



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년07월04일
(11) 등록번호 10-2416972
(24) 등록일자 2022년06월30일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 21/88 (2006.01) G01N 21/956 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
G01N 21/8851 (2013.01)
G01N 21/956 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2018-7017048
- (22) 출원일자(국제) 2016년11월17일
심사청구일자 2021년10월29일
- (85) 번역문제출일자 2018년06월15일
- (65) 공개번호 10-2018-0071405
- (43) 공개일자 2018년06월27일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2016/062490
- (87) 국제공개번호 WO 2017/087646
국제공개일자 2017년05월26일
- (30) 우선권주장
62/256,601 2015년11월17일 미국(US)
15/353,210 2016년11월16일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌
JP05280960 A
JP2010139317 A
JP2012026982 A
JP2017529635 A

- (73) 특허권자
케이엘에이 코포레이션
미합중국, 캘리포니아 95035, 밀피타스, 원 테크
놀로지 드라이브
- (72) 발명자
바스카 크리스
미국 캘리포니아주 95120 산 호세 퀸즈브릿지 코
트 1061
조단 3세 존 알
미국 캘리포니아주 94040 마운틴 뷰 이반 웨이
3397
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인
김태홍, 김진희

전체 청구항 수 : 총 36 항

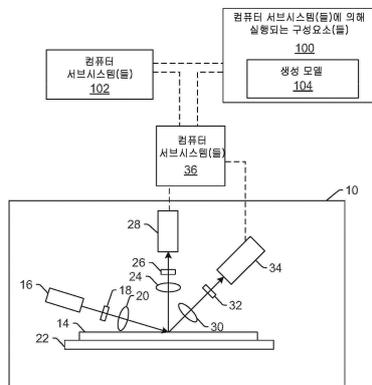
심사관 : 이창호

(54) 발명의 명칭 단일 이미지 검출

(57) 요약

시편상의 결함을 검출하기 위한 방법 및 시스템이 제공된다. 하나의 시스템은 생성 모델을 포함한다. 생성 모델은 입력 특징 맵 블록의 픽셀 블록을 레이블에 매핑하도록 구성된 비선형 네트워크를 포함한다. 레이블은 블록의 하나 이상의 결함 관련 특성들을 나타낸다. 시스템은 하나의 테스트 이미지를 생성 모델에 입력하며, 이 모델은 단일의 테스트 이미지 내 픽셀 블록의 특징을 결정하고 매핑에 기초하여 블록에 대한 레이블을 결정한다. 시스템은 결정된 레이블에 기초하여 시편의 결함을 검출한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G01N 2021/8858 (2013.01)

G01N 2021/8893 (2013.01)

(72) 발명자

카르센티 로렌트

이스라엘 76086 레호보트 하라즈 스트리트 16/1

벤카타라만 산카르

미국 캘리포니아주 95035 밀피타스 리웨이 1896

카몬 야이르

이스라엘 25147 케파 브라딤 하'크하루브 스트리트
10

명세서

청구범위

청구항 1

시편(specimen)상의 결함을 검출하도록 구성된 시스템으로서,

시편의 이미지를 발생하도록 구성된 이미징 서브시스템 - 상기 이미징 서브시스템은 적어도 에너지가 상기 시편에 전달되도록 구성된 에너지 공급원 및 적어도 상기 시편으로부터의 에너지를 검출하도록 구성된 검출기를 포함함 -;

상기 이미징 서브시스템에 연결된 하나 이상의 컴퓨터 서브시스템들 - 상기 하나 이상의 컴퓨터 서브시스템들은 상기 이미징 서브시스템에 의해 발생된 상기 시편의 일부분에 대한 단일의 테스트 이미지를 획득하도록 구성됨 -; 및

상기 하나 이상의 컴퓨터 서브시스템들에 의해 실행되는 하나 이상의 구성요소들을 포함하고,

상기 하나 이상의 구성요소들은,

생성 모델 - 상기 생성 모델은 입력 특징 맵 볼륨의 픽셀 블록을 레이블(label)에 매핑하도록 구성된 비선형 네트워크를 포함하고, 상기 레이블은 상기 블록들의 하나 이상의 결함 관련 특성들을 나타냄 - 을 포함하고,

상기 하나 이상의 컴퓨터 서브시스템들은 또한, 상기 단일의 테스트 이미지를 상기 생성 모델에 입력하도록 구성되고,

상기 생성 모델은,

상기 단일의 테스트 이미지를 픽셀의 다수의 블록들로 분리하고;

상기 픽셀의 다수의 블록들 중 적어도 하나의 블록에 대해, 상기 다수의 블록들 중 적어도 하나의 블록 내의 픽셀에만 기초하여 상기 다수의 블록들 중 적어도 하나의 블록의 특징을 결정하고; 그리고

상기 결정된 특징 및 상기 레이블에의 상기 입력 특징 맵 볼륨의 픽셀 블록의 매핑에 기초하여 상기 다수의 블록들 중 상기 적어도 하나의 블록에 대한 상기 레이블들 중 하나의 레이블을 선택하도록 구성되고,

상기 하나 이상의 컴퓨터 서브시스템들은 또한, 상기 다수의 블록들 중 상기 적어도 하나의 블록에 대해 상기 선택된 레이블에 기초하여 상기 시편의 상기 일부분에서 결함을 검출하도록 구성되는 것인, 시편상의 결함을 검출하도록 구성된 시스템.

청구항 2

제 1 항에 있어서, 상기 생성 모델은 심층 생성 모델인 것인, 시편상의 결함을 검출하도록 구성된 시스템.

청구항 3

제 1 항에 있어서, 상기 생성 모델은 기계 학습 모델인 것인, 시편상의 결함을 검출하도록 구성된 시스템.

청구항 4

제 1 항에 있어서, 상기 생성 모델은 컨볼루션 뉴럴 네트워크인 것인, 시편상의 결함을 검출하도록 구성된 시스템.

청구항 5

제 1 항에 있어서, 상기 결함을 검출하는 것은 상기 단일의 테스트 이미지를 임의의 다른 이미지와 정렬하는 것을 포함하지 않는 것인, 시편상의 결함을 검출하도록 구성된 시스템.

청구항 6

제 1 항에 있어서, 상기 결함을 검출하는 것은 상기 단일의 테스트 이미지를 임의의 다른 이미지와 비교하는 것

을 포함하지 않는 것인, 시편상의 결함을 검출하도록 구성된 시스템.

청구항 7

제 1 항에 있어서, 상기 결함을 검출하는 것은 통계 기반 결함 검출을 포함하지 않는 것인, 시편상의 결함을 검출하도록 구성된 시스템.

청구항 8

제 1 항에 있어서, 상기 레이블은 상기 입력 특징 맵 볼륨 내의 입력 특징이 결함과 연관되는지 또는 결함과 연관되지 않는지를 표시하는 것인, 시편상의 결함을 검출하도록 구성된 시스템.

청구항 9

제 1 항에 있어서, 상기 레이블은 상기 입력 특징 맵 볼륨 내의 입력 특징이 연관된 결함 유형을 표시하는 것인, 시편상의 결함을 검출하도록 구성된 시스템.

청구항 10

제 1 항에 있어서, 상기 하나 이상의 컴퓨터 서브시스템들은 또한, 상기 다수의 블록들 중 적어도 하나의 블록에 대해 상기 선택된 레이블에 기초하여 상기 시편의 일부분에서 상기 결함의 유형을 결정하도록 구성되는 것인, 시편상의 결함을 검출하도록 구성된 시스템.

청구항 11

제 1 항에 있어서, 상기 다수의 블록들 중 상기 적어도 하나의 블록에 대한 상기 레이블들 중 하나의 레이블을 선택하는 것은 상기 다수의 블록들의 조합에 대한 상기 레이블들 중 하나의 레이블만을 선택하는 것을 포함하는 것인, 시편상의 결함을 검출하도록 구성된 시스템.

청구항 12

제 1 항에 있어서, 상기 하나 이상의 컴퓨터 서브시스템들은 또한, 상기 생성 모델을 훈련시키기 위해 사용되는 훈련 데이터셋을 발생하도록 구성되고, 상기 훈련 데이터셋은 상기 시편에 대한 디자인 정보의 일부분과 상기 디자인 정보의 일부분에 대해 발생된 이미지의 쌍들의 세트를 포함하는 것인, 시편상의 결함을 검출하도록 구성된 시스템.

청구항 13

제 12 항에 있어서, 상기 세트 내 상기 쌍들 중 적어도 하나의 쌍은 상기 시편 또는 다른 시편에서 검출된 결함에 대해 발생하는 것인, 시편상의 결함을 검출하도록 구성된 시스템.

청구항 14

제 12 항에 있어서, 상기 세트 내 상기 쌍들 중 적어도 하나의 쌍은 합성 결함에 대해 발생하는 것인, 시편상의 결함을 검출하도록 구성된 시스템.

청구항 15

제 12 항에 있어서, 상기 세트 내 상기 쌍들 중 적어도 하나의 쌍은 시뮬레이션된 결함에 대해 발생하는 것인, 시편상의 결함을 검출하도록 구성된 시스템.

청구항 16

제 12 항에 있어서, 상기 세트 내 상기 쌍들 중 적어도 하나의 쌍은 프로세스 윈도우 자격(process window qualification)에 의해 검출된 결함에 대해 발생하는 것인, 시편상의 결함을 검출하도록 구성된 시스템.

청구항 17

제 12 항에 있어서, 상기 디자인 정보는 디자인 데이터를 포함하는 것인, 시편상의 결함을 검출하도록 구성된 시스템.

청구항 18

제 12 항에 있어서, 상기 디자인 정보는 디자인 데이터로부터 발생된 시뮬레이트된 이미지를 포함하는 것인, 시편상의 결함을 검출하도록 구성된 시스템.

청구항 19

제 12 항에 있어서, 상기 쌍 내 이미지들 중 적어도 하나의 이미지는 상기 이미징 서브시스템에 의해 상기 시편 또는 다른 시편의 발생된 실제 이미지를 포함하는 것인, 시편상의 결함을 검출하도록 구성된 시스템.

청구항 20

제 12 항에 있어서, 상기 쌍 내 이미지들 중 적어도 하나의 이미지는, 1) 상기 적어도 하나의 이미지에 대한 상기 디자인 정보 및 2) 상기 이미징 서브시스템에 의해 다른 시편에 대해 발생된 다른 이미지에 기초하여 발생된 합성 이미지를 포함하는 것인, 시편상의 결함을 검출하도록 구성된 시스템.

청구항 21

제 12 항에 있어서, 상기 쌍 내 이미지들 중 적어도 하나의 이미지는, 1) 상기 적어도 하나의 이미지에 대한 상기 디자인 정보 및 2) 상기 이미징 서브시스템의 하나 이상의 특성들에 기초하여 발생된 시뮬레이트된 이미지를 포함하는 것인, 시편상의 결함을 검출하도록 구성된 시스템.

청구항 22

제 12 항에 있어서, 상기 하나 이상의 컴퓨터 서브시스템들은 또한, 상기 세트 내 상기 쌍들 내 상기 이미지 내의 다른 결함을 검출하고, 상기 다른 결함을 검출한 결과에 대응하는 상기 이미지 내의 픽셀과 레이블을 연관시키도록 구성되는 것인, 시편상의 결함을 검출하도록 구성된 시스템.

청구항 23

제 22 항에 있어서, 상기 하나 이상의 컴퓨터 서브시스템들은 또한, 상기 쌍 내의 상기 이미지에 대한 상기 생성 모델에 의해 결정된 특징이 상기 이미지 내 픽셀과 연관된 상기 레이블에 매핑될 때까지 상기 생성 모델의 파라미터를 점진적으로 수정함으로써 상기 생성 모델의 지도 훈련을 수행하도록 구성되는 것인, 시편상의 결함을 검출하도록 구성된 시스템.

청구항 24

제 23 항에 있어서, 상기 하나 이상의 컴퓨터 서브시스템들은 또한, 새로운 쌍을 상기 세트에 추가하고, 상기 새로운 쌍 내 이미지에서 하나 이상의 부가 결함들을 검출하고, 상기 하나 이상의 부가 결함들을 검출한 결과에 대응하는 상기 이미지 내 픽셀과 하나 이상의 부가 레이블들을 연관시키고, 상기 생성 모델에 의해 상기 쌍 및 상기 새로운 쌍 내의 이미지에 대해 결정된 특징이 상기 쌍 및 상기 새로운 쌍 내 상기 이미지 내의 픽셀과 연관된 상기 레이블에 매핑될 때까지 상기 파라미터를 점진적으로 수정하여 상기 지도 훈련을 재수행함으로써 상기 훈련 데이터세트를 수정하도록 구성되는 것인, 시편상의 결함을 검출하도록 구성된 시스템.

청구항 25

제 1 항에 있어서, 상기 하나 이상의 컴퓨터 서브시스템들은 또한, 상기 단일의 테스트 이미지의 다수의 관점들을 발생하도록 구성되고, 상기 하나 이상의 컴퓨터 서브시스템들에 의해 상기 생성 모델로 입력된 상기 단일의 테스트 이미지는 상기 단일의 테스트 이미지의 상기 다수의 관점들을 포함하는 것인, 시편상의 결함을 검출하도록 구성된 시스템.

청구항 26

제 1 항에 있어서, 상기 하나 이상의 컴퓨터 서브시스템들은 또한, 상기 시편에 대한 디자인 정보와 결합된 상기 선택된 레이블에 기초하여 상기 결함을 검출하도록 구성되는 것인, 시편상의 결함을 검출하도록 구성된 시스템.

청구항 27

제 1 항에 있어서, 상기 하나 이상의 컴퓨터 서브시스템들은 또한, 상기 선택된 레이블에 기초하여 상기 시편에 대한 디자인 정보 없이 상기 결함을 검출하도록 구성되는 것인, 시편상의 결함을 검출하도록 구성된 시스템.

청구항 28

제 1 항에 있어서, 상기 이미징 서브시스템은 전자빔 기반 이미징 서브시스템인 것인, 시편상의 결함을 검출하도록 구성된 시스템.

청구항 29

제 1 항에 있어서, 상기 이미징 서브시스템은 광학 기반 이미징 서브시스템인 것인, 시편상의 결함을 검출하도록 구성된 시스템.

청구항 30

제 1 항에 있어서, 상기 이미징 서브시스템은 검사 서브시스템인 것인, 시편상의 결함을 검출하도록 구성된 시스템.

청구항 31

제 1 항에 있어서, 상기 이미징 서브시스템은 결함 검토 서브시스템(defect review subsystem)인 것인, 시편상의 결함을 검출하도록 구성된 시스템.

청구항 32

제 1 항에 있어서, 상기 이미징 서브시스템은 계측 서브시스템(metrology subsystem)인 것인, 시편상의 결함을 검출하도록 구성된 시스템.

청구항 33

제 1 항에 있어서, 상기 시편은 웨이퍼인 것인, 시편상의 결함을 검출하도록 구성된 시스템.

청구항 34

제 1 항에 있어서, 상기 시편은 레티클인 것인, 시편상의 결함을 검출하도록 구성된 시스템.

청구항 35

시편상의 결함을 검출하기 위한 컴퓨터 구현된 방법을 수행하기 위해 컴퓨터 시스템상에서 실행 가능한 프로그램 명령어를 저장하는 비일시적 컴퓨터 판독가능한 매체로서, 상기 컴퓨터 구현된 방법은,

이미징 서브시스템에 의해 시편의 일부분에 대해 발생된 단일의 테스트 이미지를 픽셀의 다수의 블록들로 분리하는 단계;

상기 픽셀의 다수의 블록들 중 적어도 하나의 블록에 대해, 상기 다수의 블록들 중 상기 적어도 하나의 블록 내의 픽셀에만 기초하여 상기 다수의 블록들 중 상기 적어도 하나의 블록의 특징을 결정하는 단계 - 상기 분리 단계 및 상기 결정 단계는 하나 이상의 컴퓨터 서브시스템들에 의해 실행되는 하나 이상의 구성요소들에 포함된 생성 모델에 의해 수행되고, 상기 생성 모델은 입력 특징 맵 볼륨의 픽셀 블록을 레이블에 매핑하도록 구성된 비선형 네트워크를 포함하고, 상기 레이블은 상기 블록의 하나 이상의 결함 관련 특성들을 표시함 -;

상기 결정된 특징 및 상기 레이블에의 상기 입력 특징 맵 볼륨의 픽셀 블록의 매핑에 기초하여 상기 다수의 블록들 중 상기 적어도 하나의 블록에 대한 상기 레이블들 중 하나의 레이블을 선택하는 단계; 및

상기 다수의 블록들 중 상기 적어도 하나의 블록에 대해 상기 선택된 레이블에 기초하여 상기 시편의 상기 일부분에서 결함을 검출하는 단계 - 상기 검출 단계는 상기 하나 이상의 컴퓨터 서브시스템들에 의해 수행됨 - 를 포함하는, 컴퓨터 시스템상에서 실행 가능한 프로그램 명령어를 저장하는 비일시적 컴퓨터 판독가능한 매체.

