



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0173941
(43) 공개일자 2024년12월16일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 21/88 (2006.01) G01N 21/95 (2006.01)
G06N 3/08 (2023.01) G06T 5/00 (2024.01)
G06T 7/00 (2017.01) H01L 21/66 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01N 21/8851 (2013.01)
G01N 21/9501 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-0073089
(22) 출원일자 2023년06월07일
심사청구일자 없음

(71) 출원인
에스케이하이닉스 주식회사
경기도 이천시 부발읍 경충대로 2091
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암
동5가)
(72) 발명자
김정환
경기도 이천시 부발읍 경충대로 2091
김윤일
경기도 이천시 부발읍 경충대로 2091
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
김성남

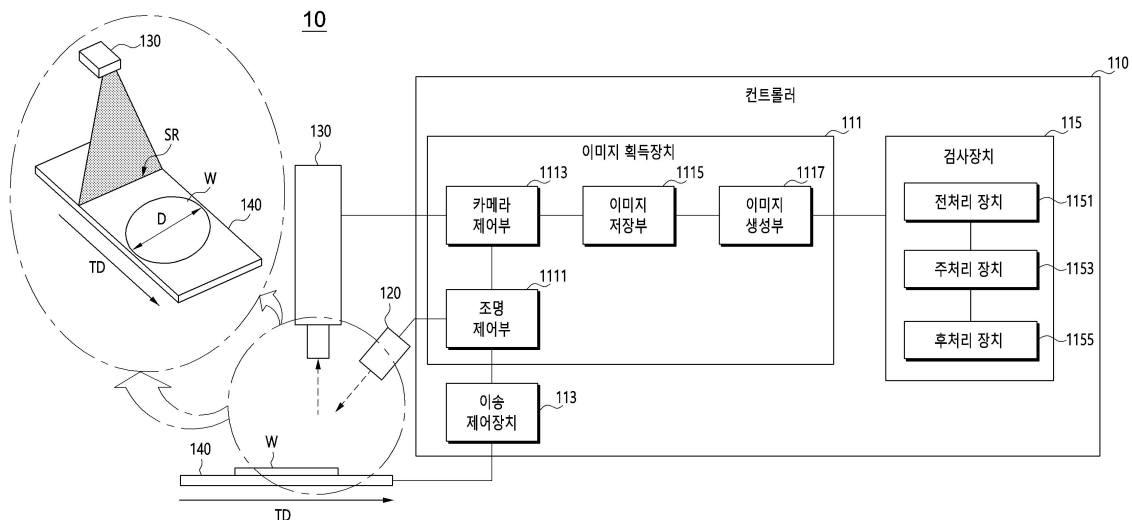
전체 청구항 수 : 총 24 항

(54) 발명의 명칭 입력 데이터 전처리 장치 및 방법과, 이를 이용한 반도체 디바이스 검사 시스템

(57) 요약

일 실시예에 의한 입력 데이터 전처리 장치는 이송레일을 통해 이송되는 대상물을 촬상하는 라인스캔 카메라의 촬상 속도에 기초하여 표준 이미지를 가공하여 왜곡 이미지를 생성하고, 표준 이미지 및 왜곡 이미지 간의 차이가 최소화되도록 학습하여 플로우 추정모델을 생성하는 플로우 추정모델 생성부 및, 검사대상 이미지를 상기 플로우 추정모델에 기초하여 복원하도록 구성되는 왜곡 보정부를 포함하도록 구성될 수 있다.

대표도



(52) CPC특허분류

G06N 3/08 (2023.01)
G06T 5/80 (2024.01)
G06T 7/0004 (2013.01)
H01L 22/12 (2013.01)
G01N 2021/8883 (2013.01)
G01N 2021/8887 (2013.01)
G01N 2201/127 (2013.01)
G06T 2207/30148 (2013.01)

(72) 발명자

이승철

경기도 이천시 부발읍 경충대로 2091

정승원

서울특별시 서초구 서초대로35길 13-10, 113동
1603호

이홍재

서울특별시 동대문구 약령서길 52 402호

정우석

서울특별시 서대문구 서소문로 45, 423호

명세서

청구범위

청구항 1

이송레일을 통해 이송되는 대상물을 촬상하는 라인스캔 카메라의 촬상 속도에 기초하여 표준 이미지를 가공하여 왜곡 이미지를 생성하고, 상기 표준 이미지 및 상기 왜곡 이미지 간의 차이가 최소화되도록 학습하여 플로우 추정모델을 생성하는 플로우 추정모델 생성부; 및

검사대상 이미지를 상기 플로우 추정모델에 기초하여 복원하도록 구성되는 왜곡 보정부;

를 포함하도록 구성되는 입력 데이터 전처리 장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 플로우 추정모델 생성부는, 입력 데이터로 제공되는 이미지를 구성하는 각 픽셀이 이동한 방향과 정도를 나타내는 플로우를 추적하며, 상기 왜곡 이미지의 플로우가 상기 표준 이미지의 플로우를 추종하도록 상기 플로우 추정모델을 생성하는 데이터 전처리 장치.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 플로우 추정모델 생성부는 상기 플로우 추정모델을 이용하여 상기 검사대상 이미지의 플로우 예측값을 추론하고,

상기 왜곡 보정부는 상기 플로우 예측값에 따라 상기 검사대상 이미지의 왜곡을 복원하도록 구성되는 입력 데이터 전처리 장치.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 왜곡 보정부는, 상기 검사대상 이미지의 각 픽셀을 상기 플로우 예측값에 따라 이동시키도록 구성되는 입력 데이터 전처리 장치.

청구항 5

제 3 항에 있어서,

상기 플로우 추정모델 생성부는,

입력 데이터로 제공되는 이미지를 구성하는 각 픽셀이 이동한 방향과 정도를 나타내는 플로우를 추적하며, 상기 왜곡 이미지와 상기 표준 이미지 간의 플로우를 추적하여 플로우 정답값을 생성하도록 구성되고,

상기 왜곡 보정부는,

다own스케일된 검사대상 이미지로부터 플로우를 추적하고 업스케일하여 1차 플로우 예측값을 출력하는 1차 복원부; 및

상기 1차 플로우 예측값을 복수의 플로우 예측 패치로 구분하고, 상기 플로우 정답값을 복수의 플로우 정답 패치로 구분하여, 각 플로우 예측 패치가 대응하는 플로우 정답 패치에 근사하도록 상기 1차 플로우 예측값을 수정한 2차 플로우 예측값에 기초하여 상기 검사 대상 이미지를 복원하도록 구성되는 2차 복원부;

를 포함하도록 구성되는 입력 데이터 전처리 장치.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 2차 복원부는, 상기 검사대상 이미지의 각 픽셀을 상기 2차 플로우 예측값에 따라 이동시키도록 구성되는 입력 데이터 전처리 장치.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 플로우 추정모델 생성부는,

상기 라인스캔 카메라의 촬상 속도를 제어하는 파라미터에 기초하여 상기 촬상 속도를 가우시안 속도 모델로 생성하고, 상기 가우시안 속도 모델의 역가우시안 분포에 기초하여 상기 플로우 추정모델을 생성하는 단계는, 표준 이미지의 픽셀별 중복 횟수를 결정하는 카메라 속도 모델 생성부;

상기 이송레일의 이송 방향과 수직하는 방향으로 상기 표준 이미지를 분할하여 복수의 부분 이미지를 생성하고, 상기 복수의 부분 이미지 각각을 상기 픽셀별 중복 횟수에 따라 복사하고 상기 표준 이미지 크기로 리사이징하여 왜곡 이미지를 출력하는 이미지 가공부;

입력 이미지를 구성하는 각 픽셀이 이동한 방향과 정도를 나타내는 플로우를 추적하며, 상기 왜곡 이미지와 상기 표준 이미지 간의 플로우를 추적하여 플로우 정답값을 생성하는 플로우 추적부; 및

상기 왜곡 이미지의 플로우를 추적한 플로우 예측값과 상기 플로우 정답값 간의 차이를 계산하는 목적함수를 최소화하도록 플로우 예측값을 학습하여 플로우 추정모델을 생성하는 플로우 예측부;

를 포함하도록 구성되는 입력 데이터 전처리 장치.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 카메라 속도 모델 생성부는, 상기 가우시안 속도 모델의 평균 및 분산을 랜덤하게 샘플링하여 복수의 역가우시안 분포를 생성하도록 구성되는 입력 데이터 전처리 장치.

