

방사형 캘리브레이터를 이용한 웨이퍼 위치 인식시스템

이병국[†], 이준재^{††}

요 약

본 논문에서는 반도체 생산 공정 중 클리닝 공정 설비에서, 웨이퍼의 장착 위치를 인식하는 영상 인식 시스템을 제안한다. 제안한 시스템은 웨이퍼의 위치 이탈에 따른 위치오차 발생 시 이를 클리닝 설비에 전달하여, 웨이퍼 클리닝 장비의 파손을 방지하여 시스템의 신뢰성과 경제성을 높이기 위한 것이다. 제안한 방법은 기존의 시스템에서 체스보드 형태의 캘리브레이터를 사용시 발생하는 오차를 줄이기 위하여 방사형 캘리브레이터를 디자인 및 제작하고 이의 매핑함수를 구하는데 있다. 제안한 시스템은 고 신뢰성과 고 정밀의 위치인식 알고리즘을 사용하여, 효율적으로 웨이퍼 인라인 공정에 설치함을 목표로 하며 실험결과 기존의 방법에 비해 충분한 허용 기준 내에서 오차를 검출해내는 좋은 성능을 보여준다.

Wafer Position Recognition System Using Radial Shape Calibrator

Byeong-Guk Lee[†], Joon-Jae Lee^{††}

ABSTRACT

This paper presents a position error recognition system when the wafer is mounted in cleaning equipment among the wafer manufacturing processes. The proposed system is to enhance the performance in cost and reliability by preventing the wafer cleaning system from damaging by alerting it when it is put in correct position. The proposed algorithm is in obtaining a mapping function from camera and physical wafer by designing and manufacturing the radial shape calibrator to reduce the error by using the conventional chess board one. The system is to install in-line process using high reliable and high accurate position recognition. The experimental results show that the performance of the proposed system is better than that of the existing method for detecting errors within tolerance.

Key words: Wafer Recognition(웨이퍼 인식), Calibration(캘리브레이션), Image Processing(영상처리), Computer Vision(컴퓨터 비전)

1. 서 론

최근 여러 분야에서 광학검사 장비(AOI)를 응용한 제품들이 산업현장에서 이용되고 있거나 점차 확대되고 있는데, 반도체 생산 공정에서도 까다로운 검사 항목들의 요구로 인하여 광학기반의 검사 장비에 관심이 증대되고 있다. 웨이퍼 크기에 따른 제품의

변화 추세에 맞춰서 각종의 장비와 모니터링, 검사에 대한 요구를 만족시키기 위한 최선의 방안을 찾기 위해, 여러 공정에 걸쳐 정확성과 신뢰성을 갖는 장비 및 검사장비의 개발이 매우 중요한 요소가 되고 있다. 더구나 제품에 대한 검사 기준이 더욱 더 엄격해지면서 기존의 장비들까지도 더 높은 정밀도를 요구하고 있고, 인라인 장비가 갖추어야 할 정확성, 속도

* 교신저자(Corresponding Author): 이준재, 주소: 대구 시 남구 대명 3동 2139번지(705-701), 전화: 053) 620-2177, E-mail : joonlee@kmu.ac.kr
접수일 : 2011년 2월 17일, 수정일 : 2011년 3월 31일
완료일 : 2011년 4월 13일

[†] 정회원, 동서대학교 컴퓨터정보공학부
(E-mail : lbg@dongseo.ac.kr)

^{††} 중신회원, 계명대학교 게임모바일콘텐츠학과

※ 본 연구는 한국연구재단 기초연구사업(2010-0023438, 2010-0009003)의 지원으로 수행되었음.

및 융통성을 동시에 만족하기 위해서는 수학적 해석에 기반을 둔 정교한 접근 방법이 요구된다[1-3].

일반적으로 반도체 공정 설비들은 웨이퍼를 가공할 수 있는 챔버라는 단위로 구성이 되는데, 원으로 이루어진 실리콘 웨이퍼의 외형으로 인하여 웨이퍼 플레이트 위에 정확히 안착되었는지를 확인하기 위해서 센서 및 영상 인식을 활용한 여러 기술들이 개발되어 설비에 반영되어 왔으나, 생산현장의 요구수준을 만족시키지 못하고 있는 실정이다. 현재 국내에서 이용되는 반도체 설비는 90%이상 고가의 센서를 이용하는 방법이 주류를 이루고 있으며, 이 센서 대다수가 수입제품에 의존하고 있으며 반도체설비가 90%이상 수입품이고 국내 반도체 설비업체에서는 영상을 활용하여 웨이퍼 위치를 인식하는 설비가 거의 없는 실정이다. 최근 들어 생산 단가 절감을 위해, 국내에서 IEEE1394 카메라 기반으로 컴퓨터 비전을 적용한 기술이 활발히 연구되고는 있으나, 대다수가 챔버안 웨이퍼 전체의 영상을 기초로 종합적인 판단을 하지 못하고 웨이퍼 일부분 영상으로 단편적인 판단을 처리하는 방식을 채용하고 있다. 이 같은 방법은 센서를 이용하는 방법과 크게 다르지 않게, 다수의 카메라를 장착하여 부분별로 처리하기 때문에 생산비 절감 효과를 주기에는 충분치 않다.

