(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2025년04월17일
(11) 등록번호 10-2797875
(24) 등록일자 2025년04월15일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06T 7/00 (2017.01) *G06F 18/2413* (2023.01)
G06T 7/12 (2017.01) *H01L 21/66* (2006.01)
(52) CPC특허분류
G06T 7/0004 (2013.01)
G06F 18/2413 (2023.01)
(21) 출원번호 10-2022-7045264
(22) 출원일자(국제) 2021년06월23일
심사청구일자 2024년03월21일
(85) 번역문제출일자 2022년12월22일
(65) 공개번호 10-2023-0027074
(43) 공개일자 2023년02월27일
(86) 국제출원번호 PCT/US2021/038563
(87) 국제공개번호 WO 2021/262778
국제공개일자 2021년12월30일
(30) 우선권주장
202041026631 2020년06월24일 인도(IN)
(뒷면에 계속)
(56) 선행기술조사문헌
KR1020110076825 A
KR1020190072569 A

(73) 특허권자
케이엘에이 코포레이션
미합중국, 캘리포니아 95035, 밀피타스, 원 테크놀로지 드라이브
(72) 발명자
야티 아르핏
인도 러크나우 226010 곰티 나가르 바르단 칸드 1/480
(74) 대리인
김태홍, 김진희

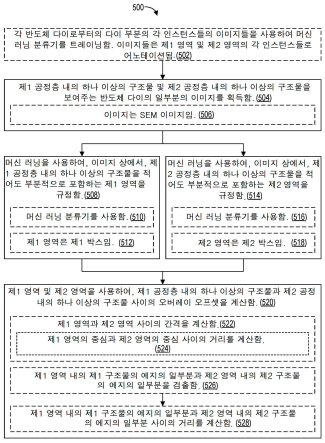
전체 청구항 수 : 총 26 항 심사관 : 신재철

(54) 발명의 명칭 **머신 러닝을 사용한 반도체 오버레이 측정**

(57) 요 약

제1 공정층 내의 하나 이상의 구조물 및 제2 공정층 내의 하나 이상의 구조물을 보여주는 반도체 다이의 일부분의 이미지가 획득된다. 머신 러닝을 사용하여, 이미지 상에서, 제1 공정층 내의 하나 이상의 구조물을 적어도 부분적으로 포함하는 제1 영역이 규정된다. 또한, 머신 러닝을 사용하여, 이미지 상에서, 제2 공정층 내의 하나 이상의 구조물을 적어도 부분적으로 포함하는 제2 영역이 규정된다. 제1 영역 및 제2 영역을 사용하여, 제1 공정층 내의 하나 이상의 구조물과 제2 공정층 내의 하나 이상의 구조물 사이의 오버레이 오프셋이 계산된다.

대 표 도 - 도5



(52) CPC특허분류
G06T 7/12 (2017.01)
H01L 22/20 (2013.01)
G06T 2207/10061 (2013.01)
G06T 2207/20081 (2013.01)
G06T 2207/30148 (2013.01)

(30) 우선권주장
63/063,973 2020년08월11일 미국(US)
17/135,998 2020년12월29일 미국(US)

명 세 서

청구범위

청구항 1

방법으로서,

제1 공정층(process layer) 내의 하나 이상의 구조물 및 제2 공정층 내의 하나 이상의 구조물을 보여주는 반도체 다이의 일부분의 이미지를 획득하는 단계;

머신 러닝을 사용하여, 상기 제1 공정층 내의 하나 이상의 구조물을 적어도 부분적으로 포함하는 상기 이미지 상의 제1 영역을 규정(define)하는 단계;

머신 러닝을 사용하여, 상기 제2 공정층 내의 하나 이상의 구조물을 적어도 부분적으로 포함하는 상기 이미지 상의 제2 영역을 규정하는 단계; 및

상기 제1 영역 및 상기 제2 영역을 사용하여, 상기 제1 공정층 내의 하나 이상의 구조물과 상기 제2 공정층 내의 하나 이상의 구조물 사이의 오버레이 오프셋(overlay offset)을 계산하는 단계

를 포함하는, 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 이미지는 주사 전자 현미경(scanning electron microscope, SEM) 이미지인 것인, 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 제1 영역 및 상기 제2 영역을 사용하여 상기 오버레이 오프셋을 계산하는 단계는 상기 제1 영역과 상기 제2 영역 사이의 간격(separation)을 계산하는 단계를 포함하는 것인, 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 제1 영역과 상기 제2 영역 사이의 상기 간격을 계산하는 단계는 상기 제1 영역의 중심과 상기 제2 영역의 중심 사이의 거리를 계산하는 단계를 포함하는 것인, 방법.

청구항 5

제3항에 있어서,

상기 제1 영역은 제1 박스이고;

상기 제2 영역은 제2 박스인 것인, 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 제1 박스는 상기 제1 공정층 내의 하나 이상의 구조물을 바운딩(bounding)하고;

상기 제2 박스는 상기 제2 공정층 내의 하나 이상의 구조물을 바운딩하는 것인, 방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 제1 공정층 내의 하나 이상의 구조물은 제1 구조물을 포함하고;

상기 제2 공정층 내의 하나 이상의 구조물은 제2 구조물을 포함하고;

상기 제1 영역은 상기 제1 구조물의 에지의 일부분을 포함하고;

상기 제2 영역은 상기 제2 구조물의 에지의 일부분을 포함하며; 그리고

상기 제1 영역 및 상기 제2 영역을 사용하여 상기 오버레이 오프셋을 계산하는 단계는:

상기 제1 영역 내에서 상기 제1 구조물의 에지의 일부분을 검출하는 단계,

상기 제2 영역 내에서 상기 제2 구조물의 에지의 일부분을 검출하는 단계, 및

상기 제1 영역 내의 상기 제1 구조물의 에지의 일부분과 상기 제2 영역 내의 상기 제2 구조물의 에지의 일부분 사이의 거리를 계산하는 단계

를 포함하는 것인, 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 제1 영역은 제1 박스이고;

상기 제2 영역은 제2 박스인 것인, 방법.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 제1 영역을 규정하는 단계 및 상기 제2 영역을 규정하는 단계는 머신 러닝 분류기(machine-learning classifier)를 사용하여 수행되고;

상기 방법은 각 반도체 다이로부터의 일부분의 각 인스턴스들의 이미지들 – 상기 이미지들은 상기 제1 영역 및 상기 제2 영역의 각 인스턴스들로 어노테이션(annotate)됨 – 을 사용하여 상기 머신 러닝 분류기를 트레이닝하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 10

하나 이상의 프로세서에 의한 실행을 위한 하나 이상의 프로그램을 저장하는 비일시적인 컴퓨터 판독가능 저장 매체로서,

상기 하나 이상의 프로그램은:

제1 공정층 내의 하나 이상의 구조물 및 제2 공정층 내의 하나 이상의 구조물을 보여주는 반도체 다이의 일부분의 이미지를 획득하기 위한 명령어들;

머신 러닝을 사용하여, 상기 제1 공정층 내의 하나 이상의 구조물을 적어도 부분적으로 포함하는 상기 이미지 상의 제1 영역을 규정하기 위한 명령어들;

머신 러닝을 사용하여, 상기 제2 공정층 내의 하나 이상의 구조물을 적어도 부분적으로 포함하는 상기 이미지 상의 제2 영역을 규정하기 위한 명령어들; 및

상기 제1 영역 및 상기 제2 영역을 사용하여, 상기 제1 공정층 내의 하나 이상의 구조물과 상기 제2 공정층 내의 하나 이상의 구조물 사이의 오버레이 오프셋을 계산하기 위한 명령어들

을 포함하는 것인, 비일시적인 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 이미지는 주사 전자 현미경(SEM) 이미지인 것인, 비일시적인 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

청구항 12

제10항에 있어서,

상기 제1 영역 및 상기 제2 영역을 사용하여 상기 오버레이 오프셋을 계산하기 위한 명령어들은 상기 제1 영역과 상기 제2 영역 사이의 간격을 계산하기 위한 명령어들을 포함하는 것인, 비일시적인 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 제1 영역과 상기 제2 영역 사이의 상기 간격을 계산하기 위한 명령어들은 상기 제1 영역의 중심과 상기 제2 영역의 중심 사이의 거리를 계산하기 위한 명령어들을 포함하는 것인, 비일시적인 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

청구항 14

제12항에 있어서,

상기 제1 영역은 제1 박스이고;

상기 제2 영역은 제2 박스인 것인, 비일시적인 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 제1 박스는 상기 제1 공정층 내의 하나 이상의 구조물을 바운딩하고;

상기 제2 박스는 상기 제2 공정층 내의 하나 이상의 구조물을 바운딩하는 것인, 비일시적인 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

청구항 16

제10항에 있어서,

상기 제1 공정층 내의 하나 이상의 구조물은 제1 구조물을 포함하고;

