



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0077467
(43) 공개일자 2024년05월31일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G03F 7/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G03F 7/70633 (2023.05)
G03F 7/70683 (2023.05)
(21) 출원번호 10-2023-7044172
(22) 출원일자(국제) 2021년10월21일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2023년12월20일
(86) 국제출원번호 PCT/US2021/055930
(87) 국제공개번호 WO 2023/069095
국제공개일자 2023년04월27일

(71) 출원인
케이엘에이 코퍼레이션
미합중국, 캘리포니아 95035, 밀피타스, 윈 테크
놀로지 드라이브
(72) 발명자
기노브커 마크
이스라엘 요크넴 일리트 20692 아파트먼트 2 하트
사얌림 스트리트 69
펠러 요엘
이스라엘 하이파 3254107 하비바 레이치 39/12
(74) 대리인
김태홍, 김진희

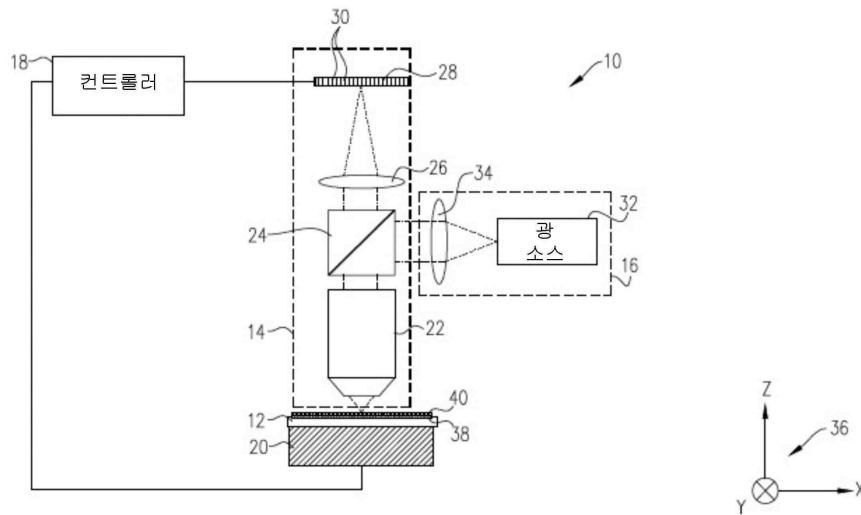
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 개선된 오버레이 오차 계측을 위한 유도 변위

(57) 요약

반도체 계측을 위한 방법은 반도체 기관 상에 제1 막층을 퇴적하고 상기 제1 막층 위에 놓이는 제2 막층을 퇴적하는 단계를 포함한다. 제1 막층 및 제2 막층은 복수의 오버레이 타겟(overlay target)들을 정의하기 위해 패터닝되고, 오버레이 타겟들은, 제1 공칭 거리들만큼 이격된, 개개의 제1 위치들을 갖는 제1 막층에 형성된 제1 타겟 피쳐들 및 제1 공칭 거리들과는 상이한 제2 공칭 거리들만큼 이격된, 개개의 제2 위치들을 갖는 제2 막층에 형성된 제2 타겟 피쳐들을 포함한다. 반도체 기관의 이미지가 오버레이 타겟들 각각에서 제1 타겟 위치와 제2 타겟 위치 사이의 개개의 변위들을 측정하고, 제1 막층과 제2 막층의 패터닝 사이의 실제 오버레이 오차와 이미징 어셈블리의 측정 오차 모두를 추정하기 위해 프로세싱된다.

대표도



(52) CPC특허분류

G03F 7/706837 (2023.05)

G03F 7/706839 (2023.05)

명세서

청구범위

청구항 1

반도체 계측을 위한 방법에 있어서,

반도체 기판 상에 제1 막층(film layer)을 퇴적하고, 상기 제1 막층 위에 놓이는 제2 막층을 퇴적하는 단계;

복수의 오버레이 타겟(overlay target)들을 정의하기 위해 상기 제1 막층 및 제2 막층을 패터닝하는 단계로서, 상기 복수의 오버레이 타겟들은,

제1 공칭 거리(nominal distance)들만큼 이격된, 개개의 제1 위치들을 갖는 상기 제1 막층에 형성된 제1 타겟 피쳐들; 및

상기 제1 공칭 거리들과는 상이한 제2 공칭 거리들만큼 이격된, 개개의 제2 위치들을 갖는 상기 제2 막층에 형성된 제2 타겟 피쳐들 - 상기 오버레이 타겟들 중의 개개의 오버레이 타겟을 정의하기 위해 각각의 제2 타겟 피쳐는 개개의 제1 타겟 피쳐 위에 놓임 - 을 포함하는 것인, 상기 제1 막층 및 제2 막층을 패터닝하는 단계;

이미징 어셈블리(imaging assembly)를 사용하여 상기 오버레이 타겟들이 형성된 상기 반도체 기판의 적어도 하나의 이미지를 캡처하는 단계;

상기 오버레이 타겟들 각각에서 상기 개개의 제1 위치와 제2 위치 사이의 변위들을 측정하기 위해 상기 적어도 하나의 이미지를 프로세싱하는 단계; 및

상기 측정된 변위들과 상기 제1 공칭 거리들 및 제2 공칭 거리들에 기초하여, 상기 제1 막층 및 제2 막층의 상기 패터닝 간의 실제 오버레이 오차와 상기 이미징 어셈블리의 측정 오차 둘 다를 추정하는 단계

를 포함하는, 반도체 계측을 위한 방법.

청구항 2

제1 항에 있어서,

상기 제1 막층 및 제2 막층을 패터닝하는 단계는 필드(field)들의 매트릭스(matrix)를 패터닝하고 상기 필드들 각각에서 다수의 상기 오버레이 타겟들을 정의하는 단계를 포함하고, 상기 이미지를 캡처하는 단계는 상기 필드들 중 적어도 하나에서 상기 다수의 오버레이 타겟들의 상기 적어도 하나의 이미지를 캡처하는 단계를 포함하는 것인, 반도체 계측을 위한 방법.

청구항 3

제1 항에 있어서,

상기 제1 공칭 거리들 및 제2 공칭 거리들은, 상기 오버레이 타겟들 각각에 대해 상기 제1 위치와 제2 위치 사이의 상기 개개의 변위가 개개의 공칭 변위에 대응하도록 선택되는 것인, 반도체 계측을 위한 방법.

청구항 4

제3 항에 있어서,

상기 실제 오버레이 오차와 상기 측정 오차 둘 다를 추정하는 단계는, 상기 측정된 변위들을 상기 오버레이 타겟들의 세트에 대한 개개의 모델링된 변위들과 비교하는 단계를 포함하고, 상기 모델링된 변위들 각각은 스캐너 모델(scanner model)로부터 계산된 변위와 주어진 오버레이 타겟에 대한 상기 개개의 공칭 변위의 합을 포함하는 것인, 반도체 계측을 위한 방법.

청구항 5

제4 항에 있어서,

상기 스캐너 모델은 포토리소그래피 프로세스에 의해 상기 제1 막층과 상기 제2 막층에 형성된 패턴들 사이의

변위들을 정의하는 계수들을 포함하는 것인, 반도체 계측을 위한 방법.

청구항 6

제5 항에 있어서,

상기 측정 오차를 추정하는 단계는, 상기 개개의 공칭 변위들과 상기 오버레이 타겟들의 세트에 대해 상기 측정된 변위들 사이의 선형성(linearity)의 계수를 구하는 단계를 포함하는 것인, 반도체 계측을 위한 방법.

청구항 7

제6 항에 있어서,

상기 선형성의 계수를 구하는 단계는, 상기 스캐너 모델의 계수들과 상기 선형성의 계수를 추정하기 위해 상기 개개의 측정된 변위들과 모델링된 변위들 사이에 회귀(regression) 방법을 적용하는 단계를 포함하는 것인, 반도체 계측을 위한 방법.

청구항 8

제6 항에 있어서,

상기 실제 오버레이 오차를 추정하는 단계는, 상기 측정된 변위들에 상기 선형성의 계수를 적용하는 단계를 포함하는 것인, 반도체 계측을 위한 방법.

청구항 9

제3 항에 있어서,

상기 실제 오버레이 오차와 상기 측정 오차를 추정하는 단계는 스캐너 모델의 계수들을 구하는 단계를 포함하고, 상기 제1 막층 및 제2 막층을 패터닝하는 단계는 상기 스캐너 모델에 적어도 부분적으로 직교하는 (partially orthogonal) 상기 오버레이 타겟들의 개개의 공칭 변위들을 선택하는 단계를 포함하는 것인, 반도체 계측을 위한 방법.

청구항 10

제9 항에 있어서,

상기 개개의 공칭 변위들을 선택하는 단계는 상기 스캐너 모델로의 상기 공칭 변위들의 투영(projection)을 계산하는 단계, 및 상기 투영이 미리 정의된 한계를 초과하지 않도록 상기 개개의 공칭 변위들을 선택하는 단계를 포함하는 것인, 반도체 계측을 위한 방법.

청구항 11

제9 항에 있어서,

상기 개개의 공칭 변위들을 선택하는 단계는, 상기 오버레이 타겟들 각각의 위치에서 상기 오버레이 타겟들의 상기 개개의 공칭 변위들을 선택하는 데 사용하기 위한 직교 공칭 변위(orthogonal nominal displacement)를 계산하는 단계를 포함하는 것인, 반도체 계측을 위한 방법.

청구항 12

광학 계측 장치에 있어서,

제1 막층 및 상기 제1 막층 위에 놓이는 제2 막층이 위에 퇴적된 반도체 기판으로서, 상기 제1 막층 및 제2 막층은,

제1 공칭 거리들만큼 이격된, 개개의 제1 위치들을 갖는 상기 제1 막층에 형성된 제1 타겟 피처들; 및

상기 제1 공칭 거리들과는 상이한 제2 공칭 거리들만큼 이격된, 개개의 제2 위치들을 갖는 상기 제2 막층에 형성된 제2 타겟 피처들 - 상기 오버레이 타겟들 중의 개개의 오버레이 타겟을 정의하기 위해 각각의 제2 타겟 피처는 개개의 제1 타겟 피처 위에 놓임 - 을 포함하는 복수의 오버레이 타겟들을 정의하기 위해 패터닝되는 것인, 상기 반도체 기판;

상기 오버레이 타겟들이 형성된 상기 반도체 기관의 적어도 하나의 이미지를 캡처하도록 구성된 이미징 어셈블리; 및

상기 오버레이 타겟들 각각에서 상기 개개의 제1 위치와 제2 위치 사이의 변위들을 측정하고, 상기 측정된 변위들과 상기 제1 공칭 거리들 및 제2 공칭 거리들에 기초하여, 상기 제1 막층 및 제2 막층의 상기 패터닝 간의 실제 오버레이 오차와 상기 이미징 어셈블리의 측정 오차 모두를 추정하기 위해, 상기 적어도 하나의 이미지를 프로세싱하도록 구성된 컨트롤러

를 포함하는, 광학 계측 장치.

청구항 13

제12 항에 있어서,

상기 제1 막층과 제2 막층은 필드들의 매트릭스를 형성하고 상기 필드들 각각에서 다수의 상기 오버레이 타겟들을 정의하도록 패터닝되고, 상기 이미징 어셈블리는 상기 필드들 중 적어도 하나에서 상기 다수의 오버레이 타겟들의 적어도 하나의 이미지를 캡처하도록 구성되는 것인, 광학 계측 장치.