청구항 36

시편상의 결함을 검출하기 위한 컴퓨터 구현된 방법으로서,

이미징 서브시스템에 의해 시편의 일부분에 대해 발생된 단일의 테스트 이미지를 픽셀의 다수의 블록들로 분리하는 단계;

상기 픽셀의 다수의 블록들 중 적어도 하나의 블록에 대해, 상기 다수의 블록들 중 적어도 하나의 블록 내의 픽셀에만 기초하여 상기 다수의 블록들 중 상기 적어도 하나의 블록의 특징을 결정하는 단계 - 상기 분리 단계 및 상기 결정 단계는 하나 이상의 컴퓨터 서브시스템들에 의해 실행되는 하나 이상의 구성요소들에 포함된 생성 모델에 의해 수행되고, 상기 생성 모델은 입력 특징 맵 볼륨의 픽셀 블록을 레이블에 매핑하도록 구성된 비선형 네트워크를 포함하고, 상기 레이블은 상기 블록의 하나 이상의 결함 관련 특성들을 표시함 -;

상기 결정된 특징 및 상기 레이블에의 상기 입력 특징 맵 볼륨의 픽셀 블록의 매핑에 기초하여 상기 다수의 블록들 중 상기 적어도 하나의 블록에 대한 상기 레이블들 중 하나의 레이블을 선택하는 단계; 및

상기 다수의 블록들 중 상기 적어도 하나의 블록에 대해 상기 선택된 레이블에 기초하여 상기 시편의 상기 일부분에서 결함을 검출하는 단계 - 상기 검출 단계는 상기 하나 이상의 컴퓨터 서브시스템들에 의해 수행됨 - 를 포함하는, 시편상의 결함을 검출하기 위한 컴퓨터 구현된 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 일반적으로 단일 이미지 검출에 의한 시편(specimen)상의 결함을 검출하기 위한 방법 및 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 다음의 설명 및 예는 본 단원에 포함된다는 이유로 종래 기술로 인정되지 않는다.

[0003] 로직 및 메모리 디바이스와 같은 반도체 디바이스를 제조하는 것은 전형적으로 다수의 반도체 제조 프로세스를 사용하여 반도체 웨이퍼와 같은 기판을 처리하여 반도체 디바이스의 다양한 특징들 및 다수의 레벨들을 형성하는 것을 포함한다. 예를 들어, 리소그래피는 레티클로부터 반도체 웨이퍼 상에 배치된 레지스트로 패턴을 전사하는 것을 수반하는 반도체 제조 프로세스이다. 반도체 제조 프로세스의 추가의 예는 이것으로 제한되는 것은 아니지만, 화학적 기계적 연마(chemical-mechanical polishing, CMP), 에칭, 증착 및 이온 주입을 포함한다. 다수의 반도체 디바이스들은 단일의 반도체 웨이퍼상의 배열로 제조된 다음 개별적인 반도체 디바이스로 분리될 수 있다.

[0004] 검사 프로세스는 반도체 제조 프로세스 동안 다양한 단계들에서 웨이퍼 상의 결함을 검출하여 제조 프로세스에서 수율을 더 높이고 이에 따라 이익을 더 높게 증진하기 위해 사용된다. 검사는 항상 IC와 같은 반도체 디바이스를 제조하는 중요한 부분이 되어왔다. 그러나, 반도체 디바이스의 치수가 감소함에 따라, 검사는 용인 가능한 반도체 디바이스의 성공적인 제조에 더욱 더 중요해지는데, 그 이유는 더 작은 결함이 디바이스가 불합격 판정을 초래할 수 있기 때문이다.

[0005] 웨이퍼 및 레티클과 같은 시편상의 결함을 검출하기 위해 현재 여러 방법들이 사용되고 있다. 예를 들어, 다이 대 다이 이미지 비교(die to die image comparison)에서, 기준 이미지와 타겟 이미지가 정렬되고 차감된다. 그런 다음 전역적 문턱값이 차감된 픽셀에 적용된다. 결함 후보에 대응하는 이진 맵이 발생된다. 다른 실시예에서, 셀 대 셀 이미지 비교에서, 주기적 구조물(예를 들어, 메모리 디바이스)의 경우, 타겟 이미지는 한 주기만큼 시프트되고 자체와 비교된다. 이미지를 상이한 "동질의" 영역들로 분할하고 문턱값 처리 방법(thresholding method)을 특정 세그먼트 통계로 최적화하려고 시도하는 보다 진보된 방법이 또한 사용될 수 있다. 이것은 캘리포니아 밀피타스 소재의 KLA-Tencor로부터 상업적으로 이용 가능한 검사 툴에서 구현된 몇몇의 탐지 방법, 예컨대 세그먼트화된 자동 문턱값 처리(segmented auto-thresholding, SAT), 중간 다이 자동 문턱값 처리(median die auto-thresholding, MDAT), HLAT, 컨텍스트 기반 검사(context-based inspection, CBI) 및 타겟 기반 검사(target based inspection, TBI)에 뒤진 원리적인 방법이다.

[0006] 진술한 방법의 변형은 주사 전자 현미경(scanning electron microscope, SEM) 이미지의 맥락에서 일부 상업적으로 이용 가능한 전자 빔 검사 툴에서 사용될 수 있다. 문턱값 처리 메커니즘은 2차원 히스토그램 표현(산포도(scattergram))을 기초로 한다. 이 구현에서, 특이 픽셀은 기준 및 타겟 영상의 결함 히스토그램에 의해 형성된 주요 구름 외부에 있는 것으로 식별된다. 이 경우, 기준 이미지의 주어진 그레이 값과 연관된 타겟 이미지

의 픽셀 값 분포는 최적화된 문턱값을 추정하는데 사용된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 그러나, 전문한 검사 방법에는 다수의 단점들이 있다. 예를 들어, 다이 대 다이 방법은 이미지 획득 시간을 두 배로 하는 최소 두 개의 이미지들(기준 및 테스트 이미지)을 필요로 한다. 명확한 검출을 하려면 최소 세 개의 다이들이 이미지화되어야 한다(두 개의 기준 이미지와 하나의 테스트 이미지). 또한 비교에 앞서, 테스트 및 기준 이미지는 정렬되어야 한다. 중첩된 영역만이 분석될 수 있다. 기준 이미지는 또한 신호 대 잡음비(signal-to-noise ratio, SNR)에 항상 불리하게 작용하는 분석 시 약간의 잡음을 도입할 수 있다. 별도의 모듈이 결합 분류 부분을 관리해줄 수 있지만, 일반적으로 결합의 국부적 문제로 인해 결과는 열악해진다. 그뿐만 아니라, 임의의 비교 기반 방법은 테스트 패턴과 기준 패턴 간의 정상적인 차이에 영향을 받을 것이다. 이에 관한 예는 라인 에지 러프니스(line edge roughness, LER)이다. 전형적인 비교 방법은 명목상 LER로 인한 감도를 제한한다.

[0008] 또한, 현재 사용되는 방법은 알고리즘 팀이 임의의 이미지에 포함된 일부 관련 정보를 담아내는 특징("손으로 만든" 특징)을 디자인하는 것을 요구한다. 팀은 다음과 같은 일반적인 문제를 해결해야 한다: 결합 대 잡음이란 무엇인가?; 및 상이한 결합 클래스들 간을 무엇으로 구분할 수 있는가? 일반적인 추정은 판독 데이터에 의해 계속 어려움을 겪고 있다. 특정 계층/결합 유형에 대한 성능을 향상시키기 위해, 팀은 알고리즘을 수정하여야 하고 새로운 소프트웨어를 출시하여야 한다.

[0009] 따라서, 전문한 단점들 중 하나 이상을 갖지 않는 시편상의 결합을 검출하기 위한 시스템 및 방법을 개발하는 것이 유익할 것이다.

과제의 해결 수단

[0010] 다양한 실시예들에 관한 다음의 설명은 첨부된 청구범위의 주제를 어떠한 방식이든 제한하는 것으로 해석되지 않아야 한다.

[0011] 일 실시예는 시편상의 결합을 검출하도록 구성된 시스템에 관한 것이다. 시스템은 시편의 이미지를 발생하도록 구성된 이미징 서브시스템을 포함한다. 이미징 서브시스템은 시편에 에너지를 전달하도록 구성된 적어도 에너지 공급원 및 시편으로부터 에너지를 검출하도록 구성된 적어도 검출기를 포함한다. 시스템은 또한 이미징 서브시스템에 연결된 하나 이상의 컴퓨터 서브시스템들을 포함한다. 하나 이상의 컴퓨터 서브시스템들은 이미징 서브시스템에 의해 발생된 시편의 일부분의 단일의 테스트 이미지를 획득하도록 구성된다. 또한, 시스템은 하나 이상의 컴퓨터 서브시스템들에 의해 실행되는 하나 이상의 구성요소들을 포함한다. 하나 이상의 구성 요소들은 생성 모델을 포함한다. 생성 모델은 입력 특징 맵 볼륨(input feature map volume)의 픽셀 블록을 레이블(label)에 매핑하도록 구성된 비선형 네트워크를 포함한다. 레이블은 블록의 하나 이상의 결합 관련 특성들을 나타낸다. 하나 이상의 컴퓨터 서브시스템들은 단일의 테스트 이미지를 생성 모델에 입력하도록 구성된다. 생성 모델은 단일의 테스트 이미지를 다수의 픽셀 블록들로 분리하도록 구성된다. 생성 모델은 또한 다수의 픽셀 블록들 중 적어도 하나의 블록에 대해, 다수의 블록들 중 적어도 하나의 블록 내의 픽셀에만 기초하여 다수의 블록들 중 적어도 하나의 블록의 특징을 결정하도록 구성된다. 또한, 생성 모델은 결정된 특징 및 레이블에의 입력 특징 맵 볼륨의 픽셀 블록의 매핑에 기초하여 다수의 블록들 중 적어도 하나의 블록에 대한 레이블들 중 하나의 레이블을 선택하도록 구성된다. 하나 이상의 컴퓨터 서브시스템들은 또한 다수의 블록들 중 적어도 하나의 블록에 대해 선택된 레이블에 기초하여 시편의 일부분에서 결합을 검출하도록 구성된다. 시스템은 또한 본 명세서에 기술된 바와 같이 구성될 수 있다.

[0012] 다른 실시예는 시편상의 결합을 검출하기 위한 컴퓨터 구현된 방법에 관한 것이다. 방법은 이미징 서브시스템에 의해 시편의 일부분에 대해 발생된 단일의 테스트 이미지를 다수의 픽셀 블록들로 분리하는 단계를 포함한다. 다수의 픽셀 블록들 중 적어도 하나의 블록에 대해, 방법은 다수의 블록들 중 적어도 하나의 블록 내의 픽셀에만 기초하여 다수의 블록들 중 적어도 하나의 블록의 특징을 결정하는 단계를 포함한다. 분리 및 결정하는 것은 하나 이상의 컴퓨터 서브시스템들에 의해 실행되는 하나 이상의 구성요소들에 포함된 생성 모델에 의해 수행된다. 생성 모델은 입력 특징 맵 볼륨의 픽셀 블록을 레이블에 매핑하도록 구성된 비선형 네트워크를 포함한다. 레이블은 블록의 하나 이상의 결합 관련 특성들을 나타낸다. 방법은 또한 결정된 특징 및 레이블에의 입력 특징 맵 볼륨의 픽셀 블록의 매핑에 기초하여 다수의 블록들 중 적어도 하나의 블록에 대한 레이블

블록들 중 하나의 레이블을 선택하는 단계를 포함한다. 또한, 방법은 다수의 블록들 중 적어도 하나의 블록에 대해 선택된 레이블에 기초하여 시편의 일부분에서 결함을 검출하는 단계를 포함한다. 검출은 하나 이상의 컴퓨터 서브시스템들에 의해 수행된다.

[0013] 전술한 방법의 각 단계는 또한 본 명세서에서 추가로 설명되는 바와 같이 수행될 수 있다. 또한, 전술한 방법의 실시예는 본 명세서에서 설명된 임의의 다른 방법(들)의 임의의 다른 단계(들)를 포함할 수 있다. 또한, 전술한 방법은 본 명세서에서 설명된 임의의 시스템에 의해 수행될 수 있다.

[0014] 다른 실시예는 시편의 결함을 검출하기 위한 컴퓨터 구현된 방법을 수행하기 위해 컴퓨터 시스템에서 실행 가능한 프로그램 명령어를 저장하는 비일시적 컴퓨터 판독가능한 매체에 관한 것이다. 컴퓨터 구현된 방법은 전술한 방법의 단계를 포함한다. 컴퓨터 판독가능한 매체는 또한 본 명세서에서 설명된 바와 같이 구성될 수 있다. 컴퓨터 구현된 방법의 단계는 본 명세서에서 추가로 설명되는 바와 같이 수행될 수 있다. 또한, 프로그램 명령어가 실행 가능한 컴퓨터 구현된 방법은 본 명세서에서 설명된 임의의 다른 방법(들)의 임의의 다른 단계(들)를 포함할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0015] 본 발명의 추가의 장점은 첨부 도면을 참조하여 바람직한 실시예에 관한 다음의 상세한 설명의 이득을 받는 관련 기술분야의 기술자에게 명백해질 것이다.

도 1 및 도 1a는 본 명세서에서 설명된 바와 같이 구성된 시스템의 실시예의 측면도를 도시하는 개략도이다.

도 2는 본 명세서에서 설명된 시스템 실시예에 의해 수행될 수 있는 단계의 일 실시예를 나타내는 흐름도이다.

도 3은 본 명세서에서 설명된 실시예에 의해 발생할 수 있는 훈련 데이터세트의 일 실시예를 도시하는 개략도이다.

도 4는 컴퓨터 시스템으로 하여금 본 명세서에서 설명된 컴퓨터 구현된 방법을 수행하게 하는 프로그램 명령어를 저장하는 비일시적 컴퓨터 판독가능한 매체의 일 실시예를 도시하는 블록도이다.

본 발명은 다양한 수정 및 대안적인 형태가 가능하지만, 본 발명의 특정 실시예는 도면을 예를 들어 도시되고 본 명세서에서 상세히 설명된다. 도면은 일정한 비율로 작성되지 않을 수 있다. 그러나, 도면 및 그에 관한 상세한 설명은 본 발명을 개시된 특정 형태로 제한하려는 의도가 아니고, 그와 반대로, 첨부된 청구범위에 의해 정의되는 본 발명의 사상 및 범위 내에 속하는 모든 수정, 등가물 및 대안을 망라하려는 것임을 이해하여야 한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0016] 본 명세서에서 상호 교환 가능하게 사용되는 "디자인", "디자인 데이터" 및 "디자인 정보"라는 용어는 IC의 물리적 디자인(레이아웃) 및 복잡한 시뮬레이션 또는 간단한 기하 및 부울 연산을 통해 물리적 디자인으로부터 도출되는 데이터를 일반적으로 지칭한다. 또한, 레티클 검사 시스템 및/또는 그 파생물에 의해 획득된 레티클의 이미지는 디자인에 대한 "프록시" 또는 "프록시들"로서 사용될 수 있다. 이러한 레티클 이미지 또는 그 파생물은 디자인을 사용하는 본 명세서에서 설명된 임의의 실시예에서의 디자인 레이아웃의 대체물로서 기능할 수 있다. 디자인은 2009년 8월 4일자로 자파(Zafar) 등에게 허여된 공동 소유의 미국 특허 제 7,570,796 호 및 2009년 3월 9일자로 쿨카니(Kulkarni) 등에게 허여된 공동 소유의 미국 특허 제 7,676,077 호에 설명된 임의의 다른 디자인 데이터 또는 디자인 데이터 프록시를 포함할 수 있으며, 이들 특허는 모두 다 본 명세서에서 전체적으로 설명된 것처럼 참조로 포함된다. 또한 디자인 데이터는 표준 셀 라이브러리 데이터, 통합된 레이아웃 데이터, 하나 이상의 계층에 대한 디자인 데이터, 디자인 데이터의 파생물 및 전체 또는 부분적 칩 디자인 데이터일 수 있다.