상기 제2 공정층 내의 하나 이상의 구조물은 제2 구조물을 포함하고;

상기 제1 영역은 상기 제1 구조물의 에지의 일부분을 포함하고;

상기 제2 영역은 상기 제2 구조물의 에지의 일부분을 포함하며; 그리고

상기 제1 영역 및 상기 제2 영역을 사용하여 상기 오버레이 오프셋을 계산하기 위한 명령어들은:

상기 제1 영역 내에서 상기 제1 구조물의 에지의 일부분을 검출하기 위한 명령어들,

상기 제2 영역 내에서 상기 제2 구조물의 에지의 일부분을 검출하기 위한 명령어들, 및

상기 제1 영역 내의 상기 제1 구조물의 에지의 일부분과 상기 제2 영역 내의 상기 제2 구조물의 에지의 일부분 사이의 거리를 계산하기 위한 명령어들

을 포함하는 것인, 비일시적인 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

청구항 17

제16항에 있어서,

상기 제1 영역은 제1 박스이고;

상기 제2 영역은 제2 박스인 것인, 비일시적인 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

청구항 18

제10항에 있어서,

상기 제1 영역을 규정하기 위한 명령어들 및 상기 제2 영역을 규정하기 위한 명령어들은 머신 러닝 분류기를 사용하여 상기 제1 영역 및 상기 제2 영역을 규정하기 위한 명령어들을 포함하고;

상기 하나 이상의 프로그램은 각 반도체 다이로부터의 일부분의 각 인스턴스들의 이미지들 - 상기 이미지들은 상기 제1 영역 및 상기 제2 영역의 각 인스턴스들로 어노테이션됨 - 을 사용하여 상기 머신 러닝 분류기를 트레이닝하기 위한 명령어들을 더 포함하는 것인, 비일시적인 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

청구항 19

시스템으로서,

주사 전자 현미경(SEM);

하나 이상의 프로세서; 및

상기 하나 이상의 프로세서에 의한 실행을 위한 하나 이상의 프로그램을 저장하는 메모리를 포함하며,

상기 하나 이상의 프로그램은:

제1 공정층 내의 하나 이상의 구조물 및 제2 공정층 내의 하나 이상의 구조물을 보여주는 반도체 다이의 일부분의 SEM 이미지를 상기 SEM으로부터 획득하기 위한 명령어들;

머신 러닝을 사용하여, 상기 제1 공정층 내의 하나 이상의 구조물을 적어도 부분적으로 포함하는 상기 SEM 이미지 상의 제1 영역을 규정하기 위한 명령어들;

머신 러닝을 사용하여, 상기 제2 공정층 내의 하나 이상의 구조물을 적어도 부분적으로 포함하는 상기 SEM 이미지 상의 제2 영역을 규정하기 위한 명령어들; 및

상기 제1 영역 및 상기 제2 영역을 사용하여, 상기 제1 공정층 내의 하나 이상의 구조물과 상기 제2 공정층 내의 하나 이상의 구조물 사이의 오버레이 오프셋을 계산하기 위한 명령어들

을 포함하는 것인, 시스템.

청구항 20

제19항에 있어서,

상기 제1 영역 및 상기 제2 영역을 사용하여 상기 오버레이 오프셋을 계산하기 위한 명령어들은 상기 제1 영역과 상기 제2 영역 사이의 간격을 계산하기 위한 명령어들을 포함하는 것인, 시스템.

청구항 21

제20항에 있어서,

상기 제1 영역과 상기 제2 영역 사이의 상기 간격을 계산하기 위한 명령어들은 상기 제1 영역의 중심과 상기 제2 영역의 중심 사이의 거리를 계산하기 위한 명령어들을 포함하는 것인, 시스템.

청구항 22

제20항에 있어서,

상기 제1 영역은 제1 박스이고;

상기 제2 영역은 제2 박스인 것인, 시스템.

청구항 23

제22항에 있어서,

상기 제1 박스는 상기 제1 공정층 내의 하나 이상의 구조물을 바운딩하고;

상기 제2 박스는 상기 제2 공정층 내의 하나 이상의 구조물을 바운딩하는 것인, 시스템.

청구항 24

제19항에 있어서,

상기 제1 공정층 내의 하나 이상의 구조물은 제1 구조물을 포함하고;

상기 제2 공정층 내의 하나 이상의 구조물은 제2 구조물을 포함하고;

상기 제1 영역은 상기 제1 구조물의 에지의 일부분을 포함하고;

상기 제2 영역은 상기 제2 구조물의 에지의 일부분을 포함하며; 그리고

상기 제1 영역 및 상기 제2 영역을 사용하여 상기 오버레이 오프셋을 계산하기 위한 명령어들은:

상기 제1 영역 내에서 상기 제1 구조물의 에지의 일부분을 검출하기 위한 명령어들,

상기 제2 영역 내에서 상기 제2 구조물의 에지의 일부분을 검출하기 위한 명령어들, 및

상기 제1 영역 내의 상기 제1 구조물의 에지의 일부분과 상기 제2 영역 내의 상기 제2 구조물의 에지의 일부분 사이의 거리를 계산하기 위한 명령어들

을 포함하는 것인, 시스템.

청구항 25

제24항에 있어서,

상기 제1 영역은 제1 박스이고;

상기 제2 영역은 제2 박스인 것인, 시스템.

청구항 26

제19항에 있어서,

상기 제1 영역을 규정하기 위한 명령어들 및 상기 제2 영역을 규정하기 위한 명령어들은 머신 러닝 분류기를 사용하여 상기 제1 영역 및 상기 제2 영역을 규정하기 위한 명령어들을 포함하고;

상기 하나 이상의 프로그램은 각 반도체 다이로부터의 일부분의 각 인스턴스들의 SEM 이미지들 – 상기 SEM 이미지들은 상기 제1 영역 및 상기 제2 영역의 각 인스턴스들로 어노테이션됨 – 을 사용하여 상기 머신 러닝 분류기를 트레이닝하기 위한 명령어들을 더 포함하는 것인, 시스템.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 관련 출원

[0002] 본 출원은 2020년 6월 24일에 출원된 인도 가 특허출원 제202041026631호, 및 2020년 8월 11일에 출원된 미국 가 특허출원 제63/063,973호의 우선권을 주장하며, 이들 가 특허출원들은 모든 목적을 위해 본원에 원용된다.

[0003] 기술분야

[0004] 본 개시는 반도체 디바이스들에 대한 오버레이(즉, 오버레이 오프셋)를 측정하는 것, 그리고 보다 더 구체적으로는 머신 러닝을 사용하여 오버레이 오프셋을 측정하는 것에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0005] 반도체 제조에서, 공정층들 사이의 오정렬은 하나의 공정층 내의 구조물들의 위치들이 다른 공정층 내의 구조물들의 위치들과 비교하여 원치 않게 시프트되게 한다. 이러한 시프트(즉, 변위)는 오버레이로서, 또는 동등하게, 오버레이 오프셋으로서 지칭된다. 이러한 시프트를 측정하는 것은 오버레이 계측으로서 지칭된다. 정확한 오버레이 계측은 공정 드리프트를 측정하고, 이에 따라 특히 새로운 반도체 공정 및/또는 디바이스에 대한 램프 업 기간 동안, 공정 제어를 확립 및 유지하는 데 중요하다.

[0006] 주사 전자 현미경(scanning electron microscope, SEM)은 높은 해상도를 갖고 구조물을 그 형상 또는 크기에 관계없이 이미징할 수 있기 때문에, 오버레이 계측에 유용한 도구이다. 그러나, 오버레이 측정을 위해 SEM 이미지에서 구조물들(예를 들어, 관심 패턴)을 식별하는 것은 상당한 과제이다. 공정 변동은 특히 램프 업 기간 동안, 구조물들의 형상, 크기, 및 배향이 상당히 달라지게 할 수 있다. 그 결과, 기존의 객체 인식 알고리즘들은 오버랩이 측정될 두 개의 구조물들에 맞출 수 없을 수 있다.

발명의 내용

[0007] 오버레이 계측은 반도체 다이의 각 공정층들 내의 각 구조물들(또는 구조물들의 그룹들)에 대응하는 영역들을 규정하는 데 머신 러닝을 사용하고, 그 영역들을 구조물들 사이의 오버레이 오프셋을 계산하는 데 사용함으로써 수행될 수 있다.

[0008] 일부 실시예들에서, 방법은 제1 공정층 내의 하나 이상의 구조물 및 제2 공정층 내의 하나 이상의 구조물을 보여주는 반도체 다이의 일부분의 이미지를 획득하는 단계를 포함한다. 본 방법은 또한 머신 러닝을 사용하여, 이미지 상에서, 제1 공정층 내의 하나 이상의 구조물을 적어도 부분적으로 포함하는 제1 영역을 규정하는 단계 및 이미지 상에서, 제2 공정층 내의 하나 이상의 구조물을 적어도 부분적으로 포함하는 제2 영역을 규정하는 단계를 포함한다. 본 방법은 제1 영역 및 제2 영역을 사용하여, 제1 공정층 내의 하나 이상의 구조물과 제2 공정층 내의 하나 이상의 구조물 사이의 오버레이 오프셋을 계산하는 단계를 더 포함한다.

