정에서 시간이 오래 걸리는 단점이 있다[2-4].

본 논문은 고해상도(3488x2616) CMOS Area 카메라를 이용하여 웨이퍼 전체 영역이 보이는 이미지 한 장을 획득한 후 웨이퍼를 정렬하는 시스템을 제안한다. 기존의 여러 장의 이미지 대신 한 장의 이미지를 사용해서, 웨이퍼 이미지를 획득하는 시간이 거의 소요되지 않아 Pre-Aligner의 수행 시간을 획기적으로 단축한다. 웨이퍼 전체를 보기 위해 넓어진 FOV(Field Of View)로 인해 카메라의 왜곡이 커지고 한 픽셀이 차지하는 오차 또한 커진다. 고차 Polynomial카메라 캘리브레이션을 이용해 왜곡보정을 하고 템플릿 매칭(Template Matching)을 통해 서브픽셀(Sub-Pixel)로 노치(Notch)를 구해 이를 해결하는 방법을 제안한다[5,6].

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 웨이퍼 Pre-Alignment를 하기 전 필요한 카메라 캘리브레이션과 척 중심 및 이동 축 계산에 대해서, 3장에서는 제안 방법에 대해 기술한다. 4장에서 실험결과를 통해 이를 검증하며, 5장에서 결론 및 향후 연구에 대해 논의한다.

2. 웨이퍼 Pre-Alignment 이전 과정

2.1. 카메라 캘리브레이션

Area 카메라를 이용하여 이미지를 획득한 경우, 이

†E-mail : thcho@kut.ac.kr

미지는 픽셀(Pixel)단위로 표현된다. 이러한 픽셀단위를 밀리미터(mm)와 같은 실세계의 단위로 변환해서 웨이퍼의 위치를 측정해야 한다. 카메라 캘리브레이션은 픽셀단위인 이미지 좌표계를 실세계 좌표계로의 변환관계를 정의한다. 일반적으로 Area 카메라는 화소 및 광학 왜곡이 발생하고 이는 실세계 좌표계로 변환할 때 에러의 요인이 된다.

본 논문에서 300 mm 웨이퍼 전체를 보기 위해 넓은 FOV가 요구되며 FOV가 넓을수록 왜곡이 심해진다. 따라서 정밀한 왜곡보정을 하기 위해 고차 Polynomial을 이용한 카메라 캘리브레이션을 이용하여 이를 해결한다. M차 Polynomial Transformation은 식(1), (2)와 같다.

$$X = \sum_{m=0}^{M}\sum_{n=0}^{M} k_{mn} I^m J^n \tag{1}$$

$$Y = \sum_{m=0}^{M}\sum_{n=0}^{M} l_{mn} I^m J^n \tag{2}$$

I, J는 영상 좌표를 X, Y는 실세계 좌표를 나타내고, k, l은 이미지 좌표를 실세계 좌표로의 변환관계를 정의하는 행렬이다. N개의 이미지 좌표와 실세계 좌표가 주어졌을 때, 최소자승법(Least Squares Method)으로 식(3), (4)를 최소화하는 k, l를 구한다.

$$\sum_{i=0}^{N}\left(\left(x_i - \sum_{m=0}^{M}\sum_{n=0}^{M} k_{mn} I^m J^n\right)\right)^2 \tag{3}$$

$$\sum_{i=0}^{N}\left(\left(y_i - \sum_{m=0}^{M}\sum_{n=0}^{M} l_{mn} I^m J^n\right)\right)^2 \tag{4}$$

2.2. 척 중심, 이동 축 계산

회전과 1축으로 구성된 기구부는 척 중심으로 웨이퍼를 회전하여 이동 축과 웨이퍼의 중심을 일치시킨 후 웨이퍼를 이동시킨다. 따라서, 웨이퍼 Pre-Alignment를 수행하기 전에 정확한 척 중심과 이동 축 방향 계산이 필요하다.