한편, 해외 반도체 설비에서도 표면검사나 미세공정검사 등의 장비에서 영상인식기술을 적용하고 있으나, 웨이퍼 위치 인식 알고리즘이 적용된 설비는 거의 없는 실정이다. 일부 반도체 설비업체에서 웨이퍼 전체 영상이 아닌 부분적인 영상으로 위치를 판단하는 알고리즘을 적용한 설비가 존재한다. 그 예로 일본 반도체 설비업체에서 일부 설비에 부분적인 영상으로 웨이퍼 위치를 판단하는 알고리즘을 적용하였다[1-3].

최근에 Lee 등은 이를 위한 비전시스템을 설계, 제작하여 웨이퍼의 장착위치를 검사하는 방법을 제안하였다[3]. 그 방법은 비전용 카메라를 이용하여 웨이퍼의 영상을 실시간으로 획득하고, 획득된 영상을 통하여 캘리브레이션 및 영상처리과정을 거쳐 자동으로 웨이퍼의 위치를 검사한다. 만약 클리닝 장비에 장착된 웨이퍼의 위치가 정상위치에서 이탈해 있다면, 이를 경고해주고 클리닝 시스템의 동작을 일시 정지 시켜 웨이퍼의 파손 및 클리닝 시스템의 고장을 미연에 방지하고자 하였다. 또한 기존의 클리닝 장비

에 추가로 설치해야하는 공간적인 제약 조건으로 인해 카메라의 설치가 사각영역에 위치할 수밖에 없어서 경사각도의 영상왜곡을 초래하고, 카메라와 대상체와의 거리가 짧아 렌즈의 왜곡이 발생하는 경우에 대해 이를 보정하면서, 위치검출오차를 최소화 할 수 있는 카메라 캘리브레이션 알고리즘과, 영상처리 알고리즘을 제안하였다. 캘리브레이션시 사용되는 체스보드 형태의 캘리브레이터의 사용 시 발생하는 캘리브레이션 오차와, 또한 카메라 렌즈의 왜곡으로 인한 오차를 극복하지 못하는 한계로 시스템의 성능을 만족시키지 못하는 단점을 가지고 있다.

따라서 본 논문에서는 기존의 방식 [3]에서 야기되는 문제점을 해결하고 더욱 정교한 정밀도를 얻기 위하여 체스보드형 캘리브레이터 대신 방사형 캘리브레이터를 디자인하고 이의 캘리브레이션 알고리즘을 제안한다. 또한 공간의 제약으로 인한 근접 촬영시 발생하는 카메라 렌즈의 왜곡을 보정하여 정밀도를 향상시키는 방법을 제안한다. 제안한 방법은 기존의 방법에 비해 캘리브레이터를 장착시 방향을 정확히 일치시켜 놓아야 하는 불편함과, 정도를 높이기 위해 체스 보드의 개수를 더 이상 증가시키지 못하는 단점을 극복하고, 렌즈의 왜곡 보정방법을 제시하여 시스템의 성능 향상을 가져온다. 이는 카메라를 이용하여 챔버안 웨이퍼 플레이트에 정확히 위치하지 않은 웨이퍼를 검출하여 후속공정으로 인한 웨이퍼 파손을 미연에 방지함으로써 기존 장비의 생산 효율을 극대화시킬 수 있는 효과적인 방법이다.

2. 시스템의 구성

반도체 칩의 핵심 재료가 되는 웨이퍼는 전공정 가공단계 시 설비의 챔버 내부에서 가공을 하게 된다. 웨이퍼를 가공하기 위하여 로봇암이 웨이퍼를 챔버로 이동 시키게 된다. 그리고 웨이퍼가 챔버안 웨이퍼 플레이트에 놓여질 때, 정확한 위치에 웨이퍼가 놓여지지 않은 상태에서 플레이트의 회전이 가해질 경우 웨이퍼가 깨지거나, 웨이퍼 가공의 불량이 발생하게 된다. 이러한 현상은 결국 설비 가동중단을 초래하게 되며 생산 라인을 중지 시키는 원인이 된다. 현재, 웨이퍼의 위치를 검출하기 위한 시스템에서 사용되는 방법은 대다수가 고가의 센싱 기법에 의존하고 있으며, 하나의 웨이퍼 위치 검출 시스템에 다수