청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 이미지 가공부는, 상기 복수의 역가우시안 분포에 기초하여 하나의 표준 이미지로부터 복수의 왜곡 이미지를 생성하도록 구성되는 입력 데이터 전처리 장치.

청구항 10

제 7 항에 있어서,

상기 플로우 예측부는, 새로운 표준 이미지가 입력되는 경우 또는 검사대상 이미지가 입력되는 경우 상기 플로우 추정모델을 재학습하도록 구성되는 데이터 전처리 장치.

청구항 11

입력 데이터 전처리 장치가, 이송레일을 통해 이송되는 대상물을 촬상하는 라인스캔 카메라의 촬상 속도에 기초하여 표준 이미지를 가공하여 왜곡 이미지를 생성하는 단계;

상기 입력 데이터 전처리 장치가, 상기 표준 이미지 및 상기 왜곡 이미지 간의 차이가 최소화되도록 학습하여 플로우 추정모델을 생성하는 단계; 및

상기 입력 데이터 전처리 장치가, 검사대상 이미지를 상기 플로우 추정모델에 기초하여 복원하는 단계;

를 포함하도록 구성되는 입력 데이터 전처리 방법.

청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 입력 데이터 전처리 장치는, 입력 데이터로 제공되는 이미지를 구성하는 각 픽셀이 이동한 방향과 정도를 나타내는 플로우를 추적하도록 구성되고,

상기 플로우 추정모델을 생성하는 단계는, 상기 왜곡 이미지의 플로우가 상기 표준 이미지의 플로우를 추종하는 상기 플로우 추정모델을 생성하는 단계를 포함하는 입력 데이터 전처리 방법.

청구항 13

제 11 항에 있어서,

상기 복원하는 단계는, 상기 플로우 추정모델을 이용하여 상기 검사대상 이미지의 플로우 예측값을 추론하는 단계; 및

상기 플로우 예측값에 따라 상기 검사대상 이미지의 왜곡을 복원하는 단계;

를 더 포함하도록 구성되는 입력 데이터 전처리 방법.

청구항 14

제 13 항에 있어서,

상기 복원하는 단계는, 상기 검사대상 이미지의 각 픽셀을 상기 플로우 예측값에 따라 이동시키는 단계를 포함하도록 구성되는 입력 데이터 전처리 방법.

청구항 15

제 13 항에 있어서,

상기 입력 데이터 전처리 장치는 입력 데이터로 제공되는 이미지를 구성하는 각 픽셀이 이동한 방향과 정도를 나타내는 플로우를 추적하도록 구성되고,

상기 왜곡 이미지와 상기 표준 이미지 간의 플로우를 추적하여 플로우 정답값을 생성하는 단계;

다운스케일된 검사대상 이미지로부터 플로우를 추적하고 업스케일하여 1차 플로우 예측값을 출력하는 단계;

상기 1차 플로우 예측값을 복수의 플로우 예측 패치로 구분하고, 상기 플로우 정답값을 복수의 플로우 정답 패치로 구분하여, 각 플로우 예측 패치가 대응하는 플로우 정답 패치에 근사하도록 상기 1차 플로우 예측값을 수정한 2차 플로우 예측값을 출력하는 단계; 및

상기 2차 플로우 예측값에 기초하여 상기 검사 대상 이미지를 복원하는 단계;

를 포함하도록 구성되는 입력 데이터 전처리 방법.

청구항 16

제 15 항에 있어서,

상기 2차 플로우 예측값에 기초하여 복원하는 단계는, 상기 검사대상 이미지의 각 픽셀을 상기 2차 플로우 예측값에 따라 이동시키는 단계를 포함하도록 구성되는 입력 데이터 전처리 방법.

청구항 17

제 11 항에 있어서,

상기 왜곡 이미지를 생성하는 단계는,

상기 라인스캔 카메라의 촬상 속도를 제어하는 파라미터에 기초하여 상기 촬상 속도를 가우시안 속도 모델로 생성하는 단계;

상기 가우시안 속도 모델의 역가우시안 분포를 생성하고, 상기 역가우시안 분포에 기초하여 상기 표준 이미지의 픽셀별 중복 횟수를 결정하는 단계;

상기 이송레일의 이송 방향과 수직하는 방향으로 상기 표준 이미지를 분할하여 복수의 부분 이미지를 생성하는 단계; 및

상기 복수의 부분 이미지 각각을 상기 픽셀별 중복 횟수에 따라 복사하고 상기 표준 이미지 크기로 리사이징하여 상기 왜곡 이미지를 출력하는 단계;

를 포함하도록 구성되는 입력 데이터 전처리 방법.

청구항 18

제 17 항에 있어서,

상기 역가우시안 분포를 생성하는 단계는, 상기 가우시안 속도 모델의 평균 및 분산을 랜덤하게 샘플링하여 복수의 역가우시안 분포를 생성하는 단계를 포함하도록 구성되는 입력 데이터 전처리 방법.

청구항 19

제 18 항에 있어서,

상기 왜곡 이미지를 생성하는 단계는, 상기 복수의 역가우시안 분포에 기초하여 하나의 표준 이미지로부터 복수의 왜곡 이미지를 생성하는 단계를 포함하도록 구성되는 입력 데이터 전처리 방법.

청구항 20

제 11 항에 있어서,

상기 입력 데이터 전처리 장치는, 입력 이미지를 구성하는 각 픽셀이 이동한 방향과 정도를 나타내는 플로우를 추적하도록 구성되고,

상기 왜곡 추정모델을 생성하는 단계는,

상기 왜곡 이미지와 상기 표준 이미지 간의 플로우를 추적하여 플로우 정답값을 생성하는 단계;

상기 왜곡 이미지의 플로우를 추적한 플로우 예측값과 상기 플로우 정답값 간의 차이를 계산하는 목적함수를 최소화하도록 플로우 예측값을 학습하여 상기 플로우 추정모델을 생성하는 단계;

를 포함하도록 구성되는 입력 데이터 전처리 방법.

청구항 21

제 20 항에 있어서,

새로운 표준 이미지가 입력되는 경우 또는 검사대상 이미지가 입력되는 경우 상기 플로우 추정모델을 재학습하도록 구성되는 데이터 전처리 방법.

