

일반화 대칭 변환 기반의 웨이퍼 위치 인식

전미진[†], 이준재^{**}

요 약

본 논문에서는 카메라를 이용한 웨이퍼 위치 인식 알고리즘을 제안한다. 먼저 챔버 외부의 조명 반사와 카메라로 인한 영상의 원근 왜곡을 제거하기 위하여 투영 변환을 적용하여 실제 웨이퍼와 같이 정원의 형태로 복원한다. 다음, 에지 검출 알고리즘을 이용하여 웨이퍼의 외부 경계를 추출한 후, 일반화 대칭 변환을 적용하여 원을 검출함으로써 웨이퍼의 위치를 검사한다. 일반화 대칭 변환은 영상에서 화소쌍들 사이의 대칭값을 거리 가중치 함수, 위상 가중치 함수, 화소들의 기울기 크기와 로그 맵핑이 결합되어 영상에서 관심 영역을 추출한다. 제안하는 방법을 적용하여 웨이퍼가 올바른 위치에 장착되었는가를 검사하여 클리닝 시스템 장비와 웨이퍼의 파손을 미연에 방지한다.

Wafer Position Recognition Based on Generalized Symmetry Transform

Mi-Jin Jun[†], Joon-Jae Lee^{**}

ABSTRACT

This paper proposes the wafer position recognition algorithm using camera. First, for eliminating the image distortions caused by the illumination and the irregular camera position, the wafer image is restored as a circle through projective transformation. Next, we use edge detection algorithm to extract the wafer's edge and then apply Generalized Symmetry Transform(GST) to extract a circle. The GST evaluates symmetry between two points by combining a distance weight function, a phase weight function, and a logarithmic mapping of the points' intensities and detecting interest regions. Through several experiments, we found out the proposed method is able to prevent the cleaning system and the wafer from damaging.

Key words: Wafer Recognition(웨이퍼 인식), GST(일반화 대칭 변환), Circle Detection(원검출)

1. 서 론

최근 여러 산업 분야에서 제품을 검사하기 위한 방법으로 광학 검사 장비를 응용한 제품들이 많이 이용되거나 점차 확대되고 있다. 특히 반도체 생산 공정은 미세 공정 기술 개발과 생산 원가 절감을 위

하여 광학을 기반으로 하는 검사 장비에 대한 관심이 증가하고 있으며, 다른 산업에 비해 상대적으로 높은 수준의 검사가 이루어지고 있다.

반도체 생산 공정 과정에서 웨이퍼는 가공단계에서 화학 약품처리를 하게 됨으로 이를 세척하는 것이 필요하다. 웨이퍼를 세척하기 위하여 로봇이 웨이퍼

※ 교신저자(Corresponding Author) : 이준재, 주소 : 대구광역시 달서구 달구벌대로 1095 계명대학교 성서캠퍼스 건축학대학 7419호(704-701), 전화 : 053-580-6682, E-mail : joonlee@kmu.ac.kr
접수일 : 2013년 3월 18일, 완료일 : 2013년 3월 29일

[†] 계명대학교 게임모바일콘텐츠학과
(E-mail : mb0915@naver.com)

^{**} 계명대학교 게임모바일콘텐츠학과

※ 본 연구는 산학협동재단 학술연구비 연구(2011-0279) 및 한국연구재단의 기초연구사업(2010-0023438)의 지원으로 수행되었음.

를 클리닝 시스템 안의 플레이트 위로 이동시키게 되는데, 이때 플레이트 위에 정확히 놓여있지 않으면 플레이트가 회전할 때 웨이퍼가 깨지거나 클리닝 시스템의 고장을 초래하여 생산 라인을 중지시키는 원인이 된다. 일반적으로 이러한 문제를 해결하기 위하여 센서나 영상 인식을 활용한 여러 가지 기술들이 개발되어 설비에 사용되어 왔지만, 생산 현장에서 요구되는 수준을 만족시키지 못하고 있는 실정이다. 그러므로 웨이퍼와 클리닝 시스템 장비의 파손을 미연에 방지하기 위하여 기존의 장비들의 생산 효율성과 정밀도를 더 높일 수 있는 효과적인 방법을 개발하는 것이 필요하다[1-5].

따라서 본 논문에서는 반도체 생산 공정 과정에서 발생하는 장비의 파손을 방지하기 위하여 일반화 대칭 변환(GST) 기반의 웨이퍼 위치 인식 검사 알고리즘을 제안한다. 제안하는 방법은 일반화 대칭 변환을 적용하여 웨이퍼의 윤곽선을 검출함으로써 웨이퍼의 위치를 검사하는 방법이다. 또한, 웨이퍼를 클리닝 시스템으로 이동시키는 로봇의 이동경로 때문에 카메라를 설치하는데 공간적인 제약이 발생하여 한쪽 벽의 코너에 카메라를 설치할 수밖에 없다. 그로 인하여 카메라로부터 획득한 영상에 왜곡이 발생하여 실제 웨이퍼가 정원인 것과는 달리 타원의 형태로 나타내기 때문에 정확한 웨이퍼의 위치를 검사하는 것이 쉽지 않다.

이러한 문제점을 해결하기 위한 방안으로 타원형의 웨이퍼 영상에 투영 변환을 적용하여 실제 웨이퍼

와 같이 정원으로 복원한 후 일반화 대칭 변환을 통해 웨이퍼의 위치를 검사한다.

2. 웨이퍼 위치 인식 시스템

2.1 시스템 구성

웨이퍼의 클리닝 시스템은 그림 1과 같이 구성되어 있다. 클리닝 시스템의 내부는 웨이퍼를 클리닝 할 수 있는 여러 개의 챔버(chamber)로 구성되어 있으며, 각 챔버는 검사용 카메라를 설치하여 웨이퍼의 위치를 계산한다. 이 카메라들은 허브로 연결하여 하나의 컴퓨터에서 각 카메라들을 제어할 수 있다.

클리닝 시스템 내부에 구성되어 있는 플레이트 위에 웨이퍼가 장착되면 이를 자동적으로 감지하여 특정한 신호를 발생시키게 된다. 이와 같이 로봇이 웨이퍼를 이동시켜 클리닝 시스템 속의 플레이트 위에 놓이게 되면 신호를 발생시키고, 설치된 각각의 카메라들은 실시간으로 웨이퍼 영상을 촬영한다. 촬영된 영상의 정보들은 허브를 통하여 프로그램을 제어하고 있는 컴퓨터로 전송된다. 전송된 이미지를 이용하여 컴퓨터에서 현재 웨이퍼의 위치를 실시간으로 계산하여 정확한 위치에 놓여있는가를 검사한다. 이때 정확한 위치에 웨이퍼가 놓여있지 않을 경우 클리닝 시스템의 작동을 일시적으로 멈추고 웨이퍼가 정확한 위치에 놓일 때까지 클리닝 시스템은 대기한다[5].