청구항 14

제12 항에 있어서,

상기 제1 공칭 거리들 및 제2 공칭 거리들은, 상기 오버레이 타겟들 각각에 대해 상기 제1 위치와 제2 위치 사이의 상기 개개의 변위가 개개의 공칭 변위에 대응하도록 선택되는 것인, 광학 계측 장치.

청구항 15

제14 항에 있어서,

상기 컨트롤러는 상기 측정된 변위들을 상기 오버레이 타겟들의 세트에 대한 개개의 모델링된 변위들과 비교하도록 구성되고, 상기 모델링된 변위들 각각은 스캐너 모델로부터 계산된 변위와 주어진 오버레이 타겟에 대한 상기 개개의 공칭 변위의 합을 포함하는 것인, 광학 계측 장치.

청구항 16

제15 항에 있어서,

상기 스캐너 모델은 포토리소그래피 프로세스에 의해 상기 제1 막층과 상기 제2 막층에 형성된 패턴들 사이의 변위들을 정의하는 계수들을 포함하는 것인, 광학 계측 장치.

청구항 17

제16 항에 있어서,

상기 측정 오차를 추정하는 것은, 상기 개개의 공칭 변위들과 상기 오버레이 타겟들의 세트에 대해 상기 측정된 변위들 사이의 선형성의 계수를 구하는 것을 포함하는 것인, 광학 계측 장치.

청구항 18

제17 항에 있어서,

상기 선형성의 계수를 구하는 것은, 상기 스캐너 모델의 계수들과 상기 선형성의 계수를 추정하기 위해 상기 개개의 측정된 변위들과 모델링된 변위들 사이에 회귀 방법을 적용하는 것을 포함하는, 광학 계측 장치.

청구항 19

제17 항에 있어서,

상기 실제 오버레이 오차를 추정하는 것은, 상기 측정된 변위들에 상기 선형성의 계수를 적용하는 것을 포함하는 것인, 광학 계측 장치.

청구항 20

제14 항에 있어서,

상기 실제 오버레이 오차와 상기 측정 오차를 추정하는 것은 스캐너 모델의 계수들을 구하는 것을 포함하고, 상기 오버레이 타겟들의 개개의 공칭 변위들은 상기 스캐너 모델에 적어도 부분적으로 직교하는 것인, 광학 계측 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 대체로 반도체 디바이스의 제조에 관한 것이며, 특히 반도체 회로 계측을 위한 방법 및 타겟 피쳐(target feature)에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 반도체 회로는 보통 포토리소그래피 방법을 사용하여 제조된다. 포토리소그래피(photolithography)에서는 감광성 폴리머(photosensitive polymer)(포토레지스트(photoresist))의 얇은 층이 반도체 기판 위에 퇴적되고 광학 또는 기타 방사선을 사용하여 패터닝되어(patterned) 기판의 부분들을 포토레지스트로 덮인 채로 남긴다. 포토레지스트는 일반적으로 자외선을 사용하여 포토레지스트 상으로 레티클(reticle)의 이미지를 투영하는 스캐너에 의해 패터닝된다. 패터닝 후에 기판의 재료 특성 및/또는 토포그래피(topography)를 변경하기 위해 기판은 에칭(etching) 및 이온 충격(ion bombardment)과 같은 방법으로 수정되지만, 포토레지스트로 덮인 기판의 부분들은 영향을 받지 않는다.

[0003] 반도체 회로 계측은 패터닝된 피쳐들의 토포그래피 및 위치와 같은 패터닝된 포토레지스트의 특성을 측정하기 위해 사용된다. 이전 프로세스층들에 대한 포토레지스트의 패터닝된 피쳐들의 정확한 위치는 포토리소그래피 프로세스의 높은 수율을 달성하는 데 결정적이다. 아래에 놓인 프로세스층에 대한 패터닝된 포토레지스트의 레지스트레이션 오차(미스레지스트레이션(misregistration))를 "오버레이 오차(overlay error)"라고 한다. 예로서, 최소 선폭(line-width)이 10 내지 14 nm(소위 10-nm 설계 규칙)인 일반적인 반도체 회로에서 최대 허용가능 오버레이 오차는 2 내지 3 nm이다. 첨단 반도체 회로에서는, 선폭이 5 nm로 축소되고 있으며, 최대 허용가능 오버레이 오차도 감소하고 있다.

[0004] 오버레이 오차는 보통 광학 오버레이 계측 장치(보통 광학 오버레이 계측 도구라고 함)를 사용하여 측정된다. 가시광선 및 적외선 파장의 광학 방사선은 포토레지스트층 뿐만 아니라 포토레지스트 아래의 유전체층도 관통할 수 있기 때문이다. 더욱이, 적외선 파장은 실리콘과 같은 반도체 기판을 관통할 수 있어 기판을 통한 계측이 가능하다.

[0005] KLA 코퍼레이션(미국 캘리포니아주 밀피타스)의 Archer™-시리즈 도구와 같은 광학 오버레이 계측 도구는 반도체 기판의 스크라이브 라인(scribe line)(인접한 다이들을 분리하는 라인)에 및/또는 다이(die) 내에 위치한 오버레이 타겟(예컨대 KLA의 AIM™ 오버레이 타겟)을 이미징한다. 프로세스층에서의 타겟 피쳐들의 대칭 중심과 패터닝된 포토레지스트층에서의 타겟 피쳐들의 대칭 중심의 위치를 찾아내기 위해(locate) 획득된 이미지들에 이미지 분석 알고리즘이 적용된다. 두 층에서의 타겟 피쳐들의 대칭 중심들 간의 변위(displacement)에 기초하여 오버레이 오차가 계산된다.

[0006] 대안적으로, 오버레이 오차는 산란계측 모드(scatterometry mode)로 측정될 수 있다. 이 측정 모드에서는, 오버레이 타겟의 주기적 타겟 피쳐들에 대한 산란계측 이미지가 계측 도구의 대물 렌즈의 출사 동공(exit pupil)으로부터 캡처된다. 오버레이 오차를 측정하기 위해, 타겟 피쳐들로부터 산란되는 광학 방사선의 각 분포(angular distribution)를 나타내는 산란계측 이미지가 프로세싱된다.

[0007] 본 명세서와 청구범위에 사용된 용어 "광학 광선(optical rays)", "광학 방사선(optical radiation)", "빛" 및 "방사선 빔(beams of radiation)"은 대체로 가시광선, 적외선 및 자외선 중 임의의 것 및 이들 모두를 지칭한다.

발명의 내용

[0008] 하기에 설명되는 본 발명의 실시예는 반도체 회로 계측을 위한 개선된 방법 및 타겟 피쳐를 제공한다.

[0009] 따라서, 본 발명의 실시예에 따라 반도체 계측을 위한 방법이 제공된다. 방법은 반도체 기판 상에 제1 막층

(film layer)을 퇴적하고, 상기 제1 막층 위에 놓이는 제2 막층을 퇴적하는 단계를 포함한다. 제1 막층 및 제2 막층은 복수의 오버레이 타겟들을 정의하기 위해 패터닝되고, 복수의 오버레이 타겟들은 제1 공칭 거리(nominal distance)들만큼 이격된, 개개의 제1 위치들을 갖는 제1 막층에 형성된 제1 타겟 피처들, 및 제1 공칭 거리들과는 상이한 제2 공칭 거리들만큼 이격된, 개개의 제2 위치들을 갖는 제2 막층에 형성된 제2 타겟 피처들을 포함한다. 오버레이 타겟들 중의 개개의 오버레이 타겟을 정의하기 위해 각각의 제2 타겟 피처는 개개의 제1 타겟 피처 위에 놓인다. 방법은 이미징 어셈블리를 사용하여 오버레이 타겟들이 형성된 반도체 기관의 적어도 하나의 이미지를 캡처하는 단계, 및 오버레이 타겟들 각각에서 개개의 제1 위치와 제2 위치 사이의 변위들을 측정하기 위해 상기 적어도 하나의 이미지를 프로세싱하는 단계를 더 포함한다. 상기 측정된 변위들과 제1 공칭 거리들 및 제2 공칭 거리들에 기초하여, 제1 막층 및 제2 막층의 패터닝 간의 실제 오버레이 오차와 이미징 어셈블리의 측정 오차 모두가 추정된다.

- [0010] 일부 실시예에서, 제1 막층 및 제2 막층을 패터닝하는 단계는 필드(field)들의 매트릭스(matrix)를 패터닝하고 필드들 각각에서 다수의 오버레이 타겟들을 정의하는 단계를 포함하고, 이미지를 캡처하는 단계는 필드들 중 적어도 하나에서 다수의 오버레이 타겟들의 적어도 하나의 이미지를 캡처하는 단계를 포함한다.
- [0011] 추가 실시예에서, 제1 공칭 거리들 및 제2 공칭 거리들은 각각의 오버레이 타겟에 대해 제1 위치와 제2 위치 사이의 개개의 변위가 개개의 공칭 변위에 대응하도록 선택된다. 추가적으로 또는 대안적으로, 실제 오버레이 오차와 측정 오차 모두를 추정하는 단계는 측정된 변위들을 오버레이 타겟들의 세트에 대한 개개의 모델링된 변위들과 비교하는 단계를 포함하고, 각각의 모델링된 변위는 스캐너 모델로부터 계산된 변위와 주어진 오버레이 타겟에 대한 개개의 공칭 변위의 합을 포함한다.
- [0012] 또 다른 실시예에서, 스캐너 모델은 포토리소그래피 프로세스에 의해 제1 막층과 제2 막층에 형성된 패턴들 사이의 변위들을 정의하는 계수들을 포함한다.
- [0013] 일부 실시예에서, 측정 오차를 추정하는 단계는 개개의 공칭 변위들과 오버레이 타겟들의 세트에 대해 측정된 변위들 사이의 선형성의 계수를 구하는 단계를 포함한다. 추가적으로 또는 대안적으로, 선형성의 계수를 구하는 단계는 스캐너 모델의 계수들과 선형성의 계수를 추정하기 위해 개개의 측정된 변위들과 모델링된 변위들 사이에 회귀 방법을 적용하는 단계를 포함한다.
- [0014] 추가 실시예에서, 실제 오버레이 오차를 추정하는 단계는 측정된 변위들에 선형성의 계수를 적용하는 단계를 포함한다.
- [0015] 또 다른 실시예에서, 실제 오버레이 오차와 측정 오차를 추정하는 단계는 스캐너 모델의 계수들을 구하는 단계를 포함하고, 제1 막층 및 제2 막층을 패터닝하는 단계는 스캐너 모델에 적어도 부분적으로 직교하는 오버레이 타겟들의 개개의 공칭 변위들을 선택하는 단계를 포함한다. 추가적으로 또는 대안적으로, 개개의 공칭 변위들을 선택하는 단계는 스캐너 모델의 공칭 변위들의 투영을 계산하는 단계, 및 상기 투영이 미리 정의된 한계를 초과하지 않도록 개개의 공칭 변위들을 선택하는 단계를 포함한다.
- [0016] 일부 실시예에서, 개개의 공칭 변위들을 선택하는 단계는 각각의 오버레이 타겟의 위치에서 오버레이 타겟들의 개개의 공칭 변위들을 선택하는 데 사용하기 위한 직교 공칭 변위를 계산하는 단계를 포함한다.
- [0017] 본 발명의 실시예에 따르면 광학 계측 장치가 또한 제공된다. 장치는 제1 막층 및 제1 막층 위에 놓이는 제2 막층이 위에 퇴적된 반도체 기관을 포함한다. 제1 막층 및 제2 막층은 제1 공칭 거리들만큼 이격된, 개개의 제1 위치들을 갖는 제1 막층에 형성된 제1 타겟 피처들, 및 제1 공칭 거리들과는 상이한 제2 공칭 거리들만큼 이격된, 개개의 제2 위치들을 갖는 제2 막층에 형성된 제2 타겟 피처들을 포함하는 복수의 오버레이 타겟들을 정의하기 위해 패터닝된다. 상기 오버레이 타겟들 중의 개개의 오버레이 타겟을 정의하기 위해 각각의 제2 타겟 피처는 개개의 제1 타겟 피처 위에 놓인다. 장치는 오버레이 타겟들이 형성된 반도체 기관의 적어도 하나의 이미지를 캡처하도록 구성된 이미징 어셈블리를 더 포함한다. 컨트롤러는 오버레이 타겟들 각각에서 개개의 제1 및 제2 타겟 위치들 사이의 변위들을 측정하고, 상기 측정된 변위들과 제1 및 제2 공칭 거리들에 기초하여, 제1 막층 및 제2 막층의 패터닝 간의 실제 오버레이 오차와 이미징 어셈블리의 측정 오차 모두를 추정하기 위해, 적어도 하나의 이미지를 프로세싱하도록 구성된다.
- [0018] 본 발명은 도면과 함께 실시예에 대한 다음의 상세한 설명으로부터 보다 완전하게 이해될 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0019] 도 1은 본 발명의 실시예에 따라, 반도체 기관 상의 오버레이 오차를 측정하기 위한 광학 계측 장치의 개략적인

측면도이다.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 기관 상의 오버레이 타겟을 보여주는, 도 1의 반도체 기관의 개략적인 평면도이다.