청구항 22

이송레일을 통해 이송되는 웨이퍼를 라인스캔 카메라로 촬영하여 검사하는 반도체 디바이스 검사 시스템으로서,

상기 이송레일을 통해 이송되는 대상물을 촬상하는 라인스캔 카메라의 촬상 속도에 기초하여 표준 이미지를 가공하여 왜곡 이미지를 생성하고, 상기 표준 이미지 및 상기 왜곡 이미지 간의 차이가 최소화되도록 학습하여 플로우 추정모델을 생성하는 플로우 추정모델 생성부 및, 상기 웨이퍼를 촬영한 검사대상 이미지를 상기 플로우 추정모델에 기초하여 보정하여 복원 이미지를 출력하는 왜곡 보정부를 포함하도록 구성되는 전처리 장치;

상기 복원 이미지를 분석하여 결함을 검출하는 주처리 장치; 및

상기 주처리 장치의 검출 결과를 기초로 상기 웨이퍼의 양/불을 판정하는 후처리 장치;

를 포함하도록 구성되는 반도체 디바이스 검사 시스템.

청구항 23

제 22 항에 있어서,

상기 플로우 추정모델 생성부는, 입력 데이터로 제공되는 이미지를 구성하는 각 픽셀이 이동한 방향과 정도를 나타내는 플로우를 추적하며, 상기 왜곡 이미지의 플로우가 상기 표준 이미지의 플로우를 추종하도록 상기 플로우 추정모델을 생성하는 반도체 디바이스 검사 시스템.

청구항 24

제 22 항에 있어서,

상기 플로우 추정모델 생성부는 상기 플로우 추정모델을 이용하여 상기 검사대상 이미지의 플로우 예측값을 추론하고,

상기 왜곡 보정부는 상기 플로우 예측값에 따라 상기 검사대상 이미지의 왜곡을 복원하도록 구성되는 입력 반도체 디바이스 검사 시스템.

발명의 설명**기술 분야**

[0001] 본 기술은 비전 시스템(Vision system)에 관한 것으로, 보다 구체적으로는 입력 데이터 전처리 장치 및 방법과, 이를 이용한 반도체 디바이스 검사 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 반도체 공정 중 이물, 스크래치 등의 불량을 검사하거나 웨이퍼 두께, 패턴 크기 등을 계측하기 위하여 비전 시스템을 이용할 수 있다.

[0003] 비전 시스템의 성능은 계속해서 고도화되고 있으며, 공정 난이도가 증가함에 따라 더욱 고성능화 될 것이 요구된다.

[0004] 비전 시스템이 정확한 검사 또는 계측을 수행하기 위해서는 입력 데이터의 신뢰성이 담보되어야 한다.

발명의 내용**해결하려는 과제**

[0005] 본 기술의 실시예는 입력 데이터의 왜곡을 보정할 수 있는 입력 데이터 전처리 장치 및 방법과, 이를 이용한 반도체 디바이스 검사 시스템을 제공할 수 있다.

과제의 해결 수단

[0006] 본 기술의 일 실시예에 의한 입력 데이터 전처리 장치는 이송레일을 통해 이송되는 대상물을 촬상하는 라인스캔 카메라의 촬상 속도에 기초하여 표준 이미지를 가공하여 왜곡 이미지를 생성하고, 상기 표준 이미지 및 상기 왜곡 이미지 간의 차이가 최소화되도록 학습하여 플로우 추정모델을 생성하는 플로우 추정모델 생성부; 및 검사대상 이미지를 상기 플로우 추정모델에 기초하여 복원하도록 구성되는 왜곡 보정부;를 포함하도록 구성될 수 있다.

[0007] 본 기술의 일 실시예에 의한 입력 데이터 전처리 방법은 입력 데이터 전처리 장치가, 이송레일을 통해 이송되는 대상물을 촬상하는 라인스캔 카메라의 촬상 속도에 기초하여 표준 이미지를 가공하여 왜곡 이미지를 생성하는 단계; 상기 입력 데이터 전처리 장치가, 상기 표준 이미지 및 상기 왜곡 이미지 간의 차이가 최소화되도록 학습하여 플로우 추정모델을 생성하는 단계; 및 상기 입력 데이터 전처리 장치가, 검사대상 이미지를 상기 플로우 추정모델에 기초하여 복원하는 단계;를 포함하도록 구성될 수 있다.

[0008] 본 기술의 일 실시예에 의한 반도체 디바이스 검사 시스템은 이송레일을 통해 이송되는 웨이퍼를 라인스캔 카메라로 촬영하여 검사하는 반도체 디바이스 검사 시스템으로서, 상기 이송레일을 통해 이송되는 대상물을 촬상하는 라인스캔 카메라의 촬상 속도에 기초하여 표준 이미지를 가공하여 왜곡 이미지를 생성하고, 상기 표준 이미지 및 상기 왜곡 이미지 간의 차이가 최소화되도록 학습하여 플로우 추정모델을 생성하는 플로우 추정모델 생성부 및, 상기 웨이퍼를 촬영한 검사대상 이미지를 상기 플로우 추정모델에 기초하여 보정하여 복원 이미지를 출력하는 왜곡 보정부를 포함하도록 구성되는 전처리 장치; 상기 복원 이미지를 분석하여 결함을 검출하는 주처리 장치; 및 상기 주처리 장치의 검출 결과를 기초로 상기 웨이퍼의 양/불을 판정하는 후처리 장치;를 포함하도록 구성될 수 있다.

발명의 효과

[0009] 본 기술에 의하면 촬상 장치의 특성을 시뮬레이션하여 가상의 왜곡 이미지를 생성하고, 이에 기초하여 왜곡 보정값을 예측할 수 있다.

[0010] 따라서, 충분한 학습 데이터를 실제로 취득하지 않고도 입력 데이터의 왜곡을 보정할 수 있어 비전 시스템의 신뢰성을 향상시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0011] 도 1은 일 실시예에 의한 반도체 디바이스 검사 시스템의 구성도이다.

도 2는 일 실시예에 의한 입력 데이터 전처리 장치의 구성도이다.

도 3은 일 실시예에 의한 플로우 추정모델 생성부의 구성도이다.

도 4는 일 실시예에 의한 왜곡 이미지 생성 및 플로우 추적 개념을 설명하기 위한 도면이다.

도 5는 일 실시예에 의한 플로우 예측 개념을 설명하기 위한 도면이다.

도 6은 일 실시예에 의한 웨이퍼 영상의 주파수 특성을 설명하기 위한 도면이다.

도 7은 일 실시예에 의한 왜곡 보정 개념을 설명하기 위한 도면이다.

도 8은 일 실시예에 의한 왜곡 보정부의 구성도이다.

도 9는 일 실시예에 의한 왜곡 보정 개념을 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0012] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 기술의 실시예를 보다 구체적으로 설명한다.

[0013] 도 1은 일 실시예에 의한 반도체 디바이스 검사 시스템의 구성도이다.

[0014] 반도체 디바이스 검사 시스템(10)은 반도체 소자 제조를 위한 웨이퍼 처리 장치, 예를 들어 증착, 식각, 연마 장치 등에 장착될 수 있으며, 웨이퍼 처리 장치 내에서 기 설정된 이송 경로를 따라 이송되는 대상물 즉, 웨이퍼(W)의 이미지를 획득하고 검사하기 위해 사용될 수 있다. 일 실시예에서, 반도체 디바이스 검사 시스템(10)은 비전 시스템일 수 있다.

[0015] 도 1을 참조하면, 반도체 디바이스 검사 시스템(10)은 컨트롤러(110), 라인빔(line beam) 발생기(120), 라인스캔 카메라(130) 및 이송 레일(140)을 포함할 수 있다.

[0016] 컨트롤러(110)는 반도체 디바이스 검사 시스템(10)의 전체적인 동작을 제어하도록 구성된다.

