



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년01월27일
(11) 등록번호 10-2356949
(24) 등록일자 2022년01월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 21/88 (2006.01) G01N 21/47 (2006.01)
G01N 21/95 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01N 21/8851 (2013.01)
G01N 21/47 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-7028879
(22) 출원일자(국제) 2018년03월01일
심사청구일자 2021년02월26일
(85) 번역문제출일자 2019년10월01일
(65) 공개번호 10-2019-0115480
(43) 공개일자 2019년10월11일
(86) 국제출원번호 PCT/US2018/020342
(87) 국제공개번호 WO 2018/160779
국제공개일자 2018년09월07일
(30) 우선권주장
62/465,163 2017년03월01일 미국(US)
15/861,938 2018년01월04일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
KR1020170005059 A
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자
케이엘에이 코퍼레이션
미합중국, 캘리포니아 95035, 밀피타스, 원 테크
놀로지 드라이브
(72) 발명자
판데프 스틸리안
미국 캘리포니아주 95050 산타 클라라 레베카 린
웨이 2452
루 웨이
미국 캘리포니아주 94536 프리몬트 말로 스트리트
36833
쉬체그로브 안드레이
미국 캘리포니아주 95032 로스 가토스 아파트먼트
27 오크 립 웨이 120
(74) 대리인
김태홍, 김진희

전체 청구항 수 : 총 32 항

심사관 : 이창호

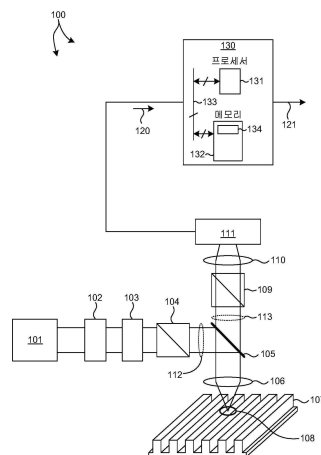
(54) 발명의 명칭 광학 스캐터로메트리에 기반한 프로세스 견고한 오버레이 측정

(57) 요약

훈련된 측정 모델에 기초한 견고한 오버레이 에러 측정을 위한 방법 및 시스템이 본원에 설명된다. 측정 모델은 스캐터로메트리 기반 오버레이 측정 시스템에 의해 실험 설계(Design of Experiments: DOE) 웨이퍼로부터 수집된 미가공 스캐터로메트리 데이터로부터 훈련된다. 각 측정 사이트는 프로그래밍된 오버레이 편차 및 알려진 프로

(뒷면에 계속)

대표도 - 도5



세스 편차로 제조된 하나 이상의 계측 타겟을 포함한다. 각 측정 사이트는 알려진 계측 시스템 편차로 측정된다. 이러한 방식으로, 측정 모델은 오버레이 측정에 영향을 미치는 프로세스 편차 및 계측 시스템 편차로부터 실제 오버레이를 분리하도록 훈련된다. 결과적으로, 훈련된 측정 모델에 의한 실제 오버레이의 추정치는 프로세스 편차 및 계측 시스템 편차에 대해 견고하다. 측정 모델은 측정을 수행하는 데 사용되는 동일한 계측 시스템으로부터 수집된 스캐터로메트리 데이터에 기초하여 훈련된다. 따라서, 측정 모델은 시스템의 에러, 비대칭 등에 민감하지 않다.

(52) CPC특허분류

G01N 21/9501 (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌

JP4971225 B2

US20160290796 A1

JP2016527501 A

US20160003609 A1

명세서

청구범위

청구항 1

스캐터로메트리(scatterometry) 기반 계측 시스템으로서,

복수의 오버레이 계측 타겟들에 제1 조명 광 및 제2 조명 광을 제공하도록 구성된 조명원 - 상기 복수의 오버레이 계측 타겟들은 상이한, 알려진 프로그래밍된 오버레이 값들 및 적어도 하나의 제조 프로세스 변수의 상이한, 알려진 값들로 제조됨 -;

상기 제1 조명 광에 응답하여 상기 복수의 오버레이 계측 타겟들의 각각으로부터 산란된 광량의 이미지를 검출하도록, 그리고 상기 제2 조명 광에 응답하여 상기 복수의 오버레이 계측 타겟들의 각각으로부터 산란된 광량을 나타내는 복수의 신호들을 검출하도록 구성된 검출기 - 상기 이미지는 상기 검출기의 복수의 픽셀들에 의해 검출되고, 상기 검출된 이미지 픽셀들은 훈련(training) 데이터량을 포함함 -; 및

컴퓨팅 시스템

을 포함하고, 상기 컴퓨팅 시스템은,

상기 복수의 오버레이 계측 타겟들의 각각과 연관된 실제 오버레이의 값을 추정하도록 - 상기 복수의 오버레이 계측 타겟들의 각각과 연관된 실제 오버레이의 값의 추정은, 상기 제2 조명 광에 응답하여 상기 복수의 오버레이 계측 타겟들의 각각으로부터 산란된 광량을 나타내는 상기 검출된 신호들에 기초함 -; 그리고

상기 실제 오버레이의 추정된 값들과 상기 훈련 데이터량에 기초하여 측정 모델을 훈련시키도록 구성되는 것인, 스캐터로메트리 기반 계측 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 검출기는 상기 스캐터로메트리 기반 계측 시스템의 퓨필 이미지 평면에 또는 그 부근에 위치되는 것인, 스캐터로메트리 기반 계측 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 측정 모델은 선형 모델, 다항식 모델, 신경망 모델, 지원 벡터 머신 모델, 결정 트리 모델, 및 랜덤 포레스트(random forest) 모델 중 임의의 모델인 것인, 스캐터로메트리 기반 계측 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 훈련 데이터량은 동일한 프로세스 조건들 및 프로그래밍된 오버레이 값들에 의해 형성된 상기 복수의 오버레이 계측 타겟들 중 적어도 2개의 상이한 계측 타겟들의 스캐터로메트리 측정들의 조합을 포함하는 것인, 스캐터로메트리 기반 계측 시스템.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 훈련 데이터량은 복수의 상이한 계측 기술들에 의해 획득된 스캐터로메트리 측정들을 포함하는 것인, 스캐터로메트리 기반 계측 시스템.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 복수의 오버레이 계측 타겟들은 복수의 반도체 웨이퍼들 상에 배치되고, 상기 복수의 반도체 웨이퍼들의 각각은 적어도 하나의 반도체 제조 프로세스 변수의 상이한 값으로 프로세싱되는 것인, 스캐터로메트리 기반 계측 시스템.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 복수의 오버레이 계측 타겟들은 하나 이상의 반도체 웨이퍼의 복수의 필드들 상에 배치되는 것인, 스캐터로메트리 기반 계측 시스템.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 조명 광을 제공하는 것 및 상기 복수의 오버레이 계측 타겟들의 각각으로부터 산란된 상기 광량의 상기 이미지의 검출은 하나 이상의 측정 시스템 파라미터들의 복수의 상이한 값들로 수행되는 것인, 스캐터로메트리 기반 계측 시스템.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 계측 타겟들 중 적어도 하나는 적어도 하나의 방향으로 주기성을 갖는 격자 구조들의 어레이를 갖는 단일 셀 계측 타겟인 것인, 스캐터로메트리 기반 계측 시스템.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 계측 타겟들 중 적어도 하나는 적어도 두 방향으로 주기성을 갖는 격자 구조들의 어레이를 갖는 단일 셀 계측 타겟인 것인, 스캐터로메트리 기반 계측 시스템.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 계측 타겟들 중 적어도 하나는 적어도 하나의 방향으로 둘 이상의 상이한 주기성을 갖는 격자 구조들의 어레이를 갖는 단일 셀 계측 타겟인 것인, 스캐터로메트리 기반 계측 시스템.

청구항 12

제1항에 있어서,

상기 복수의 오버레이 계측 타겟들의 각각과 연관된 상기 실제 오버레이의 값의 추정은 상기 프로그래밍된 오버레이 값에 기초하는 것인, 스캐터로메트리 기반 계측 시스템.

청구항 13

제1항에 있어서,

상기 복수의 오버레이 계측 타겟들의 각각과 연관된 상기 실제 오버레이의 값의 추정은, 기준 계측 시스템에 의한 상기 복수의 오버레이 계측 타겟들의 각각의 측정에 기초하는 것인, 스캐터로메트리 기반 계측 시스템.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 기준 계측 시스템은 스캐닝 전자 현미경(scanning electron microscope: SEM)인 것인, 스캐터로메트리 기반 계측 시스템.

청구항 15

제1항에 있어서,

상기 컴퓨팅 시스템은 또한, 상기 훈련 데이터의 크기를 감소시키는 훈련 데이터량의 변환에 기초하여 훈련 데이터량의 복수의 주요 피쳐들을 결정하도록 구성되고, 상기 측정 모델의 상기 훈련은 상기 훈련 데이터량으로부터 추출된 상기 복수의 주요 피쳐들 및 상기 실제 오버레이의 추정된 값들에 기초하는 것인, 스캐터로메트리 기반 계측 시스템.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 훈련 데이터량의 변환은 주성분 분석(principal component analysis: PCA), 독립 성분 분석(independent component analysis: ICA), 커널 PCA, 비선형 PCA, 고속 푸리에 변환(fast Fourier transform: FFT) 분석, 이산 코사인 변환(discrete cosine transform: DCT) 분석 및 웨이블릿 분석 중 임의의 것을 포함하는 것인, 스캐터로메트리 기반 계측 시스템.

청구항 17

제1항에 있어서,

상기 측정 모델의 상기 훈련은 또한, 상기 훈련 데이터량 및 적어도 하나의 제조 프로세스 변수의 상이한, 알려진 값들에 기초하는 것인, 스캐터로메트리 기반 계측 시스템.

청구항 18

제17항에 있어서,

상기 복수의 계측 타겟들은 또한, 적어도 하나의 관심있는 추가적인 파라미터의 상이한, 알려진 값들로 제조되고, 상기 측정 모델의 상기 훈련은 또한, 상기 훈련 데이터량 및 적어도 하나의 관심있는 추가적인 파라미터의 상이한, 알려진 값들에 기초하는 것인, 스캐터로메트리 기반 계측 시스템.

청구항 19

제18항에 있어서,

상기 적어도 하나의 관심있는 추가적인 파라미터는 프로세스 파라미터, 구조적 파라미터, 분산 파라미터, 및 레이어아웃 파라미터 중 임의의 것을 포함하는 것인, 스캐터로메트리 기반 계측 시스템.

청구항 20

제1항에 있어서,

상기 조명원은 또한, 알려지지 않은 오버레이 에러를 갖는 적어도 하나의 오버레이 계측 타겟을 조명하도록 구성되고, 상기 검출기는 또한, 상기 적어도 하나의 오버레이 계측 타겟으로부터 산란된 광량의 이미지를 검출하도록 구성되고, 상기 컴퓨팅 시스템은 또한, 상기 훈련된 측정 모델 및 상기 적어도 하나의 오버레이 계측 타겟의 상기 검출된 이미지에 기초하여 상기 적어도 하나의 오버레이 계측 타겟과 연관된 실제 오버레이의 값을 추정하도록 구성되는 것인, 스캐터로메트리 기반 계측 시스템.

청구항 21

제20항에 있어서,

상기 컴퓨팅 시스템은 또한, 상기 이미지의 크기를 감소시키는 변환에 기초하여 상기 적어도 하나의 오버레이 계측 타겟의 이미지의 복수의 주요 피쳐들을 결정하도록 구성되고, 상기 적어도 하나의 오버레이 계측 타겟과 연관된 상기 실제 오버레이의 값의 추정은 상기 복수의 주요 피쳐들 및 상기 훈련된 측정 모델에 기초하는 것인, 스캐터로메트리 기반 계측 시스템.

청구항 22

제20항에 있어서,

리소그래피 프로세스 변수의 값은 상기 실제 오버레이의 추정된 값에 기초하여 조정되는, 스캐터로메트리 기반 계측 시스템.

청구항 23

스캐터로메트리 기반 계측 시스템으로서,

복수의 상이한 조명 파장들에서 복수의 오버레이 계측 타겟들의 각각에 임의의 조명 광을 제공하도록 구성된 조명원;

각각의 상이한 조명 파장에서 각각의 오버레이 계측 타겟으로부터 검출기의 복수의 픽셀 상으로 산란된 광량의 이미지를 검출하도록 구성된 검출기 - 상기 산란된 광량은 +1 회절 차수 및 -1 회절 차수를 포함함 -; 및

컴퓨팅 시스템

을 포함하고, 상기 컴퓨팅 시스템은,

각각의 상이한 조명 파장에 대해 상기 +1 회절 차수와 -1 회절 차수 간의 차이에 기초하여 실제 오버레이의 제1 값을 추정하고;

상기 상이한 조명 파장과 연관된 실제 오버레이의 제1 값들로부터 실제 오버레이의 피크 값을 결정하고;

웨이퍼 내의 오버레이 편차를 최소화하는 상기 피크 값과 연관된 파장으로부터의 파장 차이를 결정하고 - 상기 결정된 파장 차이는 상기 피크 값으로부터의 거리임 -; 그리고

상기 피크 값으로부터의 거리에서 상기 오버레이의 측정에 기초하여 실제 오버레이의 제2 값을 추정하도록 구성되는 것인, 스캐터로메트리 기반 계측 시스템.

청구항 24

방법에 있어서,

스캐터로메트리 기반 오버레이 계측 시스템의 광학 조명원에 의해 생성된 제1 조명 광으로 복수의 오버레이 계측 타겟들의 각각을 조명하는 단계 - 상기 복수의 계측 타겟들은 상이한, 알려진 프로그래밍된 오버레이 값들 및 적어도 하나의 제조 프로세스 변수의 상이한, 알려진 값들로 제조됨 -;

상기 제1 조명 광에 응답하여 상기 복수의 오버레이 계측 타겟들의 각각으로부터 산란된 제1 광량을 수집하는 단계;

상기 복수의 오버레이 계측 타겟들의 각각으로부터 상기 스캐터로메트리 기반 계측 시스템의 광학 검출기의 복수의 픽셀들 상으로 수집된 상기 제1 광량의 이미지를 검출하는 단계 - 상기 검출된 이미지 픽셀들은 훈련 데이터량을 포함함 -;

상기 스캐터로메트리 기반 오버레이 계측 시스템의 상기 광학 조명원에 의해 생성된 제2 조명 광으로 상기 복수의 오버레이 계측 타겟들의 각각을 조명하는 단계;

상기 제2 조명 광에 응답하여 상기 복수의 오버레이 계측 타겟들의 각각으로부터 산란된 제2 광량을 수집하는 단계;

상기 복수의 오버레이 계측 타겟들의 각각으로부터 상기 스캐터로메트리 기반 오버레이 계측 시스템의 상기 광학 검출기 상으로 수집된 제2 광량을 나타내는 복수의 신호들을 검출하는 단계;

상기 복수의 오버레이 계측 타겟들의 각각과 연관된 실제 오버레이의 값을 추정하는 단계 - 상기 복수의 오버레이 계측 타겟들의 각각과 연관된 상기 실제 오버레이의 값의 추정은, 상기 제2 조명 광에 응답하여 상기 복수의 오버레이 계측 타겟들의 각각으로부터 산란된 광량을 나타내는 복수의 신호들에 기초함 -; 및

상기 실제 오버레이의 추정된 값들과 상기 훈련 데이터량에 기초하여 측정 모델을 훈련시키는 단계

를 포함하는 방법.

청구항 25

제24항에 있어서,

상기 검출기는 상기 스캐터로메트리 기반 계측 시스템의 퓨필 이미지 평면에 또는 그 부근에 위치되는 것인, 방법.

청구항 26

제24항에 있어서,

상기 측정 모델의 상기 훈련은 또한 상기 훈련 데이터량 및 적어도 하나의 제조 프로세스 변수의 상이한, 알려진 값들에 기초하고, 상기 복수의 계측 타겟들은 또한 적어도 하나의 관심있는 추가적인 파라미터의 상이한, 알려진 값들로 제조되고, 상기 측정 모델의 상기 훈련은 또한 상기 훈련 데이터량 및 적어도 하나의 관심있는 추가적인 파라미터의 상이한, 알려진 값들에 기초하는 것인, 방법.

청구항 27

제24항에 있어서,

상기 계측 타겟들 중 적어도 하나는 적어도 하나의 방향으로 주기성을 갖는 격자 구조들의 어레이를 갖는 단일 셀 계측 타겟인 것인, 방법.

청구항 28

제24항에 있어서,

상기 계측 타겟들 중 적어도 하나는 적어도 두 방향으로 주기성을 갖는 격자 구조들의 어레이를 갖는 단일 셀 계측 타겟인 것인, 방법.

청구항 29

제24항에 있어서,

상기 계측 타겟들 중 적어도 하나는 적어도 하나의 방향으로 둘 이상의 상이한 주기성을 갖는 격자 구조들의 어레이를 갖는 단일 셀 계측 타겟인 것인, 방법.