척 중심은 웨이퍼 회전 시 회전 중심이 척 중심이므로 이를 이용해서 구한다. 대략적으로 척 중심과 웨이퍼의 중심을 일치 시킨 후 일정한 각도로 N번 웨이퍼를 회전하여 각각 N개의 웨이퍼 중심 값을 획득한다. N개의 웨이퍼 중심 값을 식(5), (6)에 대입하여 무게중심(Centroid)를 구하고 이는 척 중심이 된다. 식(5), (6)에서 x_i, y_i는 웨이퍼 중심의 실세계 좌표이다. 웨이퍼 중심을 구하는 방법은 3장에서 설명한다.

$$x_{chuck} = \frac{\sum_{i=1}^{N} x_i}{N} \tag{5}$$

$$y_{chuck} = \frac{\sum_{i=1}^{N} y_i}{N} \tag{6}$$

웨이퍼의 이동 축은 특정 마크(Mark)를 기구부에 부착 또는 표시하여 기구부의 이동 전과 후의 이미지를 이용하여 계산할 수 있다. 본 논문에서는 특정 마크를 사용하는 불편함 없이 웨이퍼의 중심을 이용하여 이동 축을 계산한다. 척 중심을 구한 경우와 같이 척 중심과 웨이퍼의 중심을 대략적으로 일치 시킨 후 웨이퍼의 중심을 구한다. 이 상태에서 웨이퍼를 일정량 이동시켜 이동 전과 이동 후의 웨이퍼 중심을 지나는 직선의 기울기를 계산한다. 이동 축은 척의 중심을 지나고 위의 기울기를 가지는 직선이고, 이동 축의 각도는 아크탄젠트(arctangent)를 이용해 간단히 계산된다.

3. 웨이퍼 Pre-Alignment

3.1. 웨이퍼 중심 정렬

본 연구진의 기존 연구에서는 웨이퍼 중심 정렬을 위해 웨이퍼 부분별로 8장의 이미지를 획득한 후 웨이퍼 중심을 계산한다. 웨이퍼 Pre-Alignment전체 과정 시간의 80% 이상을 8장의 이미지를 획득하는데 소요된다[4]. 본 논문은 웨이퍼 전체 영역이 나온 이미지 한 장으로 웨이퍼 중심을 계산하는 방법을 제안한다. 웨이퍼 이미지를 획득하는 시간이 거의 소요되지 않아 웨이퍼 Pre-Aligner의 수행 시간을 크게 단축할 수 있다.

웨이퍼 전체 영역이 나온 이미지를 이진화 한 후 웨이퍼의 윤곽선(contour)을 검출한다. 이진화 는 조명 상태에 변하게 되고 따라서 부정확한 웨이퍼의 윤곽선이 검출될 수 있다. 하지만, 반도체 공정 과정은 통제된 환경하에 진행되므로 조명은 변하지 않는다고 가정한다. 검출된 윤곽선을 실세계 좌표로 변환한 후 Least Squares Circle Fitting 방법을 이용하여 웨이퍼 중심을 계산한다[7]. Least Squares Circle Fitting 은 샘플링된 데이터에서 자승 에러가 최소화 되는 원의 매개변수를 계산하는 방법으로 식(7), (8)에 검출된 윤곽선 좌표를 대입하여 웨이퍼 중심 a, b를 계산한다.

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

$$-\frac{(\overline{x^2}\overline{y}+\overline{y}\overline{y^2}-\overline{y^3}-\overline{xy^2})(\overline{xy}-\overline{x}\overline{y})}{2(\overline{x^2}-\overline{x}^2)(\overline{y^2}-\overline{y}^2)-2(\overline{xy}-\overline{x}\overline{y})^2} \quad (7)$$

$$b=\frac{(\overline{y^2}\overline{y}+\overline{y}\overline{x^2}-\overline{y^3}-\overline{yx^2})(\overline{x^2}-\overline{x}^2)}{2(\overline{x^2}-\overline{x}^2)(\overline{y^2}-\overline{y}^2)-2(\overline{xy}-\overline{x}\overline{y})^2}$$

$$-\frac{(\overline{y^2}x+\overline{x}\overline{x^2}-\overline{x^3}-\overline{xy^2})(\overline{xy}-\overline{x}\overline{y})}{2(\overline{x^2}-\overline{x}^2)(\overline{y^2}-\overline{y}^2)-2(\overline{xy}-\overline{x}\overline{y})^2} \quad (8)$$

