(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년06월25일
(11) 등록번호 10-2269514
(24) 등록일자 2021년06월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G03F 7/20 (2006.01) *G03F 9/00* (2006.01)
H01L 21/66 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G03F 7/70633 (2013.01)
G03F 9/7003 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-7017380
(22) 출원일자(국제) 2015년11월24일
심사청구일자 2020년11월20일
(85) 번역문제출일자 2017년06월23일
(65) 공개번호 10-2017-0088403
(43) 공개일자 2017년08월01일
(86) 국제출원번호 PCT/US2015/062523
(87) 국제공개번호 WO 2016/086056
국제공개일자 2016년06월02일
(30) 우선권주장
62/083,891 2014년11월25일 미국(US)
62/100,384 2015년01월06일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
US20140136137 A1
JP2006515958 A
JP2011155302 A
JP2013238606 A

(73) 특허권자
케이엘에이 코포레이션
미합중국, 캘리포니아 95035, 밀피타스, 원 테크놀로지 드라이브
(72) 발명자
마르시아노 탈
이스라엘 2069200 요크님 야아르 오뎀 32/10
브린콜츠 바락
이스라엘 75712 리숀 레 지온 아파트먼트 4 하트잔하님 스트리트 13번
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
김태홍, 김진희

전체 청구항 수 : 총 77 항 심사관 : 계원호

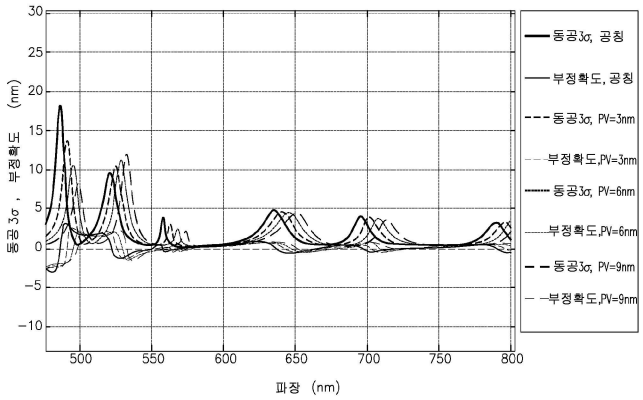
(54) 발명의 명칭 **랜드스케이프의 분석 및 활용**

(57) 요 약

레시피 파라미터(들)에 대한 계측 메트릭(들)의 부분적으로 연속하는 의존성을 유도하는, 유도된 의존성을 분석하는, 분석에 따라 계측 레시피를 결정하는, 그리고 상기 결정된 레시피에 따라 계측 측정(들)을 행하는 방법이 제공된다. 의존성은, 낮은 감도의 영역 및/또는 낮은 또는 제로 부정확도의 포인트 및 윤곽이 분석적으로, 수치

(뒷면에 계속)

대 표 도



적으로 또는 실험적으로 검출되는 감도 랜드스케이프와 같은 랜드스케이프의 형태로 분석될 수도 있고, 높은 측정 정확도를 달성하게끔 측정, 하드웨어 및 타겟의 파라미터를 구성하도록 사용될 수도 있다. 프로세스 변동은, 감도 랜드스케이프에 대한 그것의 효율성의 관점에서 분석되고, 이들 효과는, 프로세스 변동을 추가적으로 특성묘사하기 위해, 측정을 최적화하기 위해 그리고 계측을, 부정확도 소스에 대해 더 강건하게 그리고 웨이퍼 상의 상이한 타겟 및 이용가능한 측정 조건에 대해 더 유연하게 만들기 위해, 사용된다.

(52) CPC특허분류

H01L 22/12 (2013.01)

H01L 22/20 (2013.01)

(72) 발명자

구레비치 에브게니

이스라엘 23100 미그달 하에멕 라맛 가브리엘 인더스트리얼 파크 하라비안 스트리트

아담 이도

이스라엘 55450 키리앗 오노 네하르 하야르덴 21

린덴펠드 자에브

이스라엘 23100 미그달 하에멕 라맛 가브리엘 인더스트리얼 파크 하라비안 스트리트

자오 젱

중국 샹하이 201203 주총지 로드 레인 887 넘버 79-80

펠러 요엘

이스라엘 32163 하이파 데레츠 야드 레바님 82/2

칸델 다니엘

이스라엘 76858 아세렛 하알론 스트리트 2

카멜 나다브

이스라엘 99770 메바세렛-지온 카멜 27 스트리트

마나센 암논

이스라엘 34892 하이파 골다 메이르 10

아미르 누리엘

이스라엘 2068101 스트리트 요크님 야르덴 스트리트 34

카민스키 오데드

이스라엘 5401777 기밧 세무엘 메나쳄 비긴 스트리트 25

야지브 탈

이스라엘 2528825 키르얏 하임 잘만 아란 스트리트 25

자하란 오페르

이스라엘 97225 예루살렘 라못 에이. 모르겐다우 40/6 스트리트

쿠퍼 모셰

이스라엘 23100 미그달 하에멕 라맛 가브리엘 인더스트리얼 파크 하라비안 스트리트

술리마르스키 로에

이스라엘 3271404 하이파 아파트먼트 6 아담 하코헨 5

레비안트 톰

이스라엘 23100 미그달 하에멕 라맛 가브리엘 인더스트리얼 파크 하라비안 스트리트

셀라 노가

이스라엘 23100 미그달 하에멕 라맛 가브리엘 인더스트리얼 파크 하라비안 스트리트

에프라티 보리스

이스라엘 2163201 카르미엘 하브로심 스트리트 12/15

살토운 릴라치

이스라엘 23100 미그달 하에멕 라맛 가브리엘 인더스트리얼 파크 하라비안 스트리트

한델만 아미르

이스라엘 23100 미그달 하에멕 라맛 가브리엘 인더스트리얼 파크 하라비안 스트리트

애쉬월 엘트사폰

이스라엘 23100 미그달 하에멕 라맛 가브리엘 인더스트리얼 파크 하라비안 스트리트

바차르 오하드

이스라엘 36576 팀랏 헤엘라 스트리트 29

명 세 서

청구범위

청구항 1

방법으로서,

시뮬레이션에 의해 또는 예비 측정(preparatory measurement)에서, 적어도 하나의 레시피 파라미터(recipe parameter)에 대한 적어도 하나의 계측 메트릭(metrology metric)의 적어도 부분적으로 연속하는 의존성을 유도하는 단계;

상기 유도된 의존성을 분석하는 단계;

상기 분석에 따라 계측 레시피를 결정하는 단계; 및

상기 결정된 레시피에 따라 적어도 하나의 계측 측정을 행하는 단계

를 포함하고,

상기 적어도 하나의 계측 측정은 격자 위 격자 산란측정 타겟(grating-over-grating scatterometry target) 또는 나란한 산란측정 타겟(side-by-side scatterometry target)의 오버레이 계측 측정을 포함하고,

상기 적어도 하나의 레시피 파라미터는, 상기 격자 사이의 광로차(optical path difference)에 관련되고, 상기 격자 사이의 중간 레이어의 두께, 측정 파장, 입사각, 반사각, 입사 및 반사 광의 편광 특성, 타겟의 기하학적 파라미터, 또는 상기 격자의 그리고 상기 격자 사이의 중간 레이어의 전자기적 특성 중 적어도 하나를 포함하는 것인, 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 분석은 상기 적어도 부분적으로 연속하는 의존성에서 적어도 하나의 극값을 식별하는 것을 포함하는 것인, 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 적어도 부분적으로 연속하는 의존성의 도함수를 널(null)로 함으로써 상기 계측 레시피를 분석적으로 결정하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 유도하는 단계는 즉석에서(on the fly) 수행되는 것인, 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 적어도 하나의 오버레이 계측 측정은 이미징 타겟을 구비하고, 상기 적어도 하나의 레시피 파라미터는 타겟 구조체 사이의 광로차에 관련되고, 상기 타겟 구조체 사이의 중간 레이어의 두께, 측정 파장, 입사각, 반사각, 입사 및 반사 광의 편광 특성, 타겟의 기하학적 파라미터, 상기 타겟 구조체의 그리고 상기 타겟 구조체 사이의 중간 레이어의 전자기적 특성, 및 측정 툴 초점 중 적어도 하나를 포함하는 것인, 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 유도된 의존성에 대한 그 효과를 시뮬레이팅하거나 측정하는 것에 의해, 대칭적 프로세스 변동으로부터 비

대칭적 프로세스 변동을 구별하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

오버레이 변동 척도를 상기 적어도 하나의 계측 메트릭으로서 사용하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 적어도 부분적으로 연속하는 의존성에 따라 타겟 구조체 사이의 중간 막 스택에서 공진을 식별하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 9

제1항에 있어서,

추정치와 상기 적어도 하나의 계측 메트릭의 측정 데이터를 비교하는 것에 의해 픽셀당 신호 오염(per-pixel signal contamination)을 추정하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 10

제1항에 있어서,

낮은 부정확도를 달성하기 위해, 상기 적어도 하나의 계측 측정에서 측정되는 복수의 동공 픽셀(pupil pixel)에 적용되는 적어도 하나의 가중치 함수에 따라 상기 적어도 하나의 계측 메트릭을 계산하는 단계를 더 포함하고, 상기 적어도 하나의 가중치 함수는 상기 적어도 부분적으로 연속하는 의존성에 대해 결정되는 것인, 방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 적어도 하나의 오버레이 계측 측정은 격자 위 격자 산란측정 타겟 또는 나란한 산란측정 타겟을 구비하고 상기 적어도 하나의 가중치 함수는 또한 예상된 신호 방향성과 주어진 조명 방향성 사이의 관계에 대해 결정되는 것인, 방법.

청구항 12

제1항에 있어서,

상기 적어도 부분적으로 연속하는 의존성은, 상기 적어도 하나의 레시피 파라미터에 대한 상기 적어도 하나의 계측 메트릭의 감도 랜드스케이프(sensitivity landscape)인 것인, 방법.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 감도 랜드스케이프에서 제로 감도의 포인트 또는 윤곽을 식별하는 단계 및 파라미터의 세트에 대해 제로 감도의 상기 포인트 또는 윤곽 주위의 영역에서 상기 적어도 하나의 계측 측정을 행하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 감도 랜드스케이프에서 제로 감도의 상기 포인트 또는 윤곽을 식별하기 위해 단일의 또는 다수의 산란 모델을 사용하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 15

제13항에 있어서,

파라미터의 상기 세트에 의해 확장되는 부공간의 일부로부터의 신호를 빈화(binning)하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 16

제13항에 있어서,

상기 감도 랜드스케이프에서의 제로 감도의 상기 식별된 포인트 또는 윤곽에 따라 조명 스펙트럼 분포를 선택하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 17

제13항에 있어서,

상기 감도 랜드스케이프에서의 제로 감도의 상기 식별된 포인트 또는 윤곽에 따라 동공의 일부로부터의 신호를 빈화하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 18

제17항에 있어서,

상기 감도 랜드스케이프에 따라 낮은 부정확도(inaccuracy)를 달성하기 위해 계측 레시피 및 하드웨어 설정 중 적어도 하나를 최적화하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 19

제18항에 있어서,

적어도 하나의 하드웨어 파라미터를 상기 감도 랜드스케이프에서의 제로 감도의 포인트 또는 윤곽으로 조정하는(tuning) 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 20

제1항에 있어서,

상기 적어도 부분적으로 연속하는 의존성의 별개의 측정치 또는 데이터로부터 연속하는 인공적 신호 랜드스케이프를 보간 또는 외삽하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 21

제20항에 있어서,

상기 별개의 측정치 또는 데이터를 기저의 물리적 모델에 피팅하는 것에 의해 상기 연속하는 인공적 신호 랜드스케이프를 구성하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 22

제20항에 있어서,

각각의 적어도 하나의 계측 메트릭을 계산하기 위해 상기 연속하는 인공적 신호 랜드스케이프에 적어도 하나의 비용 함수를 적용하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 23

제1항에 있어서,

상기 적어도 부분적으로 연속하는 의존성은, 상기 적어도 하나의 레시피 파라미터에 대한 상기 적어도 하나의 계측 메트릭의 랜드스케이프인 것인, 방법.

청구항 24

제23항에 있어서,

피크로부터 편평한 영역을 구별하는 것에 의해 상기 랜드스케이프를 특성 묘사하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 25

제24항에 있어서,

연속하는 피크 사이의 각각의 중간의 편평한 영역이 정확한 편평한 영역인지의 여부를 결정하기 위해 상기 연속하는 피크에서 상기 랜드스케이프의 경사의 상대적인 부호를 사용하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 26

제24항에 있어서,

상기 랜드스케이프에서의 피크 위치에 따라 상기 랜드스케이프의 상이한 영역에 대한 필요한 샘플링 밀도를 결정하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 27

제24항에 있어서,

상기 랜드스케이프를, 피크 영역에서 고밀도로 그리고 편평한 영역에서 저밀도로 샘플링하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 28

제24항에 있어서,

피크 영역 및 편평한 영역의 상대적인 사이즈를 사용하여 대칭적 프로세스 강인성(symmetric process robustness)을 측정하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 29

제24항에 있어서,

상기 적어도 하나의 계측 메트릭의 부호 플립(sign flip)의 횟수에 따라 상기 피크를 식별하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 30

제29항에 있어서,

상기 적어도 하나의 계측 메트릭의 부호 플립의 횟수에 따라 상기 식별된 피크를 간단한 또는 복잡한 피크로서 특성 묘사하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 31

제24항에 있어서,

적어도 하나의 명시된 랜드스케이프 영역에 걸쳐 상기 적어도 하나의 계측 메트릭을 적분하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 32

제31항에 있어서,

상기 적어도 하나의 계측 메트릭은 적어도 오버레이를 포함하는 것인, 방법.

청구항 33

제24항에 있어서,

상기 적어도 하나의 계측 메트릭은 적어도 두 개의 계측 메트릭을 포함하고, 상기 적어도 하나의 계측 측정을 검증하기 위해, 명시된 랜드스케이프 영역에 걸쳐 상기 적어도 두 개의 계측 메트릭을 상관시키는 단계를 더 포

함하는, 방법.

청구항 34

제23항에 있어서,

적어도 하나의 파라미터에 대해 파라메트릭 랜드스케이프로서 상기 랜드스케이프를 유도하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 35

제34항에 있어서,

명시된 메트릭에 대해 상기 파라메트릭 랜드스케이프를 최적화하기 위해 상기 적어도 하나의 파라미터를 조정하는(adjusting) 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 36

제35항에 있어서,

상기 조정하는 단계는 오버레이 측정의 정확도를 향상시키도록 수행되는 것인, 방법.

청구항 37

제35항에 있어서,

상기 조정하는 단계는 현상학적 모델(phenomenological model)에 대해 수행되는 것인, 방법.

청구항 38

제34항에 있어서,

상기 유도하는 단계는 복수의 측정에 대해 수행되는 것인, 방법.

청구항 39

제23항에 있어서,

대칭적 프로세스 변동에 의해 야기되는 랜드스케이프 시프트를 정량화하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 40

제39항에 있어서,

상기 정량화된 랜드스케이프 시프트에 따라 측정 설정을 선택하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 41

제39항에 있어서,

상기 정량화된 랜드스케이프 시프트에 대해 낮은 감도를 나타내도록 측정 설정을 선택하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 42

제39항에 있어서,

상기 랜드스케이프의 반대 시프트를 야기하는 대응하는 타겟 또는 측정 설계에 의해 상기 정량화된 랜드스케이프 시프트를 상쇄하는(cancelling out) 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 43

제39항에 있어서,

각각의 타겟 사이트에서의 상기 정량화된 랜드스케이프 시프트에 따라 측정 파라미터를 상이한 타겟 사이트에

피팅하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 44

제39항에 있어서,

상기 정량화된 랜드스케이프 시프트에 따라 조명 스펙트럼 분포를 선택하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 45

제23항에 있어서,

상기 랜드스케이프에 따라 낮은 부정확도를 산출하도록 계측 타겟을 설계하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 46

제45항에 있어서,

상기 랜드스케이프에 따라 타겟 구조체 사이의 중간 막 스택에서 공진을 예측하는 단계 및 명시된 측정 파라미터에서 공진을 산출하도록 상기 중간 막 스택을 구성하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 47

제46항에 있어서,

타겟의 하부 구조체 아래에서 또는 상기 하부 구조체에서 전자기 투과를 최소화하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 48

제47항에 있어서,

상기 타겟의 하부 레이어에서 또는 상기 하부 레이어 아래에서 더미필(dummy-fill) 또는 구획을 갖도록 상기 타겟을 설계하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 49

제45항에 있어서,

상기 설계된 타겟의 계측 측정을 수행하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 50

제49항에 있어서,

상기 랜드스케이프는 감도 랜드스케이프이고 상기 감도 랜드스케이프의 낮은 또는 제로의 부정확도 포인트 또는 윤곽에서 오버레이를 측정하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 51

제45항에 있어서,

상기 랜드스케이프의 편평한 영역에서 계측 측정을 수행하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 52

방법으로서,

계측 툴의 동공 플레인에서 적어도 ±1차 회절(first diffraction order)을 포함하는 회절 신호 - 상기 신호는 적어도 두 개의 셀을 포함하는 타겟으로부터 유도되고, 적어도 두 개의 셀 각각은 반대 설계의 오프셋을 갖는 적어도 두 개의 주기적 구조체를 가짐 - 를 측정하는 단계;

상기 적어도 두 개의 셀의 상기 측정된 회절 신호로부터, 각각의 셀에서, 서로에 대해 180° 만큼 회전되는 동공 픽셀들에서 측정되는 반대 차수의 신호 강도 사이의 차이를 사용하여, 상기 타겟의 오버레이를 계산하는 단계; 및

적어도 하나의 충실도 메트릭을 결정하는 단계

를 포함하고,

상기 적어도 하나의 충실도 메트릭을 결정하는 단계는, 상기 동공 픽셀의 그룹들 사이의 상기 계산된 오버레이의 변동으로부터 적어도 하나의 충실도 메트릭을 결정하는 단계를 포함하고,

상기 그룹들의 사이즈는 상기 계측 툴의 광학 시스템에서의 간섭의 예상된 소스에 관련되는 명시된 길이 스케일(specified length scale)에 따라 선택되는 것인, 방법.

청구항 53

제52항에 있어서,

상기 오버레이는 $OVL(\vec{p}) = ((D_1(\vec{p}) + D_2(\vec{p}))/(D_1(\vec{p}) - D_2(\vec{p})))\cdot f_0$ 로서 계산되고, $\vec{p}$ 는 상기 동공 픽셀을 나타내고, f_0는 상기 설계된 오프셋을 나타내고, D_1 및 D_2는, 반대 설계의 오프셋에 대응하여, 서로에 대해 180° 만큼 회전되는 동공 픽셀에서 측정되는 반대 차수의 신호 강도 사이의 차이를 나타내는 것인, 방법.

청구항 54

제52항에 있어서,

상기 적어도 하나의 충실도 메트릭을 결정하는 단계는, 서로에 대해 180° 만큼 회전되는 동공 픽셀에서 측정되는 반대 차수의 신호 강도 사이의 차이로부터 유도되는, 상기 반대 설계의 오프셋에 대한, 동공 함수 사이의 추정된 피트(fit)로부터 적어도 하나의 충실도 메트릭을 포함하는 것인, 방법.

청구항 55

제54항에 있어서,

상기 적어도 하나의 충실도 메트릭은 $D_1(\vec{p}) + D_2(\vec{p})$ 및 $D_1(\vec{p}) - D_2(\vec{p})$ 의 선형 피트로부터 유도되는 것인, 방법.

청구항 56

제54항에 있어서,

상기 적어도 하나의 충실도 메트릭을 유도하기 위해 상기 동공 픽셀을 가중화하는(weighting) 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 57

제56항에 있어서,

상기 적어도 하나의 충실도 메트릭은 상기 추정된 피트의 가중된 카이 자승 척도(weighted chi-squared measure)를 포함하는 것인, 방법.

청구항 58

제52항에 있어서,

상기 적어도 하나의 충실도 메트릭을 결정하는 단계는, 공칭 오버레이 값을, 서로에 대해 180° 만큼 회전되는 동공 픽셀에서 측정되는 반대 차수의 신호 강도 사이의 차이를, 상기 동공에 걸쳐, 적분하는 것에 의해 유도되는 오버레이 값과 비교하는 단계를 포함하는 것인, 방법.

청구항 59

제58항에 있어서,

상기 유도된 오버레이 값은, 상기 동공에 걸쳐 $D_1(\vec{p}) + D_2(\vec{p})$ 를 적분하는 것에 의해 계산되고, $\vec{p}$ 는 상기 동공

픽셀을 나타내고, D_1 및 D_2는, 상기 반대 설계의 오프셋에 대응하여, 서로에 대해 180° 만큼 회전되는 상기 동공 픽셀에서 측정되는 반대 차수의 신호 강도 사이의 차이를 나타내는 것인, 방법.

청구항 60

제59항에 있어서,

상기 적분은 상기 동공에 걸쳐 $D_1(\vec{p}) + D_2(\vec{p})$ 의 평균에 대해 수행되는 것인, 방법.

청구항 61

제60항에 있어서,

상기 적분은 $D_1(\vec{p}) + D_2(\vec{p})$ 의 2차 또는 더 고차 모멘트에 대해 수행되는 것인, 방법.

청구항 62

제58항에 있어서,

상기 적어도 하나의 충실도 메트릭을 유도하기 위해 상기 동공 픽셀을 가중화하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 63

제52항에 있어서,

상기 적어도 하나의 충실도 메트릭을 결정하는 단계는,

대응하는 파라미터와 관련되며,

(i) 산란측정 알고리즘을 사용하여 공칭 오버레이 값을 유도하는 단계,

(ii) 서로에 대해 180° 만큼 회전되는 동공 픽셀에서 측정되는 반대 차수의 신호 강도 사이의 차이로부터 유도되는, 상기 반대 설계의 오프셋에 대한, 동공 함수 사이의 피트를 추정하는 단계, 및

(iii) 공칭 오버레이 값을, 서로에 대해 180° 만큼 회전되는 상기 동공 픽셀에서 측정되는 반대 차수의 신호 강도 사이의 차이를, 상기 동공에 걸쳐, 적분하는 것에 의해 유도되는 오버레이 값과 비교하는 단계

중 적어도 대응하는 두 개의 단계에 의해 유도되는

적어도 두 개의 오버레이 값을 사용하여 적어도 하나의 충실도 메트릭을 결정하는 단계를 포함하고,

상기 적어도 하나의 충실도 메트릭은, 상이한 파라미터 값 하에서 상기 유도된 적어도 두 개의 오버레이 값 사이의 차이의 가변성에 대응하는 동공 노이즈를 정량화하도록 정의되는 것인, 방법.

청구항 64

제63항에 있어서,

상기 파라미터는 상기 동공 픽셀의 상이한 가중치를 포함하는 것인, 방법.

청구항 65

제63항에 있어서,

상기 동공 노이즈의 정량화는, 서로에 대해 180° 만큼 회전되는 동공 픽셀에서의 오버레이 차이에 대해 수행되는 것인, 방법.

청구항 66

제62항에 있어서,

상기 가중화는 동공 공간에 켤레 공간(conjugate space)에서 정의되는 것인, 방법.

청구항 67

제66항에 있어서,

상기 켤레 공간은 동공 푸리에 켤레 공간(pupil Fourier conjugate space)인 것인, 방법.

청구항 68

제52항에 있어서,

상기 그룹의 상기 사이즈는 λ/(L/2)의 스케일에서 선택되고, λ는 조명 파장이고 L은 간섭의 상기 예상된 소스의 사이즈인 것인, 방법.