청구항 30

제24항에 있어서,

상기 제2 조명 광은 복수의 상이한 조명 파장을 포함하고, 상기 복수의 오버레이 계측 타겟들의 각각으로부터 산란된 제2 광량은 +1 회절 차수 및 -1 회절 차수를 포함하고, 상기 복수의 검출된 신호들은 각각의 상이한 조명 파장에서 상기 복수의 오버레이 계측 타겟들의 각각으로부터 수집된 제2 광량을 나타내고, 상기 실제 오버레이의 값을 추정하는 단계는,

각각의 상이한 조명 파장에 대한 +1 회절 차수와 -1 회절 차수 간의 차이에 기초하여 실제 오버레이의 제1 값을 추정하는 단계;

상기 상이한 조명 파장과 연관된 실제 오버레이의 제1 값으로부터 실제 오버레이의 피크 값을 결정하는 단계;

웨이퍼 내의 오버레이 편차를 최소화하는 상기 피크 값과 연관된 파장으로부터의 파장 차이를 결정하는 단계 - 상기 결정된 파장 차이는 상기 피크 값으로부터의 거리임 -;

상기 피크 값으로부터의 거리에서의 오버레이 측정에 기초하여 실제 오버레이의 제2 값을 추정하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 31

제24항에 있어서,

상기 스캐터로메트리 기반 오버레이 계측 시스템의 상기 광학 조명원에 의해 생성된 조명 광으로 적어도 하나의 오버레이 계측 타겟을 조명하는 단계 - 상기 적어도 하나의 계측 타겟은 알려지지 않은 오버레이 에러를 가짐 -;

상기 조명 광에 응답하여 상기 적어도 하나의 오버레이 계측 타겟으로부터 산란된 광량을 수집하는 단계;

상기 적어도 하나의 오버레이 계측 타겟으로부터 상기 스캐터로메트리 기반 계측 시스템의 상기 광학 검출기의 복수의 픽셀들 상으로 수집된 상기 광량의 이미지를 검출하는 단계;

상기 훈련된 측정 모델 및 상기 적어도 하나의 오버레이 계측 타겟의 상기 검출된 이미지에 기초하여 상기 적어도 하나의 오버레이 계측 타겟과 연관된 실제 오버레이의 값을 추정하는 단계; 및

상기 오버레이 값을 메모리에 저장하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 32

제31항에 있어서,

상기 실제 오버레이의 추정된 값에 기초하여 리소그래피 프로세스 변수의 값을 조정하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 33

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 관련 출원에 대한 상호 참조

[0002] 본 특허 출원은 2017년 3월 1일자로 출원되고, 발명의 명칭이 "광학 스캐터로메트리(Scatterometry)를 사용한 프로세스-견고 오버레이 계측을 위한 시스템 및 방법"인 미국 가특허 출원 일련 번호 62/465,163호에 대해 미국 35 U.S.C. § 119 하에서 우선권을 주장하며, 그 청구물은 본원에 참조로 그 전체 내용이 통합된다.

[0003] 기술 분야

[0004] 설명되는 실시예는 계측 시스템 및 방법에 관한 것으로, 보다 구체적으로는 개선된 오버레이 측정을 위한 방법 및 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0005] 로직 및 메모리 디바이스와 같은 반도체 디바이스는 통상적으로 시편(specimen)에 적용되는 프로세싱 단계 시퀀스에 의해 제조된다. 반도체 디바이스의 다양한 피처 및 다중 구조 레벨은 이러한 프로세싱 단계에 의해 형성된다. 예를 들어, 그 중에서 리소그래피는 반도체 웨이퍼 상에 패턴을 생성하는 것을 포함하는 하나의 반도체 제조 프로세스이다. 반도체 제조 프로세스의 추가적인 예는 화학적-기계적 연마, 에칭, 증착 및 이온 주입을 포함하지만 이에 제한되지는 않는다. 복수의 반도체 디바이스가 단일 반도체 웨이퍼 상에 제조된 후 개별 반도체 디바이스로 분리될 수 있다.

[0006] 계측 프로세스는 반도체 제조 프로세스 동안 다양한 단계에서 사용되어 웨이퍼의 결함을 검출하여 더 높은 수율을 촉진한다. 광학 계측 기술은 샘플 파괴의 위험 없이 높은 스루풋을 제공한다. 스캐터로메트리 및 반사 측정 구현 및 연관된 분석 알고리즘을 포함하는 다수의 광학 계측 기반 기술은 통상적으로 임계 치수(critical dimension), 막 두께, 조성, 오버레이 및 나노스케일 구조의 다른 파라미터를 특성화하는 데 사용된다.

[0007] 반도체 디바이스는 종종 기판 상에 일련의 층을 증착함으로써 제조된다. 일부 또는 모든 층은 다양한 패턴화된 구조를 포함한다. 특정 층 내 및 층간 구조의 상대적인 위치는 완성된 전자 디바이스의 성능에 중요하다. 오버레이는 웨이퍼의 동일하거나 상이한 층 상에 놓이거나 인터레이싱된 구조의 상대적인 위치를 지칭한다. 오버레이 에러는 그 위에 놓이거나 인터레이싱된 구조의 공칭(즉, 원하는) 상대 위치로부터의 편차를 지칭한다. 오버레이 에러가 클수록 구조가 오정렬된다. 오버레이 에러가 너무 크면, 제조된 전자 디바이스의 성능이 저하될 수 있다.

[0008] 오버레이 에러는 통상적으로 리소그래피 도구에 의해 웨이퍼 상의 다양한 위치에 형성되는 특수화된 타겟 구조의 측정에 기초하여 평가된다. 전통적으로, 광학 계측 기술이 오버레이 측정을 수행하기 위해 채용되어 왔다. 일부 예에서, 이미지 기반 오버레이(image based overlay: IBO) 계측 기술이 채용된다. IBO 측정은 반사광에 기초하여 특수화된 타겟을 이미징하는 것을 포함한다. 타겟 구조는 박스 구조 또는 바-인-바(bar-in-bar) 구조

의 박스와 같은 많은 형태를 취할 수 있다. 일례에서, 웨이퍼의 한 층에 박스가 생성되고 다른 층에 더 작은 제2 박스가 생성된다. 로컬화된 오버레이 에러는 두 박스의 중심 사이의 정렬을 비교하여 측정된다. 이러한 측정은 타겟 구조가 이용 가능한 웨이퍼 상의 위치에서 수행된다. 오버레이는 측정된 이미지와 다른 층에 인쇄된 타겟 피쳐들 사이의 거리를 추정하기 위해 각 이미지를 프로세싱하여 측정된다.

[0009] 불행하게도, 이러한 특수화된 타겟 구조는 종종 전자 디바이스를 생성하기 위해 채용되는 특정 반도체 제조 프로세스의 설계 규칙을 따르지 않는다. 이는 적용 가능한 설계 규칙에 따라 제조된 실제 디바이스 구조와 연관된 오버레이 에러의 추정시 에러로 이어진다. 예를 들어, IMO 계측은 종종 패턴이 광학 현미경으로 성공적으로 해상하기 위해 설계 규칙 임계 치수를 훨씬 초과하는 임계 치수를 갖는 두꺼운 라인을 가질 것을 필요로 한다.

[0010] 일부 다른 예에서, 오버레이 타겟으로부터 산란되거나 회절된 광이 오버레이를 추정하기 위해 채용된다. 통상적으로 스캐터로메트리 오버레이(scatterometry overlay: SCOL) 또는 회절 기반 오버레이(diffraction based overlay: DBO)로 지칭되는 산란 계측 기반 오버레이 계측 기술은 각각 프로그래밍된 오버레이 오프셋을 갖는 2개의 상이한 타겟으로부터의 회절에 대응하는 광 신호의 차동 측정에 주로 기초한다. 알려지지 않은 오버레이 에러는 이러한 차동 측정에 기초하여 추출된다.

[0011] 대부분의 기존의 스캐터로메트리 기반 방법은 구조의 비대칭에 민감한 메트릭에 기초하여 기반으로 오버레이 에러를 특성화한다. 예를 들어, 기존의 각도-분해 스캐터로메트리 오버레이(SCOL)는 +1과 -1 회절 차수 사이에서 측정된 비대칭에 기초하여 오버레이를 특성화한다. 그러나, 대칭 및 비대칭 편차 모두를 포함하는 프로세스 유도 편차는 오버레이 측정에 상당히 영향을 미치기 때문에 오버레이 에러의 지표로서 비대칭에만 의존하는 것은 문제가 된다. 예를 들어, 측벽 각도 비대칭, 라인 프로파일 비대칭 또는 빔 조명 비대칭과 같은 비대칭 프로세스 편차는 측정 신호에서 오버레이-생성 비대칭에 커플링된다. 이는 오버레이 에러의 부정확한 측정으로 이어진다. 다른 예에서, 막 두께 편차와 같은 대칭 프로세스 편차는 측정 신호에서 오버레이-생성 비대칭에 커플링된다.

[0012] 전통적으로, SCOL 및 DBO의 프로세스 편차에 대한 견고성 부족(즉, 측정된 비대칭에 영향을 미치는 논(non)-오버레이 파라미터의 변화)은 프로세스 편차에 덜 민감한 특정 조명 파장을 선택하고 프로세스 편차에 대한 감도를 줄이기 위해 타겟 설계를 최적화함으로써 해결된다. 불행하게도, 이 두 가지 접근법은 모두 효과에 있어서 제한적이다. 예를 들어, 특정 조명 파장의 선택은 작은 오버레이 측정 에러로 이어질 수 있지만, 전체 프로세스 윈도우의 작은 범위 내에서만 가능하다. 이는 측정을 신뢰할 수 없고 일관되지 않게 만들며, 조명 파장을 자주 재평가해야 할 필요가 있다. 타겟 설계 최적화는 매우 시간 소모적이며 정확한 구조의 모델, 재료 분산 및 광학 시스템을 필요로 한다. 또한 레시피 개발시 마스크와 타겟이 통상적으로 이용될 수 없기 때문에 모델의 정확도를 검증하는 것은 매우 어렵다. 또한, 타겟 최적화는 프로세스 편차에 대한 측정 감도를 감소시킬 수 있지만, 프로세스 편차의 전체 윈도우에 대한 견고성을 완전히 해결하지는 않는다.

[0013] 도 1a 내지 도 1c는 3개의 상이한 조명 파장에서 수행된 SCOL 측정과 연관된 하나의 측정된 회절 차수의 pupils(pupils) 이미지를 나타낸다. 도 1a는 523 나노미터의 조명 파장에서 측정된 회절 차수의 이미지(10)를 도시한다. 도 1b는 579 나노미터의 조명 파장에서 측정된 회절 차수의 이미지(11)를 도시한다. 도 1c는 668 나노미터의 조명 파장에서 측정된 회절 차수의 이미지(12)를 도시한다.

[0014] 도 1b에 나타난 바와 같이, 측정된 이미지(11)는 그 파장에서의 공진으로 인해 이미지의 중간을 통한 아크(arc)에 의해 왜곡된다. 측정된 회절 차수의 전체 강도는 공진 아크뿐만 아니라 결과적인 오버레이 추정에 의해 영향을 받는다. 이미지(10 및 12)는 이러한 왜곡을 나타내지 않으며, 이들 조명 파장과 연관된 결과적인 오버레이 추정이 더 정확하다.

[0015] 도 2는 다양한 파장에 걸쳐 SCOL 시스템에 의한 오버레이 측정의 부정확도의 플롯(13)을 도시한다. 플롯라인(14)은 오버레이 부정확도가 허용할 수 없는 수준으로 급격히 증가하는 3개의 상이한 파장 하위-범위를 도시한다. 포인트(15-17)는 각각 도 1a 내지 도 1c에 나타난 조명 파장에 대응한다. 도 2는 통상적으로 부정확한 전망이라고 칭해진다. 이러한 플롯은 프로세스 편차에 대한 오버레이 부정확도와 견고성을 분석하는 데 유용하다.

[0016] 특정 오버레이 측정 어플리케이션을 위한 레시피 개발에 대한 현재의 접근법은 부정확도가 급격히 증가하는 파장 하위-영역을 피하는 것이다. 그러나, 대칭 및 비대칭 프로세스 편차의 존재는 부정확한 전망의 시프트를 야기하며 이는 적절한 조명 파장의 선택을 복잡하게 한다.

[0017] 도 3은 각각 상이한 값의 라인 프로파일 비대칭과 연관되는 몇몇 부정확 전망의 플롯(20)을 도시한다. 플롯라

인(21)은 라인 프로파일 비대칭이 없는 부정확도를 도시한다. 플롯라인(22)은 2 나노미터의 라인 프로파일 비대칭을 갖는 부정확도를 도시한다. 플롯 라인(23)은 4 나노미터의 라인 프로파일 비대칭을 갖는 부정확도를 도시한다. 플롯 라인(24)은 8 나노미터의 라인 프로파일 비대칭을 갖는 부정확도를 도시한다. 도 3에 나타난 바와 같이, 예를 들어, 인쇄 에러로 인해 구조적 비대칭성이 증가함에 따라, 오버레이 측정의 유도된 부정확도의 진폭이 증가한다. 이 예에서, 부정확도의 증가는 라인 프로파일 비대칭의 진폭에 선형적으로 비례한다.

[0018] 도 4는 각각 오버레이 구조의 높이 편차, 대칭 프로세스 편차의 상이한 값과 연관되는 몇몇 부정확도 전망의 플롯(30)을 도시한다. 플롯라인(31)은 높이 편차를 갖지 않는 부정확도를 도시한다. 플롯 라인(32)은 +6 나노미터의 높이 편차를 갖는 부정확도를 도시한다. 플롯 라인(33)은 -6 나노미터의 높이 편차를 갖는 부정확도를 도시한다. 도 4에 나타난 바와 같이, 대칭 프로세스 편차가 변함에 따라, 부정확도 전망이 파장에서 시프트한다.

[0019] 도 3 및 도 4는 오버레이 부정확도가 대칭 및 비대칭 편차에 의존한다는 것을 나타낸다. 오버레이 에러는 비대칭 프로세스 편차에 의해 증폭되고 대칭 프로세스 편차에 의해 파장에서 시프트한다. 오버레이 부정확도의 피크는 대칭 프로세스 편차가 존재하는 경우 특정 파장에 고정되지 않는다. 결과적으로, 특정의 부정확도 전망에 기초한 적절한 조명 파장의 선택은 비대칭 및 대칭 프로세스 편차의 존재에서 부적절한 것으로 드러날 수 있다. 다양한 범위의 대칭 및 비대칭 프로세스 편차를 포함하는 다수의 부정확도 전망에 비추어 조명 파장을 선택함으로써 이러한 위험을 경감하려고 시도할 수 있지만, 일부 예에서, 편차는 너무 커서 충분히 정확한 오버레이 측정으로 이어지는 조명 파장이 존재하지 않는다. 결과적으로, 일부 경우에, 조명 파장의 선택에 기초하여 오버레이 측정 레시피를 생성하는 것이 불가능하다.

[0020] 부정확도 전망에 대한 추가 설명은 2016년 3월 24일자로 발행된 Bringholz, Barak, 등의 "광학 오버레이 계측의 정확도" Proc. of SPIE, Vol 9778, 9778H-1-19에 제시되어 있으며, 그 청구물은 참조로 본원에 그 전체 내용이 통합된다.

[0021] 종래의 SCOL 및 DBO 기술은 두 방향(즉, 서로 다른 방향과 연관된 2개의 셀)에서 오버레이를 측정하기 위해 4개의 다른 타겟(예를 들어, 4개의 다른 셀을 갖는 계측 타겟)을 필요로 한다. 이는 웨이퍼 상의 이동-획득-측정(move-acquire-measure: MAM) 시간 및 타겟 영역을 증가시킨다.

[0022] 또한, 종래의 SCOL 및 DBO 기술의 오버레이 정확도는 광학 시스템 편차 및 수차(aberration)에 의해 상당히 영향을 받는다. 이는 정확한 오버레이 측정과 충분히 정확한 도구 매칭을 달성하기 어렵게 한다.

[0023] 장래의 오버레이 계측 어플리케이션은 점점 더 작은 해상도 요건 및 점점 더 높은 웨이퍼 면적의 값으로 인한 계측에 대한 과제를 제시한다. 따라서, 개선된 오버레이 측정을 위한 방법 및 시스템이 요구된다.

발명의 내용

과제의 해결 수단

[0024] 훈련된 측정 모델에 기초한 견고한 오버레이 에러 측정을 위한 방법 및 시스템이 본원에 설명된다. 측정 모델은 실험 설계(Design of Experiments: DOE) 웨이퍼로부터 수집된 미가공 스캐터로메트리 데이터로부터 스캐터로메트리 기반 오버레이 계측 시스템에 의해 훈련된다. 각 측정 사이트는 프로그래밍된 오버레이 편차 및 알려진 프로세스 편차로 제조된 하나 이상의 계측 타겟을 포함한다. 각 측정 사이트는 알려진 계측 시스템 편차로 측정된다. 이러한 방식으로, 측정 모델은 오버레이 측정에 영향을 미치는 프로세스 편차 및 계측 시스템 편차로부터 실제 오버레이를 분리하도록 훈련된다. 결과적으로, 훈련된 측정 모델에 의한 실제 오버레이의 추정은 프로세스 편차 및 계측 시스템 편차에 대해 견고하다.

[0025] 종래의 모델 기반 계측 방법과 연관된 에러 및 근사화는 측정 모델을 생성하기 위해 미가공 스캐터로메트리 데이터만을 사용함으로써 감소된다. 또한, 측정 모델이 특정 계측 시스템으로부터 수집된 스캐터로메트리 데이터를 기반으로 훈련되고 동일한 계측 시스템으로부터 수집된 스캐터로메트리 데이터를 기반으로 측정을 수행하는 데 사용되므로 측정 모델은 시스템의 에러, 비대칭 등에 민감하지 않다.

[0026] 일 양태에서, 프로그래밍된 오버레이 편차의 최적화된 세트는 하나 이상의 DOE 웨이퍼 상의 위치의 함수로서 제조된다. 일부 예에서, 오버레이 측정에서의 편차를 유도하는 하나 이상의 프로세스 파라미터의 크로스-웨이퍼 편차 및 하나 이상의 구조적 파라미터의 크로스-웨이퍼 편차가 또한 DOE 웨이퍼 상의 위치의 함수로서 제조된다.

[0027] 추가의 양태에서, DOE는 훈련 데이터를 생성하기 위해 DOE 계측 타겟을 측정하기 위해 채용된 스캐터로메트리

측정 시스템(들)과 연관된 하나 이상의 시스템 파라미터 값의 상이한 값의 범위를 포함한다.