[0017] 또한, 본 명세서에서 설명된 "디자인", "디자인 데이터" 및 "디자인 정보"는 반도체 디바이스 설계자가 디자인 프로세스에서 만들어낸 정보 및 데이터를 지칭하며, 그러므로 레티클 및 웨이퍼와 같은 임의의 물리적 시편상에 디자인을 인쇄하기에 앞서 본 명세서에서 또한 설명된 실시예에서 사용하는데 이용할 수 있다.

[0018] 이제 도면으로 돌아가면, 도면은 일정한 비율로 작성되어 있지 않다는 것을 주목하여야 한다. 특히, 도면의 일부 요소의 규모는 그 요소의 특성을 강조하기 위해 크게 과장되어 있다. 또한, 도면은 동일한 비율로 작성되어 있지 않다는 것 또한 주목하여야 한다. 유사하게 구성될 수 있는 하나 초과와 도면에 도시된 요소들은 동일한 참조 부호를 사용하여 표시되었다. 본 명세서에서 달리 언급하지 않는 한, 설명되고 도시된 임의의 요소는 상

업적으로 이용 가능한 임의의 적합한 요소를 포함할 수 있다.

- [0019] 일 실시예는 시편상의 결함을 검출하도록 구성된 시스템에 관한 것이다. 이러한 시스템의 일 실시예는 도 1에 도시된다. 시스템은 하나 이상의 컴퓨터 서브시스템들(예를 들어, 컴퓨터 서브시스템(36 및 102)) 및 하나 이상의 컴퓨터 서브시스템들에 의해 실행되는 하나 이상의 구성요소들(100)을 포함한다. 일부 실시예에서, 시스템은 이미징 시스템(또는 서브시스템)(10)을 포함한다. 일반적으로, 이미징 서브시스템은 시편의 이미지를 발생하도록 구성된다. 예를 들어, 본 명세서에서 추가로 설명되고 도 1 및 도 1a에 도시된 바와 같이, 이미징 서브시스템은 에너지를 시편에 전달하도록 구성된 적어도 에너지 공급원 및 시편으로부터 에너지를 검출하도록 구성된 적어도 검출기를 포함한다. 이미징 서브시스템은 시편으로부터 에너지를 검출하면서 물리적 버전의 시편을 가로질러 에너지를 스캔하여 시편의 이미지를 발생함으로써 그렇게 수행할 수 있다. 이미징 서브시스템은 또한 스캐닝 및 검출을 다수의 모드들로 수행하도록 구성될 수 있다.
- [0020] 일 실시예에서, 상기 시편은 웨이퍼이다. 웨이퍼는 본 기술분야에서 공지된 임의의 웨이퍼를 포함할 수 있다. 다른 실시예에서, 시편은 레티클이다. 레티클은 본 기술분야에서 공지된 임의의 레티클을 포함할 수 있다.
- [0021] 일 실시예에서, 이미징 서브시스템은 광학 기반의 이미징 서브시스템이다. 예를 들어, 시편으로 전달되는 에너지는 광을 포함할 수 있으며 시편으로부터 검출된 에너지는 광을 포함할 수 있다. 그러한 하나의 예에서, 도 1에 도시된 시스템의 실시예에서, 이미징 서브시스템(10)은 광을 시편(14)으로 전달하도록 구성된 조명 서브시스템을 포함한다. 조명 서브시스템은 적어도 하나의 광원을 포함한다. 예를 들어, 도 1에 도시된 바와 같이, 조명 서브시스템은 광원(16)을 포함한다. 일 실시예에서, 조명 서브시스템은 광을 하나 이상의 비스듬한 각도 및/또는 하나 이상의 법선 각도를 포함할 수 있는 하나 이상의 입사 각도로 전달하도록 구성된다. 예를 들어, 도 1에 도시된 바와 같이, 광원(16)으로부터의 광은 광학 요소(18)를 통과한 다음 렌즈(20)를 통과하여 비스듬한 입사 각도로 시편(14)으로 전달된다. 비스듬한 입사 각도는 임의의 적합한 비스듬한 입사 각도를 포함할 수 있으며, 이 각도는 예를 들어 시편의 특성에 따라 다를 수 있다.
- [0022] 이미징 서브시스템은 광을 상이한 시간에 상이한 입사 각도로 시편에 전달하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 이미징 서브시스템은 광이 도 1에 도시된 것과 상이한 입사 각도로 시편으로 전달될 수 있도록 조명 서브시스템의 하나 이상의 요소들의 하나 이상의 특성들을 변경하도록 구성될 수 있다. 이러한 하나의 예에서, 이미징 서브시스템은 광원(16), 광학 요소(18) 및 렌즈(20)를 움직여서 광이 상이한 비스듬한 입사 각도 또는 법선(또는 거의 법선)의 입사 각도로 시편으로 전달되도록 구성될 수 있다.
- [0023] 일부 사례에서, 이미징 서브시스템은 광을 하나 초과인 입사 각도로 동시에 시편으로 전달하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 조명 서브시스템은 하나 초과인 조명 채널들을 포함할 수 있고, 조명 채널들의 하나의 조명 채널은 도 1에 도시된 바와 같이 광원(16), 광학 요소(18) 및 렌즈(20)를 포함할 수 있고 조명 채널들 중 다른 조명 채널(도시되지 않음)은 상이하게 또는 동일하게 구성될 수 있는 유사한 요소들을 포함할 수 있거나, 또는 적어도 광원 및 가능하게는 본 명세서에서 추가로 설명되는 것과 같은 하나 이상의 다른 구성요소들을 포함할 수 있다. 이러한 광이 다른 광과 동시에 시편으로 전달되면, 상이한 입사 각도로 시편으로 전달되는 광의 하나 이상의 특성들(예를 들어, 파장, 편광 등)은 상이할 수 있으므로 시편을 상이한 입사 각도로 조명한 결과로 생기는 광은 검출기(들)에서 서로 구별될 수 있다.
- [0024] 다른 사례에서, 조명 서브시스템은 단지 하나의 광원(예를 들어, 도 1에 도시된 광원(16))을 포함할 수 있으며, 광원으로부터의 광은 조명 서브시스템의 하나 이상의 광학 요소들(도시되지 않음)에 의해 (예를 들어, 파장, 편광 등에 기초하여) 상이한 광학 경로로 분리될 수 있다. 이후 상이한 광학 경로 각각에서의 광은 시편으로 전달될 수 있다. 다수의 조명 채널들은 (예를 들어, 상이한 조명 채널이 순차적으로 시편을 조명하는데 사용될 때) 동시에 또는 상이한 시간에 광을 시편으로 전달하도록 구성될 수 있다. 다른 사례에서, 동일한 조명 채널은 상이한 시간에 상이한 특성을 갖는 시편으로 광을 전달하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 일부 사례에서, 광학 요소(18)는 스펙트럼 필터로서 구성될 수 있고, 스펙트럼 필터의 특성은 상이한 파장의 광이 상이한 시간에 시편으로 전달될 수 있도록 (예를 들어, 스펙트럼 필터를 교체함으로써) 다양한 상이한 방식으로 변경될 수 있다. 조명 서브시스템은 상이한 또는 동일한 특성을 갖는 광을 상이한 또는 동일한 입사 각도로 순차적으로 또는 동시에 전달하기 위해 본 기술분야에서 공지된 임의의 다른 적합한 구성을 가질 수 있다.
- [0025] 일 실시예에서, 광원(16)은 광대역 플라즈마(broadband plasma, BBP) 광원을 포함할 수 있다. 이러한 방식으로, 광원에 의해 발생되어 시편으로 전달되는 광은 광대역 광을 포함할 수 있다. 그러나, 광원은 레이저와 같은 임의의 다른 적합한 광원을 포함할 수 있다. 레이저는 본 기술분야에서 공지된 임의의 적합한 레이저를 포함할 수 있고 본 기술분야에서 공지된 임의의 적합한 파장 또는 파장들의 광을 발생하도록 구성될 수

있다. 또한, 레이저는 단색 또는 거의 단색의 광을 발생하도록 구성될 수 있다. 이러한 방식으로, 레이저는 협대역 레이저일 수 있다. 광원은 또한 다수의 별개의 파장들 또는 대역들의 광을 발생하는 다색 광원을 포함할 수 있다.

[0026] 광학 요소(18)로부터의 광은 렌즈(20)에 의해 시편(14) 상에 초점이 맞추어질 수 있다. 도 1에서는 렌즈(20)가 단일의 굴절 광학 요소로서 도시되지만, 실제로, 렌즈(20)는 광학 요소로부터 시편까지 광을 함께 초점을 맞추는 다수의 굴절 및/또는 반사 광학 요소들을 포함할 수 있다. 도 1에 도시되고 본 명세서에서 설명된 조명 서브시스템은 임의의 다른 적합한 광학 요소(도시되지 않음)를 포함할 수 있다. 이러한 광학 요소의 예는 이것으로 제한되는 것은 아니지만, 본 기술분야에서 공지된 임의의 이러한 적합한 광학 요소를 포함할 수 있는, 편광 구성요소(들), 스펙트럼 필터(들), 공간 필터(들), 반사 광학 요소(들), 애퍼다이저(apodizer)(들), 빔 스플리터(들), 조리개(들) 등을 포함한다. 또한, 이미징 서브시스템은 이미징에 사용되는 조명의 유형에 기초하여 조명 서브시스템의 요소들 중 하나 이상을 변경하도록 구성될 수 있다.

[0027] 이미징 서브시스템은 시편을 가로질러 광이 스캔되도록 구성된 스캐닝 서브시스템을 더 포함할 수 있다. 예를 들어, 이미징 서브시스템은 검사 중에 시편(14)이 배치되는 스테이지(22)를 포함할 수 있다. 스캐닝 서브시스템은 광이 시편 위에서 스캔될 수 있도록 시편을 이동하도록 구성될 수 있는 임의의 적합한 기계적 및/또는 로봇식 어셈블리(스테이지(22)를 포함함)를 포함할 수 있다. 또한 또는 대안적으로, 이미징 서브시스템은 이미징 서브시스템의 하나 이상의 광학 요소들이 시편을 가로지르는 광의 일부 스캐닝을 수행하도록 구성될 수 있다. 광은 구불구불한 모양의 경로 또는 나선형 경로와 같은 임의의 적합한 방식으로 시편을 가로질러 스캔될 수 있다.

[0028] 이미징 서브시스템은 하나 이상의 검출 채널들을 더 포함한다. 하나 이상의 검출 채널들 중 적어도 하나의 검출 채널은 시스템에 의해 시편을 조명함으로써 시편으로부터 광을 검출하고 검출된 광에 반응하는 출력을 발생하도록 구성된 검출기를 포함한다. 예를 들어, 도 1에 도시된 이미징 서브시스템은 두 개의 검출 채널들을 포함하는데, 하나의 검출 채널은 콜렉터(24), 요소(26) 및 검출기(28)에 의해 형성되고 다른 하나의 검출 채널은 콜렉터(30), 요소(32) 및 검출기(34)에 의해 형성된다. 도 1에 도시된 바와 같이, 두 개의 검출 채널들은 상이한 수집 각도에서 광을 수집하고 검출하도록 구성된다. 일부 사례에서, 검출 채널들은 둘 다 산란된 광을 검출하도록 구성되며, 검출 채널들은 시편으로부터 상이한 각도로 산란된 광을 검출하도록 구성된다. 그러나, 검출 채널들 중 하나 이상은 시편으로부터 다른 유형의 광(예를 들어, 반사된 광)을 검출하도록 구성될 수 있다.

[0029] 도 1에서 추가로 도시된 바와 같이, 검출 채널들은 둘 다 종이의 평면 내에 배치된 것으로 도시되고, 조명 서브시스템도 또한 종이의 평면 내에 배치된 것으로 도시된다. 그러므로 이 실시예에서, 검출 채널들은 둘 다 입사 평면에 (예를 들어, 입사 평면에서 중심에) 배치된다. 그러나 검출 채널들 중의 하나 이상은 입사 평면에서 벗어나 배치될 수 있다. 예를 들어, 콜렉터(30), 요소(32), 및 검출기(34)에 의해 형성된 검출 채널은 입사 평면에서 벗어나 산란되는 광을 수집하고 검출하도록 구성될 수 있다. 그러므로, 이러한 검출 채널은 일반적으로 "측면" 채널이라고 지칭될 수 있으며, 이러한 측면 채널은 입사 평면에 실질적으로 수직인 평면에서 중심에 놓일 수 있다.

[0030] 도 1은 두 개의 검출 채널들을 포함하는 이미징 서브시스템의 실시예를 도시하지만, 이미징 서브시스템은 상이한 수의 검출 채널들(예를 들어, 단지 하나의 검출 채널 또는 두 개 이상의 검출 채널들)을 포함할 수 있다. 이러한 하나의 예에서, 콜렉터(30), 요소(32), 및 검출기(34)에 의해 형성된 검출 채널은 전술한 바와 같이 하나의 측면 채널을 형성할 수 있으며, 이미징 서브시스템은 입사 평면의 반대 편에 배치된 다른 측면 채널로서 형성된 부가적인 검출 채널(도시되지 않음)을 포함할 수 있다. 그러므로 이미징 서브시스템은 콜렉터(24), 요소(26), 및 검출기(28)를 포함하며, 입사 평면의 중심에 있고 시편 표면에 있거나 시편 표면의 법선에 가까운 산란 각도(들)의 광을 수집하고 검출하도록 구성된 검출 채널을 포함할 수 있다. 그러므로 이러한 검출 채널은 일반적으로 "상부" 채널이라고 지칭될 수 있고, 이미징 서브시스템은 전술한 바와 같이 구성된 두 개 이상의 측면 채널들을 또한 포함할 수 있다. 이와 같이, 이미징 서브시스템은 적어도 세 개의 채널들(즉, 하나의 상부 채널 및 두 개의 측면 채널들)을 포함할 수 있고, 적어도 세 개의 채널들 각각은 그 자신의 콜렉터를 갖고, 각각의 콜렉터는 다른 콜렉터들 각각과 다른 상이한 산란 각도의 광을 수집하도록 구성된다.

[0031] 위에서 추가로 설명된 바와 같이, 이미징 서브시스템에 포함된 각각의 검출 채널은 산란된 광을 검출하도록 구성될 수 있다. 그러므로 도 1에 도시된 이미징 서브시스템은 시편의 다크 필드(dark field, DF) 이미징을 위해 구성될 수 있다. 그러나, 이미징 서브시스템은 시편의 브라이트 필드(bright field, BF) 이미징을 위해 구성된 검출 채널(들)을 또한 또는 대안적으로 포함할 수 있다. 다시 말해서, 이미징 서브시스템은 시편으로부터 정

반사된 광을 검출하도록 구성된 적어도 하나의 검출 채널을 포함할 수 있다. 그러므로, 본 명세서에서 설명된 이미징 서브시스템은 DF 단독, BF 단독, 또는 DF 및 BF 이미징 둘 다를 위해 구성될 수 있다. 각각의 콜렉터는 도 1에서 단일의 굴절 광학 요소로서 도시되지만, 각각의 콜렉터는 하나 이상의 굴절 광학 요소(들) 및/또는 하나 이상의 반사 광학 요소(들)를 포함할 수 있다는 것을 이해하여야 한다.

