

# 웨이퍼 클리닝 장비의 웨이퍼 장착 위치 인식 시스템

이정우<sup>†</sup>, 이병국<sup>\*\*</sup>, 이준재<sup>\*\*\*</sup>

## 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. 시스템의 주요 알고리즘은 카메라에 획득된 영상과 실제 웨이퍼간의 캘리브레이션 방법, 적외선 조명 및 필터 설계, 최소자승법 기반의 원 생성알고리즘에 의한 중심위치 판별법이다. 제안한 시스템은 고 신뢰성과 고 정밀의 위치인식 알고리즘을 사용하여, 효율적으로 웨이퍼 인라인 공정에 설치함을 목표로 하며 실험결과 충분한 허용 기준 내에서 오차를 검출해내는 좋은 성능을 보여준다.

## Wafer Position Recognition System of Cleaning Equipment

Jung Woo Lee<sup>†</sup>, Byung-Gook Lee<sup>\*\*</sup>, Joon Jea Lee<sup>\*\*\*</sup>

## 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 key algorithms are the calibration method between image acquired from camera and physical wafer, a infrared lighting and the design of the filter, and the extraction of wafer boundary and the position error recognition resulting from generation of circle based on least square method. The system is to install in-line process using high reliable and high accurate position recognition. The experimental results show that the performance is good in detecting errors within tolerance.

**Key words:** Wafer recognition(웨이퍼 인식), Image processing(영상 처리), Camera calibration(카메라 캘리브레이션), Computer vision(컴퓨터 비전)

## 1. 서 론

반도체 생산과정에서 웨이퍼를 세척해야 하는 클리닝과정은 매우 중요한 공정중의 하나이다. 세척을 하기 위해서는 웨이퍼가 생산 라인에 설치 되어있는 클리닝 시스템 속으로 들어가게 된다. 다음 단계로

웨이퍼는 고속으로 회전하면서 세척되고 세척이 끝나게 되면 클리닝 시스템 밖으로 나오게 된다. 이런 웨이퍼 세척 공정에서 로봇이 자동으로 웨이퍼를 클리닝 시스템에 장착하기 위해 이동 하게 되는데, 이 때 로봇이 웨이퍼를 정확한 위치에 놓지 못하는 경우가 발생한다. 이렇게 잘못 올려진 웨이퍼가 고속으로

※ 교신저자(Corresponding Author) : 이준재, 주소 : 대구 시 남구 대명 3동 2139번지(705-701), 전화 : 053)620-2177, FAX : 053)620-2198, E-mail : joonlee@kmu.ac.kr  
접수일 : 2009년 7월 22일, 수정일 : 2009년 10월 15일  
완료일 : 2009년 11월 24일

<sup>†</sup> 준회원, 동서대학교 영상콘텐츠 학과 석사과정  
(E-mail : leejw1478@dit.dongseo.ac.kr)

<sup>\*\*</sup> 정회원, 동서대학교 컴퓨터정보공학부 교수  
(E-mail : lbg@dongseo.ac.kr)

<sup>\*\*\*</sup> 종신회원, 계명대학교 게임모바일컨텐츠학과 교수  
※ 본 연구는 2008년도 동서대학교 학술연구조성비 지원과  
계와 2009 중소 기업청 산학 공동 기술 개발 지원 사업으로  
수행되었음.

회전 하게 되면, 웨이퍼의 파손이 발생 할 수 있으며, 클리닝 시스템의 고장의 원인이 되기도 한다. 이러한 장비들은 고가의 장비들이기 때문에 파손 되거나 고장이 나면 생산성이 저하된다.

따라서 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 비전시스템을 설계, 제작하여 웨이퍼의 장착 위치를 검사하는 시스템을 개발한다. 제안한 시스템은 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 방지하는 시스템을 만들고자 한다. 기존의 웨이퍼의 상태를 검사하는 장비나 논문은 많이 나와 있으나[1-3], 세척공정에서 이의 위치를 검사하는 논문은 아직 나와 있지 않다.

본 논문의 주요사항은 기존의 클리닝 장비에 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 제안하는데 있다.

## 2. 시스템의 구성

### 2.1 웨이퍼 (Wafer)

우선 우리가 검사하게 될 웨이퍼는 그림 1에서 보는 바와 같이 지름이 약 300mm의 검은색 원판 모양을 하고 있으며, 그림 1에서 알 수 있듯이 거울처럼 반사가 일어나며, 두께가 매우 얇고 유리와 비슷한 재질을 가지고 있기 때문에 충격에 매우 약해서 조금만 부주의 하면 쉽게 깨져 버리므로 주의해서 사용해야 한다.