도 3a는 본 발명의 실시예에 따른 오버레이 타겟을 보여주는 도 1의 반도체 기관의 단일 필드의 개략적인 평면도이다.

도 3b는 본 발명의 실시예에 따른, 2 개의 오버레이 타겟의 개략적인 평면도이다.

도 4는 본 발명의 실시예에 따라, 스캐너 모델의 정정가능치들 및 오버레이 오차 측정의 선형성(linearity)의 계수를 추정하기 위한 방법을 개략적으로 예시하는 흐름도이다.

도 5 및 도 6은 본 발명의 실시예에 따라, 오버레이 타겟을 선택하기 위한 대안적인 방법을 개략적으로 예시하는 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0020]

개요

[0021]

오버레이 계측을 위한 오버레이 타겟은 보통 반도체 기관 상의 연속적인 패턴화된 층들 간의 오버레이 오차를 정밀하고 정확하게 측정하는 데 사용된다. 이들 층은, 예를 들어 프로세스층 및 레지스트층(포토리지스트)을 포함할 수 있거나, 에칭 후(after-etch) 애플리케이션에서는 2 개의 프로세스층들, 또는 일부 다중 패턴링(multiple patterning) 애플리케이션에서와 같이 하나의 프로세스층을 포함할 수 있다. 따라서, 일부 예시적인 실시예가 프로세스층 및 레지스트층과 관련하여 하기에 설명되지만, 이들 실시예의 원리는 필요한 부분만 약간 수정하여(*mutatis mutandis*) 제1 프로세스층 및 제2 프로세스층에 적용될 수 있다. 일부 다중 패턴링 애플리케이션에서, 상기 제1 및 제2 프로세스층들은 동일한 재료를 포함할 수 있다.

[0022]

반도체 회로의 제조 프로세스에서, 측정된 오버레이 오차는 보통 포토리소그래피 프로세스에서 회로의 피쳐들을 인쇄하는 데 사용되는 스캐너에 대한 피드백을 계산하고 제공하는 데 사용된다. 하기에 더 상세히 설명되는 바와 같이, 피드백은 주어진 스캐너 모델의 계수(coefficient)들("정정가능치(correctible)들"로 지칭됨)의 형태로 제공된다. 이 모델은 스캐너에서 반도체 기관의 포지셔닝(positioning) 및 배향(orientation)에서의 오차(웨이퍼 모델)뿐만 아니라, 스캐너의 레티클과 기관 사이의 광학 및 기계적 패턴 배치 오차(필드 모델)를 기술한다. 대안적으로 또는 추가적으로, 측정된 오버레이 오차는 반도체 기관을 "배치(dispositioning)"하는 데, 즉 기관에 대한 프로세싱이 다음 단계로 계속될 수 있도록, 이전의 프로세스층에 대해 반도체 기관에 걸친 포토리지스트 패턴의 변위가 미리 정의된 한계 내에 있는지 여부를 결정하거나, 또는 패턴화된 기관이 반복 프로세싱(repeat processing)을 위해 리턴되어야 하는지 여부를 결정하는 데 사용될 수 있다.

[0023]

그러나 정정가능치들의 정확도는 오버레이 오차를 측정하는 데 사용되는 계측 장치들의 부정확성, 예를 들어 계측 장치의 이미징 어셈블리(imaging assembly)의 측정 오차에 의해 영향을 받을 수 있다. 예를 들어, 계측 장치에 의해 측정되고 Meas_Displ로 표시되는, 프로세스층들에서의 타겟 피쳐들의 대칭 중심들 간에 측정된 변위들은, Actual_Displ로 표시되는 실제 변위들에 대해 선형 관계를 가질 수 있지만 이상적인 값인 1에서 벗어나는 선형성의 계수를 가질 수 있다. 선형 관계는 식 $Meas_Displ = \alpha * Actual_Displ + \beta$ 로 쓸 수 있다. 이 식에서, α 는 선형성의 계수이고 β 는 오프셋(offset)이며 이는 실제 애플리케이션에서는 대체로 무시할 수 있다. 1 과는 상이한 선형성의 계수 α 를 가지면 측정되는 오버레이 오차 값이 상당히 왜곡될 수 있다. 결과적으로 이러한 왜곡은 부정확한 정정가능치들의 형태로 스캐너에 잘못된 피드백을 보낼 수 있으며 심지어 패턴화된 반도체 기관의 배치에 대한 잘못된 결정으로 이어질 수도 있다. 하기에 설명된 실시예에서는 선형 오차 모델이 계측 장치에 의해 도입된 오차를 추정하는 데 사용되지만, 2 차(quadratic) 또는 다른 함수 모델(functional model)과 같은 더 높은 차수의 오차 모델이 대안적으로 사용될 수도 있다.

[0024]

본 명세서에 설명된 본 발명의 실시예는 제1 막층과 제2 막층의 패턴링(patterning) 간의 실제 오버레이 오차와, 이미징 어셈블리의 측정 오차 모두를 추정함으로써, 오버레이 오차 계측에 대한 위에 설명된 문제들을 다룬다. 이를 위해, 예를 들어 개시된 실시예는 측정된 오버레이 오차와 실제 오버레이 오차 사이의 선형성의 계수를 추출하기 위한 방법을 제공한다.

[0025]

하기의 설명에서, 반도체 기관 상의 한 쌍의 연속적인 막층들에서 각각의 오버레이 타겟은 제1 위치를 갖는 제1 막층에 형성된 하나 이상의 제1 타겟 피쳐 및 제2 위치를 갖는 제2 막층에 형성된 제2 타겟 피쳐로 구성된다.

(용어 "연속적인(successive)"은 기판 상의 제1 및 제2 막층의 퇴적(deposition) 순서를 지칭하지만 바로 옆에 있는(immediate) 연속을 의미하지는 않으며, 즉 여기서 언급된 제1 층과 제2 층 사이에 하나 이상의 추가적인 층이 있을 수 있다.) 이 분야에 알려진 계측 시스템에서, "오프셋"이라고도 지칭되는 제1 위치와 제2 위치 사이의 공칭 변위(nominal displacement)는 제로(zero)이다. 그러한 제로-변위 또는 제로-오프셋 타겟들의 경우, 이상적인 계측 시스템으로 측정된 오버레이 오차는 제로이다. 이러한 공칭 변위는 포토리소그래피 프로세스에서 사용되는 레티클 설계에서 구현된다. 그러나 실제로 위치들 간의 실제 변위는 오정렬(misalignment) 및 다른 제조 오차로 인해 제로가 아니다.

[0026] 그러나 본 발명의 실시예에서, 오버레이 타겟들 중 적어도 일부에 있는 타겟 피처들의 개개의 위치들 사이의 공칭 변위들은 알려진 제로가 아닌 값(non-zero value)들로 의도적으로 설정된다. 따라서 이상적인 측정 조건에서도, 실제 변위들은 타겟들마다 다를 것이며, 타겟 피처들의 제1 및 제2 세트 간의 실제 변위는 위치들 간의 의도적인 (공칭) 변위가 추가된, 프로세스로 인해 발생하는 오버레이 오차에 의해 제공된다. 따라서, 측정된 변위, 즉 계측 장치에 의해 측정된 오버레이 타겟의 타겟 피처들의 제1 세트와 제2 세트 간의 변위는, 이들 피처들 간의 실제 변위와 계측 장치에 의해 도입된 임의의 오차의 합과 동등하다. 본 실시예에서는 타겟 피처들의 위치들 간에 의도적이고 변화하는 변위를 사용하여 측정 오차를 추정하고 이에 따라 실제 오버레이 오차의 보다 정확한 측정값을 도출한다.

[0027] 이러한 방식으로 사용될 수 있는 오버레이 타겟들의 세트를 생성하기 위해, 제1 및 제2 막층들이 반도체 표면 상에 퇴적되고, 제2 막층은 제1 막층 위에 놓인다. "LFLE(litho-freeze litho-etch)"와 같은 일부 다중-패터닝 애플리케이션에서, 제1 및 제2 층은 동일한 막 재료를 포함한다. 제1 및 제2 막층은 개개의 제1 및 제2 위치에서, 제1 및 제2 막층들에 제1 및 제2 타겟 피처들을 각각 포함하는 복수의 오버레이 타겟들을 정의하도록 패터닝된다. 제1 타겟 피처들은 제1 공칭 거리들만큼 이격되어 있는 한편, 제2 타겟 피처들은 제1 공칭 거리들과는 상이한 제2 공칭 거리들만큼 이격되어 있다. 오버레이 타겟들 중 하나를 정의하기 위해 각각의 제2 타겟 피처는 개개의 제1 타겟 피처 위에 놓이지만, 위치들 간의 상이한 공칭 거리들 때문에 오버레이 타겟들은 상이한 공칭 변위들을 갖는다. (용어 "위에 놓이다(overlie)"는 본 설명의 맥락에서 그리고 청구범위에서 그 보통의 의미 - 타겟 피처들 중 하나가 다른 피처 위에 배치되지만 피처들의 정확한 정렬 또는 중첩에 대해서는 제한되지 않음 - 에 따라 사용된다.)

[0028] 계측 도구의 이미징 어셈블리는 오버레이 타겟들이 위에 형성된 반도체 기판의 하나 이상의 이미지를 캡처한다. 이미지 또는 이미지들은 오버레이 타겟들 각각에서 제1 타겟 위치와 제2 타겟 위치 간의 개개의 변위를 측정하기 위해 프로세싱된다. 앞에 언급된 바와 같이, 이러한 변위들은 프로세스 오차로 인한 막층들의 패턴들 간의 실제 변위와 이미징 어셈블리의 측정 오차를 모두 반영한다. 이러한 측정된 변위들과 (제1 및 제2 층들에서의 상이한 공칭 거리들의 결과로서의) 공칭 변위들의 알려진 변화에 기초하여, 이미징 어셈블리의 측정 오차와 제1 및 제2 막층들에서의 패터닝 간의 실제 오버레이 오차 모두가 추정될 수 있다. 예를 들어 선형성의 계수를 구하는 등 측정 오차를 모델링함으로써, 실제 오버레이 오차가 개선된 정확도로 도출될 수 있다.