- [0028] 다른 양태에서, 각각의 제조된 계측 타겟과 연관된 실제 오버레이의 값은 제로 에러 오버레이(zero error overlay: ZEO) 추정 방법을 채용하여 스캐터로메트리 오버레이 측정 시스템 자체로 각각의 제조된 계측 타겟의 일련의 측정에 기초하여 추정된다. ZEO 방법은 몇 가지 다른 조명 파장에서 수행된 SCOL 오버레이 측정으로부터 오버레이를 보다 정확하게 추정하기 위해 채용된다.
- [0029] 다른 양태에서, 각각의 측정 사이트는 적어도 하나의 방향으로 주기성을 갖는 격자 구조의 어레이를 갖는 단일 셀 계측 타겟을 포함한다. 따라서, 단일 셀 계측 타겟의 스캐터로메트리 측정은 적어도 하나의 방향으로 오버레이에 민감하다. 일부 실시예에서, 단일 셀 계측 타겟은 적어도 두 방향으로 주기성을 갖는 격자 구조의 어레이를 포함한다. 따라서, 단일 셀 타겟의 측정은 두 방향으로의 오버레이에 민감하다. 일반적으로, 측정된 오버레이 구조는 기관의 동일한 층 또는 다른 층 상에 위치될 수 있다.
- [0030] 추가의 양태에서, 단일 셀 계측 타겟은 적어도 하나의 방향으로 둘 이상의 상이한 주기성을 갖는 격자 구조의 어레이를 포함한다. 예를 들어, 최상부 층의 격자 및 하층의 격자는 더 작은 피치 격자 또는 디바이스형 구조로 분할될 수 있다.
- [0031] 다른 양태에서, 훈련된 측정 모델이 알려지지 않은 오버레이 값을 갖는 다른 타겟의 측정을 위한 측정 모델로서 채용된다.
- [0032] 추가의 양태에서, 본원에 설명되는 방법 및 시스템은 오버레이 에러의 측정에만 제한되지 않는다. 일반적으로, 본원에 설명되는 스캐터로메트리-기반 측정 기술은 다른 프로세스, 구조, 분산 파라미터, 또는 이들 파라미터의 임의의 조합의 측정에 적용될 수 있다. 비제한적인 예로서, 프로파일 지오메트리(geometry) 파라미터(예를 들어, 임계 치수), 프로세스 파라미터(예를 들어, 초점 및 선량), 분산 파라미터, 피치 워크(pitch walk) 또는 임의의 파라미터 조합이 측정될 수 있다. 관심 있는 각 파라미터에 대해 프로그래밍된 편차를 갖는 훈련 타겟의 세트가 제공되어야 한다. 측정 모델은 그 후 관심 있는 각 파라미터의 프로그래밍된 편차 범위를 포함하는 측정 사이트에서 수집된 스캐터로메트리 데이터에 기초하여 훈련된다.
- [0033] 다른 추가적인 양태에서, 측정 모델을 훈련시키기 위한 방법 및 시스템은 훈련된 측정 모델에 도달하는데 필요한 임의의 또는 모든 요소를 자동화하기 위한 최적화 알고리즘을 포함한다.
- [0034] 또 다른 추가적인 양태에서, 모델 구축, 훈련 및 측정을 위해 복수의 상이한 타겟으로부터의 스캐터로메트리 측정 데이터가 수집된다. 상이한 구조를 갖지만 동일한 프로세스 조건 및 프로그래밍된 오버레이 값에 의해 형성된 복수의 타겟과 연관된 측정 데이터의 사용은 모델에 내장된 정보를 증가시키고 프로세스 또는 다른 파라미터 편차에 대한 오버레이 상관을 감소시킨다.
- [0035] 다른 추가적인 양태에서, 하나 이상의 측정 시스템 파라미터의 복수의 값에서 수행된 측정으로부터 도출된 측정 데이터는 모델 구축, 훈련 및 측정을 위해 수집된다. 비제한적인 예로서, 복수의 조명 파장, 편광 등에서 수행된 측정은 측정 모델을 훈련시키고 본원에 설명되는 훈련된 측정 모델을 사용하여 측정을 수행하기 위해 채용된다.
- [0036] 다른 추가적인 양태에서, 복수의 상이한 측정 기술의 조합에 의해 수행되는 측정으로부터 도출된 측정 데이터는 모델 구축, 훈련 및 측정을 위해 수집된다. 복수의 상이한 측정 기술과 연관된 측정 데이터의 사용은 조합된 신호 세트의 정보 콘텐츠를 증가시키고 프로세스 또는 다른 파라미터 편차에 대한 오버레이 상관을 감소시킨다.
- [0037] 다른 양태에서, 본원에 설명되는 측정 모델 결과는 프로세스 도구(예를 들어, 리소그래피 도구, 에칭 도구, 증착 도구 등)에 능동적 피드백을 제공하기 위해 사용될 수 있다. 예를 들어, 본원에 설명되는 방법들을 사용하여 결정된 오버레이 에러의 값은 리소그래피 도구로 전달되어 리소그래피 시스템을 조정하여 원하는 출력을 달성할 수 있다. 유사한 방식으로 에칭 파라미터(예를 들어, 에칭 시간, 확산 성 등) 또는 증착 파라미터(예를 들어, 시간, 농도 등)가 각각 에칭 도구 또는 증착 도구에 능동 피드백을 제공하기 위해 측정 모델에 포함될 수 있다.
- [0038] 상술한 내용은 개요이므로 필요에 의해 간략화, 일반화 및 상세 사항의 생략을 포함하며; 따라서, 본 기술 분야의 통상의 기술자는 개요가 단지 예시적이고 어떠한 방식으로든 제한적이지 않음을 이해할 것이다. 본원에 설명되는 디바이스 및/또는 프로세스의 다른 양태, 발명의 피처 및 이점은 본원에 기재된 비제한적인 상세한 설명에서 명백해질 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0039] 도 1a 내지 도 1c는 3개의 상이한 조명 파장에서 수행된 SCOL 측정과 연관된 하나의 측정된 회절 차수의 푸릴 이미지를 나타낸다.
- 도 2는 넓은 범위의 파장에 걸쳐 SCOL 시스템에 의한 오버레이 측정의 부정확도의 플롯을 도시한다.
- 도 3은 각각 상이한 값의 라인 프로파일 비대칭과 연관된 몇몇 부정확도 전망의 플롯을 도시한다.
- 도 4는 각각 대칭 프로세스 편차의 상이한 값과 연관된 몇몇 부정확도 전망의 플롯을 도시한다.
- 도 5는 본원에 제시되는 예시적인 방법에 따라 오버레이 에러를 측정하기 위한 시스템(100)을 나타낸다.
- 도 6은 본 발명의 도 5에 나타난 계측 시스템(100)과 같은 계측 시스템에 의한 구현에 적절한 방법을 나타낸다.
- 도 7은 본 발명의 도 5에 나타난 계측 시스템(100)과 같은 계측 시스템에 의한 구현에 적합한 방법을 도시한다.
- 도 8은 일 실시예에서의 단일 셀 오버레이 계측 타겟의 예시를 도시한다.
- 도 9는 다른 실시예에서의 단일 셀 오버레이 계측 타겟의 예시를 도시한다.
- 도 10은 파장의 함수로서 다수의 오버레이 에러 측정을 포함하는 플롯을 도시한다.
- 도 11은 파장의 함수로서 보간된 R-곡선을 포함하는 플롯을 나타낸다.
- 도 12는 파장의 함수로서 다수의 R-곡선을 포함하는 플롯을 나타낸다.
- 도 13은 상이한 파장에서 SCOL 계측 시스템에 의해 수행되는 일련의 측정과 연관된 오버레이 추정 곡선 및 R-곡선을 나타내는 플롯을 도시한다.
- 도 14는 피크 위치로부터 상이한 거리에서 평가된 측정된 오버레이의 웨이퍼-내 편차와 각각 연관된 포인트 세트의 플롯을 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0040] 이하 본 발명의 배경 예 및 일부 실시예를 상세하게 참조할 것이며, 그 예는 첨부 도면에 나타내어져 있다.
- [0041] 훈련된 측정 모델에 기초한 견고한 오버레이 에러 측정을 위한 방법 및 시스템이 본원에 설명된다. 측정 모델은 스캐터로메트리 기반 오버레이 계측 시스템에 의해 실험 설계(Design of Experiments: DOE) 웨이퍼로부터 수집된 미가공 스캐터로메트리 데이터로부터 훈련된다. 각 측정 사이트는 프로그래밍된 오버레이 편차 및 알려진 프로세스 편차로 제조된 하나 이상의 계측 타겟을 포함한다. 각 측정 사이트는 스캐터로메트리 기반 오버레이 계측 시스템이 민감한 알려진 계측 시스템 편차(즉, 측정 시스템 파라미터 값)로 측정된다. 이러한 방식으로, 측정 모델은 오버레이 측정에 영향을 미치는 프로세스 편차 및 계측 시스템 편차로부터 실제 오버레이를 분리하도록 훈련된다. 따라서 훈련된 측정 모델에 의한 실제 오버레이의 추정은 프로세스 편차 및 계측 시스템 편차에 견고하다. 결과적으로, 실제 오버레이의 추정은 타겟 설계 최적화없이 넓은 조명 파장 걸쳐 일관되고 정확하다.
- [0042] 본원에 설명되는 바와 같이, 측정 모델을 생성하기 위해 미가공 스캐터로메트리 데이터만을 사용함으로써, 전통적인 모델 기반 계측 방법과 연관된 에러 및 근사치가 감소된다. 또한, 측정 모델은 특정 계측 시스템으로부터 수집된 스캐터로메트리 데이터를 기반으로 훈련되고 동일한 계측 시스템으로부터 수집된 스캐터로메트리 데이터를 기반으로 측정을 수행하는 데 사용되므로, 측정 모델은 체계적인 에러, 비대칭 등에 민감하지 않다.
- [0043] 도 5는 본원에 제시된 예시적인 방법에 따라 오버레이 에러를 측정하기 위한 시스템(100)을 나타낸다. 도 5에 나타난 바와 같이, 시스템(100)은 시편(specimen)(107)의 하나 이상의 구조의 스캐터로메트리 오버레이(SCOL) 측정을 수행하는 데 사용될 수 있다. 이 양태에서, 시스템(100)은 조명기(101) 및 이미징 검출기(111)가 장착된 스캐터로미터를 포함할 수 있다. 시스템(100)의 조명기(101)는 시편(107)의 표면 상에 배치된 구조체에 대해 선택된 파장 또는 파장 범위(예를 들어, 100-2500 nm)의 조명을 생성하여 지향시키도록 구성된다. 그 후, 이미징 검출기(111)는 시편(107)의 표면으로부터 산란된 조명을 수신하도록 구성된다. 일부 실시예에서, 조명기(101)는 적어도 하나의 레이저를 포함한다. 이들 실시예 중 일부에서, 레이저는 컴퓨팅 시스템(130)으로부터 수신된 커맨드 신호에 기초하여 조명 파장을 선택할 수 있다.

- [0044] 도 5에 도시된 실시예에서, 시스템(100)은 조명 경로에 파장 선택 디바이스(102), 빔 성형 디바이스(103) 및 편광 제어 디바이스(104)를 포함한다. 파장 선택 디바이스(102)는 원하는 조명 파장 또는 파장 범위를 선택적으로 통과시키고 다른 조명 파장을 거부하도록 구성된 하나 이상의 광학 요소(예를 들어, 광학 필터 등)를 포함한다. 일부 실시예에서, 파장 선택 디바이스(102)는 컴퓨팅 시스템(130)에 의해 제어된다. 이들 실시예에서, 컴퓨팅 시스템(130)은 원하는 파장 또는 파장의 범위를 나타내는 제어 커맨드를 파장 선택 디바이스(102)에 전달하도록 구성된다. 이에 응답하여, 파장 선택 디바이스(102)는 원하는 파장 또는 파장 범위를 선택적으로 통과시킨다. 빔 성형 디바이스(103)는 시편(107)의 표면에 제공된 조명 빔을 형성하도록 구성된 하나 이상의 광학 요소를 포함한다. 일부 실시예에서, 빔 성형 디바이스(103)는 컴퓨팅 시스템(130)에 의해 제어된다. 이들 실시예에서, 컴퓨팅 시스템(130)은 원하는 빔 형상을 나타내는 제어 커맨드를 빔 성형 디바이스(103)로 전달하도록 구성된다. 이에 응답하여, 빔 성형 디바이스(103)는 시편(107)의 표면에 제공되는 원하는 조명 빔 형상을 달성하기 위해 조명 빔을 선택적으로 재성형한다. 일부 실시예에서, 조명기(101)로부터 방출되는 조명 광은 편광 제어 디바이스(104)에 의해 편광되어 시편(107)에 제공되는 편광된 조명 빔을 생성한다. 일부 실시예에서, 편광 제어 디바이스(104)는 컴퓨팅 시스템(130)에 의해 제어된다. 이들 실시예에서, 컴퓨팅 시스템(130)은 원하는 편광을 나타내는 제어 커맨드를 편광 제어 디바이스(104)로 전달하도록 구성된다. 이에 응답하여, 편광 제어 디바이스(104)는 원하는 편광 상태를 달성하기 위해 조명 광을 선택적으로 편광시킨다. 조명 빔(112)은 조명 빔(112)을 대물 렌즈(106)을 향해 지향시키는 빔 스플리터 요소(105)로, 그리고 시편(107)의 표면 상으로 지향된다. 시편(107) 상에 배치된 측정 하에서 계측 타겟(108)에 의해 산란된 방사선은 대물 렌즈(106)에 의해 수집되고 빔 스플리터 요소(105)를 통과한다. 일부 실시예에서, 수집된 광(113)은 이미징 검출기(111)에 제공된 분석된 수집 빔을 생성하기 위해 편광 분석기 디바이스(109)에 의해 분석된다. 일부 실시예에서, 편광 분석기 디바이스(109)는 컴퓨팅 시스템(130)에 의해 제어된다. 수집된 광(113)은 수집된 광(113)을 이미징 검출기(111) 상으로 이미징하는 포커싱 광학 기기(110)로 지향된다. 이미징 검출기(111)는 시편(107)의 표면에 쌍을 이루는 픽셀 평면에 위치된다. 측정된 픽셀 이미지(120)는 측정 중인 계측 타겟의 분석을 위해 컴퓨팅 시스템(130)으로 전달된다.
- [0045] 추가의 실시예에서, 시스템(100)은 본원에 설명되는 방법에 따라 개발된 훈련된 측정 모델에 기초하여 오버레이 측정을 수행하도록 채용되는 하나 이상의 컴퓨팅 시스템(130)을 포함할 수 있다. 하나 이상의 컴퓨팅 시스템(130)은 이미징 검출기(111)에 통신 가능하게 커플링될 수 있다. 일 양태에서, 하나 이상의 컴퓨팅 시스템(130)은 시편(107) 상에 배치된 계측 타겟의 측정과 연관된 측정 데이터(120)를 수신하도록 구성된다.
- [0046] 본 개시 전반에 걸쳐 설명되는 다양한 단계들은 단일 컴퓨터 시스템(130) 또는 대안적으로 복수의 컴퓨터 시스템(130)에 의해 수행될 수 있음을 인식해야 한다. 또한, 이미징 검출기(111)와 같은 시스템(100)의 다른 서브 시스템들은 본원에 설명되는 단계들 중 적어도 일부를 수행하기에 적절한 컴퓨터 시스템을 포함할 수 있다. 따라서, 상술한 설명은 본 발명을 제한하는 것이 아니라 단지 예시로서 해석되어야 한다. 또한, 하나 이상의 컴퓨팅 시스템(130)은 본원에 설명되는 임의의 방법 실시예의 임의의 다른 단계(들)를 수행하도록 구성될 수 있다.
- [0047] 또한, 컴퓨터 시스템(130)은 본 기술 분야에 알려진 임의의 방식으로 이미징 검출기(111)에 통신 가능하게 커플링될 수 있다. 예를 들어, 하나 이상의 컴퓨팅 시스템(130)은 이미징 검출기(111)와 연관된 컴퓨팅 시스템에 커플링될 수 있다. 다른 예에서, 이미징 검출기(111)는 컴퓨터 시스템(130)에 커플링된 단일 컴퓨터 시스템에 의해 직접 제어될 수 있다.
- [0048] 오버레이 계측 시스템(100)의 컴퓨터 시스템(130)은 유선 및/또는 무선 부분을 포함할 수 있는 송신 매체에 의해 시스템의 서브시스템(예를 들어, 이미징 검출기(111) 등)으로부터 데이터 또는 정보를 수신 및/또는 획득하도록 구성될 수 있다. 이러한 방식으로, 송신 매체는 컴퓨터 시스템(130)과 시스템(100)의 다른 서브시스템 사이의 데이터 링크로서의 역할을 할 수 있다.
- [0049] 오버레이 계측 시스템(100)의 컴퓨터 시스템(130)은 유선 및/또는 무선 부분을 포함할 수 있는 송신 매체에 의해 다른 시스템으로부터 데이터 또는 정보(예를 들어, 측정 결과, 모델링 입력, 모델링 결과 등)를 수신 및/또는 획득하도록 구성될 수 있다. 이러한 방식으로, 송신 매체는 컴퓨터 시스템(130)과 다른 시스템(예를 들어, 메모리 온-보드 계측 시스템(100), 외부 메모리, 기준 측정원 또는 다른 외부 시스템) 사이의 데이터 링크로서의 역할을 할 수 있다. 예를 들어, 컴퓨팅 시스템(130)은 데이터 링크를 통해 저장 매체(즉, 메모리(132) 또는 외부 메모리)로부터 측정 데이터를 수신하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 이미징 검출기(111)를 사용하여 획득된 측정 결과는 영구 또는 반영구 메모리 디바이스(예를 들어, 메모리(132) 또는 외부 메모리)에 저장될 수 있다. 이와 관련하여, 측정 결과는 온-보드 메모리 또는 외부 메모리 시스템으로부터 가져올 수 있다. 또한,

컴퓨터 시스템(130)은 송신 매체를 통해 다른 시스템으로 데이터를 전송할 수 있다. 예를 들어, 컴퓨터 시스템(130)에 의해 결정된 측정 모델 또는 오버레이 파라미터(121)는 전달되어 외부 메모리에 저장될 수 있다. 이와 관련하여, 측정 결과를 다른 시스템으로 내보낼 수 있다.