### 2.1 클리닝 시스템 (Cleaning System)

클리닝 시스템은 그림 2의 좌측 하단과 같은 모습을 하고 있으며, 클리닝 시스템의 내부는 웨이퍼를

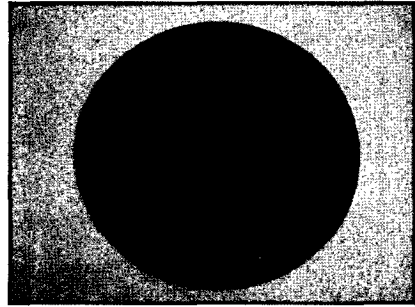


그림 1. 웨이퍼의 실제 모습

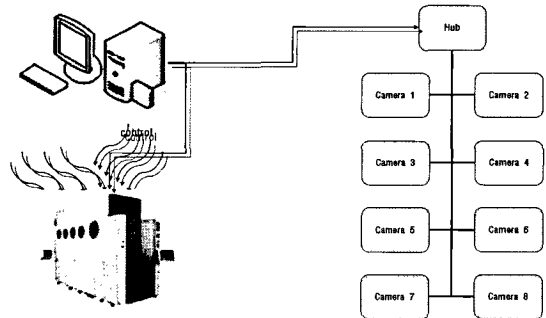


그림 2. 클리닝 시스템의 구성

클리닝 할 수 있는 8개의 실(chamber)로 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 놓여 지지 않은 웨이퍼가 감지될 경우 클리닝 시스템의 작동을 일시적으로 멈추고 웨이퍼가 정확한 위치에 놓일 때까지 클리닝 시스템은 대기한다[1].

8개의 실 중에서 하나의 실을 살펴보면 아래 그림 3 같은 모습을 하고 있다. 여기서 하나의 문제가 생기게 된다. 카메라를 웨이퍼 위쪽에 설치 할 수 있으면

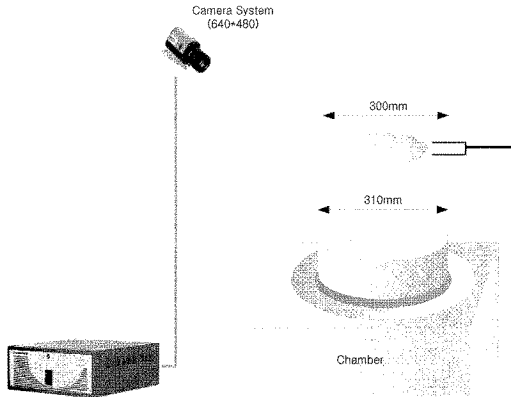


그림 3. 클리닝 시스템의 내부 구성도

영상을 획득하여 처리하기가 편리 하지만, 로봇이 웨이퍼를 이송시키는 이동 공간이므로 카메라를 설치할 수 없게 되어 있다. 그래서 그림 3에서 보는 바와 같이 카메라의 위치가 한 쪽 벽의 코너에 설치된다. 설치된 카메라의 위치와 웨이퍼를 바라보는 각도, 거리 등은 그림 3에서 볼 수 있다.

2.3 카메라 (Camera)

본 연구에서 사용될 카메라는 그림 4와 같은 외형을 가지고 있다. 카메라를 클리닝 시스템에 설치하고 간단한 몇 가지 테스트를 거쳐 가장 적절한 두 종류의 카메라를 선택 하였다. Basler scA 640-70gm 모델의 카메라는 640\*480 크기의 이미지를, 최대 초당 70프레임으로 scA 1000-30gm 모델은 1024\*768 크기의 이미지를 최대 초당 30프레임으로 획득한다.

위 두 카메라사양을 아래 표 1에 나타내었으며 카메라의 선택은 각 카메라는 시간과 정확도를 기준으로 용도에 맞게 적절하게 선택하여 환경에 맞게 설치하면 된다.

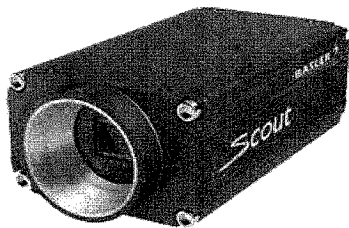


그림 4. Basler scA 카메라

표 1. 카메라 사양

	640-70gm	1000-30gm
Resolution	659*490	1034*779
Frame Rate	70fps	30fps
Color/Mono	Monochrome	Monochrome
Sensor Type	CCD	CCD
Optical Size	1/3in	1/3in

2.4 조명

본 논문에서는 주변의 환경 조명에 무관하고, 장비 내에 설치한 조명에 의해서만 일정한 휘도의 영상을 얻기 위해 적외선 LED 조명을 사용한다. 적외선 LED 조명은 특정한 파장을 가지므로 카메라의 렌즈 앞에 적외선 LED의 파장만 통과 시키는 필터를 부착하면 적외선 LED의 파장대의 빛을 제외한 모든 파장을 차단시킬 수가 있다. 이렇게 적외선 LED와 필터를 사용하는 이유는 특수한 파장대의 빛만을 사용하기 때문에 외부의 환경에 강한 시스템을 만들 수 있기 때문이다[4].

아래의 그림 5는 LED조명과 필터를 사용하지 않고 일반적인 상태에서 웨이퍼를 촬영한 모습이다. 즉 가시광선 영역을 사용한 상태이기 때문에 웨이퍼에 주위의 환경이 비친다거나 주변 환경에 민감하다는 것을 알 수 있다.

아래의 그림 6은 그림 5와 같은 상태에서 필터를 씌운 모습이다. 특정한 파장대의 빛만 통과 시키므로 빛이 거의 통과 하지 못한다. 따라서 웨이퍼의 모습을 거의 알아 볼 수 없을 정도로 어둡게 촬영된다.