[0029] 하기에 설명되는 실시예에서, 타겟 피처들의 위치는 이들 피처들의 미리 정의된 기하학적 특성, 예를 들어 그것들의 개개의 대칭 중심에 의해 결정된다. 대안적으로, 타겟 피처들의 다른 특성이 그 위치들을 결정하는 데 사용될 수 있다.

[0030] 설명된 실시예는 이미징 오버레이 오차 계측을 언급하지만, 본 발명의 원리는 추가적인 오버레이 오차 계측 방법들에도 유사하게 적용될 수 있다. 또한, 설명된 실시예는 스캐너에 의한 패터닝을 언급하지만, 본 발명의 원리는 대안적이거나 더 복잡한 패터닝 방법에 의해 생성된 패턴들에도 유사하게 적용될 수 있다.

[0031] 시스템 설명

[0032] 도 1은 본 발명의 실시예에 따라, 반도체 기판(12) 상의 두 패터닝된 막층들 사이의 변위를 측정하기 위한 광학 계측 장치(10)의 개략적인 측면도이다. 이 장치는 구체성과 명확성을 위해 예로서 도시되어 있는 것이고, 본 발명의 원리는 이 분야에 알려진, 다른 종류의 계측 도구를 사용하여 유사하게 적용될 수 있다.

[0033] 광학 계측 장치(10)는 이미징 어셈블리(14), 조명 어셈블리(16), 컨트롤러(18), 및 기판(12)이 장착되는 테이블(20)을 포함한다. 이미징 어셈블리(14)는 대물 렌즈(22), 큐브 빔 스플리터(cube beamsplitter)(24) 및 이미징 렌즈(26)를 포함한다. 이미징 어셈블리(14)는 센서(28)를 더 포함하며, 센서는 예를 들어 2 차원 픽셀 어레이(30)를 갖는 CMOS(Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) 이미지 센서를 포함한다.

[0034] 조명 어셈블리(16)는 광학 방사선을 방출하는 광 소스(32)와 렌즈(34)를 포함한다. 테이블(20)은 대물 렌즈(2

2)에 근접하게 위치하고, x-, y- 및 z-방향(직교 좌표(36) 참조)으로 선형적으로 테이블을 이동할 수 있을 뿐만 아니라 z-축을 중심으로 테이블을 회전시킬 수 있는 컨트롤러(18)에 의해 제어되는 액추에이터들을 포함한다. 장치(10)에 대한 이들 도면의 배향을 명확하게 하기 위해 직교 좌표(36)가 이 도면 및 후속 도면들에 도시되어 있다.

[0035] 도시된 실시예에서, 제1 및 제2 막층들(38, 40)은 다음 도면에 도시된 바와 같이 반도체 기관(12) 상에 퇴적되고 리소그래피 프로세스에서 패터닝되었다. 본 예에서, 제1 층(38)은 프로세스층이고, 제2 층(40)은 프로세스층 위에 퇴적되는 레지스트층이다. 대안적으로, 층들(38, 40) 모두는 동일한 재료를 포함하는 층들을 포함하는 프로세스층들일 수 있다.

[0036] 기관(12) 상의 층(40)에서의 패턴과 아래에 놓인 층(38)에서의 패턴 간의 변위를 측정하기 위해, 하기의 도 2 및 도 3a 내지 도 3b에 도시된 바와 같은 타겟 피쳐들을 포함하는 오버레이 타겟들이 포토리소그래피 프로세스에 의해 층들(38, 40)에 형성되었다. 기관(12)은 렌즈(22)와 렌즈(26)의 결합된 광학 장치가 기관을 센서(28) 상으로 이미징하도록 테이블(20) 상에 포지셔닝되며, 즉 기관과 센서는 광학 공액 평면(optical conjugate plane)들에 위치된다.

[0037] 컨트롤러(18)는 센서(28)로부터 이미지를 수신하고 테이블(20)의 위치와 배향을 조정한다. 컨트롤러(18)는 특징적으로 장치(10)의 다른 요소들에 연결하기 위한 적절한 디지털 및/또는 아날로그 인터페이스와 함께, 본 명세서에 설명된 기능을 수행하기 위해 소프트웨어 및/또는 펌웨어로 프로그래밍되는 프로그램 가능한 프로세서를 포함한다. 대안적으로 또는 추가적으로, 컨트롤러(18)는 컨트롤러의 기능 중 적어도 일부를 수행하는 하드-와이어드(hard-wired) 및/또는 프로그램 가능한 하드웨어 논리 회로를 포함한다. 컨트롤러(18)는 단순화를 위해 단일의 모놀리식(monolithic) 기능적 블록으로서 도 1에 도시되어 있지만, 실제로 컨트롤러는 도면에 예시되고 본문에 설명되어 있는 신호들을 수신하고 출력하기 위한 적절한 인터페이스들을 갖는 다수의 상호 연결된 제어 유닛들을 포함할 수 있다. 본 명세서에 설명된 것과 같은 방법을 구현하는 프로그램 명령은 캐리어 매체(carrier medium)를 통해 전송되거나 이에 저장될 수 있다. 캐리어 매체는 읽기-전용 메모리, 랜덤 액세스 메모리, 자기 또는 광 디스크, 비휘발성 메모리, 솔리드 스테이트 메모리, 자기 테이프 등과 같은 저장 매체를 포함할 수 있다.

[0038] 반도체 기관(12) 상의 오버레이 타겟들의 이미지를 캡처하기 위해, 광 소스(32)는 광학 방사선 빔을 렌즈(34)로 투사하고, 렌즈(34)는 또한 상기 빔을 큐브 빔 스플리터(24)로 투사한다. 빔스플리터(24)는 빔을 대물 렌즈(22)로 반사하고, 대물 렌즈(22)는 빔을 기관(22) 상으로 투사한다. 기관(12)에 충돌하는 방사선은 다시 대물 렌즈(22)로 산란되어 빔스플리터(24)를 통과하여 렌즈(26)로 전달되어 센서(28)로 집속된다. 컨트롤러(18)는 기관(12) 상의 층(40) 및 아래에 놓인 층(38)에서의 오버레이 타겟들의 피쳐들의 개개의 위치를 식별하기 위해, 센서(28)에 의해 캡처된 이미지들을 판독하고 이미지들을 프로세싱한다. 컨트롤러(18)는 타겟 피쳐들의 개개의 위치들 간의 변위에 기초하여 이들 두 패턴화된 층들 간의 변위를 측정한다.

[0039] 대안적으로, 장치(10)는 산란계측 모드에서 변위를 측정하도록 구성될 수 있다. 이 모드의 경우, 렌즈(26)는 대물 렌즈(22)의 출사 동공(도시되지 않음)을 센서 어레이(28) 상에 이미징하도록 수정 및/또는 이동된다. 이 산란계측 이미지는 타겟 피쳐들로부터 산란되는 광학 방사선의 각 분포를 나타내며, 이 경우 컨트롤러(18)는 각 분포를 프로세싱하여 변위를 측정하도록 구성된다.

[0040] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 기관 상의 오버레이 타겟들(112, 114)을 보여주는 반도체 기관(12)의 (z-방향으로부터의) 개략적인 평면도이다.

[0041] 포토리소그래피 프로세스에서, M개 필드들(103)의 매트릭스(100)가 기관(12) 상에서 노광되었다. (표시된 실시예에서, 필드들의 수(M)는 32 이지만, 대안적인 실시예에서 필드들의 수는 32 보다 작거나 클 수 있다.) 포토리소그래피 프로세스의 연속적인 노광 단계들에서, 하기에 더 상세히 설명되는, 다수의 오버레이 타겟들(112, 114)과 함께 다이(102)를 노광하기 위해 스캐너는 레티클의 이미지를 필드(103) 상으로 투영한다. (대안적인 실시예에서, 하나보다 많은 다이(102)가 하나의 필드(103) 내에서 노광될 수 있다.) 도 2에서 필드(103)와 다이(102) 간의 차이를 명확히 하기 위해, 필드(103a)가 크로스해칭(cross-hatching)으로 표시되었고, 다이(102a) (필드(103a)에 있지 않음)가 반대 크로스해칭으로 표시되었다. 다이들(102)은 스크라이브 라인들(104)에 의해 분리되고 전기 회로 구성요소들(108)을 포함하는 활성 영역들(106)(스크라이브 라인들에 의해 둘러싸여 있음)을 포함한다.

[0042] 예시적인 실시예에서, 보통 웨이퍼 또는 반도체 웨이퍼라고도 불리는 반도체 기관(12)은 특징적으로 300 mm의

직경을 갖는다. 각각의 다이(102)는 특징적으로 예를 들어 20 mm x 20 mm 치수의 정사각형이지만, 다른 크기와 모양도 대안적으로 사용된다. 스크라이브 라인들(104)은 특징적으로 약 100 μm의 폭을 갖는다.

[0043] (도 1에 도시된 층들(38, 40)과 같은) 반도체 기판(12) 상의 막층들은 각각의 필드(103) 내에서 N개 오프셋 오버레이 타겟들(112)($N \geq 2$)을 정의하도록 패터닝되고, 하기에 더 상세히 설명되는 바와 같이 층들(38, 40)에서 타겟 피처들의 대칭 중심들 간에 0 이 아닌 공칭 변위들을 갖는다. 대안적으로, 공칭 변위들뿐만 아니라 측정된 변위들은 타겟 피처들의 다른 기하학적 특성들 간에 정의될 수 있다. 막층들은 또한 공칭 변위가 0 인, 각각의 필드(103) 내에서의 추가적인 디폴트 오버레이 타겟들(114)을 정의하도록 패터닝될 수 있다. 오프셋 타겟들(112)은 다이(102) 내에 있는 것으로 도 2에 도시되어 있고, 디폴트 오버레이 타겟들(114)은 스크라이브 라인들(104)에 도시되어 있지만, 각각의 타입의 오버레이 타겟은 대안적으로 필드(103)의 임의의 위치에 위치될 수 있다.

[0044] 하기에 설명된 바와 같이, 스캐너 정정가능치들을 정의하기 위해, 각각의 필드(103) 내의 각각의 포인트는 2 개의 2-차원 직교 좌표계, 즉 웨이퍼 좌표 축들(120)과 필드 좌표 축들(122)을 사용하여 정의되며, 그 개개의 x- 및 y-축들은 직교 좌표(36)의 x- 및 y-축들과 정렬된다. 웨이퍼 좌표축들(120)은 웨이퍼(즉, 반도체 기판(12))를 기준으로 하며, 그 좌표축들은 x^W 및 y^W 로 표시되고, W는 "웨이퍼"를 의미한다. 각각의 필드(103)는 각각의 개개의 필드에 동일하게 포지셔닝된 그것의 개개의 필드 좌표 축들(122)을 가지며, 좌표 축들은 x^F 및 y^F 로 표시되고, F는 "필드"를 의미한다. (명확성을 위해 한 세트의 필드 좌표축들(122)만이 도시된다.) 따라서, 필드(103)에서 주어진 포인트의 위치는 4 개의 좌표(x^W, y^W, x^F, y^F)로 기술될 수 있고, x^W 및 y^W 는 웨이퍼 좌표축들(120)을 나타내고 x^F 및 y^F 는 (포인트가 위치된 특정 필드의) 필드 좌표축들(122)을 나타낸다.

[0045] 필드들(103)을 j (여기서, $j = 1, 2, \dots, M$)로 표지하고, 오프셋 타겟들(112)을 i (여기서, $i = 1, 2, \dots, N$)로 표지하면, 반도체 기판(12) 내의 공칭 변위 타겟들의 좌표는 ($x_{i,j}^W, y_{i,j}^W, x_{i,j}^F, y_{i,j}^F$)로 쓸 수 있다. 필드 좌표 축들(122)과 연관된 필드 좌표($x_{i,j}^F, y_{i,j}^F$)는 필드 좌표 축들이 각각의 필드(103)에서 반복되므로 하나의 인덱스(i)만 갖는다.