청구항 69

제52항에 있어서,

상기 적어도 하나의 충실도 메트릭에 따라 측정 레시피를 선택하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 70

제52항에 있어서,

상기 동공 플레인의 중심에 대해 상기 오버레이의 비대칭적 메트릭을 계산하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 71

제52항에 있어서,

상기 주기적 구조체에 수직인 방향에서 비대칭적 메트릭을 계산하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 72

제71항에 있어서,

상기 비대칭적 메트릭은 상기 측정된 회절 신호 및 상기 오버레이 중 적어도 하나에 대해 계산되는 것인, 방법.

청구항 73

제71항에 있어서,

상기 비대칭적 메트릭은, 상기 수직 방향에서 반사되는 동공 이미지들을 수집하고, 상기 동공 이미지들의 통계적 분석을 적용하는 것에 의해 계산되는 것인, 방법.

청구항 74

방법으로서,

적어도 하나의 레시피 파라미터를 사용하여 적어도 하나의 계측 메트릭의, 신호 타입에 관련되는, 적어도 하나의 측정을 수행하는 단계;

상기 적어도 하나의 측정을, 상기 적어도 하나의 계측 메트릭 및 적어도 하나의 편차 요인에 대한 상기 신호 타입의 의존성을 설명하는 현상학적 모델에 피팅하는 단계; 및

상기 피팅으로부터, 적어도 하나의 각각의 수정된 계측 메트릭을 유도하는 단계

를 포함하는, 방법.

청구항 75

제74항에 있어서,

상기 적어도 하나의 유도된 수정된 계측 메트릭에 따라 계측 레시피를 결정하는 단계; 및

상기 결정된 레시피에 따라 적어도 하나의 계측 측정을 행하는 단계

를 더 포함하는, 방법.

청구항 76

제74항에 있어서,

상기 현상학적 모델은, 시뮬레이션에 의해 또는 예비 측정에서 유도되는 상기 적어도 하나의 레시피 파라미터에 대한 상기 적어도 하나의 계측 메트릭의 적어도 부분적으로 연속하는 의존성으로부터 유도되는 것인, 방법.

청구항 77

제74항에 있어서,

상기 적어도 하나의 계측 메트릭은 타겟 오버레이를 포함하는 것인, 방법.

청구항 78

삭제

청구항 79

삭제

청구항 80

삭제

청구항 81

삭제

청구항 82

삭제

청구항 83

삭제

청구항 84

삭제

청구항 85

삭제

청구항 86

삭제

청구항 87

삭제

청구항 88

삭제

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 관련 출원에 대한 교차 참조

[0002] 본 출원은 2014년 11월 25일자로 출원된 미국 특허 가출원 제62/083,891호 및 2015년 1월6일자로 출원된 미국

특허 가출원 제62/100,384호의 이익을 주장하는데, 이들 가출원은 참조에 의해 그 전체가 본원에 통합된다.

[0003] 본 출원은 계측(metrology)의 분야에 관한 것으로, 특히, 오버레이 광학 계측에서의 부정확도(inaccuracy)를 감소시키거나 또는 제거하는 것에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0004] 광학 계측 기술은 일반적으로, 비대칭적 신호의 일부가 오버레이에 의해 야기되는 신호 비대칭성보다 훨씬 더 작도록, 계측 신호에서 비대칭성을 야기하는 프로세스 변동이 어떤 임계치보다 훨씬 더 작아야 한다는 것을 규정한다. 그러나, 실제로는, 이러한 프로세스 변동은 (특히 칩 개발의 연구 및 개발 단계에서) 꽤 크며 이들은 계측에 의해 보고되는 오버레이에서 꽤 큰 에러를 야기할 수도 있다. 광학 계측 기술은, 수 나노미터정도 될 수 있는 정확도 버짓(accuracy budget)을 갖는다. 이것은, 이미징을 기반으로 하는 것, 산란측정(scatterometry)을 기반으로 하는 것(이 경우, 검출기는 동공 또는 필드 중 하나에 배치된다) 그리고 이들의 파생 기술을 포함하는 모든 타입의 광학 오버레이 계측에 대해 유효하다. 그러나, 프로세스 변동으로부터의 에러는 나노미터 영역에 도달할 수도 있고, 그에 의해 오버레이 계측 버짓의 상당한 부분을 소비하게 된다.

[0005] 광학 오버레이 계측은, 두 개의 리소그래피 단계 사이의 오버레이에 기인하는 계측 신호에 의해 전달되는 비대칭성의 계측이다. 이 비대칭성은 전자기 신호에서 존재하는데, 그 이유는 후자가 오버레이 정보를 전달하는 상대적인 위상을 갖는 전기장의 간섭을 반영하기 때문이다. 오버레이 산란측정(그것의 동공 산란측정 또는 필드 산란측정임)에서, 오버레이 마크는 일반적으로 격자 위 격자 구조체(grating-over-grating structure)이고 오버레이 정보는 하부(lower) 및 상부(upper) 격자의 상대적인 위상에서 전달된다.

[0006] 나란한(side-by-side) 타입의 오버레이 산란측정(예를 들면, 참조에 의해 그 전체가 본원에 통합되는 WIPO 공개 제2014062972호 참조)에서, 오버레이 마크(즉, 계측 타겟)는 격자 옆 격자 구조체(grating next to a grating structure)를 포함할 수도 있고, 오버레이 정보는 또한 하부 및 상부 격자의 상대적인 위상에서 전달될 수도 있다.

[0007] 오버레이 이미징에서, 오버레이 마크(즉, 계측 타겟)는 별개의 레이어에 대한 별개의 마크로 구성되고, 오버레이 정보는 검출기 상의 각각의 개별 마크의 포지션에서 전달되는데, 오버레이 정보는, 결국에는, 개별 마크의 상이한 회절 차수 사이의 간섭의 결과이다.

[0008] 측정 부정확도를 감소시키기 위한 현재의 방법론은, 신호에서의 오버레이 유도 비대칭성(overlay-induced asymmetry) 및 다른 프로세스 변동에 의해 야기되는 비대칭성을 최소화하는 TMU(total measurement uncertainty; 총 측정 불확실도) 및 정확도를 위한 대규모 레시피(recipe) 및 타겟 설계 최적화를 수행하는 것을 수반한다. 예를 들면, 레시피 및 타겟의 최상의 조합은, 거의 과도한 검색 형태의 아주 다양한 옵션 중에서 선택될 수도 있다. 다른 예에서, 최적화 메트릭이 계측 신호로부터 또는 외부 캘리브레이션 계측으로부터 유도된다.

발명의 내용

[0009] 이하는, 본 발명의 초기 이해를 제공하는 단순화된 개요이다. 개요는 본 발명의 주요 엘리먼트를 반드시 식별하는 것도 아니고 본 발명의 범위를 제한하는 것도 아니며, 단지 이하의 설명에 대한 도입부로서 기능한다.

[0010] 본 발명의 하나의 양태는, 시뮬레이션에 의해 또는 예비 측정(preparatory measurement)에서, 적어도 하나의 레시피 파라미터에 대한 적어도 하나의 계측 메트릭의 적어도 부분적으로 연속하는 의존성을 유도하는 것, 유도된 의존성을 분석하는 것, 분석에 따라 계측 레시피를 결정하는 것, 및 결정된 레시피에 따라 적어도 하나의 계측 측정을 행하는 것을 포함하는 방법을 제공한다.

[0011] 본 발명의 이들의, 추가적인, 및/또는 다른 양태 및/또는 이점은, 이하의 상세한 설명에서 설명되고; 어쩌면 상세한 설명으로부터 추론될 수 있고; 및/또 본 발명의 실시에 의해 학습될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0012] 본 발명의 실시형태의 더 나은 이해를 위해 그리고 본 발명의 실시형태가 어떻게 실시될 수도 있는지를 보여주기 위해, 동일한 도면 부호가, 전체에 걸쳐, 대응하는 엘리먼트 또는 섹션을 가리키는 첨부의 도면을, 순전히 예로서, 참조할 것이다.

첨부의 도면에서:

도 1은, 본 발명의 몇몇 실시형태에 따른, 시뮬레이팅된 픽셀당 오버레이 감도(simulated per-pixel overlay sensitivity)에서의 윤곽 라인에 대한 예를 제시한다.

도 2a 및 도 2b는, 본 발명의 몇몇 실시형태에 따른, 공진을 나타내는 예시적인 시뮬레이션 결과를 예시한다.

도 3a 및 도 3b는, 본 발명의 몇몇 실시형태에 따른, 부정확도 및 신호를 나타내는 추가적인 예시적 시뮬레이션 결과를 예시한다.

도 4는, 본 발명의 몇몇 실시형태에 따른, 대칭적 프로세스 변동 하에서의, 파라미터에 대한 계측 메트릭의 의존성을 설명하는 랜드스케이프의 시프팅을 묘사하는 시뮬레이션 결과의 예시적인 예시이다.

도 5는, 본 발명의 몇몇 실시형태에 따른, 예시적인 정확도 향상 알고리즘의 시뮬레이션 결과를 예시한다.

도 6a 및 도 6b는, 종래 기술(도 6a)에 따른 그리고 본 발명의 몇몇 실시형태(도 6b)에 따른, 계측 파라미터에 대해 계산되는 계측 메트릭의 하이 레벨의 개략적인 예시이다.

도 6c는, 본 발명의 몇몇 실시형태에 따른, 제로 감도 윤곽(zero sensitivity contour) 및 그들의 활용의 하이 레벨의 개략적인 예시이다.

도 7a 및 도 7b는, 본 발명의 몇몇 실시형태에 따른, 중간 레이어를 갖는 상이한 레이어에서 병렬 격자와 같은 두 개의 주기적인 구조체를 구비하는, 리소그래피 반도체 프로세스에서 인쇄되는 타겟 셀을 개략적으로 예시한다.

도 8은, 본 발명의 몇몇 실시형태에 따른, 반대 오프셋(opposite offset)을 갖는 두 개의 셀의 동공 신호 및 차분 신호(differential signal)를 개략적으로 예시한다.

도 9는, 본 발명의 몇몇 실시형태에 따른, 셀 반대 설계 오프셋에 대한 동공 함수(pupil function) 사이의 피팅 곡선(fitting curve)으로부터의 충실도 메트릭(fidelity metric)의 계산을 개략적으로 예시하는 도면이다.

도 10은, 본 발명의 몇몇 실시형태에 따른, 프로세스 변동에 의해 야기되는 부정확도를 갖는 스택에 대해 수행되는 시뮬레이션에 대한, 동공 플레인(pupil plane)의 중심 주위의 비대칭적 오버레이 추정치를 나타내는 결과를 예시화하는 도면이다.

도 11은, 본 발명의 몇몇 실시형태에 따른, 방법을 예시하는 하이 레벨 플로우차트이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0013] 상세한 설명을 설명하기 이전에, 이하 본원에서 사용될 소정의 용어의 정의를 설명하는 것이 도움이 될 수도 있다.

[0014] 본 출원의 본원에서 사용되는 바와 같은 용어 "계측 타겟" 또는 "타겟은, 계측 목적을 위해 사용되는 웨이퍼 상에 설계되는 또는 생성되는 임의의 구조체로서 정의된다. 구체적으로는, 오버레이 타겟은, 웨이퍼 상에 생성되는 막 스택(film stack)의 두 개 이상의 레이어 사이의 오버레이의 측정을 가능하게 하도록 설계된다. 예시적인 오버레이 타겟은, 동공 플레인에서 및/또는 필드 플레인(field plane)에서 산란측정에 의해 측정되는 산란측정 타겟, 및 이미징 타겟이다. 예시적인 산란측정 타겟은, 상이한 레이어에 위치될 수도 있는 두 개 이상의 주기적인 또는 비주기적인 구조체(비제한적인 방식에서 격자로 칭해짐)를 포함할 수도 있고 수직적인 관점에서 서로 겹쳐져서("격자 위 격자"로 칭해짐) 또는 서로 인접하게("나란히"로 칭해짐) 설계 및 생성될 수도 있다. 공통 산란측정 타겟은 SCOL(scatterometry overlay; 산란측정 오버레이) 타겟, DBO(diffraction based overlay; 회절 기반의 오버레이) 타겟 및 등등으로 칭해진다. 공통 이미징 타겟은 박스 인 박스(Box-in-Box; BiB) 타겟, AIM(advance imaging metrology; 어드밴스 이미징 계층) 타겟, AIMid 타겟, 블라썸(Blossom) 타겟 및 등등으로 칭해진다. 본 발명은 이들 특정한 타입에 제한되는 것이 아니라, 임의의 타겟 설계에 대해 수행될 수도 있다는 것을 유의한다. 소정의 계측 타겟은, 본 출원의 본원에서 사용되는 바와 같이, 타겟의 주기적 구조체 사이의 의도적인 시프트 또는 오버레이인, "설계 오프셋" 또는 "설계상 불일치(designed misalignment)"로도 또한 칭해지는, "유도된 오프셋(induced offset)"을 나타낸다. 타겟 엘리먼트, 예컨대 주기적 구조체의 피쳐, 주기적 구조체의 피쳐 사이의 엘리먼트(예를 들면, 격자 바 사이의 영역) 및 배경(background)의 엘리먼트(즉, 하부 또는 상부 레이어)는 구획될 수도 있거나(피쳐의 경우) 또는 더미화될(dummyfied) 수도 있다(피쳐 사이의 갭의 경우), 즉, 주기적 구조체의 피쳐에 대해 상이한 방위(예를 들면, 수직)에서 공통적으로 그리고 주기적 구조체의 피쳐보다 더 작은 스케일에서 주기적 또는 비주기적 피쳐를 가지도록 설계 및/또는 생성될 수도 있다.

[0015] 본 출원의 본원에서 사용되는 바와 같은 용어 "랜드스케이프", "성능 랜드스케이프", "랜드스케이프 시그니쳐" 또는 "LS"는, 하나 이상의 파라미터에 대한 하나 이상의 계측 메트릭(들), 예를 들면, 산란측정 오버레이(scatterometry overlay; SCOL)의 의존성으로서 정의된다. 본 출원의 본원에서 사용되는 바와 같은 용어 "감도 랜드스케이프", "정확도 랜드스케이프" 및 "정확도 시그니쳐"는, 감도 또는 정확도 메트릭에 각각 관련되는 랜드스케이프에 대한 예이다. 본 설명의 전체에 걸쳐 사용되는 예는, 프로세스 파라미터, 측정 파라미터 및 타겟 파라미터의 함수로서 오버레이 및 Pupil3S 변동을 갖는다. 오버레이 변동을 사용하는 것은, 임의의 다른 계측 메트릭에 의해 대체될 수도 있는 비제한적인 예에 불과하다. 랜드스케이프 또는 시그니쳐는 파라미터(들)에 대한 메트릭(들)의 의존성을 시각화하는 방식으로 이해되며, 연속적인 의존성, 분석적 의존성(함수로서 표현 가능함)에 제한되지 않으며 또한 의존성이 유도되는 특정한 방식(예를 들면, 실험적으로, 시뮬레이션에 의해 또는 분석적으로)에도 제한되지 않는다. 파라미터 중 임의의 것은, 특정한 측정 설정에 따라, 불연속 값(discrete value) 또는 연속하는 값을 갖는 것으로 이해될 수도 있다는 것을 유의한다. 소정의 실시형태에서, 랜드스케이프는, 적어도 하나의 레시피 파라미터에 대한 적어도 하나의 계측 메트릭의 적어도 부분적으로 연속하는 의존성, 또는 조밀하게 샘플링된 의존성(densely sampled dependency)을 포함한다.

[0016] 이제 도면에 대한 상세하고 구체적인 참조에서, 도시되는 상세는 본 발명의 바람직한 실시형태의 예이고 단지 예시적인 논의의 목적을 위한 것이며, 본 발명의 원리 및 개념적 양태의 가장 유용하며 쉽게 이해되는 설명인 것으로 생각되는 것을 제공하기 위해 제시된다는 것을 강조한다. 이와 관련하여, 본 발명의 기본적인 이해에 필요한 것보다 더 상세하게 본 발명의 구조적 세부 사항을 나타내기 위한 어떠한 시도도 이루어지지 않았는데, 도면과 함께 취해지는 설명은, 본 발명의 여러가지 형태가 실제 어떻게 구체화될 수도 있는지를 기술 분야의 숙련된 자에게 명확하게 만든다.

[0017] 본 발명의 적어도 하나의 실시형태가 상세하게 설명되기 이전에, 본 발명은 구성의 세부 사항 및 하기의 설명에서 설명되는 또는 도면에서 예시되는 컴포넌트의 배치에 대한 본 발명의 적용에서 제한되지 않는다는 것이 이해되어야 한다. 본 발명은 다른 실시형태에 적용될 수 있거나 또는 다양한 방식으로 실시되거나 수행 것이다. 또한, 본원에서 활용되는 어법(phraseology) 및 전문용어(terminology)는 설명의 목적을 위한 것이며 제한하는 것으로 간주되지 않아야 한다는 것이 이해되어야 한다.

[0018] 상기에서 설명된 측정 부정확도를 감소시키기 위한 현재의 방법론은 다음의 단점을 갖는데, 즉, (i) 트레인 중에(in train) 계측의 부정확도를 신뢰성 있게 추정하는 것이 아주 어렵고 전통적인 레시피 최적화를 사용하여 실시간으로 그렇게 하는 것이 거의 불가능하다. 예를 들면, 측정을 교정하기(calibrate) 위해 디캡(decap) 이후에 CDSEM을 사용할 수 있지만, 이 단계는 드물게만 행해질 수 있고 SEM 부정확도 버짓은 어쩌면 또한 나노미터 레벨에 있다; (ii) 하기에서 정의되는 바와 같이 대칭적 프로세스 변동(예를 들면, 오버레이 마크의 소정의 레이어의 두께에서의 변화)의 존재는 레시피 최적화를 쓸모 없게 만들 수도 있는데, 왜냐하면, 레시피 A가 최상인 것으로 나타난 트레인 중에 있는 동안, 실행(run)(또는 연구 및 개발) 중에, 프로세스 변동은 그것을 불량하게 수행하게 했다는 것을 알 수 있기 때문이다. 이러한 문제점은 또한 웨이퍼 전체에 걸쳐 발생할 수도 있다(예를 들면, 레시피 A는 웨이퍼 중심에 대해 최적이지만 그러나 에지에서 아주 불량하게 수행한다); 및 (iii) 구체적으로는, 오버레이 필드 산란측정의 컨텍스트에서, 기본적인 문제가 존재한다: 그 계측 기술의 본질은 하드웨어 파라미터에 의해 동공 신호의 평균을 구하는 것이다(왜냐하면 계측 기술은 필드 플레인에서 측정을 수행하기 때문이다). 이것은, 동공 픽셀당 오버레이(per-pupil-pixel overlay)의 평균을 알고리즘적으로 구하는 동공 오버레이 산란측정과는 대조적이다. 동공 신호의 직접적인 하드웨어 파라미터 평균은, 오버레이 감도에서의 극적인 손실의 많은 상황으로 이어진다. 특히, 상이한 조명 각도가 상이한 오버레이 감도를 가지기 때문에 그리고 이들 감도는 종종 그들의 진폭뿐만 아니라 부호에서도 종종 변하기 때문에, 동공 신호의 하드웨어 파라미터 평균은, 동공 오버레이 감도를 제로로 종종 평균화한다. 이것은, 픽셀당 감도가 종종 절대 값에서 아주 좋다는 사실에도 불구하며 따라서, (동공 오버레이 산란측정에 의해 처리될 때와 같이) 알고리즘적으로 처리될 때, 이 문제점은 사라진다.

[0019] 유익하게는, 하기에서 개시되는 소정의 실시형태는 하드웨어 조정 및 알고리즘의 사용에 의해 동공 오버레이 산란측정에서의 이들 어려움을 극복하며, 하드웨어 조정을 통해 필드 오버레이 산란측정에서 이들 어려움을 극복한다. 개시된 방법론은, 정확도를 비롯한, 계측 오버레이 감도 및 오버레이 성능을 향상시키고, 광학 계측에서 우수한 정확도를 달성하며, 런 타임 및 트레인 둘 다에서 아주 작은 부정확도를 전달한다.

[0020] 세 개의 공통 타입의 오버레이 타겟(격자 위 격자 산란측정 타겟; 나란한 산란측정 타겟; 이미징 타겟)을 참조하여, 본 발명가는, 신호의 감도(즉, 신호 대칭성이 오버레이에 의해 영향을 받는 정도)는 주로 이들 신호의 간섭 항(interference term)의 사이즈에서의 변화에 의해 주로 영향을 받는다는 것을 주목한다. 예를 들면, 산란

측정 타겟에서, 간섭 위상의 항 중 일부는, 하부 및 상부 격자로부터 산란되는 광 사이의 광로차(optical path difference)에 의존하는데, 광 경로 차이는, 하부 및 상부 격자를 분리하는 막 스택의 두께에서 선형적이고 파장에 대해 반비례한다. 그러므로, 간섭 항은 또한, 입사각, 또는 반사각과 같은 다른 파라미터, 및 입사광 및 반사광의 편광 특성뿐만 아니라; 타겟 속성 및 격자 및 스택의 전자기 특성에 의존한다. 이미징 타겟에서, 간섭 위상은 또한 툴의 초점에서 선형적이고 입사각과 같은 다른 파라미터에 의존한다.

[0021] 개시된 솔루션은, "정확도 랜드스케이프" 또는 "성능 랜드스케이프"를 언급하는데, 이들은 광의 파장, 편광기 각도, 및 아포다이제이션 함수(apodization function)와 같은 툴 레시피에 대한 정확도 시그니쳐의 의존성을 설명하며, 툴 레시피는 스택의 정확도 랜드스케이프를 관리하는 기저의 물리학으로부터 유래한다. 본 개시는, 많은 특수한 경우에서 정확도 랜드스케이프를 관리하는 것으로 밝혀진 범용 구조체를 분석한다. 대조적으로, 현재의 최적화 프로시져는 정확도 랜드스케이프에 관련되는 임의의 시스템 규칙에 의해 좌우되지 않는다.

[0022] 계측 툴의 감도가 툴 파라미터에 연속적인 방식으로 어떻게 의존하는지, 그리고 특히 계측 특성 중 많은 것의 다양한 차분(differential)(예컨대, 파장, 초점, 편광, 등등에 대한 감도의 1차, 2차, 및 더 고차의 도함수)에 어떻게 의존하는지를 관측하는 것은, 임의의 공칭 스택에 관련되는 성능 랜드스케이프의 형태를 드러낸다. 본 발명가는, 시뮬레이션 및 이론을 사용하여, 오버레이 마크의 대칭성을 깨트리는 그리고 부정확도를 야기하는 모든 것들을 포함하는 많은 타입의 프로세스 변동에 이 랜드스케이프가 크게 독립적이다는 점에서 이 랜드스케이프는 범용적이다는 것을 발견하였다. 정의에 의해, 하기에서 정의되는 바와 같이 비대칭적 프로세스 변동에 크게 의존하는 부정확성을 툴 성능이 또한 포함하지만, 본 발명가는, 툴 성능이, 프로세스 변동에 대한 정확도의 감도가 랜드스케이프의 어느 서브섹션에서 가장 강한지 그리고 어느 서브섹션에서 가장 약한지, 그리고 감도가 어떻게 일반적으로 특성 묘사될 수 있는지를 결정하는 정확도 랜드스케이프이다는 것을 알아 냈다. 대부분, 소정 타입의 프로세스 변동에 민감한 동일한 영역은 또한, "공칭" 스택(즉, 비대칭적 프로세스 변동을 갖는 스택)의 오버레이에 대한 민감도에 의해 결정되는 바와 같은 모든 다른 타입의 프로세스 변동에 민감하다는 것을 본 발명가는 발견하였다.