[0032] 하나 이상의 검출 채널들은 본 기술분야에서 공지된 임의의 적합한 검출기를 포함할 수 있다. 예를 들어, 검출기는 광 증배관(photo-multiplier tube, PMT), 전하 결합 디바이스(charge coupled device, CCD), 시간 지연 적분(time delay integration, TDI) 카메라 및 본 기술분야에서 공지된 임의의 다른 적합한 검출기를 포함할 수 있다. 검출기는 또한 비 이미징 검출기 또는 이미징 검출기를 포함할 수도 있다. 이러한 방식으로, 검출기가 비 이미징 검출기이면, 각각의 검출기는 산란된 광의 강도와 같은 특정한 특성을 검출하도록 구성될 수 있지만, 그러한 특성을 이미징 평면 내의 위치의 함수로서 검출하도록 구성되지 않을 수 있다. 이와 같이, 이미징 서브시스템의 각각의 검출 채널에 포함된 각각의 검출기에 의해 생성된 출력은 신호 또는 데이터일 수 있지만, 이미지 신호 또는 이미지 데이터가 아닐 수 있다. 이러한 사례에서, 컴퓨터 서브시스템(36)과 같은 컴퓨터 서브시스템은 검출기의 비 이미징 출력으로부터 시편의 이미지를 발생하도록 구성될 수 있다. 그러나, 다른 사례에서, 검출기는 이미징 신호 또는 이미지 데이터를 발생하도록 구성된 이미징 검출기로서 구성될 수 있다. 그러므로 이미징 서브시스템은 본 명세서에서 설명된 이미지를 다수의 방식으로 생성하도록 구성될 수 있다.

[0033] 도 1은 본 명세서에서 설명된 시스템 실시예에 포함될 수 있거나 또는 본 명세서에서 설명된 시스템 실시예에 의해 사용되는 이미지를 발생할 수 있는 이미징 시스템 또는 서브시스템의 구성을 일반적으로 도시하기 위해 본 명세서에 제공된다는 것을 주목하여야 한다. 명백하게, 본 명세서에서 설명된 이미징 서브시스템 구성은 상업적 이미징 시스템을 디자인할 때 정상적으로 수행되는 것처럼 이미징 서브시스템의 성능을 최적화하기 위해 변경될 수 있다. 또한, 본 명세서에서 설명된 시스템은 캘리포니아, 밀피타스 소재의 KLA-Tencor로부터 상업적으로 구입 가능한 29xx/28xx 시리즈의 툴과 같은 기존 시스템을 사용하여 (예를 들어, 기존 시스템에다 본 명세서에 기술된 기능성을 추가함으로써) 구현될 수 있다. 일부 이러한 시스템의 경우, 본 명세서에서 설명된 실시예는 (예를 들어, 시스템의 다른 기능성에 부가하여) 시스템의 선택적인 기능성으로서 제공될 수 있다. 대안적으로, 본 명세서에서 설명된 이미징 서브시스템은 완전히 새로운 이미징 서브시스템을 제공하기 위해 "맨 처음부터" 디자인될 수 있다.

[0034] 컴퓨터 서브시스템(36)은 컴퓨터 서브시스템이 시편의 스캐닝 중에 검출기에 의해 발생된 출력을 수신할 수 있도록 임의의 적합한 방식으로 (예를 들어, "유선" 및/또는 "무선" 전송 매체를 포함할 수 있는 하나 이상의 전송 매체들을 통해) 이미징 서브시스템의 검출기에 연결될 수 있다. 이러한 방식으로, 컴퓨터 서브시스템은 이미징 서브시스템에 연결된다. 또한, 컴퓨터 서브시스템은 이미징 서브시스템에 의해 발생된 시편의 일부분의 단일의 테스트 이미지를 획득하도록 구성된다. 예를 들어, 본 명세서에서 설명된 컴퓨터 서브시스템 및 임의의 다른 컴퓨터 서브시스템은 검출기로부터 이러한 단일의 테스트 이미지를 획득하도록 그리고/또는 본 명세서에서 추가로 설명되는 바와 같이 구성될 수 있다. 컴퓨터 서브시스템(36)은 검출기에 의해 발생된 출력 및/또는 이미지를 사용하여 본 명세서에서 추가로 설명되는 다수의 기능들을 수행하도록 구성될 수 있다.

[0035] 도 1에 도시된 컴퓨터 서브시스템(뿐만 아니라 본 명세서에서 설명된 다른 컴퓨터 서브시스템)은 본 명세서에서 컴퓨터 시스템(들)이라고도 지칭될 수 있다. 본 명세서에서 설명된 컴퓨터 서브시스템(들) 또는 시스템(들) 각각은 퍼스널 컴퓨터 시스템, 이미지 컴퓨터, 메인 프레임 컴퓨터 시스템, 워크스테이션, 네트워크 어플라이언스, 인터넷 어플라이언스 또는 기타 디바이스를 비롯한 다양한 형태를 취할 수 있다. 일반적으로, "컴퓨터 시스템"이라는 용어는 메모리 매체로부터의 명령어를 실행하는 하나 이상의 프로세서들을 갖는 임의의 디바이스를 포괄하는 것으로 광범위하게 정의될 수 있다. 컴퓨터 서브시스템(들) 또는 시스템(들)은 또한 병렬 프로세서와 같이 본 기술분야에서 공지된 임의의 적합한 프로세서를 포함할 수 있다. 또한, 컴퓨터 서브시스템(들) 또는 시스템(들)은 고속 처리 및 소프트웨어를 갖는 컴퓨터 플랫폼을 독립형 또는 네트워크형 툴 중 어느 하나로서 포함할 수 있다. 또한, 컴퓨터 서브시스템(들)은 하나 이상의 그래픽 처리 유닛(graphics processing unit, GPU)들 및/또는 하나 이상의 중앙 처리 디바이스(central processing unit, CPU)들을 포함할 수 있다.

[0036] 시스템이 하나 초과인 컴퓨터 서브시스템을 포함하면, 서로 다른 컴퓨터 서브시스템들은 이미지, 데이터, 정보, 명령어 등이 본 명세서에서 추가로 설명되는 바와 같이 컴퓨터 서브시스템 사이에서 전송될 수 있도록 서로 연결될 수 있다. 예를 들어, 컴퓨터 서브시스템(36)은 도 1에서 점선으로 도시된 바와 같이, 본 기술분야에서 공지된 임의의 적합한 유선 및/또는 무선 전송 매체를 포함할 수 있는 임의의 적합한 전송 매체에 의해 컴퓨터 서브시스템(들)(102)에 연결될 수 있다. 이러한 컴퓨터 서브시스템들 중 두 개 이상은 또한 공유된 컴퓨터 판독

가능한 저장 매체(도시되지 않음)에 의해 효율적으로 연결될 수 있다.

- [0037] 이미징 서브시스템이 광학 또는 광 기반의 이미징 서브시스템인 것으로 위에서 설명되지만, 이미징 서브시스템은 전자 빔 기반 이미징 서브시스템일 수 있다. 이러한 하나의 실시예에서, 시편으로 전달되는 에너지는 전자를 포함하고, 시편으로부터 검출된 에너지는 전자를 포함한다. 이러한 방식으로, 이미징 서브시스템은 시편으로 전달되는 전자를 발생하도록 구성된 적어도 에너지 공급원 및 시편으로부터 전자를 검출하도록 구성된 적어도 검출기를 포함할 수 있다. 도 1a에 도시된 이러한 하나의 실시예에서, 이미징 서브시스템은 컴퓨터 서브시스템(124)에 연결된 전자 칼럼(122)을 포함한다.
- [0038] 또한, 도 1a에서도 도시된 바와 같이, 전자 칼럼은 하나 이상의 요소들(130)에 의해 시편(128)에 초점이 맞추어지는 전자를 발생하도록 구성된 전자빔 공급원(126)을 포함한다. 전자빔 공급원은 예를 들어 캐소드 공급원 또는 이미터 튜브를 포함할 수 있고, 하나 이상의 요소들(130)은 예를 들어 건 렌즈(gun lens), 애노드, 빔 제한 조리개, 게이트 밸브, 빔 전류 선택 조리개, 대물렌즈 및 스캐닝 서브시스템을 포함할 수 있으며, 이들 모두는 본 기술분야에서 공지된 적합한 요소를 포함할 수 있다.
- [0039] 시편으로부터 되돌아오는 전자(예를 들어, 이차 전자)는 하나 이상의 요소들(132)에 의해 검출기(134)에 초점이 맞추어질 수 있다. 하나 이상의 요소들(132)은 예를 들어 요소(들)(130)에 포함된 동일한 스캐닝 서브시스템일 수 있는 스캐닝 서브시스템을 포함할 수 있다.
- [0040] 전자 칼럼은 본 기술분야에서 공지된 임의의 다른 적합한 요소를 포함할 수 있다. 또한, 전자 칼럼은 2014년 4월 4일자로 지양(Jiang) 등에게 허여된 미국 특허 제 8,664,594 호, 2014년 4월 8일자로 코지마(Kojima) 등에게 허여된 미국 특허 제 8,692,204 호, 2014년 4월 15일자로 구벤스(Gubbens) 등에게 허여된 미국 특허 제 8,698,093호 및 2014년 5월 6일자로 맥도날드(MacDonald) 등에게 허여된 미국 특허 제 8,716,662 호에 설명된 바와 같이 또한 구성될 수 있으며, 이들 특허는 본 명세서에서 전체적으로 설명된 것처럼 참조로 포함된다.
- [0041] 전자 칼럼은 도 1a에서 전자가 비스듬한 입사 각도로 시편으로 전달되고 시편으로부터 다른 비스듬한 각도로 산란되도록 구성되는 것으로 도시되지만, 전자빔은 임의의 적합한 각도로 시편으로 전달되고 시편으로부터 산란되는 것으로 이해하여야 한다. 또한, 전자빔 기반 이미징 서브시스템은 본 명세서에서 추가로 설명되는 바와 같이 (예를 들어, 상이한 조명 각도, 수집 각도 등으로) 시편의 이미지를 발생하는 다수의 모드들을 사용하도록 구성될 수 있다. 전자빔 기반 이미징 서브시스템의 다수의 모드들은 이미징 서브시스템의 임의의 이미지 발생 파라미터가 상이할 수 있다.
- [0042] 컴퓨터 서브시스템(124)은 전술한 바와 같이 검출기(134)에 연결될 수 있다. 검출기는 시편의 표면으로부터 되돌아온 전자를 검출하고 그림으로써 시편의 전자빔 이미지를 형성할 수 있다. 전자빔 이미지는 임의의 적합한 전자빔 이미지를 포함할 수 있다. 컴퓨터 서브시스템(124)은 검출기(134)에 의해 발생된 출력 및/또는 이미지를 사용하여 시편에 대하여 본 명세서에서 추가로 설명되는 하나 이상의 기능들을 수행하도록 구성될 수 있다. 컴퓨터 서브시스템(124)은 본 명세서에서 설명된 임의의 부가적인 단계(들)를 수행하도록 구성될 수 있다. 도 1a에 도시된 이미징 서브시스템을 포함하는 시스템은 또한 본 명세서에서 설명된 바와 같이 구성될 수 있다.
- [0043] 도 1a는 본 명세서에서 설명된 실시예에 포함될 수 있는 전자빔 기반 이미징 서브시스템의 구성을 일반적으로 도시하기 위해 본 명세서에 제공된다. 전술한 광학 이미징 서브시스템과 마찬가지로, 본 명세서에서 설명된 전자빔 기반 이미징 서브시스템 구성은 상업적 이미징 서브시스템을 디자인할 때 정상적으로 수행되는 이미징 서브시스템의 성능을 최적화하도록 변경될 수 있다. 또한, 본 명세서에서 설명된 시스템은 KLA-Tencor로부터 상업적으로 입수 가능한 eSxxx 및 eDR-xxxx 툴 시리즈와 같은 기존 서브시스템을 사용하여 (예를 들어, 기존 시스템에 본 명세서에서 설명된 기능을 추가함으로써) 구현될 수 있다. 이러한 일부 시스템의 경우, 본 명세서에서 설명된 실시예는 (예를 들어, 시스템의 다른 기능성에 부가하여) 시스템의 선택적인 기능성으로서 제공될 수 있다. 대안적으로, 본 명세서에서 설명된 서브시스템은 완전히 새로운 시스템을 제공하기 위해 "맨 처음부터" 디자인될 수 있다.
- [0044] 이미징 서브시스템이 광 기반 또는 전자빔 기반 이미징 서브시스템인 것으로 위에서 설명되지만, 이미징 서브시스템은 이온 빔 기반 이미징 서브시스템일 수 있다. 이러한 이미징 서브시스템은 전자빔 공급원이 본 기술분야에서 공지된 임의의 적합한 이온 빔 공급원으로 대체될 수 있다는 것을 제외하고는 도 2에 도시된 바와 같이 구성될 수 있다. 또한, 이미징 서브시스템은 상업적으로 이용 가능한 집속 이온 빔(focused ion beam, FIB) 시스템, 헬륨 이온 현미경(helium ion microscopy, HIM) 시스템 및 이차 이온 질량 분광기(secondary ion mass spectroscopy, SIMS) 시스템에 포함된 것과 같은 임의의 다른 적합한 이온빔 기반 이미징 서브시스템일 수

있다. 또한, 이미징 서브시스템은 일부 사례에서 x-레이 기반 이미징 서브시스템으로 구성될 수 있다. 이러한 방식으로, 시편으로 전달되는 에너지는 x-레이를 포함할 수 있다. x-레이 기반 이미징 서브시스템은 2005년 5월 10일자로 레비(Levy) 등에게 허여된 미국 특허 제 6,891,627 호에 설명된 바와 같이 구성될 수 있으며, 이 특허는 본 명세서에서 전체적으로 설명된 것처럼 참조로 포함된다. 본 명세서에서 설명된 실시예는 또한 이 특허에서 설명된 바와 같이 구성될 수 있다.

[0045] 위에서 언급한 바와 같이, 이미징 서브시스템은 에너지를 물리적 버전의 시편으로 전달하여 물리적 버전의 시편의 실제 이미지를 발생하도록 구성된다. 이러한 방식으로, 이미징 서브시스템은 "가상" 시스템이라기 보다는 "실제" 이미징 시스템으로서 구성될 수 있다. 예를 들어, 저장 매체(도시되지 않음) 및 도 1에 도시된 컴퓨터 서브시스템(들)(102)은 "가상" 시스템으로서 구성될 수 있다. 특히, 저장 매체 및 컴퓨터 서브시스템(들)은 이미징 서브시스템(10)의 일부가 아니며 물리적 버전의 시편을 다루기 위한 어떠한 능력도 갖고 있지 않다. 다시 말해서, 가상 시스템으로서 구성된 시스템에서, 시스템의 하나 이상의 "검출기들"의 출력은 실제 시스템의 하나 이상의 검출기들에 의해 이전에 발생되어 가상 시스템에 저장된 출력일 수 있으며, "스캐닝" 동안, 가상 시스템은 마치 시편이 스캔되고 있는 것처럼 저장된 출력을 재생할 수 있다. 이러한 방식으로, 가상 시스템으로 시편을 스캔하는 것은 마치 물리적인 시편이 실제 시스템으로 스캔되고 있는 것과 동일하게 보이지만, 실제로 "스캐닝"은 시편이 스캔될 수 있는 것과 동일한 방식으로 시편의 출력을 단순히 재생하는 것을 포함한다. "가상의" 검사 시스템으로서 구성된 시스템 및 방법은 2012년 2월 28일자로 바스카르(Bhaskar) 등에게 허여된 공통으로 양도된 미국 특허 제 8,126,255 호 및 2015년 12월 29일자로 더피(Duffy) 등에게 허여된 공통으로 양도된 미국 특허 제 9,222,895 호에 설명되어 있으며, 이들 특허는 둘 다 본 명세서에서 전체적으로 설명된 것처럼 참조로 포함된다. 본 명세서에서 설명된 실시예는 또한 이들 특허에서 설명된 바와 같이 구성될 수 있다. 예를 들어, 본 명세서에서 설명된 하나 이상의 컴퓨터 서브시스템들은 또한 이들 특허에 설명된 바와 같이 구성될 수 있다.

[0046] 위에서 추가로 언급한 바와 같이, 이미징 서브시스템은 시편의 이미지를 다수의 모드들로 발생하도록 구성될 수 있다. 일반적으로, "모드"는 시편의 이미지를 발생하기 위해 사용되는 이미징 서브시스템의 파라미터의 값 또는 시편의 이미지를 생성하는데 사용되는 출력에 의해 정의될 수 있다. 그러므로 상이한 모드는 이미징 서브시스템의 이미징 파라미터들 중 적어도 하나의 파라미터에 대한 값이 상이할 수 있다. 예를 들어, 시편을 가로질러 스캔되는 에너지 및 시편으로부터 검출된 에너지가 광인 하나의 실시예에서, 다수의 모드들 중 적어도 하나의 모드는 다수의 모드들 중 적어도 하나의 다른 모드에 사용된 조명용 광의 적어도 하나의 파장과 상이한 조명용 광의 적어도 하나의 파장을 사용한다. 모드들은 상이한 모드들에 대해 (예를 들어, 상이한 광원, 상이한 스펙트럼 필터 등을 포함함으로써) 본 명세서에서 추가로 설명된 바와 같이 조명 파장이 상이할 수 있다. 다른 실시예에서, 다수의 모드들 중 적어도 하나의 모드는 다수의 모드들 중 적어도 하나의 다른 모드에 사용되는 이미징 서브시스템의 조명 채널과 상이한 이미징 서브시스템의 조명 채널을 사용한다. 예를 들어, 위에서 언급한 바와 같이, 이미징 서브시스템은 하나 초과와 조명 채널들을 포함할 수 있다. 이와 같이, 상이한 조명 채널은 상이한 모드에 사용될 수 있다.