클리닝 시스템의 내부는 그림 2와 같이 구성되어

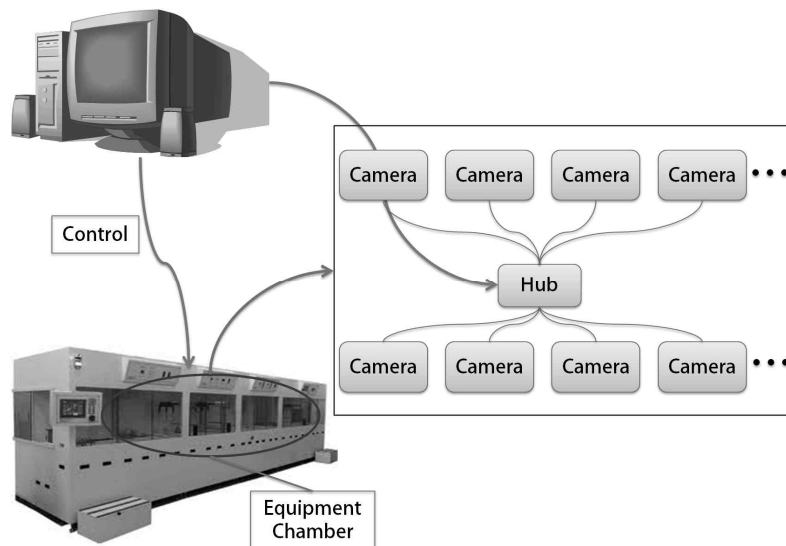


그림 1. 클리닝 시스템 구성

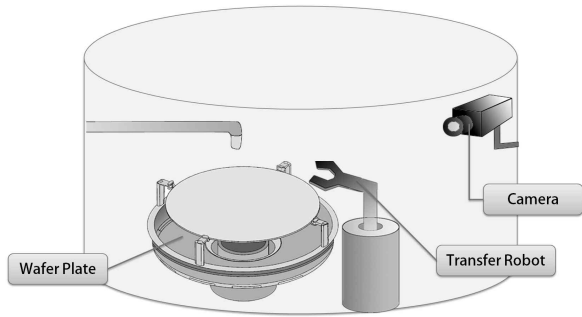


그림 2. 클리닝 시스템 내부 구성

있다. 실제 웨이퍼가 정원임으로 웨이퍼의 위치를 검사하기 위해 카메라를 웨이퍼의 정중앙 위에 설치하면 정원의 형태를 가지는 웨이퍼 영상을 획득할 수 있으므로 이를 이용하면 쉽게 처리할 수 있다. 그러나 웨이퍼를 클리닝 시스템으로 이동시키는 로봇의 이동경로로 인하여 카메라를 설치하는데 위치적 제약이 발생하여 그림 2와 같이 카메라를 한 쪽 벽의 외곽에 설치할 수밖에 없다.

2.2 기존의 방법

이전의 연구에서 웨이퍼의 장착 위치를 검사하는 방법은 클리닝 시스템 내부의 카메라로부터 획득한 영상을 입력받은 후 에지를 검출한다. 이때 웨이퍼 영상의 배경과 웨이퍼의 중심 부분은 에지를 검출할 필요가 없으므로 이 부분들을 제거하고 웨이퍼를 받쳐주는 구조물을 마스킹 처리한 후, Canny 에지 검출 알고리즘을 적용하여 웨이퍼의 에지를 검출한다. 에지를 검출한 영상에 투영 변환을 적용하여 실제 웨이퍼와 같이 정원으로 복원한 후, 최소 평균 자승 오차 방법(least mean square error)[6]을 적용하여 원을 추출함으로써 중심점을 추출한다.

2.2.1 투영 변환

투영 변환(projective transformation)은 두 개의 평면을 매핑하는 변환으로 세 점이 일직선상에 놓이면 변환 후의 세 점도 직선상에 놓이는 변환을 말한다. 즉, 그림 3과 같이 카메라 투영에 의해 3차원 공간의 임의의 평면 P 위에 존재하는 점들이 영상평면 P'에 매핑되어 나타난다.

투영변환은 8개의 자유도를 가지는 선형 변환으로 아래의 식과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 미지수 $m = \{m_0, m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, m_6, m_7\}$ 로 정의된다.

$$\begin{aligned} x_i &= \frac{m_0x_u + m_1y_u + m_2}{m_6x_u + m_7y_u + 1} \\ y_i &= \frac{m_3x_u + m_4y_u + m_5}{m_6x_u + m_7y_u + 1} \end{aligned} \quad (1)$$

아래의 그림 7은 영상의 원근 왜곡을 제거하기 위하여 투영 변환을 적용한 결과를 보여주고 있다. 그림 7에서 나타난 것과 같이 8개의 자유도를 구하기 위하여 왼쪽 영상에서 좌표 4개를 구하고 변환하고자 하는 왜곡이 없는 좌표를 결정하면 오른쪽과 같이 왜곡이 제거된 영상을 얻을 수 있다.

이때 더 많은 점들을 이용하면 왼쪽 영상에서 보다 안정적인 변환식을 구할 수 있으며 이를 선형 대수학의 이론을 적용하여 구할 수 있다.

주어진 특징 점들의 대응 $\{(x_u^i, y_u^i), (x_i^i, y_i^i)\}$, $i=1, \dots, n$ 에 대하여, $2n \times 9$ 크기의 A 행렬을 다음과 같이 구성하면 식(2)와 같다.

$$\begin{bmatrix} x_i^1 & y_i^1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_u^1x_i^1 & -x_u^1y_i^1 & -x_u^1 \\ 0 & 0 & 0 & x_i^1 & y_i^1 & 1 & -y_u^1x_i^1 & -y_u^1y_i^1 & -y_u^1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_i^n & y_i^n & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_u^n x_i^n & -x_u^n y_i^n & -x_u^n \\ 0 & 0 & 0 & x_i^n & y_i^n & 1 & -y_u^n x_i^n & -y_u^n y_i^n & -y_u^n \end{bmatrix} \quad (2)$$

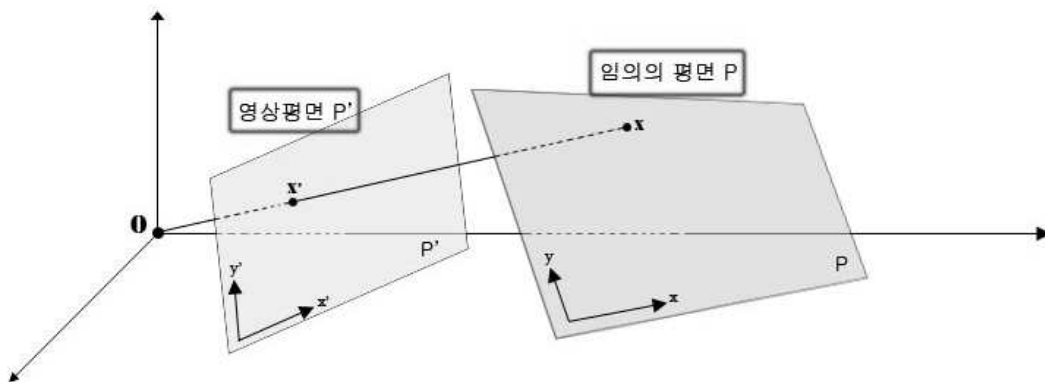
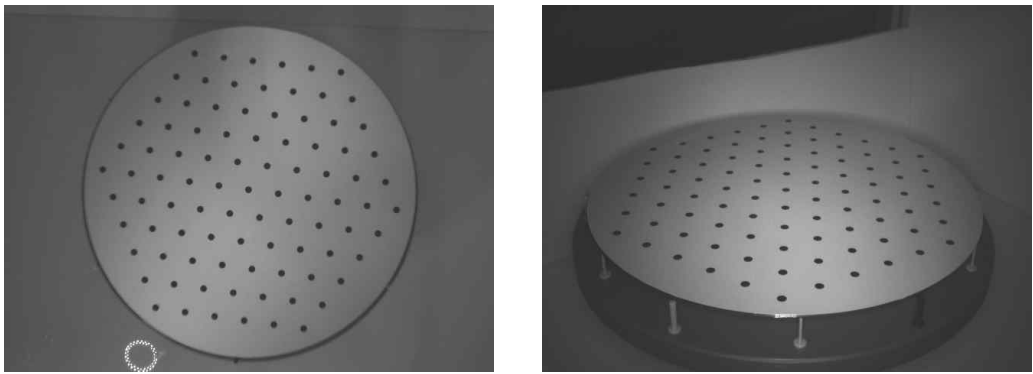


그림 3. 두 평면의 매핑



그림 4. 투영 변환에 의한 원근 왜곡의 제거



(a) 정면에서 촬영한 영상

(b) 측면에서 촬영한 영상

그림 5. 방사형 캘리브레이터 영상

구하고자하는 해는 $|Am|$ 을 최소로 하는 \hat{m} 을 구하면 된다. 이는 9×9 크기의 $A^t A$ 행렬의 최소 고유치 (eigenvalue)의 고유벡터가 해이다[5-7].

$$\hat{m} = \operatorname{argmin}|Am|(3)$$

2.2.2 캘리브레이션

클리닝 시스템에서의 카메라의 위치적인 제약으로 인하여 획득한 웨이퍼 영상은 타원의 형태로 나타난다. 이 영상을 정원으로 복원하기 위한 방법으로 투영 변환을 이용한 방사형 캘리브레이션 방법[7]이 있다. 방사형 보드는 방향성을 가지는 코너가 존재하지 않기 때문에 인위적으로 위치를 설정해줄 필요가 없으며, 격자점을 더 많이 사용하여 정확도를 높일 수 있다.