[0023] 시뮬레이션에 의해 또는 예비 측정에서, 적어도 하나의 레시피 파라미터에 대한 적어도 하나의 계측 메트릭의 적어도 부분적으로 연속하는 의존성을 유도하는, 유도된 의존성을 분석하는, 분석에 따라 계측 레시피를 결정하는, 그리고 결정된 레시피에 따라 적어도 하나의 계측 측정을 행하는 방법이 제공된다. 파라미터(들)에 대한 계측 메트릭(들)의 의존성에서 극값(들)이 식별될 수도 있다. 의존성은, 낮은 감도의 영역 및/또는 낮은 또는 제로 부정확도의 포인트 및 윤곽이 분석적으로, 수치적으로 또는 실험적으로 검출되는 감도 랜드스케이프와 같은 랜드스케이프의 형태로 분석될 수도 있고, 높은 측정 정확도를 달성하게끔 측정, 하드웨어 및 타겟의 파라미터를 구성하도록 사용될 수도 있다. 프로세스 변동은, 감도 랜드스케이프에 대한 그것의 효율성의 관점에서 분석될 수도 있고, 이들 효과는, 프로세스 변동을 추가적으로 특성 묘사하기 위해, 측정을 최적화하기 위해 그리고 계측을, 부정확도 소스에 대해 더 강건하게 그리고 웨이퍼 상의 상이한 타겟 및 이용가능한 측정 조건에 대해 더 유연하게 만들기 위해, 사용될 수도 있다. 웨이퍼 전체에 걸쳐 상이한 타겟 설계 또는 레시피 설계를 사용하는 것에 의해, 부정확도 및 프로세스 강인성을 조정하기 위한 기술이 추가로 제공된다. 웨이퍼 전체에 걸쳐 프로세스 변동에 기인하는 부정확도를 제어하는 그리고 적절한 레시피 선택에 의해 프로세스 강인성을 증가시키는 방법이 또한 제공된다.

[0024] 도 6a 및 도 6b는, 종래 기술(도 6a)에 따른 그리고 본 발명의 몇몇 실시형태(도 6b)에 따른, 계측 파라미터에 대해 계산되는 계측 메트릭의 하이 레벨의 개략적인 예시이다. 종래 기술에서, 계측 레시피는 하나 이상의 파라미터 설정에서의 하나 이상의 계측 메트릭의 계산에 따라 선택된다. 계측 레시피는 계측 파라미터(P_1, …, P_N)의 세트에 관련된다(파라미터의 타입은 하기에서 더 상세히 예시화된다). 하나 이상의 계측 메트릭(M_1, …, M_k)은, 웨이퍼 상의 복수의 사이트(x_1, …, x_L) 상에서 공통적인, 하나 이상의 파라미터(p_i)($1 \le i \le n \le N$)의 하나 이상의 값에 대해 측정되고, 그 결과 레시피는, 도 6a에서 개략적으로 예시되는 메트릭 값의 세트 $M_j(p_i, x_1, \cdots, x_L)$($1 \le j \le k$)에 따라 복수의 불연속 포인트로서 선택된다. 소정의 실시형태에서, 적어도 하나의 메트릭은, 도 6b에서 개략적으로 예시되는 바와 같이, 파라미터 중 하나 이상에 대해 적어도 부분적으로 연속적으로 측정될 수도 있다. 부분적인 연속성은 하나 이상의 파라미터의 소정의 범위를 가리킨다. 파라미터(들)에 대한 메트릭(들)의 의존성은 불연속 포인트를 포함할 수도 있고, 작은 범위 내의 많은 수의 별개의 파라미터 값에 대해 정의될 수도 있다. 파라미터에 대한 예는, 별개의 파장, 조명 및 집광 편광(illumination and collection polarization direction) 방향의 별개의 세트, 동공 좌표의 별개의 세트, 아포다이제이션의 별개의 세트, 등등, 뿐만 아니라 이들의 조합을 포함할 수도 있다. 본 발명가는, 알고리즘적 방법을 사용하여 별개의 측정치의 이러한 세트를 분

석하는 것에 의해, 계측 정확도 및 성능의 랜드스케이프로서 칭해지는 기저의 물리적 연속성을 나타낼 수 있었다. 별개의 측정치의 샘플링 밀도는 시뮬레이션 및/또는 데이터에 의해 결정될 수도 있고 각각의 기저의 물리적 연속 함수의 평활도에 의존한다는 것을 유의한다. 의존성의 적어도 부분적으로 연속하는 부분 상에서 극값(예를 들면, 극대, 극소)이 식별될 수도 있다. 파라미터 값(p_1, …, p_N의 값)의 풀 세트 및 측정 레시피는, 적어도 하나의 파라미터(p_1, ... p_n, $1 \le n \le N$)에 대한 적어도 하나의 메트릭(M_1, …, M_k)의 적어도 부분적으로 연속하는 의존성의 분석에 따라 정의될 수도 있다.

[0025] "정확도 랜드스케이프"는, 비대칭적 프로세스 변동의 존재에서 발생하는, 그리고 각각의 레시피 파라미터의 공간에서 0의 값이 되는(vanishing) 오버레이 신호 또는 "오버레이 감도"의 윤곽 라인(또는 더 일반적으로는 자취(locus))의 출현에 의해 결정되는 각각의 스택의 "정확도 시그니처"로서 이해될 수 있다. 더 구체적으로는, 그리고 비제한적인 예로서, (검출기가 필드 플레인에 있는 암시야 산란측정, 및 동공 산란측정 둘 다의) 산란측정의 경우에, 이들 윤곽은, 산란된 방사선의 파장 및 편광 방위와 같은 산란된 방사선의 다른 파라미터(파라미터는 불연속적일 수도 있거나 또는 연속적일 수도 있다)와 함께 연속적으로 변하는 각도의 연결된 성분의 세트를 포함한다. 검출된 정보로부터 각도의 이들 그룹을 활용하거나 또는 제거하는 알고리즘 방법 및 하드웨어 방법을 설계하는 것에 대한 문호를 개방하고, 그에 의해 계측을 더욱 정확하게 만드는 것은, 이들 윤곽, 및 비대칭적 및 대칭적 프로세스 변동에서의 이들 윤곽의 범용 거동을 관리하는 기저의 물리학을 이해하는 데이터로 이들 윤곽을 검출하는 것이다. 유사한 라인에서, 이미징 기반의 오버레이 계측의 경우, 윤곽에 대응하는 계측은 파장 및 초점 및 파장의 공간에서 식별될 수도 있다.

[0026] 도 1은, 본 발명, 즉 격자 위 격자 시스템의 몇몇 실시형태에 따른, 시뮬레이팅된 픽셀당 오버레이 감도에서의 윤곽 라인에 대한 예를 제시한다. 프론트 엔드 스택(front-end stack)에 대한 이차원의 픽셀당 감도 함수 A(x, y)는, 이중 격자 및 막 시스템(double-grating and film system)에서의 간섭 효과 때문에 동공에서 "제로 감도 윤곽"을 포함하는 파장에서 제시되는데, 이것은 일반화된 우드의 이상(Wood's anomaly)으로 간주될 수 있다. 단위는 임의적인 정규화된 단위이고(20에 도달하는 하이 값(high value)은 예시된 동공의 좌측에 있고, -20에 도달하는 로우 값(low value)은 예시된 동공의 우측에 있으며, 제로 윤곽은 중심에서 좌측으로 약간 떨어져 있다), x 및 y축은 조명 동공의 정규화된 축이다: 즉, $x = k_x/(2\pi/\lambda)$이고, $y = k_y/(2\pi/\lambda)$(k_x 및 k_y는 파장 벡터의 성분이고 λ는 파장이다)이다.

[0027] 꽤 일반적으로, 상이한 측정 조건 및 측정 기술에 걸쳐, 실험적으로 또는 시뮬레이션의 도움으로 결정될 수 있는 소정의 특수 포인트가 랜드스케이프에서 존재한다는 것을 본 발명가는 발견하였는데, 소정의 특수한 포인트에서는, 비대칭적 프로세스 변동으로 인한 신호 오염 및 오버레이 정보를 반영하는 "이상적인" 신호가 (다른 파라미터에 의해 확장되는 공간에 걸쳐, 예를 들면, 동공에 걸쳐) 완전히 디커플링되고 상관 해제되고, 이것은 랜드스케이프에서 부정확도가 제로가 되는 특수한 포인트로 나타난다. 이 발생은, 이들 포인트에서 다양한 프로세스 변동(예를 들면, 측벽 각도 비대칭성 또는 저부 틸트(bottom tilt))과 관련되는 부정확도가, 랜드스케이프의 정확하게 동일한 포인트에서, 대략적으로, 그리고 몇몇 경우에서는, 아주 정확하게, 제로가 된다는 점에서, 범용적이다. 이들 관찰 내용은, 동공 오버레이 산란측정, 나란한 동공 산란측정에 적용될 뿐만 아니라, 이미징 오버레이 계측에서 적용되는데, 차이는 이들 상이한 경우에서 랜드스케이프 주 축(major axis)을 결정하는 주요 레시피 파라미터이다. 예를 들면, 동공 오버레이 산란측정에서, 파라미터는 주로 파장, 편광, 및 입사각이고 한편 이미징 오버레이 계측에서는 파라미터는 주로 초점, 파장, 편광, 및 입사각인데, 이들 중 임의의 것은, 특정 설정에 따라, 불연속 또는 연속인 것으로 관련될 수도 있다.

[0028] 본 발명가는, 랜드스케이프 상에서의 계측 성능의 1차 및 더 고차의 도함수의 거동을 관찰하는 것에 의해 시뮬레이션 및 데이터로부터 이들 포인트를 식별하였다. 예를 들면, 오버레이의 동공 가변성(VarOVL)을 정의하는, 비제한적인 예로서의 동공 오버레이 산란측정에서, 픽셀당 정보에 대한 특정한 동공 가중치의 사용시, 소정의 파장 λ_R에서 부정확도가 식 1을 따른다는 것이 나타내어질 수도 있다:

[0029] $$\left(\frac{\partial\, VarOVL}{\partial\lambda}\right)_{\lambda=\lambda_R} = 0 \rightarrow Inaccuracy(\lambda=\lambda_R) = 0, \qquad \text{식 1}$$

[0030] 여기서 식 1에서 예시화되는 현상이 발생하는 포인트(들) λ_R는, 하기에서 설명되는 이유 때문에, 공진 포인트(들)로서 칭해질 것이다.

[0031] 부정확도는, 산란계(scatterometer)의 진입 또는 탈출(exit)에서의 편광의 각도, 동공에 걸친 편광의 각도의 변

동, 및/또는 하드웨어 파라미터 및/또는 알고리즘 파라미터의 조정 및/또는 픽셀 마다의/아이겐모드(eigenmode) 또는 주 성분 마다의/레시피 정보 마다의 가중화(weighting)를 결정하는 임의의 다른 연속하는 파라미터(오버레이에 또는 신호 레벨에 있을 수도 있다)와 같은 다른 파라미터에서도 또한 공진(이것은 식 1과 마찬가지로 표현될 수도 있다)을 나타낸다는 것을 본 발명가는 또한 알아 냈다.

[0032] 다른 타입의 예는, 참조에 의해 그 전체가 본원에 통합되는 미국 특허 출원 제62/009476호에서 언급되는 임의의 다른 신호 특성 묘사 메트릭 또는 감도와 같은 계측의 다른 메트릭에 의해 VarOVL을 교체하는 것을 수반한다. 본 발명가는 또한, 이미징 신호를 분해할 수 있는 고조파에 걸친 오버레이 결과의 가변성을 측정하는 양에 의해 동공 상의 산란계 VarOVL을 교체할 때, 그리고 식 1의 연속하는 파장 파라미터를 이미징 계측 초점에 의해 교체할 때, 이미징 오버레이 계측의 컨텍스트에서 식 1이 발생한다는 것을 발견하였다.

[0033] 식 1이 VarOVL의 극소 및 극대 둘 다 및 상기에서 논의되는 그 다른 실현에서 유효한 것으로 발견되었다는 것을 본 발명가는 강조한다. 또한, 본 발명가는, 극소 및 극대에서 식 1의 기초가 되는 물리학을, 산란측정 컨텍스트에서, 타겟 셀의 두 개의 격자를 분리하는 막 스택(즉, 중간 막 스택은, 자신의(회절성) 미러로서 기능하는 격자를 갖는 광학적 캐비티(cavity)로서 적어도 부분적으로 기능한다) 내부의 (신호 또는 감도 중 하나에서의) 상이한 타입의 간섭 현상에 관련시켰다. 본 발명가는, 이들 간섭 현상이 막 스택에서의 패브리-페롯(Fabri-Perot) 공진을 닮은 것으로 보일 수도 있다는 것을 주목한다. 구체적으로는, 본 발명가는 시뮬레이션에서 현상을 관찰하였고, 이상적인 신호의 거동 및 비대칭적 프로세스 변동에 기인하는 이상적인 신호의 오염을 설명하는 모델을 개발하여, 이들 패브리-페롯 공진을 닮은 간섭이 동공 포인트에 걸친 신호의 의존성을 결정한다는 것을 보여주었는데, 동공 포인트에 걸친 신호의 의존성은, 결국에는, 신호로 하여금, 동공 상의 프로세스 변동 유도 부정확도 야기 오염으로부터 상관 해제되게 하고 결과로서 일단 픽셀당 정보가 동공 상에서 적절히 가중화되면 부정확도를 제로화하게 한다. 예를 들면, 이러한 패브리-페롯형 공진은, 저부(bottom) 및 상부(top) 격자의 오버레이에 관한 정보를 전달하는 전기장 성분 사이의 위상 차이가, 특정한 파장 및 입사각의 경우 π의 정수배(π×n)이다는 사실을 반영한다. 이 위상 차이는, 상부 및 저부 격자를 분리하는 광로차에 의해 주로 제어된다. 이것은, (정수 n에 따라) 오버레이 감도가 제로이거나 또는 최대인 동공 신호 상에 특수한 윤곽의 출현을 야기하는데, 이것은 설명된 공진을 나타내며 상기에서 언급되어 있다. 소정의 동공 평균화를 통해, 부정확도는, 비대칭적 프로세스 변동에 기인하는 신호 오염과 픽셀당 감도 사이의 식 2에서 표현되는 상관성(correlation)에 비례한다는 것이 나타내어질 수도 있다.

[0034] $$\text{Overlay inaccuracy in scatterometry} \sim \int d^2x \left(F(\text{Sensitivity}(\vec{x})) \times H(\text{Signal contamination}(\vec{x}))\right) \quad \text{식 2}$$

[0035] 여기서, 적분은 수집 동공 좌표에 걸친다. 본 발명가는, 패브리-페롯형 공진이 발생하면, 식 2의 적분은 0의 값이 된다는 것을 발견하였다. 예를 들면, 제로 감도의 윤곽이 동공 상에 나타나면, F(Sensitivity($\vec{x}$))는 제로를 교차하도록 설계될 수 있고 반면 H(Signal contamination($\vec{x}$))은 제로를 교차하도록 설계되지 않으며, 이것은 동공 상의 픽셀당 부정확도의 제거가 0이 되게 한다. 이것은, VarOVL의 극대가 존재하는 파장에서 발생한다. 유사한 상황이, VarOVL이 극소인 포인트 및 "F(Sensitivity($\vec{x}$)))" 및 "H(Signal contamination($\vec{x}$))"가 역할을 전환하는(즉, H(Signal contamination($\vec{x}$))이 제로를 교차하지만 그러나 F(Sensitivity($\vec{x}$))는 제로를 교차하지 않는다) 포인트에서 발생하여, 신호 오염이 가변적인 동안 F(sensitivity(x))가 상대적으로 편평하기 때문에, 여전히 적분이 0이 되게 하고, 그러므로 식 2는 양호한 정확도로 소멸한다(하기의 도 3b의 설명 참조).

[0036] 도 6c는, 본 발명의 몇몇 실시형태에 따른, 제로 감도 윤곽 및 그들의 활용의 하이 레벨의 개략적인 예시이다. 도 6c는, 동공 파라미터(예를 들면, 동공 좌표), 조명 파라미터(예를 들면, 파장, 대역폭, 편광, 아포다이제이션 등등), 알고리즘 파라미터(예를 들면, 계산의 방법 및 사용되는 통계) 및 타겟 설계 파라미터(예를 들면, 타겟 구조체, 타겟 구성, 레이어 파라미터 등등)과 같은 다양한 파라미터에 대한 메트릭(들)의 값의 n 차원 공간(다수의 축에 의해 예시됨)을 개략적으로 예시한다. 파라미터 중 임의의 것은, 특정한 설정에 따라, 불연속일 수도 있거나 연속일 수도 있다는 것을 유의한다. 도 1, 도 2a, 도 2b, 및 도 3(하기 참조)에서 더 상세히 예시되는 바와 같이, 제로 감도 윤곽이 개략적으로 예시된다. 본 발명가는, 제로 감도 윤곽 상의 부정확도가 크게 변할 수도 있고 심지어 발산할 수도 있지만, 제로 감도 윤곽 주위 영역(개략적으로 박스로 예시됨)에서의 가중된 평균화로부터 유도되는 메트릭 값은 아주 작을 수도 있고 심지어 0으로 될 수도 있다는 것을 발견하였다. 메트릭(들)이 가중되어 평균화되는 영역은, 파라미터(예를 들면, 하나 이상의 동공 좌표 및/또는 하나 이상의 조명 파라미터 및/또는 하나 이상의 타겟 설계 파라미터, 등등)의 임의의 서브셋에 대해 정의될 수도 있다는 것을

유의한다. 이 놀라운 결과는, 본원에서 개시되는 실시형태에 의해 예시화되는 바와 같이, 정확도 및 측정 프로시져를 향상시키기 위해 사용될 수도 있다.

[0037] 도 2a 및 도 2b는, 본 발명의 몇몇 실시형태에 따른, 공진을 나타내는 예시적인 시뮬레이션 결과를 예시한다. 도 2a 및 도 2b는 Pupil3S를 $\sqrt{(VarOVL)}$ 로서 예시하며, VarOVL의 극값(도 2b의 점선에 의해 명시적으로 나타내어짐)에서 부정확도가 0으로 된다는 것을 나타낸다. 시뮬레이팅된 특정한 비대칭성은, 상이한 프론트 엔드 프로세스에 대한 "측벽 각도" 비대칭적 타입이다. 다른 비대칭적 타입에 대해 동일한 현상이 관찰된다.

[0038] 도 3a 및 도 3b는, 본 발명의 몇몇 실시형태에 따른, 부정확도 및 신호를 나타내는 추가적인 예시적 시뮬레이션 결과를 예시한다. 도 3a는, 동공 산란측정에서의 부정확도 및 Pupil3S를, 프론트 엔드 고급 프로세스(front-end advanced process)(도 2a, 도 2b와 유사하게, 최대 변동에서 부정확도의 소멸을 나타냄)에서의 파장에 대비하여 예시하고, 도 3b는, 중간 대역$(|y_{pupil}| < 0.05)$으로부터의 동공 신호의 단면에 대한 픽셀당 이상적인 신호(A) 및 신호 오염$(10 \cdot \delta A)$을 예시하는데, 여기서 y축은 임의의 단위이다. 도 3b에서, 이상적인 신호(A)는 공진 근처에서 제로를 교차하는 반면, δA로 칭해지는 신호 오염은 동일한 부호로 남아 있다는 것을 유의한다.

[0039] 하기에서, 부정확도 랜드스케이프는 프로세스 변동 효과의 대칭성에 대해 분석된다. 오버레이 계측 기술은 종종 신호의 대칭성의 파괴를 측정한다. 프로세스 변동(process variations; PV)에 기인하는 몇몇 불완전성(imperfection)은, 오버레이로 인한 비대칭성에 추가하여 측정될 타겟의 비대칭성을 야기할 수도 있다. 이것은, 프로세스에 의해 요구되는 오버레이 계측 버짓 명세(overlay metrology budget specifications)를 충족할 때 임계적일 수도 있는 오버레이의 측정에서의 부정확도로 이어진다. 이들 이슈를 극복하는 종래 기술의 방법론이 트레인 중에 특정한 레시피(파장, 편광 및 아포다이제이션)로 측정될 프로세스에 강건한 타겟 설계(process robust target design)를 구축하는 것이지만, 본 발명의 소정의 실시형태는, 부정확도가 소멸할 것으로 예상되는 부정확도 랜드스케이프에서 포인트 또는 라인을 식별하는 그리고 부정확도의 소스를 특성 묘사하기 위해 일반적으로 랜드스케이프를 이해하는 분석적이고 실험적인 접근 방식을 제안한다.

[0040] 예를 들면, 격자 위 격자 구조체를 포함하는 타겟은, 특정한 특성, 및 타겟의 랜드스케이프를 정의하는 파장 스펙트럼의 시그니처를 갖는 광학적 디바이스로서 간주될 수도 있다. 이 랜드스케이프는 비대칭적 프로세스 변동(셀과 같은 타겟 내부의 대칭성을, 셀 변동 또는 셀간 변동, 격자 비대칭성, 등등으로 나누는 PV)에, 뿐만 아니라 대칭적 프로세스 변동(동일한 타겟 내부의 대칭성을 깨트리지는 않지만, 그러나 상이한 두께, 상이한 타겟 사이의 레이어의 n&k 변동, 등등과 같은 상이한 타겟 사이의 변동으로 이어지는 PV)에 민감하다. 웨이퍼 전체에 걸쳐 상이한 대칭적 프로세스 변동은, 측정된 타겟 설계가, 웨이퍼의 중앙과 비교하여 중요한 PV(대칭적인 것 및 비대칭적인 것 둘 다)가 예상되는 웨이퍼의 에지에서 강건한 프로세스가 더 이상 아닐 수도 있는 방식의 랜드스케이프의 시프팅으로 이어질 수도 있다. 이들 요인 중 임의의 것으로부터, 뿐만 아니라 듀티 싸이클, 피치, 등등에 의존하는 타겟 설계 자체에 의해 발생하는 부정확도는, 파장 스펙트럼에서 고유의 시그니처를 갖는 신호에 의해 특성 묘사될 수도 있다. 이 시그니처, 또는 랜드스케이프는, 감도(G) 및 감도의 임의의 동공 모멘트 및/또는 감도의 임의의 단조 함수에 의해, (동공 플레인에서의) Pupil3S(λ)에 의해, 또는 다른 메트릭에 의해 드러날 수 있다. Pupil3S(λ)의 랜드스케이프는 크게 두 개의 영역으로 분할될 수 있다: 부정확도가 dPupil3S(λ)/dλ로서 거동하는 피크의 영역, 및 도 2a에서 도시되는 바와 같은 피크 사이의 편평한 영역. 이들 상이한 영역은, 상이한 정확도 거동을 결정하는 동공에서의 잘 정의된 특성을 소유한다.

[0041] 타겟의 시그니처의 다음에 의해 정의될 수도 있다: 피크 및 편평한 영역의 수 및 연속성; 피크 사이의 거리; 및 다른 메트릭 중에서 동공 이미지에서 변환되는 방식에 의해 정의되는 피크의 복잡도. 본 발명가는, Pupil3S의 또는 부정확도의 상이한 강도는 상이한 랜드스케이프(또는 타겟 시그니처)를 정의하지 않지만 동일한 비대칭적 프로세스 변동의 상이한 강도를 정의한다는 것을 주목한다. 이 관찰은 "LS 불변성"으로 칭해진다.