[0009] 일부 실시예들에서, 비일시적인 컴퓨터 판독가능 저장 매체는 하나 이상의 프로세서에 의한 실행을 위한 하나 이상의 프로그램을 저장한다. 하나 이상의 프로그램은 상기한 방법을 수행하기 위한 명령어들을 포함한다.

[0010] 일부 실시예들에서, 시스템은 주사 전자 현미경(SEM), 하나 이상의 프로세서, 및 하나 이상의 프로세서에 의한 실행을 위한 하나 이상의 프로그램을 저장하는 메모리를 포함한다. 하나 이상의 프로그램은 상기한 방법을 수행하기 위한 명령어들을 포함한다.

도면의 간단한 설명

[0011] 다양한 설명된 구현예들의 보다 양호한 이해를 위해, 아래의 상세한 설명이 다음의 도면들과 함께 참조되어야 한다.

도 1a는 제1 공정층 내의 제1 구조물 및 제2 공정층 내의 복수의 제2 구조물들을 보여주는, 반도체 다이의 일부분의 SEM 이미지의 예시이다.

도 1b는 일부 실시예들에 따라, 제1 공정층 내의 제1 구조물을 바운딩하는 제1 영역이 머신 러닝을 사용하여 규정되고, 제2 공정층 내의 복수의 제2 구조물들을 바운딩하는 제2 영역이 머신 러닝을 사용하여 규정된 도 1a의 SEM 이미지의 예시이다.

도 2a는 제1 공정층 내의 구조물들 및 제2 공정층 내의 구조물을 보여주는, 반도체 다이의 일부분의 다른 SEM 이미지의 예시이다.

도 2b는 일부 실시예들에 따라, 제1 공정층 내의 구조물들 중 하나를 바운딩하는 제1 영역이 머신 러닝을 사용하여 규정되고, 제2 공정층 내의 구조물을 부분적으로 포함하는 제2 영역이 머신 러닝을 사용하여 규정된 도 2a의 SEM 이미지의 예시이다.

도 3a는 제1 공정층 내의 구조물 및 제2 공정층 내의 구조물들의 쌍을 보여주는, 반도체 다이의 일부분의 또 다른 SEM 이미지의 예시이다.

도 3b는 일부 실시예들에 따라, 제1 공정층 내의 구조물을 부분적으로 포함하는 제1 영역이 머신 러닝을 사용하여 규정되고, 제2 공정층 내의 구조물들의 쌍의 각 구조물을 부분적으로 포함하는 제2 영역이 머신 러닝을 사용하여 규정된 도 3a의 SEM 이미지의 예시이다.

도 4a는 제1 공정층 내의 복수의 구조물들 및 제2 공정층 내의 구조물을 보여주는, 반도체 다이의 일부분의 또 다른 SEM 이미지의 예시이다.

도 4b는 제1 공정층 내의 복수의 구조물들을 바운딩하는 제1 영역이 머신 러닝을 사용하여 규정되고, 제2 공정층 내의 구조물을 바운딩하는 제2 영역이 머신 러닝을 사용하여 규정된 도 4a의 SEM 이미지의 예시이다.

도 4b는 제1 공정층 내의 복수의 구조물들의 각 구조물들을 부분적으로 포함하는 다수의 제1 영역들이 머신 러

닝을 사용하여 규정되고, 제2 공정층 내의 구조물을 부분적으로 포함하는 다수의 제2 영역들이 머신 러닝을 사용하여 규정된 도 4a의 SEM 이미지의 예시이다.

도 5는 일부 실시예들에 따른 오버레이 계측 방법을 보여주는 흐름도이다.

도 6은 일부 실시예들에 따른 반도체 검사 시스템의 블록도이다.

유사한 참조 부호들은 도면들 및 명세서 전반에 걸쳐 대응하는 부분들을 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0012] 이제 다양한 실시예들 - 이의 예들이 첨부 도면들에 도시되어 있음 - 이 상세히 참조될 것이다. 다음 상세한 설명에서, 설명되는 다양한 실시예들에 대한 충분한 이해를 제공하기 위해 많은 특정 세부 사항들이 제시된다. 그러나, 설명되는 다양한 실시예들이 이러한 특정 세부 사항들 없이도 실시될 수 있다는 것이 당업자에게 명백할 것이다. 다른 경우들에서, 주지의 방법들, 절차들, 컴포넌트들, 회로들, 및 네트워크들은 실시예들의 양태들을 불필요하게 모호하게 하지 않기 위해 상세히 설명되지 않는다.

[0013] 머신 러닝 분류기는 반도체 다이의 이미지에서 각 구조물들, 또는 구조물들의 그룹들에 대응하는 영역들을 규정하도록 트레이닝될 수 있다. 예를 들어, 이미지는 주사 전자 현미경(SEM) 이미지이다. 구조물들 및/또는 구조물들의 그룹들은 다이 상의 상이한 공정층들 내에 제조된다. 영역들은 구조물들 사이의 오버레이 오프셋을 계산하는 데 사용된다.

[0014] 도 1a는 반도체 다이의 일부분의 주사 전자 현미경(SEM) 이미지(100)의 예시이다. SEM 이미지(100)는 구조물(102) 및 복수의 구조물들(104)을 포함한다. 구조물(102) 및/또는 복수의 구조물들(104)은 전도성(예를 들어, 금속)일 수 있다. 예를 들어, 구조물(102) 및/또는 복수의 구조물들(104)은 전도성(예를 들어, 금속) 플러그들일 수 있다. 일부 실시예들에서, 구조물(102)은 제1 쌍의 금속층들을 전도적으로 연결하는 비아이고, 구조물들(104)은 제2 쌍의 금속층들을 전도적으로 연결하는 비아들 또는 전도성 층(예를 들어, 금속층)을 규소에 전도적으로 연결하는 콘택들이다. 구조물(102)은 복수의 구조물들(104)과는 상이한 반도체 다이의 공정층 내에 있다. 일부 실시예들에서, 구조물(102)은 제1 비아층 내에 있는 한편, 복수의 구조물들(104)은 제2 비아층(예를 들어, 제1 비아층 아래) 또는 접촉층 내에 있다. 다른 예들도 가능하다.

[0015] 도 1b에서, 머신 러닝(예를 들어, 아래의 방법(500)의 단계 502에 따라 트레이닝될 수 있는 머신 러닝 분류기)은 구조물(102)에 대응하는 제1 영역(106) 및 복수의 구조물들(104)에 대응되는 제2 영역(108)을 규정하는 데 사용되었다. 일부 실시예들에서, 제1 영역(106)은 구조물(102)을 바운딩하고/하거나, 제2 영역(108)은 복수의 구조물들(104)을 바운딩한다. 이에 따라, 제1 영역(106)은 제1 영역(106)이 구조물(102)을 전체적으로 포함하도록 구조물(102)을 둘러싸고 에워쌀 수 있고, 제2 영역(108)은 제2 영역(108)이 복수의 구조물들(104)을 전체적으로 포함하도록 복수의 구조물들(104)을 둘러싸고 에워쌀 수 있다. 예를 들어, 제1 영역(106)은 구조물(102)을 바운딩하는 박스(예를 들어, 직사각형 박스)일 수 있고, 제2 영역(108)은 복수의 구조물들(104)을 바운딩하는 박스(예를 들어, 직사각형 박스)일 수 있다. 구조물 또는 복수의 구조물들을 바운딩하는 데 머신 러닝을 사용하여 규정되는 박스는 바운딩 박스로서 지칭된다. 제1 영역(106) 및/또는 제2 영역(108)은 대안적으로 박스들 이외의 다른 형상들을 갖는 것으로 규정될 수 있다.

[0016] 제1 영역(106) 및 제2 영역(108)은 구조물(102)과 복수의 구조물들(104) 사이의 오버레이 오프셋을 계산하는 데 사용될 수 있다. 일부 실시예들에서, 오버레이 오프셋을 결정하기 위해 제1 영역(106)과 제2 영역(108) 사이의 간격(예를 들어, SEM 이미지(100)의 평면 내의 두 개의 치수들, 또는 SEM 이미지(100)의 평면의 수평 또는 수직 치수 중 어느 하나)이 계산된다. 예를 들어, 오버레이 오프셋은 제1 영역(106)의 중심과 제2 영역(108)의 중심 사이의 거리로서 계산될 수 있다.