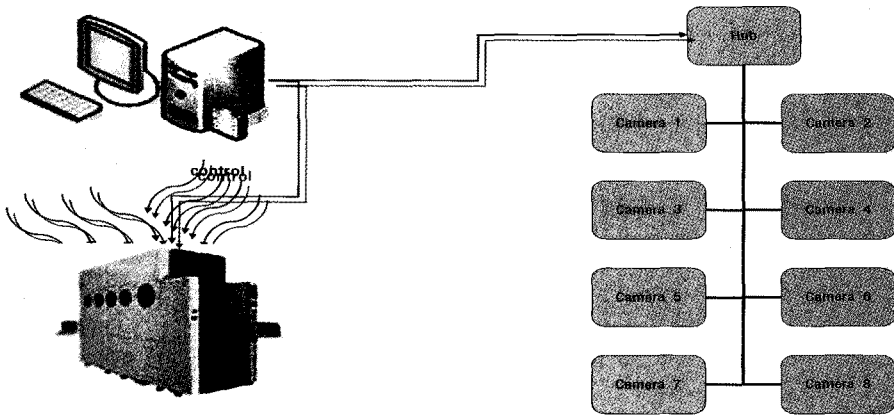


그림 1. 웨이퍼 위치인식 시스템 구성도

의 센서가 부착되어 고가의 장비로 설치되고 있다. 따라서, 본 연구에서는 영상처리 알고리즘 기법을 적용하여 웨이퍼의 윤곽을 추출한 후, 이를 기반으로 웨이퍼의 정확한 위치를 연산함으로써, 반도체 설비 챔버 내부의 웨이퍼 플레이트가 가공을 위해 회전을 시작하기 전에 웨이퍼의 위치를 판단한다. 제안한 알고리즘을 통하여 판단된 웨이퍼의 위치가 정확하지 않으면 웨이퍼 플레이트의 작동을 중지시켜 기계적 오류를 방지할 수 있는 시스템을 구성하고자 한다. 그림 1은 웨이퍼 세척공정 시스템으로, 웨이퍼 장착위치를 인식하기 위한 세척기 챔버 내에 카메라를 설치하고, 이를 컴퓨터와 연결하여, 제안한 알고리즘을 통해 위치오차를 판단하는 시스템을 보여준다. 클리닝 시스템은 그림 1의 좌측 하단과 같은 모습을 하고 있으며, 클리닝 시스템의 내부는 웨이퍼를 클리닝 할 수 있는 8개의 실(chamber)으로 구성되어 있다. 클리닝 시스템의 8개의 실에 각각 웨이퍼의 위치를 계산해야 하기 때문에 각각의 실마다 검사용 카메라를 설치하고 이 카메라들을 허브로 연결하여 하나의 컴퓨터에서 각 카메라들을 제어 할 수 있도록 한다. 웨이퍼가 클리닝 시스템에 장착되면, 클리닝 시스템에서 이를 자동적으로 감지하여 특정한 신호를 발생 시키게 된다. 이렇게 로봇이 웨이퍼를 이송하여 클리닝 위치에 놓여 있다는 신호가 발생하게 되면, 설치된 각각의 카메라들은 웨이퍼 영상을 실시간으로 촬영하게 된다. 촬영된 영상 정보들은 허브를 통하여 프로그램을 제어하고 있는 컴퓨터로 전송된다. 전송된 이미지를 이용하여 컴퓨터에서 현재 웨이퍼의 위치를 실시간으로 계산해 내어 정확한 위치에

놓여지지 않은 웨이퍼가 감지될 경우 클리닝 시스템의 작동을 일시적으로 멈추고 웨이퍼가 정확한 위치에 놓일 때까지 클리닝 시스템은 대기한다.

클리닝 시스템 내부는 아래 그림 2와 같이 구성되어 있으며, 웨이퍼가 놓이는 곳의 공간은 벽으로 막혀있고, 뒷부분과 앞부분은 웨이퍼를 이동하기 위한 로봇암이 활동하는 공간으로 뚫려있다. 그리고 카메라라는 로봇암이 상단에서 움직이고 있어서 이의 영향이 없는 모서리에 그림과 같이 설치될 수밖에 없는 제약이 존재한다.

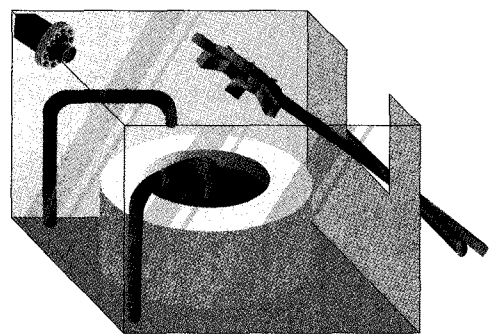


그림 2. 클리닝 챔버내의 영상획득장치 설치위치

3. 제안한 위치인식 시스템

본 논문에서 제안한 시스템의 알고리즘 수행 절차는 그림 3과 같이 구성된다. 적외선 필터를 장착한 카메라와 적외선 조명을 이용하여 영상을 획득하고, 획득된 영상으로부터 웨이퍼의 경계를 추출한 후, 미리 저장된 캘리브레이션 파라미터를 가지고 실제 크