[0017] 라인빔 발생기(120)는 직선 형태의 라인빔을 발생하는 장치로 구현할 수 있다. 일 실시예에서, 라인빔 발생기(120)는 레이저 광원으로부터 출사되는 빔을 광학계를 통과시켜 목적하는 선폭을 갖는 선형의 라인빔으로 출력할 수 있다.

[0018] 라인빔 발생기(120)는 웨이퍼(W) 상면의 일측 상방에서 웨이퍼(W) 상면에 라인빔을 조사할 수 있다. 라인빔의 길이는 적어도 웨이퍼(W)의 지름(D)보다 크게 설정될 수 있다.

[0019] 이송 레일(140)은 컨트롤러(110)로부터 제공되는 제어 파라미터에 따라 웨이퍼(W)를 정해진 속도 및 방향으로 이송할 수 있다. 실시예에 따라 이송 레일(140)은 미리 정해진 위치에서 수평면에 수직하는 웨이퍼(W)의 중심축을 기준으로 웨이퍼(W)를 정해진 각도(예를 들어, 180°) 또는 임의의 각도로 수평 회전시킬 수 있다.

[0020] 웨이퍼(W) 상면을 기준으로, 웨이퍼(W)의 이송 방향인 제 1 방향((TD, 로우(row) 방향))과 라인빔의 길이 방향인 제 2 방향은 수직할 수 있다.

[0021] 라인스캔 카메라(130)는 이송 레일(140)의 수직 상부에 배치될 수 있다. 라인스캔 카메라(130)는 제 1 방향(TD)과 수평면을 기준으로 수직하는 제 2 방향(컬럼(column) 방향)으로 연장하는 스캔 영역(SR) 즉, 라인빔 조사 영역을 연속적으로 촬상하여 촬상 시점마다 부분 이미지를 획득할 수 있다. 획득된 부분 이미지는 컨트롤러(110)로 제공될 수 있다.

[0022] 컨트롤러(110)는 이미지 획득장치(111), 이송 제어장치(113) 및 검사장치(115)를 포함할 수 있다.

[0023] 이미지 획득장치(111)는 조명 제어부(1111), 카메라 제어부(1113), 이미지 저장부(1115) 및 이미지 생성부

(1117)를 포함할 수 있다.

- [0024] 조명 제어부(1111)는 반도체 디바이스 검사 시스템(10)이 동작하는 동안 스캔 영역(SR)으로 라인빔이 제공되도록 라인빔 발생기(120)를 제어할 수 있다.
- [0025] 카메라 제어부(1113)는 조명 제어부(1111)와 연결되고, 웨이퍼(W) 상에 라인 빔이 제공된 후 기 설정된 시간 동안 스캔 영역(SR)을 촬상하여 부분 이미지를 획득하도록 라인스캔 카메라(130)의 동작을 제어할 수 있다.
- [0026] 이미지 저장부(1115)는 라인스캔 카메라(130)에서 촬상한 부분 이미지를 저장할 수 있다.
- [0027] 이미지 생성부(1117)는 이미지 저장부(1115)에 저장된 부분 이미지들을 병합하여 웨이퍼(W)에 대한 검사 대상 이미지를 생성하고, 검사장치(115)로 제공할 수 있다.
- [0028] 이송 제어장치(113)는 이송 레일(140)이 웨이퍼(W)를 설정된 속도 및 방향으로 이송하고, 정해진 지점에서 웨이퍼(W)를 회전시키도록, 이송 레일(140)을 제어하기 위한 제어 파라미터를 제공할 수 있다.
- [0029] 검사장치(115)는 검사 대상 이미지를 가공 및 분석할 수 있는 적어도 하나의 프로세서(미도시)를 포함할 수 있다. 검사장치(115)는 하드웨어 및 하드웨어에서 실행되는 소프트웨어가 결합된 형태로 구현될 수 있다.
- [0030] 검사장치(115)는 이미지 획득장치(111)로부터 제공된 검사 대상 이미지로부터 웨이퍼(W)에 존재하는 파티클, 결함 등을 검출하고 양/불을 판정하도록 구성될 수 있다.
- [0031] 일 실시예에서, 검사장치(115)는 전처리(Pre-Processing) 장치(1151), 주처리(Main-Processing) 장치(1153) 및 후처리(Post-Processing) 장치(1155)를 포함할 수 있다.
- [0032] 전처리 장치(1151)는 이미지 획득장치(113)로부터 제공된 검사 대상 이미지를 보정할 수 있다. 예를 들어, 검사 대상 이미지의 왜곡 보정, 밝기 보정, 잡음 제거 등을 수행할 수 있다.
- [0033] 주처리 장치(1153)는 전처리된 검사 대상 이미지를 분석하여 파티클, 스크래치, 크랙 등과 같은 결함을 검출할 수 있다.
- [0034] 후처리 장치(1155)는 주처리 결과를 기초로 검사 대상 웨이퍼의 양/불을 판정하고, 판정 결과를 출력할 수 있다.
- [0035] 도 2는 일 실시예에 의한 입력 데이터 전처리 장치의 구성도이다.
- [0036] 도 2를 참조하면, 일 실시예에 의한 전처리 장치(20)는 컨트롤러(210), 메모리(220), 인터페이스(230), 플로우 추정모델 생성부(240) 및 왜곡 보정부(250)를 포함할 수 있다.
- [0037] 컨트롤러(210)는 전처리 장치(20)의 동작 전반을 제어할 수 있다.
- [0038] 메모리(220)는 ROM 및 RAM을 포함할 수 있고, 전처리 장치(20)의 동작에 필요한 각종 시스템 데이터, 펌웨어 코드, 소프트웨어 코드 등이 저장 및 로딩될 수 있다.
- [0039] 컨트롤러(210)는 메모리(220)에 저장 및 로딩된 펌웨어 또는 소프트웨어와 같은 코드 형태의 명령 또는 알고리즘을 해독 및 실행하여 전처리 장치(20)의 제반 동작을 제어할 수 있다.
- [0040] 인터페이스(230)는 전처리 장치(20)와 외부 장치 간의 인터페이싱 및 전처리 장치(20)와 운용자 간의 인터페이싱을 제공할 수 있다.
- [0041] 플로우 추정모델 생성부(240)는 이송 레일(140) 상의 웨이퍼(W)를 라인 스캔 카메라(130)에 의해 촬상할 때 왜곡을 유발하는 성분에 따라 왜곡을 시뮬레이션하여, 왜곡이 없는 표준 이미지로부터 왜곡 이미지를 생성할 수 있다. 플로우 추정모델 생성부(240)에서 생성한 왜곡 이미지는 가상의 이미지이며, 플로우 추정모델 생성부(240)는 표준 이미지 및 왜곡 이미지를 제공받아 왜곡 이미지의 플로우가 표준 이미지의 플로우를 추종하도록 왜곡 이미지의 플로우를 예측하는 플로우 예측값 학습과정을 통해 플로우 추정모델을 생성하도록 구성될 수 있다. 플로우 예측값은 왜곡 보정부(250)가 라인 스캔 카메라(130)에서 실제로 촬영한 웨이퍼(W) 이미지인 검사 대상 이미지의 왜곡 이미지를 보정하기 위한 보정값으로 사용될 수 있다.
- [0042] 즉, 플로우 추정모델 생성부(240)는 학습모드에서 표준 이미지와 왜곡 이미지를 기초로 플로우 추정모델을 생성하고, 추론모드에서 플로우 추정모델을 이용하여 검사대상 이미지의 플로우 예측값을 추론하도록 구성될 수 있다.