[0042] 또한, 본 발명가는, 프로세스 변동은, 동일한 타겟에 대해, 타겟의 랜드스케이프에 상이하게 영향을 끼칠 두 개의 카테고리, 즉, 대칭적 프로세스 변동 및 비대칭적 프로세스 변동으로 나누어질 수도 있다는 것을 주목한다.

[0043] 대칭적 프로세스 변동은 동일한 타겟의 두 개의 셀 사이의 대칭성을 깨트리지 않고 및/또는 오버레이 및 유도된 오프셋을 넘는 임의의 셀간 비대칭성을 도입하지 않는다. 예로서, 하나 이상의 레이어의 두께는, 웨이퍼의 사이트의 타겟에서, 상이한 사이트에 위치되는 동일한 타겟에 대해 상대적으로 변한다. 이들 두 상이한 타겟으로부터의 산란된 파장 사이의 광로차(optical path difference; OPD)는 랜드스케이프의 (수 십 나노미터까지의) 전역적 시프트로 이어질 것이고, 제1 근사에서 상기 본원에서 정의되는 동일한 특성을 유지할 것이다. 도 4는, 본

발명의 몇몇 실시형태에 따른, 대칭적 프로세스 변동 하에서 랜드스케이프의 시프팅을 묘사하는 시뮬레이션 결과의 예시적인 예시이다. 도 4는, 대칭적 프로세스 변동(process variation)(PV, 예시된 경우에서, 레이어 두께 변동)의 크기를 0에서부터 3nm 및 6nm를 거쳐 9nm까지 변경할 때, Pupil3S 및 부정확도 랜드스케이프가 단순히 시프트되는 것을 예시한다. 도 2a, 도 2b 및 도 3a에서 예시되는 부정확도의 소멸 포인트 및 Pupil3S의 대응은, 랜드스케이프의 시프팅시 유지되고 단순히 상이한 파장에서 발생한다. 수 나노미터의 스케일의 프로세스 변동은 수십 나노미터의 스케일의 랜드스케이프의 시프팅을 야기한다는 것을 또한 유의한다. 임의의 주어진 파장에 대한 결과는 각각의 레시피 결과를 나타낸다. 프로세스 변동은 랜드스케이프를, 부정확도가 낮은 편평한 영역으로부터, 부정확도가 높을 수도 있는 공진 영역으로 시프트하고, 따라서 종래 기술의 고려 사항에 따라 낮은 부정확도를 갖는 것으로 간주될 레시피에 큰 부정확도를 도입할 수도 있다는 것을 또한 유의한다.

[0044] 비대칭적 프로세스 변동은, 타겟 내의 대칭성을 깨트리는 프로세스 변동이다. 이들은, 비제한적인 방식에서, 상이한 메인 카테고리, 예컨대 셀 대 셀 변동, 격자 비대칭성, 알고리즘 부정확도, 비주기적 프로세스 변동으로 나누어질 수도 있다. 셀 대 셀 변동은, 타겟의 두 개의 셀 사이의 변동(예를 들면, 두 셀 사이의 두께 변동, 셀 사이의 상이한 CD(critical dimension; 임계 치수), 등등)을 나타내는데, 타겟의 두 개의 셀 사이의 변동은 또한, 변동의 강도에 비례하지만 일반적으로는 대칭적 PV와 비교하여 상당히 더 적은 정도로 랜드스케이프를 시프트할 수도 있다. 셀 대 셀 변동에 기인하는 랜드스케이프의 시프트 및 부정확도는 오버레이에 또한 의존한다. 격자 비대칭성은, 타겟의 격자와 동일한 주기를 갖는 비대칭성(예를 들면, 격자의 SWA(side wall angle; 측벽 각도) 비대칭성, 비대칭적 지형적 변동, 등등)인데, 제1 근사에서 오버레이에 의존하지 않는다. 알고리즘 부정확도는 단일의 거동에 대한 소정의 수의 가정에 기인하며, 그것의 랜드스케이프 거동은 비대칭적 프로세스 변동에 대해서와 동일하다. 비주기적 프로세스 변동(예를 들면, 에지로부터의 회절, 유한한 사이즈의 셀에 기인하는 주변에 의한 오염, 셀 전체에 걸쳐 격자 프로파일 변화를 유도하는 셀간 프로세스 변동 등등)은 타겟 셀의 주기성을 깨트리며 앞서 언급된 프로세스 변동의 조합으로 효과적으로 간주될 수 있다.

[0045] 이들 차이는 계측 측정의 정확도를 향상시키기 위해 다양한 방식으로 사용될 수도 있다. 예를 들면, (예를 들면, 측정 데이터 또는 시뮬레이션을 사용하여) 웨이퍼 위로 (예를 들면, LS 불변량의 관점에서) 예상된 프로세스 변동을 매핑한 이후, 웨이퍼 위의 타겟 설계는, 프로세스 변동에 의한 시프트에 대해 적절한 방향으로 랜드스케이프를 시프트하는 것에 의해 프로세스 변동을 수용하도록 설계될 수도 있다(도 4 참조). 다른 예에서, 웨이퍼의 상이한 위치에서의 상이한 타겟은 트레인 중에 분류될 수도 있고 그 다음 LS 피처의 관점에서 비교될 수도 있다. 소정의 실시형태는, 랜드스케이프의 동일한 위치에 남아 있기 위해, 즉, 대응하는 광학적(조명) 변동에 의한 프로세스 변동을 보상하기 위해, 상이한 사이트에 걸쳐 조명의 파장(또는 다른 적절한 물리적 또는 알고리즘 파라미터)을 조정하는 것을 포함한다. 소정의 실시형태에서, 랜드스케이프의 소정의 영역은, 예를 들면, 주어진 메트릭에 의해 정의되는 바와 같은 계측 정확도를 최적화하도록 조명 파장 또는 조명의 스펙트럼 분포 또는 다른 물리적 또는 알고리즘 파라미터를 조정하는 것에 의해, 최대 정확도를 가지고 측정되도록 선택될 수도 있다. 본 발명가는, 랜드스케이프의 이해를 분석하고 사용하는 것이, 프로세스 변동의 영향에 대한 계측 탄력성을 향상시키는 것 및 측정 레시피를 최적화하는 것을 가능하게 한다는 것을 주목한다.

[0046] 소정의 실시형태는 유도된 랜드스케이프에 따라 부정확도를 감소시키기 위해 픽셀 가중치를 할당하는 것 및 최적화하는 것을 포함한다. 적어도 두 개의 산란측정 측정치, 설계된 오프셋 F1을 갖는 산란측정 셀의 측정치 및 설계된 오프셋 F2를 갖는 산란측정 셀의 다른 측정치를 가정한다. 선형 영역에서, 이상적인 산란측정 신호는, (예를 들면, 격자 위 격자 셀의 격자 사이의) 오프셋에만 기인하는 동공 비대칭성(D)을 나타내고 D(x,y, OF) ~ OF를 따르는데, 여기서 셀의 총 오프셋인 OF는, 두 개의 산란측정 셀에 대해, 각각, F1 +OVL 및 F2+OVL이고, OVL은 오버레이를 나타낸다.

[0047] 모든 조명 픽셀이 웨이퍼의 전자기 응답의 독립적인 성분을 나타낸다는 사실을 사용하여, 픽셀 단위 기반으로 오버레이를 측정할 수 있다. 픽셀당 오버레이는 대응하여 OVL(x,y)에 의해 표시되는데, (x,y)는 픽셀 좌표이다. 타겟 불완전성 및 노이즈의 부재시, 각각의 픽셀은 동일한 오버레이 값을 가지지만, 오버레이에 대한 상이한 픽셀의 감도는 변하며 두 개의 셀인 $D_1(x,y)$ 및 $D_2(x,y)$의 각각 상의 차분 신호 사이의 픽셀당 차이에 의해 근사될 수 있다. 오버레이의 최종 추정치를 획득하기 위해, 많은 개별 픽셀로부터 획득되는 값은 최적화된 픽셀당 가중치를 사용하여 평균화되어, 정확도를 향상시킨다. 이하, 분석적으로 표현될 수도 있는, 그리고 트레인에 의해 또는 시뮬레이션에서 수행될 수도 있는 픽셀당 가중치의 유도를 설명한다.

[0048] 특정한 감도 랜드스케이프가, 예를 들면, 다음의 타입의 랜드스케이프 영역을 식별하는 것에 의해 유도 및 특성 묘사될 수도 있다. (i) 편평한 동공당 픽셀 오버레이 의존성을 갖는 따라서 각각의 변수, 예컨대 (피크 사이에

서, 예를 들면, 도 2에서 예시되는 바와 같은) 조명 파장에 대해 오버레이의 작은 미분계수를 갖는 편평한 영역. 편평한 영역은 대부분 또한 정확하다. (ii) 간단한 제로 감도 동공 윤곽 및 파장 전체에 걸쳐 동공 오버레이 가변성에서 단순한 피크를 포함하는 간단한 종류의 공진 영역은, (예를 들면, 도 2b에서 예시되는 바와 같은) 부정확도의 영교차(zero crossing)를 갖는다. 본 발명가는, $\text{Parity(resonance)} \equiv \text{sign}\left[\frac{d\text{OVL}(\lambda)}{d\lambda}\right]_{\lambda=\lambda_R}$ 로서 정의되는 동일한 패리티를 갖는 ((ii)에서 정의되는 바와 같은) 임의의 두 개의 공진 영역 사이에서, "양호한" 편평한 영역, 즉, ((i)에서 정의되는 바와 같은) 부정확도의 영교차를 포함하는 편평한 영역이 존재한다는 것을 주목한다. 그러므로, 두 개의 동일한 패리티 공진 영역(ii) 사이의 편평한 영역(i)을 따라 오버레이 값을 통합하는 것은, 정확한 오버레이에 대한 아주 양호한 추정치로 귀결된다, 즉, 두 개의 동일한 공진 영역 사이의 간격을 따른 부정확도의 파장 적분은 제로에 아주 가깝다. 이들 영역을 식별하는 것은, 픽셀당 가중치를 유도 및 향상시키기 위해서 뿐만 아니라 가장 정확한 랜드스케이프 영역을 선택하기 위해, 다수의 파장에서 다수의 측정을 수행하는 것에 의해 실행될 수도 있다. 소정의 실시형태에서, 부정확도 랜드스케이프를 특성 묘사하기 위해 다른 조명 변수(예를 들면, 편광 및 아포다이제이션)가 사용될 수도 있다. 이 접근 방식은, 그것이 동공 알고리즘을 정확하게 보고된 오버레이를 갖는 포인트(들)로 조정하기 위해서 뿐만 아니라 가변 범위 값의 임의의 포인트에 대한 정확도 척도를 제공하기 위해, 가변 값의 범위에 걸쳐 감도 거동을 분석한다는 점에서, 전역적인 것으로 특성 묘사될 수도 있다.

[0049] 이 통합은, 파장과 같은, 랜드스케이프의 임의의 연속하는 축에 걸친 상이한 가중된 또는 가중되지 않은 적분, 및/또는 식 2 내지 식 4에서 논의되는 형태의 신호의 피팅을 수행하는 것을 포함하도록 일반화될 수도 있는데, 동공 좌표 (x,y)를 좌표의 일반화된 세트로 일반화하는 것은, 파장, 편광, 타겟 설계, 아포다이제이션, 등등과 같은 다른 파라미터를 포함한다.

[0050] 상기에서 설명되는 바와 같은 랜드스케이프의 로컬 특성을 사용하는 것 외에, 소정의 실시형태에서, 연장된 인접한 랜드스케이프 영역의 특성 및 심지어 랜드스케이프의 전역적 피쳐를 검토하는 것에 의해 더 많은 정보가 획득된다. 다양하고 성기게 분산된 포인트에서의 랜드스케이프의 알려진 특성(예컨대 감도)은, 랜드스케이프의 어떤 영역이 더 조밀한 샘플링을 필요로 하고 어떤 것이 필요로 하지 않는지를 결정하기 위해 사용될 수도 있다. 랜드스케이프의 상이한 영역에 대해 필요로 되는 샘플링 밀도를 결정하는 알고리즘이 본원에서 제공된다. 공진 및/또는 피크의 존재는, 어떤 영역이 더 높은 밀도에서 샘플링되어야 하는지 그리고 더 낮은 밀도가 어떤 영역에 대해 충분한지를 결정하기 위해 - 다양한 메트릭의 랜드스케이프의 효율적인 측정을 가능하게 하기 위해 - 사용될 수도 있다. 소정의 실시형태는, 가능한 한 적은 포인트를 측정하는 것에 의해 랜드스케이프를 매핑하는 적응적 알고리즘을 포함한다. 랜드스케이프는, 샘플링이 본원에서 개시되는 원리에 따라, 적절하게 수행되는 한, 심지어 부분적으로도 연속적일 필요가 없다는 것을 유의한다.

[0051] 소정의 특성을 충족하는 랜드스케이프의 인접한 영역의 사이즈(들)는, 대칭적 프로세스 변동에 대한 이들 영역의 강인성을 정량화하는 각각의 척도(들)로서 기능할 수 있다. 이러한 특성의 예는, 예를 들면, 임계치 미만인 또는 임계치를 초과하는 소정의 계측 메트릭; 계측 메트릭의 미분계수의 사이즈 또는 심지어 랜드스케이프에 걸치는 연속하는 파라미터에 대한 오버레이의 미분계수의 사이즈, 등등을 포함한다. 대칭적 프로세스 강인성 척도는 피크 영역 및 편평한 영역의 상대적 사이즈를 사용하여 정의될 수도 있다.

[0052] 연속하는 피크(예를 들면, 공진)에서의 (예를 들면, 오버레이 또는 오버레이 변동 값의) 랜드스케이프의 경사의 상대적인 부호는, 연속하는 피크 사이의 각각의 중간의 편평한 영역이 정확한 편평한 영역인지의 여부를 결정하기 위해 사용될 수도 있다. 예를 들면 본 발명가는, 소정의 메트릭(예를 들면, 동공 평균 픽셀당 감도(pupil-mean per-pixel sensitivity))의 부호 플립(sign flip)의 횟수가, 프로세스 변동에 대해 강건하고, 거의 불변이고, 따라서 랜드스케이프에 관한 강건한 진술(statement)을 만드는 수단으로서 기능할 수 있다는 것을 알아냈다. 예를 들면, 각각의 간단한 공진에서, 동공 평균 픽셀당 감도의 부호가 변한다. 이것은, 공진이 간단한 공진 대신 이중 공진인지의 여부 또는 공진이 성긴 랜드스케이프 샘플링 알고리즘에 의해 누락되었는지의 여부를 검출하도록 기능할 수 있다. 본 발명가는 이 정보를 사용하여, 공진으로부터 상대적으로 멀리 떨어져 위치되는 측정 포인트 사이에서 공진의 존재를 검출하였다. 피크는 계측 메트릭(들)의 부호 플립의 횟수에 따라 식별될 수도 있고 어쩌면 계측 메트릭(들)의 부호 플립의 횟수에 따라, 예를 들면, 간단한 피크 또는 복잡한 피크로서 특성 묘사될 수도 있다.

[0053] 자신의 부정확도가 랜드스케이프의 편평한 또는 공진 영역에서 발진하는 것으로 결정된 소정의 계측 메트릭은, 양호한 정확도로 값을 획득하기 위해 각각의 영역 타입에 걸쳐 통합될 수도 있다. 계측 메트릭(들)(예를 들면,

오버레이)은 하나 이상의 특정한 랜드스케이프 영역에 걸쳐 통합되어 측정 정확도를 향상시킬 수도 있다.

[0054] 소정의 실시형태에서, 웨이퍼 상의 사이트에 걸친 랜드스케이프의 상이한, 어쩌면 멀리 떨어진 영역에서의 또는 다른 파라미터(들)에 대한 소정의 계측 메트릭의 상관성은, 메트릭 사이의 독립성, 즉, 대칭적인 그리고 비대칭적 프로세스 변동의 둘 다의 하에서 그들이 상이하게 거동하는지의 여부의 정도를 예측하기 위해 사용된다. 소정의 실시형태는, 추론되는 독립적인 영역을 활용하고 그에 의해 계측 메트릭의 유효성 또는 그 독립적인 영역 상에서 측정되는 오버레이를 평가한다.

[0055] 소정의 실시형태는, 랜드스케이프의 완전한 분석이 필요로 되지 않는다는 점에서, 보다 구체적인 접근 방식을 포함한다. 예를 들면, 동공 픽셀당 오버레이 값(per-pupil-pixel overlay value)은, 동공 픽셀의 수와 포지션 및 가중치를 최적화하여 동공 픽셀당 오버레이 값의 가변성의 극대 및 극소를 찾는 것에 의해 평균화될 수도 있다. 예를 들면, 최적화를 가능하게 하기 위해, 동공에서의 제로 감도 윤곽 라인이 검출될 수도 있고 동공에서의 주목하는 영역(들)(region of interest; ROI)은 이들 라인에 대해 소정의 방식으로 정의되어, 최대를 달성하고 그리고 최소를 달성하는 것을 방지할 수도 있다. 평균화를 위한 픽셀을 유지하는 영역은 동공 상에서 연결된 컴포넌트를 형성할 수도 있거나 또는 형성하지 않을 수도 있다는 것을 유의한다. 이들이 연결되지 않으면, 그들의 위치는 픽셀당 감도의 값 및 측정된 차분 신호 사이의 차이를 관찰하는 것에 의해 즉석에서 검출될 수도 있는 그것의 부호에 의해 결정될 수도 있다. 소정의 실시형태에서, 픽셀 선택은 최적화 비용 함수를, 동공에 걸친 픽셀당 감도의 단조적으로 증가하는 우함수로서 및/또는 평균 감도의 단조 감소 함수로서 정의하는 것에 의해 최적화될 수도 있다. 시뮬레이션 및 이론은, 감도가 반대 부호를 갖는 픽셀 사이에서 부정확도가 상쇄하는 경향이 있기 때문에, 양 방법론이 랜드스케이프의 상이한 부분에서 성공적일 수도 있다는 것을 나타내는데, 최적의 상쇄는 픽셀당 가변성 및/또는 비용 함수의 극값에 의해 종종 나타내어진다. 평균화될 픽셀을 선택하는 것은 (참조에 의해 그 전체가 본원에 통합되는, 미국 특허 제7,528,941 및 제8,681,413호에서 그리고 미국 특허 출원 제13/774025호 및 제13/945352호에서 논의되는 광 송신 변조기에 따라) 실행 중에 또는 트레인 중에 그리고 알고리즘 또는 하드웨어에 의해 수행될 수도 있다는 것을 유의한다. 후자의 경우, 최적화는 필드 오버레이 산란측정에서 또한 수행될 수도 있다.

[0056] 소정의 실시형태는, (입사 k 벡터의 공통 x 성분을 갖는 것들과 같은) 물리적으로 자극된(motivated) 픽셀의 그룹의 신호 및/또는 오버레이 값을 빈화(binning)하는 것에 의해 동공 가중치를 지리적으로 할당하는 것 및 그 다음, 한편으로는 조명 동공 송신 함수(조명 동공 지오메트리 및/또는 진폭 송신의 선택에 의해 결정됨)와, 다른 한편으로는 물리적 동공에 걸친 OVL 정보 컨텐츠의 분포 사이의 불일치를 보상하도록 이들 빈을 불균일하게(non-uniformly) 평균화하는 것을 포함한다. 비제한적인 예로서, 격자 위 격자 SCOL 타겟의 많은 경우에서, OVL 정보는 주로 격자 주기성의 방향에서 동공에 걸쳐 변한다. 소정의 실시형태는 이것을 수용하기 위한 적절히 선택된 기하학적 가중치(들)를 포함한다.

[0057] 소정의 실시형태는, 수집된 원시 신호에 신규의 신호가 연결되는 방식을 제어하는 연속하는 파라미터(들)에 의존하는 연속하는 인공적 신호를 생성하기 위해, 두 개 이상의 측정 포인트에 대해 랜드스케이프(신호 및 픽셀당 오버레이 값)를 보간하는 및/또는 외삽하는 정확도 향상 알고리즘을 포함한다. 그 다음, 파라미터의 연속하는 공간은, 보간/외삽 파라미터에 대해 최적화될 수도 있는 대응하는 미리 선택된 비용 함수의 랜드스케이프로서 탐색될 수도 있다. 그 다음, 최적화 포인트는 인공적 신호를 정의하는데, 이 인공적 신호로부터 정확한 오버레이가 계산된다. 최적화 함수는, 자신의 평균화된 감도, 감도의 평균 제곱근(root mean squared; RMS), 오버레이 동공 가변성, (툴의 노이즈 모델에 따른) 오버레이의 추정된 정밀도 및 참조에 의해 그 전체가 본원에 통합되는 미국 특허 출원 제62/009476호에서 논의되는 다른 동공 플래그와 같은 인공적 신호에 관련이 있는 임의의 메트릭, 및/또는 이들 각각의 역 메트릭으로 구성될 수도 있다. 이미징 오버레이 계측의 컨텍스트에서는, 고조파에 걸친 오버레이 가변성, 및/또는 이미지 콘트라스트, 및/또는 측정의 추정된 정밀도에 의한 최적화된 함수의 대체를 통해, 유사한 방법론이 적용될 수도 있다. 이들 알고리즘이 보고하는 궁극적인 오버레이는, 실제로 측정되지는 않았지만 정확한, 랜드스케이프의 특수 포인트 상의 오버레이에 대응하는 근사된 인공적 신호의 오버레이 또는 그 일반화이다.

[0058] 또한, 소정의 실시형태에서, 랜드스케이프는 두 개 이상의 측정치, 예컨대 두 개의 비제한적인 예로서, 하나 이상의 파라미터를 사용하는 것에 의해 가중될 수도 있거나 또는 조정될 수도 있는 다수의 측정치를 결합하는 파라메트릭 랜드스케이프(parametric landscape), 또는 신호의 상이한 차원에서 상이한 측정으로부터의 기여도를 갖는 다차원 신호로부터 유도되는 더 복잡한 신호를 포함할 수도 있다. 다수의 측정치는, 타겟에 대한 동공 플레인 및/또는 필드 플레인에서의 원시 또는 프로세싱된 측정치일 수도 있다. 파라메트릭 랜드스케이프의 경우에서, 파라미터(들)는 (i) 공진 피크의 수, 포지션, 및 특성과 같은 명시된 특성을 갖는 랜드스케이프를 산출하도

록, (ii) 명시된 메트릭에 대해 파라메트릭 랜드스케이프를 최적화하도록, 및/또는 (iii) 오버레이 측정의 정확도를 향상시키도록 조정될 수도 있다. 조정은 현상학적 모델(phenomenological model)(들)을 활용할 수도 있다. 랜드스케이프는, 어쩌면 명시된 파라미터에 따라, 다수의 원시 신호 및/또는 프로세싱된 신호를 (동공 플레인 또는 필드 플레인 중 하나에서) 결합하는 것에 의해 계산되는 인공적 신호로서 보일 수도 있다. 생성된 인공적 신호는 파라미터를 변경하는 것에 의해 수정될 수도 있다. 인공적 신호는 소정의 메트릭에 따라 최적화될 수도 있고 정확한 오버레이 측정을 행하기 위해 사용될 수도 있다. (동공 플레인 또는 필드 플레인 중 하나의) 원시 신호 및/또는 인공적 신호는, 오버레이 및, 피트 파라미터(fit parameter)로서 기능하는 다른 계측 메트릭을 획득하도록 현상학적 모델에 피팅될 수도 있다. 예를 들면, 이상적인 신호로부터 신호의 편차의 현상학적 모델을 사용하는 것에 의해, 측정된 신호는 모델에 피팅될 수 있다. 피팅에서, 피트 파라미터는 이상적인 신호로부터의 편차를 설명하는 파라미터 및 오버레이를 포함할 수도 있고, 이상적인 신호로부터의 신호의 편차 및 정확한 오버레이는 피트(fit)로부터 획득될 수도 있다.