[0046] 도 3a는 본 발명의 실시예에 따른 오프셋 오버레이 타겟들(112)을 보여주는 반도체 기판(12)의 단일 필드(103)의 개략적인 평면도이다.

[0047] 각각의 오프셋 오버레이 타겟(112)은 제1 막층(38)에 형성된 제1 세트의 타겟 피처들 및 제2 막층(40)에 형성된 제2 세트의 타겟 피처들을 포함한다. 이들 두 세트의 타겟 피처들은 스캐너가 (개개의 포토리소그래피 프로세스 단계들에서) 층(38)에 제1 세트의 타겟 피처들을 형성하기 위해 제1 레티클을 통해 개개의 포토레지스트층을 노광하고, 유사하게 제2 세트의 타겟 피처들을 형성하기 위해 제2 레티클을 통해 층(40)을 노광함으로써 형성된다. 제1 레티클은 전자-빔 라이팅(electron-beam writing)과 같은 고도로 정확한 제조 방법을 사용하여 제1 공칭 거리들만큼 이격된 제1 타겟 피처들을 형성하도록 설계 및 제조되었다. 유사하게, 제2 레티클은 제2 공칭 거리들만큼 이격된 제2 타겟 피처들을 형성하도록 설계 및 제조되었으며, 여기서 제2 공칭 거리들은 미리 정의된 제1 공칭 거리들과 상이하다. 각각의 제2 타겟 피처는 개개의 제1 타겟 피처 위에 놓이고 상응하는 오프셋 타겟(112)을 정의한다.

[0048] 제1 및 제2 공칭 거리들은 제1 및 제2 타겟 피처들을 포함하는 각각의 오프셋 오버레이 타겟(112)이 제1 및 제2 세트의 타겟 피처들의 대칭 중심들 사이에 개개의 x- 및 y-방향으로의 ΔX 및 ΔY 의 공칭 변위를 갖도록 선택되었다. 도시된 실시예에서, 공칭 변위 ΔX 및 ΔY 는 동일하며 도 3a의 각각의 타겟(112) 내에 수치 라벨로 표시되어 있다. (대안적으로, 동일하지 않은 공칭 변위 ΔX 및 ΔY 가 선택될 수 있으며, 이 경우 각각의 타겟(112)은 2 개의 변위 수치로 특징지어질 것이다.) 따라서, 오프셋 오버레이 타겟(112a)의 경우, 제2 세트의 타겟 피처들은 제1 세트의 타겟 피처들에 비해 $\Delta X = +8$ nm 및 $\Delta Y = +8$ nm, 즉 양의 축 방향 모두에서 8 nm만큼 공칭(nominally) 변위되었고, 반면 오프셋 타겟(112b)의 경우 공칭 변위는 $\Delta X = -5$ nm 및 $\Delta Y = -5$ nm, 즉 음의 축 방향으로 5 nm이다.

[0049] 본 실시예에서, 오프셋 오버레이 타겟들(112)은 x- 및 y-방향 모두에서 공칭 변위를 가지지만, 한 방향으로만 오프셋을 갖는 일-방향 오버레이 타겟들에도 동일한 원리가 필요한 부분만 약간 수정하여 적용될 수 있다.

[0050] 대체로, N개의 오프셋 오버레이 타겟들 i는 개개의 공칭 변위 ΔX_i 및 ΔY_i 를 가지고 필드(103)에 형성되며, 여기서 $i = 1, 2, \dots, N$ 이다. 하기의 설명에서, N은 15로 취해지지만, 15 보다 작거나 큰 다른 개수의 타겟들이 형

성될 수도 있다. 타겟들(112)의 공칭 변위는 테스트 중인 포토리소그래피 프로세스에서 예상되는 오버레이 오차와 동일한 자릿수(order of magnitude)인 것이 유리하다.

- [0051] N개의 오프셋 오버레이 타겟들은 유사하거나 유사하지 않을 수 있다. 유사한 타겟의 예는 박스-인-박스(box-in-box) 타겟이며, 여기서 타겟의 외측 박스는 프로세스층에 형성되고 내측 박스는 레지스트층에 형성된다. 비유사한 타겟의 예는 박스-인-박스 타겟이며, 여기서 타겟들 중 일부에 대해 외측 박스는 프로세스층에 있고 내측 박스는 레지스트층에 있는 반면, 다른 타겟들에 대해 내측 박스는 프로세스층에 있고 외측 박스는 레지스트층에 있다. 이러한 종류의 방식은, 예를 들어 AIM-타겟과 같은 다른 타겟 설계에도 적용될 수 있다.
- [0052] 도 3b는 본 발명의 실시예에 따른 2 개의 오버레이 타겟(162, 164)의 구성요소에 대한 개략적인 평면도이다. 이들 타겟들은 층(38)에 있는 제1 타겟 피쳐들(142, 144)과 층(40)에 있는 제2 타겟 피쳐들(152, 154)로 구성되어, 반도체 기판(12) 상에 2 개의 박스-인-박스 오버레이 타겟(162, 164)을 형성한다. 오버레이 오차 계측에 사용되며 오버레이 타겟들의 변위를 예시하기 위해 본 실시예에서 사용되는, 박스-인-박스 오버레이 타겟들의 타겟 피쳐들은 x- 및 y-축을 따라 정렬된 2 개의 공칭 중심이 같은 정사각형(concentric square)(하나는 다른 하나 내부에 있음)을 포함한다. 외측 정사각형의 치수는 특징적으로 $20\ \mu\text{m} \times 20\ \mu\text{m}$ 이고 내측 정사각형의 치수는 $10\ \mu\text{m} \times 10\ \mu\text{m}$ 이지만 다른 치수가 대안적으로 사용될 수도 있다. x- 및 y-방향 모두에서 각각의 정사각형의 중심은 정사각형의 대칭 중심이며 여기서는 타겟 피쳐의 위치를 정의하는 데 사용된다. 명확성을 위해, 도시된 실시예에서는 x-방향으로만 타겟 피쳐들(정사각형들)의 변위를 보여주며, 타겟 피쳐들의 중심은 y-방향으로 서로 정렬되어 있다.
- [0053] 2 개의 정사각형을 포함하는 2 개의 제1 타겟 피쳐들(142, 144)이 제1 막층(38)에 형성된다. 중심선들(146, 148)은 각각 x-방향으로 제1 타겟 피쳐들(142, 144)의 중심을 표시한다. 제1 타겟 피쳐들(142, 144)은 중심선들(146, 148) 사이의 거리로서 표시된, 1.000010 mm의 제1 공칭 거리만큼 x-방향으로 이격되어 있다. 2 개의 제2 타겟 피쳐들(152, 154)(2 개의 정사각형)이 제2 막층(40)에 형성된다. 중심선들(156, 158)은 각각 x-방향으로 제2 타겟 피쳐들(152, 154)의 중심을 표시한다. 제2 타겟 피쳐들(152, 154)은 중심선들(156, 158) 사이의 거리로서 표시된, 1.000000 mm의 제2 공칭 거리만큼 x-방향으로 이격되어 있다. (명확성을 위해, 두 공칭 거리의 차가 매우 과장되어 도시되어 있다.)
- [0054] 타겟 피쳐들(142, 144, 152, 154)이 반도체 기판(12) 상의 개개의 막층들에 형성되는 포토리소그래피 프로세스에서 오차가 없다고 가정하면, 타겟 피쳐들은 x-방향으로 정렬되어 개개의 타겟 피쳐들(144, 154)의 중심선들(148, 158)이 서로의 위에 정렬되어 오버레이 타겟(164)을 형성한다. 따라서, 반도체 기판(12) 상에서 2 개의 타겟 피쳐들의 중심선들(148, 158)이 서로의 위에 있는 것으로 도시된 바와 같이, 오버레이 타겟(164)의 공칭 변위는 0 이다(예를 들어, 도 2의 타겟들(114)과 유사). 타겟 피쳐들(144, 154)의 제로 정렬로 인해 그리고 두 쌍의 중심선들(146 및 148, 156 및 158) 간의 각각 1.000010 mm와 1.000000 mm의 제1 및 제2 공칭 거리들 간의 차로 인해, 반도체 기판(12) 상의 개개의 중심선들(146, 156)의 간격으로 도시된 바와 같이, 타겟 피쳐들(142, 152)에 의해 형성된 오버레이 타겟(162)은 x-방향으로 10 nm(0.000010 mm) 공칭 변위를 갖는다. 따라서 오버레이 타겟(162)은 오프셋 오버레이 타겟들(112)과 유사하다.
- [0055] 타겟 피쳐들은 도시된 실시예에서 오버레이 타겟(164)에 대한 공칭 변위가 0 이 되도록 정렬되어 있지만, 오버레이 타겟들(162, 164)의 공칭 변위를 적절히 변경하는 상이한 정렬 방식이 구현될 수 있다. 오버레이 오차가 발생하는 경우, 실제 변위들은 공칭 변위와 상이할 것이다.
- [0056] y-방향에서의 공칭 변위들(또는 x- 및 y-방향 모두에서의 공칭 변위들)은 박스-앤드-박스 오버레이 타겟들에서 뿐만 아니라, KLA에서 제공하는 AIM, AIMid(in-die AIM), rAIM(robust-AIM Moiré) 및 SCOL(scatterometry overlay)와 같은 다른 종류의 오버레이 타겟들에서도 유사한 방식으로 구현될 수 있다.
- [0057] 계측 및 분석
- [0058] 1. 스캐너 모델
- [0059] 스캐너 모델은 스캐너에서 반도체 기판(12)의 오배치(misplacement)에 의해 유도된 오버레이 오차뿐만 아니라, 레티클의 이미지를 기판으로 투영할 때 스캐너 내에서 생성된 오차 및 유사한 체계적 거동(systematic behavior)을 갖는 다른 오차를 기술하는 데 사용된다. 예를 들어, 스캐너 모델은 웨이퍼, 즉 반도체 기판(12) 상의 포인트(x^W, y^W, x^F, y^F)에서 스캐너로 인한(scanner-induced) 오버레이 오차를 다음 두 식에 따라 개개의 x- 및 y-방향에서 Model_OVLX(x^W, y^W, x^F, y^F) 및 Model_OVLY(x^W, y^W, x^F, y^F)로 기술할 수 있다:

$$\text{Model_OVLX}(x^W, y^W, x^F, y^F) =$$

[0060]

$$\text{OffX} + \text{ScalX} * x^W + \text{WRotX} * y^W + \text{MagX} * x^F + \text{FRotX} * y^F \quad \text{및}$$

$$\text{Model_OVLY}(x^W, y^W, x^F, y^F) =$$

[0061]

$$\text{OffY} + \text{WrotY} * x^W + \text{ScalY} * y^W + \text{FRotY} * x^F + \text{MagY} * y^F$$

[0062]

여기서 OVL은 오버레이 오차를 나타낸다. 적절한 좌표가 곱해진 스캐너 정정가능치들은 다음과 같이 스캐너 내부의 다양한 오차로 인한 패턴 배치 오차를 제공한다:

[0063]

OffX = x-방향에서 웨이퍼(반도체 기관(12))의 고정된 오배치로 인한 패턴 배치 오차;

[0064]

OffY = y-방향에서 웨이퍼의 고정된 오배치로 인한 패턴 배치 오차;

[0065]

ScalX = 웨이퍼 이동의 스케일링 오차(scaling error)로 인한 x-방향으로의 패턴 배치 오차, 즉 의도된 거리와 일정 인자(constant factor)만큼 차이가 나는 거리로 스캐너 내에서 이동하는 웨이퍼로 인한 오차;

[0066]

ScalY = 웨이퍼 이동의 스케일링 오차로 인한 y-방향으로의 패턴 배치 오차;

[0067]

WRotX = 웨이퍼 회전으로 인한, 즉 스캐너 내에서 웨이퍼 배치의 각도 오차로 인한 x-방향으로의 패턴 배치 오차;

[0068]

WRotY = 웨이퍼 회전으로 인한 y-방향으로의 패턴 배치 오차;

[0069]

MagX = 스캐너의 광학 배율 오차(optical magnification error)로 인한 x-방향으로의 패턴 배치 오차;

[0070]

MagY = 스캐너의 광학 배율 오차로 인한 y-방향으로의 패턴 배치 오차;

[0071]

FRotX = 스캐너 필드의 의도되지 않은 회전으로 인한 x-방향으로의 패턴 배치 오차; 및

[0072]

FRotY = 스캐너 필드의 의도되지 않은 회전으로 인한 y-방향으로의 패턴 배치 오차.