그림 5은 실제 방사형 보드 영상이다. 그림 5(a)는 정면에서 방사형 보드를 촬영한 영상이다. 이 영상에서 보듯이 방사형 보드가 실제 정원의 형태를 가지고 있다는 것을 알 수 있다. 반면, 그림 5(b)는 한 쪽 벽에 카메라를 설치하여 방사형 보드를 촬영한 영상이며, 타원의 형태로 촬영된 것을 볼 수 있다.

위의 그림 5의 방사형 캘리브레이터를 이용하여 영상의 좌표계를 찾아내고 이를 실제계 좌표계와 투영 변환식으로 대응시키면 캘리브레이션 파라미터가 생성된다[7].

2.2.3 위치 인식 알고리즘

그림 6은 투영 변환을 적용한 LMS Circle Fitting 알고리즘에 대한 수행 절차를 보여준다.

그림 7은 카메라부터 획득한 웨이퍼 영상을 보여준다.

그림 7에서 보듯이 타원의 형태를 가지는 웨이퍼 영상을 획득하게 된다. 이러한 웨이퍼 영상에서 원을 추출하기 위하여 전처리 과정으로 웨이퍼의 에지를 검출한 후 원의 중심점을 추정한다. 이 때 영상의 배경 부분과 웨이퍼의 중심 부분은 에지를 검출할 때 이동범위를 벗어남으로 이를 제외한 영역에 대해서 Canny 에지 검출 알고리즘을 적용하여 에지를 검출한다. 그림 8은 그림 7의 웨이퍼 영상에서 불필요한 영역을 제거하고 웨이퍼의 에지 근처의 관심 영역만을 추출한 영상이다.

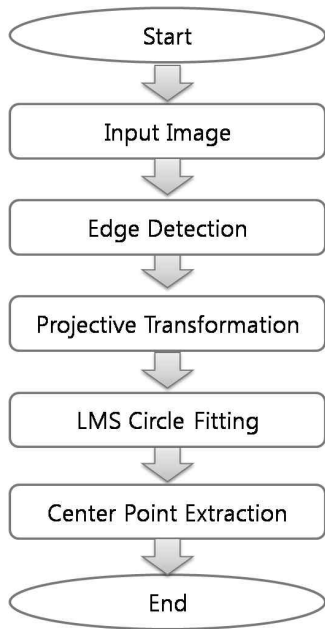


그림 6. 알고리즘 흐름도



그림 7. 웨이퍼 영상

그림 8의 관심영역만 추출한 영상에서 Canny 에지 검출 알고리즘을 적용하여 웨이퍼의 에지를 검출하면 그림 9와 같은 결과를 얻게 된다. 여기서 웨이퍼의 에지뿐만 아니라 웨이퍼를 지지하고 있는 구조물



그림 8. 관심영역만 추출한 영상

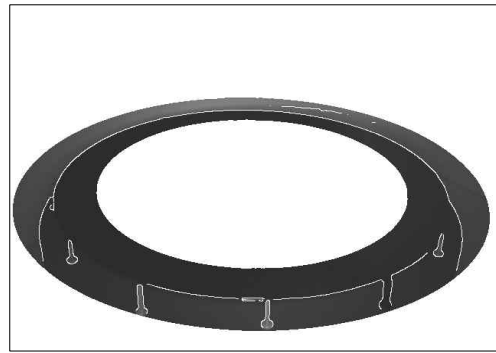


그림 9. 웨이퍼의 에지 추출

의 에지까지도 검출되는 것을 볼 수 있다.

구조물의 위치는 변하지 않으므로 마스킹 처리를 하여 제외시킴으로서 그림 10과 같은 순수한 웨이퍼 경계의 에지를 추출한다.



그림 10. 마스킹 처리 후 웨이퍼의 에지 검출

그림 10에 투영 변환을 적용하여 실제 웨이퍼와 같은 크기의 정원의 형태로 생성한다. 변환된 에지 영상에 최소 평균 자승 오차 방법으로 원을 구한 후, 중심점을 추출한다. 그림 11은 중심점을 추출한 결과를 보여준다[7].

이와 같이 최소 평균 자승 오차 방법의 경우, 에지 검출을 수행하여 얻은 정보를 고려하여 원을 추출하게 되는데, 이 때 원을 추출하는데 필요하지 않은 에지들의 정보들까지 고려하여 원을 유추하게 되기 때문에 오차가 발생하게 된다. 또한, 투영 변환을 적용하기 전에 웨이퍼 영상에서 에지를 검출하게 되는데, 웨이퍼에 패턴이 존재하는 경우 또는 주변의 조명에 의해 영상의 품질이 좋지 않은 경우 에지가 잘 검출되지 않는다. 이로 인하여 잘못 검출된 에지의 모든 점이 최소 평균 자승 오차 방법에 의해 기여하게 됨으로 실제적인 웨이퍼의 경계를 따른 원이 복원

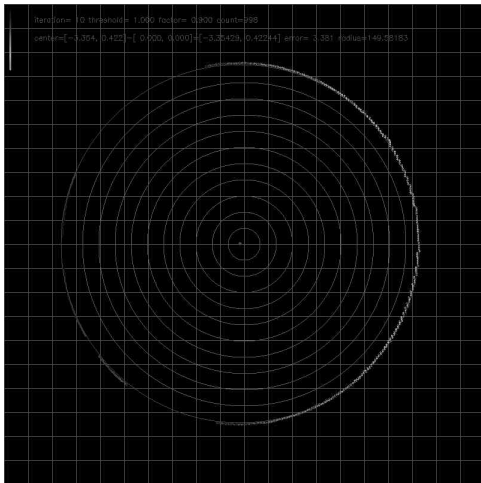


그림 11. 투영 변환 후 LMS Circle Fitting에 의한 중심점 추출

되지 않는다.

따라서 본 논문에서는 이러한 단점을 해결하기 위하여 투영 변환을 적용하여 정원으로 복원한 후, 에지를 검출한다. 제안하는 방법에는 일반화 대칭 변환(GST : Generalized Symmetry Transform) 알고리즘을 적용하여 웨이퍼의 위치를 검사한다.