- [0043] "플로우" 또는 "광학 플로우"란 두 이미지, 예를 들어 표준 이미지와 왜곡 이미지 사이에서 픽셀이 이동한 상대적인 방향과 정도를 의미한다. 예를 들어 왜곡 이미지가 표준 이미지에 대하여 수평방향으로 이동된 경우 플로우는 수평 방향으로 각 픽셀이 움직인 정도를 나타낼 것이다. 왜곡 이미지가 표준 이미지에 대하여 대각선 방향으로 이동한 경우 플로우는 수직 및 수평 방향으로 각 픽셀이 이용한 값을 벡터의 형태로 가질 것이다.
- [0044] 따라서, 표준 이미지 및 이로부터 생성한 왜곡 이미지 간의 플로우를 추적하고 학습한 플로우 추정모델에 의해 검사대상 이미지를 복원하기 위한 보정값을 도출할 수 있다.
- [0045] 왜곡 보정부(250)는 검사대상 이미지를 제공받으며, 플로우 추정모델 생성부(240)를 통해 도출한 플로우 예측값인 보정값에 따라 검사대상 이미지의 왜곡을 복원하도록 구성될 수 있다.
- [0046] 도 3은 일 실시예에 의한 플로우 추정모델 생성부의 구성도이다.
- [0047] 도 4는 일 실시예에 의한 왜곡 이미지 생성 및 플로우 추적 개념을 설명하기 위한 도면이고, 도 5는 일 실시예에 의한 플로우 예측 개념을 설명하기 위한 도면이며, 도 6은 일 실시예에 의한 웨이퍼 영상의 주파수 특성을 설명하기 위한 도면이다.
- [0048] 도 3을 참조하면, 일 실시예에 의한 플로우 추정모델 생성부(240)는 카메라 속도 모델 생성부(241), 이미지 가공부(243), 플로우 추적부(245) 및 플로우 예측부(247)를 포함할 수 있다.
- [0049] 왜곡이 없는 표준 이미지와 왜곡 이미지 간의 차이에 따라 왜곡 이미지의 플로우를 예측하는 플로우 추정모델을 생성하기 위하여 다량의 [표준 이미지, 왜곡 이미지] 쌍이 학습 데이터로 요구될 수 있다. 본 기술에서는 학습 데이터를 수집하기 위하여 촬상 과정에서 왜곡을 유발하는 성분을 시뮬레이션하여 가상의 왜곡 이미지를 생성하여 학습 데이터를 구축한다. 구체적으로 설명하면 다음과 같다.
- [0050] 카메라 속도 모델 생성부(241)는 이송 레일(140) 상의 웨이퍼(W)를 라인 스캔 카메라(130)에 의해 촬상할 때 왜곡을 유발하는 성분, 예를 들어 촬상 속도와 관련된 파라미터(PARA)에 기초하여 왜곡을 시뮬레이션할 수 있다.
- [0051] 도 4를 참조하면, 라인 스캔 카메라(130)의 촬상 속도는 (a)와 같이 가우시안 속도 모델로 정의될 수 있다. 이때, 라인 스캔 카메라(130)의 촬상 속도를 제어하는 파라미터(PARA)가 가우시안 분포의 분산 값으로 설정된다. 즉, 이송 레일(140) 상의 웨이퍼(W)가 라인 스캔 카메라(130) 하부의 촬상 위치에 도달하고, 웨이퍼(W) 크기에 대응하는 구간동안 촬상된 후 촬상 위치를 벗어나기까지 이루어지는 이송 레일(140)의 가속속 운동에 의해 촬상 이미지의 왜곡이 발생할 수 있으므로, 라인 스캔 카메라(130)가 한 장의 웨이퍼(W)를 촬상하는 속도 및 웨이퍼(W)의 크기에 기초하여 평균, 표준편차 및 분산을 측정하여 가우시안 분포로 모델링할 수 있다.
- [0052] 도 4(a)의 가우시안 속도 모델은, 모델의 값이 작을 경우 속도가 느리며 클수록 속도가 빠르다고 해석할 수 있다. 라인 스캔 카메라(130)는 속도가 느린 구간에서 속도가 빠른 구간보다 웨이퍼(W)를 더 많이 촬상하게 되어 왜곡이 발생한다. 실물 웨이퍼(W)를 이송 레일(140)에 안착하고, 제 1 방향(TD)으로 이송하면서 순차적으로 부분 이미지를 획득할 때 속도가 느린 구간에서는 속도가 빠른 구간보다 촬상 횟수가 증가하므로 웨이퍼(W)가 제 1 방향(TD)으로 늘어난 형태의 왜곡이 발생할 것이다. 즉, 왜곡 이미지는 속도와 반비례하여 제 1 방향(TD)으로 늘어난 형태를 가질 수 있다.
- [0053] 카메라 속도모델 생성부(241)는 가우시안 속도 모델을 (b)와 같이 역함수로 모델링하여 역(inverse) 가우시안 분포를 생성하고, 각 라인스캔 카메라(130)의 촬상 단위 즉, 부분 이미지의 픽셀 위치(PIXEL POSITION)에 대한 중복 횟수(# of COLUMN REPLICATION)를 결정할 수 있다. 중복 횟수(# of COLUMN REPLICATION)는 이미지 가공부(243)에서 왜곡 이미지를 생성할 때, 각 부분 이미지의 복사 횟수로 이용될 수 있다. 이 때, 최소값은 1이 되도록 정규화할 수 있다.
- [0054] 카메라 속도모델 생성부(241)는 가우시안 모델(a)의 평균 및 분산을 랜덤하게 샘플링하여 핀쿠션(pincushion) 왜곡, 배럴(barrel) 왜곡, 원근(perspective) 왜곡 등 복수의 랜덤한 왜곡을 시뮬레이션하여 복수의 역가우시안 분포를 생성할 수 있다.
- [0055] 이미지 가공부(243)는 표준 이미지를 입력 이미지로 제공받으며, 가우시안 속도 모델에 기초하여 생성된 역가우시안 분포에 기초하여 표준 이미지를 변형함으로써 적어도 하나의 왜곡 이미지를 생성할 수 있다.
- [0056] 이미지 가공부(243)는 입력 이미지인 표준 이미지를 제 1 방향(TD)과 수직하는 제 2 방향, 예를 들어 컬럼(column) 방향으로 복수개로 분할하여 제 2 방향의 부분 이미지들을 획득할 수 있다. 이미지 가공부(243)는 역가우시안 분포에 기초하여 산출한 픽셀 위치별 중복 횟수(# of COLUMN REPLICATION)에 따라 각 부분 이미지를

복사하여 예비 왜곡 이미지를 생성할 수 있다.

[0057] 예비 왜곡 이미지는 제 1 방향으로 늘어난 상태이므로, 입력 이미지와 같은 사이즈로 리사이징(RESIZE)하여 최종적으로 시뮬레이션 된 왜곡 이미지를 도출한다.

[0058] 플로우 추적부(245)는 이미지 가공부(243)에서 생성한 왜곡 이미지와 표준 이미지 간의 플로우를 추적하여 플로우 정답값(Flow GT(Ground Truth))을 생성할 수 있다.

[0059] 카메라 속도 모델 생성부(241)에서 복수의 랜덤한 왜곡을 생성하는 경우, 이미지 가공부(243)는 N개의 개별 표준 이미지로부터 각각 복수(N*i개)의 왜곡 이미지를 생성할 수 있고, 플로우 추적부(245)는 표준 이미지와 복수의 왜곡 이미지 각각에 대해 플로우를 추적하고, 이를 플로우 정답값 세트로 생성할 수 있다.