[0047] 일 실시예에서, 이미징 서브시스템은 검사 서브시스템이다. 예를 들어, 본 명세서에서 설명된 광학 및 전자빔 이미징 서브시스템은 검사 서브시스템으로서 구성될 수 있다. 다른 실시예에서, 이미징 서브시스템은 결함 검토 서브시스템(defect review subsystem)이다. 예를 들어, 본 명세서에서 설명된 광학 및 전자빔 이미징 서브시스템은 결함 검토 서브시스템으로서 구성될 수 있다. 추가의 실시예에서, 이미징 서브시스템은 계측 서브시스템(metrology subsystem)이다. 예를 들어, 본 명세서에서 설명된 광학 및 전자빔 이미징 서브시스템은 계측 서브시스템으로서 구성될 수 있다. 특히, 본 명세서에서 설명되고 도 1 및 도 1a에 도시된 이미징 서브시스템의 실시예는 서브시스템이 사용될 애플리케이션에 따라 상이한 이미징 능력을 제공하기 위해 하나 이상의 파라미터가 수정될 수 있다. 이러한 하나의 예에서, 도 1에 도시된 이미징 서브시스템은 이 서브시스템이 검사라기 보다 결함 검토 또는 계측에 사용된다면 더 높은 해상도를 갖도록 구성될 수 있다. 다시 말해서, 도 1 및 도 1a에 도시된 이미징 서브시스템의 실시예는 상이한 애플리케이션에 다소 적합한 상이한 이미징 능력을 갖는 이미징 서브시스템을 만들어 내는 관련 기술분야에서 기술자에게 명백해질 다수의 방식으로 맞춤 제작될 수 있는 이미징 서브시스템의 약간 일반적이고 다양한 구성을 설명한다.

[0048] 검사 서브시스템, 결함 검토 서브시스템 및 계측 서브시스템은 또한 웨이퍼 및 레티클과 같은 시편의 검사, 결함 검토 및 계측을 위해 구성될 수 있다. 예를 들어, 본 명세서에서 설명된 실시예는 마스크 검사 및 웨이퍼 검사의 목적으로 생성 모델을 사용하도록 구성될 수 있다. 특히, 본 명세서에서 설명된 생성 모델 실시예는 광대역 플라즈마 검사기, 전자빔 검사기 또는 결함 검토 툴, 마스크 검사기, 가상 검사기 등과 같은 이미징 서브시스템의 구성요소이거나 이미징 서브시스템에 연결된 컴퓨터 노드 또는 컴퓨터 클러스터 상에 설치될 수 있다.

이러한 방식으로, 본 명세서에서 설명된 실시예는 이것으로 제한되는 것은 아니지만, 웨이퍼 검사, 마스크 검사, 전자빔 검사 및 검토 등을 포함하는 다양한 애플리케이션을 위해 사용될 수 있다. 도 1 및 도 1a에 도시된 이미징 서브시스템의 특성은 실제 이미지를 발생할 시점에 기초하여 전술한 바와 같이 수정될 수 있다.

[0049] 컴퓨터 서브시스템(들), 예를 들어, 컴퓨터 서브시스템(36 및/또는 102)에 의해 실행되는 도 1에 도시된 구성요소(들), 예를 들어, 구성요소(들)(100)는 생성 모델(104)을 포함한다. "생성" 모델은 사실상 일반적으로 확률론적인 모델로서 정의된다. 다시 말해서, "생성" 모델은 전방 시뮬레이션(forward simulation) 또는 규칙 기반 접근법을 수행하는 모델이 아니다. 이와 같이, 생성 모델이 본 명세서에서 추가로 설명되는 바와 같이 시뮬레이션을 수행하기 위해 사용되면, (시뮬레이트된 이미지가 생성되는) 실제 이미지를 발생할 때 수반되는 프로세스의 물리화학적 모델은 필요하지 않다. 그 대신에, 본 명세서에서 추가로 설명되는 바와 같이, 생성 모델은 적합한 훈련 데이터의 세트에 기초하여 (그 파라미터가 학습될 수 있다는 점에서) 학습될 수 있다. 본 명세서에서 추가로 설명되는 바와 같이, 이러한 생성 모델은 본 명세서에서 설명된 실시예에 대해 많은 장점을 갖는다.

[0050] 생성 모델은 입력 특징 맵 블록의 픽셀 블록을 레이블에 매핑하도록 구성된 비선형 네트워크를 포함하고, 레이블은 블록의 하나 이상의 결합 관련 특성들을 나타낸다. 예를 들어, 컨볼루션 뉴럴 네트워크(convolutional neural network, CNN)는 입력 특징 맵 블록의 각 주어진 블록(예를 들어, $M \times N$)을 레이블에 매핑하는 비선형 네트워크이다. 블록은 임의의 적합한 크기를 가질 수 있는 픽셀 블록이다. 블록의 크기의 비 제한적인 예는 50×50 픽셀일 수 있다. 이미지가 분리되는 픽셀 블록은 이미지 내의 각 픽셀을 에워싸는(그리고 가능하다면 중심에 놓인) 약간의 크기의 블록을 포함할 수 있다. 이러한 방식으로, 이미지 내의 하나의 픽셀에 대한 하나의 블록은 다른 픽셀에 대한 다른 블록 내에서도 있는 몇몇 픽셀을 포함할 수 있다. 그러나, 각 블록은 임의의 다른 블록의 픽셀들의 세트와 동일하지 않은 픽셀들의 세트를 포함하는 것이 바람직할 것이다(즉, 블록들 중 어떠한 두 개의 블록도 픽셀 공간에서 완전히 겹치지 않는다). 또한, 일부 사례에서, 블록들은 상호 서로 배타적일 수 있다. 예를 들어, 하나의 블록에 포함된 픽셀은 이미지가 분리된 임의의 다른 블록에 포함되지 않을 수 있다. 그러한 사례에서, 블록은 이미지 내에서 겹치지 않는 타일처럼 보일 수 있다. 또한, 블록은 1) 이미지 내 다른 모든 블록과 상호 배타적인 몇몇 블록 및 2) 다른 블록과 어느 정도 겹치는 몇몇 블록의 조합을 포함할 수 있다. 이미지 내의 블록은 또한 이미지 전체에 걸쳐 확장되지 않을 수도 있다. 이러한 방식으로, 이미지 내의 픽셀들 중 일부는 어떤 블록에도 포함되지 않을 수 있다. 또한, 하나의 최적화 접근법에서, 레이블 작업은 이미징 레벨 대신 픽셀 레벨에 기초할 수 있으며, 이는 데이터세트를 수백만 개의 이미지에서 수십 개의 이미지로 줄일 수 있게 해준다.

[0051] 일 실시예에서, 레이블은 입력 특징 맵 블록 내의 입력 특징이 결합과 연관되는지 또는 결합과 연관되지 않는지를 표시한다. 예를 들어, 레이블은 "결합 없음" 레이블 및 "결합" 레이블을 포함할 수 있다. 입력 특징이 결합과 연관되는지를 구별하는 레이블로서 다른 유사한 구문 및/또는 숫자가 사용될 수 있다. 레이블은 또한 본 명세서에서 설명된 바와 같이 구성되고 할당될 수 있다.

[0052] 다른 실시예에서, 레이블은 입력 특징 맵 블록 내의 입력 특징이 연관된 결합의 유형을 표시한다. 예를 들어, 레이블은 "클래스 x" 레이블, "클래스 y" 레이블 등을 포함할 수 있고, 여기서 x 및 y는 결합의 한 클래스를 결합의 다른 클래스와 구별하는 일부 구문 및/또는 숫자일 수 있다. 이들 레이블은 또한 본 명세서에서 설명된 바와 같이 추가로 구성되고 할당될 수도 있다.

[0053] 그러므로 본 명세서에서 설명된 실시예는 때때로 기계 학습, 심층 학습 또는 CNN 등으로 불릴 수 있는 새로운 유형의 뉴럴 네트워크에 의존한다. 이러한 유형의 접근법은 때때로 종단 간 학습 전략(end-to-end learning strategy)이라고 지칭된다. 예를 들어, 일 실시예에서, 생성 모델은 심층 생성 모델이다. 다른 실시예에서, 생성 모델은 기계 학습 모델이다. 예를 들어, 생성 모델은 생성 모델이 다수의 알고리즘들 또는 변환을 수행하는 다수의 계층을 포함할 수 있다는 점에서 심층 학습 아키텍처를 갖도록 구성될 수 있다. 생성 모델은 또한 하나 이상의 인코더 측 계층 및/또는 하나 이상의 디코더 측 계층을 포함할 수 있다. 생성 모델의 일 측 또는 양 측에 있는 계층의 수는 가변적일 수 있으며 일반적으로 사용 사례에 따라 다르다. 심층 생성 및 기계 학습 모델은 본 명세서에서 설명된 기능을 수행하도록 구성될 수 있는 본 기술분야에서 공지된 임의의 적합한 모델을 포함할 수 있다.

[0054] 다른 실시예에서, 생성 모델은 CNN이다. 예를 들어, 본 명세서에서 설명된 실시예는 CNN과 같은 심층 학습 개념을 이용하여 보통 다루기 어려운 표현 변환 문제(예를 들어, 렌더링)를 해결할 수 있다. 생성 모델은 본 기술분야에서 공지된 임의의 CNN 구성 또는 아키텍처를 가질 수 있다. 일반적으로, 매우 다양한 상이한 CNN 아키텍처

텍처가 가능하며 본 기술분야에서 공지되어 있다.

- [0055] 본 명세서에서 설명된 실시예는 또한 다수의 방식으로 수정될 수 있다. 예를 들어, 본 명세서에서 설명된 생성 모델의 대안은 (1) 피라미드 업 샘플링을 이용한 생성적 적대 네트워크(generative adversarial net(GAN)); (2) 치밀화된 CNN(즉, 스트라이드 = 1); (3) 변동 오토인코더(variational auto-encoder, VAE)를 이용한 회귀 뉴럴 네트워크(recurrent neural network, RNN); 또는 (4) 컨볼루션 및 디컨볼루션 계층을 가진 심층 볼츠만 머신(Deep Boltzmann Machine)을 통해 구성될 수 있다. 이러한 대안은 본 기술분야에서 공지된 임의의 적합한 아키텍처를 사용하여 구현될 수 있다.
- [0056] 하나 이상의 컴퓨터 서브시스템들은 단일의 테스트 이미지를 생성 모델에 입력하도록 구성된다. 예를 들어, 도 2에 도시된 바와 같이, 단일의 테스트 이미지(200)가 생성 모델에 입력될 수 있다. 단일의 테스트 이미지는 컴퓨터 서브시스템(들)에 의해 임의의 적합한 방식으로 생성 모델에 입력될 수 있다.
- [0057] 생성 모델은 단일의 테스트 이미지를 다수의 픽셀 블록들로 분리하도록 구성된다. 예를 들어, 도 2에 도시된 바와 같이, 단일의 테스트 이미지(200)는 다수의 픽셀 블록들(202)로 분리될 수 있다. 생성 모델은 임의의 적합한 방식으로 단일의 테스트 이미지를 본 명세서에서 추가로 설명된 블록들 중 임의의 블록으로 분리하도록 구성될 수 있다. 특히, 단일의 테스트 이미지가 생성 모델에 의해 분리되는 픽셀 블록은 본 명세서에서 설명된 블록의 특성들 중 임의의 특성을 가질 수 있다.
- [0058] 생성 모델은 또한 다수의 픽셀 블록들 중 적어도 하나의 블록에 대해, 다수의 블록들 중 적어도 하나의 블록 내의 픽셀에만 기초하여 다수의 블록들 중 적어도 하나의 블록의 특징을 결정하도록 구성된다. 예를 들어, 도 2에 도시된 바와 같이, 생성 모델은 다수의 픽셀 블록들(202)에 대해 블록 당 특징(들)(204)을 결정하도록 구성된다. 그러므로 특징(들)은 블록 내의 픽셀에만 기초하여 결정되는 것이지 이미지 내에 있을 수 있고 특징(들)이 결정되는 블록 내에는 있지 않을 수 있는 임의의 부가 픽셀에는 기초하지 않는다. 임의의 하나의 블록에 대해, 하나 이상의 특징들은 본 명세서에서 설명된 바와 같이 결정될 수 있으며, 임의의 하나의 블록에 대해 결정된 모든 특징, 일부의 특징 또는 모두가 아닌 특징은 본 명세서에서 추가로 설명된 바와 같이 사용될 수 있다. 임의의 하나의 블록에 대해 결정된 하나 이상의 특징들은 단일의 테스트 이미지에만 기초하여 결정될 수 있거나 또는 단일의 테스트 이미지 및 본 명세서에서 설명된 다수의 관점들 중 임의의 관점을 포함할 수 있는 단일의 테스트 이미지에 대한 다수의 관점들 중 하나 이상의 관점들에 기초하여 결정될 수 있다. 예를 들어, 단일의 테스트 이미지 내의 블록의 경우, 하나의 특징은 단일의 테스트 이미지 및 컴퓨터 서브시스템(들)에 의해 생성 모델에 입력되는 단일의 테스트 이미지에 대한 다수의 관점들의 각각의 관점에 대해 결정될 수 있다.
- [0059] 본 명세서에서 설명된 임의의 실시예에서, 특징은 스칼라 값의 벡터, 독립적 분포의 벡터 또는 결합 분포를 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 특징은 독립적 분포의 벡터를 포함하고, 독립적 분포의 벡터는 베르누이(Bernoulli), 이항(binomial), 다항(multinomial), 포아송 이항(Poisson binomial), 베타 이항(beta-binomial), 다항, 볼츠만(Boltzmann), 포아송, 콘웨이-맥스웰 포아송(Conway-Maxwell-Poisson), 베타(Beta), 가우스/노멀(Gaussian/Normal), 스큐 노멀(Skew normal), 레일레이(Rayleigh), 라플라스(Laplace), 감마(gamma), 파레토(pareto) 또는 스튜덴트-t(student-t) 분포를 포함한다. 다른 실시예에서, 특징은 결합 분포를 포함하고, 결합 분포는 다변수 가우스/노멀(Multivariate Gaussian/Normal), 다변수 스튜덴트-t(multivariate student-t), 디리클레(Dirichlet), 매트릭스 가우스/노멀(matrix Gaussian/normal) 또는 매트릭스 t-분포(matrix t-distribution)를 포함한다. 그러나, 특징은 본 기술분야에서 공지된 임의의 다른 적합한 유형의 특징을 포함할 수 있다. 상이한 유형의 특징은 본 기술분야에서 공지된 임의의 적합한 방식으로 학습되거나 추론될 수 있다.
- [0060] 생성 모델은 또한 결정된 특징 및 레이블에의 입력 특징 맵 블록의 픽셀 블록의 매핑에 기초하여 다수의 블록들 중 적어도 하나의 블록에 대한 레이블들 중 하나의 레이블을 선택하도록 구성된다. 예를 들어, 도 2에 도시된 바와 같이, 생성 모델은 블록 당 특징(들)(204)에 기초하여 블록 당 레이블(들)(206)을 선택하도록 구성된다. 특히, 생성 모델은 각 블록에 대한 특징(들)을 결정한 다음 매핑을 사용하여 이들 특징에 어느 레이블이 대응하는지를 결정할 수 있다.
- [0061] 컴퓨터 서브시스템(들)은 또한 다수의 블록들 중 적어도 하나의 블록에 대해 선택된 레이블에 기초하여 시편의 일부분에서 결함을 검출하도록 구성된다. 예를 들어, 도 2에 도시된 바와 같이, 컴퓨터 서브시스템(들)은 레이블(들)에 기초하여 결함을 검출(208)하도록 구성된다. 특히, 전술한 바와 같이, 레이블은 특징이 결함과 연관되어 있는지에 관한 표시와 각기 연관될 수 있다. 그러므로 컴퓨터 서브시스템(들)에 의해 생성 모델에 입력된 이미지 내의 블록에 대해 생성 모델에 의해 출력된 레이블에 기초하여, 컴퓨터 서브시스템(들)은 레이블에 기초

하여 블록 내의 결함을 검출하도록 구성될 수 있다. 이러한 방식으로, 본 명세서에서 설명된 실시예는 검사자가 단일 이미지를 사용하여 결함을 검출할 수 있게 하며(즉, 단일 이미지 검출(SID)), 여기서 입력은 시편의 이미지이고, 출력은 결함의 확률 지도와 같은 결함 검출 결과이다. 또한, 본 명세서에서 설명된 실시예는 CNN 및 본 명세서에서 설명된 다른 생성 모델에 기초하여 SID를 수행하도록 구성된다. 본 명세서에서 설명된 실시예는 또한 반도체 애플리케이션(예를 들어, 레티클, 마스크, 광학 검사기뿐만 아니라, e-빔 및 x-선 검사기)을 위한(본 명세서에서 추가로 설명된 바와 같은) 디자인 정보를 이용하여 또는 디자인 정보 없이 SID을 위해 기계 학습 시스템을 사용할 수 있다.