계산의 용이성을 위해 웨이퍼 중심 좌표 a, b를 식 (9)에 대입하여 척 중심이 원점, 이동 축이 X축인 좌표계에 해당하는 a', b'로 변환한다.

$$\begin{bmatrix} a' \\ b' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_{axis} & -\sin\theta_{axis} \\ \sin\theta_{axis} & \cos\theta_{axis} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a-x_{chuck} \\ b-y_{chuck} \end{bmatrix} \quad (9)$$

웨이퍼 중심과 이동 축사이의 각도 Φ와 거리e를 식 (10), (11)과 같이 계산한다.

$$\phi=\tan^{-1}\frac{b'}{a'} \quad (10)$$

$$e=\sqrt{a'^2+b'^2} \quad (11)$$

각도 Φ만큼 회전시킨 후, e만큼 반대 방향으로 웨이퍼를 이동시키면 웨이퍼 중심이 척 중심에 맞게 정렬된다.

3.2. 노치 정렬

웨이퍼 Pre-Aligner에서 웨이퍼 노치 정렬은 사전에 정의한 위치로 노치를 위치시키는 것이다. 노치는 웨이퍼 윤곽부분에서 안쪽으로 절단되어 있어 중심과의 거리가 가장 짧다. 이를 이용해 노치 위치를 구한 후 사전에 정의된 위치로 회전한다. 중심과의 거리를 통해서 노치를 구한 경우 1~2픽셀 정도 오차가 발생할 수 있다. 제안한 방법에서는 FOV가 넓기 때문에 1~2픽셀의 차이는 큰 오차를 초래한다. 이를 보정하기 위해 위의 방법대로 노치가 정렬된 상태에서 템플릿 매칭을 이용한 정확한 노치 정렬 방법을 제안한다. 노치 템플릿 모델에 윤곽선의 변화가 가장 큰 두 점 사이의 중간 위치를 노치의 기준 위치로 정의한다. 템플릿 매칭을 통해 노치의 기준 위치를 구하여 사전에 정의된 위치로 회전한다. 그림 1은 노치 모델 위에 웨이퍼 윤곽선, 노치의 양 끝점 및 노치 기준 위치를 표시하였다.

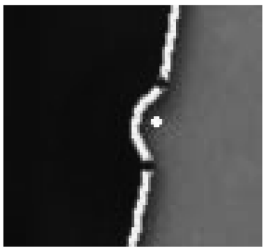

Fig. 1. Notch Model.

4. 실험 결과

본 논문에서 제안하는 방법을 검증하기 위해 그림 2와 같은 웨이퍼 Pre-Aligner 기구부를 사용하였다. 기구부는 웨이퍼를 회전시키는 회전스테이지와 1축으로 이동시키는 이동스테이지로 구성된다. 회전 스테이지는 초당 20°회전속도를 가지며, 반복 정밀도 ±0.003°, 위치 결정도 0.025°이고, 1축 이동스테이지는 스테핑모터(stepping motor)로 구동되며 분해능은 5 um이다. 카메라는 고해상도(3488×2616) CMOS 카메라 SV9C10를 사용하고 Tamrom사의 4.0-12 mm F1.2의 렌즈를 부착했다. 카메라의 FOV는 450×320 mm 정도가 되어 300 mm웨이퍼를 한번에 볼 수 있도록 렌즈의 초점거리를 조정하였다.

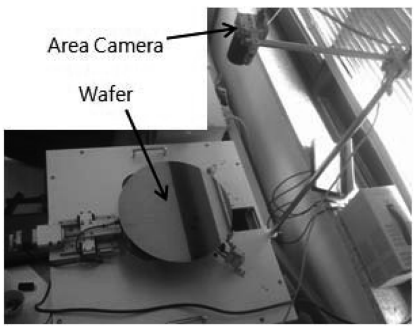

Fig. 2. Pre-Alignment System.

카메라 캘리브레이션은 그림3과 같은 한 칸이 20×20 mm인 체커보드를 이용하여 3차 Polynomial 카메라 캘리브레이션 방법을 사용하였다. 카메라 캘리브레이션 결과 이미지 좌표계에서 실세계 좌표계로 변환할 때의 RMS(Root Mean Square)으로 계산된 X좌표 오차는 0.049 mm, Y 좌표 오차는 0.026 mm 이고, 실세계 좌표계에서 이미지 좌표계로 변환 할때의 RMS으로 계산된 X좌표 오차는 0.258 픽셀, Y좌표 오차는 0.171 픽셀이다.