[0017] 도 2a는 반도체 다이의 일부분의 다른 SEM 이미지(200)의 예시이다. SEM 이미지(200)는 제1 공정층 내의 제1 구조물(201) 및 제2 구조물(202)을, 제1 공정층 아래에 있는 제2 공정층 내의 제3 구조물(204)과 함께 포함한다. 제1 구조물(201)은 수평 및 수직 아암들을 갖는 L자 형상을 갖고, 제2 구조물(202)은 직사각형이며, 제3 구조물(204)은 제1 구조물(201)의 수평 아암 밑에서 연장되고 제1 구조물(201)의 수직 아암에 평행한 라인이다. 제3 구조물(204)은 제2 구조물(202)과 제1 구조물(201)의 수직 아암 사이에서 수직으로 연장되지만, 제1 구조물(201) 및 제2 구조물(202)의 공정층보다 더 낮은 공정층 내에서 연장된다. 일부 실시예들에서, 제1 및 제2 공정층들은 금속층들이고: 제1 구조물(201) 및 제2 구조물(202)는 제1 금속층 내의 금속 구조물들인 한편, 제3 구조물(204)은 제1 금속층 아래의 제2 금속층 내의 금속 라인이다. 다른 예들도 가능하다.

[0018] 도 2b에서, 머신 러닝(예를 들어, 아래의 방법(500)의 단계 502에 따라 트레이닝될 수 있는 머신 러닝 분류기)은 제2 구조물(202)에 대응하는 제1 영역(206) 및 제3 구조물(204)에 대응하는 제2 영역(208)을 규정하는 데 사용되었다. 일부 실시예들에서, 제1 영역(206)은 제2 구조물(202)을 바운딩하고/하거나, 제2 영역(208)은 제3 구조물(204)의 일부분을 포함한다(즉, 제3 구조물(204)을 부분적으로 포함한다). 예를 들어, 제1 영역(206)은 제2 구조물(202)을 바운딩하는 바운딩 박스(예를 들어, 직사각형 바운딩 박스)이고, 제2 영역(208)은 제3 구조물(204)의 일부를 에워싸는 박스(예를 들어, 직사각형 박스)이다. 제1 영역(206) 및/또는 제2 영역(208)은 대안적으로 박스들 이외의 다른 형상들을 갖는 것으로 규정될 수 있다.

[0019] 제1 영역(206) 및 제2 영역(208)은 제2 구조물(202)과 제3 구조물(204) 사이의 오버레이 오프셋을 계산하는 데 사용될 수 있다. 일부 실시예들에서, 오버레이 오프셋을 결정하기 위해 제1 영역(206)과 제2 영역(208) 사이의 간격(예를 들어, SEM 이미지(200)의 수평 치수)이 계산된다. 예를 들어, 오버레이 오프셋은 제1 영역(206)의 중심과 제2 영역(208)의 중심 사이의 거리(예를 들어, 수평 거리)로서 계산될 수 있다.

[0020] 도 1b 및 도 2b는 머신 러닝을 사용하여 규정되는 영역들 사이의 간격을 사용하여 오버레이 오프셋들이 계산되는 예들을 보여준다. 대안적으로, 머신 러닝을 사용하여 규정되는 영역들은 구조물들의 에지들을 검출할 시작 영역들로서 사용될 수 있고, 오버레이 오프셋들은 검출된 에지들 사이에서 측정된 거리들을 사용하여 계산된다.

[0021] 도 3a는 반도체 다이의 일부분의 또 다른 SEM 이미지(300)의 예시이다. SEM 이미지(300)는 제1 공정층 내의 구조물(302) 및 제2 공정층 내의 구조물들의 쌍(304-1 및 304-2)을 포함한다. 구조물(302)은 둥근 코너들을 갖는 라인(예를 들어, 금속 라인)이다. 구조물들(304-1 및 304-2)은 구조물(302)과 접촉하는 전도성 플러그들(예를 들어, 전도성 비아들 또는 콘택들 – 이들은 금속일 수 있음)일 수 있다. 일부 실시예들에서, 구조물들(304-1 및 304-2)은 금속층인, 제1 공정층 바로 위의(또는 바로 아래의) 비아층 내의 금속 비아들일 수 있다. 다른 예들도 가능하다. 구조물들(304-1 및 304-2)은 실질적으로 원형 형상이지만, (예를 들어, 공정 변동으로 인해) 어느 정도 타원형일 수 있다.

[0022] 도 3b에서, 머신 러닝(예를 들어, 아래의 방법(500)의 단계 502에 따라 트레이닝될 수 있는 머신 러닝 분류기)은 구조물(302)의 일부분에 대응하고 이 부분을 포함하는(즉, 구조물(302)을 부분적으로 포함하는) 제1 영역(306) 및 구조물(304-1)의 일부분에 대응하고 이 부분을 포함하는(즉, 구조물(304-1)을 부분적으로 포함하는) 제2 영역(308)을 규정하는 데 사용되었다. 제1 영역(306)은 구조물(302)의 에지(307)의 일부분을 포함한다. 도 3b의 예에서, 제1 영역(306)은 구조물(302)의 단부를 포함하여서, 에지(307)의 일부분이 구조물(302)의 단부에 있다. 제2 영역(308)은 구조물(304-1)의 에지(309)의 일부분을 포함한다. 도 3b의 예에서, 제2 영역(308)은 구조물(304-1)의 원주의 일부분을 포함한다(즉, 에지(309)의 일부분이 구조물(304-1)의 원주의 일부분이다). 일부 실시예들에서, 제1 영역(306) 및 제2 영역(308)은 박스들(예를 들어, 직사각형 박스들)이다. 제1 영역(306) 및/또는 제2 영역(308)은 대안적으로 박스들 이외의 다른 형상들을 갖는 것으로 규정될 수 있다.

[0023] 제1 영역(306) 및 제2 영역(308)은 부분들(307 및 309)을 검출하기 위해 에지 검출을 수행할 시작 영역들로서의 역할을 함으로써, 구조물(302)과 구조물(304-1) 사이의 오버레이 오프셋을 계산하는 데 사용될 수 있다. 제1 영역(306) 및 제2 영역(308) 내에서 각각 부분들(307 및 309)이 검출되면, 이들 사이의 거리(310)가 계산된다. 거리(310)는 구조물(302)과 구조물(304-1) 사이에 오버레이 오프셋(예를 들어, 오버레이 오프셋은 거리(310)와 동일하거나 거리(310)에 상수를 더한 것과 동일함)을 준다.

[0024] 도 4a는 반도체 다이의 일부분의 또 다른 SEM 이미지(400)의 예시이다. SEM 이미지(400)는 제1 공정층 내의 복수의 구조물들(402) 및 제2 공정층 내의 구조물(404)을 포함한다. 구조물(404)은 수평 라인(예를 들어, 금속 라인)이다. 어레이로 배열되는 구조물들(402)은 전도성 플러그들(예를 들어, 전도성 비아들 또는 콘택들 – 금속일 수 있음)일 수 있다. 일부 실시예들에서, 구조물들(402)은 비아층 내의 비아들 또는 콘택층 내의 콘택들일 수 있다. 다른 예들도 가능하다. 구조물들(402)은 실질적으로 원형 형상이지만, (예를 들어, 공정 변동으로 인해) 어느 정도 타원형일 수 있다. 구조물들(402)은 실질적으로 균등하게 이격되지만, 이들의 위치들은 (예를 들어, 공정 변동으로 인해) 균등하게 이격된 이상적인 위치들로부터 어느 정도 달라질 수 있다.

[0025] 도 4b에서, 머신 러닝(예를 들어, 아래의 방법(500)의 단계 502에 따라 트레이닝될 수 있는 머신 러닝 분류기)은 복수의 구조물들(402)에 대응하는 제1 영역(406) 및 구조물(404)에 대응되는 제2 영역(408)을 규정하는 데 사용되었다. 일부 실시예들에서, 제1 영역(406)은 구조물들(402) 모두가 제1 영역(406) 내에 있도록(즉, 제1 영역(406)이 구조물들(402) 모두를 포함하도록) 복수의 구조물들(402)을 바운딩한다. 일부 실시예들에서, 제2 영역(408)은 구조물(404) 전체가 제2 영역(408) 내에 있도록(즉, 제2 영역(408)이 구조물(404)을 포함하도록) 구조물(404)을 바운딩한다. 예를 들어, 제1 영역(406)은 복수의 구조물들(402)을 바운딩하는 바운딩 박스(예를 들

어, 직사각형 바운딩 박스)이고, 제2 영역(408)은 구조물(404)을 바운딩하는 바운딩 박스(예를 들어, 직사각형 바운딩 박스)이다. 제1 영역(406) 및/또는 제2 영역(408)은 대안적으로 박스들 이외의 다른 형상들을 갖는 것으로 규정될 수 있다.