아래의 그림 7은 적외선 필터와 같은 파장대의 적외선 LED 조명을 켜진 모습이다. 그림 5의 영상보다

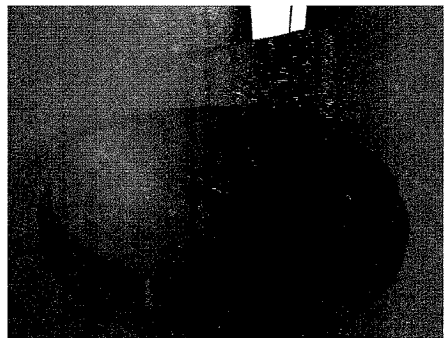


그림 5. 가시광선 영역 내의 웨이퍼 영상



그림 6. 필터를 사용한 웨이퍼 영상

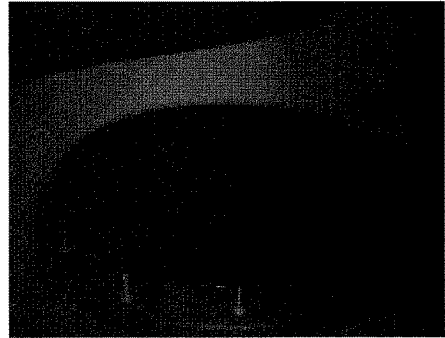


그림 8. 웨이퍼 영상

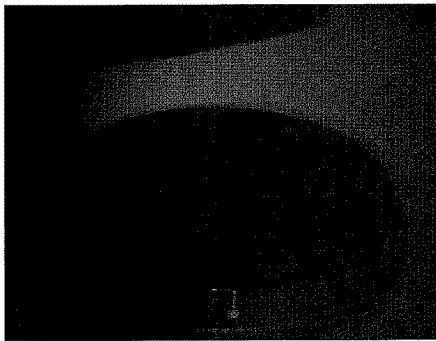


그림 7. 필터와 LED조명을 사용한 영상

외부 환경에 따른 잡음이 많이 들어온 모습을 볼 수 있다. 실제로 실험을 해보면 가시광선 영역에서는 주변 환경으로 인한 많은 잡음이 생기지만, 적외선 LED 조명과 적외선 필터를 사용한 영상은 주변 환경에 대한 잡음이 거의 없음을 알 수 있다. 본 실험에서 사용한 적외선 LED 조명과 적외선 필터는 715nm의 파장대를 사용하였다.

### 3. 캘리브레이션 (Calibration)

웨이퍼의 위치 오류를 찾기 위해서는 캘리브레이션, 등록(registration), 그리고 인식 과정 등 크게 3단계의 과정이 필요하다. 캘리브레이션 과정[5]이 필요한 이유는 카메라가 위치 때문이다. 만약 웨이퍼의 수직 방향에 카메라가 설치된다면 위치로 인한 왜곡이 거의 생기지 않는다. 하지만 웨이퍼의 위쪽은 로봇이 웨이퍼를 이동시키는 공간상의 이유로 인해 정중앙이 아닌 한쪽 벽에 설치되기 때문에 그림 8에서 볼 수 있듯이 실제로는 정 원인 웨이퍼가 원이 아닌 타원 모양의 형태로 카메라에 획득된다. 타원 모양으

로 영상이 획득 되면 영상처리를 통하여 정확한 중심점을 찾아내어 각 웨이퍼의 중심을 비교하기가 매우 힘들다. 또한 렌즈의 왜곡에 기인하여 실제의 물리적인 치수에 차이가 난다. 따라서 우리는 이러한 문제를 보완하기 위해서 캘리브레이션 과정을 통하여 타원 모양으로 획득된 웨이퍼 영상을 처리하여 웨이퍼의 경계를 구하고, 이를 실제크기의 원 모양으로 보정하여 오차를 구한다[2-3].

캘리브레이션 과정을 수행하기 위해서는 영상의 특정 좌표를 획득 하여 실제 맵핑될 좌표가 비교를 해야 한다. 이를 위해 아래 그림 9에서 보는 바와 같이 검은색 사각형과 흰색 사각형이 반복적으로 그려져 있는 체스보드를 사용한다. 여기서 OpenCV 라이브러리를 사용하여 각 코너의 좌표를 획득하게 된다. 또한 체스보드를 사람이 올려놓는 것이 아니라 로봇을 이용하여 클리닝 시스템 안으로 넣기 때문에 웨이퍼와 크기가 똑같아야 한다. 따라서 아래 그림 9에서 보는 바와 같이 지름이 약 300mm인 체스보드를 제작해야 한다. 한 사각형의 실제 길이는 3cm이며, 가로 세로 각각 7개의 사각형이 검은색과 흰색을 사용

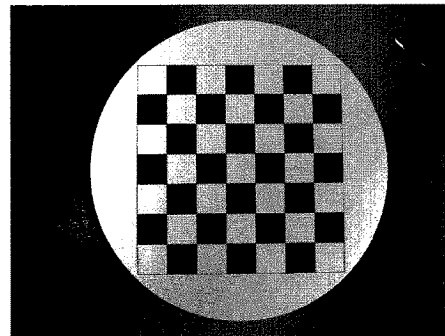


그림 9. 체스보드 영상

하여 반복적으로 채색 되어 있다. 이러한 체스보드판을 이용하여 가장자리 코너를 제외한 36개의 코너 좌표를 획득한다.