[0060] 플로우 예측부(247)는 왜곡 이미지의 플로우를 예측한 플로우 예측값과 플로우 정답값 간의 차이를 계산하는 목적함수를 최소화하도록 플로우 예측값을 학습하여 플로우 추정모델을 출력할 수 있다. 플로우 예측값은 왜곡 이미지를 보정하기 위한 보정값으로 사용될 수 있다.

[0061] 플로우 예측부(247)는 표준 이미지가 추가되는 경우, 실물 웨이퍼를 촬영하여 검사가 이루어진 경우, 플로우 추정모델을 재학습할 수 있다.

[0062] 도 5를 참조하면, 플로우 예측부(247)는 왜곡 플로우 추적부(2471) 및 추론부(2473)를 포함할 수 있다.

[0063] 왜곡 플로우 추적부(2471)는 입력 이미지로부터 특징을 추출하여 입력 이미지를 구성하는 모든 픽셀들에 대한 플로우 예측값을 출력할 수 있다. 학습모드에서, 입력 이미지는 이미지 가공부(243)에서 생성한 왜곡 이미지일 수 있다. 추론모드에서, 입력 이미지는 라인스캔 카메라(130)에 의해 촬영한 검사대상 이미지일 수 있다.

[0064] 추론부(2473)는 플로우 예측값과 플로우 정답값에 기초하여 플로우 추정모델을 생성할 수 있다. 추론부(2473)는 플로우 예측값과 플로우 정답값 간의 차이를 계산하는 목적함수를 최소화하도록 플로우 예측값을 학습할 수 있다.

[0065] 일 실시예에서, 추론부(2473)는 합성곱 신경망Convolutional Neural Network; CNN)를 이용하여 플로우를 예측할 수 있으나 이에 한정되는 것은 아니다.

[0066] CNN은 이미지 처리에 뛰어난 성능을 보이는 딥러닝 모델로, 입력 이미지와 출력 이미지 사이의 매핑을 학습할 수 있다. 이를 통해 입력 이미지에서 특징을 추출하고, 추출된 특징을 바탕으로 플로우를 예측할 수 있다.

[0067] 일 실시예에서, 추론부(2473)는 예를 들어 [수학식 1]과 같은 제 1 목적함수(L_{epe})를 사용할 수 있다.

[0068] [수학식 1]

$$L_{epe} = \|F_{gt} - F_{pred1}\|$$

[0070] L_{epe} 는 플로우 정답값과 플로우 예측값 사이의 차이를 측정하는 함수이다.

[0071] [수학식 1]에서, F_{gt} 는 플로우 정답값을, F_{pred1} 은 제 1 방향에 대한 플로우 예측값을 의미한다.

[0072] $\|A\|$ 함수는 A의 크기를 나타내며, A가 벡터일 경우 L1 거리(distance), L2 거리(distance) 등으로 측정된다. A가 행렬일 경우 행렬의 모든 요소들로 구성되는 벡터의 L1 거리, L2 거리 등으로 측정된다. A가 다차원 행렬일 경우 (예: 각 행렬의 요소가 2차원 플로우 벡터), 각 요소의 L1 거리, L2 거리 등을 계산하고 다시 전체의 L1 거리, L2 거리 등을 구하는 방식으로 측정될 수 있다.

[0073] 왜곡이 제 1 방향으로만 존재하는 것으로 가정할 때, 제 2 방향으로 서로 이웃한 픽셀들에 대한 플로우는 최소화되어야 한다. 추론부(2473)는 예를 들어 [수학식 2]와 같은 제 2 목적함수(L_{smooth})를 이용하여 제 2 방향으로 이웃한 픽셀들의 플로우 차이값(∇F_{pred2})을 측정하고, 이를 최소화하도록 플로우 예측값을 출력할 수 있다.

[0074] [수학식 2]

$$L_{smooth} = \|\nabla F_{pred2}\|$$

[0075]

[0076] 목적함수는 [수학식 1] 및 [수학식 2]의 예에 한정되지 않으며, 왜곡의 방향 등에 따라 다양한 목적함수를 적용할 수 있음은 물론이다.

[0077] 웨이퍼(W)는 수직 및 수평 방향으로 반복되는 패턴을 가지므로 웨이퍼(W) 영상을 주파수 도메인으로 변환할 경우 특정 주파수에서 피크값을 나타낸다.

[0078] 도 6은 웨이퍼(W)의 표준 이미지(a)를 푸리에 변환한 이미지(b)를 도시한다. 웨이퍼(W)는 가로 및 세로 방향으로 주기성을 가지며 이 부분은 고주파 영역으로 변환되어 피크값을 나타냄을 알 수 있다.

[0079] 따라서, 주파수 영역에서 표준 이미지와 왜곡 이미지의 특정 주파수 구간, 예를 들어 고주파 영역에 대한 오차가 최소화되도록 플로우 추정모델을 학습하여 플로우 예측값을 더욱 정확히 추론할 수 있다.

[0080] 추론부(2473)는 특정 주파수 성분에 대한 왜곡을 플로우 예측값에 반영하기 위하여 표준 이미지와 왜곡 이미지 각각의 고주파 영역 성분을 필터링하고 그 차이값이 최소화되도록 플로우 추정모델을 학습하고 플로우 예측값을 출력할 수 있다. 이를 위해 예를 들어 [수학식 3]과 같은 제 3 목적함수($L_{fourier}$)를 이용할 수 있다.

[0081] [수학식 3]

$$L_{fourier} = \|X_{GT}^f - X_{pred}^f\|$$

[0082]

[0083] X_{GT}^f 는 푸리에 변환된 표준 이미지의 설정된 주파수 성분에 대한 정답값을, X_{pred}^f 는 왜곡 푸리에 변환된 왜곡 이미지의 설정된 주파수 성분에 대한 예측값을 의미한다.

[0084] [수학식 3] 외에 MSE(Mean Squared Error), SSIM(Structural Similarity Index) 등) 등과 같은 목적함수를 이용하는 것도 가능하다.

[0085] 플로우 추정 모델 생성부(240)는 전처리 장치(20)에 구현되거나 전처리 장치(20)와 별도의 장치에 구현될 수 있다. 전처리 장치(20)와 별도의 장치에 구현되는 경우 플로우 추정 모델 생성부(240)에서 생성한 플로우 추정모델이 전처리 장치(20)의 메모리(220)에 저장된 후 검사대상 이미지의 왜곡 보정시 호출될 수 있다.

[0086] 도 7은 일 실시예에 의한 왜곡 보정 개념을 설명하기 위한 도면이다.

[0087] 왜곡 보정부(250)는 플로우 추정모델 생성부(240)의 플로우 추정모델에서 추론한 플로우 예측값에 기초하여 검사대상 이미지를 복원하여 복원 이미지를 출력할 수 있다. 일 실시예에서, 왜곡 보정부(250)는 플로우 예측값에 따라 검사대상 이미지의 픽셀을 후방위핑(backward warping)하여 1차 복원 이미지를 출력할 수 있다.

[0088] 도 8은 일 실시예에 의한 왜곡 보정부의 구성도이다.

[0089] 도 8을 참조하면, 왜곡 보정부(250-1)는 1차 복원부(251) 및 2차 복원부(253)를 포함할 수 있다.

[0090] 1차 복원부(251)는 다운스케일된 검사대상 이미지로부터 플로우를 추적하고 업스케일하여 1차 플로우 예측값을 출력하는 코어스(Coarse) 보정을 수행할 수 있다.