3. 제안하는 방법

기존의 방법에서는 전처리 과정에서 투영 변환을 적용하기 전에 웨이퍼의 표면이 좋지 않은 영상의 경우는 웨이퍼의 경계선 에지가 잘 검출되지 않는다는 단점이 있다. 이로 인해 필요하지 않은 에지들의 정보들까지 포함하여 원을 유추하게 되기 때문에 오차가 발생한다. 이러한 단점을 해결하기 위한 방안으로 본 논문에서는 투영 변환을 적용하여 정원으로 복원한 후, 에지를 검출한다. 여기서 투영 변환 후 에지의 방향성을 고려하여 추출하기 때문에 웨이퍼의 영상이 복잡하여도 에지가 잘 검출된다. 그러나 투영 변환에 의해 웨이퍼 영상을 정원으로 복원함에 따라 영상의 해상도는 커지지만 영상의 품질이 낮아지고 영상에 블러(blur)가 발생하여 웨이퍼의 뒷부분에 에지가 잘 검출되지 않을 수 있다. 그러므로 최소평균 자승 오차 방법 대신 일반화 대칭 변환을 적용하여 원을 검출함으로써 좀 더 높은 정확도를 기할 수 있다. 이 때 투영 변환으로 인해 발생하는 영상의 블러로 인하여 웨이퍼의 뒷부분에 에지가 잘 검출되지 않아도 가장 기여도가 큰 에지에 해당하는 원을

검출함으로써 오차를 줄인다.

3.1 일반화 대칭 변환(GST)

일반적으로 수학적 개념에서 물체에 대칭 연산이라고 부르는 변환을 적용하였을 때 불변하면 이러한 물체는 대칭적인 특징을 가지고 있다고 할 수 있다. 대표적인 대칭 연산은 반사(reflection) 대칭으로 잘 알려져 있다. 대칭 연산을 적용하기 위해 물체가 대칭인가를 측정하기 전에 물체의 형태를 알아야 한다. 그러나 영상에서 특징점을 찾는 것은 물체를 검출하는데 복잡한 처리 과정이 수행되어야 한다. 그 이유는 물체의 형태를 알고 있어도 실제로 대칭인 물체들은 흔하지 않으며, 대칭인 물체일지라도 대칭 변환을 적용해 보면 완전한 대칭이 아닐 수 있기 때문이다. 그리고 이러한 대칭 변환은 복잡한 수학적 개념을 기초로 하기 때문에 실패할 수도 있다. 하지만 일반화 대칭 변환은 물체의 모양에 대한 사전 지식이 필요하지 않고 영상의 에지 영역에서 국부 연산을 수행한다. 또한 영상에서 각 점에 대해 연속하는 대칭 수행 방법을 제공한다[8].

따라서 Reisfeld[9] 등이 제안한 일반화 대칭 변환은 물체의 대칭성을 이용하여 영상에서 관심 영역을 검출하는 방법으로 물체나 사람의 얼굴, 얼굴 내의 눈 등을 검출하는 방법에 이용되고 있다.

일반화 대칭 변환은 주어진 영상의 각 화소의 밝기 변화의 크기와 방향의 정보를 이용하여 화소들의 대칭 기여도를 계산한 후, 이를 누적하여 최대값을 찾는다. 이 최대값을 가지는 화소가 영상 내의 대칭성이 강한 부분임으로 이를 추출함으로써 관심 영역을 검출하게 된다. 따라서 일반화 대칭 변환은 화소 쌍들 사이의 대칭값을 거리 가중치 함수(distance weight function), 위상 가중치 함수(phase weight function), 화소들의 기울기 크기(gradient magnitude)를 결합하여 주어진 영상에서 관심 영역을 추출하게 된다[9-11].

N개의 화소를 가지는 영상에서 임의의 화소쌍 l 과 m 의 가우시안 거리 가중치 함수(gaussian distance-weighting function) $D_{\sigma}(l, m)$ 은 다음과 같다.

$$D_{\sigma}(l, m) = -\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\|l-m\|/2\sigma} \quad \forall l, m \in 1, N, l \neq m \tag{4}$$

여기서 표준 편차 σ 는 함수의 범위를 조절한다.

즉, 표준 편차 σ 가 작은 값은 국부 연산과 국부 대칭을 나타낸다. 반면, 표준 편차 σ 가 큰 값은 가까이 있는 화소에 거리가 떨어져 있는 화소와 유사한 가중치를 적용한다. 작은 스케일 대칭은 눈의 홍채의 원과 같이 영역 내에 중심축을 가지는 화소들과 관련이 있을 수 있다. 큰 스케일 대칭은 예를 들어 얼굴의 양쪽 눈과 같이 두 눈이 유사하지만 두 눈 사이에 중심축을 가지는 분리된 영역이다.

위상 가중치 함수(phase weight function) $P(l, m)$ 은 다음과 같이 나타낸다.

$$P(l, m) = (1 - \cos(\theta(l) + \theta(m) - 2\alpha(l, m))) \times (1 - \cos(\theta(l) - \theta(m))) \quad (5) \quad \forall l, m \in \{1, N\}, l \neq m$$

위상 가중치 함수 $P(l, m)$ 는 식(5)에서 보듯이 두 개의 항으로 구성된다.

$(\theta(l) - \alpha(l, m)) + (\theta(m) - \alpha(l, m)) = \pi$ 일 때, $1 - \cos(\theta(l) + \theta(m) - 2\alpha(l, m))$ 은 최대 대칭값을 가지게 된다. 즉, 화소쌍 l 과 m 에서의 기울기가 서로 같은 방향으로 향하도록 한다. 이것은 대칭의 직관적인 개념과 일치한다.

그림 12은 같은 대칭값을 가지는 두 가지 반대되는 경우를 보여준다. 첫 번째 경우는 밝은 배경에서 어두운 물체 내의 대칭과 일치한다. 두 번째 경우는 어두운 배경에서 밝은 물체 내의 대칭과 일치한다.

$P(l, m)$ 의 두 번째 항인 $1 - \cos(\theta(l) - \theta(m))$ 은 $(\theta(l) - \alpha(l, m)) = (\theta(m) - \alpha(l, m)) = \pi/2$ 일 때, 직선 에지에서 발생할 수 있으며 서로 반대 방향으로 향하여 대칭성이 없게 된다. 이때 두 번째 항 $1 - \cos(\theta(l) - \theta(m))$ 의 값은 0이 되기 때문에 $P(l, m) = 0$ 이 된다[11-13].

위상 가중치 함수 $P(l, m)$ 에서 $\alpha(l, m)$ 는 화소쌍 l 과 m 을 지나는 직선과 수평선 사이의 각도이며 다음

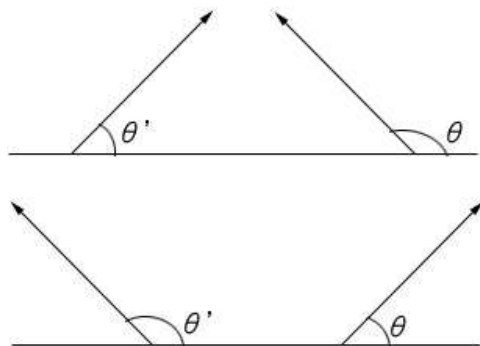


그림 12. 같은 대칭을 가지는 두 가지 경우

과 같이 정의된다.

$$\alpha(l, m) = \tan^{-1} \left(\frac{y(m) - y(l)}{x(m) - x(l)} \right) \quad (6)$$

여기서 $x(\cdot)$ 와 $y(\cdot)$ 는 각각 화소의 x 와 y 좌표를 나타낸다. 대칭 관계에서의 두 화소의 에지 방향이 대칭이고 거리가 가까울수록 대칭 기여도가 최대로 나타나고 반면 두 화소의 에지 방향이 같을 때 대칭 기여도가 최소이다. 두 화소 사이의 대칭 관계를 위에서 언급한 위상 가중 함수와 거리 가중치 함수를 이용하여 다음과 같이 대칭 기여도(symmetry contribution) $C(l, m)$ 를 정의한다.

$$C(l, m) = D_\sigma(l, m) \times P(l, m) \quad (7)$$

최종적인 대칭도(symmetry magnitude)는 화소쌍의 중심 위치를 나타내는 집합에서 대칭 기여도의 합으로 정의된다. 화소쌍의 중심 위치 p 는 다음과 같다.

$$\Gamma(p) = \left[l, m \mid \begin{matrix} x(p) = (x(l) + x(m))/2 \\ y(p) = (y(l) + y(m))/2 \end{matrix} \right] \quad (8)$$

중심 위치 p 인 모든 화소쌍 l 과 m 에 대해 누적하여 대칭 정도를 나타내는 대칭도 $M_\sigma(p)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$M_\sigma(p) = \sum_{l, m \in \Gamma(p)} C(l, m) \quad (9)$$

대칭도 M_σ 의 값은 대칭맵(symmetry map)을 나타내며, 정규화 된다[12-13].