코너의 개수가 많으면 좀 더 정밀한 캘리브레이션 할 수 있지만 계산 시간이 오래 걸리고 웨이퍼와 동일한 크기 내에서 체스보드를 만들어야 하기 때문에 크기의 제약이 있다. 코너의 개수가 적으면 계산 시간을 단축시킬 수 있지만 캘리브레이션 과정에서 정확도가 떨어질 수 있다. 위에서 설명한 두 가지의 조건을 최대한 잘 만족 시키는 코너의 개수로 7\*7 체스 보드판 에서 외각 에지 부분을 제외한 36개의 코너 좌표 값을 이용한다. 체스보드에서 36개의 코너 좌표를 획득하여 순서대로 정렬을 하게 되면 아래 그림 10과 같은 화면이 디스플레이 된다. 각 코너마다 인덱스 번호를 부여 하여 정확히 정렬이 되었는지 알 수 있다. 여기서 인덱스 번호가 잘 못되면 정확한 캘리브레이션을 할 수 없다.

그림 10과 같이 코너가 획득되고 각 코너의 좌표를 사용할 수 있게 되면 이 좌표들을 우리가 원하는 실세계 좌표계로 변환을 해야 한다. 원래 체스보드는 정 사각형이지만 카메라에 획득된 영상은 그림 11의 왼쪽 영상과 같이 사다리꼴 모양을 하고 있다. 이 사다리꼴 모양의 좌표들을 그림 11의 오른쪽 영상과 같이 정사각형으로 변경 할 수 있다면, 타원 모양으로 획득된 웨이퍼 영상을 원으로 보정할 수 있을 것이다.

영상좌표계에서 각 코너의 좌표를 Q(x, y) 라고 할 때 이를 보정하기 위해서 실세계 좌표계 P(u, v)로 좌표를 맵핑해야 한다. 물론 하나의 코너 좌표만을 맵핑하는 것이 아니라 코너 좌표 36개 모두를 실세계 좌표계로 변환해야 한다. 이렇게 각 좌표를 맵핑하기

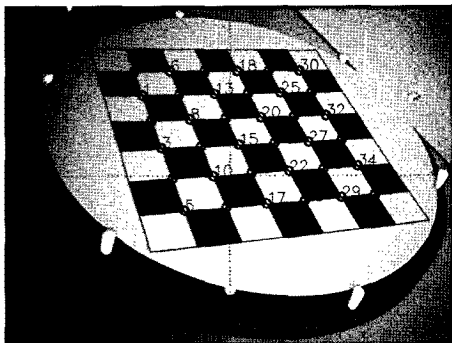


그림 10. 코너 인식 및 인덱스 부여

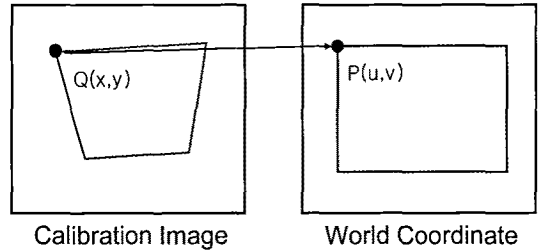


그림 11. 좌표 맵핑

위해서 하나의 함수가 필요하다. 아래 식 1은 좌표를 맵핑할 때 사용되는 함수이다[6].

$$(u,v) = \left( \frac{\alpha_1 x + \alpha_2 y + \alpha_3}{\alpha_7 x + \alpha_8 y + \alpha_9}, \frac{\alpha_4 x + \alpha_5 y + \alpha_6}{\alpha_7 x + \alpha_8 y + \alpha_9} \right) \quad (1)$$

체스보드를 통하여 각 코너의 좌표를 획득 하였고, 실세계 좌표계 P(u, v)도 알고 있기 때문에 식 1을 계산하여  $\alpha_1 \sim \alpha_9$  의 값을 구한다면 캘리브레이션 영상의 어떠한 좌표가 들어와도 식 1을 이용하여 실세계 좌표계로 변환 할 수 있다. 여기서 우리가 식 1에서 모르는 값이  $\alpha_1 \sim \alpha_9$ 이다. 즉 9개의 값을 모르기 때문에 이를 연립 방적식으로 풀어 좀 더 정확한 결과를 얻으려면 코너의 개수가 9개 이상이 되어야 한다.

식 1을 풀기 위해서는 우리가 알고 있는 값과 구해야 하는 값으로 나누어 행렬식으로 만든다. 아래 식 2는 식 1을 행렬식으로 정리한 것이다.

$$\begin{pmatrix} uw \\ vw \\ w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_1 & \alpha_2 & \alpha_3 \\ \alpha_4 & \alpha_5 & \alpha_6 \\ \alpha_7 & \alpha_8 & \alpha_9 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad (2)$$

식 2와 같이 식을 정리한 다음 다시 풀어서 정리하면 아래의 식 3과 같은 식을 도출해 낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \alpha_1 x + \alpha_2 y + \alpha_3 - u\alpha_7 x - u\alpha_8 y - u\alpha_9 &= 0 \\ \alpha_4 x + \alpha_5 y + \alpha_6 - u\alpha_7 x - u\alpha_8 y - u\alpha_9 &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

식 3을 정리하여 다시 행렬식으로 나타내면 아래의 식 4와 같은 형태로 나타내어진다.

$$\begin{pmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -u_1 x_1 & -u_1 y_1 & -u_1 \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & 1 & -v_1 x_1 & -v_1 y_1 & -v_1 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x_n & y_n & 1 & 0 & 0 & 0 & -u_n x_n & -u_n y_n & -u_n \\ 0 & 0 & 0 & x_n & y_n & 1 & -v_n x_n & -v_n y_n & -v_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \\ \alpha_4 \\ \alpha_5 \\ \alpha_6 \\ \alpha_7 \\ \alpha_8 \\ \alpha_9 \end{pmatrix} = 0 \quad (4)$$