[0073]

이러한 스캐너 정정가능치들은 보통 선형 회귀와 같은 피팅 절차에 의해 측정된 오버레이 오차들로부터, 측정된 오버레이 오차들을 스캐너 모델에 따른 오버레이 오차들에 피팅(fitting)함으로써 추정된다. 그런 다음 정정가능치들은 후속 노광을 위해 스캐너 내에서 웨이퍼의 선형 및 회전 포지셔닝 오차를 수정하는 것뿐만 아니라 필드(103) 상으로 스캐너 레티클을 투영할 때의 오차를 수정하는 데 사용하기 위해 스캐너로 피드백된다.

[0074]

웨이퍼 및/또는 필드 좌표에서 고차항들을 포함하는 스캐너 모델들이 대안적인 실시예에서 사용될 수 있다.

[0075]

2. 오버레이 오차 측정에서의 선형성 오차

[0076]

위에서 설명한 바와 같이, 측정된 변위 Meas_Displ은 실제 변위 Actual_Displ과 선형 관계를 가지지만, 선형성의 계수는 이상적인 값인 1에서 벗어날 수 있다. 이 관계는 1 이 아닌(non-unity) 선형성의 계수 α 가 있는, 식 $\text{Meas_Displ} = \alpha * \text{Actual_Displ} + \beta$ 로 쓸 수 있다. 오프셋 β 는 무시할 수 있는 것으로 가정되며 뒤따르는 계산에서는 생략될 것이다.

[0077]

오버레이 오차 계측에서 선형성 오차는, 특성화되고 수정되지 않으면 부정확한 스캐너 정정가능치로 이어질 수 있으며 결과적으로 스캐너 수정이 부적절하거나 심지어 스캐너로 인한 패턴 배치 오차가 증가할 수도 있다. 더욱이, 이는 패턴화된 기관(12)의 부정확한 배치로 이어질 수 있다.

[0078]

3. 선형성 오차의 제거를 위한 오프셋 오버레이 타겟의 사용

[0079]

도 4는 본 발명의 실시예에 따라, 스캐너 모델의 정정가능치들과 오버레이 오차 측정에 대한 선형성의 계수를 추정하기 위한 방법을 개략적으로 예시하는 흐름도(200)이다. 방법은 x-방향으로의 변위에 관련된 것으로 하기에 제시되어 있다. y-방향으로의 변위에도 동일한 방법이 적용될 수 있다.

[0080]

방법은 시작 단계(202)에서 시작된다. 변위 선택 단계(204)에서, N개의 공칭 변위들 $\Delta X_i(x_i^F, y_i^F)$ 이 선택된다. (변위 선택을 위한 구체적인 방법은 도 5 및 도 6에 상세히 설명된다.) 타겟 형성 단계(206)에서, 오프셋 오버레이 타겟들(112)이 반도체 기관(12)의 각각의 필드(103) 내에 형성된다(도 3a). 변위 측정 단계(208)에서, 광학 계측 장치(10)를 사용하여 층들(38, 40)에 있는 타겟 피쳐들의 개개의 대칭 중심들 사이의 변위가 각각의 필드(103)에 대한 각각의 타겟(112)에 대해 측정된다. x-방향에서 측정된 $M \times N$ 변위는

Meas_DisplX($x_{i,j}^W, y_{i,j}^W, x_i^F, y_i^F$)로 표시되고, 여기서 $i = 1, 2, \dots, N$ 및 $j = 1, 2, \dots, M$ 이다.

[0081] 스캐너 모델 선택 단계(210)에서, 계산에 사용되는 스캐너 모델, 예를 들어 전술한 모델이 선택된다. 모델링된 변위 오차 단계(212)에서, 원본(original) 스캐너 모델에서 모델링된 오버레이 오차가 타겟들(112)의 상이한 공칭 변위들을 고려하기 위해 수정된다. 따라서 모델링된 변위는 스캐너로 인한 오버레이 오차들과 타겟들(112)의 공칭 변위들의 합이고, 그것은 또한 선형성의 계수 α_x 도 고려한다. 위에 소개된 표기법을 사용하여, j번째 필드(103)에서 i번째 오프셋 타겟(112)에 대해 모델링된 변위는 다음과 같이 작성된다:

$$\text{Model_DisplX}(x_{i,j}^W, y_{i,j}^W, x_i^F, y_i^F) = \alpha_x * [\text{OffX} + \text{ScalX} * x_{i,j}^W + \text{WRotX} * y_{i,j}^W + \text{MagX} * x_i^F + \text{FRotX} * y_i^F + \Delta X_i(x_i^F, y_i^F)]$$

[0082] 오프셋 타겟들(112)의 위치는 포토리소그래피 프로세스에서 스캐너에서 사용되는 레티클에 의해 정의되므로, ΔX_i 는 필드 좌표 (x_i^F, y_i^F)에만 의존한다.

[0083]

[0084] 계산 단계(214)에서, 스캐너 정정가능치들 OffX, ScalX, WRotX, MagX, FRotX 및 선형성의 계수 α_x 는 모델링된 변위 Model_DisplX($x_{i,j}^W, y_{i,j}^W, x_i^F, y_i^F$)의 모든 $M \times N$ 값들 및 개개의 측정된 변위 Meas_DisplX($x_{i,j}^W, y_{i,j}^W, x_i^F, y_i^F$) 값들 사이에 회귀 방법을 적용하여 추정된다. 모델이 변수들의 값을 포함하므로 선형 회귀보다는 고차 회귀가 적용되어야 한다. 회귀 방법의 목적은 추정된 스캐너 정정가능치들 및 선형성의 계수에 대한 가능한 무작위 또는 고차 계측 오차의 영향을 최소화하는 것이다. 회귀를 수행하는 것은 다음으로 주어지는 합 S_x 를 최소화하는 선형성의 계수와 정정가능치 값들의 세트를 찾아낸다:

$$S_x = \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N [\text{Meas_DisplX}(x_{i,j}^W, y_{i,j}^W, x_i^F, y_i^F) - \text{Model_DisplX}(x_{i,j}^W, y_{i,j}^W, x_i^F, y_i^F)]^2$$

[0085] 대안적으로, 단일의 선형성의 계수 α_x 를 추정함에 있어서 모든 필드들(103)을 포함시키는 대신, α_x 의 계산은 필드들(103)의 하나 이상의 서브세트에 기초하여 수행될 수 있으며, 각각의 서브세트는 하나 이상의 필드를 포함한다(흐름도(200)에는 도시되지 않음). 또한, 대안적으로, 변위들은 모든 필드에 걸쳐 평균화될 수 있으며, 웨이퍼 모델과 관련된 항들은 생략될 수 있다. 반도체 기관(12)에 걸쳐 필드들(103)의 다수의 서브세트들에 대해 α_x 를 추정함으로써, 기관에 걸쳐 다수의 개개의 α_x 값들이 얻어지며, 이는 기관에 걸친 잠재적인 측정 편차 및 오버레이 오차 계측의 선형성의 계수 α_x 의 수반되는 변화를 반영한다. 필드들(103)의 서브세트들에 대해 α_x 를 추정하기 위해, 위의 합 S_x 는 각각의 서브세트에 대해 개별적으로 계산되며, S_x 의 합에 대한 한계가 이에 따라 수정된다. 방법은 종료 단계(216)에서 종료된다.

[0087] 비선형 회귀에 대한 대안으로서, 측정값을 모델에 피팅하기 위한 이 기술 분야에 알려진 다른 계산 방법들이 사용될 수 있다. 이러한 방법들은 예를 들어, 선형 회귀의 적용을 허용할 수 있는, 변수들의 비선형 변화를 포함할 수 있다.

[0088] 4. 오프셋 오버레이 타겟들의 선택

[0089] 도 5 및 도 6은 각각 본 발명의 실시예에 따라, 오프셋 오버레이 타겟들(112)을 선택하기 위한 두 가지 대안적인 방법을 개략적으로 예시하는 흐름도(300, 400)이다.

[0090] N개 오프셋 오버레이 타겟들(112)의 크기(magnitude)와 그 위치가 스캐너 모델의 선형 공간에 있다면, 즉 N개 타겟들의 공칭 변위들과 타겟 위치들의 조합이 스캐너 모델에 의해 완전히 기술될 수 있다면, 오프셋 오버레이 타겟들은 스캐너 정정가능치들의 추정치만 수정할 것이고, 도 4에 설명된 방법을 통한 선형성의 계수들 α_x 및 α_y 에 대한 어떠한 정보도 산출하지 않을 것이다. 따라서, 스캐너 정정가능치들은 공칭 변위들로 인한 오차와 선형성의 계수들 α_x 및 α_y 의 정정되지 않은 값들로 인한 오차를 모두 포함할 것이다. 따라서, 타겟들(112)에서의 대칭 중심들의 변위의 크기와 타겟들의 위치는 도 4의 변위 선택 단계(204)에서 그것들이 계산에 사용된 스캐너 모델에 적어도 부분적으로 직교하도록 선택(및 타겟 형성 단계(206)에서 구현)되어야 한다. 용어 "부분적으로

직교(partially orthogonal)"는 여기서 변위들의 벡터가 스캐너 모델에 직교하는 성분을 가짐을 의미하기 위해 사용된다. 타겟들(112)의 위치는 필드 좌표들 (x^F, y^F) 에 의존하므로 스캐너 모델의 필드 좌표 의존 부분만이 직교성을 결정하는 데 사용된다.

[0091] 위에 설명된 필요조건은 N이 통계적으로 유의미한 측정값을 제공할 만큼 충분히 크기만 하면 거의 모든 무작위로 선택된 변위들 $\Delta X_i(x_i^F, y_i^F)$ ($i = 1, 2, \dots, N$)의 세트에 대해 (선형 스캐너 모델의 경우) 충족될 수 있다. 그러나 수치적인 고려를 위해 하기의 도 5 및 도 6에 도시된 바와 같은 체계적인 방법이 유리하다.