3.2 일반화 대칭 변환 기반의 웨이퍼 위치 인식 알고리즘

본 논문에서 일반화 대칭 변환을 적용하여 원의 중심점과 반지름을 찾은 후, 원을 추출함으로서 웨이퍼의 위치를 검사한다. 이 알고리즘 대한 수행 절차는 그림 13과 같이 구성된다.

카메라로부터 얻은 웨이퍼 영상을 입력한 후, 투영 변환을 적용하여 타원형의 웨이퍼 영상을 정원의 형태로 복원한다. 그 이유는 앞에서 언급한 바와 같이 웨이퍼를 클리닝 시스템 내부로 옮겨주는 로봇으로 인하여 카메라를 설치하는데 공간적인 제약이 발생하고 이로 인하여 카메라의 왜곡이 발생하여 타원의 형태를 가지는 웨이퍼 영상을 획득하게 된다. 이러한 영상의 원근 왜곡을 보정하기 위하여 투영 변환을 적용하여 실제 웨이퍼와 같이 정원으로 복원한다.

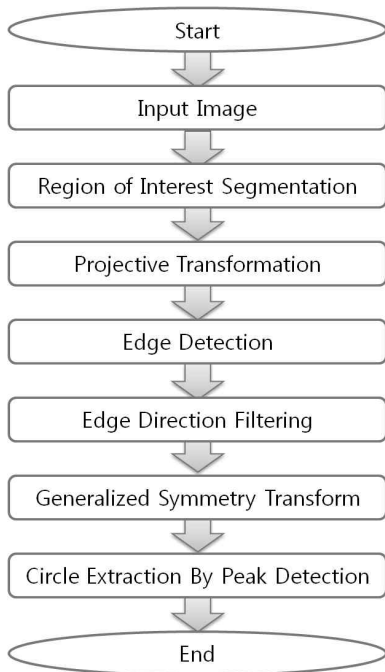


그림 13. 알고리즘 흐름도

이 때 웨이퍼의 경계선 에지를 검출하는데 영상의 배경과 중심 부분은 불필요한 영역임으로 이 영역들을 제거해도 무방하다. 그러므로 이러한 영역들을 제거하고 관심 영역만을 분할한 후, Sobel 에지 검출 알고리즘을 적용하여 에지를 검출한다. 이러한 에지들의 정보를 이용하여 일반화 대칭 변환을 적용함으로써 원을 추출한다.

먼저, 카메라로부터 획득한 웨이퍼 영상을 입력한다. 그림 14는 카메라로부터 획득한 웨이퍼의 영상을 보여준다. 그림에서 나타난 것과 같이 외부 조명과 웨이퍼의 표면 특성으로 인하여 웨이퍼의 경계선을 획득하는 것이 어렵다. 그러나 원으로 가정한다면 임의의 위치에서 에지의 방향을 알 수 있기 때문에 경계선을 추출하는 것이 쉬워질 수 있다. 그림 14의 웨이퍼 영상에 투영 변환을 적용하여 실제 웨이퍼와 같이 정원으로 복원한다. 이때, 웨이퍼의 중심부분과 배경부분은 웨이퍼의 경계선을 검출하는데 있어서 불필요한 영역임으로 이 영역들을 제거하고 관심 영역만 투영 변환을 적용하여 정원으로 변환한다. 정원으로 복원한 영상에서 에지를 검출한 후, 허프 변환을 적용하여 원을 추출함으로써 웨이퍼의 위치를 검사한다. 아래의 그림은 제안하는 알고리즘을 적용한 결과를 보여준다.

그림 15는 웨이퍼의 원영상인 그림 14에서 웨이퍼

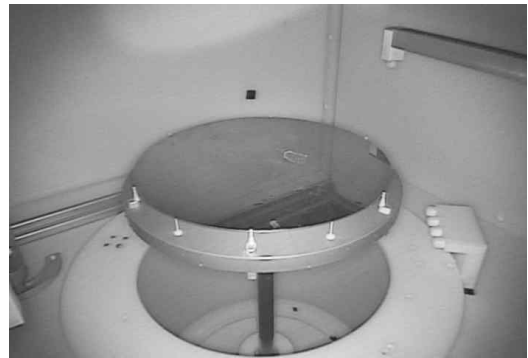


그림 14. 웨이퍼 영상

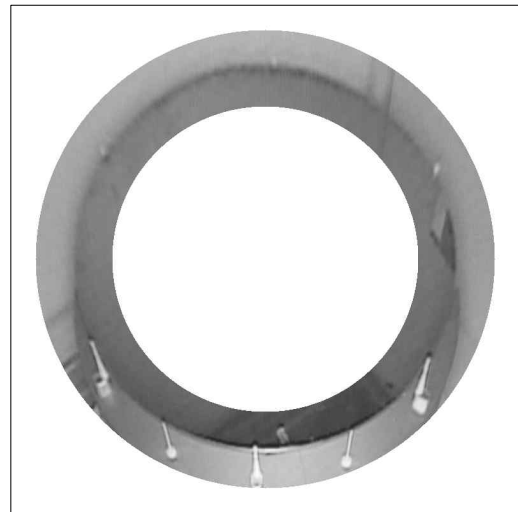


그림 15. 관심 영역에 대한 투영 변환을 적용한 결과

의 에지를 검출하는데 필요한 관심 영역만 분할하고 투영 변환을 적용하여 실제 웨이퍼와 같이 정원으로 복원한 결과를 보여준다. 정원으로 복원한 후, 에지를 검출하기 위해 Sobel 에지 검출 알고리즘을 적용한다.

그림 16은 정원으로 복원한 그림 15에 Sobel 에지 검출 알고리즘을 적용하여 에지를 검출한 결과를 보여준다. 이 그림을 살펴보면 웨이퍼의 에지뿐만 아니라 웨이퍼를 지지하고 있는 구조물의 에지까지도 검출된 것을 볼 수 있다. 이러한 불필요한 에지들을 제거하기 위해 에지의 방향성을 고려하여 각도를 계산함으로써 웨이퍼의 경계인 원을 검출하는데 불필요한 에지들을 제거한다. 그림 17은 웨이퍼의 에지를 검출한 그림 16에 에지의 방향성을 고려하여 불필요한 에지들을 제거한 결과를 보여준다. 이와 같이 에지들의 정보에 일반화 대칭 변환을 적용하여 웨이퍼의 경계인 원을 추출한다.