식 4의에서  $A\alpha=0$  를 만족하여야 정확한 캘리브레이션이 이루어 졌다고 말할 수 있다. 하지만 현실적으로  $A\alpha=0$ 를 만족하기는 매우 힘들다. 따라서  $A\alpha$ 가 0에 가장 가까운 값을 찾아서 캘리브레이션을 수행한다. 따라서 위의 식을  $A^T A = X$ 라는 식을 이용하여  $X$ 라는 정방행렬을 구하여 여기에서 가장 작은 고유치에 대응하는 고유벡터들을  $\alpha$ 로 사용한다. 이렇게 해서  $\alpha_1 \sim \alpha_9$  값들을 구하여 식 1에 대입하면 캘리브레이션 영상의 모든 좌표들을 우리가 원하는 실세계 좌표계로 변환할 수 있게 되고 카메라에서 획득된 영상을 보정할 수 있다.

아래의 그림 12는 캘리브레이션 과정을 거쳐 좌표를 맵핑한 이미지이다 각 사다리꼴 모양이었던 각 코너의 좌표가 사각형으로 맵핑되어 있는 모습을 볼 수 있다.

지금까지 캘리브레이션 과정을 거쳐 왜곡된 이미지를 보정할 수 있었다. 하지만 로봇이 클리닝 시스템 속으로 체스 보드판을 옮기기 체스 보드판이 어떠한 형태로 놓여질 것인지 예상할 수가 없다. 아래 그림 13에는 보는 바와 같이 체스보드 판이 정확하게 놓여 지지 않고 각도가 틀어진 형태로 놓여 지게 되면 각 코너의 좌표를 정확하게 정렬할 수가 없어 이미지를 정확하게 보정할 수가 없다.

그림 13의 왼쪽 영상에서는 체스 보드판의 코너는 모두 인식하였지만 정렬이 제대로 되지 않아 인덱스 번호가 정렬되지 않은 모습을 볼 수 있다. 따라서 그림 13의 오른쪽 이미지에서 보는 바와 같이 영상이 제대로 보정이 되지 않음을 알 수 있다.

그림 13과 같은 문제점을 보완하기 위해서 각 좌표를 정점(vertex)으로 저장하고 이를 이용하여 에지(edge)와 면(face)를 만들었다. 이렇게 만들어진

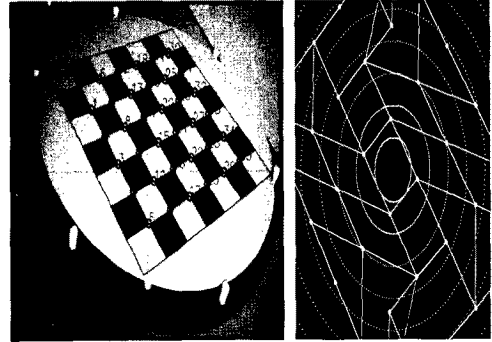


그림 13. 잘못된 캘리브레이션 영상

정점, 에지, 면은 링크드 리스트로 구성 되어 있기 때문에 하나의 정점을 알고 있으면 다음 정점과 이전의 정점을 찾아 낼 수가 있다. 따라서 정점의 위치를 추적하여 획득된 각 코너의 좌표를 명확하게 정렬할 수 있다. 코너의 좌표를 이용하여 에지와 면을 생성하게 되면 그림 14과 같은 모양을 가지게 된다. 여기서 각 정점에 연결된 에지의 개수를 카운트 하면 대부분 3개 이상의 에지와 연결되어 있지만, 경계쪽에 있는 정점은 2개의 에지와 연결된 부분이 있다는 것을 발견할 수 있다. 따라서 코너 좌표의 정렬을 시작할 때 정점과 연결된 에지의 개수가 2개인 것부터 정렬을 한다. 이렇게 정렬할 첫 번째 정점을 찾으면 다음 정점의 위치도 알 수 있기 때문에 차례대로 모든 정점들을 정렬 할 수가 있다[7].

캘리브레이션 과정을 거치게 되면  $\alpha_1 \sim \alpha_9$  의 9개의 캘리브레이션 파라미터가 생성 된다. 이 값들을 사용하여 현재 웨이퍼의 경계선 좌표를 식 1에 대입하면 타원 모양의 경계선이 원 모양의 경계선으로 보정된 새로운 좌표들을 구할 수 있다. 아래의 그림