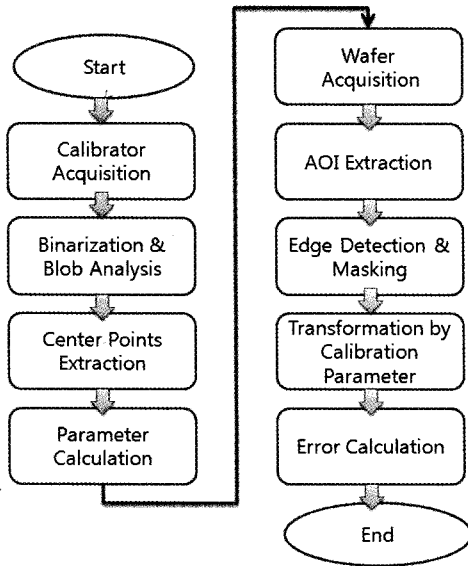


그림 3. 알고리즘 흐름도

기의 차원으로 변환한 후 위치 연산을 수행하여, 오차가 허용범위 안에 드는지를 확인한다. 카메라의 위치가 웨이퍼를 정면으로 볼 수 있는 챔버 상단에 설치되면 영상 처리 하기에 좋은 영상을 획득 할 수 있지만, 웨이퍼를 옮기는 로봇암의 이동경로의 제약으로 인해 카메라를 상단에 설치할 수 없다. 따라서 로봇암의 이동 경로를 피하여 챔버의 한쪽 코너에 카메라를 설치해야 된다. 이러한 카메라의 위치적인 이유로 영상을 획득하면 웨이퍼가 타원으로 보이는 현상이 발생한다. 현재까지 영상처리를 이용하여 웨이퍼의 위치를 보정하는 시스템이 연구되고 있으나, 대부분이 국부적으로 처리되므로 다수의 카메라를 필요로 하는 형태로 구성되어 있다.

3.1 방사형보드를 이용한 캘리브레이션

캘리브레이션 과정 중에 그림 4(a)의 체스보드 영상에서 코너를 획득 하는 과정에서, 일반적으로 방향성이 있는 패턴을 이용하므로, 인위적으로 보드를 맞춰져야 하는 번거로움이 있고, 기준점이 되는 코너의 개수가 많지 않은 단점이 있다[3]. 이러한 이유 때문에 더 정확한 캘리브레이션을 수행하기 위해서는 좀 더 많은 코너가 필요 하다는 것을 알 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 이러한 단점을 보정하기 위해서 그림 4(b)의 방사형 보드를 이용한 캘리브레이션 방법을 제안한다. 방사형 보드는 방향성을 가지는 코너가 존

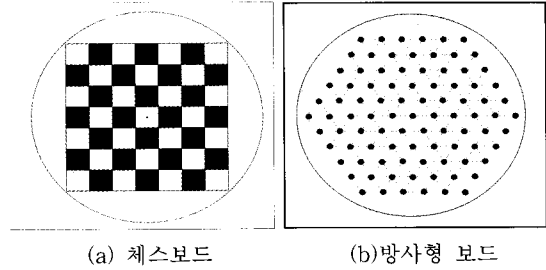
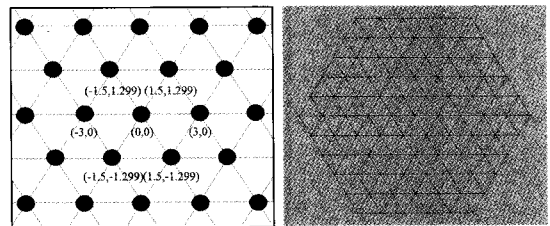


그림 4. 캘리브레이터

재 하지 않아, 인위적으로 위치를 설정해줄 필요가 없다. 또한 정확도를 높이기 위하여 더 많은 수의 격자점 증가가 용이하다. 그림 5는 방사형보드의 점들 사이의 거리 및 위치를 나타내고 이들의 삼각화 메쉬 구성을 보여준다.

그림 6의 영상은 실제 방사형 보드를 촬영한 모습이다. 왼쪽 영상은 정면에서 방사형 보드를 촬영한 영상으로 방사형 보드의 형태가 정원을 띄고 있는 것을 알 수 있다. 하지만 오른쪽 영상은 한 쪽 코너에 카메라를 설치하여 방사형 보드를 촬영한 것인데, 방사형 보드가 타원 모양으로 촬영된 것을 알 수 있다.

반도체 설비 챔버 구조상 내부에는 웨이퍼를 가공하기 위하여 많은 구조물들이 설치되어 있어 카메라를 챔버 내부 웨이퍼 정 중앙 위쪽에 설치할 수가 없고 대각선 모서리에 설치하여야 하므로 오른쪽 영상을 이용하여 영상 처리 하여야 한다. 먼저 방사형



(a) 점사이의 실제 크기 (b) 삼각화 메쉬

그림 5. 방사형 보드 포인트 좌표 및 이의 삼각화



(a) 정면 획득 영상 (b) 측면 획득 영상

그림 6. 방사형 캘리브레이터 영상

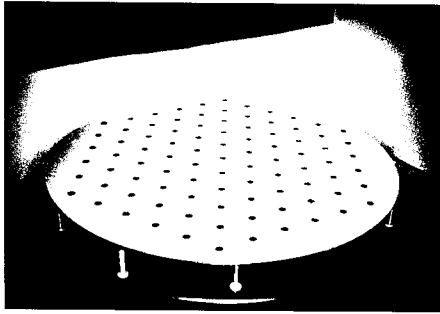


그림 7. 영상 이진화

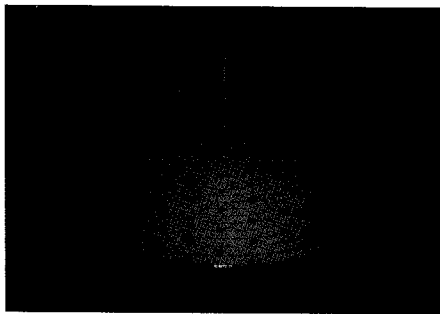


그림 8. 인덱스 부여 영상

보드에 그려진 각 점들의 중심 좌표를 추출해야 하는데, 영상 이진화 과정을 수행하여 그림 7 같은 영상으로 변환한다.