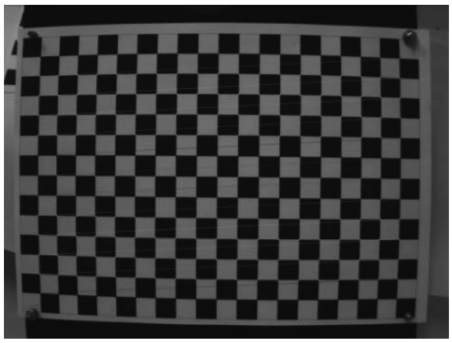

Fig. 3. Calibration Plate.

척의 중심은 45°씩 8번 회전하여 각각 웨이퍼 중심을 구한 후 2.2절의 식(5), (6)에 대입하여 계산하였다. 이동 축과 실세계 좌표간의 각도는 초기 위치에서 20 mm를 이동시켜 2.2절의 방법으로 계산하였다. 그림 4는 웨이퍼 이동 후 이미지에 이동 전후의 중심을 서로 연결하여 흰색 직선으로 표시하였다.

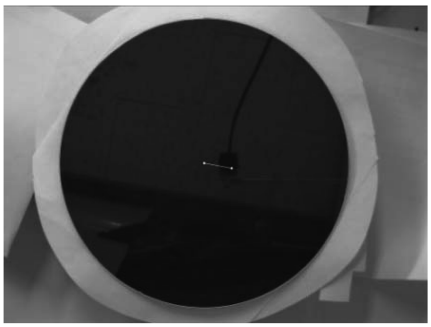

Fig. 4. Moving Axis.

웨이퍼 중심 계산을 위한 웨이퍼 윤곽선 검출은 원본 이미지에서 이진화를 한 후 윤곽선을 검출하였다. 그림 5의 왼쪽은 이진화된 결과이고, 이진화된 이미지에서 웨이퍼 윤곽선 검출 결과는 그림 5의 오른쪽과 같다. 검출된 웨이퍼 윤곽선 데이터를 실세계 좌표로

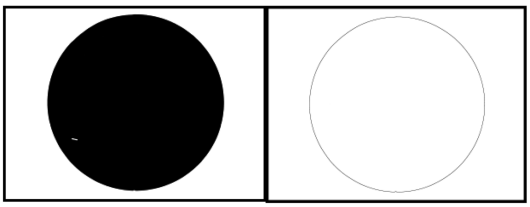

Fig. 5. Binary Image(left), Wafer Contour(right).

변환 후 식(7), (8)에 대입하여 웨이퍼의 중심을 구하였다.

그림 6은 웨이퍼 중심 정렬 전의 모습이고, 그림 7은 제안하는 방법으로 웨이퍼 중심 정렬후의 결과이다. 큰 십자가로 표시된 선은 척 중심과 이동 축을 나타내고, 작은 점으로 표시된 곳은 웨이퍼의 중심을 나타낸다.

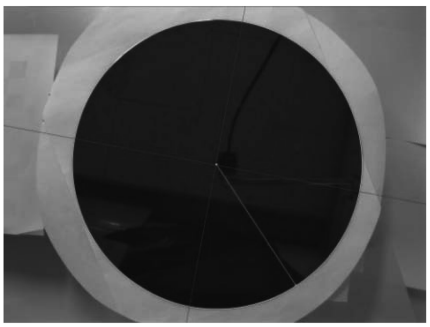

Fig. 6. Before wafer center alignment.

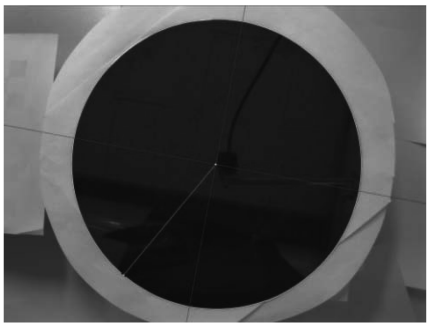

Fig. 7. Wafer center alignment result.