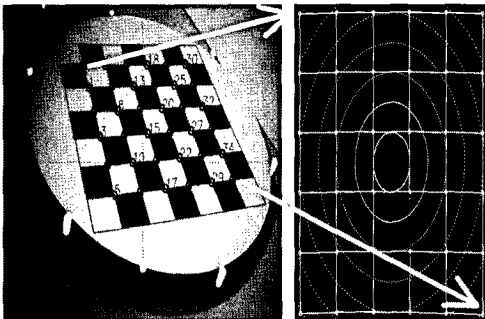


그림 12. 캘리브레이션 영상

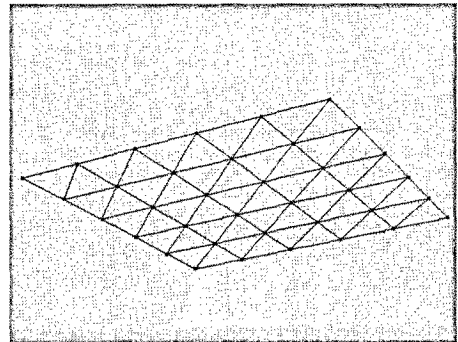


그림 14. 삼각화

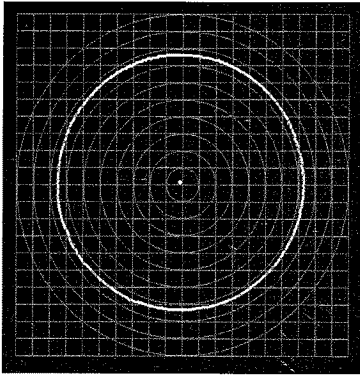


그림 15. 웨이퍼 경계의 보정된 영상

15는 원으로 보정된 웨이퍼의 경계선이 그려져 있고, 각 경계선의 좌표를 평균하여 구한 웨이퍼의 중심점이 이미지 가운데 표시되어 있는 것을 볼 수 있다[8].

#### 4. 영상처리 및 인식

캘리브레이션 과정이 끝나게 되면 실제 웨이퍼를 영상 처리 하여 중심점을 찾아내는 단계가 필요하다. 실제 웨이퍼를 클리닝 시스템 속에서 촬영하면 그림 16과 같은 영상을 획득 할 수 있다. 실제로 우리가 원하는 정보는 웨이퍼 에지에 관한 정보이다. 하지만 웨이퍼와, 웨이퍼 받침대, 배경 부분 등 실제 웨이퍼 경계를 찾는데 필요하지 않은 정보들이 영상에 포함되어 있는 것을 알 수 있다. 또한 웨이퍼가 장착되는 최대 허용 오차 범위내에서만 처리하면 되기 때문에 처리 영역은 그림 17과 같이 된다. 이 중심점을 식

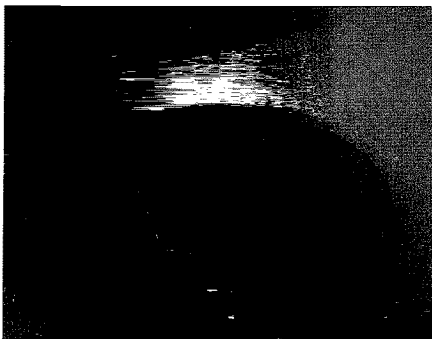


그림 16. 획득 영상

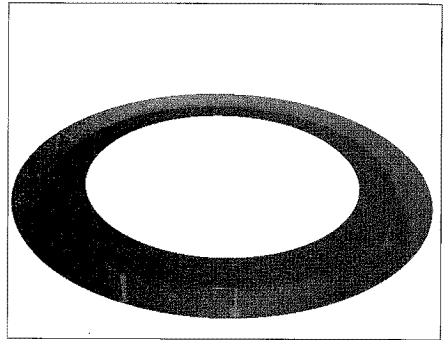


그림 17. 불필요한 부분을 삭제한 이미지

있으므로 웨이퍼의 실제 길이가 약 300mm에 해당하는 영상에서의 역 매핑에 의해 계산한 결과의 영상이 나온 것이다.

그림 17의 영상내에 웨이퍼의 경계를 찾기 위해 휘도변화에 대처하기 위한 Threshold Value를 사용하여 이진화 하는 방법이 있으나[9-10]. 여기서 에지를 찾는 방법이 훨씬 좋은 결과가 나오므로 Canny 에지 검출 알고리즘을 사용하였다. Canny 에지 검출에서는 세 가지의 파라미터가 필요하다. 영상을 스무딩(smoothing) 시킬 때 인접한 몇 픽셀의 정보를 이용하여 스무딩 시킬 것인가 하는 정보, low threshold value와 high threshold value가 파라미터로 필요하다. 이러한 값은 조명의 세기 및 재료의 반사특성에 의존한다. 본 실험에서는 인접한 두 픽셀을 이용하여 스무딩 하였으며, low threshold value는 20, high threshold value는 70으로 지정하였다. 이러한 값을 이용하여 에지를 찾은 결과 영상은 아래의 그림 18과 같다. 그림 18에서는 웨이퍼와 웨이퍼 받침대의 일부 분 즉, 색이 비슷한 부분에서는 에지가 찾아지지 않

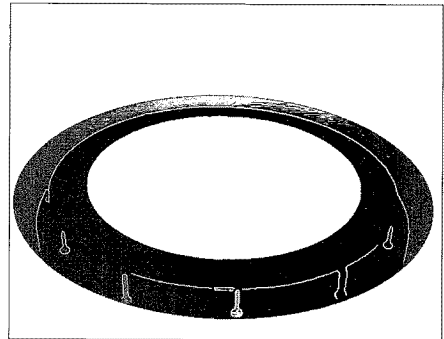


그림 18. 에지 검출 영상

았다. 이러한 부분의 에지까지 찾으려면 주변에 너무 많은 에지들이 동시에 생성 되므로, 실험 환경의 상황에 맞게 낮은 문턱치와 높은 문턱치 값을 지정하여 영상 처리 하기 좋은 값을 선택 하여야 한다.