[0059] 소정의 실시형태는, 하나의 또는 극소수의 파라미터에서의 변화에 의해 모두 제어되는 상이한 방식에서 단일의 신호를 처리하는 정확도 향상 알고리즘을 포함한다. 예를 들면, 픽셀당 가중치는 연속적인 방식으로 변경될 수도 있고, 그것을, 항상, 픽셀당 감도의 연속적으로 증가하는 함수로 만드는 동안, 이 함수 범위를 정의하는 N 개의 파라미터가 공간 $V \subset R^N$에 걸친다고 하고 이 공간의 원점이, 외삽하는(그러나 툴 이슈 때문에 측정을 할 수 없는) 특수한 포인트라고 하자. 예를 들면, 그 포인트는, 이미지의 가장 민감한 픽셀만이 OVL을 결정하는 포인트에 대응할 수도 있다. 여기서 설명되는 방법론은, V의 원점에 외삽하고, 그 외삽된 포인트에서 오버레이가 될 오버레이의 결과를 보고하는 것이다 - 예를 들면, 최대 감도를 갖는 동공의 포인트를 중심으로 하는 동공 샘플링을 사용하여 오버레이를 측정하고, 가변 파라미터로서 그것을 반경 R에 관련시킬 때 - 표현 $OVL(R) = A + B \times R + C \times R^2 + \cdots$가 계산될 수도 있고 결과에 피팅될 수도 있으며, 그 다음 R=0으로 외삽되는데, 이것은 신규의 오버레이를 "A"와 동일하게 인용한다는 것을 의미한다.

[0060] 소정의 실시형태는, 기저의 물리적 모델 및/또는 측정된 레이어의 시뮬레이션 결과 및/또는 속성이 유사한 레이어에 의해 초래되는 모델에 대해 데이터의 피팅을 수행하는 정확도 향상 알고리즘을 포함한다. 적어도 하나의 계측 메트릭의 적어도 하나의 측정은, 적어도 하나의 레시피 파라미터를 사용하여, 시뮬레이션에 의해 또는 예비 측정에서, 수행될 수도 있다. 그 다음, 적어도 하나의 측정은, 적어도 하나의 레시피 파라미터에 대한 적어도 하나의 계측 메트릭(비제한적인 예에서, 오버레이)의 의존성을 설명하는 현상학적 모델에 피팅될 수도 있고 (하기의 예 참조), 피팅으로부터, 적어도 하나의 각각의 수정된 계측 메트릭이 유도될 수도 있고, 계측 레시피를 결정하도록 그리고 결정된 레시피에 따라 계측 측정을 행하도록 사용될 수도 있다. 적어도 하나의 측정은, 랜드스케이프와 같은 적어도 하나의 레시피 파라미터에 대한 적어도 하나의 계측 메트릭의 적어도 부분적으로 연속하는 의존성을 포함할 수도 있지만, 그러나 단일의 또는 별개의 측정을 포함할 수도 있다. 상기에서 설명되는 바와 같이, 모델은, 이상적이지 않은 신호가, 오버레이 및 부정확도로 이어지는 요인을 설명하는 다른 파라미터의 함수로 어떻게 보여져야 하는지를 예측하고, 오버레이뿐만 아니라 파라미터를 피팅하는 것에 의해, 부정확도를 관리하는 것은 측정치(들)로부터 유도될 수도 있다.

[0061] 소정의 실시형태에서, 현상학적 모델은, 적어도 하나의 계측 메트릭에 대한 그리고 레시피 파라미터에 관련될 수도 있는 부정확도에 기여하는 다양한 요인과 같은 적어도 하나의 편차 요인에 대한, 신호 타입(예컨대 명시된 동공 플레인 측정치, 예를 들면, 동공 이미지, 또는 명시된 필드 플레인 측정치)의 의존성을 설명할 수도 있다. 신호 타입에 관련되는 적어도 하나의 측정을 수행한 이후, 현상학적 모델은, 적어도 하나의 각각의 수정된 계측 메트릭(예를 들면, 수정된 오버레이) 및 대응하는 편차 요인(들)을 유도하기 위해, 적어도 하나의 측정에 피팅될 수도 있다.

[0062] 소정의 실시형태에서, 적어도 하나의 유도된 수정된 계측 메트릭에 따라 계측 레시피가 결정될 수도 있고, 결정된 레시피에 따라 적어도 하나의 (추가적인) 계측 측정이 행해질 수도 있다.

[0063] 현상학적 모델은, 시뮬레이션에 의해 또는 예비 측정에서 유도되는 적어도 하나의 레시피 파라미터에 대한 적어도 하나의 계측 메트릭의 적어도 부분적으로 연속하는 의존성(예를 들면, 개시된 랜드스케이프 중 임의의 것)으로부터 유도될 수도 있다.

[0064] 예를 들면, 차분 신호의 피팅은 다음의 형태로 수행될 수도 있는데

[0065] $$D(x, y, OF) = A(x, y) \times OF + H(x, y; P_1, P_2, P_3, \dots) \times F(OF) \qquad \text{식 3}$$

[0066] 픽셀당 감도, 랜드스케이프를 따른(예를 들면, 편광, 각도, 파장과 같은 변수를 따른, 어쩌면 시뮬레이션 및/또는 랜드스케이프를 따른 추가적인 신호 측정에 기초한) 픽셀당 감도의 도함수, 및 픽셀당 감도의 동공 모멘트(예를 들면, 동공 평균, 동공 RMS 등등)와 같은 측정된 속성을 설명하는 함수의 선형 공간(V)에서, F(OF)는 오프셋(OF)의 함수이고, H(x, y; P_1, P_2, P_3,…)는 동공 좌표 (x,y) 및 피팅된 파라미터 Pi의 함수이다. 공간(V)에 포함되는 함수는, 시뮬레이션 및/또는 추가 연구로부터 결정될 수도 있다. 예를 들면, 본 발명가는, 공간(V)이 상기 예를 포함하면, 프론트 엔드 프로세스에서의 소정의 레이어에서의 부정확도는 도 5에서 설명되는 바와 같이 크게 개선된다는 것을 발견하였다. 도 5는, 본 발명의 몇몇 실시형태에 따른, 예시적인 정확도 향상 알고리즘의 시뮬레이션 결과를 예시한다. 도 5는, 피트 향상 알고리즘을 갖는 및 갖지 않는 고급 프로세스의 프론트 엔드 레이어에서의 부정확도를 예시한다.

[0067] 도 5에서 설명되는 피팅은, 일반적으로, 신호에 대한 모델과 그들의 대응하는 데이터 사이의 거리의 증가 함수인 비용 함수를 사용하여 수행된다. 비용 함수를 정의하기 위한 (수학적인 의미에서의) 놈(norm)은, 비제한적인 예인 L_2(유클리드 놈), L_1 및/또는 L_∞(최대 놈)에서 사용 사례마다 결정될 수도 있다. 비용 함수는, 일반적으로, 픽셀에 걸친 평균일 수도 있고 균일한 가중치를 사용하여 또는 상기에서 설명되는 픽셀당 가중치 중 임의의 것을 사용하여 계산될 수도 있다. 특히, 가중치는, 하기에서 정의되는 공간(V)의 기초를 형성하는 함수로 구성될 수도 있다. 주목하는 피트 파라미터(이것은 OVL이고 셀의 오프셋 OF_{cell} = ((designed offset)$_{cell}$ + OVL))에서 인코딩된다)에 관련이 없는 편평한 방향을 비용 함수가 갖는 상황을 방지하기 위해, 특이값 분해(singular value decomposition)를 사용할 수 있거나 또는 다양한 이러한 피팅을 수행할 수 있고, 각각에 대해, 피팅의 안정성의 그리고 (계측 툴의 노이즈 모델이 주어지면) 예상된 정밀도의 추정의 단조 증가 함수인 피팅 충실도를 계산할 수 있다. 피팅 안정성은, 통상적인 최소 자승법에 따라 피트 파라미터의 변동의 단조 증가 함수에 의해 결정될 수도 있다. 그 다음, OVL에 대한 최종 결과는, 계산된 피트의 평균이고 피팅 충실도에 따라 가중된다. 피팅은, 실제 신호의, 또는 실제 신호의 임의의 유용한 변환의 공간에서 수행될 수도 있다. 예를 들면, H(x,y)×F(OF)에서 선형인 항을 더하여 선형적인 OF_{cell}이 되도록 $D_{cell}(x,y)$을 피팅할 수도 있고 및/또는 $H(x,y)\times\frac{F(OF)}{OF}$에서 선형인 항을 더하여 셀 독립적이 되도록 $\frac{D_{cell}(x,y)}{OF_{cell}}$를 피팅할 수도 있다.

[0068] 소정의 실시형태에서, 임의의 하나 이상의 파라미터, 및 구체적으로는 비필수적으로 또는 비배타적으로 동공 좌표가 분석에 대해 사용될 수도 있는데, 예를 들면, 조명 파라미터 및/또는 타겟 설계 파라미터가 식 2 내지 식 4의 x 및/또는 y를 대체할 수도 있다. 이들 식에서의 $\vec{x}$ 및 (x,y)는, 파라미터의 각각에 대해 연속일 수도 있고 및/또는 불연속일 수 있는 자유도의 세트로 대체될 수 있고 파장, 편광, 아포다이제이션, 측정 레시피의 다른 파라미터 및 타겟 설계의 파라미터와 같은 파라미터를 포함할 수도 있다.

[0069] 유익하게는, 알고리즘 및 하드웨어 향상뿐만 아니라 오버레이 정확도 성능을 향상시키는 더 나은 타겟 설계가 달성된다. 또한, 계측은, 상이한 타겟 설계, 및/또는 상이한 계측 레시피 및/또는 개시된 알고리즘을 사용하는 것에 의해, 랜드스케이프에 대한 프로세스 변동의 효과에 더욱 탄력적으로 만들어진다.

[0070] 소정의 실시형태는, 툴 레시피의 공간 전체에 걸쳐 부정확도가 변하는 방식을 사용하여, 광학적 오버레이를 효과적인 정확도 룰러로 변환하는 것에 의해 스택의 정확도 시그니처로부터 오버레이의 지상 검증(ground truth)을 유도하는 방법을 제공한다. 소정의 실시형태는, 동일한 레시피를 갖는 상이한 타겟 설계를 사용하는 것, 또는 동일한 타겟 설계를 갖는 상이한 레시피를 트레인 중에 웨이퍼 전체에 걸쳐 사용하는 것, 또는 타겟 및 레시피의 조합을 사용하는 것, 감도 랜드스케이프의 지식 및 각각의 오버레이 거동을 활용하는 것을 가능하게 한다.

[0071] 소정의 실시형태는, 오버레이에 대한 전체 계측 감도, 오버레이 결과의 정확도, 및 프로세스 강인성을 향상시키는 알고리즘을 설계하기 위해, 동공 신호를, 더 구체적으로는, 동공의(그리고 비 산란측정 기술의 경우에서는 일반적인 파라미터 공간의) 제로 오버레이 감도의 윤곽을 사용한다.

[0072] 소정의 실시형태는, 계측 정확도 또는 동공 특성을 파장의 연속하는 또는 조밀하게 샘플링된 함수로서 시뮬레이팅하는 것에 의해, 오버레이 계측 정확도를, 조명 파장 또는 조명 스펙트럼 분포의 함수로서 특성 묘사하는 방법을 제공한다.

[0073] 소정의 실시형태는, 오버레이 계측 정확도 또는 동공 특성을, 파장의 연속하는 또는 조밀하게 샘플링된 함수로서 시뮬레이팅하는 것에 의해 계측 레시피를 선택하는 방법을 제공한다.

[0074] 소정의 실시형태는, 계측 정확도 또는 동공 특성을 파장의 연속하는 또는 조밀하게 샘플링된 함수로서 시뮬레이

팅하는 것에 의한 오버레이 계측 타겟 설계의 방법을 제공한다.

[0075] 소정의 실시형태는, 계측 정확도 또는 동공 특성을 파장의 연속하는 또는 조밀하게 샘플링된 함수로서 시뮬레이팅하는 것에 의한 레시피 선택 또는 최적화의 방법을 제공한다.

[0076] 소정의 실시형태는, 랜드스케이프의 일부 및 특히 랜드스케이프의 정확도가 낮은 영역을 설명하는 다수의 산란 모델을 포함하는데, 다수의 산란 모델은, 이들 랜드스케이프 피쳐를 식별하기 위해 사용될 수도 있고 각각의 알고리즘 및 계측 방법론에서 구현될 수 있을 뿐만 아니라, 상기에서 설명되는 바와 같이 낮은 정확도를 제공하는 측정 파라미터를 선택하기 위해 사용될 수도 있다. 하기에서 제시되는 모델은 시뮬레이션 결과에 의해 검증되었다. 예를 들면, 로직 14nm 노드에 대응하는 파라미터를 갖는 비제한적인 예에서, λ_R = 477nm에서의 동공 중심에서의 윤곽은, 낮은 정확도를 산출하는 조명 파장을 제안하도록 사용될 수도 있다. 가난한 분석 모델로부터의 결과의, 완전한 RCWA(rigorous coupled-wave analysis; 정밀 결합 파장 분석)와의 비교에서, 후자는 낮은 부정확도 조명 파장으로서 λ=500nm를 제안하는데, 이것은 단일 산란 모델로부터의 결과에 밀접하게 일치한다.

[0077] 본 발명가는, 조명 광의 대역폭의 효과를 조사하였으며, 동공 오버레이 산란측정의 경우, 조명 대역폭을 추가적인 하드웨어 파라미터로 사용하여 랜드스케이프를 제어할 수 있고, (예를 들면, 오버레이 변동의) 신호 특성의 랜드스케이프 도함수를 변경할 수 있고, 필요하다면 감도를 평활화할 수 있다는 것을 발견하였다.

[0078] 이미징 컨텍스트에서, 이 거동은, 신호 오염과 이상적인 신호 사이의 상관성이 소정의 초점 슬라이스에서 소멸하는 방식에 관련되며, 이것을 설명하는 식은 (파라미터의 적절한 매핑을 통해) 상기의 식 2와 동일하게 유지된다.

[0079] 소정의 실시형태는, 상기 언급된 메트릭을 사용하여 하드웨어를 공진 포인트로 조정하는 것에 의해 그리고 공진 포인트에 대한 근접도를 결정하는 하드웨어 파라미터(파장, 편광, 1/4 파장판 배향, 초점, 등등)를 변경하는 것에 의해, 이들 결과를 활용할 수도 있다.

[0080] 소정의 실시형태는, 공진에 대한 근접도를 결정하는 하드웨어 파라미터의 상이한 값에서의 측정 및 오버레이 값 및 최적화 메트릭(예를 들면, VarOVL 또는 감도)을 공진 포인트에 외삽 또는 보간하는 것을 포함한다.

[0081] 하드웨어 파라미터, 측정 픽셀 또는 동공 신호의 주 성분의 상이한 값에서의 신호의 선형 조합으로부터 신규 신호를 생성하는 것. 선형 조합은 알고리즘 파라미터 및 상기에서 언급된 메트릭의 극값을 찾는 최상의 알고리즘 파라미터를 찾는 것에 의해 관리된다. 본 발명가는, 최적화된 메트릭이 극값을 갖는 값과 알고리즘 파라미터가 동일한 경우, 알고리즘을 조정하기 이전에, 최적화된 양의 값을 비교하는 것에 의해 원래의 신호로부터 유도되는 부정확도의 값과 비교하여 부정확도가 작은지의 여부를 결정할 수 있다는 것을 발견하였다.

[0082] 소정의 실시형태는 (VarOVL 및 감도와 같은) 신호 특성의 차분을 사용하여, 상기에서 설명되는 바와 같이 그리고 (식 1의 좌측의) 랜드스케이프 상의 그래디언트에 따라 랜드스케이프에서의 상이한 영역 사이를 구별하고 개시된 방법의 적용을 위한 랜드스케이프에서의 유용한 영역을 식별한다. 예를 들면, 본 발명가는, VarOVL 그 자체의 값, 하드웨어 파라미터에 대한 OVL 미분계수, 및 하드웨어 파라미터에 대한 VarOVL의 미분계수가 랜드스케이프를 구획하기 위한 양호한 인덱스이다는 발견하였다. 개시된 방법론은 레시피 최적화를 위한 런타임에서, 그리고 또한, 예를 들면, 대칭적 프로세스 변동에 기인하여 즉석에서 랜드스케이프 시프트를 보상하기 위해 적용될 수도 있다. 랜드스케이프에서의 공진 포인트는, 이들이 즉석에서의 효과적인 조정을 허용하기 때문에, 특히 중요한 표시자(indicator)이다. 본 발명가는 또한, 오버레이 마크가 단일 레이어의 막으로 구성될 때(저부 격자와 실리콘 기판 사이의 벌크 재료가 없음) 상기 현상이 특별히 강건하게 된다는 것을 발견하였다. 그러므로, 계측 타겟은, 예를 들면, 타겟의 저부 격자 아래의 및/또는 내부의 금속 퇴적의 구획 및 더미화(작은 규모의 구조체)를 사용하는 것에 의해 저부 격자 아래까지의 전자기 투과를 최소화하도록 설계될 수도 있다.

[0083] 본 발명가는, 패브리-페롯형 현상의 존재 하에서, 식 4 및 식 5로 표현되는 다음의 관계가 유효할 수도 있다는 것을 발견하였다.

$$\frac{\partial D(\text{Sensitivity}(x))}{\partial \lambda} = c(\lambda) \times G(\text{Signal contamination}(\vec{x})) \qquad \text{식 4}$$

[0084]
$$\frac{\partial E(\text{Signal contamination}(x))}{\partial \lambda} = b(\lambda) \times F(\text{Sensitivity}(\vec{x})) \qquad \text{식 5}$$

[0085] 여기서 c(λ) 및 b(λ)는 스칼라이고, D(x), E(x), F(x) 및 G(x)는 어떤 공지의 함수인데, 예를 들면, $F(x) = x^3$이다. 소정의 실시형태에서, 식 4는, 실험적 VarOVL을 식 4에 기초하여 VarOVL의 추정에 피팅하는 것에 의해,

데이터로부터 신호 오염의 픽셀당 추정을 제공하도록 사용될 수도 있다. 제로 부정확도 공진(zero-inaccuracy resonance) 중 많은 것이, 비대칭적 프로세스 변동에 의해 결정되는 대신, 공칭 스택 및 타겟 설계가 거동하는 방식에 의해 결정되는 그들의 랜드스케이프를 가지기 때문에, 소정의 실시형태는, 부정확도의 이러한 영교차를 포함하는 그리고 (예를 들면, 관련 파라미터 축을 따라 LS 시프트를 제어하도록 타겟 파라미터를 조정하는 것에 의해) VarOVL의 극값에 의해 쉽게 식별될 수 있는, 랜드스케이프를 생성하는 타겟 설계를 제공한다. 비제한적인 예에서, 유도된 오프셋에 1/2 피치를 추가하는 것에 의해 LS에서 공진을 이동시킬 수 있다.

[0086] 소정의 실시형태는, 오버레이로부터 프로세스 변동을 분리하는 다음의 방법론을 포함한다. 픽셀당 차분 신호 $D_1(pxl)$ 및 $D_2(pxl)$가 주어지면, 다음의 x 및 y는 다음과 같이 정의될 수도 있다: $x \equiv \frac{D_1 - D_2}{2f_0}$ 및 $y \equiv \frac{D_1 + D_2}{2f_0}$. (타겟의 패드 1로부터 패드 2로의 막 두께 변화 또는 바 비대칭성과 같은) 상이한 종류의 신호 오염이 다음의 식 6에서 표현되는 바와 같이 신호에 들어가는데:

$$x_{ideal} \rightarrow x_{ideal}(pxl) + \sum_m \Delta P_m \times f_{x,m}(pxl) \qquad \text{식 6}$$

$$y_{ideal} \rightarrow y_{ideal}(pxl) + \sum_m \Delta P_m \times f_{y,m}(pxl)$$

[0087]

[0088] ΔP_m은 공칭(이상적인) 스택으로부터의 프로세스 변동의 픽셀 독립적인 크기이고, $f_{x,m}$, $f_{y,m}$은, 그 프로세스 변동이 x 및 y에 얼마나 영향을 끼치는지의 대응하는 동공 의존성인데, 이들은, 예를 들면, 시뮬레이션으로부터 추론될 수도 있다. 그 다음, 사이트마다, 다음의 식 7,

$$\chi^2 \equiv \langle \left(\left(x - \sum_m \Delta P_m \times f_{x,m}(pxl) \right) - \epsilon \times \left(y - \sum_m \Delta P_m \times f_{y,m}(pxl) \right) \right)^2 \rangle \qquad \text{식 7}$$

[0089]

[0090] 의 비용 함수를 최적화하는 것에 의해(여기서, $\epsilon \equiv OVL/f_0$ 임), 파라미터 ϵ 및 ΔP_m이 피트로부터 추출될 수도 있다.

[0091] 유익하게는, 소정의 실시형태는 랜드스케이프에서 즉석으로 그리고 트레인 중에 제로 부정확도 포인트로 조정하는 것을 허용하고, 프로세스 변동의 존재 하에서 분해되지 않는 그리고 레시피 최적화를 위한 시뮬레이션 또는 레시피 최적화를 위한 더 큰 노력을 필수적으로 요구하지 않는 프로세스에 강건한 방법을 제공한다. 개시된 방법은 이미징, 산란측정 및/또는 μDBO(미국 특허 제8,411,287에서 설명되는 바와 같은 μDBO(micro diffraction based overlay; 마이크로 회절 기반의 오버레이))에 적용될 수 있다.

[0092] 도 11은, 본 발명의 몇몇 실시형태에 따른, 방법(100)을 예시하는 하이 레벨 플로우차트이다. 방법(100)은, 예를 들면, 계측 모듈에서, 적어도 하나의 컴퓨터 프로세서에 의해 적어도 부분적으로 구현될 수도 있다. 소정의 실시형태는, 방법(100)의 관련된 단계를 실행하도록 컴퓨터 판독가능 프로그램이 수록되고 구성되는 컴퓨터 판독가능 저장 매체를 포함하는 컴퓨터 프로그램 제품을 포함한다. 소정의 실시형태는 방법(100)의 실시형태에 의해 설계되는 각각의 타겟의 타겟 설계 파일을 포함한다.