- [0050] 컴퓨팅 시스템(130)은 퍼스널 컴퓨터 시스템, 메인프레임 컴퓨터 시스템, 워크스테이션, 이미지 컴퓨터, 병렬 프로세서 또는 본 기술 분야에 알려진 임의의 다른 디바이스를 포함할 수 있지만, 이에 제한되지는 않는다. 일반적으로, "컴퓨팅 시스템"이라는 용어는 메모리 매체로부터의 명령을 실행하는 하나 이상의 프로세서를 갖는 임의의 디바이스를 포함하도록 광범위하게 정의될 수 있다.
- [0051] 본원에 설명되는 것과 같은 방법을 구현하는 프로그램 명령(134)은 유선, 케이블 또는 무선 송신 링크와 같은 송신 매체를 통해 송신될 수 있다. 예를 들어, 도 5에 나타난 바와 같이, 메모리(132)에 저장된 프로그램 명령(134)은 버스(133)를 통해 프로세서(131)로 송신된다. 프로그램 명령(134)은 컴퓨터 판독 가능 매체(예를 들어, 메모리(132))에 저장된다. 예시적인 컴퓨터-판독 가능 매체는 판독-전용 메모리, 랜덤 액세스 메모리, 자기 또는 광 디스크, 또는 자기 테이프를 포함한다.
- [0052] 도 6은 본 발명의 도 5에 나타내어진 계측 시스템(100)과 같은 계측 시스템에 의해 구현하기에 적절한 방법(200)을 나타낸다. 일 양태에서, 방법(200)의 데이터 프로세싱 블록들은 컴퓨팅 시스템(130)의 하나 이상의 프로세서들 또는 임의의 다른 범용 컴퓨팅 시스템에 의해 실행되는 사전-프로그래밍된 알고리즘을 통해 수행될 수 있다는 것이 인식된다. 계측 시스템(100)의 특정 구조적 양태는 제한을 나타내지 않으며 단지 예시적인 것으로 해석되어야 한다는 것이 본원에서 인식된다.
- [0053] 블록(201)에서, 복수의 오버레이 계측 타겟 각각은 스캐터로메트리 기반 오버레이 계측 시스템의 광학 조명원(예를 들어, 조명기(101))에 의해 생성된 조명 광으로 조명된다. 복수의 계측 타겟은 상이한, 알려진, 프로그램된 오버레이 값 및 적어도 하나의 제조 프로세스 변수의 상이한, 알려진 값으로 제조된다.
- [0054] 일반적으로, 훈련에 사용되는 계측 타겟은 하나 이상의 실험 설계(DOE) 웨이퍼 상에서 제조된다. 각각의 DOE 웨이퍼는 알려진, 프로그램된 오버레이로 노출된다. 프로그램된 오버레이는 DOE 웨이퍼의 필드 내, DOE 웨이퍼의 다른 필드들 사이 또는 다른 DOE 웨이퍼들 사이에서 다른 값을 가질 수 있다. 통상적으로, 프로그램된 오버레이 편차 범위는 오버레이의 예상 편차(즉, 오버레이 프로세스 윈도우)와 같거나 더 크게 설계된다.
- [0055] 일부 실시예에서, 오버레이의 편차는 반도체 웨이퍼(예를 들어, DOE 웨이퍼)의 표면 상의 실험 설계(DOE) 패턴으로 구성된다. 이러한 방식으로, 측정 사이트는 상이한 오버레이 값에 대응하는 웨이퍼 표면 상의 상이한 위치를 조회한다.
- [0056] 일부 실시예에서, 프로그램된 오버레이 편차는 임의의 예상되는 프로세스 편차 및 구조적 파라미터 편차와의 상관을 최소화하도록 설계된다. 또한 프로그램된 오버레이 편차는 다른 오버레이 구조의 편차(예를 들어, 다른 방향으로 오버레이, 더 깊은 레이어의 오버레이 등)와의 상관 관계를 최소화하도록 설계된다.
- [0057] 일 양태에서, 하나 이상의 DOE 웨이퍼 상의 프로그램된 오버레이 편차 및 그 위치의 최적화된 세트는 예를 들어, 컴퓨팅 시스템(130)에 의해 결정된다. 일례에서, 컴퓨팅 시스템(130)은 오버레이 편차의 예상되는 범위에 달하는 프로그램된 오버레이 값의 세트를 정의하도록 구성된다. 예를 들어, 프로그램된 오버레이 값들의 세트는 1 나노미터의 해상도로 x-방향으로 -10 나노미터로부터 10 나노미터까지(즉, $\text{ProgrammedOverlayX} = \{-10 \text{ nm}, -9 \text{ nm}, \dots, 0 \text{ nm}, \dots, 9 \text{ nm}, 10 \text{ nm}\}$) 및 1 나노미터의 해상도로 y-방향으로 -10 나노미터로부터 10 나노미터까지(즉, $\text{ProgrammedOverlayY} = \{-10 \text{ nm}, -9 \text{ nm}, \dots, 0 \text{ nm}, \dots, 9 \text{ nm}, 10 \text{ nm}\}$)의 프로그램된 오버레이 값들의 범위를 포함할 수 있다.
- [0058] 이 예에서, 컴퓨팅 시스템(130)은 오버레이 측정에서의 편차를 유도하는 하나 이상의 프로세스 파라미터의 크로스-웨이퍼 편차 및 하나 이상의 구조적 파라미터의 크로스-웨이퍼 편차를 결정하도록 추가로 구성된다. 이러한 방식으로, 프로세스 편차 및 구조적 파라미터 편차는 DOE 웨이퍼 상의 위치(예를 들어, $\{x, y\}$ 좌표)의 함수로서 결정된다.
- [0059] 컴퓨팅 시스템(130)은 프로그램된 각각의 오버레이 값(예를 들어, $\{\text{ProgrammedOverlayX}, \text{ProgrammedOverlayY}\}$ 의 맵 값)의 위치를 상이한 $\{x, y\}$ 웨이퍼 좌표에 할당하도록 추가로 구성된다. 위치의 할당은, 프로그램된 오버레이와 프로세스 편차 사이의 상관이 최소화되도록 최적화된다.
- [0060] 컴퓨팅 시스템(130)은 프로그램된 오버레이 값 및 그 할당된 웨이퍼 좌표를 오버레이 DOE로서 리소그래피 도구(즉, 스캐너 레시피)에 전달하도록 추가로 구성된다. 그 후, 리소그래피 도구는 프로그램된 오버레이 값을

원하는 위치에서 DOE 웨이퍼(들) 상에 인쇄한다.

- [0061] 일반적으로, DOE 웨이퍼 세트는 적어도 하나의 제조 프로세스 변수의 알려진 값으로 제조된다. 일부 실시예에서, 계측 타겟을 포함하는 웨이퍼의 하나 이상의 층은 리소그래피 초점 및 적량(dosage)의 프로그래밍된 값으로 제조된다. 그러나, 더 많은 수의 제조 프로세스 변수의 알려진 값으로 DOE 웨이퍼 세트를 제조함으로써 훈련된 측정 모델의 견고성이 증가된다. 이상적으로, DOE 웨이퍼 세트는 모든 프로세스 및 구조적 파라미터의 프로세스 윈도우에 걸쳐 알려진 값으로 제조된다. 그러나, 제조 시간 및 측정 시간에 대한 실질적인 제한은 DOE 세트 내에서 고려될 프로세스 및 구조적 변수의 수에 대한 제한을 부과한다.
- [0062] 일례에서, DOE 웨이퍼 세트는 바닥 격자 구조의 임계 치수(critical dimension: CD)의 프로그래밍된 값의 넓은 범위를 포함한다. 바닥 격자 구조는 바닥 격자 패턴을 형성하기 위해 채용되는 리소그래피 단계에서 상이한 리소그래피 적량 값으로 반복적으로 제조된다.
- [0063] 다른 예에서, DOE 웨이퍼 세트는 격자 오버레이 구조에 대해 초점, 적량, x-방향으로의 오버레이 및 y-방향으로의 오버레이의 프로그래밍된 값의 범위, 및 이전 격자 층에 대해 초점 및 적량의 프로그래밍된 값의 범위를 포함한다.
- [0064] 다른 예에서, DOE 웨이퍼 세트는 각 프로세스 단계(예를 들어, 증착, 에칭, 화학 기계적 연마 등)에서 프로세스 파라미터 값의 범위를 포함한다.
- [0065] 추가의 양태에서, DOE는 스캐터로메트리 측정 시스템 또는 훈련 데이터를 생성하도록 DOE 계측 타겟을 측정하기 위해 채용되는 시스템과 연관된 하나 이상의 시스템 파라미터 값의 상이한 값의 범위를 포함한다. 결과적으로, 훈련된 측정 모델은 측정 시스템 편차(예를 들어, 광학 시스템 편차)에 대해 견고하다. 일례에서, 각각의 계측 타겟의 측정과 연관된 광학 스캐터로메트리 신호는 복수의 상이한 시스템 조건에서 수집된 신호를 포함한다. 예를 들어, 수집된 광 신호는 복수의 파장 및 복수의 편광으로부터의 신호를 포함할 수 있다.
- [0066] 블록(202)에서, 조명 광에 응답하여 복수의 오버레이 계측 타겟 각각으로부터 산란된 광량은, 예를 들어, 도 5에 도시된 스캐터로메트리 오버레이 측정 시스템(100)의 수집 광학 기기에 의해 수집된다.
- [0067] 블록(203)에서, 복수의 오버레이 타겟 각각으로부터 수집된 광량의 이미지는 스캐터로메트리 기반 계측 시스템의 광학 검출기의 복수의 픽셀에 의해 검출된다. 각각의 상이한 측정 시스템 구성에서 측정된 DOE 웨이퍼 세트의 각각의 계측 타겟의 측정과 연관된 검출된 광 신호는 일정량의 훈련 데이터를 포함한다.
- [0068] 도 5에 도시된 실시예에서, 이미징 검출기(111)의 광학적으로 민감한 영역은 스캐터로메트리 기반 계측 시스템(100)의 퓨필 이미지 평면에 또는 그 부근에 위치된다. 따라서, 시스템(100)은 각각의 측정된 계측 타겟으로부터 회절된 광의 퓨필 이미지를 수집한다. 일부 실시예에서, 시스템(100)은 각각의 측정된 계측 타겟으로부터 +1/-1 회절 차수에서 회절된 광의 퓨필 이미지를 수집한다.
- [0069] 블록(204)에서, 복수의 오버레이 계측 타겟 각각과 연관된 실제 오버레이의 값이 추정된다.
- [0070] 일부 예에서, 각 계측 타겟과 연관된 실제 오버레이의 값은 각 계측 타겟과 연관된 알려진, 프로그래밍된 오버레이 값인 것으로 추정된다.
- [0071] 일부 다른 예들에서, 각각의 계측 타겟과 연관된 실제 오버레이의 값은 신뢰되는 기준 계측 시스템으로의 각 계측 타겟의 측정에 의해 추정된다. 예를 들어, 임계 치수, 스캐닝 전자 현미경(critical dimension, scanning electron microscope: CD-SEM), X-선 강화 SEM, 광학 임계 치수 도구, 투과 전자 현미경(transmission electron microscope: TEM) 및 소각 X-선 스캐터로메트리(small angle X-ray scatterometry: SAXS) 도구 중 임의의 것이 기준 계측 시스템으로서 채용될 수 있다. 일례에서, 실제 오버레이의 값은 복수의 방위각에서 SCOL 또는 IBO 측정을 수행하고 도구 유도 시프트(tool induced shift: TIS) 에러를 감산함으로써 추정된다.
- [0072] 다른 양태에서, 각각의 제조된 계측 타겟과 연관된 실제 오버레이의 값은 본원 설명되는 제로 에러 오버레이(zero error overlay: ZEO) 추정 방법을 채용하여 스캐터로메트리 오버레이 측정 시스템 자체로 각각의 제조된 계측 타겟의 일련의 측정에 기초하여 추정된다.
- [0073] ZEO 방법은 몇몇 상이한 조명 파장에서 수행된 SCOL 오버레이 측정에서 오버레이를 보다 정확하게 추정하기 위해 채용된다. 목적은 SCOL 오버레이 측정 곡선에서의 피크(즉, 피크 값으로부터의 특정 거리)를 참조하여 제로 에러 오버레이 위치를 얻는 것이다. SCOL 오버레이 곡선의 피크 값으로부터 제로 에러 오버레이 위치의 거리는 프로세스 및 구조적 파라미터 값의 상당한 변화에도 불구하고 매우 유사하게 유지된다. 상술한 바와 같이,

SCOL 오버레이 곡선은 통상적으로 프로세스 및 구조적 파라미터 값에 따라 스케일링되거나, 시프트되거나 둘 모두를 행한다. 따라서, 파장에 대한 SCOL 오버레이 추정 곡선의 형상은 프로세스 및 구조적 파라미터 값의 변화에도 불구하고 대략 보존되며, 제로 에러 오버레이 위치와 피크까지의 거리는 거의 일정하게 유지된다. 특히, 비대칭 편차는 형상의 스케일링을 야기하고, 대칭 편차(예를 들어, 프로세스 편차)는 파장 방향(즉, 수평 방향)으로의 형상의 시프트를 야기하고, 프로그래밍된 오버레이의 변화는 추정된 오버레이의 방향(즉, 수직 축)의 시프트를 야기한다. 그러나, 이러한 편차에도 불구하고, 제로 에러 오버레이 위치와 피크까지의 거리는 거의 일정하게 유지된다.

[0074] 도 10은 파장의 함수로서 다수의 오버레이 에러 측정을 포함하는 플롯(150)을 도시한다. 각각의 플롯라인은 하나 이상의 프로세스 변수 및 비대칭 구조적 변수의 다른 값으로 제조된 계측 타겟의 측정 값을 나타낸다. 도 10에 나타난 바와 같이, 곡선이 서로에 대해 스케일링되고 시프트되더라도 SCOL 오버레이 추정 곡선의 형상은 그대로 유지된다.

[0075] 일례에서, 스캐터로메트리 오버레이 측정 시스템은 다수의 상이한 조명 파장에서 각 계측 타겟의 광 응답을 측정하기 위해 채용된다. 이러한 점에서, 스캐터로메트리 오버레이 측정 시스템은 다수의 상이한 조명 파장에서 각각의 오버레이 계측 타겟을 조명하고, +1/-1 회절 차수에서의 각각의 상이한 조명 파장에 응답하여 복수의 오버레이 계측 타겟 각각으로부터 산란된 광량을 수집하고, 각각의 상이한 조명 파장에서 각각의 오버레이 계측 타겟으로부터 수집된 광량의 이미지를 추출한다.

[0076] 컴퓨팅 시스템(예를 들어, 컴퓨팅 시스템(130))은 각각의 상이한 조명 파장에 대한 +1과 -1 회절 차수 간의 차이에 기초하여 실제 오버레이의 후보 값을 추정한다.

[0077] 일부 실시예에서, 후보 값은 더 미세한 파장 간격을 실현하기 위해 파장에 걸쳐 보간된다. 이는 평활한 곡선, 보다 정확한 피크 값을 제공하고, 제로 에러 오버레이 위치의 보다 정확한 추정을 가능하게 한다. 일부 예에서, 선형, 다항식 또는 스플라인(spline) 보간법이 높은 정도의 평활도 및 탄성을 달성하기 위해 채용된다. 일례에서, 큐빅(cubic) 스플라인 보간이 채용된다.

[0078] 일부 실시예에서, 파장의 함수로서 오버레이 추정은 ZEO 분석을 위해 채용된다. 그러나, 일부 다른 실시예에서, 파장의 함수로서의 R 값이 ZEO 분석을 위해 채용된다. 일부 실시예에서, R-곡선이 일반적으로 더 평활하기 때문에 유리하다. R-곡선은 식 (1)을 사용하여 계산되며, 여기서 괄호 표기 (<>)는 마스크의 픽셀에 대한 내부 제품을 나타내며, I_o 는 이미징 검출기로서 채용되는 전하 결합 소자(charge coupled device: CCD) 카메라의 애포다이저(apodizer) 기능을 표기하고, G는 측정된 비대칭성을 나타내는 SCOL 차이 신호이다.

$$R = \sqrt{1 - \frac{\langle I_o G \rangle^2}{\langle I_o \rangle^2 \langle I_o G^2 \rangle}} \quad (1)$$

[0080] 도 11은 파장의 함수로서 보간된 R-곡선을 포함하는 플롯(160)을 나타낸다. 유사하게, 도 12는 파장의 함수로서 다수의 R-곡선을 포함하는 플롯(170)을 나타낸다. 각 플롯라인은 하나 이상의 프로세스 변수의 다른 값으로 제조된 계측 타겟의 측정을 나타낸다. 도 12에 나타난 바와 같이, 곡선은 서로에 대해 시프트되지만, R-곡선의 형상은 그대로 유지된다.

[0081] 컴퓨팅 시스템은 후보 값들로부터 실제 오버레이의 피크 값을 결정하도록 추가로 구성된다. 전체 범위의 조명 파장 중에, 복수의 ZEO 포인트가 있을 수 있지만 모든 포인트가 쉽게 검출되지는 않는다. 오버레이 추정 곡선 또는 R-곡선의 피크가 더 쉽게 검출된다. 피크가 검출되면, ZEO 위치 검색이 선택된 피크 주변의 관심 영역 내에서 수행된다.

[0082] 도 13은 상이한 파장에서 SCOL 계측 시스템에 의해 수행되는 일련의 측정과 연관된 오버레이 추정 곡선(182) 및 R-곡선(181)을 나타내는 플롯(180)을 도시한다. 도 13에 나타난 바와 같이, 통상적으로, 2개 또는 3개의 피크가 오버레이 추정 곡선 또는 R-곡선에 존재하고, 각각의 피크는 특정 파장 범위 내에 있다. 일부 예에서, 조명 파장 범위는 여러 비-중첩 간격으로 하위 분할되며, 각 간격은 오직 하나의 피크와 연관된다. 곡선의 최대 포인트는 관련 조명 파장과 함께 각 간격 내에서 식별된다. 도 13에 도시된 바와 같이, 오버레이 추정 곡선(182)은 R-곡선의 중간 피크 부근에서 거의 대칭이다. 도 13에 나타난 바와 같이, 오버레이 추정 곡선(182)은 R-곡선의 중간 피크의 피크 위치로부터 거의 동일한 거리, D에서 실제 오버레이 값과 교차한다.