[0062] 일부 실시예에서, 컴퓨터 서브시스템(들)은 다수의 블록들 중 적어도 하나의 블록에 대해 선택된 레이블에 기초하여 시편의 일부분에서 결함의 유형을 결정하도록 구성된다. 이러한 방식으로, 본 명세서에서 설명된 실시예는 검사자가 단일의 테스트 이미지를 사용하여 결함을 분류할 수 있게 한다(즉, "단일 이미지 분류"(single image classification, SIC)). 예를 들어, 전술한 바와 같이, 레이블은 각기 결함의 유형 또는 클래스와 연관될 수 있다. 그러므로 컴퓨터 서브시스템(들)에 의해 생성 모델에 입력된 이미지 내의 블록에 대해 생성 모델에 의해 출력되는 레이블에 기초하여, 컴퓨터 서브시스템(들)은 레이블에 기초하여 블록에서 검출된 결함의 유형 또는 클래스를 결정하도록 구성될 수 있다.

[0063] 일부 사례에서, 하나의 단일의 테스트 이미지는 다수의 더 작은 블록들로 분리될 수 있고, 특징은 각 블록에 대해 결정될 수 있다. 이러한 방식으로, 생성 모델은 더 큰 이미지 내의 더 작은 블록에 대해 특징 "맵"을 생성할 수 있다(여기서 맵은 특징을 단일의 테스트 이미지 내의 블록 위치의 함수로서 나타낸다). 그러나, 이러한 일부의 사례에서, 생성 모델은 단일의 테스트 이미지 내 각각의 블록에 대해 결정된 각각의 특징에 기초하여 이미지에 대한 단일의 레이블만을 전체로서 출력하도록 구성될 수 있다. 이와 같이, 특징(들)이 다수의 블록들 중 하나 초과 블록들에 대해 결정될 수 있지만, 다수의 블록들 중 적어도 하나의 블록에 대한 레이블들 중 하나의 레이블을 선택하는 것은 다수의 블록들(예를 들어, 단일의 테스트 이미지 내의 다수의 블록들 모두) (중의 하나 초과 블록들)의 조합에 대해 레이블들 중 단 하나의 레이블을 선택하는 것을 포함할 수 있다. 예를 들어, 단일의 레이블은 "결함" 또는 "결함 없음" 레이블일 수 있다. 이러한 하나의 사례에서, 블록들 중 어느 블록에도 결함에 대응하는 특징(들) 및/또는 레이블(들)이 할당되지 않으면, 생성 모델은 단일의 테스트 이미지에 대해 "결함 없음" 레이블을 전체로서 출력할 수 있다. 이에 대조적으로, 블록들 중 적어도 하나의 블록에 결함에 대응하는 특징(들) 및/또는 레이블(들)이 할당되면, 생성 모델은 단일의 테스트 이미지에 대해 "결함" 레이블을 전체로서 출력할 수 있다.

[0064] 이러한 방식으로, 완전한 단일의 테스트 이미지는 하나의 큰 블록으로서 처리될 수 있고, 생성 모델의 출력은 레이블이 붙은 맵이 아니라 "결함" 또는 "결함 없음" 레이블 또는 단일 클래스 레이블과 같은 단 하나의 결함 존재를 표시하는 레이블일 수 있다. 이러한 정보, 예를 들어, 입력 이미지의 어느 부분(들) 또는 블록(들)이 최종 결정에 담당하였다는 정보를 역전파함으로써, 실제 결함 위치로부터 공간 정보가 검색될 수 있다.

[0065] 그러므로 본 명세서에서 설명된 바와 같이 생성 모델에 의해 출력되는 레이블(들)은 이미지 내 하나 이상의 픽셀 블록들이 아닌, 전체 이미지(즉, 전체로서 단일의 테스트 이미지) 내에 결함이 있는지를 표시할 수 있다. 또한, 개개의 블록들에는 결함이 없지만, (예를 들어, 개개의 블록보다 큰 규모의 이미지를 고려할 때는) 블록들의 배열은 의미 없는 것일 수 있다. 예를 들어, 다수의 블록들 각각에 대해 결정된 특징(들)은 아무런 결함도 존재하지 않음을 표시하는 레이블들로 자체적으로 매핑될 수 있다. 그러나, 두 개의 특징들(예를 들어, 제 1 블록에 대해 결정된 제 1 특징 및 제 1 블록에 인접한 제 2 블록에 대해 결정된 제 2 특징) 간의 공간 관계는 단일의 테스트 이미지 내의 결함을 나타낼 수 있다. 이러한 방식으로, 생성 모델은 다수의 블록 크기에 대응하는 특징들의 다수의 맵을 생성할 수 있다.

[0066] 본 명세서에서 설명된 실시예는 다수의 상이한 애플리케이션들에도 또한 유용하다. 예를 들어, 본 명세서에서 설명된 실시예는 오직 SID만, 자동 결함 분류(automatic defect classification, ADC)를 이용한 SID, 검출을 위해 CAD를 갖는 SID, 검출을 위해 CAD 및 ADC를 갖는 SID, 및 검출을 위해 다수의 관점들 및 ADC를 갖는 SID를 수행하도록 구성되고 이를 수행하도록 사용된다. 이러한 방식으로, 본 명세서에 설명된 실시예는 표준 다이 대 다이 알고리즘을 대체하여 더 나은 정확도 및 속도를 제공할 수 있다.

[0067] 이러한 모든 사용 사례를 지원하기 위해, 특징 맵의 입력 볼륨만이 수정될 수 있다. 입력 볼륨은 본질적으로 (일반적으로 알고리즘 프레임워크 내의 채널이라고 지칭하는) 표현의 수이다. CAD (또는 본 명세서에서 설명된 다른 디자인 정보)를 가진 SID 로의 입력은 시편의 이미지 및 그 시편의 디자인 정보일 수 있고, 출력은 결함에 대한 확률 맵과 같은 결함 검출 결과이다. 또한, SID 및 CAD를 가진 SID는 단지 결함 또는 배경을 분류하는데

사용될 수 있거나(검출) 또는 결함 유형과 배경 사이를 분류하는데 사용할 수 있다(ADC).

- [0068] 다른 실시예에서, 하나 이상의 컴퓨터 서브시스템들은 단일의 테스트 이미지의 다수의 관점들을 생성하도록 구성되며, 하나 이상의 컴퓨터 서브시스템들에 의해 생성 모델로 입력된 단일의 테스트 이미지는 단일의 테스트 이미지의 다수의 관점들을 포함한다. 본 명세서에서 설명된 실시예의 맥락에서, 다수의 관점들은 이미지 처리를 통해 생성된 동일한 원시 데이터에 관한 상이한 표현을 지칭한다. 그러므로 본 명세서에서 설명된 실시예의 맥락에서 SID는 SID가 하나의 단일의 테스트 이미지로부터 발생된 다수의 이미지들을 사용하여 수행될 수도 있지만, 이미징 서브시스템을 사용하여 물리적인 시편으로부터 획득된 단일의 테스트 이미지만을 사용하여 결함을 검출하는 것을 지칭한다. 이러한 방식으로, 다수의 관점들은 임의의 적합한 이미지 처리를 포함할 수 있고 그리고 본 명세서에서 설명된 컴퓨터 서브시스템(들) 및/또는 생성 모델에 의해 수행될 수 있는 이미지 처리에 의해 발생될 수 있다.
- [0069] 본 명세서에서 설명된 실시예는 GPU상에서 실행되는 컨볼루션 접근법을 사용하여 효율적으로 구현될 수 있다. 그러나, 본 명세서에서 설명된 실시예는 GPU(들)를 가지고 또는 GPU(들) 없이 (예를 들어, 그 대신 중앙 처리 유닛 (central processing unit, CPU)를 가지고) 구현될 수 있다. 또한, 발명자들은 구식 방법과 비교하여 본 명세서에서 설명된 결함 검출을 위한 처리 시간이 실질적으로 짧다고 측정하였다. 발명자들에 의해 관찰된 본 명세서에서 설명된 결함 검출을 위한 성능은 또한 SNR 및 분류 정확성 모두의 관점에서 두 개의 이미지들에 기초한 구식 방법을 능가한다.
- [0070] 일 실시예에서, 결함을 검출하는 것은 단일의 테스트 이미지를 임의의 다른 이미지에 정렬하는 것을 포함하지 않는다. 다른 실시예에서, 결함을 검출하는 것은 단일의 테스트 이미지를 임의의 다른 이미지와 비교하는 것을 포함하지 않는다. 예를 들어, 결함 검출을 위해 하나의 이미지를 다른 기준 이미지와 비교하는 것을 수반하는 결함 검출과 달리, 본 명세서에서 설명된 실시예는 결함 검출에 앞서 상이한 이미지들 간의 정렬을 필요로 하지 않는다. 또한, 본 명세서에서 설명된 결함 검출 및 다른 기능이 동일한 단일의 테스트 이미지의 다수의 관점들을 사용하는 것을 수반하더라도, 다수의 관점들은 동일한 단일의 테스트 이미지로부터 발생되기 때문에, 다수의 관점들 중 임의의 관점과 단일의 테스트 이미지 간의 오차를 정렬하는 일은 없을 것이다. 그러므로 결함 검출을 위한 다른 방법 및 시스템에 내재할 수 있는 임의의 오정렬 불확실성 및/또는 두 개의 이미지들 간의 오차는 본 명세서에서 설명된 실시예에 의해 수행된 결함 검출에 악영향을 미치지 않을 것이다. 또한, 결함 검출은 하나의 이미지를 다른 이미지와 비교하는 것을 수반하지 않기 때문에, 방법은 결함 검출을 위한 다른 방법 및 시스템보다 기준 때문에 생기는 오차 및 잡음원이 더 적을 것이다.
- [0071] 추가의 실시예에서, 결함을 검출하는 것은 통계 기반 결함 검출을 포함하지 않는다. 예를 들어, 본 명세서에서 추가로 설명되는 바와 같이, 일부 결함 검출 방법은 기준 이미지의 데이터 또는 다른 비 결함 데이터와 비교된 산점도(scatterplot)에서 특이점을 결정하기 위해 단일의 테스트 이미지 및 통계 분석을 수반할 수 있다. 그러나, 본 명세서에서 설명된 실시예는 임의의 그러한 산점도 또는 다른 통계 분석을 발생하는 것을 포함하지 않는다. 대신에, 본 명세서에서 추가로 설명되는 바와 같이 일단 생성 모델이 훈련되면, 생성 모델의 매핑은 단일의 테스트 이미지의 특징을 이미지 내에 어떤 종류의 결함이 존재하는지를 표시하는 레이블에 매핑하는데 사용될 수 있다.
- [0072] 일부 실시예에서, 하나 이상의 컴퓨터 서브시스템들은 시편에 대한 디자인 정보와 결합된 선택된 레이블에 기초하여 결함을 검출하도록 구성된다. 예를 들어, 본 명세서에서 추가로 설명되는 바와 같이, 컴퓨터 서브시스템(들)에 의해 수행되는 결함 검출은 CAD를 갖는 SID를 포함할 수 있다. CAD 또는 다른 디자인 정보는 본 명세서에서 추가로 설명되는 바와 같이 결함 검출을 위해 사용될 수 있다(예를 들어, 디자인에 관한 정보는 결함이 존재하는지 그리고 어떤 종류의 결함이 존재하는지를 결정하기 위해 매핑할 때 특징으로서 사용될 수 있다).
- [0073] 다른 실시예에서, 하나 이상의 컴퓨터 서브시스템들은 선택된 레이블에 기초하여 시편에 대한 디자인 정보 없이 결함을 검출하도록 구성된다. 예를 들어, 본 명세서에서 추가로 설명되는 바와 같이, 실시예는 CAD 또는 다른 디자인 정보 없이 SID를 위해 구성될 수 있다. 이러한 방식으로, 결함 검출 및 가능하게는 결함 분류를 위해 사용되는 유일한 특징은 단일의 테스트 이미지에 대해 결정되고 레이블에 매핑되는 특징을 포함할 수 있다.
- [0074] 일 실시예에서, 컴퓨터 서브시스템(들)은 생성 모델을 훈련시키는데 사용되는 훈련 데이터셋을 발생하도록 구성되며, 훈련 데이터셋은 시편에 대한 디자인 정보의 일부분과 디자인 정보의 일부분에 대해 생성된 이미지의 쌍의 셋트를 포함한다. 이러한 방식으로, 본 명세서에서 설명된 실시예는 데이터 세트 준비(다차원 입력 특징 맵)를 위해 구성될 수 있다. 예를 들어, 데이터 세트 준비는 이미지들의 셋트(예를 들어, 결함이 있거나 또는 결함이 없는 SEM 이미지)를 수집하는 것을 포함할 수 있다. 이미지는 SEM 이미지뿐만 아니라 또는 대안적으로

SEM 이미지, 광학 이미지, 마스크 검사 이미지, 계측 데이터, 선행 계측 광학 데이터 등과 같은 임의의 다른 "실측 자료(ground truth)" 정보를 포함할 수 있다. 디자인 정보의 일부분에 대해 발생된 이미지는 또한 시편을 이미지화하여 획득되지 않을 수도 있다. 예를 들어, 계측 데이터는 계측 시스템을 사용하여 시편에 대해 측정을 수행함으로써 발생될 수 있으며, 이후 계측 데이터는 훈련 데이터세트 내의 쌍에서 사용되는 시편의 이미지를 발생하도록 처리될 수 있다. 다시 말해서, 일부 사례에서, 시편의 이미지를 발생하는데 비 이미지 데이터가 사용될 수 있다. 일반적으로 이미지는 모두 동일한 유형을 가질 수 있다. 이미지는 또한 상이한 이미징 모드를 사용하여 발생될 수도 있다. 또한 이미지는 원시 이미지 또는 처리된 이미지를 포함할 수 있다.

[0075] 데이터세트 준비는 대응하는 디자인 클립을 이미지로 렌더링하고 정렬하는 것을 포함할 수 있다. 디자인 정보는 본 명세서에서 설명된 임의의 디자인 정보를 포함할 수 있다. 예를 들어, 일 실시예에서, 디자인 정보는 CAD 데이터와 같은 디자인 데이터이다. 일부 실시예는 CAD 또는 CAD 데이터 또는 이미지와 관련하여 본 명세서에서 설명될 수 있지만, 본 명세서에서 설명된 실시예는 본 명세서에서 설명된 임의의 다른 디자인 정보를 사용할 수 있음을 이해하여야 한다. 다른 예에서, 컴퓨터 서브시스템(들)은 시편에 대한 디자인 클립을 획득하고 디자인 클립을 렌더링하여, 시편으로부터의 이미지처럼 보이거나 보이지 않을 수 있는 디자인 정보를 발생하도록 구성될 수 있다. 렌더링은 단순 렌더링(이진 이미지)부터 보다 정교한 렌더링(시편 데이터를 모방하는 것)까지 다양할 수 있다. 렌더링은 또한 (시뮬레이션에 대해) 본 명세서에서 설명된 바와 같이 수행될 수 있다.