[0091] 2차 복원부(253)는 1차 복원부(251)로부터 1차 플로우 예측값을 제공받아 복수의 플로우 예측 패치로 구분하고, 각 플로우 예측 패치가 이에 대응하는 플로우 정답 패치에 근사하도록 플로우 예측값을 수정하여 검사 대상 이미지를 복원한 복원 이미지를 생성할 수 있다.

[0092] 도 9는 일 실시예에 의한 왜곡 보정 개념을 설명하기 위한 도면이다.

[0093] 도 9를 참조하면, 고해상도의 검사대상 이미지는 다운스케일되어 1차 복원부(251)로 제공될 수 있다.

[0094] 1차 복원부(251)는 다운스케일된 검사대상 이미지로부터 플로우를 추적하고 업스케일하여 1차 플로우 예측값을 출력할 수 있다. 1차 복원부(251)는 업스케일을 위하여 예를 들어 양선형 보간법(bilinear upsampling)과 같은 방법을 이용할 수 있다.

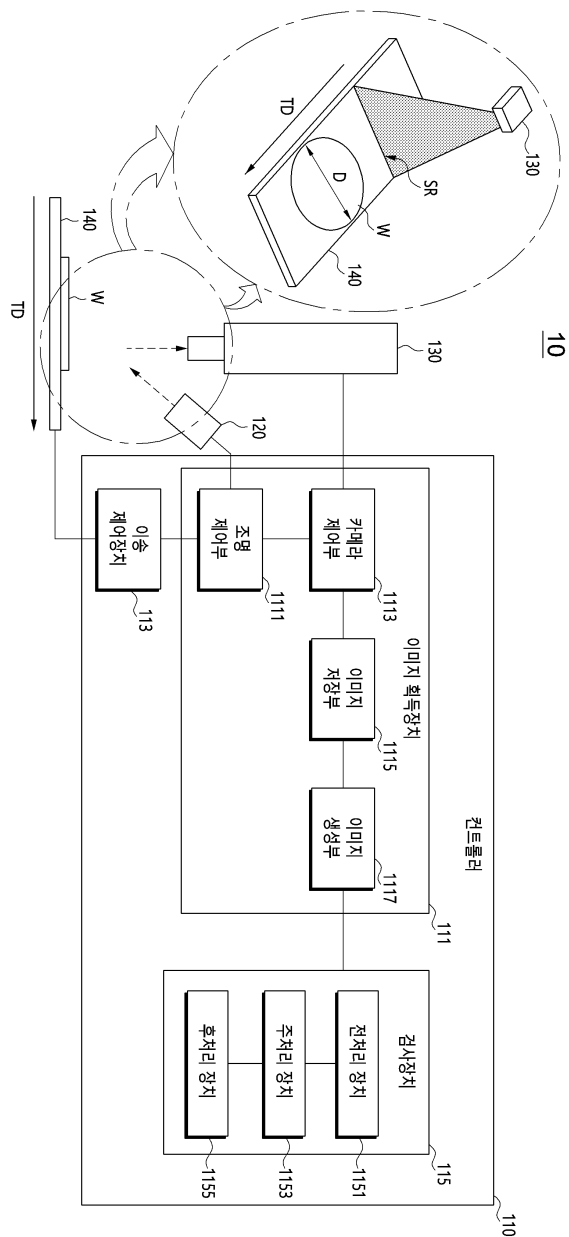
- [0095] 2차 복원부(253)는 1차 플로우 예측값을 제공받아 복수의 플로우 예측 패치로 구분하고, 각 플로우 예측 패치가 이에 대응하는 플로우 정답 패치에 근사하도록 1차 플로우 예측값을 미세(fine) 조정하여 2차 플로우 예측값을 출력할 수 있다. 2차 복원부(253)는 2차 플로우 예측값에 따라 검사대상 이미지의 픽셀을 후방워핑(backward warping)하여 복원 이미지를 출력할 수 있다.
- [0096] 도 1에 도시한 반도체 디바이스 검사 시스템(10)에서, 라인스캔 카메라(130)를 통해 촬상한 검사대상 이미지가 검사 장치(115)로 제공될 수 있다.
- [0097] 검사장치(115)의 전처리 장치(1151)는 플로우 추정모델에 의해 추론한 플로우 예측값에 따라 검사대상 이미지의 왜곡을 보정하여 복원 이미지를 출력할 수 있다.
- [0098] 주처리 장치(1153)는 복원된 검사 대상 이미지를 분석하여 파티클, 스크래치, 크랙 등과 같은 결함을 검출할 수 있다.
- [0099] 후처리 장치(1155)는 주처리 결과를 기초로 검사 대상 웨이퍼의 양/불을 판정하고, 판정 결과를 출력할 수 있다.
- [0100] 이와 같이, 본 발명이 속하는 기술분야의 당업자는 본 발명이 그 기술적 사상이나 필수적 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적인 것이 아닌 것으로서 이해해야만 한다. 본 발명의 범위는 상기 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 등가개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

부호의 설명

- [0101] 10 : 반도체 디바이스 검사 시스템
- 110 : 컨트롤러
- 120 : 라인빔 발생기
- 130 : 라인스캔 카메라
- 140 : 이송 레일