[0083] 컴퓨팅 시스템은 웨이퍼 내 오버레이 편차를 최소화하는 피크 값과 연관된 파장으로부터의 파장의 차이를 결정하도록 추가로 구성된다. 도 13에 나타난 예에서, 컴퓨팅 시스템은 R-곡선(181)의 피크 값과 ZEO와 연관된 SCOL 오버레이 추정치 사이의 거리, D를 식별한다.

[0084] 특정 파장에서 측정된 특정 측정 사이트에 대한 SCOL 오버레이 추정치 S_i 는 식 (2)에 의해 설명되며, 여기서

$$[0085] \quad S_i = O_0 + w_i + e_i \quad (2)$$

[0086] O_0 는 측정 사이트와 연관된 프로그래밍된 오버레이 값이고, w_i 는 웨이퍼-내 편차이며, e_i 는 SCOL 측정 에러이다.

웨이퍼-내 편차는 평균(mean)이 0이고 분산이 σ_w^2 , 즉, $w_i \sim N(0, \sigma_w^2)$ 인 가우스 분포로서 추정될 수 있다. 유사하게, SCOL 측정 에러는 평균이 0이고 분산이 σ_e^2 , 즉, $e_i \sim N(0, \sigma_e^2)$ 인 가우스 분포로서 추정될 수 있다. 또한, 웨이퍼-내 편차는 SCOL 측정 에러와 상관되지 않는 것으로 가정된다. 일례에서, 에러가 가장 작은 ZEO 위치는 식 (3)에 의해 설명되는 바와 같이 SCOL 측정 에러의 평균 제곱 에러를 최소화함으로써 결정되며, 여기서

$$[0087] \quad MSE = E[e^2] = E[(S - O_0 - w)^2] = E[S^2] + O_0^2 - 2O_0 \cdot E[S] + \sigma_w^2 \quad (3)$$

[0088] $E[\cdot]$ 는 기대치를 나타낸다. O_0 를 이용할 수 없는 경우, 에러가 가장 작은 ZEO 위치는 식 (4)에 의해 설명되는 바와 같이 SCOL 측정 에러의 평균 제곱 에러를 최소화함으로써 결정된다.

$$[0089] \quad MSE = Var[e^2] = E[(S - O_0 - w)^2] - [E[(S - (O_0 + w))]]^2 = Var[S^2] + \sigma_w^2 \quad (4)$$

[0090] σ_w^2 는 알려져 있지 않고 일정하기 때문에, 식 (4)의 최소화는 $Var[S^2]$ 의 최소화로 단순화된다. 이와 같이, 컴퓨팅 시스템은 SCOL 오버레이 측정의 웨이퍼-내 편차가 최소화되는 최적 조명 파장(즉, 피크와 연관된 조명 파장으로부터의 거리, D)을 찾도록 구성된다. 식별된 피크 주변의 기울기가 매우 가파르기 때문에, 큰 에러로 이어질 수 있다. 이러한 위험을 경감하기 위해, 웨이퍼-내 분산은 피크에 대칭인 두 위치(즉, 피크로부터의 거리, $\pm d$)에서 평가되고 식 (5)에 의해 나타난 바와 같이 평균화되며, 여기서

$$[0091] \quad f(d) = \text{var} \left(\frac{S(\text{peak} - d) + S(\text{peak} + d)}{2} \right) \quad (5)$$

[0092] $f(d)$ 는 피크로부터 거리 d에 위치한 대칭 위치의 평균의 편차이다. 식 (5)의 해(solution)는 식 (6)에 의해 나타내어지며, 여기서

$$[0093] \quad d^* = \arg \min_d \text{var} \left(\frac{S(\text{peak} - d) + S(\text{peak} + d)}{2} \right) \quad (6)$$

[0094] d^* 는 $Var(S^2)$ 가 최소화되는 d에 대한 추정치이다. ZEO 추정치 O^* 는 식 (7)에 의해 설명된다.

$$[0095] \quad O^* = \left(\frac{S(\text{peak} - d^*) + S(\text{peak} + d^*)}{2} \right) \quad (7)$$

[0096] 일부 예에서, 컴퓨팅 시스템은 피크로부터의 거리의 이산 세트에 대한 웨이퍼-내 편차를 계산하고, 웨이퍼-내 편차가 가장 작은 거리를 선택하고, ZEO 값으로서 피크로부터 $\pm d$ 최적 거리인 파장 위치에서 평균(average) SCOL 측정을 결정하도록 구성된다. 도 14는 피크 위치로부터 다른 거리 d에서 식 (6)에 따라 평가된 측정된 오버레이의 웨이퍼-내 편차와 각각 연관된 포인트 세트의 플롯(190)을 나타낸다. 도 14에 도시된 바와 같이, 최소 분산은 피크 위치로부터 근사적으로 30 나노 미터의 거리에 위치된다. 이 예에서, ZEO 값은 근사적으로 30 나노미터의 거리 d^* 에서 식 (7)에 따라 추정된다.

[0097] 식 (5-7)이 피크 위치에 대해 대칭적으로 위치한 2개의 포인트의 평균(average)에 기초하여 ZEO 값을 평가하지

만, 일부 다른 예에서, ZEO 값은 피크 위치로부터 상이한 거리(예를 들어, $-d_1$ 및 $+d_2$)에 위치한 2개의 포인트에 기초하여 결정될 수 있다. 보다 일반적으로, 피크로부터의 거리 범위 r 내의 SCOL 측정 범위가 ZEO 값을 찾기 위해 사용될 수 있다. 이 예에서 오버레이 추정값은 식 (8) 및 (9)에 의해 설명되며, 여기서 c_i 는 가중 계수이며,

$$O = \sum_{i=1}^k c_i S(d_i) \quad (8)$$

여기서,

$$peak - r \leq d_i \leq peak + r \quad (9)$$

이 시나리오에서 최적화 문제는 식 (10)에 의해 표현될 수 있으며, 여기서 c_i 에 대한 값은 $S(d_i)$ 의 가중된 값의 합의 분산을 최소화하기 위해 풀이된다. ZEO 값은 식 (11)에 의해 표현될 수 있다.

$$c_{1...k}^* = \arg \min_{c_{1...k}} \text{var} \left(\sum_{i=1}^k c_i S(d_i) \right) \quad (10)$$

$$O^* = \sum_{i=1}^k c_i^* S(d_i) \quad (11)$$

일부 예에서, SCOL 전망은 피크 위치 주변에서 더욱 편평하다. 이러한 예에서, ZEO 위치를 찾기 위해 피크로부터 단일 방향으로 검색하는 것으로 충분할 수 있다. 또한, 각 관심 영역과 연관된 SCOL 전망이 매우 유사한 패턴을 나타내는 경우, 각 피크와 연관된 ZEO 값을 계산한 다음 결과를 평균화하여 ZEO 값의 최종 추정값을 얻는 것이 적절할 수 있다.

블록(205)에서, 측정 모델은 실제 오버레이의 추정된 값 및 훈련 데이터의 양에 기초하여 훈련된다. 측정 모델은 하나 이상의 측정 사이트에서 계측 시스템에 의해 생성된 측정 데이터를 수신하고 각 측정 타겟과 연관된 오버레이를 직접 결정하도록 구성된다.

이러한 의미에서, 훈련된 측정 모델은 광학 스캐터로메트리 신호와 오버레이 값 사이의 함수 관계를 확립한다. 일부 실시예에서, 관계는 복잡한 함수에 의해 설명되며, 여기서 함수 계수는 훈련 신호(즉, 수집된 광 스캐터로메트리 신호) 및 실제 오버레이의 추정된 값에 기초하여 추정된다.

일부 예에서, 측정 모델은 스캐터로메트리 훈련 데이터 및 실제 오버레이의 추정된 값으로부터 추출된 주요 피처에 기초하여 훈련된다. 이러한 예에서, 훈련 데이터 양의 복수의 주요 피처는 훈련 데이터의 크기를 감소시키는 훈련 데이터 양의 변환에 기초하여 결정된다. 다수의 주요 피처가 수학적 변환에 기초한 스캐터로메트리 훈련 데이터로부터 추출된다. 변환은 스캐터로메트리 데이터의 크기를 줄이고 원래의 신호를 새로운 감소된 신호 세트로 매핑한다. 스캐터로메트리 훈련 데이터의 오버레이의 편차에 기초하여 변환이 결정된다. 각각의 측정된 신호는 스캐터로메트리 훈련 데이터의 세트에서 상이한 오버레이 측정에 대해 프로세스 범위 내에서 변하는 원래 신호로서 처리된다. 변환은 모든 측정 신호 또는 측정 신호의 서브세트에 적용될 수 있다. 일부 예에서, 분석 대상 신호는 랜덤하게 선택된다. 일부 다른 예에서, 분석 대상 신호는 오버레이 변화에 대한 상대적으로 높은 감도로 인해 선택된다. 예를 들어, 오버레이의 변화에 민감하지 않은 신호는 무시될 수 있다. 비제한적인 예로서, 변환은 주성분 분석(principal component analysis: PCA) 모델, 커널 PCA 모델, 비선형 PCA 모델, 독립 성분 분석(independent component analysis: ICA) 모델 또는 사전에 이용한 다른 차원 축소 방법, 이산 코사인 변환(discrete cosine transform: DCT) 모델, 고속 푸리에 변환(fast fourier transform: FFT) 모델, 웨이블릿 모델 등 중 임의의 것을 사용하여 달성될 수 있다.

일부 실시예에서, 측정 모델은 신경망 모델로서 구현된다. 일례에서, 신경망의 노드 수는 훈련 데이터로부터 추출된 피처의 수에 기초하여 선택된다. 다른 예에서, 측정 모델은 선형 모델, 다항식 모델, 응답 표면 모델, 지원 벡터 머신 모델, 결정 트리 모델, 랜덤 포레스트(random forest) 모델, 또는 다른 유형의 모델로서 구현될 수 있다. 일부 예에서, 측정 모델은 모델의 조합으로서 구현될 수 있다. 일부 예에서, 선택된 모델은 주요 피처(감소된 신호 세트) 및 오버레이의 알려진 편차에 기초하여 훈련된다. 모델은 DOE 계측 타겟의 세트에 의해 정의된 오버레이 편차 공간에서 측정된 모든 신호에 대해 그 출력이 오버레이에서 정의된 편차에 맞도록 훈련된

다.

- [0109] 본 발명의 범위 내에서 다양한 상이한 계측 타겟이 고려될 수 있다. 일부 실시예에서, 계측 타겟은 종래의 라인/스페이스 타겟에 기초한다. 일부 다른 실시예에서, 계측 타겟은 디바이스-형 구조이다. 일부 다른 실시예에서, 계측 타겟은 실제 디바이스 자체이므로, 특수화된 계측 타겟이 채용되지 않는다. 채용된 계측 타겟의 유형에 관계없이, 측정 모델을 훈련하기 위해 알려진, 프로그래밍된 오프셋을 갖는 훈련 타겟의 세트가 제공되어야 한다. 모델이 훈련되면, 알려지지 않은 오버레이를 갖는 구조의 측정을 수행하는 데 사용될 수 있다.
- [0110] 훈련 타겟은 별도의 훈련 웨이퍼 또는 생산 웨이퍼 상에 제공될 수 있다. 일부 예에서, 계측 타겟은 생산 웨이퍼의 스크라이브라인(scribeline)에 위치된다. 일부 다른 예에서, 계측 타겟은 활성 다이(die) 영역에 위치된다.
- [0111] 일부 실시예에서, 모델 훈련에 사용되는 측정은 스크라이브라인 영역에서 수행되고 후속 측정은 실제 디바이스의 주기적 영역에서 수행된다.
- [0112] 일부 실시예에서, 직교 방향으로 오프셋된 복수의 상이한 타겟이 각각의 다이에 채용된다. 이는 측정 정확도에 대한 하층의 영향을 최소화하는 데 유리할 수 있다.
- [0113] 일 양태에서, 각각의 측정 사이트는 적어도 하나의 방향으로 주기성을 갖는 격자 구조의 어레이를 갖는 단일 셀 계측 타겟을 포함한다. 따라서, 단일 셀 계측 타겟의 스캐터로메트리 측정은 적어도 하나의 방향으로 오버레이에 민감하다. 일부 실시예에서, 단일 셀 계측 타겟은 적어도 두 방향으로 주기성을 갖는 격자 구조의 어레이를 포함한다. 따라서, 단일 셀 타겟의 측정은 두 방향으로의 오버레이에 민감하다. 일반적으로, 측정된 오버레이 구조는 기관의 동일한 층 또는 다른 층에 위치될 수 있다.
- [0114] 도 8은 일 실시예에서 단일 셀 오버레이 계측 타겟(140)의 예시를 도시한다. 계측 타겟(140)은 최상부 층(142)의 격자 및 하층(141) 중 적어도 하나의 격자를 포함한다. 오버레이의 상이한 값에 대해, 이미징 검출기(111)에 의해 픽셀 이미지 상에 캡처된 +1 및 -1 회절 차수는 두 방향(예를 들어, ΔX 는 x-방향이고 ΔY 는 y-방향)으로 오버레이에 대한 감도를 갖는다. 일 실시예에서, 격자들(141 및 142) 사이의 공칭 오프셋은 x 및 y 방향 모두에서 근사적으로 150 나노미터이다. 상술한 바와 같이, 통상적인 타겟은 오버레이 방향 당 2개 이상의 셀을 갖는 SCOL 또는 DBO 타겟이다. 도 8에 도시된 바와 같이, 계측 타겟(140)은 2개의 직교 방향으로 감도를 갖는 단일 셀 타겟이다. 4개 대신 하나의 셀로부터 신호를 수집함으로써, 이동-획득-측정(move-acquire-measure: MAM) 시간에서의 상당한 감소가 달성된다.
- [0115] 추가 양태에서, 단일 셀 계측 타겟은 적어도 하나의 방향으로 2개 이상의 상이한 주기성을 갖는 격자 구조의 어레이를 포함한다. 예를 들어, 최상부 층(142)의 격자 및 하층(141)의 격자는 더 작은(예를 들어, 설계 규칙) 피치 격자 또는 디바이스형 구조로 분할될 수 있다.
- [0116] 도 9는 일 실시예에서 단일 셀 오버레이 계측 타겟(145)의 예시를 도시한다. 계측 타겟(145)은 최상부 층(142)의 격자 및 하층(141) 중 적어도 하나의 격자를 포함한다. 오버레이의 상이한 값에 대해, 이미징 검출기(111)에 의해 픽셀 이미지 상에 캡처된 +1 및 -1 회절 차수는 두 방향(예를 들어, ΔX 는 x-방향이고 ΔY 는 y-방향)으로 오버레이에 대한 감도를 갖는다. 또한, 계측 타겟(145)은 양방향으로 복수의 피치 패턴을 포함한다. 복수의 피치 패턴은 픽셀 이미지 상에 추가 패턴을 제공하고 오버레이 변화에 민감한 픽셀 이미지 영역을 향상시킨다. 도 9에 도시된 바와 같이, 복수의 피치 패턴은 양방향으로의 주기 P_1 및 양방향으로의 다른 주기 P_2 를 포함한다. 일 실시예에서, P_1 은 근사적으로 600 나노미터이고 P_2 는 근사적으로 750 나노미터이다.
- [0117] 상술한 바와 같이, 본원에 설명되는 측정 방법 및 시스템은 특수화된 타겟으로 제한되지 않는다. 일반적으로, 이용 가능한 측정 시스템에 의해 측정될 때 오버레이에 대한 감도를 나타내는 임의의 타겟이 본원에 설명되는 방법 및 시스템에 따라 채용될 수 있다.
- [0118] 다른 양태에서, 훈련된 모델은 알려지지 않은 오버레이 값을 갖는 다른 타겟의 측정을 위한 측정 모델로서 채용된다. 도 7은 본 발명의 도 5에 나타내어진 계측 시스템(100)과 같은 계측 시스템에 의해 구현하기에 적절한 방법(210)을 나타낸다. 일 양태에서, 방법(210)의 데이터 프로세싱 블록들은 컴퓨팅 시스템(130)의 하나 이상의 프로세서 또는 임의의 다른 범용 컴퓨팅 시스템에 의해 실행되는 사전-프로그래밍된 알고리즘을 통해 수행될 수 있다는 것이 인식된다. 계측 시스템(100)의 특징의 구조적 양태는 제한을 나타내지 않으며 단지 예시적인 것으로 해석되어야 한다는 것이 본원에서 인식된다.
- [0119] 블록(211)에서, 적어도 하나의 오버레이 계측 타겟은 측정 모델을 훈련하는 데 사용되는 훈련 데이터를 생성하

기 위해 채용되는 스캐터로메트리 기반 오버레이 계측 시스템의 광학 조명원(예를 들어, 조명기(101))에 의해 생성된 조명 광으로 조명된다. 측정된 계측 타겟(들)은 알려지지 않은 오버레이 에러를 갖는다. 통상적으로, 계측 타겟은 훈련 데이터를 생성하기 위해 사용된 웨이퍼(들)와는 다른 웨이퍼 상에 배치된다. 측정은 통상적으로 훈련 웨이퍼(들)와 동일하거나 유사한 프로세스 단계에서 수행된다. 또한, 관심 있는 웨이퍼 상에 배치된 계측 타겟은 통상적으로 훈련 웨이퍼 상에 배치된 것과 동일하거나 유사한 계측 타겟이다. 그러나, 일부 실시예에서, 모델 훈련 목적으로 측정된 계측 타겟 및 오버레이 추정을 목적으로 측정된 계측 타겟은 동일한 웨이퍼 상에 배치된다.