[0076] 그러므로 컴퓨터 서브시스템(들)은 훈련 데이터세트를 준비할 수 있다. 이 단계에서, 훈련 데이터세트는 CAD 및 실제 이미지의 정렬 및 이미지 절단에 의해, 정렬된 CAD와 실제 이미지의 쌍(예를 들어, SEM 또는 광학 이미지)의 모음을 결과적으로 발생시킬 수 있으며, 여기서 "실제" 이미지는 디자인 정보가 형성된 물리적 시편을 이미지화함으로써 발생된다. 특히, 도 3에 도시된 바와 같이, CAD의 상이한 부분(300) 및 대응하는 실제 이미지(302)는 정렬되고 절단되어 대응하는 CAD 부분과 실제 이미지의 쌍(304)을 생성할 수 있다.

[0077] CAD는 2 진 이미지로서 렌더링될 수 있고 불균일한 픽셀 크기는 정렬하기 전에 복원될 수 있다. 픽셀 크기는 하드웨어의 이미지 왜곡으로 인해 "불균일"해질 수 있다. 예를 들어, 전자빔 이미지에서, 전자빔의 불안정성으로 인해, 반면에 예상된 픽셀 크기는 10.5 nm x 10.5 nm이지만, 시편의 제 1 위치에 있는 픽셀은 시편상에서 10 nm x 10 nm 영역을 나타낼 수 있고, 반면에 (제 1 위치에 상대적으로 가까울 수 있는) 시편의 제 2 위치에 있는 다른 픽셀은 시편상에서 11 nm x 11 nm 영역을 나타낼 수 있다.

[0078] 쌍 내의 디자인 정보의 부분 및 이미지는 임의의 적합한 크기를 가질 수 있고 시편에 대한 디자인 정보를 형성하는데 사용되는 프로세스(들) 및/또는 이미지를 발생하는데 사용된 프로세스(들)의 특성에 따라 변할 수 있다. 예를 들어, 이미지가 훈련에 유용한 정보를 포함하기 위해, 이미지의 유용한 크기에 대한 하한은 (예를 들어, 리소그래피 툴 및/또는 실제 광학 이미지의 경우에는 광학 이미징 툴의 포인트 스프레드 함수(point spread function, PSF)에 기인하여) 실제 이미지를 생성하는데 수반된 광학 산란 효과에 기초하여 결정될 수 있다. 일부 예에서, 이미지의 크기는 대략 이미지 프레임(예를 들어, 수천 개의 픽셀) 내지 대략 패치 이미지(예를 들어, 수십 개의 픽셀)일 수 있다.

[0079] 훈련 데이터세트에 포함된 디자인 정보 부분과 이미지의 쌍의 개수는 임의의 적합한 개수일 수 있고 사용 사례에 따라 다를 수 있다. 예를 들어, 훈련 데이터세트 내의 이미지 개수는 수 백 내지 수천 개일 수 있다. 훈련 세트 내의 이미지의 개수를 줄이기 위해, 데이터 증강을 위한 상이한 방법, 예를 들어 일괄 무작위화(batch randomization), 합성 결함(synthetic defect) 등이 가능할 수 있다. 합성 결함은 본 명세서에서 추가로 설명된다. 일괄 무작위화와 관련하여, 훈련은 이미지 묶음(예를 들어, 아마 50 개)으로 상당히 많은 개수의 이미지(예를 들어, 아마 1000 개)에 대해 반복적으로 이루어진다. 무작위화는 묶음당 선택된 50 개 이미지에서 충분한 다양성이 있게 하여 훈련이 매끄럽게 수렴되도록 한다.

[0080] 일 실시예에서, 세트 내의 쌍들 중 적어도 하나의 쌍은 시편 또는 다른 시편에서 검출된 결함에 대해 발생된다. 예를 들어, 본 명세서에서 추가로 설명되는 바와 같이, 컴퓨터 서브시스템(들)은 시편상의 결함을 검출한 다음 검출된 결함에 기초하여 훈련 데이터세트에서 쌍들의 세트를 발생하도록 구성될 수 있다. 결함은 임의의 적합한 방식으로 시편에서 검출될 수 있다. 훈련 데이터세트에서 쌍을 발생하기 위해 검출되고 사용된 결함이 상이한 시편에서 검출되면, 그 다른 시편은 시편과 동일한 유형(예를 들어, 디자인 룰, 층 등)일 수 있다.

[0081] 다른 실시예에서, 세트 내의 쌍들 중 적어도 하나의 쌍은 합성 결함에 대해 생성된다. 이러한 방식으로, 합성 결함은 데이터 훈련 세트를 증강하는데 사용될 수 있다. 이러한 하나의 예에서, 합성 결함은 CAD를 수정하여 결함(예를 들어, 돌출부)을 주입한 다음 이를 네트워크를 사용하여 렌더링하고 이를 훈련 예로서 추가함으로써 SEM, 광학 및 다른 시스템에 대한 훈련 데이터세트에 주입될 수 있다. 디자인 정보는 임의의 적합한 방식으로

수정되어 디자인 정보에서 합성 결함을 생성할 수 있다. 수정된 디자인 정보 부분에 대해 실제 이미지가 발생되지 않았다면, (생성 모델을 사용하여 본 명세서에서 설명된 바와 같이 발생할 수 있는) 시물레이트된 이미지는 그 이미지로서 훈련 데이터세트에서 사용될 수 있다. 임의의 하나의 디자인 정보 부분은 다수의 상이한 방식으로 수정되어 그 부분에서 상이한 합성 결함을 발생할 수 있다. 또한, 디자인 정보의 상이한 부분은 동일하거나 또는 상이한 방식으로 수정되어 디자인 정보의 상이한 부분들 각각에서 동일하거나 또는 상이한 합성 결함을 생성할 수 있다. 또한, 위에서 논의한 바와 같이, 수정된 디자인 정보와 이미지 쌍은 수정되지 않은 디자인 정보와 이미지 쌍과 조합되어 훈련 데이터세트를 생성할 수 있다. 훈련 데이터세트에서 쌍에 포함된 이미지는 바람직하게 실제 이미지가 이용 가능하지 않는 한 실제 (또는 시물레이트되지 않은 이미지)이다. 이러한 실시예에서 사용된 다른 디자인 정보는 본 명세서에서 설명된 임의의 디자인 정보를 포함할 수 있다.

[0082] 다른 실시예에서, 세트 내의 쌍들 중 적어도 하나의 쌍은 시물레이트된 결함에 대해 발생된다. 예를 들어, 시물레이트된 결함은 훈련 데이터세트를 증강하는데 사용될 수 있다. 시물레이트된 결함은 합성 결함일 수도 있고 아닐 수도 있다. 예를 들어, 합성 결함이 주입되는 디자인 정보에 대해 시물레이트된 이미지를 생성하기 위해 모든 합성 결함이 사용될 수 있는 것은 아니다. 또한, 시물레이트된 결함은 디자인 부분에 주입된 합성 결함이 아닐 수 있고 그 결함 (예를 들어, 디자인 정보에서의 결함에 의해 그만큼 유발된 것이 아니고 시편에 관한 디자인 정보를 형성하는데 사용되는 프로세스에서의 변경으로 인한 결함)의 가능한 근원에 기초하여 시물레이트된 다른 근원으로부터의 결함일 수 있다.

[0083] 추가의 실시예에서, 세트 내의 쌍들 중 적어도 하나의 쌍은 프로세스 윈도우 자격(process window qualification, PWQ)에 의해 검출된 결함에 대해 발생된다. 이러한 방식으로, PWQ 웨이퍼로부터 검출된 결함은 훈련 데이터세트를 증강하는데 사용될 수 있다. PWQ는 피터슨(Peterson) 등에게 2005년 6월 7일자로 허여된 미국 특허 제 6,902,855 호, 피터슨 등에게 2008년 8월 26일자로 허여된 미국 특허 제 7,418,124 호, 케케어(Kekare) 등에게 2010년 8월 3일자로 허여된 미국 특허 제 7,769,225 호, 팩(Pak) 등에게 2011년 10월 18일자로 허여된 미국 특허 제 8,041,106 호, 및 피터슨 등에게 2012년 7월 3일자로 허여된 제 8,213,704 호에 설명된 바와 같이 수행될 수 있으며, 이들 특허는 본 명세서에서 전체적으로 설명된 것처럼 참조로 포함된다. PWQ에 의해 검출된 결함은 시편 또는 다른 시편에서 검출될 수 있다. 디자인 정보 및 대응하는 이미지의 부분은 PWQ 검사의 결과에 기초하여 임의의 적합한 방식으로 발생할 수 있다.

[0084] 일부 실시예에서, 디자인 정보는 디자인 데이터로부터 발생된 시물레이트된 이미지를 포함한다. 디자인 데이터로부터 시물레이트된 이미지를 발생시키는 것은 본 명세서에서 설명된 기계 학습 시스템을 사용하여 수행될 수 있다. 이러한 방식으로, 본 명세서에서 설명된 실시예는 반도체 관련 애플리케이션의 CAD 렌더링을 위한 기계 학습 시스템을 사용할 수 있다. 특히, SID에서, 훈련 동안 입력은 시편의 이미지 및 결함 픽셀의 실측 자료이며, 출력은 결함의 확률 맵이다. 런타임 동안, 입력은 이미지이고 출력은 결함의 확률 맵이다. CAD 렌더링의 경우, 훈련 동안 입력은 시편의 CAD 클립 및 실측 자료(그 시편의 이미지)이다. 네트워크는 CAD 클립을 시편의 이미지로서 표현하는 방법을 학습한다. 전반적인 개념은 유사하다(데이터 및 실측 자료를 가지고 훈련한다). 시물레이션은 또한 장(Zhang) 등이 2016년 6월 7일자로 출원한 미국 특허출원 제 15/176,139 호에 설명된 바와 같이 수행될 수 있으며, 이 특허출원은 본 명세서에 전체적으로 설명된 것처럼 참조로 포함된다. 본 명세서에서 설명된 실시예는 또한 이 특허출원에 설명된 바와 같이 구성될 수 있다.

[0085] 다른 실시예에서, 쌍 내의 이미지들 중 적어도 하나의 이미지는 이미징 서브시스템에 의해 시편 또는 다른 시편의 발생된 실제 이미지를 포함한다. 예를 들어, 쌍은 시편 또는 다른 시편에서 검출된 결함에 기초하여 발생할 수 있다. 이러한 방식으로, 쌍 내의 이미지는 결함이 검출된 위치에서 이미지 서브시스템에 의해 발생된 이미지일 수 있다. 이들 위치에 대응하는 디자인의 부분은 (예를 들어, 결함의 웨이퍼 공간 위치 및/또는 결함의 디자인 데이터 공간 위치에 기초하여) 임의의 적합한 방식으로 시편에 대한 디자인 정보로부터 추출될 수 있다. 디자인 데이터 공간에서의 결함 위치를 식별하는 예는 자파 및 쿨카니에게 허여된 위에서 언급된 특허에 설명되어 있다. 이 실시예는 또한 이들 특허출원에서 설명된 바와 같이 구성될 수 있다.

[0086] 부가의 실시예에서, 쌍 내의 이미지들 중 적어도 하나의 이미지는 1) 적어도 하나의 이미지에 대한 디자인 정보 및 2) 이미징 서브시스템에 의해 다른 시편에 대해 발생된 다른 이미지에 기초하여 발생된 합성 이미지를 포함한다. 예를 들어, 시편의 디자인 정보와 다른 시편에 대해 발생된 이미지에 기초하여, 상이한 시편들에 대한 디자인 정보 간의 유사점 및 차이점에 관한 정보 및 다른 시편이 이미징 서브시스템에 의해 이미지화되었던 방법이 결정될 수 있다. 이러한 유사점 및 차이점에 관한 정보는 충분한 정보를 생성 모델에 제공하여 시편에 관한 디자인 정보가 이미징 서브시스템에 의해 발생된 이미지에서 어떻게 출현할지에 관한 합성 이미지를 발생시킬 수 있다. 예를 들어, 상이한 시편들의 디자인 정보 간의 유사점에 관한 정보 및 시편들 중 일부 시편에 대한

이미지에 기초하여, 시편들 중 다른 시편들에 대한 이미지는 디자인에서의 유사점에 기초하여 시편들에 대한 이미지를 수정함으로써 발생/추정될 수 있다.

[0087] 추가의 실시예에서, 쌍 내의 이미지들 중 적어도 하나의 이미지는 1) 적어도 하나의 이미지에 대한 디자인 정보 및 2) 이미지 서브시스템의 하나 이상의 특성들에 기초하여 발생된 시뮬레이트된 이미지를 포함한다. 예를 들어, 시편의 일부분의 디자인 정보 및 이미징 서브시스템의 이미징 특성에 기초하여, 본 명세서에서 설명된 실시예는 본 명세서에서 추가로 설명되는 바와 같이 수행될 수 있는 이미징 서브시스템에 의해 발생된 이미지에서 시편의 그 일부가 어떻게 출현하는지에 관한 시뮬레이트된 이미지를 생성할 수 있다. 그 다음, 이들 시뮬레이트된 이미지는 이들 이미지의 대응하는 디자인 정보 부분을 갖는 훈련 데이터세트에 포함될 수 있다.

[0088] 일부 최적화 접근법에서, 생성 모델은 미래에 관심의 결함 데이터의 모음(data collection of defects of interest, DOI)을 불필요하게 만드는 임의의 위치(교차 계층, 교차 위치 등)에서 결함을 발생하는 방법을 학습할 수 있다. 예를 들어, 디자인 클립을 사용함으로써 정말 결함이 있는 (예를 들어, SEM 데이터와 같은) 이미지를 "렌더링"하거나 발생할 수 있는 네트워크가 사용될 수 있다. 어떤 위치 또는 층에 디자인 클립이 속하는지는 중요하지 않다. 이 점에서, 렌더링된 결함은 검출/분류 네트워크를 훈련하는데 사용될 수 있다.

[0089] 일 실시예에서, 하나 이상의 컴퓨터 서브시스템들은 세트 내의 쌍의 이미지에서의 다른 결함을 검출하고 다른 결함을 검출한 결과에 대응하는 이미지 내의 픽셀과 레이블을 연관시키도록 구성된다. 이러한 방식으로, 컴퓨터 서브시스템(들)은 레이블 맵을 발생할 수 있다. 예를 들어, 레이블 맵은 이미지의 각 픽셀에 레이블을 연관시킬 수 있다. 본 명세서에서 추가로 설명되는 바와 같이, 레이블은 입력 특징 맵 볼륨 내의 입력 특징이 결함과 연관되는지 또는 결함과 연관되지 않는지를 표시할 수 있다. 예를 들어, 레이블은 결함이 존재하지 않음을 표시하는 레이블, 즉 "결함 없음" 레이블, 또는 결함이 존재함을 표시하는 레이블, 즉 "결함 검출됨" 레이블일 수 있다. 또한, 본 명세서에서 추가로 설명되는 바와 같이, 레이블은 입력 특징 맵 볼륨 내의 특징이 연관된 결함 유형을 표시할 수 있다. 이러한 하나의 예에서, 레이블은 "클래스 A", "클래스 B", "클래스 54", "클래스 102" 등과 같은 클래스를 포함할 수 있다. 레이블 맵은 컴퓨터 서브시스템(들)에 의해 동등한 작업을 수행하는 통상적인 다이 대 다이 시스템(트레이너)을 사용함으로써 자동으로 생성될 수 있다. 그러나, 레이블 맵은, 임의의 적합한 결함 검출 (및 선택적으로는 결함 분류) 방법 및 시스템을 사용하여 결함 검출 (및 선택적으로는 결함 분류)의 결과를 컴퓨터 서브시스템(들)에 기초한 이미지의 상이한 부분 및/또는 이미지의 상이한 부분에 대해 결정된 상이한 특징과 연관시킴으로써 생성될 수 있다. 예를 들어, 훈련 데이터세트 내의 이미지는 본 명세서에서 추가로 설명되는 바와 같이 블록들로 분리될 수 있으며, 하나 이상의 특징들은 본 명세서에서 추가로 설명되는 바와 같이 블록들 각각(또는 그 중 적어도 일부)에 대해 결정될 수 있다. 이미지의 상이한 부분에 대해 결정된 특징은 본 명세서에서 설명된 특징들의 임의의 유형을 포함할 수 있다. 이러한 방식으로, 컴퓨터 서브시스템(들)은 블록에 대해 결정된 특징을 레이블과 상관시킴으로써 입력 특징 맵 볼륨을 생성할 수 있다.