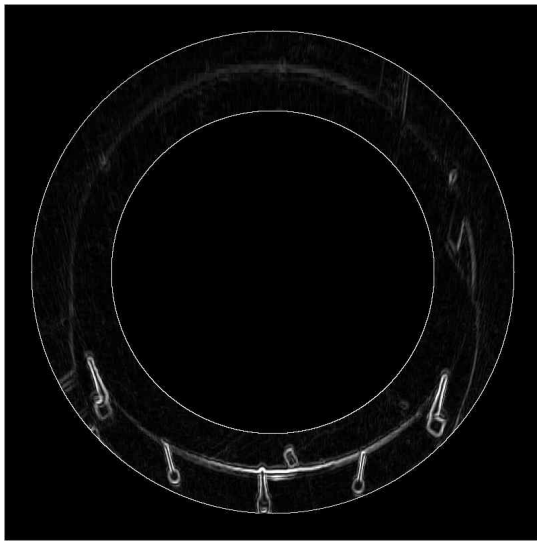


그림 16. Sobel을 적용한 결과

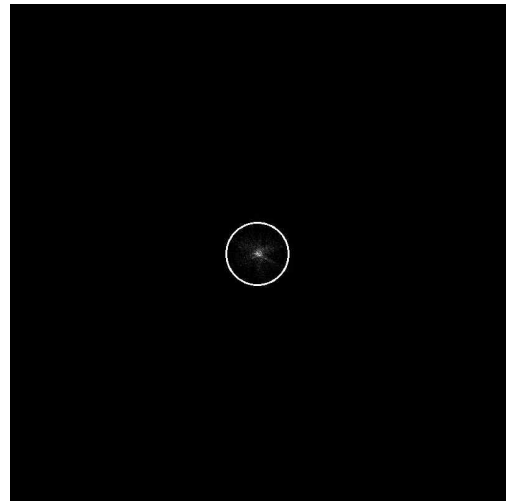


그림 18. 대칭 기여도

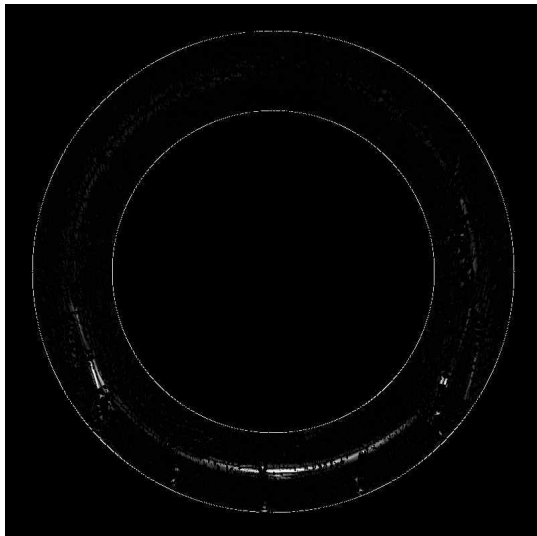


그림 17. 방향성을 고려하여 불필요한 에지를 제거한 결과

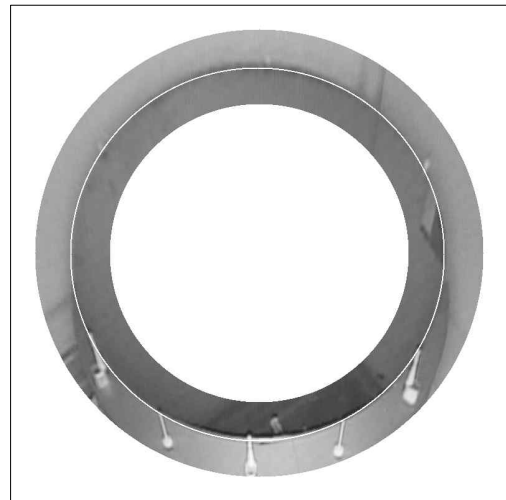


그림 19. 원추출 결과

그림 18은 웨이퍼의 에지를 검출한 영상에서 방향성을 고려하여 불필요한 에지를 제거한 영상인 그림 17에 일반화 대칭 변환을 적용하여 원의 중심점과 반지름의 파라미터를 누적한 대칭 기여도를 보여준다. 이러한 대칭 기여도에서 최대값을 찾아 원의 중심점과 반지름의 크기를 추정하여 원을 추출한 결과를 그림 19에서 보여준다. 이 그림에서 보듯이 웨이퍼의 윤곽선과 거의 유사하게 검출된 것을 볼 수 있다.

이와 같이 일반화 대칭 변환의 수행절차를 살펴보면 전처리 과정에서 웨이퍼 영상에 투영 변환을 적용하여 정원으로 복원한 후, 에지를 검출한 영상에 일반화 대칭 변환을 적용하여 원을 검출하였다. 이 경

우에도 투영 변환으로 인해 영상에 블러가 발생하여 웨이퍼의 뒷부분 에지가 잘 검출되지 않는 단점이 있지만 일반화 대칭 변환은 화소들의 대칭성을 고려하여 원의 중심과 반지름의 파라미터를 누적하여 최대값을 찾아 최적의 원을 추정하여 추출하기 때문에 오차를 줄일 수 있다. 또한 투영 변환에 의해 복원될 때, 정확한 정원으로 복원되지 않아도 웨이퍼의 경계선과 유사하게 원을 추출할 수 있다.

4. 실험 결과

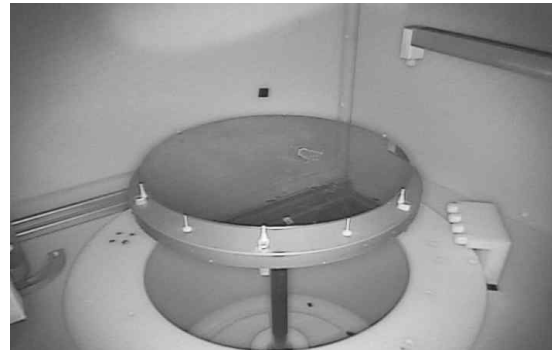
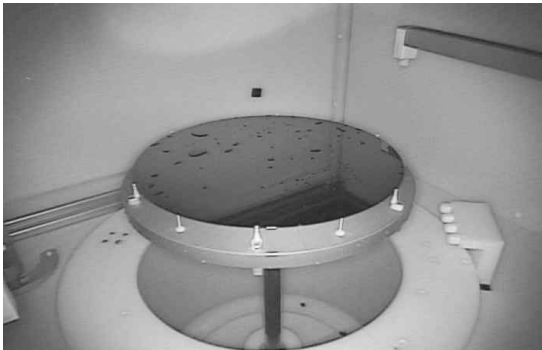
본 논문에서는 반도체 생산 공정 과정에서 로봇이 웨이퍼를 클리닝 시스템으로 이동시킬 때, 웨이퍼 플레이트 위의 올바른 위치에 놓여있는가를 검사하기

위한 방법을 제안하였다. 또한, 앞에서 언급한 바와 같이 클리닝 시스템으로 웨이퍼를 이동시켜주는 로봇의 이동경로 인하여 발생하는 위치적 제약 때문에 카메라로부터 얻은 웨이퍼 영상에 왜곡이 발생한다. 그러므로 영상의 원근 왜곡을 보정하기 위해 웨이퍼 영상에 투영 변환을 적용하여 정원으로 복원하였다. 기존의 방법에서는 왜곡 영상에서 에지를 추출하는데 비해 본 논문에서는 투영 변환을 적용하여 정원으로 복원한 후, 에지를 검출하였다. 그 이유는 웨이퍼의 패턴이 있거나 챔버 외부의 조명 반사가 많은 영상의 경우, 투영 변환을 적용하기 전에 에지를 검출하게 되면 웨이퍼의 경계선 에지를 잘 찾지 못한다. 반면 투영 변환을 적용한 후, 에지를 검출하면 이러한 웨이퍼 영상에서도 경계선 에지를 검출할 수 있다. 이는 원이라고 가정하여 에지의 방향을 미리 알 수 있기 때문에 주변의 잡음 에지를 잘 제거할 수 있다. 그러나 투영 변환에 의해 영상의 해상도가 커지지만 영상에 블러가 발생하여 웨이퍼의 뒷부분에