[0026] 제1 영역(406) 및 제2 영역(408)은 복수의 구조물들(402)과 구조물(404) 사이의 오버레이 오프셋을 계산하는 데 사용될 수 있다. 일부 실시예들에서, 오버레이 오프셋을 결정하기 위해 제1 영역(406)과 제2 영역(408) 사이의 간격(예를 들어, SEM 이미지(400)의 평면 내의 두 개의 치수들, 또는 SEM 이미지(400) 내의 평면의 수직 또는 수평 치수 중 어느 하나)이 계산된다. 예를 들어, 오버레이 오프셋은 제1 영역(406)의 중심과 제2 영역(408)의 중심 사이의 거리(또는 거리에 상수를 더한 값)로서 계산될 수 있다.

[0027] 도 4c에서, 머신 러닝(예를 들어, 아래의 방법(500)의 단계 502에 따라 트레이닝될 수 있는 머신 러닝 분류기)은 복수의 구조물들(402)의 각 구조물(402)(예들 들어, 복수의 구조물들(402)의 맨 아래 열 내의 각 구조물들(402))의 각 부분들에 대응하고 이 부분들을 포함하는 제1 영역들(410-1 내지 410-4)을 규정하는 데 사용되었다. 머신 러닝(예를 들어, 머신 러닝 분류기)은 또한, 구조물(404)의 각 부분들에 대응하고 이 부분들을 포함하는 제2 영역들(412-1 내지 412-4)을 규정하는 데 사용되었다. 제1 영역들(410-1 내지 410-4) 각각은 각 구조물(402)의 에지의 일부분(예를 들어, 구조물(404)을 향하는 에지 부분)을 포함한다. 제2 영역들(412-1 내지 412-4) 각각은 구조물(404)의 에지의 각 부분(예를 들어, 각 구조물(402)의 바로 맞은편의 구조물(404)의 상부 에지의 일부분)을 포함한다. 일부 실시예들에서, 제1 영역들(410-1 내지 410-4) 및 제2 영역들(412-1 내지 412-4)은 박스들(예를 들어, 직사각형 박스들)이다. 제1 영역들(410-1 내지 410-4) 및/또는 제2 영역들(412-1 내지 412-4)은 대안적으로 박스들 이외의 다른 형상들을 갖도록 규정될 수도 있다.

[0028] 제1 영역들(410-1 내지 410-4) 및 제2 영역들(412-1 내지 412-4)은 에지 검출을 수행할 시작 영역들로서의 역할을 함으로써, 각 구조물들(402)과 구조물(404) 사이의 각 오버레이 오프셋들을 계산하는 데 사용될 수 있다. 에지 검출은 제1 영역들(410-1 내지 410-4) 및 제2 영역들(412-1 내지 412-4)에서 에지 부분들을 검출하기 위해 수행된다. 이러한 에지 부분들이 검출되면, 이들 사이의 거리들이 다음과 같이 계산된다: 제1 영역(410-1) 내의 구조물(402)의 에지 부분과 제2 영역(412-1) 내의 구조물(404)의 에지 부분 사이에서 제1 거리가 계산되고, 제2 영역(410-2) 내의 구조물(402)의 에지 부분과 제2 영역(412-2) 내의 구조물(404)의 에지 부분 사이에서 제2 거리가 계산되고, 제3 영역(410-3) 내의 구조물(402)의 에지 부분과 제2 영역(412-3) 내의 구조물(404)의 에지 부분 사이에서 제3 거리가 계산되며, 제4 영역(410-4) 내의 구조물(402)의 에지 부분과 제2 영역(412-4) 내의 구조물(404)의 에지 부분 사이에서 제4 거리가 계산된다. (도 4c의 예에서 네 개의 제1 영역들(410) 및 네 개의 제2 영역들(412)이 도시되어 있지만, 영역들의 다른 개수도 가능하다.) 거리(310)(도 3b)와 유사하게 계산될 수 있는 이러한 거리들은 각 구조물들(402)과 구조물(404) 사이에 각 오버레이 오프셋들(예를 들어, 오버레이 오프셋들은 각 거리들과 같거나 각 거리들에 상수를 더한 것과 같음)을 준다. 복수의 구조물들(402)과 구조물(404) 사이의 평균 오버레이 오프셋은 이들 거리들의 평균을 사용하여 결정될 수 있다.

[0029] 도 5는 일부 실시예들에 따른 오버레이 계측 방법을 보여주는 흐름도(500)이다. 방법(500)은 컴퓨터 시스템(예를 들어, 도 6의 반도체 검사 시스템(600)의 컴퓨터 시스템)에 의해 수행될 수 있다.

[0030] 일부 실시예들에서, 머신 러닝 분류기가 각 반도체 다이로부터의 다이 부분의 각 인스턴스들의 이미지들을 사용하여 트레이닝된다(502). 이미지들은 제1 영역 및 제2 영역의 각 인스턴스들로 어노테이션(annotate)된다. 예를 들어, 이미지들은 사용자에 의해 그래픽 드로잉 프로그램을 사용하여 제1 영역 및 제2 영역의 각 인스턴스들을 표시하도록 어노테이션되었다. 일부 실시예들에서, 머신 러닝 분류기는 신경망이다. 예를 들어, 머신 러닝 분류기는 콘볼루션 신경망(convolutional neural network, CNN)(예를 들어, Mask R-CNN)이다. 대안적으로, 머신 러닝 분류기는 신경망 외의 상이한 유형의 신경망 또는 상이한 유형의 머신 러닝 분류기일 수 있다.

[0031] 제1 공정층 내의 하나 이상의 구조물 및 제2 공정층 내의 하나 이상의 구조물을 보여주는 반도체 다이의 일부분의 이미지가 획득된다(504). 일부 실시예들에서, 이미지는 SEM 이미지이다(506). 이미지는 이미징 툴(예를 들어, 도 6의 SEM(632))로부터 직접 획득될 수 있거나, 이미지가 이전에 저장된 메모리로부터 획득될 수 있다. 이미지의 예들은 이미지(100)(도 1a), 이미지(200)(도 2a), 이미지(300)(도 3a), 또는 이미지(400)(도 4a)를 비제한적으로 포함한다.

[0032] 머신 러닝을 사용하여, 이미지 상에서, 제1 공정층 내의 하나 이상의 구조물을 적어도 부분적으로 포함하는 제1 영역이 규정된다(508). 일부 실시예들에서, 제1 영역은 단계 502에서 트레이닝된 머신 러닝 분류기를 사용하여 규정된다(510). 제1 영역은 제1 박스(예를 들어, 직사각형 박스)일 수 있다(512). 예를 들어, 제1 박스는 제1 공정층 내의 하나 이상의 구조물을 바운딩하는 바운딩 박스(예를 들어, 도 1b의 영역(106); 도 2b의 영역(206);

도 4b의 영역(406))이다. 대안적으로, 제1 영역은 제1 공정층 내의 하나 이상의 구조물 중 하나인 제1 구조물의 에지의 일부분(즉, 에지의 단지 일부분만 포함하고, 전체 에지는 포함하지 않음)을 포함할 수 있다. 예를 들어, 제1 영역은 제1 구조물의 에지의 일부분을 포함하는 제1 박스(예를 들어, 직사각형 박스)(예를 들어, 도 3b의 영역(306); 도 4c의 영역들(410-1 내지 410-4) 중 하나)일 수 있다.

[0033] 또한, 머신 러닝을 사용하여, 이미지 상에서, 제2 공정층 내의 하나 이상의 구조물을 적어도 부분적으로 포함하는 제2 영역이 규정된다(514). 일부 실시예들에서, 제2 영역은 단계 502에서 트레이닝된 머신 러닝 분류기를 사용하여 규정된다(516). 제2 영역은 제2 박스(예를 들어, 직사각형 박스)일 수 있다(518). 예를 들어, 제2 박스는 제2 공정층 내의 하나 이상의 구조물을 바운딩하는 바운딩 박스(예를 들어, 도 1b의 영역(108); 도 4b의 영역(408))이다. 대안적으로, 제2 영역(예를 들어, 도 2b의 영역(208); 도 3b의 영역(308); 도 4c의 영역들(412-1 내지 412-4) 중 하나)은 제2 공정층 내의 하나 이상의 구조물 중 하나인 제2 구조물의 에지의 일부분(즉, 에지의 단지 일부분만 포함하고, 전체 에지는 포함하지 않음)을 포함할 수 있다. 예를 들어, 제2 영역은 제1 구조물의 에지의 일부분을 포함하는 제2 박스(예를 들어, 직사각형 박스)일 수 있다.

[0034] 일부 실시예들에서, 단계 508 및 단계 514의 머신 러닝은 신경망을 사용하여 구현된다. 예를 들어, 콘볼루션 신경망(CNN)(예를 들어, Mask R-CNN)이 사용된다. 다른 실시예들에서, 단계 508 및 단계 514의 머신 러닝을 구현하는 데 상이한 유형의 머신 러닝 분류기가 사용된다.

[0035] 제1 영역 및 제2 영역을 사용하여, 제1 공정층 내의 하나 이상의 구조물과 제2 공정층 내의 하나 이상의 구조물 사이의 오버레이 오프셋이 계산된다(520).