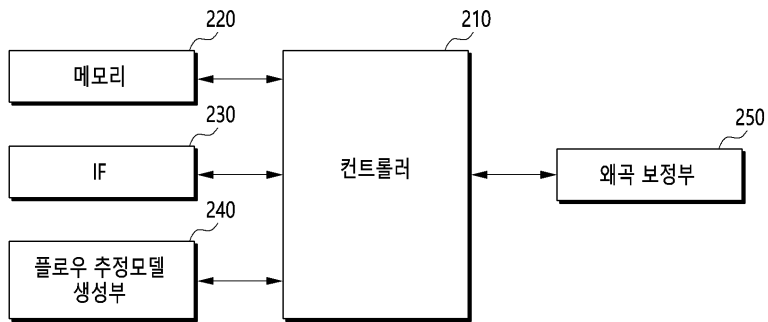
도면

도면1



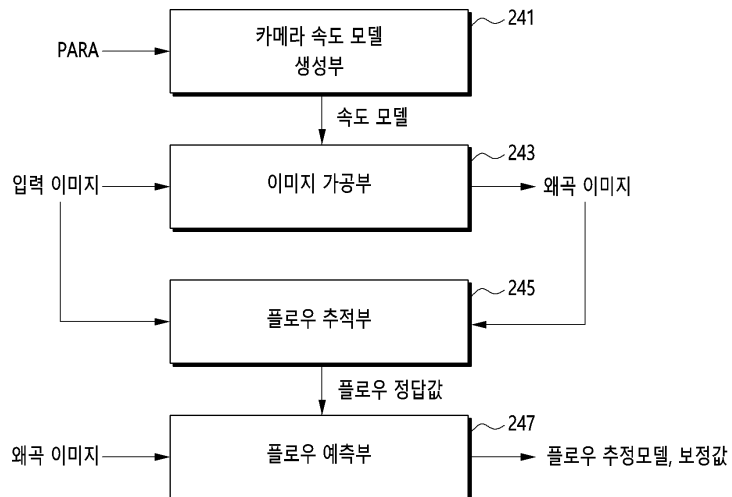
도면2

20

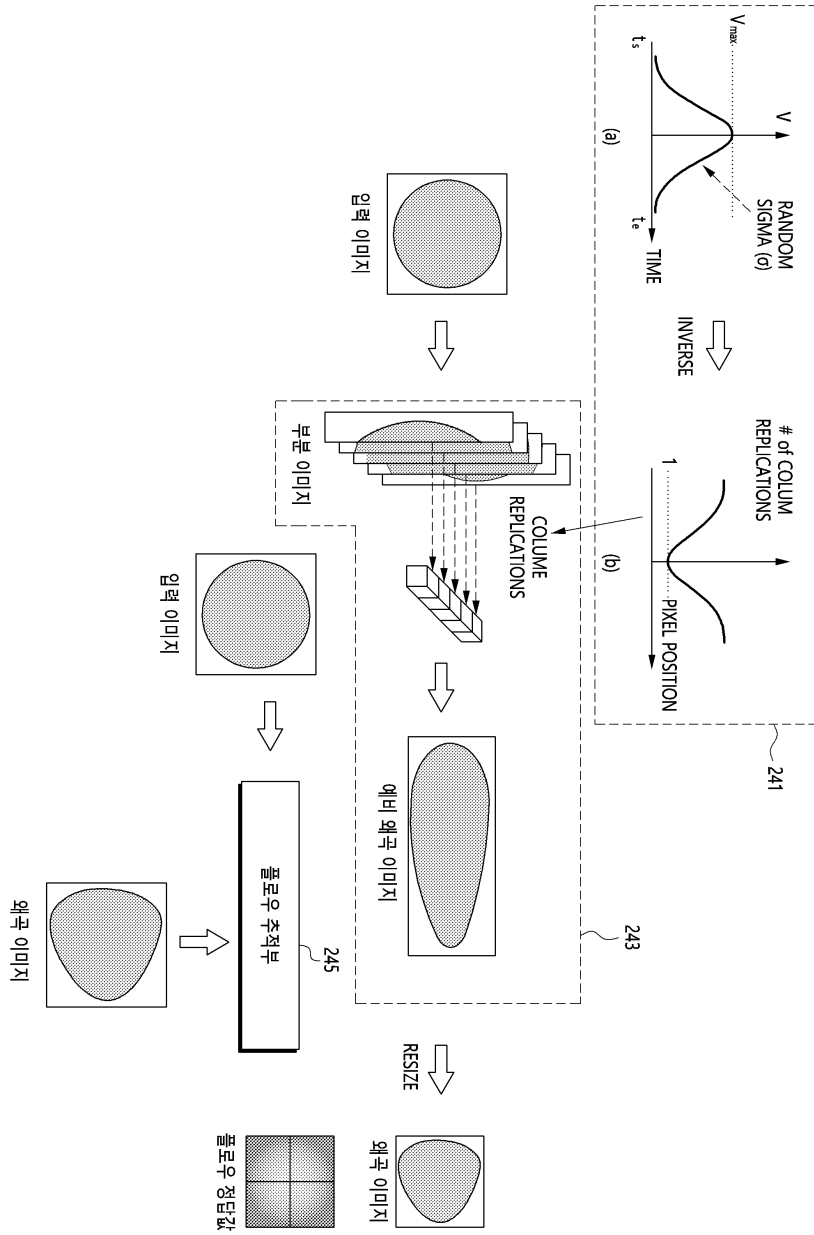


도면3

240

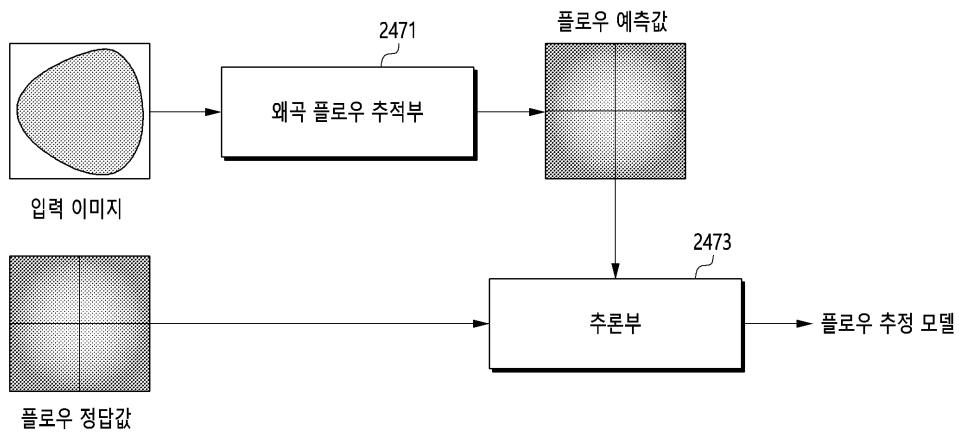


도면4

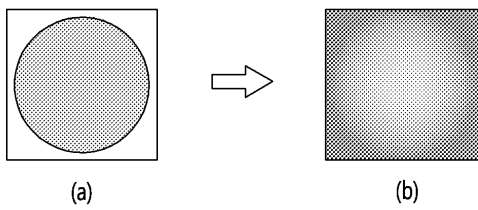


도면5

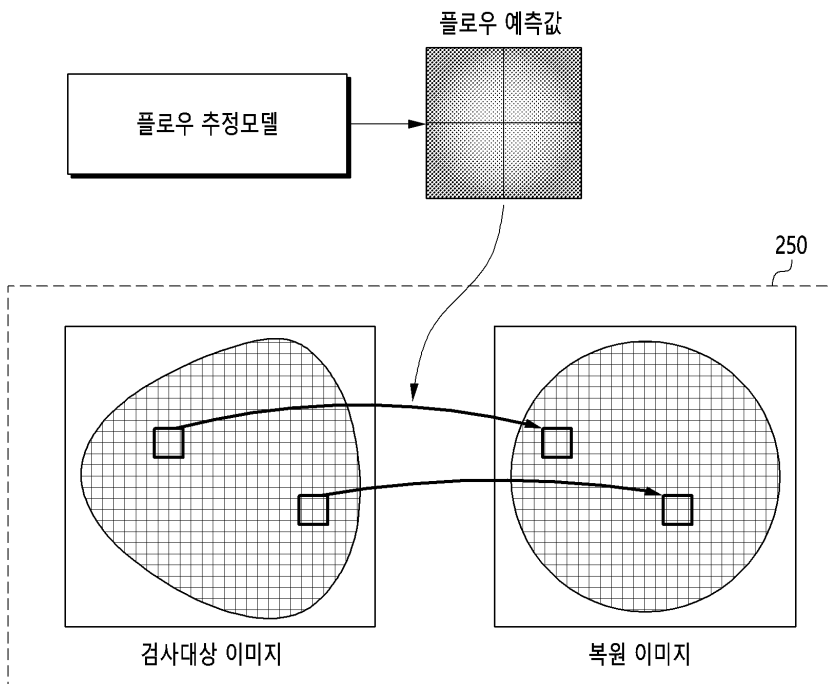
247



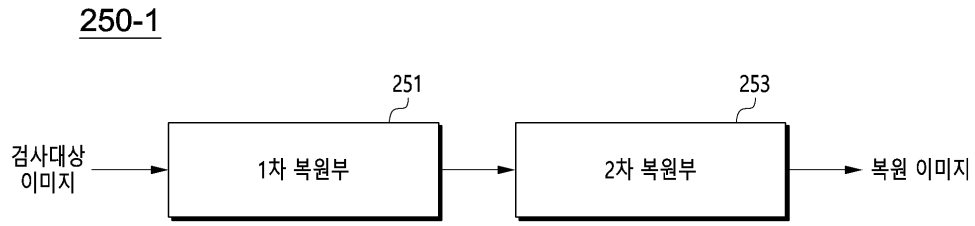
도면6



도면7



도면8



도면9