- [0120] 블록(212)에서, 조명 광에 응답하여 적어도 하나의 오버레이 계측 타겟으로부터 산란된 광량은 예를 들어 이미지 검출기(111)에 의해 수집된다.
- [0121] 블록(213)에서, 적어도 하나의 오버레이 타겟으로부터 수집된 광량의 이미지는 스캐터로메트리 기반 계측 시스템의 광학 검출기의 복수의 픽셀에 의해 검출된다.
- [0122] 블록(214)에서, 적어도 하나의 오버레이 타겟과 연관된 실제 오버레이의 값은 적어도 하나의 오버레이 타겟의 검출된 이미지 및 훈련된 측정 모델에 기초하여 추정된다. 일례에서, 컴퓨팅 시스템(130)은 측정된 스캐터로메트리 신호에 기초하여 실제 오버레이의 값을 추정하기 위해 측정 모델의 훈련에 의해 확립된 함수 관계를 채용한다.
- [0123] 블록(215)에서, 추정된 오버레이는 메모리에 저장된다. 예를 들어, 오버레이 값들은 측정 시스템(100)에 탑재되어, 예를 들어, 메모리(132)에 저장될 수 있거나 (예를 들어, 출력 신호(121)를 통해) 외부 메모리 디바이스로 전달될 수 있다.
- [0124] 일부 실시예에서, 컴퓨팅 시스템(130)은 이미지의 크기를 감소시키는 변환에 기초하여 적어도 하나의 오버레이 타겟의 검출된 이미지의 복수의 주요 피처를 결정하도록 구성된다. 이들 실시예에서, 적어도 하나의 오버레이 타겟과 연관된 실제 오버레이의 값의 추정은 복수의 주요 피처 및 훈련된 측정 모델에 기초한다. 일부 실시예에서, 변환은 방법(200)을 참조하여 설명된 대응하는 훈련 데이터의 크기를 감소시키기 위해 채용된 동일한 변환이다. 방법(200)에서 훈련 데이터로부터 피처를 추출하기 위해 채용된 동일한 분석을 사용하여 스캐터로메트리 데이터로부터 피처를 추출하는 것이 바람직하다. 이러한 방식으로, 획득된 데이터의 크기 감소는 훈련 데이터의 크기를 감소시키기 위해 사용된 동일한 변환에 의해 수행된다.
- [0125] 추가의 양태에서, 본원에 설명되는 방법 및 시스템은 오버레이 에러의 측정에만 제한되지 않는다. 일반적으로, 상술한 스캐터로메트리-기반 측정 기술은 다른 프로세스, 구조, 분산 파라미터, 또는 이들 파라미터의 임의의 조합의 측정에 적용될 수 있다. 비제한적인 예로서, 프로파일 지오메트리 파라미터(예를 들어, 임계 치수), 프로세스 파라미터(예를 들어, 초점 및 선량), 분산 파라미터, 피치 워크(pitch walk) 또는 파라미터의 임의의 조합은 상술한 기술을 사용하여 오버레이 에러와 함께 측정될 수 있다. 관심 있는 각 파라미터에 대해 프로그래밍된 편차를 갖는 훈련 타겟의 세트가 제공되어야 한다. 그 후, 측정 모델은 오버레이를 참조하여 본원에 설명된 바와 같이 각각의 관심 있는 파라미터의 프로그래밍된 편차 범위를 포함하는 측정 사이트를 통해 수집된 스캐터로메트리 데이터에 기초하여 훈련된다. 비제한적인 예로서, 관심 있는 파라미터는 프로세스 파라미터, 구조 파라미터, 분산 파라미터 및 레이아웃 파라미터일 수 있다.
- [0126] 일부 예에서, 모델 훈련의 목적으로 측정된 계측 타겟은 적어도 하나의 추가의 관심 있는 파라미터의 상이한, 알려진 값으로 제조된다. 따라서, 측정 모델의 훈련은 또한 적어도 하나의 추가의 관심 있는 파라미터의 상이한 알려진 값 및 훈련 데이터의 양에 기초한다. 일부 실시예에서, 관심 있는 각각의 파라미터와 연관된 기준 값은 CD-SEM, XSEM, OCD 등과 같은 기준 계측을 사용하여 획득된다.
- [0127] 이러한 방식으로, 본원에 설명되는 방식으로 훈련된 측정 모델은 오버레이의 값 및 임계 치수, 에지 배치 에러, 리소그래피 초점, 리소그래피 적량 및 관심 있는 다른 형상 및 필름 파라미터와 같은 추가 파라미터를 추정하는데 사용될 수 있다. 일부 실시예에서, 오버레이 값 및 관심 있는 파라미터의 추정은 단일 셀 타겟, 디바이스 구조, 또는 관심 있는 파라미터에 대한 측정 감도를 나타내는 임의의 다른 타겟 또는 타겟 그룹으로부터 수집된 측정 데이터에 기초하여 생성될 수 있다. 이러한 방식으로, 복수의 관심 있는 파라미터의 추정이 하나 이상의 셀의 하나의 측정에 기초하여 동시에 획득된다.
- [0128] 다른 추가적인 양태에서, 측정 모델을 훈련시키기 위한 방법 및 시스템은 훈련된 측정 모델에 도달하는 데 필요한 임의의 또는 모든 요소를 자동화하기 위한 최적화 알고리즘을 포함한다.
- [0129] 일부 예에서, 최적화 알고리즘은 다음 파라미터 중 임의의 것 또는 전부를 최적화함으로써 (비용 함수에 의해

정의되는) 측정 성능을 최대화하도록 구성된다: 피쳐 추출 모델의 유형(즉, 변환), 선택된 피쳐 추출 모델의 파라미터, 측정 모델의 유형, 선택된 측정 모델의 파라미터. 최적화 알고리즘은 사용자 정의 휴리스틱스(heuristics)를 포함할 수 있으며, 네스팅된 최적화의 조합(예를 들어, 조합 및 연속 최적화)일 수 있다.

[0130] 추가의 양태에서, 모델 구축, 훈련 및 측정을 위해 복수의 상이한 타겟으로부터의 스캐터로메트리 데이터가 수집된다. 상이한 구조를 갖지만 동일한 프로세스 조건 및 프로그래밍된 오버레이 값에 의해 형성된 복수의 타겟과 연관된 측정 데이터의 사용은 모델에 내장된 정보를 증가시키고 프로세스 또는 다른 파라미터 편차에 대한 오버레이 상관을 감소시킨다. 모델에 내장된 추가 정보는 유사한 방식으로 측정된 신호에 영향을 줄 수 있는 다른 파라미터(예를 들어, 필름 두께, CD 등)와 연관된 정보로부터 오버레이와 연관된 정보 콘텐츠의 커플링 해제를 허용한다. 이들 예에서, 하나 이상의 측정 사이트에서 복수의 상이한 타겟의 이미지를 포함하는 훈련 데이터의 사용은 보다 정확한 오버레이 주정을 가능하게 한다. 일부 예에서, 격리되고 밀집된 라인/공간 타겟의 혼합이 하층 효과로부터 오버레이를 커플링 해제하기 위해 채용된다.

[0131] 다른 추가적인 양태에서, 복수의 타겟으로부터의 신호가 프로세스 편차에 대한 감도를 감소시키고 관심 있는 파라미터에 대한 감도를 증가시키기 위해 프로세싱될 수 있다. 일부 예에서, 상이한 타겟으로부터의 신호들이 서로 감산된다. 일부 다른 예에서, 상이한 타겟들로부터의 신호들이 모델에 맞추어지고, 잔차는 본원에 설명되는 바와 같이 측정 모델을 구축, 훈련 및 사용하기 위해 사용된다. 일례에서, 각각의 측정 결과에서 프로세스 노이즈의 영향을 제거하거나 현저하게 감소시키기 위해 2개의 상이한 타겟으로부터의 신호가 감산된다. 일반적으로, 상이한 타겟으로부터의 신호들 사이에 다양한 수학적 연산이 적용되어 프로세스 편차에 대한 감도가 감소되고 관심 있는 파라미터에 대한 감도가 증가된 신호를 결정할 수 있다.

[0132] 다른 추가적인 양태에서, 하나 이상의 측정 시스템 파라미터의 복수의 값에서 수행된 측정으로부터 도출된 측정 데이터가 모델 구축, 훈련 및 측정을 위해 수집된다. 비제한적인 예로서, 복수의 조명 파장, 편광 등에서 수행된 측정은 측정 모델을 훈련시키고 본원에 설명된 훈련된 측정 모델을 사용하여 측정을 수행하기 위해 채용된다.

[0133] 또 다른 추가적인 양태에서, 복수의 상이한 측정 기술의 조합에 의해 수행된 측정으로부터 도출된 측정 데이터가 모델 구축, 훈련 및 측정을 위해 수집된다. 복수의 상이한 측정 기술과 연관된 측정 데이터의 사용은 신호의 조합된 세트에서 정보 콘텐츠를 증가시키고 프로세스 또는 다른 파라미터 편차에 대한 오버레이 상관을 감소시킨다. 측정 데이터는 복수의 상이한 측정 기술의 임의의 조합에 의해 수행된 측정으로부터 도출될 수 있다. 이러한 방식으로, 상이한 측정 사이트가 관심 있는 파라미터의 추정치에 이용 가능한 측정 정보를 향상시키기 위해 복수의 상이한 측정 기술(예를 들어, 스캐터로메트리, 이미징 및 다른 신호 정보원)에 의해 측정될 수 있다.

[0134] 일반적으로, 피쳐 추출 모델에 의해 프로세싱된 데이터 및 훈련 및 측정을 위한 측정 모델이 벡터 형태이기 때문에, 임의의 측정 기술, 또는 둘 이상의 측정 기술의 조합이 본 특허 문서의 범위 내에서 고려될 수 있다. 본원에 설명되는 기술은 데이터의 벡터에 대해 동작하기 때문에, 각각의 수집된 신호는 독립적으로 처리된다. 또한, 데이터가 2차원 데이터인지, 1차원 데이터인지, 또는 심지어 단일 포인트 데이터인지에 관계없이, 복수의 상이한 계측으로부터 데이터를 연결할 수 있다.

[0135] 본원에 설명되는 계측 기술에 따라 분석을 위한 데이터를 제공할 수 있는 예시적인 측정 기술은 이미징 반사계, 이미징 분광 반사계, 편광된 분광 이미징 반사계, 스캐닝 반사계 시스템, 병렬 데이터 획득이 가능한 2개 이상의 반사계를 갖는 시스템, 병렬 데이터 획득이 가능한 2개 이상의 분광 반사계를 갖는 시스템, 병렬 데이터 획득이 가능한 2개 이상의 편광된 분광 반사계를 갖는 시스템, 웨이퍼 스테이지를 이동시키지 않거나 임의의 광학 요소 또는 반사계 스테이지를 이동시키지 않고 직렬 데이터 획득이 가능한 2개 이상의 편광된 분광 반사계를 갖는 시스템, 이미징 분광계, 파장 필터를 갖는 이미징 시스템, 롱-패스(long-pass) 파장 필터를 갖는 이미징 시스템, 쇼트-패스(short-pass) 파장 필터를 갖는 이미징 시스템, 파장 필터가 없는 이미징 시스템, 간섭계 이미징 시스템, 이미징 엘립소미터(ellipsometer), 이미징 분광 엘립소미터, 스캐닝 엘립소미터 시스템, 병렬 데이터 획득이 가능한 2개 이상의 엘립소미터를 갖는 시스템, 웨이퍼 스테이지를 이동시키지 않거나 임의의 광학 요소 또는 엘립소미터 스테이지를 이동시키지 않고 직렬 데이터 획득이 가능한 2개 이상의 엘립소미터를 갖는 시스템, 미켈슨(Michelson) 간섭계, 마하-젠더(Mach-Zehnder) 간섭계, 사냐(Sagnac) 간섭계, 스캐닝 각도의 입사 시스템 및 스캐닝 방위각 시스템을 포함하지만, 이에 제한되지 않는다. 또한, 일반적으로, 상이한 측정 기술에 의해 수집되고 본원에 설명되는 방법에 따라 분석된 측정 데이터는 복수의 기술을 통합하는 하나의 도구가 아니라 복수의 도구로부터 수집될 수 있다.

[0136] 다른 추가적인 양태에서, 복수의 계측에 의해 측정된 신호는 프로세스 편차에 대한 감도를 감소시키고 관심 있

는 파라미터에 대한 감도를 증가시키기 위해 프로세싱될 수 있다. 일부 예에서, 상이한 계측에 의해 측정된 타겟으로부터의 신호는 서로 감소된다. 일부 다른 예에서, 상이한 계측에 의해 측정된 타겟으로부터의 신호는 모델에 맞추어지고, 잔차는 본원 설명되는 바와 같이 측정 모델을 구축, 훈련 및 사용하기 위해 사용된다. 일례에서, 2개의 상이한 계측에 의해 측정된 타겟으로부터의 신호는 감소되어 각 측정 결과에서 프로세스 노이즈의 영향을 제거하거나 또는 상당히 감소시킨다. 일반적으로, 상이한 계측에 의해 측정된 신호들 사이에 다양한 수학적 연산이 적용되어 프로세스 편차에 대해 감소된 감도와 관심 있는 파라미터에 대한 증가된 감도를 갖는 신호를 결정할 수 있다.

[0137] 일반적으로, 복수의 계측 기술에 의해 각각 측정된 복수의 타겟으로부터의 신호는 조합된 신호 세트에서 정보 콘텐츠를 증가시키고 프로세스 또는 구조적 파라미터 편차에 대한 오버레이 상관을 감소시킨다.

[0138] 일부 예에서, 본원에 설명되는 모델 구축, 훈련 및 측정 방법은 미국 캘리포니아주 밀피타스(Milpitas) 소재의 KLA-Tencor Corporation으로부터 입수 가능한 SpectraShape® 광학 임계-치수 계측 시스템의 요소로서 구현된다. 이러한 방식으로, 모델은 DOE 웨이퍼 스펙트럼이 시스템에 의해 수집된 직후에 생성되어 사용할 준비가 된다.

[0139] 일부 다른 예에서, 본원에 설명된 모델 구축 및 훈련 방법은 예를 들어, 미국 캘리포니아주 밀피타스 소재의 KLA-Tencor Corporation으로부터 입수 가능한 AcuShape® 소프트웨어를 구현하는 컴퓨팅 시스템에 의해 오프라인으로 구현된다. 결과적으로 훈련된 모델은 측정을 수행하는 계측 시스템에 의해 액세스될 수 있는 AcuShape® 라이브러리의 요소로 통합될 수 있다.

[0140] 다른 추가적인 양태에서, 본원에서 설명되는 바와 같이 오버레이 측정을 수행하기 위해 채용되는 계측 시스템(예를 들어, 계측 시스템(300))은 적외선 광학 측정 시스템을 포함한다. 이들 실시예에서, 계측 시스템(300)은 적외선 광원(예를 들어, 아크 램프, 무전극 램프, 레이저 지속 플라즈마(LSP) 소스 또는 초연속 소스)을 포함한다. 적외선 초연속 레이저 소스는 광 스펙트럼의 적외선 영역에서 달성 가능한 더 높은 전력 및 밝기 때문에 전통적인 램프 소스보다 선호된다. 일부 예에서, 초연속 레이저에 의해 제공되는 전력은 불투명 필름 층을 갖는 오버레이 구조의 측정을 가능하게 한다.

[0141] 오버레이 측정에서 잠재적인 문제는 바닥 격자에 대한 광의 불충분한 침투이다. 많은 예에서, 최상부 및 바닥 격자 사이에 투명하지 않은(즉, 불투명한) 필름 층이 존재한다. 이러한 불투명 필름 층의 예는 비정질 탄소, 텅스텐 실리사이드(WSi_x), 텅스텐, 티타늄 질화물, 비정질 실리콘, 및 다른 금속 및 비금속 층을 포함한다. 종종, 가시 범위 및 그 미만(예를 들어, 250 nm와 700 nm 사이)의 파장으로 제한되는 조명 광은 바닥 격자에 침투하지 않는다. 그러나, 적외선 스펙트럼 및 그 초과(예를 들어, 700 nm 초과)의 조명 광은 종종 불투명 층에 보다 효과적으로 침투한다.

[0142] 효과적인 타겟 설계 또는 측정 구조는 제1 패턴과 제2 패턴 사이에서 제로가 아닌 회절 차수를 전파하여, 두 패턴의 상대 위치가 원거리 필드에서 검출되는 진출 회절 빔의 강도에 영향을 미친다.

[0143] 자외선 및 가시 광선 범위에서 "불투명"의 동작 정의는 250-700 nm의 파장 범위에서 SCOL에 대한 예측 정밀도가 필요한 정밀도보다 훨씬 나쁘다는 것이다. 이는 제1 패턴과 제2 패턴 사이의 상대 위치 정보를 전달하는 전파 회절 차수의 감쇠 때문이다. 700 나노미터보다 큰 조명 파장(예를 들어, 800-1650 nm)으로 SCOL 신호를 측정하면 흡수가 상당히 적을 때 SCOL 정밀도를 향상시킨다. 700 나노미터보다 큰 파장을 갖는 조명 광이 채용되는 실시예에서, 측정 타겟의 설계 피치는 사용 가능한 SCOL 신호가 있도록 선택된다.

[0144] 본원에서 설명되는 일부 실시예에서, 훈련 데이터는 SCOL 계측 시스템에 의해 측정된 복수의 계측 타겟의 픽셀 이미지의 픽셀을 측정함으로써 생성된다. 그러나, 일반적으로, 회절 기반 오버레이(diffraction based overlay: DBO) 계측 시스템에 의해 측정된 복수의 계측 타겟의 필드 이미지의 픽셀, 이미징 IBO 계측 시스템에 의해 생성된 신호, X-선 계측 시스템에 의해 생성된 신호, 분광 엘립소미터(spectroscopic ellipsometer: SE) 시스템에 의해 생성된 신호 등을 측정함으로써 훈련 데이터가 또한 생성될 수도 있다.

[0145] 또 다른 양태에서, 본원에 설명되는 측정 모델 결과는 프로세스 도구(예를 들어, 리소그래피 도구, 에칭 도구, 증착 도구 등)에 능동적 피드백을 제공하기 위해 사용될 수 있다. 예를 들어, 본원에 설명되는 방법들을 사용하여 결정된 오버레이 에러의 값들은 리소그래피 도구로 전달되어 리소그래피 시스템을 조정하여 원하는 출력을 달성할 수 있다. 유사한 방식으로 에칭 파라미터(예를 들어, 에칭 시간, 확산성 등) 또는 증착 파라미터(예를 들어, 시간, 농도 등)가 각각 에칭 도구 또는 증착 도구에 능동 피드백을 제공하기 위해 측정 모델에 포함될 수

있다.