[0036] 일부 실시예들에서, 오버레이 오프셋을 계산하기 위해, (예를 들어, 도 1b, 도 2b, 및 도 4b에 대해 설명된 바와 같은) 제1 영역과 제2 영역 사이의 간격이 계산된다(522). 예를 들어, 제1 영역의 중심과 제2 영역의 중심 사이의 거리가 계산된다(524). 거리는 특정 방향일 수 있다(예를 들어, 벡터 거리일 수 있다). 거리는 이미지의 평면 내의 두 개의 치수들일 수 있거나, 이미지의 평면 내의 수직 또는 수평 치수 중 어느 하나일 수 있다.

[0037] 일부 실시예들에서, 오버레이 오프셋을 계산하기 위해, 제1 영역 내의 제1 구조물의 에지의 일부분과 제2 영역 내의 제2 구조물의 에지의 일부분이 검출된다(526). 제1 구조물은 제1 공정층 내의 하나 이상의 구조물 중 하나이고, 제2 구조물은 제2 공정층 내의 하나 이상의 구조물 중 하나이다. 이들 에지 부분들은 제1 영역 및 제2 영역에 에지 검출 알고리즘을 적용함으로써 검출된다. 이에 따라, 제1 영역 및 제2 영역은 에지 검출을 수행할(즉, 에지들을 탐색할) 각 탐색 영역들로서의 역할을 할 수 있다. 제1 영역 내의 제1 구조물의 에지의 일부분과 제2 영역 내의 제2 구조물의 에지의 일부분 사이의 거리가 (예를 들어, 도 3b의 310)가 (예를 들어, 도 3b 및 도 4c에 대해 설명된 바와 같이) 계산된다(528).

[0038] 영역들을 규정하는 데 머신 러닝을 사용하는 본 방법(500)은 전통적인 객체 인식 알고리즘들을 사용하는 기술들보다 오버레이 계측에 더 강력한 접근법을 제공한다. 이에 따라, 방법(500)은 공정 변동으로 인해 기존의 객체 인식 알고리즘들을 사용하는 기술들이 실패하는 상황들에서 오버레이 계측이 성공적이고 정확하게 수행될 수 있게 한다.

[0039] 오버레이 오프셋은 공정 제어를 확립하거나 개선하기 위한 공정 변화를 식별하는 데 사용될 수 있다. 오버레이 오프셋은 또한, 또는 대안적으로, 웨이퍼를 배치시키는 데 사용될 수 있다. 예를 들어, 웨이퍼를 계속해서 처리할지, 재작업할지, 또는 폐기할지 여부의 결정이 웨이퍼 상의 반도체 다이에 대한 오버레이 오프셋들에 전체적으로 또는 부분적으로 기초할 수 있다.

[0040] 도 6은 일부 실시예들에 따른 반도체 검사 시스템(600)의 블록도이다. 반도체 검사 시스템(600)은 오버레이 계측에(예를 들어, 도 5의 오버레이 계측 방법(500)을 수행하는 데) 사용될 수 있다. 반도체 검사 시스템(600)은 SEM(632)(또는 다른 이미징 툴), 및 하나 이상의 프로세서(602)(예를 들어, CPU 및/또는 GPU), 사용자 인터페이스(606), 메모리(610), 및 이들 구성요소들을 상호연결하는 통신 버스(들)(604)를 갖는 컴퓨터 시스템을 포함한다. 일부 실시예들에서, SEM(632)은 하나 이상의 유선 및/또는 무선 네트워크(630)를 통해 컴퓨터 시스템에 통신가능하게 결합된다. 일부 실시예들에서, 반도체 검사 시스템(600)은 (예를 들어, 하나 이상의 유선 및/또는 무선 네트워크(630)를 통해) 컴퓨터 시스템과 통신가능하게 결합된 다수의 SEM들(632)(또는 다른 이미징 툴들)을 포함한다.

[0041] 사용자 인터페이스들(606)은 디스플레이(607) 및 하나 이상의 입력 디바이스(608)(예를 들어, 키보드, 마우스, 디스플레이(607)의 터치 감응면 등)을 포함할 수 있다. 디스플레이(607)는 머신 러닝을 사용하여 규정된 오버레이 오프셋들 및/또는 영역들(예를 들어, 도 5의 방법(500)에서 규정된 제1 및 제2 영역들)을 포함하는 결과들을

디스플레이할 수 있다.

[0042] 메모리(610)는 휘발성 및/또는 비휘발성 메모리를 포함한다. 메모리(610)(예를 들어, 메모리(610) 내의 비휘발성 메모리)는 비일시적인 컴퓨터 판독가능 저장 매체를 포함한다. 메모리(610)는 선택사항으로서, 프로세서(602)로부터 원격에 위치된 하나 이상의 저장 디바이스, 및/또는 반도체 검사 시스템(600)의 컴퓨터 시스템 내로 탈착가능하게 삽입되는 비일시적인 컴퓨터 판독가능 저장 매체를 포함한다.

[0043] 일부 실시예들에서, 메모리(610)(예를 들어, 메모리(610)의 비일시적인 컴퓨터 판독가능 저장 매체)는 다음의 모듈들 및 데이터, 또는 이들의 부분집합 또는 확대집합을 저장한다: 다양한 기본 시스템 서비스들을 핸들링하고 하드웨어 종속 작업들을 수행하기 위한 절차들을 포함하는 운영 체제(612), 오버레이 오프셋들이 계산될 이미지들(614)(예를 들어, SEM 이미지들), (예를 들어, 도 5의 방법(500)의 단계 502에 따라) 머신 러닝 분류기를 트레이닝하기 위한 트레이닝 모듈(616), (예를 들어, 트레이닝 모듈(616)에 의해 트레이닝된 머신 러닝 분류기를 사용하여) (예를 들어, 도 5의 방법(500)의 단계 508 및 단계 514에 따라) 이미지들(614) 상의 영역들을 규정하기 위한 머신 러닝 모듈(620), (예를 들어, 도 5의 방법(500)의 단계 520에 따라) 오버레이 오프셋들을 계산하기 위한 오버레이 계산 모듈(622), 및 결과들을 보고하기 위한(예를 들어, 디스플레이(607) 상에 결과들을 디스플레이하기 위한) 보고 모듈(628). 일부 실시예들에서, 트레이닝 모듈(616)은 머신 러닝 분류기를 트레이닝하는 데 사용되는 어노테이션된 이미지들(618)(예를 들어, 어노테이션된 SEM 이미지들)을 포함한다. 일부 실시예들에서, 트레이닝 모듈(616)은 부재하고, 머신 러닝 모듈(620)은 상이한 컴퓨터 시스템 상에서 트레이닝된 머신 러닝 분류기를 사용한다. 일부 실시예들에서, 오버레이 계산 모듈(622)은 (예를 들어, 도 5의 방법(500)의 단계 526에 따라) 규정된 영역들 내에서 에지들을 검출하기 위한 에지 검출 모듈(624), 및/또는 (예를 들어, 도 5의 방법(500)의 단계 522에 따라) 규정된 영역들 사이의 간격들 및/또는 (예를 들어, 도 5의 방법(500)의 단계 528에 따라) 검출된 에지들 사이의 간격들을 계산하기 위한 간격 계산 모듈(626)을 포함한다. 메모리(610)(예를 들어, 메모리(610)의 비일시적인 컴퓨터 판독가능 저장 매체)는 방법(500)(도 5)의 전부 또는 일부를 수행하기 위한 명령어들을 포함할 수 있다.

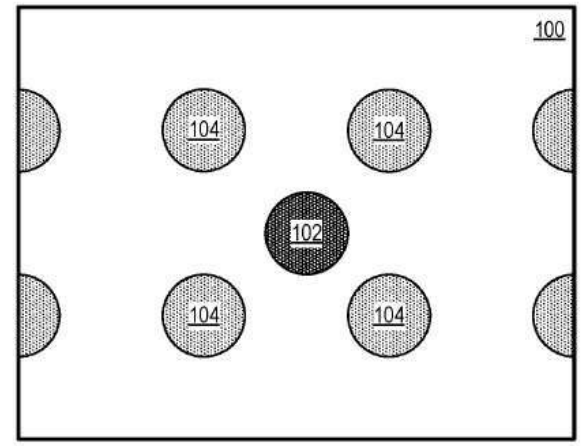
[0044] 메모리(610)에 저장된 모듈들 각각은 본 명세서에서 설명된 하나 이상의 기능을 수행하기 위한 명령어들의 세트에 대응한다. 별개의 모듈들이 별개의 소프트웨어 프로그램들로서 구현될 필요는 없다. 모듈들 및 모듈들의 다양한 서브세트들은 조합되거나 그 외 재배열될 수 있다. 일부 실시예들에서, 메모리(610)는 위에서 식별된 모듈들 및/또는 데이터 구조체들의 서브세트 또는 수퍼세트를 저장한다.