이진화 과정을 거치고 나면 방사형 보드의 점 부분만을 획득할 수 있다. 여기서 블랍(blob) 과정을 통하여 각 점들을 인식하게 한 다음 각 점의 중심점을 계산한다. 각 점들의 중심점 좌표가 찾아지면 삼각화를 통하여 각 점들을 정렬 하게 된다[3-4]. 그림 8은 각 점들의 중심을 정렬하여 인덱스 번호를 부여한 영상이다.

위와 같이 캘리브레이션 영상의 좌표를 찾아내고 이를 실세계 좌표계와 아래의 식으로 대응 시키면 우리가 원하는 캘리브레이션 파라미터가 생성된다. 그림 9의 영상은 캘리브레이션 영상의 좌표와 실세계 좌표가 맵핑된 영상이다.

방사형 캘리브레이터 카메라 영상 그림 8에서 구한 점들의 좌표로부터 그림 9의 실세계 좌표 점으로 대응하는 좌표변환 식을 구하여야 한다. 여기에는 카메라 캘리브레이션에서 널리 사용되는 투영을 사용한다. 보통 그림 10 같이 두 개의 평면을 매핑 하는 변환으로 수학적인 정의는 아래와 같이 세 점이 일직선상에 놓이면 변환 후 세 점도 직선상에 놓일 때

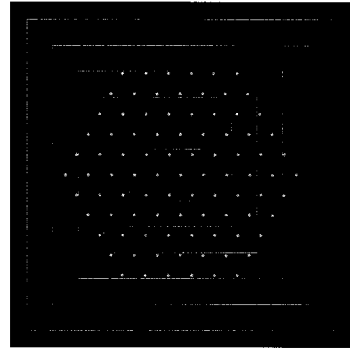


그림 9. 좌표 맵핑

이 변환을 투영변환(projective transformation)이라 한다[5].

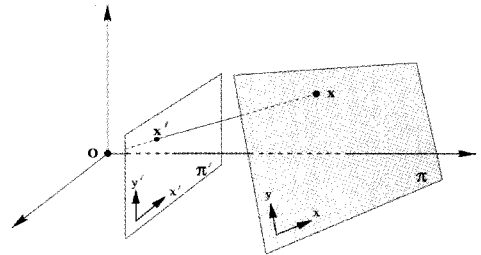


그림 10. 두 평면의 매핑

투영변환은 선형변환으로 아래와 같이 수식으로 표현할 수 있고 여기에서 변수 8개를 결정하면 된다. 여기서 미지수 $m = \{m_0, m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, m_6, m_7\}$ 로 정의 한다.

$$x_t = \frac{m_0x_u + m_1y_u + m_2}{m_6x_u + m_7y_u + 1} \quad (1)$$

$$y_t = \frac{m_3x_u + m_4y_u + m_5}{m_6x_u + m_7y_u + 1}$$

그림 11과 같이 영상의 투영왜곡을 제거할 수 있는 변환이다. 변수가 8개이므로 왼쪽 영상에서 좌표 4개를 구하고 변환하고자 하는 왜곡이 없는 좌표를

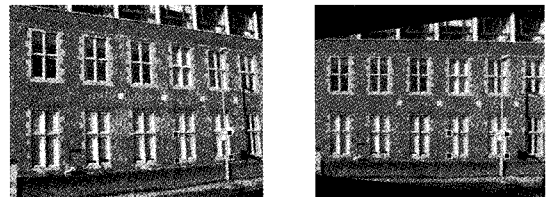


그림 11. 투영왜곡의 제거

결정하면 아래 오른쪽과 같은 영상을 구할 수 있다.

왼쪽영상에서 보다 안정적인 변환식을 구하기 위해서는 보다 많은 점들이 필요하고 이때는 다음과 같이 선형대수학의 이론을 이용하여 구할 수 있다 [5].

주어진 특징 점들의 대응 $\{(x_u^i, y_u^i), (x_t^i, y_t^i)\}, i=1, \dots, n$ 에 대하여, $2n \times 9$ 크기의 A 행렬을 다음과 같이 구성하면

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

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[6-9].

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

그러나 카메라 렌즈의 왜곡이 심한 경우에는 다음 그림 12와 같이 렌즈의 왜곡을 보정해 주어야 한다.

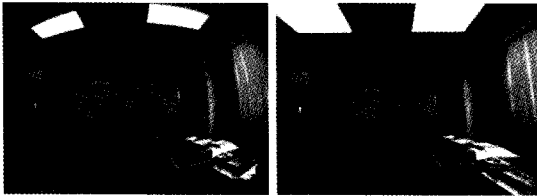


그림 12. 카메라의 방사왜곡

렌즈에 따라 생기는 방사(radial) 왜곡의 종류는 아래의 그림 13과 같다.