[0090] 이러한 하나의 실시예에서, 하나 이상의 컴퓨터 서브시스템들은 쌍 내의 이미지에 대한 생성 모델에 의해 결정된 특징이 그 이미지 내 픽셀과 연관된 레이블에 매핑될 때까지 생성 모델의 파라미터를 점진적으로 수정함으로써 생성 모델의 지도 훈련(supervised training)을 수행하도록 구성된다. 훈련(지도 훈련) 동안, 비선형 네트워크는 네트워크의 파라미터(가중치)를 점진적으로 수정하여 (레이블 맵에 정의된) 정확한 레이블을 예측한다. 예를 들어, 본 명세서에서 설명된 실시예에 의해 수정된 생성 모델의 하나 이상의 파라미터들은 훈련 가능한 가중치를 갖는 생성 모델의 임의의 계층에 대한 하나 이상의 가중치들을 포함할 수 있다. 이러한 하나의 예에서, 가중치는 컨볼루션 계층에 대한 가중치를 포함할 수 있지만 풀링 계층에 대한 가중치를 포함하지 않을 수 있다. 상대적으로 빠른 수렴 및 초과 피팅을 달성하기 위해 상이한 훈련 방법이 사용될 수 있다. 예를 들어, 다수의 GPU 및 미리 훈련된 모델을 사용하여 빠른 훈련이 달성될 수 있다.

[0091] 일단 훈련이 완료되면, 생성 모델 및 업데이트된 파라미터(모델)는 배치할 (예를 들어, 결함을 검출하고 그리고/또는 시편 및 다른 시편의 결함을 분류할) 준비가 된다. 이러한 방식으로, 비선형 네트워크에서 학습된 가중치는 학습된 모델을 나타내며, 이 모델은 이후 타깃 시스템, 예를 들어, 본 명세서에서 설명된 시스템들 중 하나에 설치될 수 있다. 이와 같이, 런타임 동안, 모델은 타깃 시스템에 설치되고 새로운 이미지는 전방 모드(추론 모드)에서 처리된다. 생성 모델은 본 명세서에서 설명된 바와 같이 이미지의 내용을 정확하게 표시하는 레이블 맵을 생성한다.

[0092] 본 명세서에서 설명된 실시예에 따르면, 사전에 "손으로 만든 특징"을 준비할 필요가 없다. 특징은 예제(내부 데이터 표현)으로부터 자동으로 학습된다. 새로운 실시예는 데이터로부터 학습된 자연적 변동에 강건하다. 예제를 제공하고 시스템을 재훈련함으로써 새로운 계층 또는 새로운 결함 유형을 지원하는 것이 간단하고 빨라진

다. 예를 들어, 일부 실시예에서, 하나 이상의 컴퓨터 서브시스템들은 세트에 새로운 쌍을 추가하고, 새로운 쌍 내의 이미지에서 하나 이상의 부가 결합들을 검출하고, 하나 이상의 부가 레이블을 하나 이상의 부가 결합을 검출한 결과에 대응하는 이미지 내 픽셀과 연관시키고, 생성 모델에 의해 쌍 및 새로운 쌍 내의 이미지에 대해 결정된 특징이 쌍 및 새로운 쌍 내의 이미지 내 픽셀과 연관된 레이블에 매핑될 때까지 파라미터를 점진적으로 수정하여 감독된 학습을 재수행함으로써, 훈련 데이터세트를 수정하도록 구성될 수 있다. 이러한 방식으로, 훈련 데이터세트는 새로운 결합이 발견되거나, 합성되거나 또는 시플레이트될 때 새로운 쌍으로 업데이트될 수 있으며, 생성 모델은 업데이트된 훈련 데이터세트를 사용하여 재훈련될 수 있다. 기존 이미지 획득의 필요성을 제거하여 시간을 절약하는 것 이외에, 알고리즘 개발의 시간, 노력 및 비용이 본 명세서에서 설명된 심층 학습 접근법의 자체 학습 특성(예를 들어, 생성 모델의 사용)으로 인해 더 낮아진다.

[0093] 본 명세서에서 설명된 실시예는 시편상의 결합을 검출하기 위한 다른 방법에 비해 많은 장점을 갖는다. 예를 들어, 본 명세서에서 설명된 실시예는 이전에 사용된 방법 및 시스템과 비교하여 상당히 강건하다. 이러한 하나의 예에서, 본 명세서에서 설명된 실시예에서, 손으로 만든 특징을 사전에 디자인할 필요가 없다. 특징은 작업에 최적화되도록 사전에 자동으로 학습된다. 이러한 다른 예에서, 데이터의 자연적 변동에 대한 강건성은 본 명세서에서 설명된 실시예에 의해 자동으로 학습된다. 부가의 예에서, 본 명세서에서 설명된 실시예는 처방 개선에 비교적 짧은 사이클을 갖는다. 이러한 추가의 예에서, 공칭 프로세스 변동(예를 들어, LER)과 같은 문제는 그러한 데이터가 훈련 세트에 존재한다고 가정하면 자동으로 해결된다.

[0094] 본 명세서에서 설명된 실시예는 유리하게 일반화 가능하다. 예를 들어, 동일한 뉴럴 네트워크 접근법이 많은 상이한 애플리케이션(예를 들어, SID, ADC, 다이 투 데이터베이스(die to database) 등)에 사용될 수 있다. 또한, 본 명세서에서 설명된 실시예는 유리하게도 확장 가능하다. 예를 들어, 본 명세서에서 설명된 실시예의 성능은 데이터가 더 많을수록 나아지며, 실시예는 대규모로 병렬화될 수 있다. 특히, 이와 같은 접근법이 해결할 수 있는 문제의 개수는 현재 사용되는 방법 및 시스템보다 많다. 이러한 하나의 예에서, 동일한 접근법은 그저 올바른 학습 데이터를 추가함으로써 동일한 방법론을 가지고 시편에서 모든 유형의 결합(프로세스 또는 패턴)을 검출하고 분류하는 것으로 조정할 수 있다.

[0095] 본 명세서에서 설명된 실시예의 추가의 장점은 부트스트래핑을 위한 기존의 방법을 활용할 수 있다는 것이다. 예를 들어, 본 명세서에서 추가로 설명되는 바와 같은 기존의 결합 검출 알고리즘은 훈련 프로세스를 부트스트래핑하기 위해 활용될 수 있다. 또한, 본 명세서에서 설명된 시플레이션(예를 들어, 결합 유형의 예를 생성)하기 위해 비교적 느린 시플레이션 방법(예를 들어, 마르코프 체인(Markov Chain))이 사용될 수 있다.

[0096] 전문한 각각의 시스템의 각각의 실시예는 함께 하나의 단일 실시예로 조합될 수 있다.

[0097] 다른 실시예는 시편상의 결합을 검출하기 위한 컴퓨터 구현된 방법에 관한 것이다. 방법은 이미징 서브시스템에 의해 시편의 일부분에 대해 발생된 단일의 테스트 이미지를 다수의 픽셀 블록들로 분리하는 단계를 포함하며, 이는 본 명세서에서 추가로 설명되는 바와 같이 수행될 수 있다. 이미징 서브시스템은 본 명세서에서 추가로 설명된 바와 같이 구성될 수 있다. 방법은 또한 다수의 픽셀 블록들 중 적어도 하나의 픽셀 블록에 대해, 다수의 블록들 중 적어도 하나의 블록 내의 픽셀에만 기초하여 다수의 블록들 중 적어도 하나의 블록의 특징을 결정하는 단계를 포함한다. 특징을 결정하는 것은 본 명세서에서 추가로 기술된 바와 같이 수행될 수 있다. 분리 및 결정 단계는 하나 이상의 컴퓨터 서브시스템들에 의해 실행되는 하나 이상의 구성요소들에 포함된 생성 모델에 의해 수행된다.

[0098] 생성 모델, 하나 이상의 구성요소들 및 하나 이상의 컴퓨터 서브시스템들은 또한 본 명세서에서 설명된 바와 같이 구성될 수 있다. 예를 들어, 생성 모델은 입력 특징 맵 볼륨의 픽셀 블록을 레이블에 매핑하도록 구성된 비선형 네트워크를 포함하고, 레이블은 블록의 하나 이상의 결합 관련 특성들을 나타낸다.

[0099] 또한, 방법은 결정된 특징 및 레이블에의 입력 특징 맵 볼륨의 픽셀 블록의 매핑에 기초하여 다수의 블록들 중 적어도 하나의 블록에 대한 레이블들 중 하나의 레이블을 선택하는 단계를 포함한다. 블록에 대한 레이블을 선택하는 것은 본 명세서에서 설명된 임의의 실시예에 따라 수행될 수 있다. 방법은 다수의 블록들 중 적어도 하나의 블록에 대해 선택된 레이블에 기초하여 시편의 일부분에서 결합을 검출하는 단계를 더 포함하며, 이는 본 명세서에서 설명된 임의의 실시예에 따라 수행될 수 있다. 검출은 하나 이상의 컴퓨터 서브시스템들에 의해 수행된다.

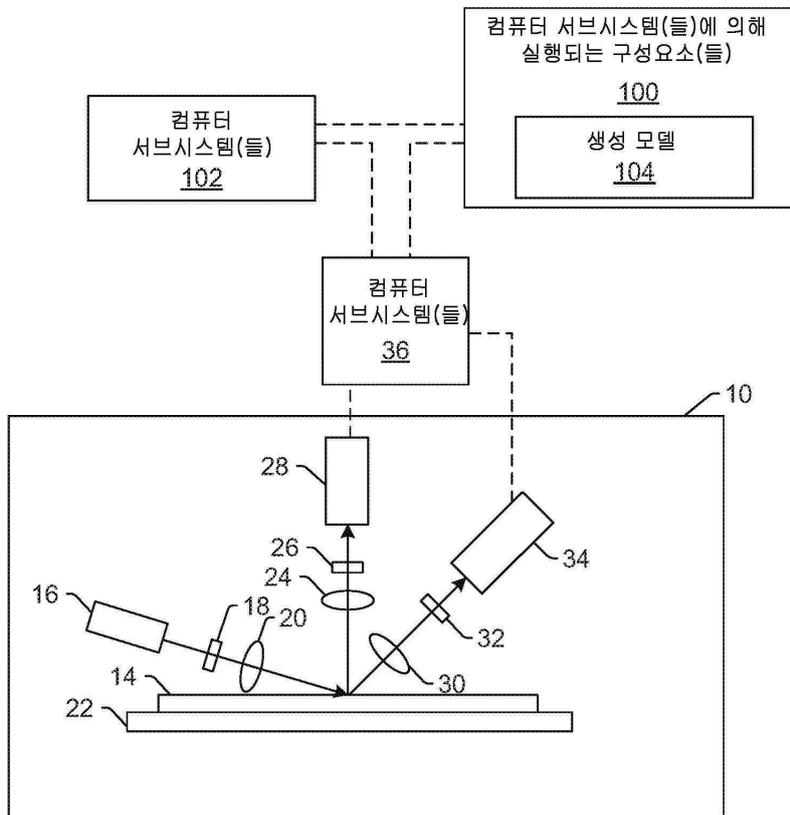
[0100] 방법의 각 단계는 본 명세서에서 추가로 기술된 바와 같이 수행될 수 있다. 방법은 또한 본 명세서에서 설명된 시스템, 컴퓨터 서브시스템(들) 및/또는 이미징 시스템 또는 서브시스템에 의해 수행될 수 있는 임의의 다른 단

계(들)를 포함할 수 있다. 또한, 전술한 방법은 본 명세서에서 설명된 임의의 시스템 실시예에 의해 수행될 수 있다.

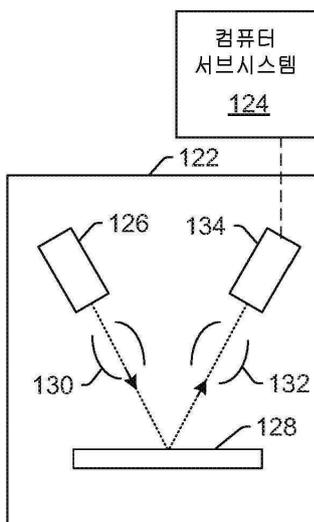
- [0101] 부가의 실시예는 시편상의 결함을 검출하기 위한 컴퓨터 구현된 방법을 수행하기 위해 컴퓨터 시스템상에서 실행 가능한 프로그램 명령어를 저장하는 비밀시적 컴퓨터 판독가능한 매체에 관한 것이다. 이러한 하나의 실시예는 도 4에 도시된다. 특히, 도 4에 도시된 바와 같이, 비밀시적 컴퓨터 판독가능한 매체(400)는 컴퓨터 시스템(404) 상에서 실행 가능한 프로그램 명령어(402)를 포함한다. 컴퓨터 구현된 방법은 본 명세서에서 설명된 방법(들)의 임의의 단계(들)를 포함할 수 있다.
- [0102] 본 명세서에서 설명된 것과 같은 방법을 구현하는 프로그램 명령어(402)는 컴퓨터 판독가능한 매체(400)에 저장될 수 있다. 컴퓨터 판독가능한 매체는 본 기술분야에서 공지된 자기 또는 광학 디스크, 자기 테이프 또는 임의의 다른 적합한 비밀시적인 컴퓨터 판독가능한 매체와 같은 저장 매체일 수 있다.
- [0103] 프로그램 명령어는 다른 것들 중에서도 프로시저 기반 기술, 구성요소 기반 기술 및/또는 객체 지향 기술을 비롯한 임의의 다양한 방식으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 프로그램 명령어는 희망하는 대로 액티브엑스 컨트롤(ActiveX control), C++ 객체, 자바빈(JavaBean), 마이크로소프트 파운데이션 클래스(Microsoft Foundation Classes)("MFC"), SSE(Streaming SIMD Extension) 또는 기타 기술 또는 방법론을 사용하여 구현할 수 있다.
- [0104] 컴퓨터 시스템(404)은 본 명세서에서 설명된 임의의 실시예에 따라 구성될 수 있다.
- [0105] 본 발명의 다양한 양태의 추가의 수정 및 대안적인 실시예는 이러한 설명을 고려하여 본 기술분야의 기술자에게 명백할 것이다. 예를 들어, 시편상의 결함을 검출하기 위한 방법 및 시스템이 제공된다. 따라서, 이러한 설명은 단지 예시적인 것으로서 해석되어야 하며, 본 발명을 수행하는 일반적인 방법을 관련 기술분야의 기술자에게 교시하기 위한 것이다. 본 명세서에 도시되고 설명된 본 발명의 형태는 현재의 바람직한 실시예로 취급될 것임을 이해하여야 한다. 요소 및 재료는 본 명세서에 도시되고 기술된 것들에 대체될 수 있으며, 본 발명의 어떤 특징들은 모두 본 발명의 이러한 설명의 이득을 받은 후에 관련 기술분야의 기술자에게 명백해지는 바와 같이, 독립적으로 이용될 수 있다. 다음의 청구 범위에 설명된 본 발명의 사상 및 범위를 벗어나지 않으면서 본 명세서에서 설명된 요소의 변경이 이루어질 수 있다.

도면

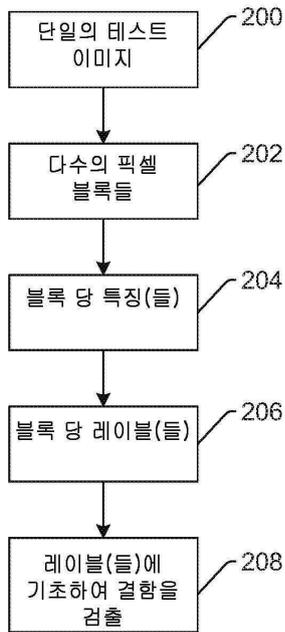
도면1



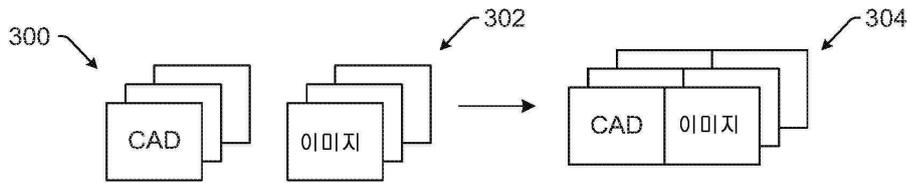
도면1a



도면2



도면3



도면4