웨이퍼 중심 정렬을 30회 반복 테스트 한 결과 척과의 평균 거리는 0.019 mm, 표준 편차는 0.011 mm로 0.052 mm(3*표준편차+평균) 이내로 중심 정렬이 되는 것을 확인할 수 있다.

그림에서 웨이퍼 중심으로부터 웨이퍼 윤곽선 쪽으로 이어진 직선은 노치의 위치를 나타내며 웨이퍼 중심과 윤곽선의 가장 짧은 거리이다. 그림 8의 왼쪽은 거리를 통해 계산한 노치를 이동 축 위에 정렬을 한 결과이다. 그림 1과 같은 노치 모델로 템플릿 매칭을 이용하여 정확한 노치 위치를 찾은 후 다시 노치 정렬을 한 결과는 그림 8의 오른쪽과 같다. 노치 정렬을 30회 반복 테스트 한 결과 노치 기준 위치와 이동 축과의 사이 평균 각도는 0.004°, 표준 편차는 0.041°로 0.127°이내로 노치 정렬이 되는 것을 확인할 수 있다.

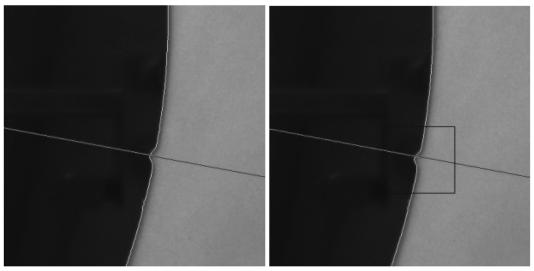

Fig. 8. Notch alignment using distance(left), Notch alignment using template matching(right).

5. 결 론

본 연국의 기존 연구 제안한 시스템에서는 웨이퍼 중심을 계산하기 위한 시간이 80% 정도를 차지 했지만 제안한 시스템에서는 웨이퍼의 회전 없이 바로 웨이퍼 중심을 구할 수 있어 전체 시스템의 속도가 크게 향상되었다. 넓은 FOV로 인하여 카메라의 커진 왜곡을 고차 Polynomial를 이용한 카메라 캘리브레이션으로 보정하였다. 템플릿 매칭으로 노치의 위치를 서브픽셀로 측정하여 노치 정렬의 정밀도를 향상 시켰다.

향후 연구에서는 통제된 조명 환경에서라도 이진화를 통한 웨이퍼 윤곽선 검출은 조명 변화에 민감하여 오차가 발생할 수 있어 조명에 강건한 방법에 대한 연구가 필요하다.

감사의 글

이 논문은 한국기술교육대학교 교육연구 진흥비지원 프로그램의 지원에 의하여 수행 되었음.

참고문헌

1. 나원석, “노치형 웨이퍼 정렬기 개발에 관한 연구,” 한국항행학회지 제13권 제 3호, pp. 412-418, 2009.
2. 박홍래, 유준, “웨이퍼 정렬법과 정밀도 평가,” 제어자동화시스템공학회지, 제8권, 제9호, pp. 812-817, 2002.
3. H.S. Lee, J.W. Jeon, J.W. Kim, S.J. Jung, and J.E. Byun, “A 12 inch wafer prealigner”, Micoprocessors and Microsystems, vol. 27, pp.151-158, 2003.
4. 이남희, 조태훈, “고차 다항식 변환 기반 카메라 캘리브레이션을 이용한 웨이퍼 Pre-Alignment 시스템”, 반도체디스플레이기술학회지, 제9권, 제1호, pp.11-16, 2010.
5. 조태훈, “고차 polynomial을 이용한 정밀한 카메라 캘리브레이션”, Proceedings of KFIS Spring Conference, Vol.17, No.1, pp.413-416, 2007.
6. C. Steger, M. Ulrich, C. Wiedemann, “Machine Vision, Algorithms and Applications”, WILEY-VCH, pp. 211-214, 2007.
7. Qu Dongsheng, Quio Suilong, Rong Weibin, Song Yixu, Zhao Yanna, “Desing and Experiment of The wafer pre-alignment System,” Proceedings of the 2007 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, pp. 1483-1488, 2007.

접수일: 2010년 8월 23일, 심사일: 2010년 9월 3일,
게재확정일: 2010년 9월 15일