- [0146] 일반적으로, 본원에 설명되는 시스템 및 방법은 오프-라인 또는 온-도구(on-tool) 측정을 위한 측정 모델을 준비하는 프로세스의 일부로서 구현될 수 있다. 또한, 측정 모델 및 임의의 재파라미터화된 측정 모델 모두는 하나 이상의 타겟 구조 및 측정 사이트를 설명할 수 있다.
- [0147] 본원에 상술된 바와 같이, "임계 치수"라는 용어는 구조체의 임의의 임계 치수(예를 들어, 바닥 임계 치수, 중간 임계 치수, 최상부 임계 치수, 측벽 각도, 격자 높이 등), 임의의 둘 이상의 구조체 사이의 임계 치수(예를 들어, 두 구조체 사이의 거리) 및 2개 이상의 구조체 사이의 변위(예를 들어, 오버레이 격자 구조 사이의 오버레이 변위 등)를 포함한다. 구조체는 3차원 구조체, 패턴화된 구조체, 오버레이 구조체 등을 포함할 수 있다.
- [0148] 본원에 설명되는 바와 같이, "임계 치수 어플리케이션" 또는 "임계 치수 측정 어플리케이션"이라는 용어는 임의의 임계 치수 측정을 포함한다.
- [0149] 본원에 설명되는 바와 같이, "계측 시스템"이라는 용어는 임계 치수 계측, 오버레이 계측, 초점/적량 계측 및 성분 계측과 같은 측정 어플리케이션을 포함하여, 임의의 양태에서 시편을 특성화하기 위해 적어도 부분적으로 채용되는 임의의 시스템을 포함한다. 그러나, 이러한 기술 용어는 본원에 설명되는 "계측 시스템"이라는 용어의 범위를 제한하지 않는다. 또한, 계측 시스템(100)은 패턴화된 웨이퍼 및/또는 패턴화되지 않은 웨이퍼의 측정을 위해 구성될 수 있다. 계측 시스템은 LED 검사 도구, 예지 검사 도구, 후면 검사 도구, 매크로-검사 도구 또는 다중-모드 검사 도구(하나 이상의 플랫폼으로부터의 데이터를 동시에 포함) 및 임계 치수 데이터를 기반으로 한 시스템 파라미터의 교정으로부터 이익을 갖는 임의의 다른 계측 또는 검사 도구로서 구성될 수 있다.
- [0150] 시편을 프로세싱하기 위해 사용될 수 있는 반도체 프로세싱 시스템(예를 들어, 검사 시스템 또는 리소그래피 시스템)에 대한 다양한 실시예가 본원에 설명된다. "시편"이라는 용어는 본 기술 분야에 알려진 수단에 의해 프로세싱(예를 들어, 인쇄 또는 결함 검사)될 수 있는 웨이퍼, 레티클 또는 임의의 다른 샘플을 지칭하기 위해 본원에서 사용된다.
- [0151] 본원에서 사용되는 "웨이퍼"라는 용어는 일반적으로 반도체 또는 비반도체 재료로 형성된 기판을 지칭한다. 예는 단결정 실리콘, 갈륨 비소 및 인듐 인화물을 포함하지만 이에 제한되지 않는다. 이러한 기판은 통상적으로 반도체 제조 설비에서 발견 및/또는 프로세싱될 수 있다. 일부 경우에, 웨이퍼는 기판(즉, 베어(bare) 웨이퍼)만을 포함할 수 있다. 대안적으로, 웨이퍼는 기판 상에 형성된 상이한 재료의 하나 이상의 층을 포함할 수 있다. 웨이퍼 상에 형성된 하나 이상의 층은 "패턴 화" 또는 "비패턴화"될 수 있다. 예를 들어, 웨이퍼는 반복 가능한 패턴 피처를 갖는 복수의 다이를 포함할 수 있다.
- [0152] "레티클"은 레티클 제조 프로세스의 임의의 스테이지에서의 레티클, 또는 반도체 제조 설비에서 사용하기 위해 해체되거나 해체되지 않을 수 있는 완전한 레티클일 수 있다. 레티클 또는 "마스크"는 일반적으로 그 위에 형성되고 패턴으로 구성된 실질적으로 불투명한 영역을 갖는 실질적으로 투명한 기판으로 정의된다. 기판은 예를 들어, 비정질 SiO_2 와 같은 유리 재료를 포함할 수 있다. 레티클의 패턴이 레지스트로 전사될 수 있도록 리소그래피 프로세스의 노광 단계 동안 레티클은 레지스트로 덮인 웨이퍼 위에 배치될 수 있다.
- [0153] 웨이퍼 상에 형성된 하나 이상의 층은 패턴화되거나 패턴화되지 않을 수 있다. 예를 들어, 웨이퍼는 각각 반복 가능한 패턴 피처를 갖는 복수의 다이를 포함할 수 있다. 이러한 재료층의 형성 및 프로세싱은 궁극적으로 완성된 디바이스로 귀결될 수 있다. 다수의 상이한 유형의 디바이스가 웨이퍼 상에 형성될 수 있으며, 본원에서 사용되는 웨이퍼라는 용어는 본 기술 분야에 알려진 임의의 유형의 디바이스가 제조되는 웨이퍼를 포함하도록 의도된다.
- [0154] 하나 이상의 예시적인 실시예에서, 설명되는 기능은 하드웨어, 소프트웨어, 펌웨어 또는 이들의 임의의 조합으로 구현될 수 있다. 소프트웨어로 구현되는 경우, 기능은 컴퓨터-판독 가능 매체 상에 하나 이상의 명령 또는 코드로서 저장되거나 송신될 수 있다. 컴퓨터-판독 가능 매체는 컴퓨터 저장 매체 및 한 장소에서 다른 장소로 컴퓨터 프로그램의 전달을 용이하게 하는 임의의 매체를 포함하는 통신 매체 모두를 포함한다. 저장 매체는 범용 또는 특수 목적 컴퓨터에 의해 액세스될 수 있는 임의의 이용 가능한 매체일 수 있다. 예로서, 그리고 비제한적으로, 이러한 컴퓨터-판독 가능 매체는 RAM, ROM, EEPROM, CD-ROM 또는 다른 광 디스크 저장 디바이스, 자기 디스크 저장 디바이스 또는 다른 자기 저장 디바이스, 또는 명령 또는 데이터 구조의 형태로 원하는 프로그램 코드 수단을 전달 또는 저장하는 데 사용될 수 있고 범용 또는 특수 목적 컴퓨터, 또는 범용 또는 특수 목적 프로세서에 의해 액세스될 수 있는 임의의 다른 매체를 포함할 수 있다. 또한, 임의의 접속이 컴퓨터-판독 가능 매체로 적절히 지칭된다. 예를 들어, 소프트웨어가 동축 케이블, 광섬유 케이블, 트위스티드 페어(twisted

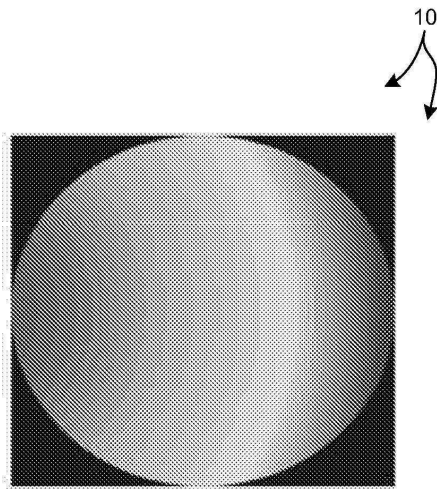
pair), 디지털 가입자 라인(Digital Subscriber Line: DSL) 또는 적외선, 라디오 및 마이크로파와 같은 무선 기술을 사용하여 웹사이트, 서버 또는 다른 원격 소스로부터 소프트웨어가 송신되는 경우, 동축 케이블, 광섬유 케이블, 트위스티드 페어, DSL 또는 적외선, 라디오 및 마이크로파와 같은 무선 기술이 매체의 정의에 포함된다. 본원에서 사용되는 디스크(disk) 및 디스크(disc)는 콤팩트 디스크(CD), 레이저 디스크, 광 디스크, 디지털 버서타일 디스크(DVD), 플로피 디스크 및 디스크가 일반적으로 자기적으로 데이터를 재생하는 블루-레이 디스크를 포함하며, 디스크는 레이저로 광학적으로 데이터를 재생한다. 상술한 것들의 조합이 또한 컴퓨터-판독 가능 매체의 범위 내에 포함되어야 한다.

[0155]

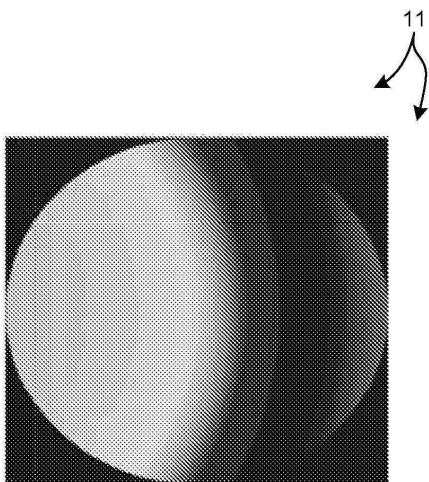
특정의 구체적인 실시예가 교육 목적으로 위에서 설명되었지만, 본 특허 문헌의 교시는 일반적인 적용성을 가지며 상술한 특정 실시예로 제한되지 않는다. 따라서, 청구 범위에 기재된 본 발명의 범위를 벗어나지 않으면서 설명된 실시예의 다양한 피처의 다양한 수정, 개조 및 조합이 실시될 수 있다.