[0093] 방법(100)은, 하나 이상의 레시피 파라미터에 대한 하나 이상의 계측 메트릭의 적어도 부분적으로 연속하는 의존성을 유도하고 분석하는 것(단계 105) 및 분석된 적어도 부분적으로 연속하는 의존성에 따라 하나 이상의 계측 레시피를 결정하는 것(단계 128)을 포함할 수도 있다. 방법(100)은, 측정의 적어도 하나의 각각의 파라미터에 대한 적어도 하나의 계측 메트릭(예를 들면, 오버레이 변동 척도)의 의존성에서 적어도 하나의 식별된 극값에 따라 적어도 하나의 계측 측정을 행하기 위한 적어도 하나의 파라미터 값을 선택하는 것(단계 130); 및 선택된 파라미터 값(들)을 사용하여 계측 측정(들)을 행하는 것(단계 350)을 포함할 수도 있다. 방법(100)은, 예를 들면, 하나 이상의 측정 파라미터(들)에 대한 하나 이상의 계측 메트릭(들)의 의존성을 유도하거나 측정하는 것에 의해, 시뮬레이션에 의해 또는 예비 측정에서 의존성(예를 들면, 별개의 포인트, 랜드스케이프 및/또는 연속 함수(들), 이들 중 임의의 것은 어쩌면 다차원이다)을 유도하는 것(단계 110)을 더 포함할 수도 있다. 방법(100)은, 예를 들면 파라미터(들)에 대한 메트릭(들)의 기능적 의존성의 도함수를 널(null)로 하는 것에 의해 분석적으로(단계 122), 또는 측정 및/또는 시뮬레이션 결과에 따라 실험적으로(단계 124), 의존성에서 또는 랜드스케이프에서 극값을 식별하는 것(단계 120)을 더 포함할 수도 있다. 소정의 실시형태에서, 방법(100)은, 예를 들면, 측정(단계 126) 이전에, 즉석에서 식별(120)을 수행하는 것을 포함할 수도 있다. 소정의 실시형태에서, 방법(100)은 식별된 극값에 따라, 어쩌면 즉석에서 측정 파라미터와 같은 파라미터를 조정하는 것(단계 132)을 더 포함할 수도 있다.

[0094] 소정의 실시형태에서, 방법(100)은, 랜드스케이프에서 또는 일반적으로 유도된 또는 측정된 의존성에서 영역을 식별하고 분류하는 것을 더 포함할 수도 있다. 방법(100)은, 피크로부터 편평한 영역을 구별하는 것에 의해 감도 랜드스케이프를 특성 묘사하는 것(단계 170) 및/또는 각각의 랜드스케이프에 따라 측정 파라미터에 대한 감도 변화의 크기를 정량화하는 것(단계 171)을 포함할 수도 있다.

[0095] 방법(100)은, 연속하는 피크(예를 들면, 공진)에서 랜드스케이프의 경사의 상대적인 부호를 사용하여, 연속하는 피크 사이의 각각의 중간의 편평한 영역이 정확한 편평한 영역인지의 여부를 결정하는 것(단계 172)을 더 포함할 수도 있다. 방법(100)은, 랜드스케이프에서의 피크 위치에 따라 랜드스케이프의 상이한 영역에 대한 필요한 샘플링 밀도를 결정하는 것(단계 173)을 포함할 수도 있다. 예를 들면, 방법(100)은, 랜드스케이프를, 피크 영역에서 고밀도로 그리고 편평한 영역에서 저밀도로 샘플링하는 것(단계 174)을 포함할 수도 있다.

[0096] 방법(100)은, 피크 영역 및 편평한 영역의 상대적인 사이즈를 사용하여 대칭적 프로세스 강인성을 측정하는 것(단계 175)을 포함할 수도 있다.

[0097] 방법(100)은, 피크를 계측 메트릭(들)의 부호 플립의 횟수에 따라 식별하는 것(단계 176) 및, 옵션적으로, 식별된 피크를 계측 메트릭(들)의 부호 플립의 횟수에 따라 간단한 또는 복잡한 피크로서 특성 묘사하는 것(단계 177)을 포함할 수도 있다.

[0098] 방법(100)은, 랜드스케이프 영역(들)에 걸쳐 계측 메트릭(들)을 통합하는 것(예를 들면, 단계 178) 및, 어쩌면, 계측 측정(들)을 검증하기 위해 명시된 랜드스케이프 영역에 걸쳐 다수의 계측 메트릭을 상관시키는 것(단계 179)을 더 포함할 수도 있다.

[0099] 방법(100)은, 랜드스케이프에서 제로 감도의 포인트 및/윤곽을 식별하는 것(단계 160), (특히 적층된) 타겟 구조체 사이의 중간의 막 스택에서 공진을 식별하는 것(단계 162) 및 단일의 또는 다수의 산란 모델을 사용하여 랜드스케이프에서 제로 감도의 포인트 및/또는 윤곽을 식별하는 것(단계 164)을 포함할 수도 있다. 방법(100)은, 포인트 또는 윤곽을 식별하는 것 및, 예를 들면, 연속하는 측정 직전에, 파라미터를 즉석에서 각각 조정하는 것(단계 165)을 포함할 수도 있다.

[0100] 방법(100)은, 동공의 일부로부터의 또는 명시된 파라미터(예를 들면, 측정 레시피 파라미터)에 대한 신호를 랜드스케이프의 식별된 제로 감도의 포인트 및/또는 윤곽에 따라 빈화하는 것(단계 166)을 더 포함할 수도 있다. 방법(100)은, 부정확도가 소멸하는 조명 파장 및/또는 스펙트럼 분포를 선택하는 것(단계 168)을 더 포함할 수도 있다.

[0101] 소정의 실시형태에서, 오버레이 계측 측정은, 격자 위 격자 산란측정 타겟 또는 나란한 산란측정 타겟을 구비할 수도 있고, 적어도 하나의 파라미터는 격자 사이의 광로차에 관련될 수도 있고 다음 중 적어도 하나를 포함한다: 격자 사이의 중간 레이어의 두께, 측정 파장, 입사각, 반사각, 입사 및 반사 광의 편광 특성, 타겟의 기하학적 파라미터 및 격자의 그리고 격자 사이의 중간 레이어의 전자기적 특성. 소정의 실시형태에서, 적어도 하나의 파라미터는 다음 중 적어도 하나를 포함할 수도 있다: 측정 파장, 입사 및/또는 반사 광의 편광, 및 입사 및/또는 반사의 각도.

[0102] 소정의 실시형태에서, 오버레이 계측 측정은 이미징 타겟을 구비할 수도 있고, 적어도 하나의 파라미터는 타겟 구조체 사이의 광로차에 관련될 수도 있고 다음 중 적어도 하나를 포함한다: 타겟 구조체 사이의 중간 레이어의 두께, 측정 파장, 입사각, 반사각, 입사 및 반사 광의 편광 특성, 타겟의 기하학적 파라미터, 타겟 구조체의 그리고 타겟 구조체 사이의 중간 레이어의 전자기적 특성, 및 측정 툴 초점. 소정의 실시형태에서, 적어도 하나의 파라미터는 다음 중 적어도 하나를 포함할 수도 있다: 측정 툴 초점, 측정 파장, 입사 및/또는 반사 광의 편광, 및 입사 및/또는 반사의 각도.

[0103] 소정의 실시형태에서, 방법(100)은, 낮은 부정확도를 달성하도록 동공 픽셀 전체에 걸쳐 메트릭(들)을 평균화하기 위해 하나 이상의 가중치 함수(들)를 적용하는 것(단계 150)을 포함할 수도 있다. 예를 들면, 방법(100)은, 랜드스케이프(예를 들면, 감도 랜드스케이프)에 대한 가중치 함수(들)를 결정하는 것(단계 152)을 포함할 수도 있다. 방법(100)은, 동공 전체에 걸쳐 가중치 함수에 따라 오버레이 또는 다른 메트릭을 계산하는 것(단계 154)을 더 포함할 수도 있다.

[0104] 방법(100)은, 유도된 의존성에 대한 그 효과를 시뮬레이팅하거나 또는 측정하는 것에 의해, 대칭적 프로세스 변동으로부터 비대칭적 프로세스 변동을 분리하는 것(단계 140)을 더 포함할 수도 있다. 소정의 실시형태는, 대칭적 프로세스 변동에 의해 야기되는 랜드스케이프 시프트를 정량화하는 것(단계 190) 및 예상된 랜드스케이프 시

프트에 따라 측정 설정을 선택하는 것(단계 192)을 포함한다. 예를 들면, 방법(100)은, 예상된 랜드스케이프 시프트에 대해 낮은 감도를 나타내는 측정 설정을 선택하는 것(단계 194), 랜드스케이프의 반대 시프트를 야기하는 대응하는 타겟 또는 측정 설계에 의해 예상된 랜드스케이프 시프트를 상쇄하는 것(단계 196), 각각의 사이트에서의 예상된 랜드스케이프 시프트에 따라 측정 파라미터를 상이한 타겟 사이트에 피팅하는 것(198) 및/또는 예상된 랜드스케이프 시프트에 따라 조명 파장 및/또는 스펙트럼 분포(예를 들면, 대역폭)를 선택하는 것(단계 200)을 포함할 수도 있다.

[0105] 방법(100)은, 하나 이상의 파라미터(들)에 대해, 하나 이상의 측정을 사용하여, 랜드스케이프를 파라미터의 랜드스케이프로서 유도하는 것(단계 180) 및, 어쩌면, 명시된 메트릭에 대한 파라메트릭 랜드스케이프를 최적화하기 위해 및/또는 오버레이 측정 정확도를 향상시키기 위해 (예를 들면, 현상학적 모델(들)을 사용하여) 파라미터(들)를 조정하는 것(단계 182)을 포함할 수도 있다.

[0106] 소정의 실시형태에서, 방법(100)은, 별개의 측정치 또는 데이터로부터 연속하는 인공적 신호 랜드스케이프를 보간 또는 외삽하는 것(단계 184), 별개의 측정치 또는 데이터를 기저의 물리적 모델에 피팅하는 것에 의해 연속하는 인공적 신호 랜드스케이프를 구성하는 것(단계 186) 및 인공적 신호 랜드스케이프에 비용 함수(들)를 적용하는 것(단계 188)을 포함할 수도 있다.

[0107] 방법(100)은, 낮은 부정확도를 달성하기 위해 랜드스케이프(예를 들면, 감도 랜드스케이프)에 따라 계측 레시피 및/또는 하드웨어 설정을 최적화하는 것(단계 210) 및/또는 하드웨어 파라미터(들)를 랜드스케이프의 제로 감도의 포인트 및/또는 윤곽으로 조정하는 것(단계 212)을 더 포함할 수도 있다.

[0108] 소정의 실시형태에서, 방법(100)은, 추정치를 메트릭(들)의 측정 데이터와 비교하는 것에 의해 픽셀당 신호 오염을 추정하는 것(단계 220)을 포함할 수도 있다.

[0109] 방법(100)은, 낮은 부정확도를 산출하도록 계측 타겟을 설계하는 것(단계 230), 예를 들면, 시뮬레이팅된 랜드스케이프(예를 들면, 시뮬레이팅된 감도 랜드스케이프)에 따라 계측 타겟을 설계하는 것(단계 232)을 더 포함할 수도 있다. 소정의 실시형태에서, 방법(100)은, 명시된 측정 파라미터에서 공진을 산출하도록 중간 막 스택을 구성하는 것(단계 234) 및/또는, 예를 들면, 타겟의 하부 레이어(lower layer)에서 또는 그 아래에서 더미필(dummy-fill) 또는 구획을 갖도록 타겟을 설계하는 것(단계 242)에 의해, 타겟의 하부 구조체에서 또는 그 아래에서 전자기적 투과를 최소화하는 것(단계 240)을 포함할 수도 있다.

[0110] 방법(100)은, 낮은 또는 제로의 부정확도 포인트 또는 윤곽 주위의 오버레이 및 다른 계측 결과를 측정하는 것(단계 360), 감도 랜드스케이프의 편평한 영역에서 계측 측정을 수행하는 것(단계 362) 및/또는 설계 타겟의 계측 측정을 수행하는 것(단계 364)을 더 포함할 수도 있다. 방법(100)의 추가적인 단계가 하기에서 설명된다.

[0111] 하기에서는, 계측 툴의 동공 플레인에서 적어도 ±1차 회절(first diffraction order)을 포함하며, 반대 설계의 오프셋을 구비하는 적어도 두 개의 주기적 구조체를 각각 구비하는 적어도 두 개의 셀을 포함하는 타겟으로부터 유도되는, 측정된 회절 신호에 관련되는 방법 및 충실도 메트릭이 제공된다. 타겟의 오버레이는, 각각의 셀에서, 서로에 대해 180° 만큼 회전되는 동공 픽셀에서 측정되는 반대 차수의 신호 강도 사이의 차이를 사용하여, 셀의 측정된 회절 신호로부터 계산된다. 충실도 메트릭은, 동공 전역의 차분 신호를 통합하는 것에 의해, 그리고 동공 전역의 다양한 비대칭을 정량화하는 것에 의해, 동공 함수 사이의 추정된 피트로부터 유도될 수도 있다. 충실도 메트릭은 계측 레시피를 최적화하기 위해 예비 단계에서 그리고 발생하는 제조 에러를 나타내기 위해 실행 시간 동안 적용될 수도 있다.

[0112] 산란측정 오버레이 계측에 대한 충실도 정량화 이점은, 수학적 방법 및 통계적 수단을 수반하여 제시된다. 충실도 메트릭은, 측정의 부정확도 관련 불확실성을 정량화하기 위해 나노미터 단위를 가질 수도 있고 레시피 및 타겟 셋업의 최적의 선택, 실행 중의 플래그 부정확도 발행, 및 향상된 정확도를 허용할 수도 있다.

[0113] 본 발명가는, 소개된 충실도 메트릭이, 반복성 추정('정밀도') 및 툴 비대칭성 기여('툴 유도 시프트')를 정량화하는 종래 기술의 TMU(총 측정 불확실도) 메트릭에 비해 우수하다는 것을 발견하였다.

[0114] 제시된 메트릭은 산란측정 오버레이 타겟 및 측정 프로시져 및 레시피에 적용될 수 있다. 예시적인 타겟은, 오버레이 방향(예를 들면, x 방향, y 방향)마다 두 개 이상의 셀을 포함한다. 도 7a 및 도 7b는, 본 발명의 몇몇 실시형태에 따른, 중간 레이어(93)를 갖는 상이한 레이어에서 병렬 격자(91, 92)와 같은 두 개의 주기적인 구조체를 구비하는, 리소그래피 반도체 프로세스에서 인쇄되는 타겟 셀(90)을 개략적으로 예시한다. 도 7a는 상면도이고 한편 도 7b는 측단면도이다. 오버레이, 오프셋 또는 결합된 오버레이와 오프셋은 도 7a 및 도 7b에서 OVL로서 나타내어진다. 셀은 다수의 주기적 구조체를 구비할 수도 있다는 것, 및 주기적 구조체는 단일의 물리 레

이어(예를 들면, 다수의 패턴화 단계에 의해 생성되고 그 다음 나란한 타겟 셀로 칭해짐)에 위치될 수도 있다는 것을 유의한다. 셀은 일반적으로 쌍 단위 대형인데, 쌍의 각각의 셀은, $\pm f_0$로 표기되는 반대로 설계된(유도된) 오프셋을 구비하며, 각각의 오프셋은 상부 주기적 구조체(일반적으로 현재 레이어로 칭해짐) 및 하부 주기적 구조체(이전 레이어) 사이에 있다. 쌍 중 하나의 셀은 $+f_0$ 나노미터 오프셋을 가지며 다른 셀은 $-f_0$ 나노미터 오프셋을 갖는다. 하기에서 제시되는 비제한적인 예에서, 타겟은 네 개의 셀을 포함하며, 임의의 산란측정 오버레이 타겟에 유사한 프로시져가 적용될 수도 있다는 것이 가정된다. 메트릭은 계측 툴의 광학 시스템의 동공 플레인에서의 타겟 계측에 관련된다는 것을 또한 유의한다. 셀의 회절 신호가 측정되고, 반대되는 회절 차수(예를 들면, +1과 -1 회절 차수)의 신호 강도 사이의 후속하는 차이는, 각각의 셀에서, 서로에 대해 180° 만큼 회전되는 동공 픽셀에서 측정된다. 이들 차이는 "차분 신호"로 칭해지며 도 8에서 예시되는데, 도 8은, 셀의 각각으로부터 수집되는 동공 신호(도 8의 좌상 및 우상) 및 하기에서 정의되는 셀의 각각으로부터의 차분 신호(도 8의 좌하 및 우하)를 개략적으로 예시한다.

[0115] 차분 신호는, -1차 영역에서의 180° 회전된 픽셀인 -p의 대응하는 강도를 뺀 1차 영역에서의 픽셀 p의 신호 강도로서 정의된다. 픽셀당 신호 차분은 D(p, offset)에 의해 표기되며 식 8에서 표현되는 선형 형태에 의해 근사될 수도 있다:

$$D_{1,2}(\vec{p}, \pm f_0) = A(\vec{p})\cdot(OVL \pm f_0) \qquad \text{식 8}$$

[0116] $$i.e., D_1(\vec{p}, +f_0) = A(\vec{p})\cdot(OVL + f_0) \text{ and } D_2(\vec{p}, -f_0) = A(\vec{p})\cdot(OVL - f_0)$$

[0117] 차분 신호(D)의 인덱스 1, 2는, $\pm f_0$와 동일한 유도된 오프셋을 갖는, 신호가 측정되는 셀을 나타낸다. A(p)는 동공에 걸쳐 정의되며 하기에서 더 상세하게 분석된다.

[0118] 도 8은, 본 발명의 몇몇 실시형태에 따른, 반대 오프셋을 갖는 두 개의 셀의 동공 신호 및 차분 신호를 개략적으로 예시한다. 동공 이미지(95A 및 95B)는, $+f_0$ 및 $-f_0$의 설계된 오프셋을 각각 갖는 셀(90)의 시뮬레이팅된 측정치이다. 각각의 동공 이미지는, 중앙의 0차 회절 신호 및 -1차 및 +1차로 마킹되는 두 개의 1차 회절 신호를 예시한다. 단위는 임의적이며 화살표는 두 개의 스케일 극치 중 하나에 대한 어두운 영역의 대응을 나타낸다. NA_x 및 NA_y는 동공 플레인 상대 좌표를 나타낸다. 차분 신호(252A, 252B)는 식 8에서 정의되는 바와 같이 D_1 및 D_2에 대응하는데, 유사한 스케일 표현을 갖는다.

[0119] 식 8의 정의를 사용하여, 픽셀당 오버레이(OVL)는, 이미징 엘리먼트(예를 들면, CCD(charge coupled device; 전하 결합 소자))의 동공 픽셀을 $\vec{p}$로 나타내는 식 9에 의해 주어진다:

[0120] $$OVL(\vec{p}) = \frac{D_1(\vec{p})+D_2(\vec{p})}{D_1(\vec{p})-D_2(\vec{p})} f_0 \qquad \text{식 9}$$

[0121] 따라서, 식 9는 픽셀당 오버레이 동공 이미지를 정의한다.

[0122] 동공 충실도 메트릭은, 하기에서 설명되는 바와 같은 산란측정 오버레이(SCOL) 패러다임의 기초가 되는 가정의 유효성을 정량화하도록 설계되고, 정확한 오버레이 값을 생성하기 위한 최적의 타겟 설계와 함께 최상의 측정 조건을 찾는 것, 및, 실행 시간(RUN) 중에 또는 예비 단계(TRAIN) 동안, 오버레이 신뢰도의 부정확도 유도(비 TMU) 레벨에 대한 추정치를 제공하는 것을 목표로 할 수도 있다.

[0123] 완벽한 정확도, 또는 제로 부정확도의 경우, 차분 신호는, A(p)가 양 셀에 대해 동일한 픽셀당 벡터인 상태로, 식 8에 의해 나타내어진다. 소정의 실시형태에서, 충실도 메트릭은, 다음의 식 10을 사용하여 A_2에 대한 A_1의 픽셀당 피트를 유도하는 것에 의해 각각의 셀에 관련이 있는 $A_1(p)$ 및 $A_2(p)$를 비교할 수도 있다:

$$A_{1,2}(\vec{p}) = D_{1,2}(\vec{p})/(OVL \pm f_0) \qquad \text{식 10}$$

[0124] $$\text{즉, } A_1(\vec{p}) = \frac{D_1(\vec{p})}{OVL + f_0} \text{ 및 } A_2(\vec{p}) = D_2(\vec{p})/(OVL - f_0)$$

[0125] 여기서, 차분 신호의 원시 동공 이미지는 $D_{1,2}$에 의해 나타내어지며 오버레이의 추정치는 OVL에 의해 나타내어진다. 오버레이에 대한 하나의 추정치는, 예를 들면, 공칭 오버레이 알고리즘의 결과일 수 있다.

[0126] 도 9는, 본 발명의 몇몇 실시형태에 따른, 셀 반대 설계 오프셋에 대한 동공 함수 사이의 피팅 곡선(254B)으로부터의 충실도 메트릭의 계산을 개략적으로 예시하는 도면(254)이다. 동공 함수(A_1 및 A_2)는 축 상에서 표현되며, 개별 값은 곡선(254B)이 피팅되는 점(254A)으로서 표현된다. 전체 동공에 걸쳐 $A_1=A_2$인 이상적인 경우에서, 곡선(254B)은 항등 피팅(identity fitting)일 것이다. 충실도 메트릭은, 예를 들면, 곡선(254B)의 경사(1에 가까울수록 더 좋다), R^2(1에 가까울수록 더 좋다), 절편(더 작을수록 더 좋다)뿐만 아니라 동공 픽셀에 걸친 A_1 및 A_2의 대응의 임의의 통계적 파라미터를 측정하는 것에 의해 항등으로부터의 편차를 정량화할 수도 있다. 피트는, 가중될 수도 있는 또는 가중되지 않을 수도 있는 최소 자승 피트(least square fit)일 수 있다.

[0127] 소정의 실시형태에서, 동공 충실도 메트릭은 도 5와 관련하여 상기에서 설명되는 피트로부터 유도될 수도 있는데, 여기서 충실도 메트릭(들)은 측정치에 대한 곡선의 피팅하는 품질에 대해 계산될 수도 있다, 예를 들면, 피트로부터 획득되는 오버레이는, 공칭 오버레이 알고리즘 결과에 비교될 수도 있는 대안적인 오버레이 값을 제공한다. 큰 차이는, 두 개의 알고리즘 중 적어도 하나의 현존하는 부정확도를 반영한다. 또한, 선택된 픽셀당 가중치에 대한 결과적으로 나타나는 오버레이의 감도의 레벨은, 추가적인 동공 충실도 메트릭을 산출하기 위해, [nm] 단위로 정량화될 수도 있다.

[0128] 대안적으로 또는 상보적으로, 피트 척도의 우수성은, 측정에서의 노이즈의 표시로서 사용될 수도 있는데, 낮은 품질 동공 이미지를 의미한다. 추가적인 충실도 메트릭은, 함수 H의 파라미터 및 제로로부터의 그것의 거리를 포함할 수도 있다.

[0129] 소정의 실시형태에서, 충실도 메트릭(들)은, 동공 전체에 걸쳐 신호의 평균을 구하는 것에 의해, 즉, 도 5와 관련하여 상기에서 설명되는 바와 같이 양(quantity)의 평균을 사용하고, 이들 평균에 대한 피팅을 수행하여 오버레이를 획득하는 것에 의해 유도될 수도 있다. 소정의 실시형태에서, 신호의 더 높은 통계적 모멘트는, 동공 전체에 걸쳐 분석될 수도 있다. 신호의 더 높은 동공 모멘트는 이러한 상쇄를 방지하기 위해 그리고, 상실한 경우, 제1 모멘트로부터 부호를 추출하기 위해 사용될 수도 있다. 신규로 획득된 OVL 값은 공칭 OVL 값과 비교될 수도 있고 차이는 동공 충실도 메트릭으로서 기능할 수도 있다. 또한, 선택된 픽셀당 가중치에 대한 결과적으로 나타나는 오버레이의 감도의 레벨을 [nm] 단위로 정량화하는 것은, 추가적인 동공 충실도 메트릭으로 귀결된다.