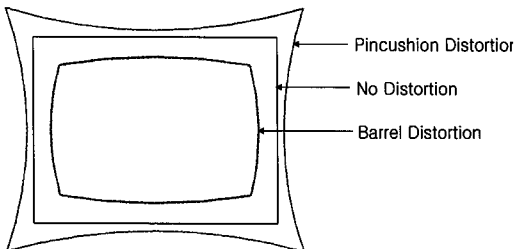


그림 13. 렌즈 왜곡의 종류

좁 렌즈를 사용하면 오목일그러짐(pincushion) 왜곡이 생기고, 어안 렌즈(wide angle lens)를 사용하면

볼록일그러짐(barrel)왜곡이 생긴다. 따라서 렌즈의 방사왜곡을 먼저 보정한 후 영상의 원근(per-spective) 왜곡을 보정하면 좀 더 정확한 결과가 나올 것이다. 그림 14는 렌즈의 방사왜곡 보정과 영상의 원근왜곡 보정을 도식화 한 것이다[10-12].

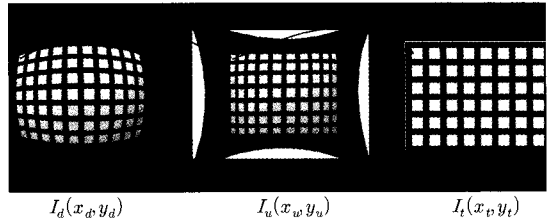


그림 14. 렌즈, 영상의 왜곡 보정

위와 같은 과정을 거치기 위해서는 수식 (4)를 사용한다. 이 식을 사용하기 위해서 θ 를 구하여야 한다. 여기서 $I_t(i, j)$ 는 보정된 영상의 위치(i,j)에서 밝기 값이고, $I_d(x, y)$ 는 θ 에 의해 왜곡된 영상의 밝기 값이다.

$$I_t(i, j) = I_d(x(\theta, i, j), y(\theta, i, j)) \quad (4)$$

θ 는 그림 13의 방사형 왜곡 변환 T_u 와 원근 왜곡의 변환 T_p 에서 각각 구해야 한다. 먼저 T_u 를 구하는 식은 (5)와 같다.

$$\begin{aligned} x_u &= c_x + (x_d - c_x)f_2(r_d^2) \\ &= c_x + (x_d - c_x)(1 + k_1 r_d^2 + k_2 r_d^4 + k_3 r_d^6) \\ y_u &= c_y + (y_d - c_y)f_2(r_d^2) \\ &= c_y + (y_d - c_y)(1 + k_1 r_d^2 + k_2 r_d^4 + k_3 r_d^6) \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 $r_d^2 = (x_d - c_x)^2 + (y_d - c_y)^2$ 이며, 영상의 왜곡 중심 점 c_x, c_y 와 k_1, k_2, k_3 에 관한 변수 값을 모르기 때문에 T_u 변환의 변수를 $\theta^d = \{c_x, c_y, k_1, k_2, k_3\}$ 로 정의한다. T_p 변환은 위에서 설명한 원근왜곡을 제거하는 식을 이용하고, 식 (1)에 의해

$\theta^p = \{m_0, m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, m_6, m_7\}$ 로 정의하고, 구해진 θ^d 와 θ^p 의 합집합을 θ 라 놓으면, $\theta = \theta^d \cup \theta^p$ 로 정의됨을 알 수 있다. 그리고 수식 (6)식을 이용하여 θ 가 가장 최소가 될 때의 값을 획득하여 캘리브레이션 하게 되면 그림 14의 맨 오른쪽과 같은 영상 보정을 할 수 있다[11].

$$E(\theta) = \sum_{k=1}^n ((e_x^k)^2 + (e_y^k)^2) \quad (6)$$

$$\theta = \operatorname{argmin} E(\theta)$$

여기서

$$e_x^k = x_t(\theta, x_d^k, y_d^k) - x_r^k$$

$$e_y^k = y_p(\theta, x_d^k, y_d^k) - y_r^k$$

이다. 캘리브레이션 과정이 끝나게 되면 방사형 보드가 웨이퍼 플레이트에서 제거되고 웨이퍼가 플레이트 위에 놓이게 된다

3.2 웨이퍼영상획득 및 처리

그림 15는 웨이퍼가 올려진 영상이다. 본 논문에서는 웨이퍼의 Canny 에지 검출 알고리즘을 이용하여 웨이퍼의 에지를 찾아 중심점을 획득한다. 따라서 웨이퍼의 중심부분이나 영상의 배경 부분은 실제 에지를 찾는데 필요 없는 영역이므로 삭제 시켜도 무방하다. 그림 16은 웨이퍼의 에지 근처의 관심 영역만 남겨두고 다른 부분은 제외시킨 영상이다.

관심영역 영상에서 Canny 에지 검출 알고리즘을 에지를 찾으면 그림 17과 같이 우리가 원하지 않는 부분까지 에지가 찾아지는 현상을 볼 수 있다.