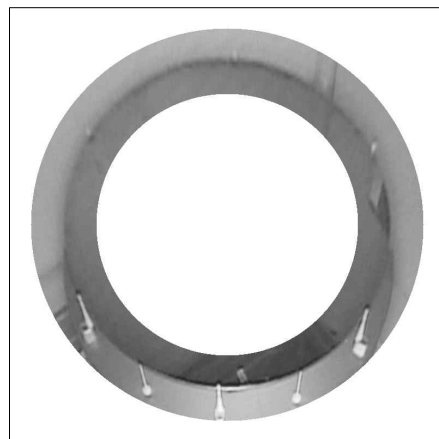
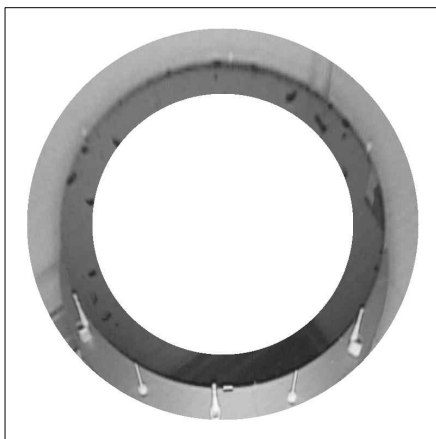
에지가 잘 검출되지 않을 수 있다. 이러한 단점을 해결하기 위한 방안으로 본 논문에서는 일반화 대칭 변환을 적용하여 원을 검출하는 방법을 제안하였다. 그러므로 실험 결과에서 제안하는 방법의 성능을 평가하기 위하여 허프 변환을 적용하여 원을 검출한 결과와 비교하였다.

그림 20은 웨이퍼를 클리닝 시스템으로 이동시켜주는 로봇의 이동경로로 인하여 야기되는 카메라의 위치적 제약으로 인해 발생하는 영상의 원근 왜곡을 제거하기 위하여 그림 20(a)에 투영 변환을 적용하여 정원으로 복원한 결과가 그림 20(b)에 나타나있다.

그림 21은 웨이퍼의 에지를 검출한 결과를 보여주는 영상이다. 그림 21(a)는 투영 변환에 의해 정원으로 복원한 그림 21(b)에 Sobel 에지 검출 알고리즘을 적용하여 에지를 검출한 결과를 보여준다. 앞에서 언급한 바와 같이 투영 변환을 적용하여 정원으로 복원하면서 영상의 해상도는 커지지만 영상에 블러가 발생한 것을 볼 수 있다. 이러한 영상의 블러로 인하여

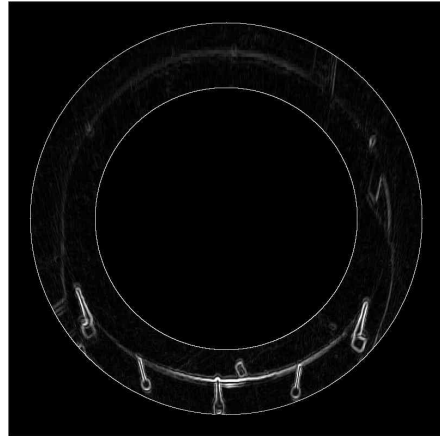
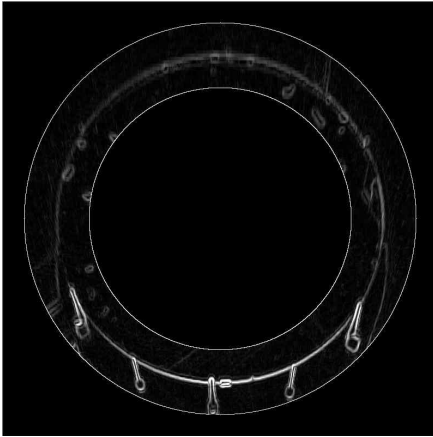


(a) 웨이퍼 원영상

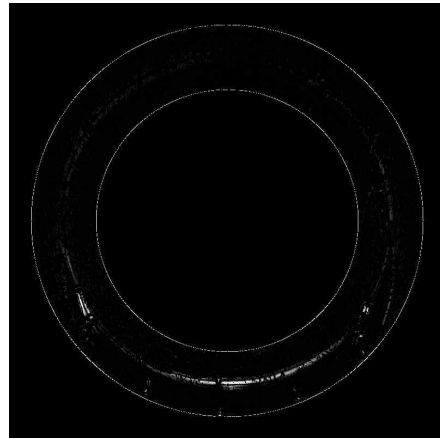
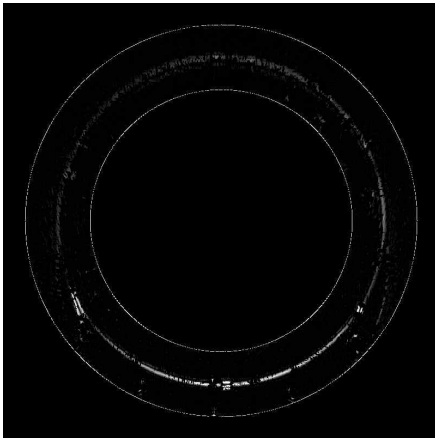


(b) 관심 영역에 대한 투영 변환 후 결과 영상

그림 20. 웨이퍼 영상에 투영 변환을 적용한 결과



(a) 웨이퍼의 에지를 검출한 결과



(b) 방향성을 고려하여 불필요한 에지를 제거한 결과

그림 21. 웨이퍼의 에지 영상에서 불필요한 에지를 제거한 결과

에지를 검출한 영상을 살펴보면 웨이퍼의 경계선 에지가 주변의 에지들 뿐만 아니라 두껍게 검출된 것을 볼 수 있다. 이와 같이 원을 검출하는데 불필요한 에지들을 제거하기 위하여 에지의 방향성을 고려하여 수행한다. 그림 21(b)는 웨이퍼의 에지를 검출한 그림 21(a)의 에지의 방향성을 고려하여 불필요한 에지를 제거한 결과를 보여준다.

이와 같은 에지 정보들에 허프 변환과 일반화 대칭 변환을 각각 적용하여 원의 중심과 반지름의 파라미터를 추정하여 원을 검출한 결과를 그림 22에서 보여준다. 그림 22의 결과를 살펴보면 허프 변환의 경우, 투영 변환을 적용할 때 캘리브레이션 파라미터의 오차로 인하여 정확한 정원으로 복원되지 않아서 원을 검출하는데 오차가 발생한 것을 그림 22(a)에서 볼 수 있다. 반면, 일반화 대칭 변환의 경우, 화소들의 대칭성을 이용하여 원의 중심점과 반지름의 파라미

터를 추정하기 때문에 투영 변환에 의해 정원으로 복원될 때 정확한 정원으로 복원되지 않아도 최적의 원을 추정하여 원을 검출한다. 그림 22(b)에서 일반화 대칭 변환에 의해 원을 검출한 결과를 보여준다. 웨이퍼의 경계선과 거의 유사하게 원이 검출된 것을 볼 수 있다. 따라서 허프 변환 방법보다 일반화 대칭 변환 방법의 성능이 우수하다는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 반도체 웨이퍼 클리닝 공정 과정에서 웨이퍼를 클리닝 시스템 속으로 이동시킬 때, 플레이트 위에 정확하게 장착되었는가를 검사하기 위한 방법을 제안하였다. 웨이퍼를 클리닝 시스템으로 이동시켜주는 로봇의 이동경로로 인하여 카메라를 설치하는데 위치적 제약이 발생하여 영상의 원근 왜