그림 18를 보면 적당한 에지가 찾아지긴 했지만 우리가 원하지 않는 에지들 까지 찾아진 모습을 볼 수 있다. 웨이퍼 받침대와 웨이퍼를 받치고 있는 핀의 에지가 같이 찾아지기 때문에 좀 더 정확한 결과를 위해서는 이러한 부분들을 삭제 시켜 주어야 한다. 이러한 부분들은 마우스를 이용하여 영역을 지정하여 마스크처리를 한다. 아래의 그림 19는 이의 결과 영상으로, 처음 한번만 해주면 그 영역을 저장해 놓기 때문에 실제 처리과정에서는 그 영역을 제외하고 수행한다. 즉, 클리닝 시스템이 가동되더라도 우리가 화면을 캡처 할 때의 핀의 위치는 항상 동일하므로 한번만 영역을 지정해 주고 저장해 놓으면 시스템 환경이 완전히 바뀌기 전까지는 시스템에서 저장된 영역을 자동으로 삭제 한다.

불필요한 에지를 삭제 시켜주고 중심에서 약 150mm에 위치한 에지들의 정보를 획득하게 된다. 웨이퍼의 실제 크기가 약 300mm 이기 때문에 중심에서 150mm 근처에 위치한 에지는 웨이퍼의 에지임을 알 수 있다. 이러한 에지들의 정보를 이용하여 중심점을 찾아내면 현재 클리닝 시스템 속에 있는 웨이퍼의 실제 중심점을 알게 된다. 이렇게 찾아진 중심점과 캘리브레이션 단계에서 찾은 체스보드의 중심점을 비교하면 우리가 원하는 웨이퍼의 위치 에러를 알아낼 수 있다.

지금까지 수행된 과정에서 두 웨이퍼를 비교하여 서로 다른 위치에 놓여져 있다는 것을 알았지만 정확히 얼마나 움직였는지 확인할 수 없기 때문에 현재의

경계선 좌표를 이용하여 이를 원으로 보정해 주어야 한다. 원은 영상에서 검출된 웨이퍼 에지를 가지고 캘리브레이션 단계에서 획득한 캘리브레이션 파라미터와 식 1을 이용하여 매핑한 다음 최소자승 근사화(least square approximation)에 의해 원으로 보정 시킨다[8]. 아래의 그림 20은 경계선과 중심점을 서로 비교한 것이다.

이제 두 웨이퍼 간의 차이를 확실히 볼 수가 있다. 중심점의 좌표를 이용하여 얼마나 차이가 나는지 알 수 있으며, 이 위치 오차가 1.5mm 이상일 때만 클리닝 시스템의 작동을 중지 시키면 웨이퍼의 파손 및 클리닝 시스템의 고장을 미연에 방지 할 수 있을 것이다. 처리과정은 계속해서 새로운 웨이퍼가 클리닝 시스템 속으로 들어오기 때문에 새로운 웨이퍼가 들어올 때 마다 체크를 해 주어야 한다. 그러므로 시스템이 완전히 정지하기 전까지 계속해서 반복 수행되는 것이다. 만약 시스템이 정지 되더라도 카메라의 위치와 조명의 밝기가 비슷하다면 다시 시스템을 가동할 때 캘리브레이션 과정과 등록과정은 생략해도 같은 결과를 얻을 수 있다. 하지만 환경이 변화 하였다면 캘리브레이션과 등록과정을 다시 한번 수행해 주어야 한다.

## 5. 실험 결과 및 결론

비교 실험을 위해서 두 대의 카메라를 이용하여 동시에 웨이퍼를 촬영 하였다. 실제 클리닝 시스템 환경에서는 위쪽에 카메라를 설치 할 수 없지만, 테스트를 하기 위해서 임의로 웨이퍼의 위쪽에 카메라를 설치하였다. 따라서 하나의 카메라는 옆쪽에서 촬

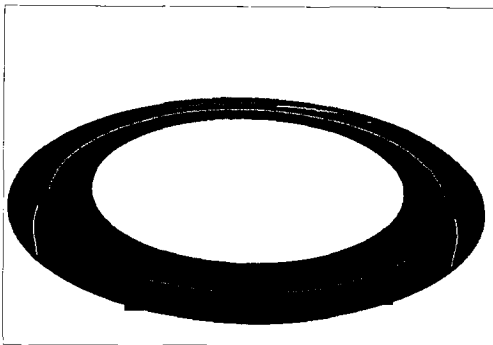


그림 19. 불필요한 에지를 삭제한 이미지

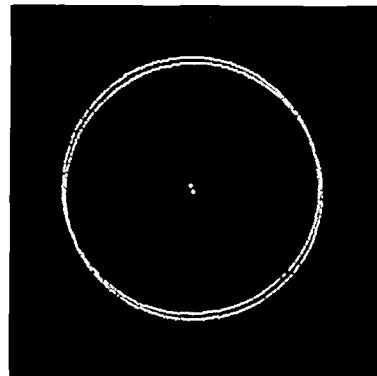


그림 20. 중심점 비교 이미지



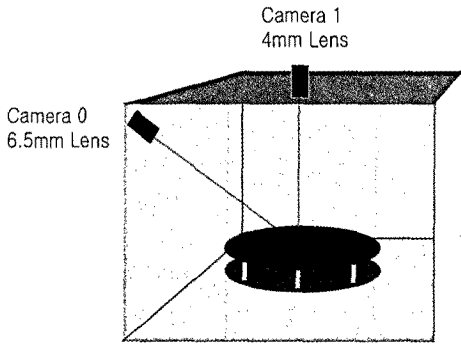


그림 21. 실험 환경

영하고, 다른 하나의 카메라는 웨이퍼의 위쪽에서 촬영 하였다. 웨이퍼와 두 카메라 간의 거리가 다르기 때문에 동일한 영상을 획득하기 위하여 서로 다른 렌즈를 사용하였다. 앞 쪽 카메라 렌즈는 6.5mm이며, 위쪽 렌즈의 카메라는 4mm 렌즈를 사용 하였다.