그림에서 보듯이 웨이퍼의 에지도 찾아지지만 웨

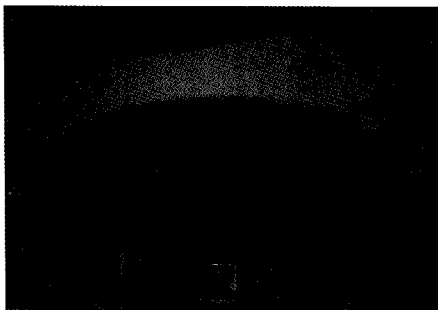


그림 15. 웨이퍼 촬영 영상

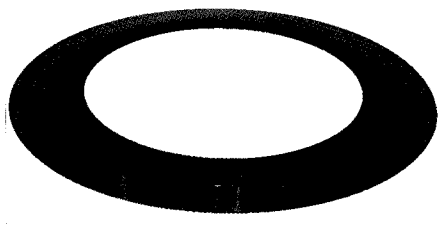


그림 16. 관심영역추출영상

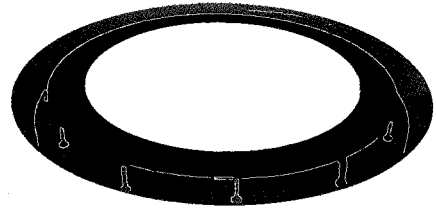


그림 17. 경계선 검출

이퍼를 받치고 있는 구조물의 에지도 같이 찾아 진다는 것을 알 수 있다. 따라서 우리가 원하지 않는 부분, 즉 구조물은 위치가 변하지 않으므로 이의 에지는 마스킹처리를 해서 제외시킨다. 그리고 웨이퍼의 지름이 약 300mm이기 때문에 캘리브레이션 과정에서 사용하였던 방사형 보드의 중심에서 150mm떨어진 곳의 에지 정보를 가져 오면 우리가 원하는 웨이퍼 에지 정보를 획득할 수 있다. 그림 18은 마스킹처리된 에지를 제외하고 웨이퍼의 에지를 찾아낸 그림이다.

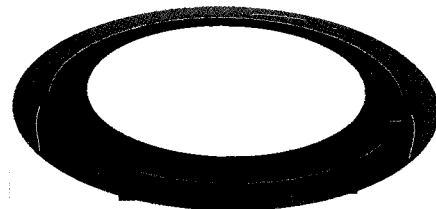


그림 18. 웨이퍼 경계선 검출

웨이퍼 에지의 정보를 얻었지만 완벽한 원이 아님을 알 수 있다. 하지만 웨이퍼는 완전한 원 모양인 것을 알고 있다. 따라서 현재 가지고 있는 정보에서 모르는 곳의 정보를 유추해 내는 최소자승(least square) 알고리즘[13]을 사용하여 원을 만들고 중심점을 추출해 낸다. 그림 19는 중심점을 추출해 낸 영상이다.

4. 실험 결과

실험 방법은 먼저 캘리브레이터 이용하여 캘리브레이션을 하고, 캘리브레이션 과정이 끝나게 되면 웨

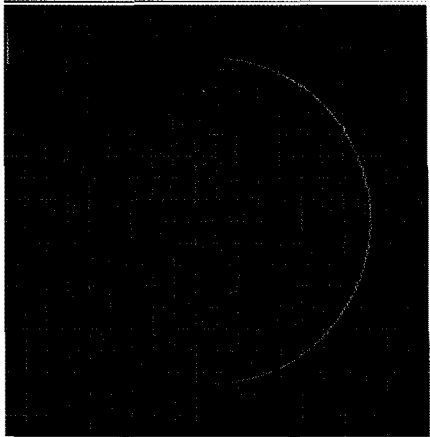


그림 19. 중심점 추출

이퍼를 올려 영상을 획득한다. 획득한 영상에 대해서 제안된 알고리즘으로 영상처리를 수행한 후에 추출된 에지에 대해 캘리브레이션 파라미터에 의해 변환을 하여, 실 크기의 웨이퍼를 생성하고, 이의 중심점과 반지름을 구한다. 아래의 표 기존의 방법과 제안한 방법의 실험 결과를 나타낸 것이다. 10번의 실험을 하였으며, 표 1은 기존의 체스보드 캘리브레이터를 사용하여 얻은 값이며, 표 2는 본 논문에서 제안한 방사형 캘리브레이터를 사용하여 얻은 값이다. X, Y는 실제 좌표값, R은 반지름을 의미한다. 같은 영상은 동일한 조건에서 10번 촬영한 것이다. 단위는 mm이다.

같은 상황에서 동일한 위치에 웨이퍼를 놓아두고 실험하였기 때문에 이론상으로는 에러가 0이 나와야 한다. 실험 결과에서 보듯이 기존의 방법은 위치오차

표 1. 기존 방법의 반복 측정 정밀도

횟수	Error	X	Y	Radius
1	0.035	0.010	-0.033	150.610
2	0.023	0.002	-0.023	150.619
3	0.035	0.009	-0.034	150.615
4	0.021	-0.006	-0.019	150.610
5	0.037	0.003	-0.036	150.620
6	0.017	-0.010	-0.014	150.622
7	0.035	0.001	-0.034	150.604
8	0.031	0.007	-0.030	150.614
9	0.035	-0.007	-0.034	150.621
10	0.038	0.011	-0.037	150.616
평균	0.030	0.007	0.034	150.620

표 2. 제안한 방법의 반복 측정 정밀도

횟수	Error	X	Y	Radius
1	0.019	0.016	-0.011	150.252
2	0.015	0.015	-0.002	150.138
3	0.014	0.014	-0.001	150.173
4	0.018	0.017	0.007	150.061
5	0.012	0.010	0.007	150.136
6	0.018	0.012	-0.014	150.217
7	0.018	0.016	-0.008	150.163
8	0.019	0.014	-0.013	150.257
9	0.016	0.011	-0.011	150.232
10	0.019	0.019	-0.003	150.197
평균	0.016	0.014	0.014	150.18