도면

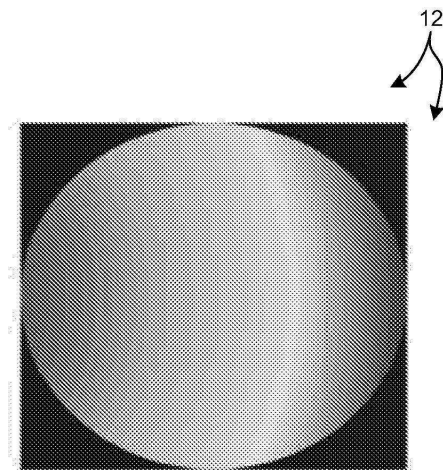
도면1a



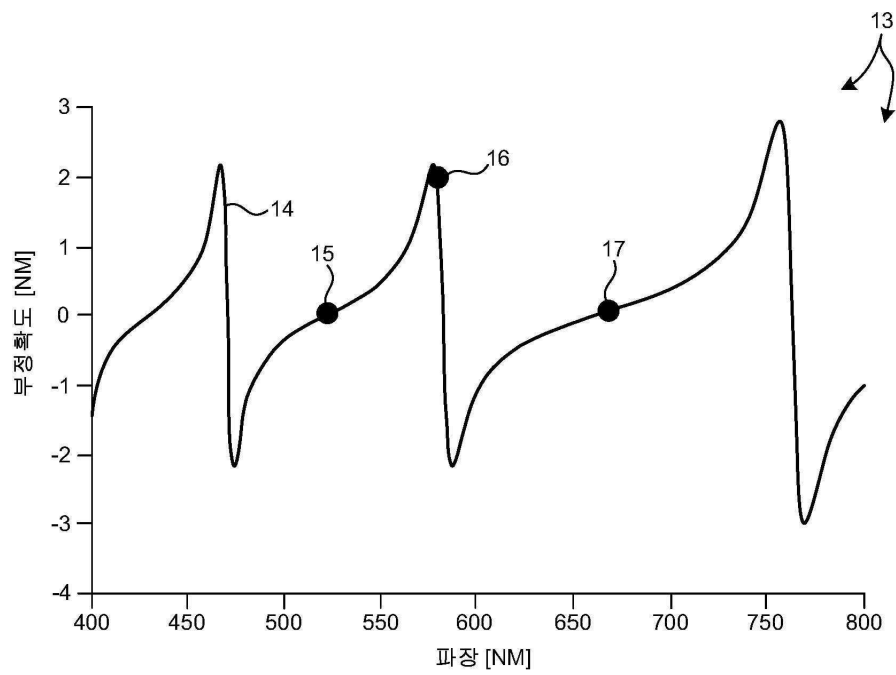
도면1b



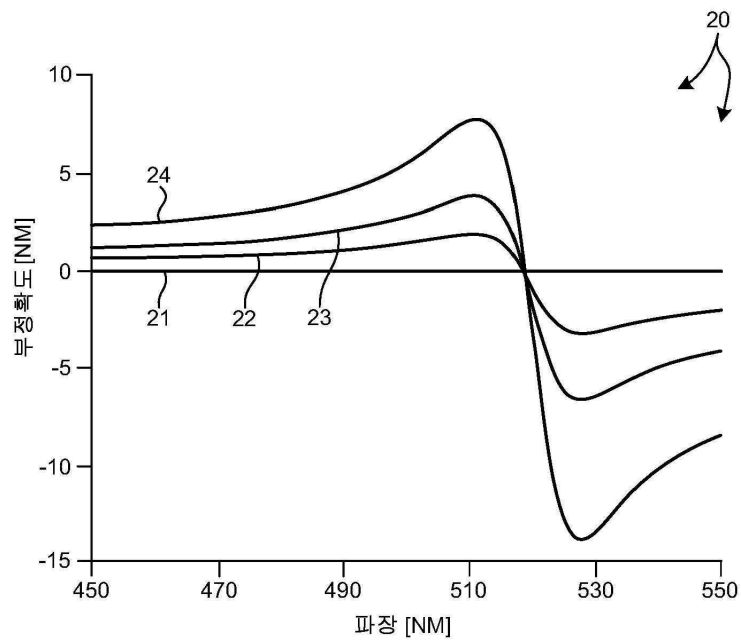
도면1c



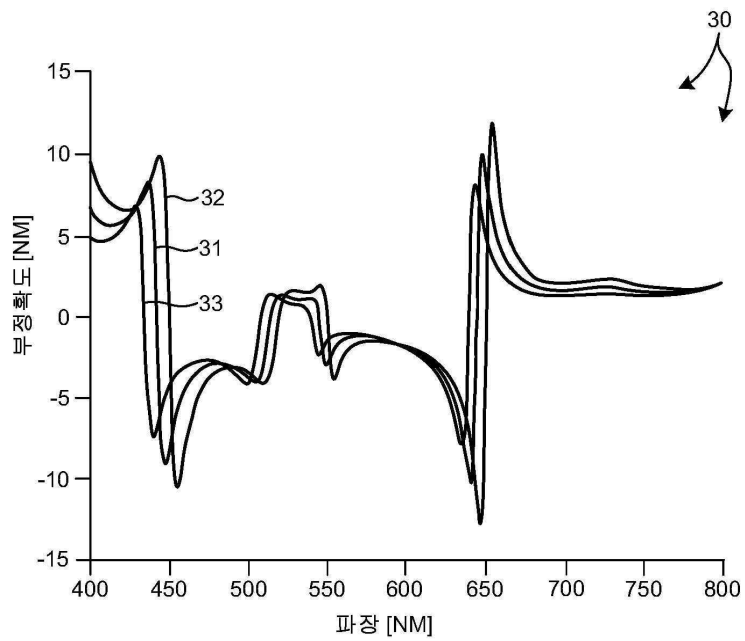
도면2



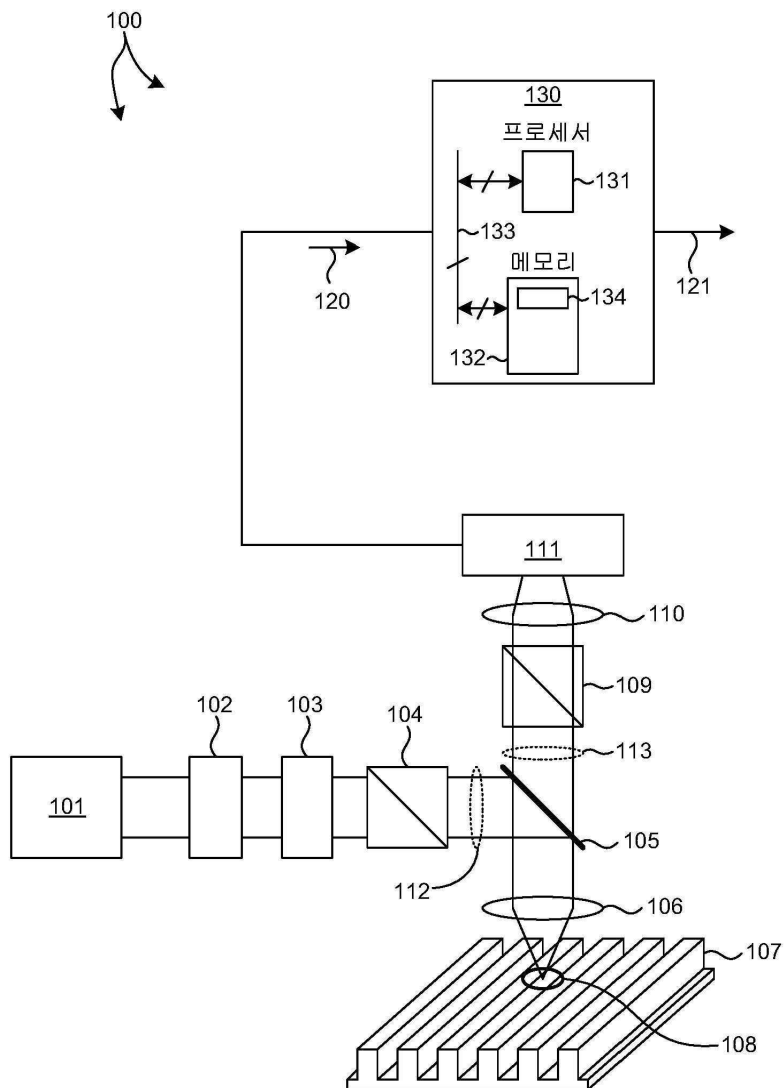
도면3



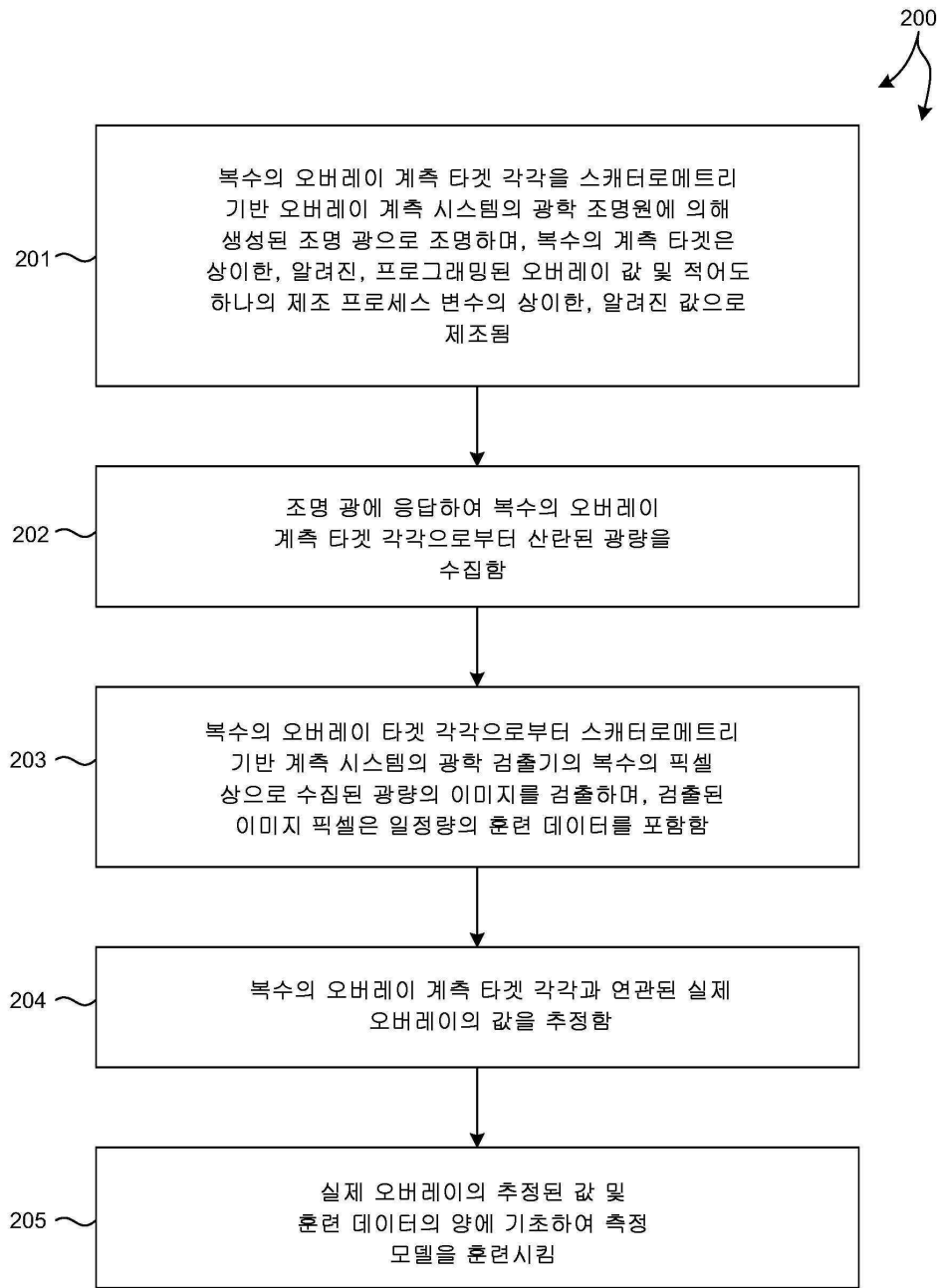
도면4



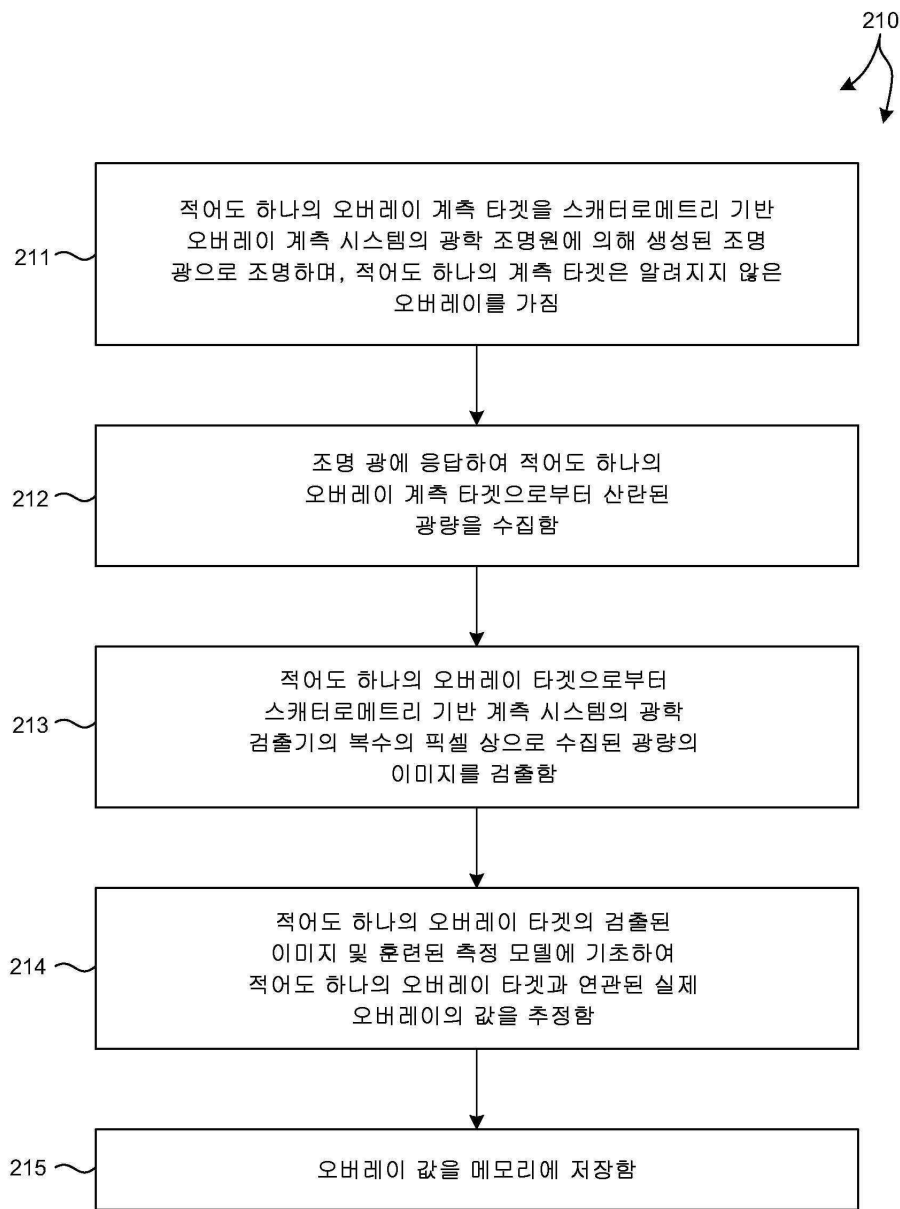
도면5



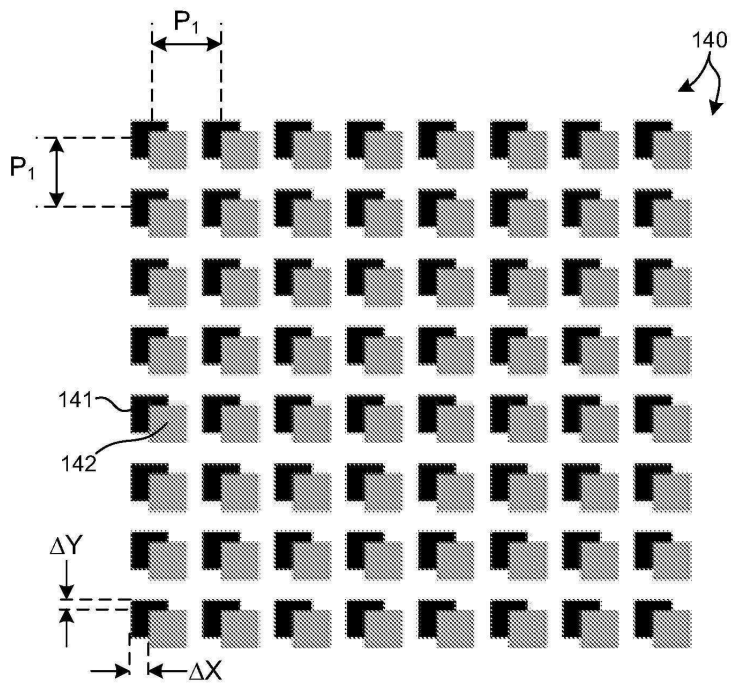
도면6



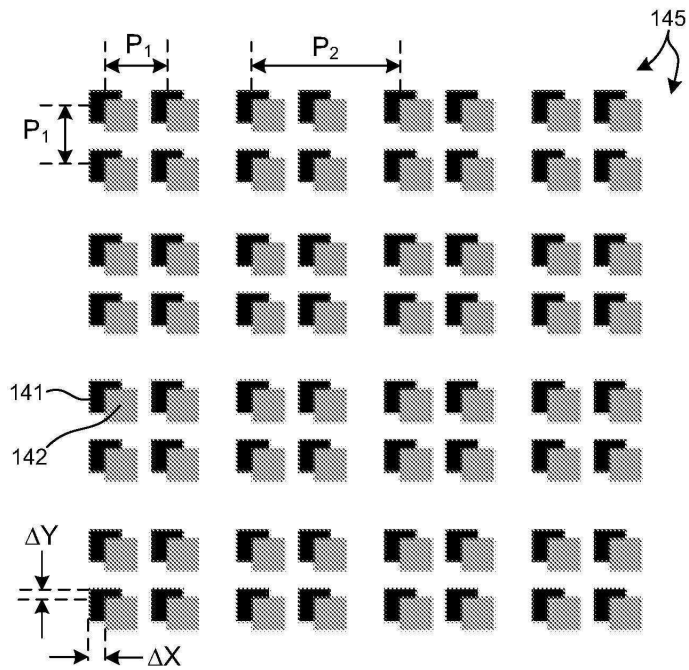
도면7



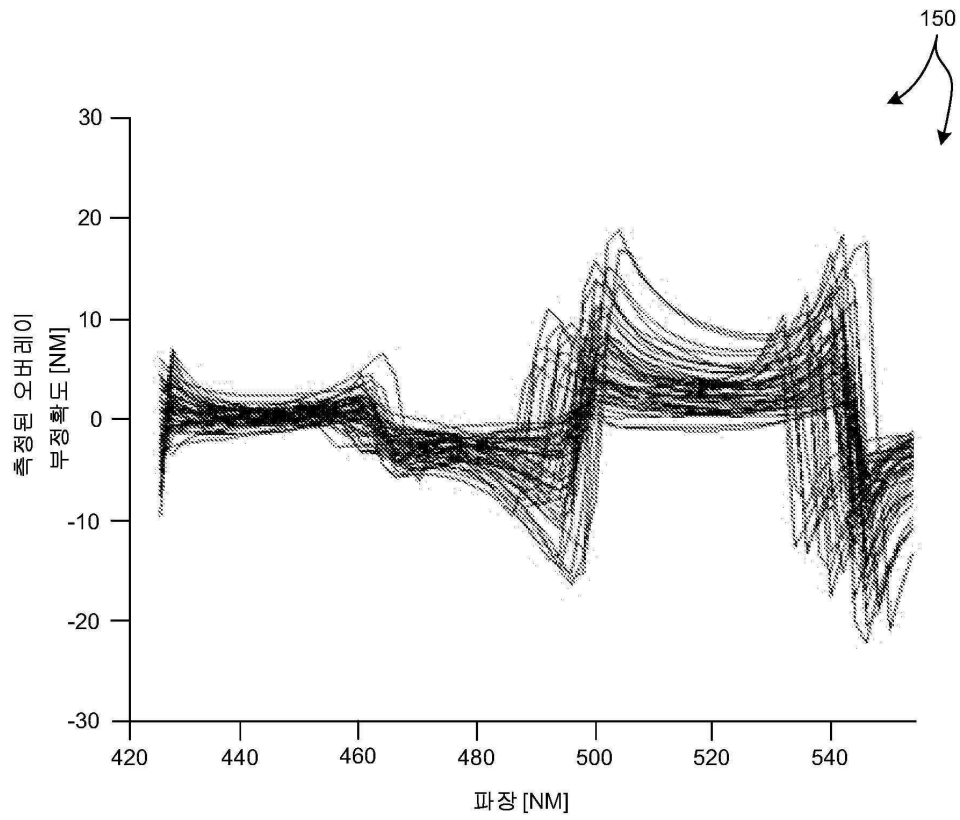
도면8



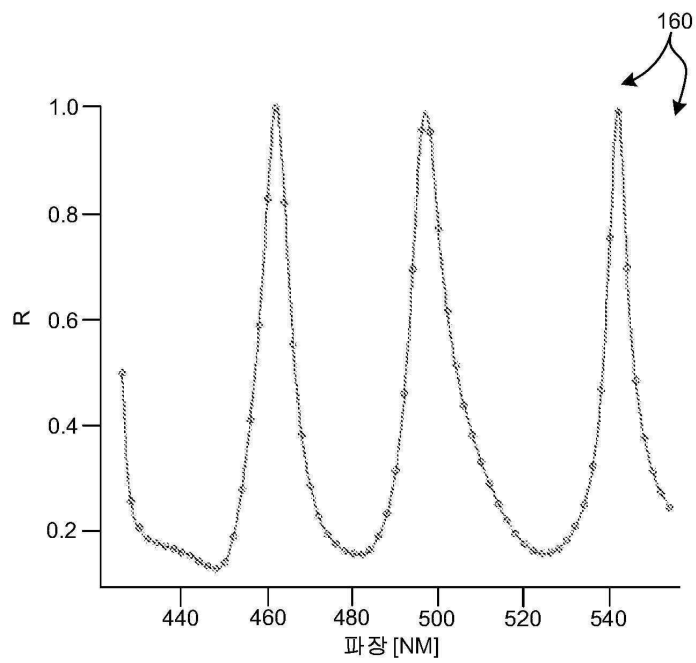
도면9



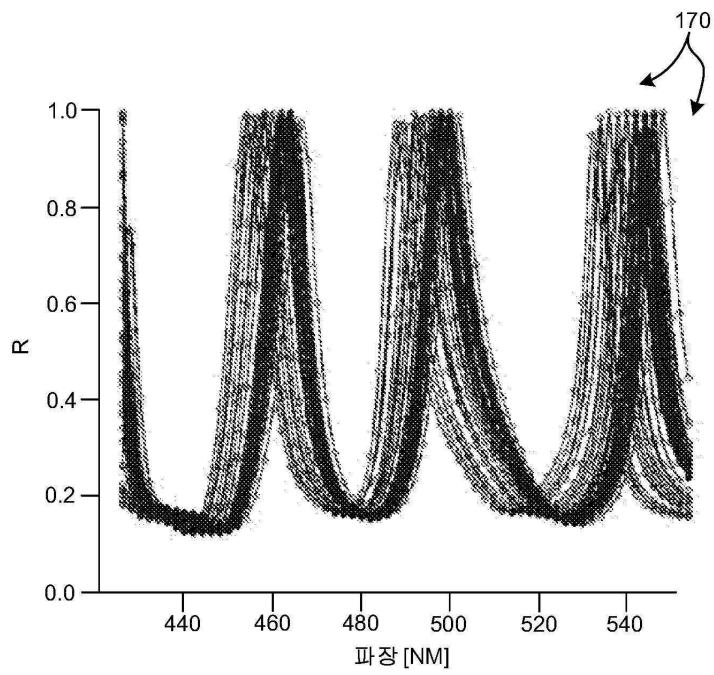
도면10



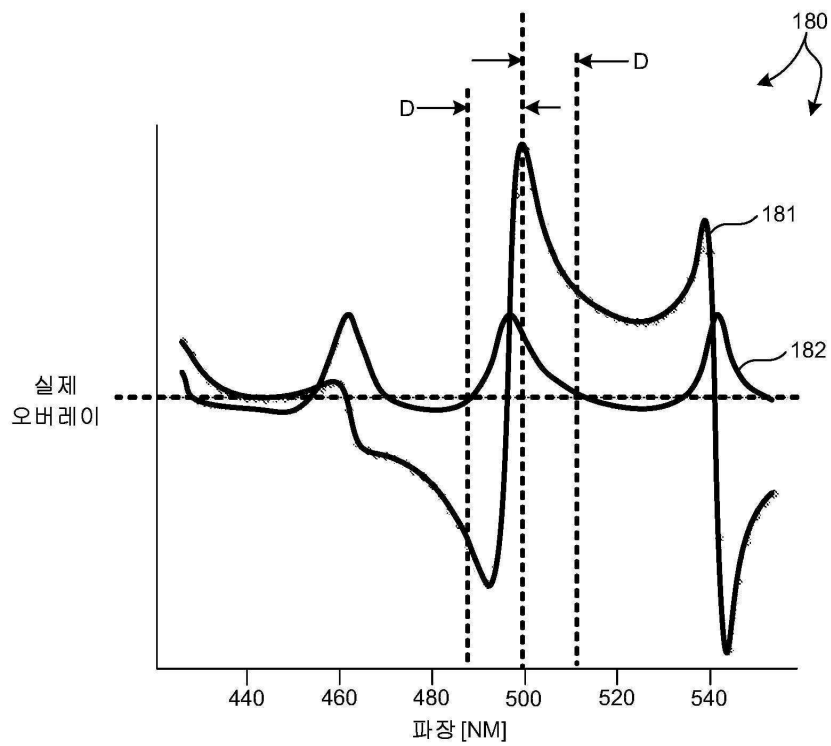
도면11



도면12



도면13



도면14