[0045] 도 6은 구조적 개략도로서보다 반도체 검사 시스템에 존재할 수 있는 다양한 특징부들에 대한 기능적 설명으로서 더 의도된다. 예를 들어, 반도체 검사 시스템(600)에서의 컴퓨터 시스템의 기능은 다수의 디바이스들 사이에서 나뉠 수 있다. 메모리(610)에 저장된 모듈들의 일부는 대안적으로 하나 이상의 네트워크를 통해 반도체 검사 시스템(600)의 컴퓨터 시스템과 통신 가능하게 결합된 하나 이상의 다른 컴퓨터 시스템에 저장될 수 있다.

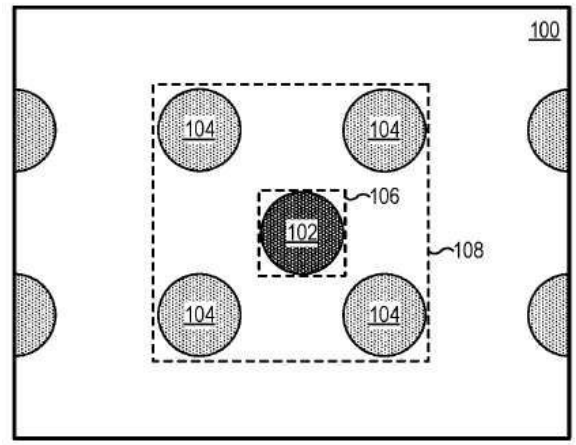
[0046] 전술한 설명은 설명을 위해, 특정 실시예들을 참조하여 설명되었다. 그러나, 상기한 예시적인 논의들은 완전한 것으로, 또는 청구항들의 범위를 개시된 정확한 형태들로 제한하는 것으로 의도되지 않는다. 상기한 교시 내용을 고려하여 많은 수정 및 변형이 가능하다. 실시예들은 청구항들 및 이들의 실제 적용예들의 기초를 이루는 원리를 가장 잘 설명하기 위해 선택되었고, 이에 의해 당업자들이 실시예들을 고려된 특정 용도들에 적합한 다양하게 변형하여 가장 잘 사용할 수 있게 한다.