가 평균 0.03mm 정도, 그리고 반지름의 오차가 0.6mm 가 발생하고, 제안한 방법은 0.016mm의 위치 오차 및 0.18mm의 반지름 오차가 발생한다. 그러나 최대 오차를 고려한다면 기존의 방법이 0.038mm, 제안한 방법이 0.019mm로 나타나고, 변위 오차 범위내에서 기존의 방법은 0.962의 위치에서, 제안한 방법은 0.981의 위치에서 정상임에도 불구하고, 오차로 처리하고, 또한 각각 1.038, 1.019에서 오류임에도 불구하고 정상으로 처리한다. 이런 허용 오차를 어느정도 둔다 하더라도 이는 매우 중요한 성능향상으로서, 위치오차 향상율은 2배, 반지름은 약 3배의 향상율을 보인다. 더구나 조명의 변화나, 주변의 잡음이 있을 경우에, 기존의 방법은 오차가 더 증가하여, 시스템의 성능을 저하시킬 수 있으며, 제안한 방법은 이를 고려하더라도 위치오차가 1mm이내의 시스템의 사양을 만족할 수 있는 방법으로 산업 현장에 바로 적용될 수 있다.

5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 반도체 웨이퍼 클리닝 공정에서 웨이퍼의 장착위치를 검사하는 시스템을 제안하였다. 장비의 공간적인 제한과, 비용절감으로 위해 각 웨이퍼당 1대의 카메라를 사용하였다. 본 논문에서는 기존의 체스보드 캘리브레이터 사용시 발생하는 캘리브레이션 파라미터 추출 오차를 줄이기 위해 방사형 캘리브레이터를 제시하고, 이에 대한 매핑함수 및 렌즈의 왜곡 까지도 고려한 변환 함수를 제안하였다.

실험 결과, 만족할 만한 결과를 얻었으며, 추후 오차를 더 줄이기 위해, 조명의 보정 등 외부 환경에 더욱 강한 결과를 얻도록 보완하는 것이 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] 이정우, 이병국, 이준재, "웨이퍼 클리닝 장비의 웨이퍼 장착위치 인식 시스템," 멀티미디어학회 논문지, 제13권 제3호, pp. 400-409, 2010.
- [4] F. H. Y. Chan, F. K. Lam and H. Zhu, "Adaptive Thresholding by Variation Method," *IEEE Transaction on Image Processing*, Vol.2, No.3 pp. 168-147, 1998.
- [5] R. Hartley and A. Zisserman, *Multiple View Geometry in Computer Vision*, 2nd Edition, Cambridge University Press, March 2004.
- [6] J. Weng, P. Cohen, and M. Herniou, "Camera Calibration with Distortion Models and Accuracy evaluation," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*. Vol.14 (10), pp. 965-980, 1992.
- [7] R. Sukthankar, R. Stockton, and M. Mullin, "Automatic Keystone Correction for Camera Assisted Presentation Interfaces," International Conference on Multimodal Interfaces (ICMI 2000), Vol.1948, pp. 607-614, Beijing, China, 2000.
- [8] R. Sukthankar, R. Stockton, M. Mullin, and M. Kantrowitz. "Vision-Based Coupling Between Pointer Actions and Projected Images," *Provisional U.S. Patent Filing*, 2001.
- [9] R. Sukthankar, R. Stockton, and M. Mullin "Smarter Presentation: Exploiting Homography in Camera Projector System," Proceedings of Eighth IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), Vol.1, pp. 247-253, 2001.
- [10] T. Tamaki, T. Yamamura, and N. Ohnishi, "A Method for Compensation of Image Distortion with Image Registration Technique," *IEICD Trans. Inf. and Sys*, Vol.E84-D(8): pp. 990-998, 2001.
- [11] Z. Zhang, "A Flexible New Technique for Camera Calibration," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.22, No.11, pp. 1330-1334, 2000.
- [12] T. N. Mundhenk, M. J. Rivett, X. Liao, and E. L. Hall, "Techniques for Fisheyes Lens Calibration Using a Minimal Number of Measurements," *Intelligent Robots and Computer Vision XIX: Algorithms, Techniques, and Active Vision*, Vol.4197, pp. 181-190, 2000.
- [13] 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.



이 병 국

- 1987년 연세대학교 수학과 졸업 (학사)
- 1989년 KAIST 응용수학과 졸업 (석사)
- 1993년 KAIST 수학과 졸업(박사)
- 1993년~1995년 테이콤 종합연구소 선임연구원

1995년~현재 동서대학교 컴퓨터정보공학부 정교수
 관심분야: 컴퓨터그래픽스, CAGD



이 준 재

- 1986년 경북대학교 전자공학과 졸업(학사)
- 1990년 경북대학교 전자공학과 졸업(석사)
- 1994년 경북대학교 전자공학과 졸업(박사)

2000년~2001년 (주)파미 연구소장
 1998년~1999년 Georgia Institute of Technology 객원 교수
 1994년~2007년 동서대학교 컴퓨터정보공학부 부교수
 2007년~현재 계명대학교 게임모바일콘텐츠학과 부교수
 관심분야: 영상처리, 3차원 컴퓨터 비전, 게임