[0130] 소정의 실시형태에서, 동공 노이즈는, 하기에서 예시화되는 바와 같이, 오버레이 계산의 불확실도를 추정하기 위해, 여러가지 상이한 오버레이 계산 방법을 결합하는 충실도 메트릭으로서 사용될 수도 있다.

[0131] 동공 노이즈 메트릭(들)은 다음과 같이 계산될 수도 있다. 오버레이 계산 방법의 세트, 예를 들면, 공칭 SCOL 알고리즘, 수정된 피트(상기 참조), 동공 적분 방법(상기 참조), 등등이 선택될 수도 있다. 각각의 오버레이 계산 방법에 대한 특성 파라미터의 대응하는 세트가 정의될 수도 있다. 하나의 특정한 예는, 상이한 가중치(예를 들면, 공칭 가중치 및 그 q 멱승(qth powers), 또는 임계치)를 선택하는 것일 것이다. 그 다음, 오버레이는, 각각의 방법 및 각각의 파라미터 값을, 0° 웨이퍼 회전으로부터 유래하는 데이터에 대해 한번 그리고 180° 웨이퍼 회전에 대해 한 번 사용하여 계산될 수도 있다. 양 방위를 계산하는 것이 소망되지만, 필수 단계는 아니다. 그 다음, 수신되는 각각의 오버레이 값에 대한 통계적 에러에 대한 추정치가 계산된다. 예를 들면, $\frac{|OVL_0-OVL_{180}|}{2}$ 가 추정치로서 사용될 수도 있다. 이 단계는 생략될 수도 있는데, 예를 들면, 오버레이는 180° 회전에서 계산되지 않는다. 마지막으로, 가중치를 수정하는 것에 의해 획득되는 오버레이 값이 탐구될 수도 있고, 대응하는 메트릭(들)은, 변동의 공간에서 오버레이 값의 가변성을 표현하도록 정의될 수도 있다. 예를 들면, 수신되는 최고 오버레이 값과 최저 오버레이 값 사이의 차이는, 낮은 통계적 에러를 갖는 값만을 사용하여 계산될 수도 있다. 동공 노이즈 메트릭은 각각의 측정 포인트에 대한 불확실도를 나노미터 단위로 생성하고 있다.

[0132] 적용에서, 상기에서 제시되는 통계치와 같은 충실도 메트릭(들)은 수신 최적화 단계에서 웨이퍼 전체에 걸쳐 분석될 수도 있다. 이들 통계치는 팹(fab) 소유자가, 정확한 오버레이 값으로 귀결되는 레이어마다의 최상의 타겟 설계 및 최상의 측정 셋업을 선택하는 것을 도울 수 있다. 상기에서 제시되는 통계치와 같은 충실도 메트릭(들)은 또한, 동작 동안, RUN 중에 검사될 수도 있고, 불안정한 프로세스 효과를 나타내기 위해 이들로부터 플래그(들)가 유도될 수도 있다.

[0133] 소정의 실시형태에서, 충실도 메트릭(들)은 k=0(동공 플레인의 중심) 근처에서 픽셀당 오버레이에서의 그래디언트를 반영할 수도 있다. 시뮬레이션은, 몇몇 방향에서 오버레이의 상당한 그래디언트를 갖는, k=0 근처의 픽셀당 오버레이에 의해 나타내어지는 비대칭적 구조체가 상당한 부정확도를 나타낸다는 것을 나타내고 있다. 도 10

은, 본 발명의 몇몇 실시형태에 따른, 프로세스 변동에 의해 야기되는 부정확도를 갖는 스택에 대해 수행되는 시뮬레이션에 대한, 동공 플레인의 중심 주위의 비대칭적 오버레이 추정치(258A)를 나타내는 결과를 예시화하는 도면(258)이다. 실리콘 위에 레지스트를 갖는 스택이 시뮬레이팅되었다. 그래프는, 프로세스 변동이 없는 스택(저부, 얇은 라인) 및 프로세스 변동을 갖는 스택(상부, 두꺼운 라인)에 대한, -0.1과 0.1 사이의 NA(numerical aperture; 개구수)에서 동공의 중심에서의 픽셀당 OVL 프로파일을 도시한다. 비대칭적 스택은 화살표 258A에 의해 나타내어지는 k=0 근처의 비대칭성을 나타낸다. 따라서, 도 10은, 동공의 중심에서 획득되는 픽셀당 오버레이의 프로파일을 예시하며, 스택에서의 부정확도 유도 프로세스 변동의 경우에, 동공의 중심은 k=0 근처에서 픽셀당 오버레이의 큰 비대칭성을 나타낸다.

[0134] 소정의 실시형태에서, 픽셀은, 상기에서 제시되는 충실도 메트릭의 계산 중 임의의 것에서 가중치를 할당 받을 수도 있다. 소정의 실시형태에서, 픽셀당 가중치는, 동공 공간에 켤레인(conjugate) 공간에서 정의될 수도 있다. 구체적으로는, 특정 사이즈를 갖는 동공 길이 스케일을 갖는 동공에서(오버레이 픽셀당 맵(overlay per-pixel map)에서 또는 차분 신호 픽셀당 맵(differential signal per-pixel map)에서, 또는 둘 다에서) 피쳐의 가중치를 향상시킬 것을 선택할 수 있다. 이것을 달성하기 위해, 오버레이 픽셀당 맵(또는 신호 그 자체)의 푸리에 분해(Fourier decomposition)를 수행할 수 있고 동공 푸리에(켤레) 공간의 소정 영역에 있는 분포의 푸리에 성분의 가중치를 수정할 수도 있다.

[0135] 픽셀당 가중치의 이러한 수정은 오버레이의 상이한 계산치를 생성할 수도 있는데, 상이한 계산치는, 결국에는, 추가적인 충실도 메트릭을 유도하도록 비교 및 사용될 수도 있으며, 이들 계산치 사이의 차이는 부정확도에 대한 플래그로서 사용될 수도 있다.

[0136] 소정의 실시형태에서, 충실도 메트릭(들)은, 각각의 분포의 3시그마(σ)의 영역을 나타내도록 유도될 수도 있다. 이론적으로는, 픽셀당 동공 이미지 내의 각각의 픽셀은, 각각의 픽셀이 단일의 타겟 셀로부터 반사되는 상이한 각도를 나타내기 때문에, 동일한 오버레이 값을 보고해야 한다. 실제에서는, 상이한 픽셀은 부정확도로 인해 상이한 오버레이 값을 보고한다. 픽셀 사이의 또는 픽셀의 그룹(단일의 픽셀과는 달리 정밀도 기준을 충족한다) 사이의 변동의 크기는 정량화될 수도 있고 충실도 메트릭(들)으로서 사용될 수도 있다. 동공 플레인에서의 측정의 수행으로 인해, 오버레이 및 다른 측정치는 동공 전체에 걸쳐 상이한 픽셀 또는 픽셀 그룹에 대해 독립적이고, 따라서 측정 부정확도의 정확한 추정치를 산출하여 프로세스 변동 요인을 나타낼 기회를 제공한다는 것을 유의한다.

[0137] 예를 들면, Pupil3s 메트릭은 식 11에서와 같이 정의될 수도 있는데:

[0138] $$Pupil3\sigma = 3\cdot\sqrt{\frac{1}{\sum_p w(\vec{p})}\sum_p (OVL(\vec{p}) - OVL)^2 w(\vec{p})} \qquad \text{식 11}$$

[0139] $OVL = \frac{1}{w(\vec{p})}\sum_p OVL(\vec{p})w(\vec{p})$ 이고 p = 픽셀, OVL(p) = 픽셀당 오버레이, 그리고 w(p) = 픽셀당 가중치이다.

[0140] 몇몇 경우에서, 식 11에서 제시되는 Pupil3s의 가중된 추정치는 정확도에 대해 적은 상관성을 가질 수도 있는데, 그 이유는 Regions3s가, 픽셀당 가변성 대신 픽셀의 평균된 그룹 사이에서만 픽셀당 동공 전체에 걸친 변동의 메트릭이기 때문이다. 이러한 경우의 예는, 동공이, 툴 상의 알려진 물리적 구조(어퍼쳐 사이즈) 또는 웨이퍼 상의 알려진 물리적 구조(타겟 사이즈)로부터 비롯하는 간섭 영향을 받고 있는 경우이다. 다른 예는, 격자에 수직인 방향에서의 비대칭성의 존재이다. 하기에서는, 이 특정한 비대칭성에 기인하는 Pupil3s를 감소시키는 것을 허용하는 메트릭을 제시한다. 이들 구조체는, 동공 전체에 걸친 평균화시 변동이 상쇄되도록 동공 상에 작은 길이 스케일(length scale)을 유지한다. 이 효과를 해결하는 메트릭은 하기에서 유도되는 Region3s인데, Region3s는 충실도 메트릭으로서 사용될 수도 있다. 동공은 $동공\ 영역 \approx \frac{\lambda}{L/2}\ x\ \frac{\lambda}{L/2}$ 인 영역으로 나누어지는데, 여기서 λ는 측정이 실행되는 파장이고, L은 현상을 야기하는 물리적 길이 스케일이다.

[0141] 각각의 영역의 오버레이는, 픽셀당 가중화를 사용하여 계산될 수도 있고, 식 12에 따라 평균화되는데:

[0142] $$\mathrm{OVL_R} = \frac{\sum_{pxl\in R} W_{pxl}\mathrm{OVL_{pxl}}}{\sum_{pxl\in R} W_{pxl}} \qquad \text{식 12}$$

[0143] 여기서 R은 영역이고 $\mathrm{W_R} = \frac{\sum_{pxl\in R} W_{pxl}}{\sum_R \sum_{pxl\in R} W_{pxl}}$ 이다.

[0144] 통계적 에러의 다음 조건을 충족하는 영역만이 다음 계산을 위해 사용된다: $\frac{|OVL_0 - OVL_{180}|}{2} < \text{threshold [nm]}$.

영역의 동공 시그마의 추정치는 $\overline{OVL} = \frac{\sum OVL_R W_R}{\sum W_R}$ 로 계산되어 다음의 식 13의 Region3s 충실도 메트릭의 정의를 산출한다:

[0145] $$Region3s = 3\sqrt{\frac{\sum (OVL_R - \overline{OVL})^2 W_R}{\sum W_R}} \qquad \text{식 13}$$

[0146] 다양한 길이 스케일 L에 대해 상기 알고리즘을 반복하는 것은, 일련의 충실도 메트릭을 정의하는 것을 허용하는데, 일련의 충실도 메트릭은, 결국에는, 부정확도를 야기하는 길이 스케일을 정확히 나타내는 것을 가능하게 한다. 예를 들면, 부정확도를 야기하는 물리적 프로세스가 웨이퍼 상의 길이 스케일 L1에 대응하면, 픽셀당 오버레이 및 픽셀당 신호는 λ/L1의 스케일 상에서 픽셀당 변동을 가질 것으로 예상된다. 그 다음, L < L1에 대한 Regions3S를 검토하는 것에 의해, 변동이 통합되고 Regions3S 충실도는 어떠한 부정확도 정보도 포함하지 않는다. 따라서, 부정확도에 대한 Regions3S의 상관성은 L=L1의 경우에 크게 증가하고, 따라서 간섭의 소스의 사이즈를 나타내게 된다.

[0147] 소정의 실시형태는, 충실도 메트릭(들)으로서, 주기적 구조체에 수직인 방향에서 비대칭적 메트릭을 사용하는 것을 포함한다. 하기에서는, 제안된 방법 및 메트릭의 일반성의 어떠한 제한도 없이, 주기적 구조체(예를 들면, 격자)의 주기성의 방향이 X에 의해 표기되고 X에 수직인 방향이 Y에 의해 표기된다. 격자의 방향(X)에서 붕괴하는 대칭성은 동공 이미지의 전체에 걸쳐 검출될 수도 있고 오버레이 에러를 나타내도록 사용될 수도 있다. 그러나, 오버레이에 수직한 방향(Y)에서 붕괴하는 대칭성은, 고려될 필요가 있는 상이한 에러를 나타낼 수도 있다. 이 종류의 대칭성 붕괴는, 가능한 프로세스 변동(예를 들면, Y 방향에서의 물리적 측벽 각도, 상부의 구획과 상부 격자 사이의 Y 방향에서의 OVL과 같은 타겟 불완전성), 또는 Y 방향에서의 임의의 다른 대칭성 붕괴(예를 들면, Y 방향을 따른 타겟 주변/타겟의 에지로부터의 광의 회절/산란 효과)를 나타낸다. 이하의 충실도 메트릭은 Yasymmetry 메트릭으로 칭해지고, 반도체 웨이퍼 상에서 발생할 수 있는 후자의 세 개의 에러를 나타내고 정량화하는 것을 목표로 한다. 더 일반적인 관점에 두기 위해: "A" 방향에서 OVL을 측정하는 SCOL 타겟의 경우, B 방향에 대해 반사되는 픽셀의 동공 이미지에서 대칭성을 점검하는 Basymmetry 플래그를 사용하고 그 B는 A에 수직인 방향이다.

[0148] 소정의 실시형태에서, 수직 비대칭성을 나타내는 충실도 메트릭(들)은, 동공 이미지(상이한 신호 또는 픽셀당 오버레이 중 하나)를 생성하고, 동공을 오버레이의 방향에 수직인 방향으로 플립하고 신규의 플립된 동공 전체에 걸쳐 평균 및 3σ를 계산하는 것에 의해 유도될 수도 있다.

[0149] Yasymmetry 메트릭은, 차분 신호 동공 또는 오버레이 동공 이미지 중 하나에 적용될 수 있는 픽셀당 계산으로부터 유도될 수도 있다. Yasymmetry가 오버레이 동공 이미지에 대해 나노미터 단위로 생성되지만, 차분 신호 동공 이미지에 대해 백분율 형태를 갖는다. 후자의 양식에서, Yasymmetry는, 프로세스 변동이 더 현저한 특정한 셀을 정확히 나타낼 수 있다.

[0150] Yasymmetry 메트릭은 실시간으로 계산될 수도 있고, 상이한 측정 셋업, 타겟 설계, 웨이퍼 상의 또는 필드 내의 특수 구역 사이를 구별하기 위해, 선택 파라미터(culling parameter) 또는 품질 척도로서 사용될 수도 있다. 웨이퍼 전체에 걸친 그것의 거동 및 통계치는 프로세스 변동을 나타낼 수 있고, 레이어마다, 웨이퍼마다 및/또는 타겟 설계마다 최적의 측정 조건을 설정함에 있어서 도움이 될 수 있다.

[0151] 동공 평균화를 위해 여러가지 알고리즘이 사용될 수도 있지만, 픽셀당 Yasymmetry를 보고하는 옵션도 또한 존재한다. 동공 평균화를 위한 알고리즘 중 하나는 하기에서 제안된다. 시작 포인트로서 두 개의 차분 신호 D1(px,py)과 D2(px,py)(식 8에서와 같이, D1은 유도된 오프셋 $+f_0$을 갖는 셀에 속하고 D2는 유도된 오프셋 $-f_0$를 갖는 셀에 속한다.), 및 픽셀당 오버레이 OVL(px,py)를 취한다. (px,py)는 마스크 또는 동공 플레인에서의 픽셀 좌표를 나타내고; px는 OVL이 측정되는 방향에서의 좌표이고 py는 수직 방향에서의 좌표이다. OVL(나노미터 단위)에서의 비대칭성 및 차분 신호에서의 백분율의 픽셀당 상대적 비대칭성은, 셀 i=1 및 셀 i=2의 경우, 동공 이미지를, 수직 방향에서의 그것의 반사와 비교하는 것에 의해 계산될 수도 있다, 즉 다음의 식 14에서 표현되는 바와 같이, (px,py)가 (px,-py)와 비교되는데:

$$YasymPP(OVL)[px,py] = \frac{1}{2}(OVL[px,py] - OVL[px,-py]) \qquad \text{식 14}$$

$$YasymPP(Di)[px,py] = 100 \times \frac{\frac{1}{2}(Di[px,py] - Di[px,-py])}{|Di[px,py]|}$$

[0152]

[0153] 이들은 py>0에 대해서만 정의되는 픽셀당 양이다.

[0154] Y 비대칭성으로부터 제거되는 픽셀당 오버레이는 다음의 방식으로 계산될 수 있다:

[0155] $$YsymPP(OVL)[px,py] = \frac{1}{2}(OVL[px,py] + OVL[px,-py])$$

[0156] 픽셀당 오버레이는 대칭화된다. 식 13에 후속하여, Y 비대칭성으로부터 유도되는 Pupil3S가 계산될 수 있다. 그것은, Y 비대칭성 이슈에 기인하는 Pupil3S에 대한 부정확도의 일부를 상쇄하는 것을 허용한다.

[0157] 플래그는, $\text{quantity}\langle Q\rangle \equiv \frac{\sum_p Q(p)W(p)}{\sum_p W(p)}$ 의 가중된 동공 평균을 정의하는 것에 의해 계산될 수도 있지만, 그러나 이제 가중치는 i=1, 2를 가지고 변하고 평균에서의 합은 py>0 상에만 대한 것이다. 플래그는 다음의 식 15에서 표현되는 바와 같이 되도록 정의된다:

$$Yasym(OVL) \equiv \langle YasymPP(OVL)\rangle_{w_0}, \qquad \text{식 15}$$

$$Yasym(OVL)3S \equiv 3\sqrt{\langle YasymPP(OVL)^2\rangle_{w_0} - \left(\langle YasymPP(OVL)\rangle_{w_0}\right)^2}$$

$$Yasym(Di) \equiv \langle Yasym(Di)\rangle_{w_i},$$

$$Yasym(Di)3S \equiv 3\sqrt{\langle YasymPP(Di)^2\rangle_{w_i} - \left(\langle YasymPP(Di)\rangle_{w_i}\right)^2}$$

[0158]

[0159] 동공 평균화 알고리즘에 대한 다른 예는 다음과 같다: (수직 방향에서의) 오버레이에 대한 Yasymmetry의 의존성은, 식 16에서 표현되는 다음의 메트릭을 사용하는 것에 의해 거의 무효로 될 수 있는데:

[0160] $$Yasymmetry = \left\langle \frac{\Delta D1(kx,ky)+\Delta D2(kx,ky)}{|D1(kx,ky)|+|D2(kx,ky)|} \right\rangle_{weighted} \qquad \text{식 16}$$

[0161] 여기서 $\Delta D1 = D1(kx,ky) - D1(kx,-ky), \Delta D2 = D2(kx,ky) - D2(kx,-ky)$ 이다.

[0162] 상기에서 제시되는 도출은, 오버레이의 방향에 수직한 방향에서 오프셋의 함수로서 선형적으로 증가한다는 것을 유의해야 한다. Yasymmetry 메트릭은 웨이퍼 전체에 걸쳐 이상점(outlier)을 식별하기 위해 사용될 수도 있다는 것을 또한 유의한다. Yasymmetry 메트릭은, 그것의 실시형태에서, 평균 ±3s의 통계적 경계 밖에 놓이는 측정치를 생략하면서 계산될 수도 있다. Yasymmetry 메트릭이 픽셀당 메트릭이기 때문에, 그것은 또한 픽셀 레벨에서 이상점 제거로서 사용될 수도 있다. Yasymmetry 메트릭을 동공 이미지에 적용할 수 있고, Yasymmetry 척도의 3s 및 평균을 계산할 수 있고 유효한 한계를 평균 ±3s로서 설정할 수 있다. 이들 두 한계 사이의 유효한 범위 밖에 놓이는 모든 픽셀은, 픽셀당 오버레이 계산, 또는 최종 오버레이 계산을 위해 사용되는 동공에서 생략될 수도 있다. (생략된 픽셀이 있는 그리고 생략된 픽셀이 없는) 두 타입의 OVL 계산 사이의 차이는, 수직 방향에서 붕괴하는 대칭성이 OVL 측정 품질에 대해 갖는 영향에 대한 추가적인 크기로서 기능할 수도 있다.

[0163] Yasymmetry 계산에서의 불확실도의 양을 추정하기 위해, 검증 단계가 추가될 수도 있는데, 검증 단계에서는, Yasymmetry 메트릭은 표준 방식으로 계산되고, 그 다음 한 픽셀만큼 왼쪽으로의 시프트 및 한 픽셀만큼 오른쪽으로의 다른 시프트를 갖는다. 이들 세 척도 사이의 변동은 Yasymmetry 메트릭 계산에 필요한 불확실성의 양을 생성할 수도 있다.

[0164] 양 레이어에서의 직교 피치와 같은 상이한 타입의 Yasymmetry 붕괴의 시뮬레이션은, 주어진 파장에 대해, 상당한 부정확도를 야기하는 직교 피치 사이즈로부터 그렇지 않은 직교 피치 사이즈까지 다소 급격한 크로스오버 거동이 존재한다. 예를 들면, 청색 영역의 파장의 경우, 이러한 크로스오버 거동은 피치 ~250nm 근처에 있는 것으로 관찰되었다. 구획 피치에 대한 이러한 부정확도 의존성은, 계측 타겟 설계 파라미터 공간 검색에서 경쟁자 리스트를 제한하기 위해 사용될 수도 있다.

[0165] 소정의 실시형태에서, Yasymmetry 메트릭은, 웨이퍼 상의 타겟 내의 손상된 타겟 또는 셀, 불량한 측정 셋업 및

프로세스 변동을 식별하기 위해 사용될 수도 있다. Yasymmetry 메트릭은 또한, 통계적 범위 밖에 있는 측정 포인트를 이상점으로서 식별하기 위해, 그리고 대응하는 픽셀도 또한 생략하기 위해 사용될 수도 있다. 소정의 실시형태에서, Yasymmetry 메트릭은, 대칭적 붕괴를 정량화하기 위해 그리고 (셀 레벨까지의) 타겟 불완전성, 편향된 측정 셋업 또는 상이한 프로세스 변동을 나타내기 위해 사용될 수도 있다. Yasymmetry 단위는, 오버레이 동공 이미지에 적용되는 경우에는 나노미터일 수도 있고 원시 신호 동공 이미지에 적용되는 경우에는 백분율일 수도 있다. 나노미터 단위의 Yasymmetry 메트릭은, 오버레이 부정확도에 대한 프로세스 문제점의 영향을 추정하기 위해 사용될 수도 있다. Yasymmetry 메트릭은, 오버레이가 측정되는 동안, 툴에 대해 실시간으로 계산될 수도 있다. Yasymmetry 메트릭은, 웨이퍼 또는 필드 전체에 걸친 선택 파라미터 또는 품질 척도로서 사용되어, 측정 셋업, 상이한 타겟 설계, 상이한 필드, 웨이퍼 또는 로트 사이를 구별할 수도 있다.

[0166] 도 11로 돌아가면, 방법(100)은, 예를 들면, 계측 모듈에서, 적어도 하나의 컴퓨터 프로세서에 의해 적어도 부분적으로 구현될 수도 있다. 소정의 실시형태는, 방법(100)의 관련된 단계를 실행하도록 컴퓨터 판독가능 프로그램이 수록되고 구성되는 비일시적 컴퓨터 판독가능 저장 매체를 포함하는 컴퓨터 프로그램 제품을 포함한다.