[0092] 흐름도(300)(도 5)는 스캐너 모델에 대한 오프셋 오버레이 타겟들(112)의 직교성을 결정하고 개선하기 위한 반복적인 방법을 도시한다. 방법은 시작 단계(301)에서 시작한다. 선택 단계(302)에서, N개의 공칭 변위들 $\Delta X_i(x_i^F, y_i^F)$ 가 선택된다. 투영 단계(304)에서, 스캐너 필드 모델로의 $\Delta X_i(x_i^F, y_i^F)$ 의 투영 $\text{MagX} * x_i^F + \text{FRotX} * y_i^F$ 가 $\Delta X_i(x_i^F, y_i^F)$ 와 $\text{MagX} * x_i^F + \text{FRotX} * y_i^F$ ($i = 1, 2, \dots, N$ 에 대해) 사이의 선형 회귀로부터 스캐너 필드 정정가능치 MagX 및 FRotX 를 추정함으로써 계산된다. 투영 크기 단계(306)에서, 투영의 상대 크기 Proj_x 가 다음과 같이 계산된다:

$$\text{Proj}_x = \frac{\sqrt{\text{MagX}^2 + \text{FRotX}^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (\Delta X_i)^2}}$$

[0093]

[0094] 제1 비교 단계(308)에서, Proj_x 가 미리 정해진 한계와 비교된다. Proj_x 가 미리 정해진 한계를 초과하는 경우, 공칭 변위들 $\Delta X_i(x_i^F, y_i^F)$ 에 대한 또 다른 선택이 공칭 변위 타겟들에 대한 크기 및/또는 위치를 무작위로 선택하거나, 또는 (모델의 벡터들이 걸쳐 있는(spanned) 선형 공간을 부공간(subspace)으로 포함하는) 더 큰 선형 공간의 선형 기반에서 벡터들을 체계적으로 반복함으로써 조정 단계(310)에서 이루어진다. 투영 단계(304), 투영 크기 단계(306), 제1 비교 단계(308) 및 조정 단계(310)의 루프는 Proj_x 가 미리 정해진 한계 미만의 값에 도달할 때까지 반복된다.

[0095] Proj_x 가 미리 정해진 한계를 초과하지 않도록 공칭 변위들 $\Delta X_i(x_i^F, y_i^F)$ 가 결정되면, 공칭 변위들 $\Delta X_i(x_i^F, y_i^F)$ 의 크기가 제2 비교 단계(312)에서 포토리소그래피 프로세스에서의 오버레이 오차의 예상 크기와 비교된다. 공칭 변위들의 크기가 고려 중인 포토리소그래피 프로세스에 대한 오버레이 오차 값들의 예상 범위와 크게 차이가 나는 경우, $\Delta X_i(x_i^F, y_i^F)$ 의 모든 성분은 공칭 변위의 크기를 예상 범위로 가져오기 위해 스케일링 단계(314)에서 공통 상수로 곱해진다. 단계들(312, 314)의 루프는 공칭 변위들의 크기가 만족스러울 때까지 반복되고 프로세스는 종료 단계(316)에서 종료된다. 방법의 결과로 나온 공칭 변위들 $\Delta X_i(x_i^F, y_i^F)$ 은 단계(206)(도 4)와 같은 포토리소그래피 단계에서 타겟들(112)을 형성하는데 적용된다.

[0096] 흐름도(400)(도 6)는 스캐너 필드 모델에 직교하는, 즉 스캐너 필드 모델로의 투영이 제로인 오프셋 오버레이 타겟들(112)을 선택하는 직접적인 방법을 도시한다. 방법은 시작 단계(402)로 시작한다. 단계들(302, 304)(도 5)과 유사하게, 선택 단계(404)에서, N개의 공칭 변위들 $\Delta X_i(x_i^F, y_i^F)$ 가 선택된다. 투영 단계(406)에서, 스캐너 필드 모델로의 $\Delta X_i(x_i^F, y_i^F)$ 의 투영 $\text{MagX} * x_i^F + \text{FRotX} * y_i^F$ 가 $\Delta X_i(x_i^F, y_i^F)$ 와 $\text{MagX} * x_i^F + \text{FRotX} * y_i^F$ ($i = 1, 2, \dots, N$ 에 대해) 사이의 선형 회귀로부터 스캐너 필드 정정가능치 MagX 및 FRotX 를 추정함으로써 계산된다. 직교 공칭 변위 성분 계산 단계(408)에서, $\Delta X_i(x_i^F, y_i^F)$ 의 성분 $\Delta X_i^{\text{ORTHO}}(x_i^F, y_i^F)$, 즉 스캐너 필드 모델 $\text{MagX} * x_i^F + \text{FRotX} * y_i^F$ 에 직교하는 $\Delta X_i(x_i^F, y_i^F)$ 의 성분이 $\Delta X_i^{\text{ORTHO}}(x_i^F, y_i^F) = \Delta X_i(x_i^F, y_i^F) - \text{MagX} * x_i^F + \text{FRotX} * y_i^F$ ($i = 1, 2, \dots, N$ 에 대해)로 계산된다.

[0097] 단계들(312, 314)(도 5)과 유사하게, 비교 단계(410)에서, 직교 공칭 변위 성분들 $\Delta X_i^{\text{ORTHO}}(x_i^F, y_i^F)$ 의 크기가 고려 중인 포토리소그래피 프로세스에서의 오버레이 오차의 예상 크기와 비교된다. 필요한 경우, $\Delta X_i^{\text{ORTHO}}(x_i^F, y_i^F)$

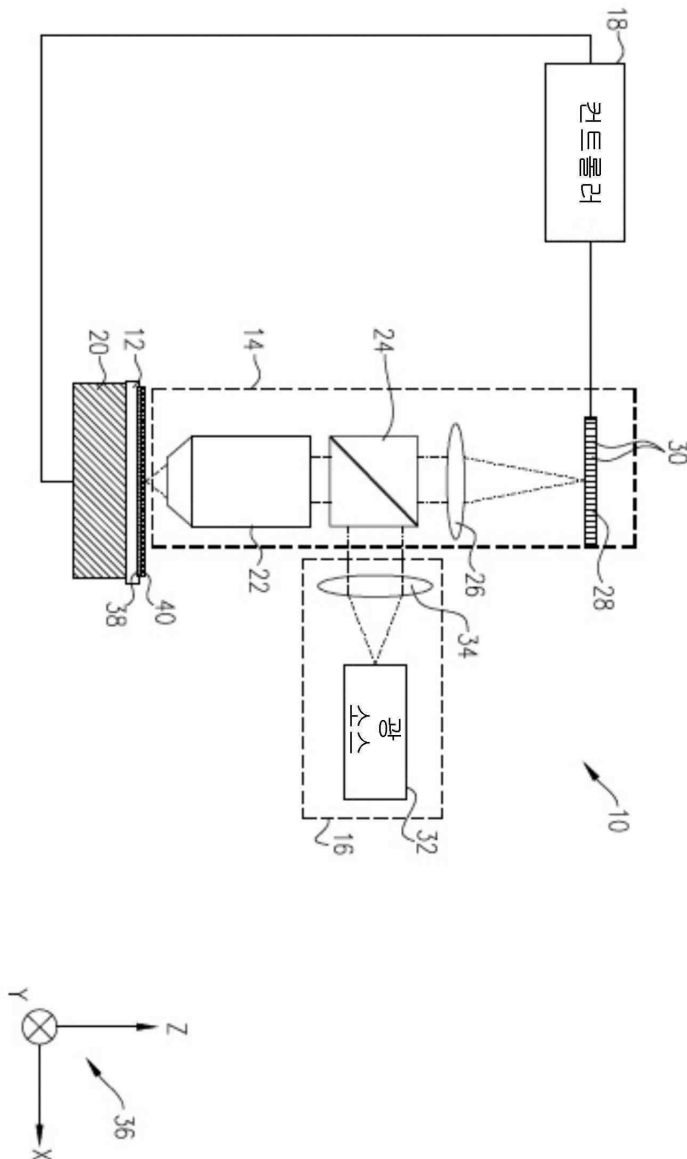
의 공칭 변위 성분의 필요한 크기가 달성될 때까지 스케일링 단계(412)에서 직교 공칭 변위 성분에 공통 상수가 곱해진다. 방법은 종료 단계(414)에서 종료된다. 방법의 결과로 나온 직교 공칭 변위들 $\Delta X_i^{ORTHO}(x_i^F, y_i^F)$ 은 단계 (206)(도 4)와 같은 리소그래피 단계에서 타겟들(112)을 형성하는데 적용된다.

[0098] 유사하게, 고차원 스캐너 모델, 즉 비선형 모델의 경우, 선택된 변위들 $\Delta X_i(x_i^F, y_i^F)$ 의 세트는 스캐너 모델에 의해 정의된 고차원 평면에 놓여서는 안 된다. 예를 들어, 2 차(quadratic) 스캐너 모델의 경우 고차원 평면에는 5 개의 벡터 (x_1^F, \dots, x_N^F) , (y_1^F, \dots, y_N^F) , $((x_1^F)^2, \dots, (x_N^F)^2)$, $((y_1^F)^2, \dots, (y_N^F)^2)$, 및 $(x_1^F y_1^F, \dots, x_N^F y_N^F)$ 가 걸쳐 있다. 이 경우 $N > 5$ 인 경우 거의 모든 벡터 $\Delta X_i(x_i^F, y_i^F)$ 가 충분한 직교성 필요조건을 충족할 것이다.

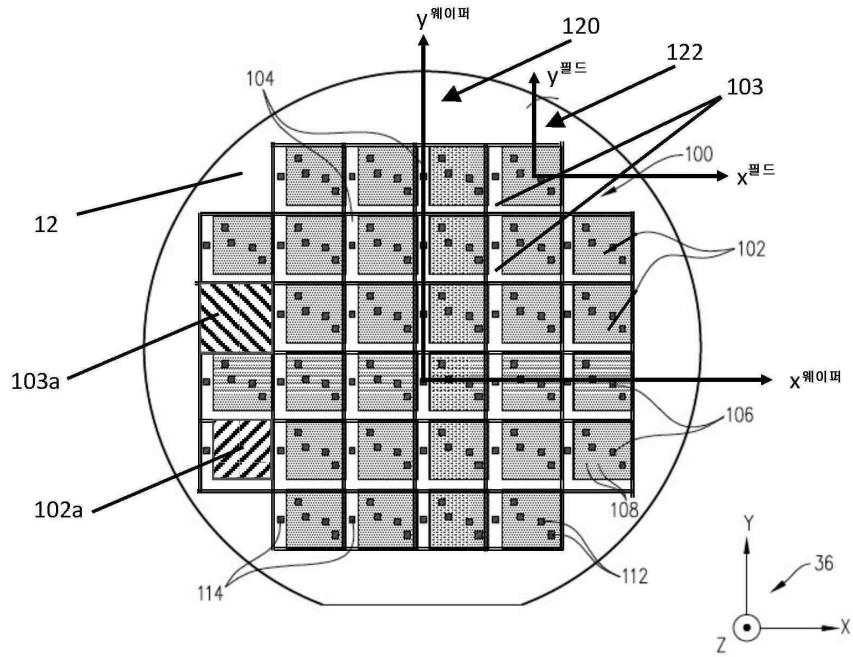
[0099] 위에서 설명된 실시예들은 예로서 기재되었으며, 본 발명은 위에서 구체적으로 도시되고 설명된 것에 제한되지 않는다는 것이 이해될 것이다. 오히려, 본 발명의 범위는 위에서 설명된 다양한 피쳐들의 조합 및 하위 조합들과, 전술한 설명을 읽을 때 이 분야의 기술자들에게 떠오를 수 있고 선행 기술에는 개시되지 않은 이들의 변형 및 수정을 모두 포함한다.