도면

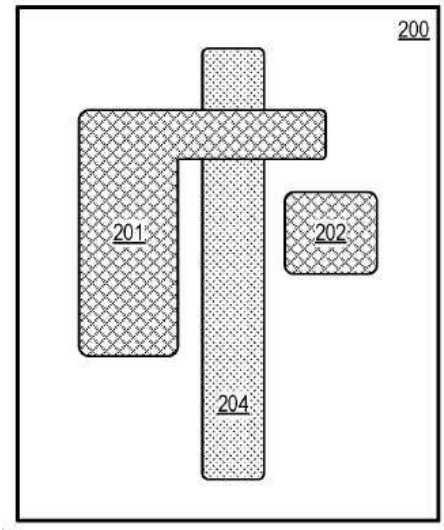
도면1a



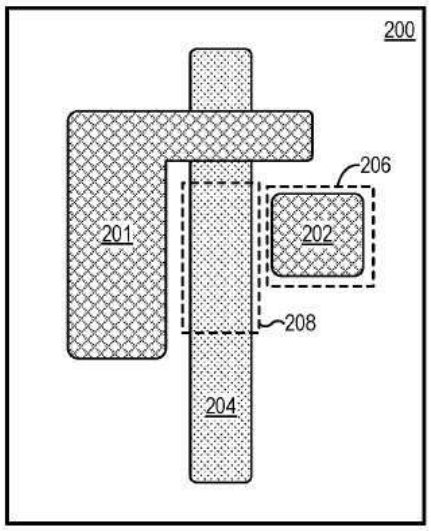
도면1b



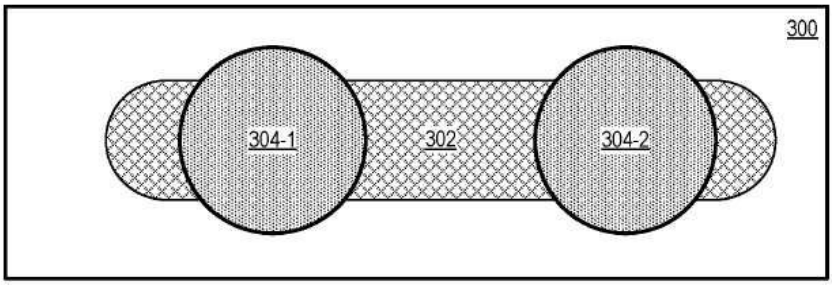
도면2a



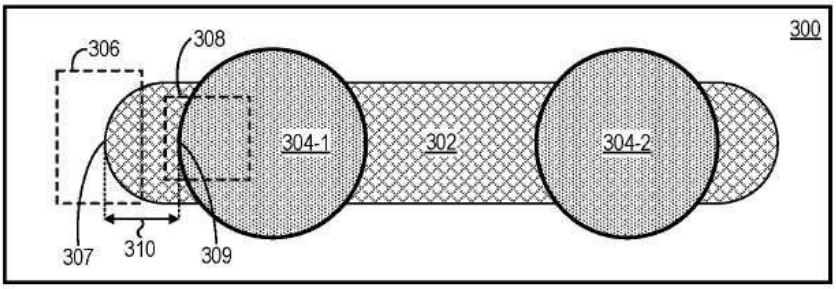
도면2b



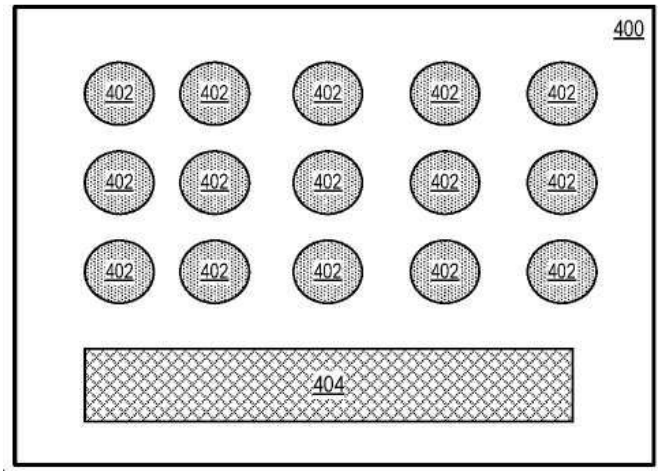
도면3a



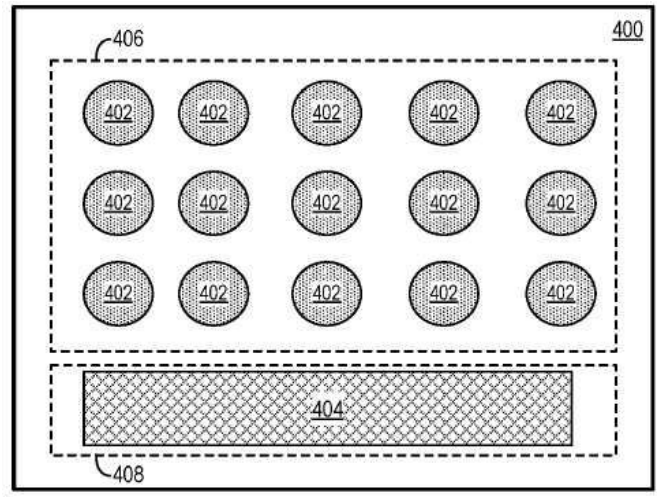
도면3b



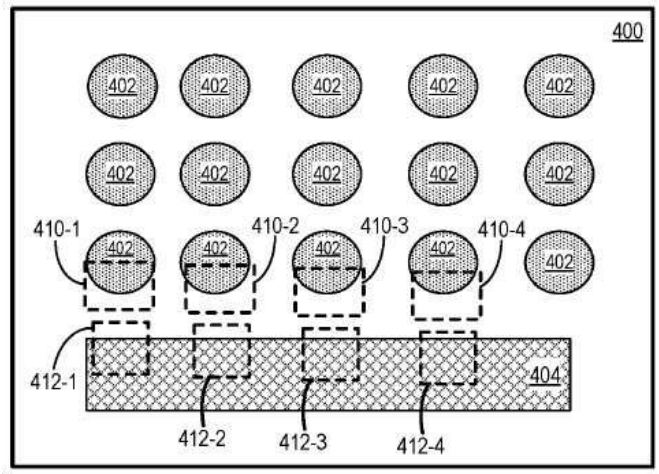
도면4a



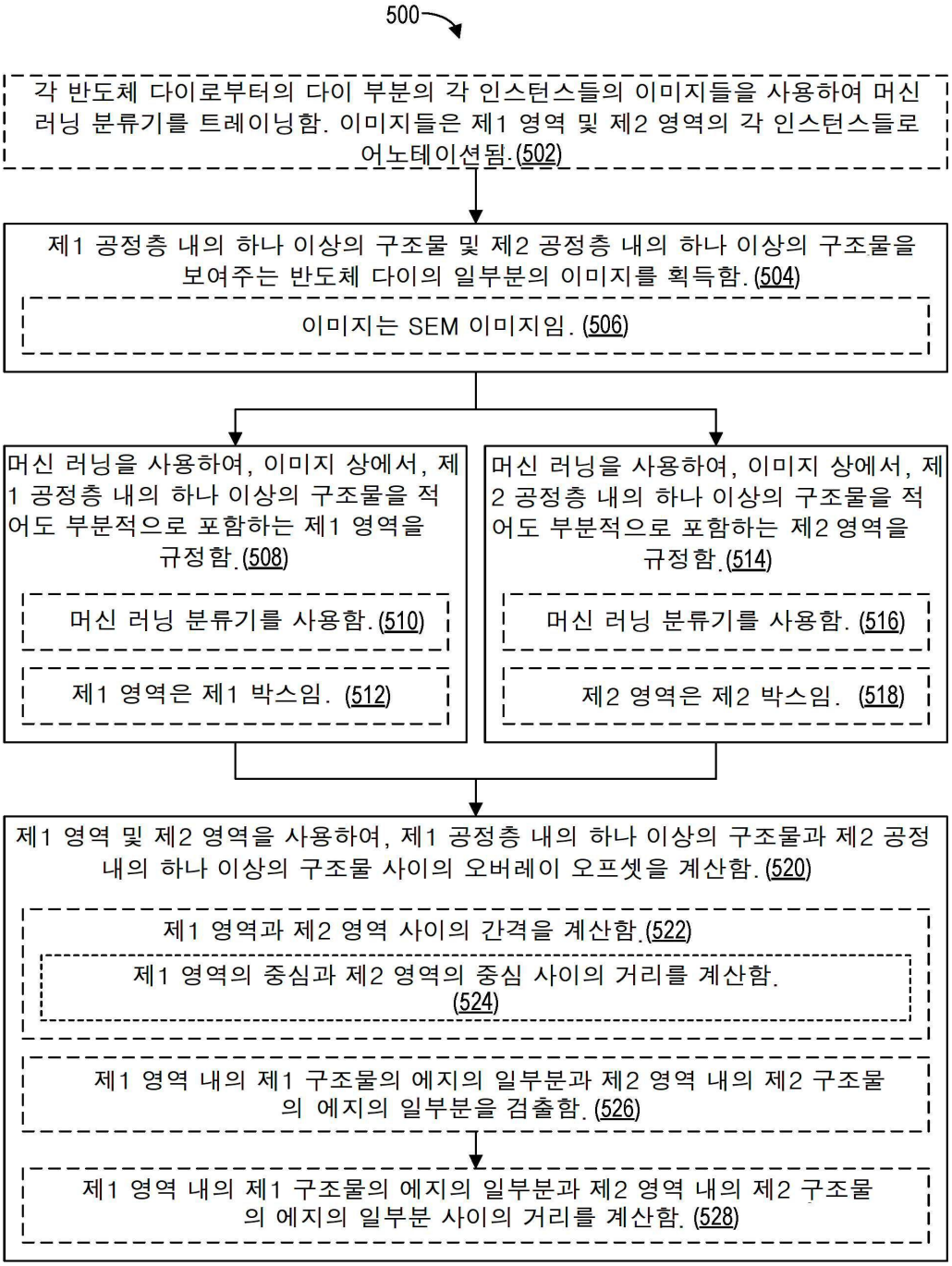
도면4b



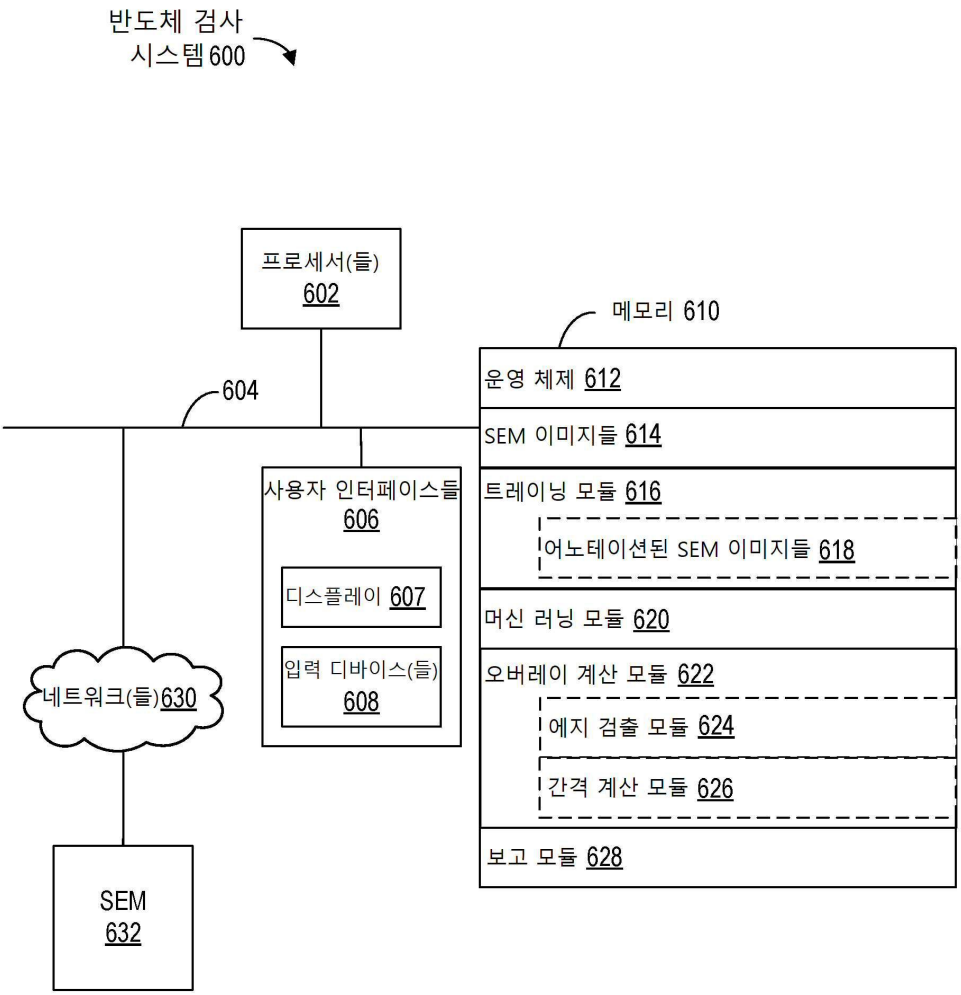
도면4c



도면5


500
각 반도체 다이로부터의 다이 부분의 각 인스턴스들의 이미지들을 사용하여 머신 러닝 분류기를 트레이닝함. 이미지들은 제1 영역 및 제2 영역의 각 인스턴스들로 어노테이션됨.(502)
제1 공정층 내의 하나 이상의 구조물 및 제2 공정층 내의 하나 이상의 구조물을 보여주는 반도체 다이의 일부분의 이미지를 획득함.(504)
이미지는 SEM 이미지임.(506)
머신 러닝을 사용하여, 이미지 상에서, 제1 공정층 내의 하나 이상의 구조물을 적어도 부분적으로 포함하는 제1 영역을 규정함.(508)
머신 러닝 분류기를 사용함.(510)
제1 영역은 제1 박스임.(512)
머신 러닝을 사용하여, 이미지 상에서, 제2 공정층 내의 하나 이상의 구조물을 적어도 부분적으로 포함하는 제2 영역을 규정함.(514)
머신 러닝 분류기를 사용함.(516)
제2 영역은 제2 박스임.(518)
제1 영역 및 제2 영역을 사용하여, 제1 공정층 내의 하나 이상의 구조물과 제2 공정층 내의 하나 이상의 구조물 사이의 오버레이 오프셋을 계산함.(520)
제1 영역과 제2 영역 사이의 간격을 계산함.(522)
제1 영역의 중심과 제2 영역의 중심 사이의 거리를 계산함.(524)
제1 영역 내의 제1 구조물의 에지의 일부분과 제2 영역 내의 제2 구조물의 에지의 일부분을 검출함.(526)
제1 영역 내의 제1 구조물의 에지의 일부분과 제2 영역 내의 제2 구조물의 에지의 일부분 사이의 거리를 계산함.(528)

도면6


반도체 검사 시스템 600
프로세서(들) 602
메모리 610
604
운영 체제 612
SEM 이미지들 614
트레이닝 모듈 616
어노테이션된 SEM 이미지들 618
사용자 인터페이스들 606
디스플레이 607
입력 디바이스(들) 608
머신 러닝 모듈 620
오버레이 계산 모듈 622
에지 검출 모듈 624
간격 계산 모듈 626
보고 모듈 628
네트워크(들) 630
SEM 632