실험 방법은 먼저 체스 보드를 이용하여 캘리브레이션 하고, 캘리브레이션 과정이 끝나게 되면 웨이퍼를 올려 동시에 화면을 캡처 한다. 동일한 시간에 동일한 웨이퍼를 두 대의 카메라를 이용하여 캡처

표 2. 웨이퍼 반복 측정 정밀도

	Error	X	Y	Radius
0-1	0.035	0.010	-0.033	150.610
0-2	0.023	0.002	-0.023	150.619
0-3	0.035	0.009	-0.034	150.615
0-4	0.021	-0.006	-0.019	150.610
0-5	0.037	0.003	-0.036	150.620
0-6	0.017	-0.010	-0.014	150.622
0-7	0.035	0.001	-0.034	150.604
0-8	0.031	0.007	-0.030	150.614
0-9	0.035	-0.007	-0.034	150.621
0-10	0.038	0.011	-0.037	150.616

	Error	X	Y	Radius
1-1	0.041	0.026	-0.031	150.589
1-2	0.019	0.015	-0.012	150.576
1-3	0.035	0.033	-0.011	150.573
1-4	0.044	0.044	0.007	150.561
1-5	0.021	0.020	0.007	150.566
1-6	0.029	0.025	-0.014	150.570
1-7	0.018	0.016	-0.008	150.561
1-8	0.026	0.014	-0.021	150.575
1-9	0.024	0.011	-0.021	150.561
1-10	0.059	0.059	-0.003	150.563

하게 되면 두 카메라가 감지하고 있는 웨이퍼의 위치를 알 수 있게 된다. 아래의 표는 실험 결과를 나타낸 표이다. 10번의 실험을 하였으며, 0번은 코너에 설치된 카메라로 찍은 영상으로 웨이퍼의 위치 에러를 찾은 것이며, 1은 웨이퍼의 위쪽에 설치된 카메라를 이용하여 웨이퍼의 에러를 찾은 것이다. 오차값은 실제 오차값이며, 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 평균 0.02mm 정도의 에러가 발생한다. 이는 웨이퍼 움직임을 찾는데 크게 영향을 줄 정도가 아니다. 카메라의 위치에 따른 에러도 크게 발생하지 않는다. 하지만 반도체 생성과정에서는 무리 없이 사용하기 위해 더욱 정밀한 결과를 도출해 낼 수 있도록 해야 한다.

본 논문에서는 반도체 웨이퍼 클리닝 공정에서 웨이퍼의 장착위치를 검사하는 시스템을 제안하였다. 장비의 공간적인 제한과, 비용절감으로 위해 각 웨이퍼당 1대의 카메라를 사용하였다. 여기서 추출된 웨이퍼 경계의 타원 모양을 원으로 보정해주는 캘리브레이션 과정의 제안과, 주변의 조명에 무관한 강인한 시스템을 만들기 위하여 적외선 조명과 필터를 사용하였다. 실험 결과, 만족할 만한 결과를 얻었으나, 추후 오차를 더 줄이기 위해, 체스보드 캘리브레이션 이외에 방사형 보드를 제작하여 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* Vol.3331, pp. 179-188, 1998.

[2] R. K. Nurani, R. Akella, A. J. Strojwas, R.Wallace, M. G. McIntyre, J. Shields, and I. Emami, "Development of an optimal sampling strategy for wafer inspection," *International Symposium on Semiconductor Manufacturing*, pp. 143-146, 1994.

[3] 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.

- [4] Tianhe Yu, Qiuming Li, and Jingmin Dai, "New enhancement of infrared image based on human visual system," *Chinese Optics Letters*, Vol.7, No.3, pp. 206-209, 2009.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] G. Leach, "Improving worst-case optimal Delaunay triangulation algorithms," *Proceedings of the 4th Canadian Conference on Computational Geometry*, pp. 340-346, June 1992.
- [8] 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, Mar.
- [9] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, *Digital Image Processing*, 2nd Edition, Prentice Hall, 2002.
- [10] I. D. Coope, "Circle fitting by linear and non-linear least squares," *Journal of Optimization Theory and Applications*, Vol.76, No.2, pp. 381-388, 1993.



이 정 우

2008년 동서대학교 컴퓨터공학과 졸업(학사)  
 2009년 동서대학교 일반대학원 영상콘텐츠학과 재학(석사)  
 관심분야 : 컴퓨터그래픽스, 영상처리, 컴퓨터 비전



이 병 국

1987년 연세대학교 수학과 졸업(학사)  
 1989년 KAIST 응용수학과 졸업(석사)  
 1993년 KAIST 수학과 졸업(박사)

1993년~1995년 데이콤 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