도면

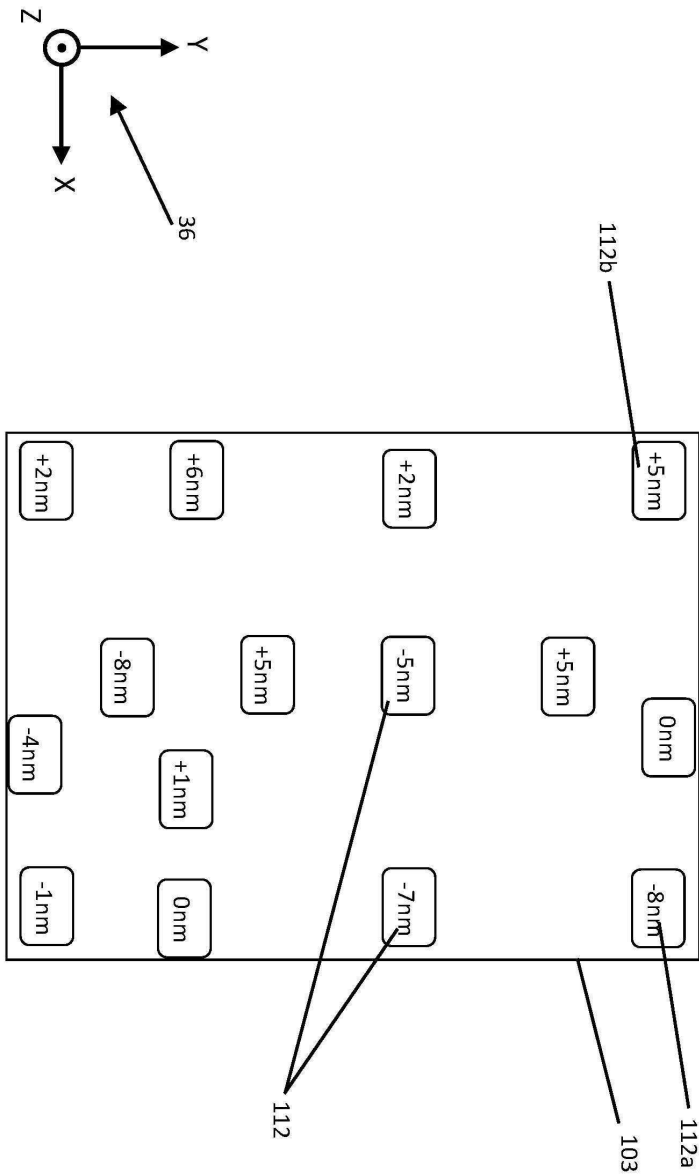
도면1



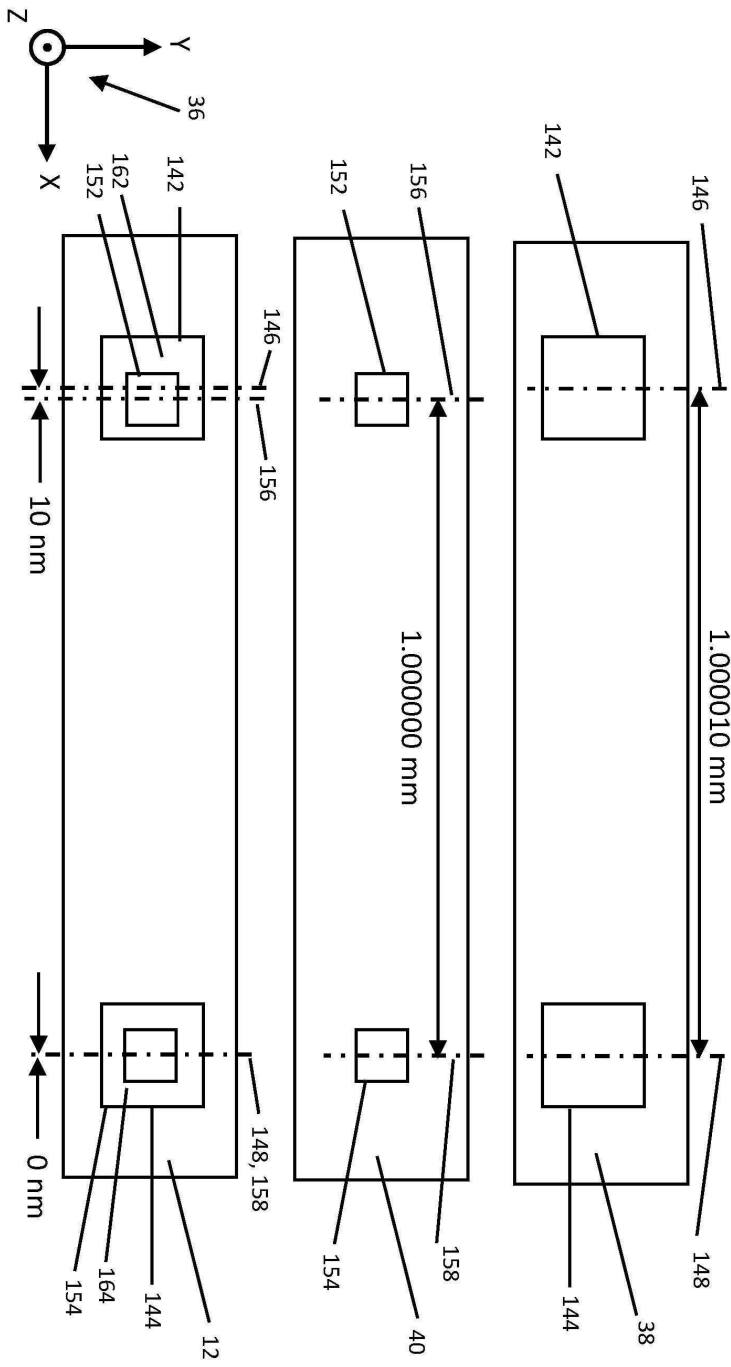
도면2



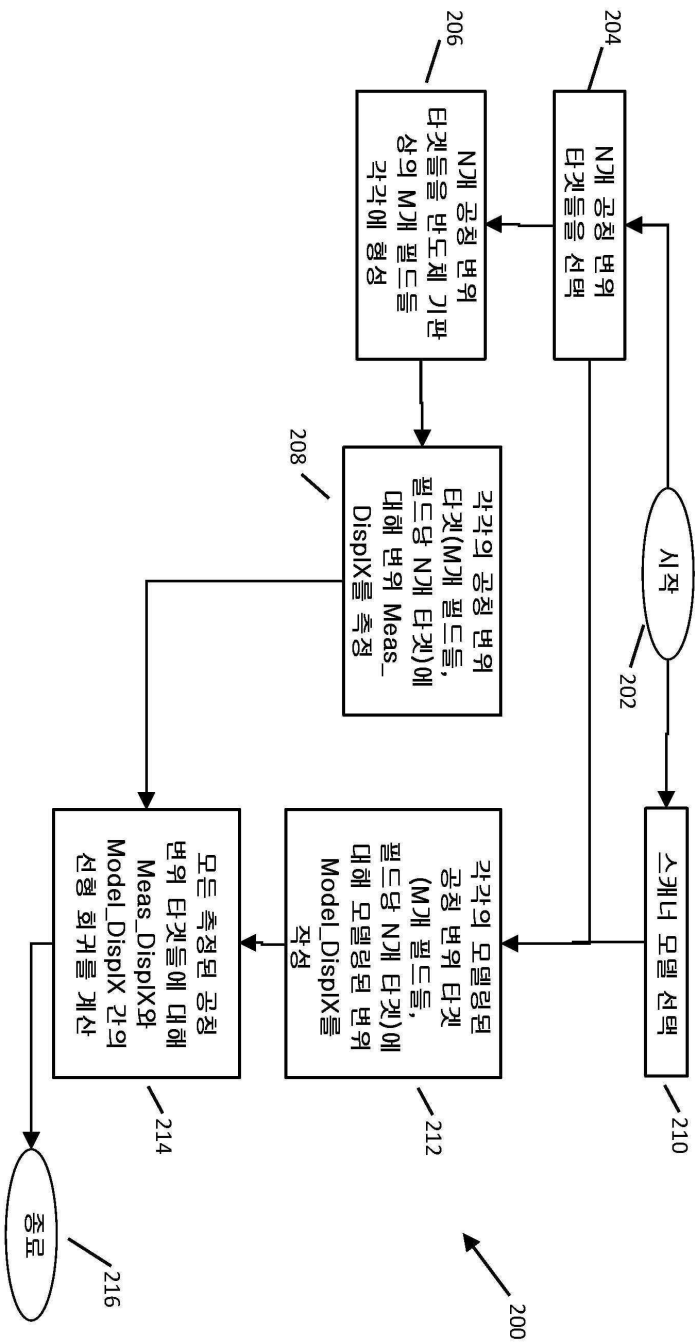
도면3a



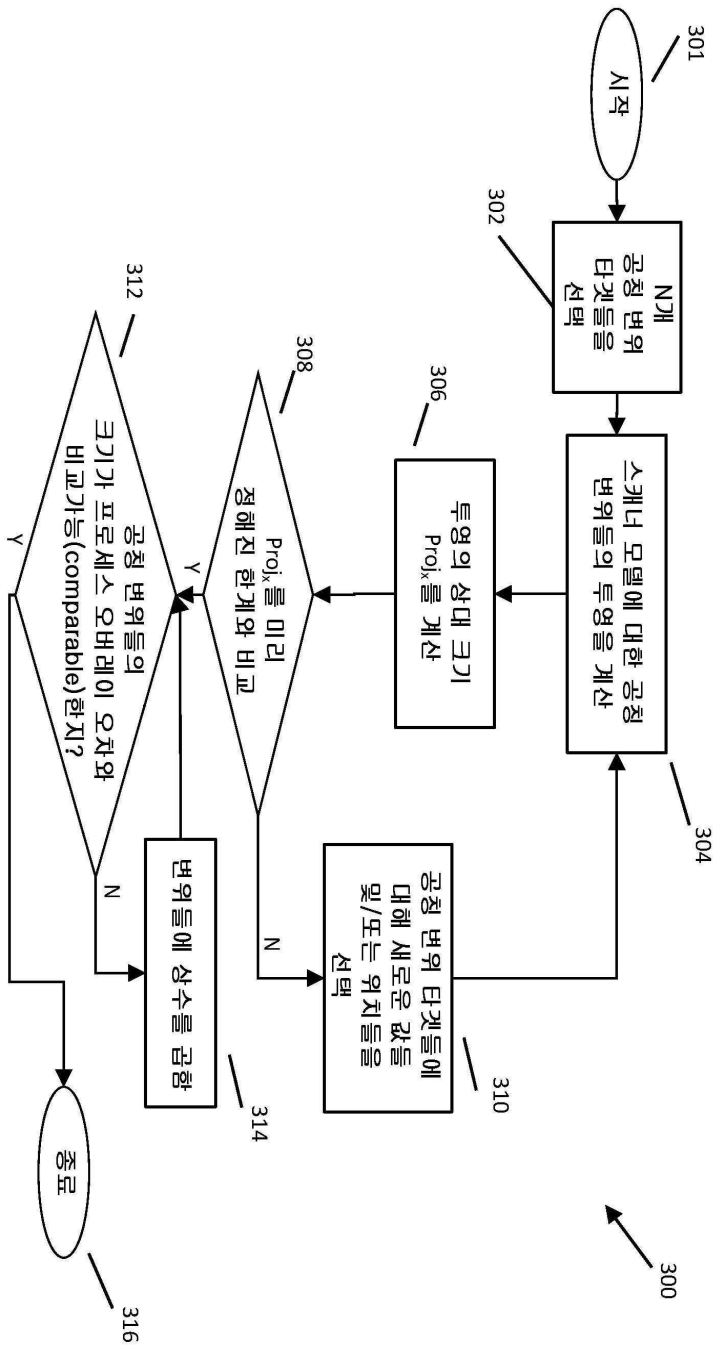
도면3b



도면4



도면5



도면6