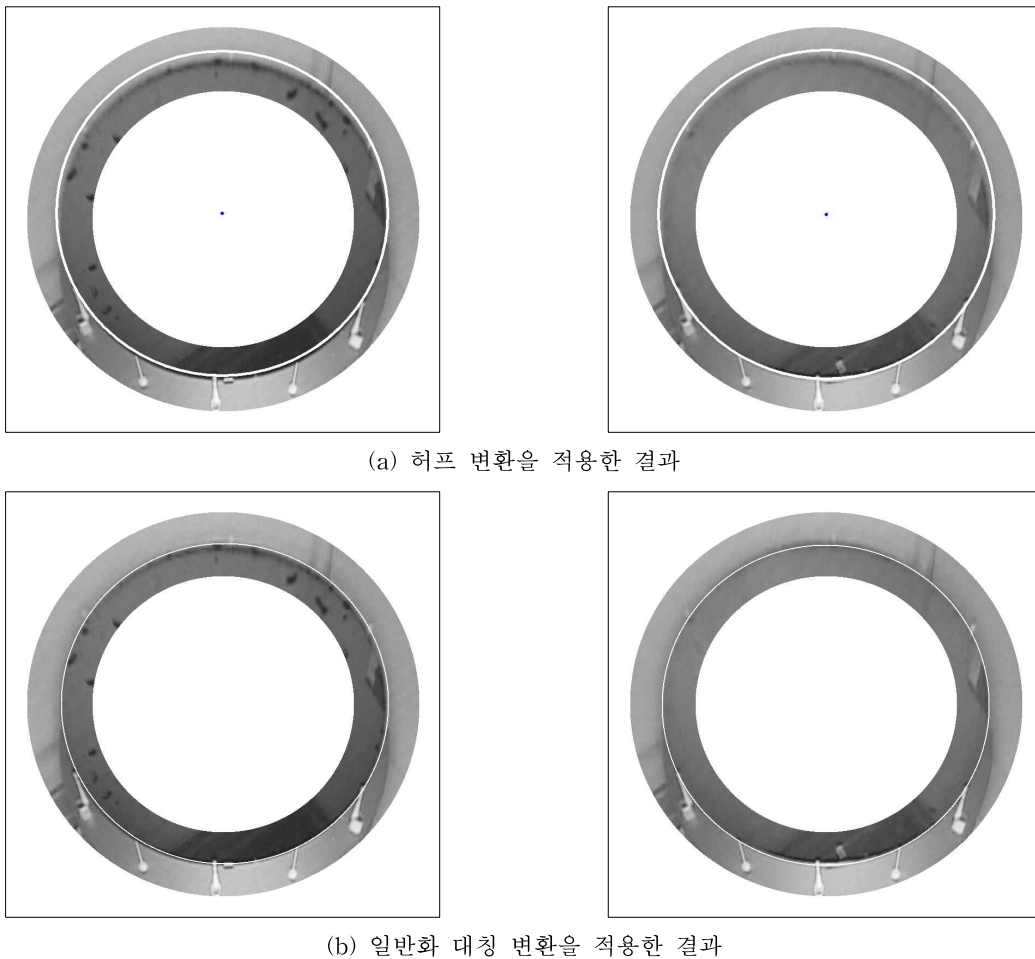


그림 22. 허프 변환과 일반화 대칭 변환을 비교한 결과

곡이 발생한다. 영상의 원근 왜곡을 제거하기 위하여 전처리 과정에서 카메라로부터 획득한 타원의 형태인 웨이퍼 영상에 투영 변환을 적용함으로써 실제 웨이퍼와 같이 정원으로 복원한 후 원을 추출하기 위하여 제안하는 방법을 적용함으로써 기존의 시스템에 비해 더 정밀하게 웨이퍼의 위치를 검사할 수 있었다.

제안하는 방법인 일반화 대칭 변환은 화소들의 대칭성을 고려하여 원의 중심과 반지름의 파라미터를 누적하여 최대값을 찾아 최적의 원을 추정하여 웨이퍼의 경계선의 원을 추출하기 때문에 오차를 줄일 수 있다. 또한 투영 변환에 의해 복원될 때, 정확한 정원으로 복원되지 않아도 웨이퍼의 경계선과 유사하게 원을 추출할 수 있다.

향후 연구에서 투영 변환시 웨이퍼의 뒷부분에 블러가 발생하여 두껍게 검출되는 단점을 해결하기 위한 방안으로 에지의 방향성을 고려하여 보간법을 적

용함으로써 영상에 블러가 발생하지 않도록 하는 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

[1] J. Leavey and P.J.S. Mangat, "Mask and Wafer Inspection and Cleaning for Proximity x-ray Lithography," *Proc. SPIE, Emerging Lithographic Technologies II*, Vol. 3331, pp. 179-188, 1998.

[2] G. Ducotey, A. Couvrat, V. Audran, D. Pepper, and L. Couturier, "In-Line Methodology for Defectivity Analysis from Dark Field Wafer Inspection to Defect Root Cause Analysis using FIB Cut," *IEEE Advanced Semiconductor Manufacturing Conference(ASMC)*, pp. 138-141, 2008.

[3] Y.C. Chen, Y.Y. Lee, J.Y. Lee, and J.Y. Chen, "Implementation of a Wafer Positioning System," *SICE Annual Conference*, Vol. 13, No. 18, pp. 1938-1943, 2011.

[4] H.T. Kim, H.J. Yang, and S.C. Kim, "The Wafer Alignment Algorithm Regardless of Rotational Center," *IEEE International Conference on Mechatronics*, Vol. 5, No. 13, pp. 44-48, 2006.

[5] 이정우, 이병국, 이준재, "웨이퍼 클리닝 장비의 웨이퍼 장착위치 인식 시스템," 멀티미디어학회 논문지, 제13권, 제3호, pp. 400-409, 2010.

[6] I.D. Coope, "Circle Fitting by Linear and Nonlinear Least Squares," *Journal of Optimization Theory and Applications*, Vol. 76, No. 2, pp. 381-388, 1993.

[7] 이병국, 이준재, "방사형 켈리브레이터를 이용한 웨이퍼 위치 인식시스템," 멀티미디어학회 논문지, 제14권, 제5호, pp. 635-641, 2011.

[8] 기명석, 주변 마스크와 일반화 대칭변환 알고리즘을 이용한 인쇄물 검사 시스템, 전남대학교 석사학위논문, 2001.

[9] D. Reisfeld, H. Wolfson, and Y. Yeshurun, "Context Free Attentional Operators : the Generalized Symmetry Transform," *International Journal of Computer Vision*, Vol. 14, No. 2, pp. 119-130, 1995.

[10] 기명석, 이철우, "대칭 변환 결과를 이용한 특정 모양의 물체 인식," 한국정보과학회 가을 학술 발표논문집, 제27권, 제2호, pp. 347-349, 2000.

[11] 이인경, 영상공격에 강인한 대칭성기반 특징점 추출, 충남대학교 박사학위논문, 2008.

[12] 김동수, 진성일, "선택적 방향 주의를 가지는 수정된 스캔라인 일반화 대칭 변환," 전자공학회지, 제38권, 제4호, pp. 87-97, 2001.

[13] C.J. Parsons and M.S. Nixon, "Introducing Focus in the Generalized Symmetry Operator," *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 6, No. 3, pp.49-51, 1999.



전 미 진

2006년 3월~2011년 2월 계명대학교 게임모바일콘텐츠학과 학사
 2011년 3월~2013년 2월 계명대학교 미디어학트학과 석사
 관심분야 : 영상처리, 컴퓨터 비전



이 준 재

1986년 경북대학교 전자공학과 졸업(학사)
 1990년 경북대학교 전자공학과 졸업(석사)
 1934년 경북대학교 전자공학과 졸업(박사)

1994년~1999년 Georgia Institute of Technology 방문 교수
 2000년~001년 (주)파미 연구소장
 1994년~2007년 동서대학교 컴퓨터정보공학부 부교수
 2007년~현재 계명대학교 게임모바일콘텐츠학과 부교수
 관심분야 : 영상처리, 3차원 컴퓨터 비전, 게임