[0167] 방법(100)은, 계측 툴의 동공 플레인에서 적어도 ±1차 회절을 포함하는 회절 신호 - 신호는 적어도 두 개의 셀을 포함하는 타겟으로부터 유도되고, 적어도 두 개의 셀 각각은 반대 설계의 오프셋 $\pm f_0$을 구비하는 적어도 두 개의 주기적 구조체를 구비함 - 를 측정하는 것(단계 250), 및 적어도 두 개의 셀의 측정된 회절 신호로부터, 각각의 셀에서, 서로에 대해 180° 만큼 회전되는 동공 픽셀에서 측정되는 반대 차수의 신호 강도 사이의 차이를 사용하여, 타겟의 오버레이를 계산하는 것(단계 260)을 포함할 수도 있다.

[0168] 소정의 실시형태에서, 오버레이는 $OVL(\vec{p}) = ((D_1(\vec{p}) + D_2(\vec{p}))/(D_1(\vec{p}) - D_2(\vec{p})))\cdot f_0$ 로서 계산될 수도 있는데, $\vec{p}$ 는 동공 픽셀을 나타내고, f_0는 설계된 오프셋을 나타내고, D_1 및 D_2는, 반대 설계의 오프셋에 대응하여, 서로에 대해 180° 만큼 회전되는 동공 픽셀에서 측정되는 반대 차수의 신호 강도 사이의 차이를 나타낸다.

[0169] 방법(100)은, 서로에 대해 180° 만큼 회전되는 동공 픽셀에서 측정되는 반대 차수의 신호 강도 사이의 차이로부터 유도되는, 반대 설계의 오프셋에 대한, 동공 함수 사이의 추정된 피트로부터 적어도 하나의 충실도 메트릭을 유도하는 것(단계 270)을 더 포함할 수도 있다. 예를 들면, 적어도 하나의 충실도 메트릭은 $D_1(\vec{p}) + D_2(\vec{p})$ 및 $D_1(\vec{p}) - D_2(\vec{p})$의 선형 피트로부터 유도될 수도 있다.

[0170] 방법(100)은, 공칭 오버레이 값을, 서로에 대해 180° 만큼 회전되는 동공 픽셀에서 측정되는 반대 차수의 신호 강도 사이의 차이를, 동공 전체에 걸쳐, 통합하는 것에 의해 유도되는 오버레이 값과 비교하는 것에 의해 적어도 하나의 충실도 메트릭을 유도하는 것(단계 280)을 포함할 수도 있다. 소정의 실시형태에서, 유도된 오버레이 값은, 동공 전체에 걸쳐 $D_1(\vec{p}) + D_2(\vec{p})$를 통합하는 것에 의해 계산될 수도 있는데, $\vec{p}$는 동공 픽셀을 나타내고, D_1 및 D_2는, 반대 설계의 오프셋에 대응하여, 서로에 대해 180° 만큼 회전되는 동공 픽셀에서 측정되는 반대 차수의 신호 강도 사이의 차이를 나타낸다. 통합하는 것(280)은, 이들 차이의 1차 및/또는 더 고차 모멘트(들)를 통합하는 것(단계 285)을 포함할 수도 있다. 예를 들면, 통합은 상기에서 설명되는 바와 같은 $D_1(\vec{p}) + D_2(\vec{p})$ 의 평균에 대해 수행될 수도 있고, 및/또는 통합은 $D_1(\vec{p}) + D_2(\vec{p})$ 의 2차 또는 더 고차 모멘트에 대해 수행될 수도 있다.

[0171] 방법(100)은, 실시형태 중 임의의 것에서, 적어도 하나의 충실도 메트릭을 유도하기 위해 동공 픽셀을 가중화하는 것(단계 310)을 더 포함할 수도 있다. 예를 들면, 곡선을 다수의 포인트(예를 들면, 상이한 픽셀에 대응함)에 피팅하는 것을 수반하는 실시형태에서, 적어도 하나의 충실도 메트릭은 추정된 피트의 가중된 카이 자승 척도(weighted chi-squared measure)를 포함할 수도 있다. 소정의 실시형태에서, 가중치는, 푸리에 켤레 평면과 같은, 동공에 대한 켤레 공간에서 정의될 수도 있다(단계 315).

[0172] 소정의 실시형태에서, 방법(100)은, (i) 산란측정 알고리즘을 사용하여(즉, 종래 기술의 방법을 사용하여) 공칭 오버레이 값을 유도하는 것, (ii) (예를 들면, 단계 270에 의해) 서로에 대해 180° 만큼 회전되는 동공 픽셀에서 측정되는 반대 차수의 신호 강도 사이의 차이로부터 유도되는, 반대 설계의 오프셋에 대한, 동공 함수 사이의 피트를 추정하는 것, 및 (iii) 공칭 오버레이 값을, (예를 들면, 단계 280에 의해) 서로에 대해 180° 만큼 회전되는 동공 픽셀에서 측정되는 반대 차수의 신호 강도 사이의 차이를, 동공 전체에 걸쳐, 통합하는 것에 의해 유도되는 오버레이 값과 비교하는 것, 중 적어도 대응하는 두 개에 의해 유도되며 대응하는 파라미터와 관련

되는 적어도 두 개의 오버레이 값을 사용하여 적어도 하나의 충실도 메트릭을 유도하는 것을 포함할 수도 있다. 적어도 하나의 충실도 메트릭은, 상이한 파라미터 값 하에서 유도된 적어도 두 개의 오버레이 값 사이의 차이의 가변성에 대응하는 동공 노이즈를 정량화하도록 정의될 수도 있다(단계 300). 예를 들면, 파라미터는 동공 플레인 픽셀의 상이한 가중화를 포함한다. 소정의 실시형태에서, 동공 노이즈의 정량화(300)는, 서로에 대해 180° 만큼 회전되는 동공 픽셀에서의 오버레이 차이에 대해 수행될 수도 있다(단계 305).

[0173] 방법(100)은, 동공 픽셀의 그룹 사이의 계산된 오버레이의 변동으로부터 적어도 하나의 충실도 메트릭을 유도하는 것을 포함할 수도 있는데, 그룹의 사이즈는 계측 툴의 광학 시스템에서 간섭의 예상된 소스에 관련되는 명시된 길이 스케일에 따라 선택된다(단계 320). 그룹의 사이즈는, λ/(L/2)의 스케일에서 선택될 수도 있는데, λ는 조명 파장이고 L은 간섭의 예상된 소스의 사이즈이다(단계 325).

[0174] 소정의 실시형태에서, 방법(100)은, 적어도 하나의 충실도 메트릭에 따라 측정 레시피를 선택하는 것 및 최적화하는 것을 더 포함할 수도 있다(단계 330).

[0175] 소정의 실시형태에서, 방법(100)은, 동공 플레인의 중심에 대해 오버레이의 비대칭적 메트릭을 계산하는 것을 포함할 수도 있다(단계 290).

[0176] 방법(100)은, 예를 들면, 측정된 회절 신호 및/또는 오버레이에 대해, 그리고 (px,-py)와 비교하여 수직 방향 -(px,py)에서 반사되는 동공 이미지의 통계적 분석을 적용하는 것에 의해, 주기적 구조체에 수직인 방향에서 비대칭적 메트릭을 계산하는 것(단계 340)을 더 포함할 수도 있다.

[0177] 유익하게는, 동공 충실도 메트릭은, 동공의 유효성을, 그 원시 형태(차분 신호로서) 및 그것의 최종 픽셀당 오버레이 형태에서 추정하기 위한 여러가지 방법을 제공한다. 이들 크기의 대부분은 이들의 해석을 간단하게 하고 불확실도의 척도를 제공하는 나노미터 단위이다. 동공 충실도 메트릭 중 일부는, 산란측정 오버레이 알고리즘 가정이 유지하는 레벨을 정량화한다. 이들 메트릭은, 웨이퍼 상의 물리적 구조에 이론적 할당을 허용하지 않는 범위까지도 프로세스 변동이 타겟 셀에 손상을 가한 사용 사례에 대한 이론적 점검을 제공한다. 이들 메트릭은 단일의 측정 레벨에서 그리고 웨이퍼 레벨에서 사용될 수 있어서, 팹 소유자가 웨이퍼의 손상된 구역, 최상의 측정 셋업 및 정확한 오버레이 결과를 달성하기 위한 레이어마다의 타겟 설계를 찾는 것을 도울 수 있다. 동공 충실도 메트릭은, 실시간으로 계산될 수 있어서, 정확한 오버레이 값을 보고하는 것에 의해 팹의 수율을 최대화하기 위한 최적의 측정 셋업 및 타겟 설계를 나타낼 측정마다의 포인트 품질 척도 및 웨이퍼 통계 척도를 제공한다.

[0178] 상기 설명에서, 실시형태는 본 발명의 예 또는 구현예이다. "하나의 실시형태", "실시형태", "소정의 실시형태" 또는 "몇몇 실시형태"의 다양한 출현은 반드시 동일한 실시형태를 가리키는 것은 아니다.

[0179] 본 발명의 다양한 피쳐가 단일의 실시형태의 맥락에서 설명될 수도 있지만, 피쳐는 또한 개별적으로 또는 임의의 적절한 조합으로 제공될 수도 있다. 역으로, 본 발명이 본원에서는 명확화를 위해 별개의 실시형태의 맥락에서 설명될 수도 있지만, 본 발명은 또한 단일의 실시형태에서 구현될 수도 있다.

[0180] 본 발명의 소정의 실시형태는 상기에서 개시되는 상이한 실시형태로부터의 피쳐를 포함할 수도 있고, 소정의 실시형태는 상기에서 개시되는 다른 실시형태로부터의 엘리먼트를 통합할 수도 있다. 특정한 실시형태의 맥락에서의 본 발명의 엘리먼트의 개시는, 그들의 개시를 특정한 실시형태에서만 사용되는 것으로 제한하는 것으로 간주되어선 안된다.

[0181] 또한, 본 발명은 다양한 방식으로 수행될 수 있거나 또는 실시될 수 있다는 것 및 본 발명은 상기 상세한 설명에서 강조되는 것 이외의 소정의 실시형태에서 구현될 수 있다는 것이 이해되어야 한다.

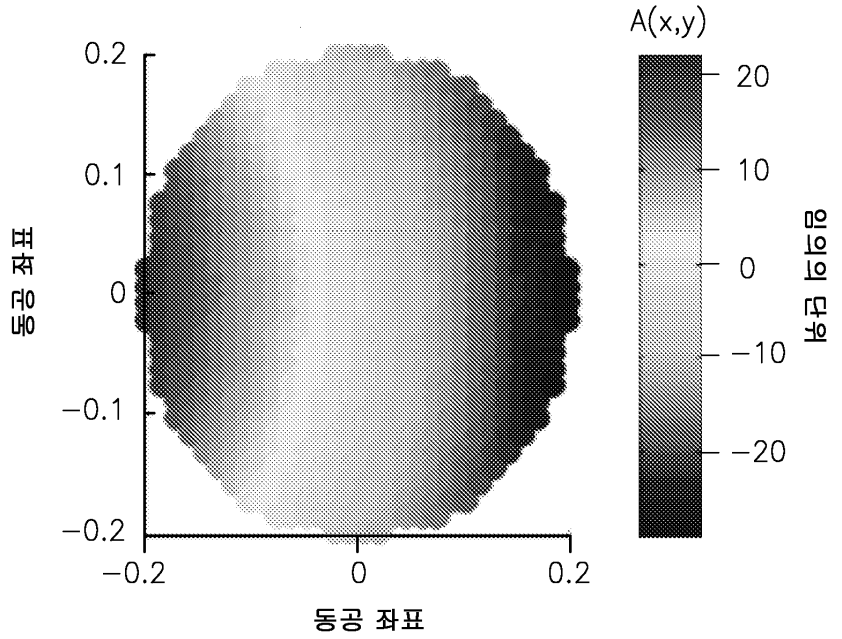
[0182] 본 발명은 이들 도면으로 또는 대응하는 설명으로 제한되지 않는다. 예를 들면, 플로우는 각각의 예시된 박스 또는 상태를 통해 또는 예시되고 설명되는 것과 완전히 동일한 순서로 이동할 필요는 없다.

[0183] 본원에서 사용되는 기술적 용어 및 과학적 용어의 의미는, 다르게 정의되지 않는 한, 본 발명이 속하는 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되어야 한다.

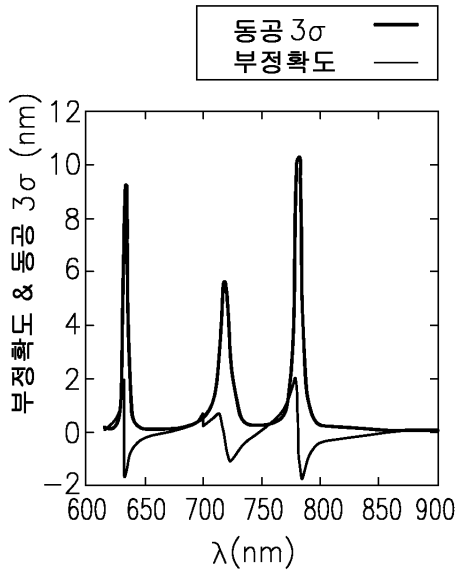
[0184] 본 발명이 제한된 수의 실시형태에 대해 설명되었지만, 이들은 본 발명의 범위에 대한 제한으로서가 아니라, 오히려 바람직한 실시형태 중 일부의 예시화로서 해석되어야 한다. 다른 가능한 변형예, 수정예, 및 응용예도 또한 본 발명의 범위 내에 있다. 따라서, 본 발명의 범위는, 지금까지 설명된 것에 의해서가 아니라, 첨부된 청구범위 및 그들의 법적 등가물에 의해서 제한되어야 한다.

도면

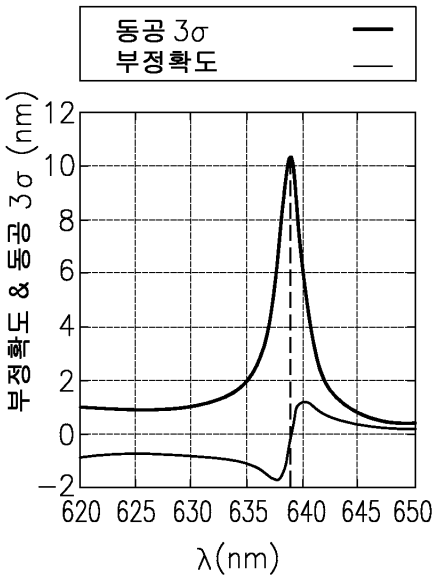
도면1


A(x,y)
0.2
0.1
0
−0.1
−0.2
동공 좌표
−0.2
0
0.2
동공 좌표
20
10
0
−10
−20
임의의 단위

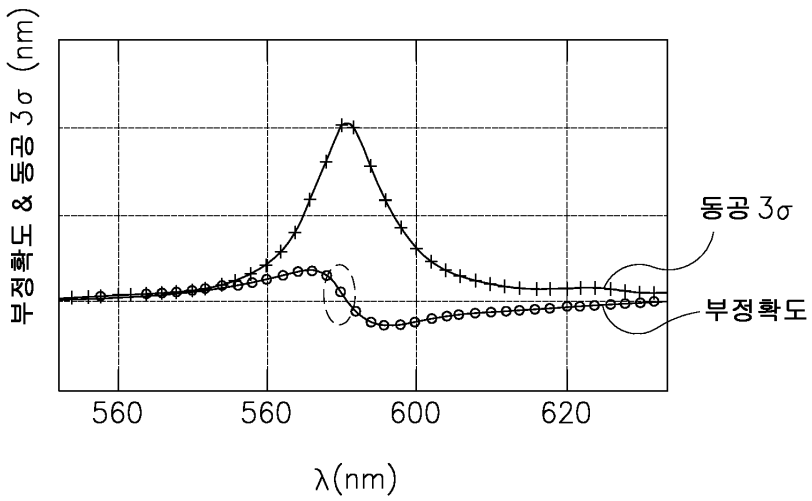
도면2a


동공 3σ
부정확도
부정확도 & 동공 3σ (nm)
12
10
8
6
4
2
0
−2
600
650
700
750
800
850
900
λ(nm)

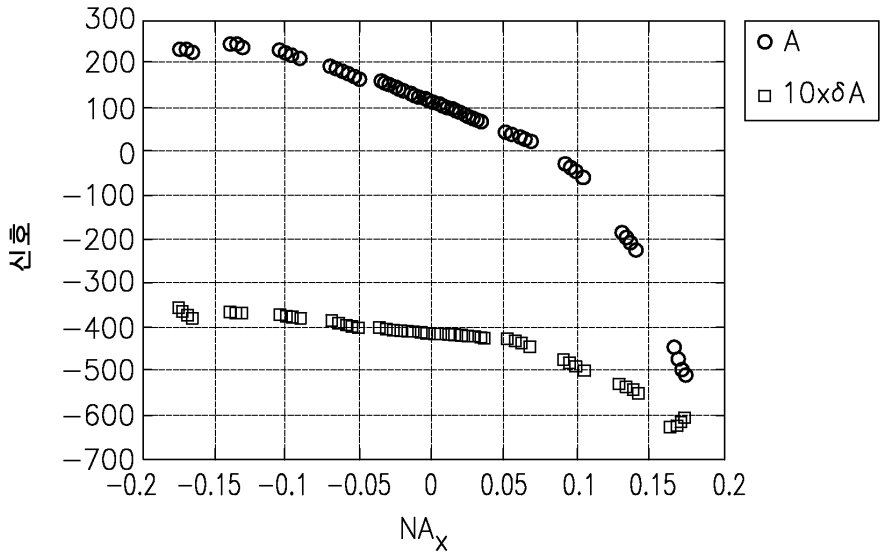
도면2b


동공 3σ
부정확도
부정확도 & 동공 3σ (nm)
12
10
8
6
4
2
0
−2
620 625 630 635 640 645 650
λ(nm)

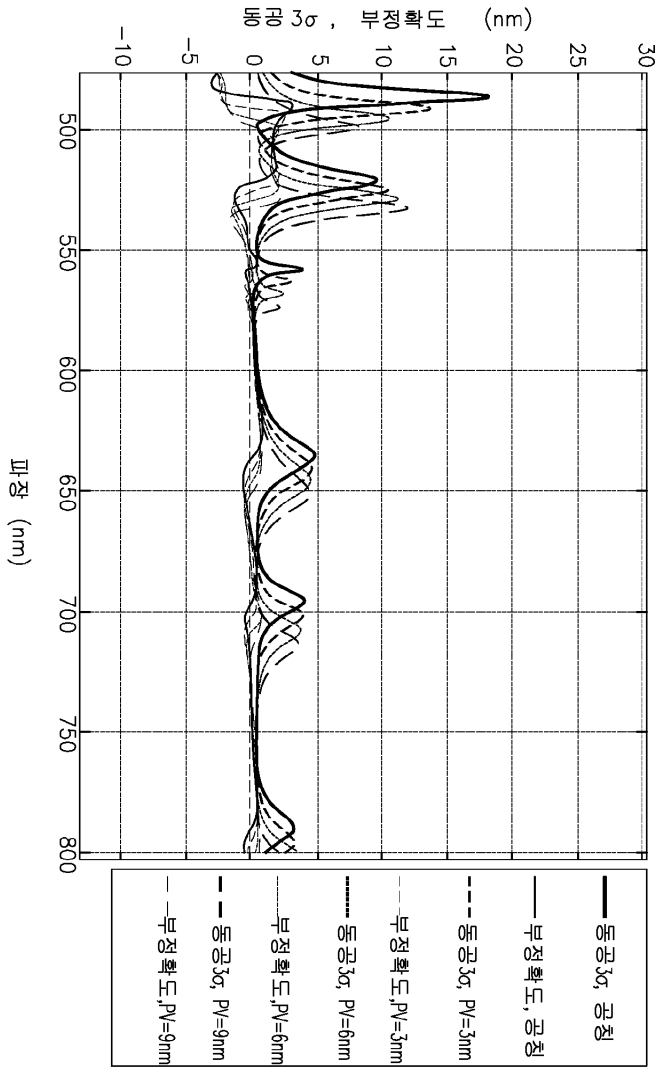
도면3a


부정확도 & 동공 3σ (nm)
560
560
600
620
λ(nm)
동공 3σ
부정확도

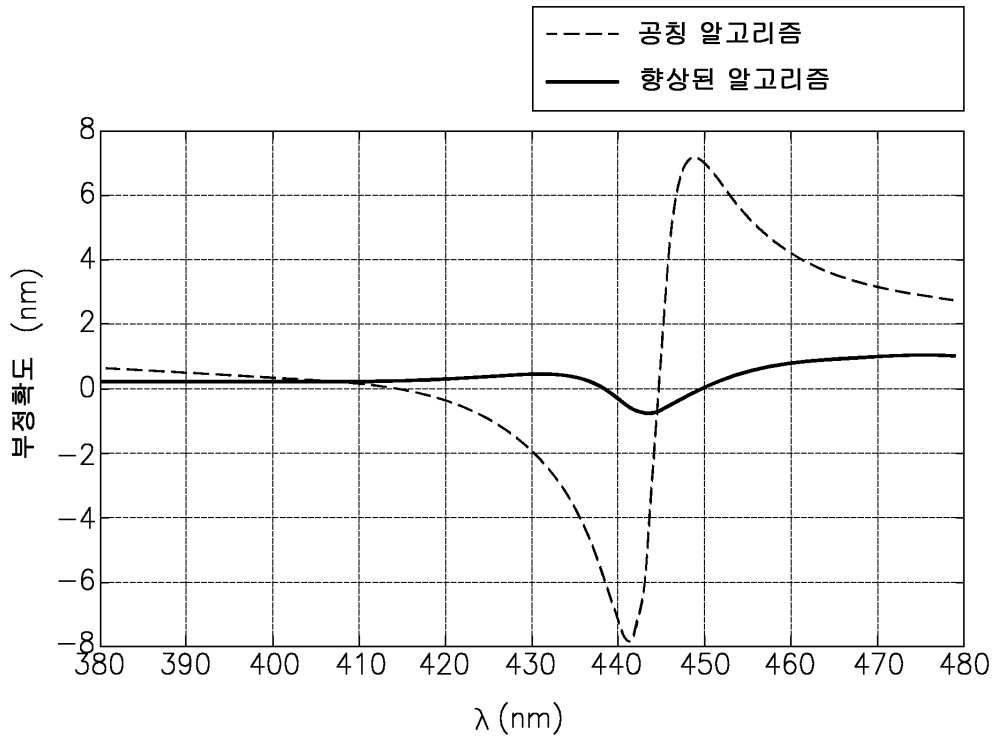
도면3b


300
200
100
0
−100
−200
−300
−400
−500
−600
−700
−0.2
−0.15
−0.1
−0.05
0
0.05
0.1
0.15
0.2
신호
NAx
A
10xδA

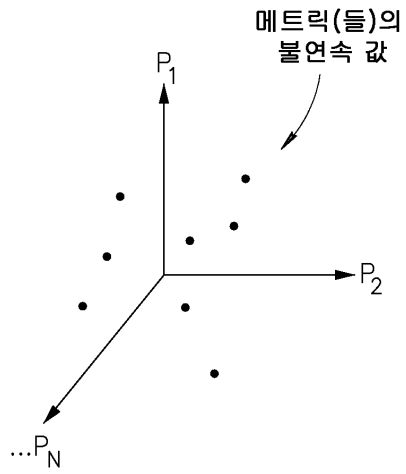
도면4


동공 3σ , 부정확도 (nm)
−10
−5
0
5
10
15
20
25
30
500
550
600
650
700
750
800
파장 (nm)
동공3σ, 공칭
부정확도, 공칭
동공3σ, PV=3nm
부정확도,PV=3nm
동공3σ, PV=6nm
부정확도,PV=6nm
동공3σ, PV=9nm
부정확도,PV=9nm

도면5

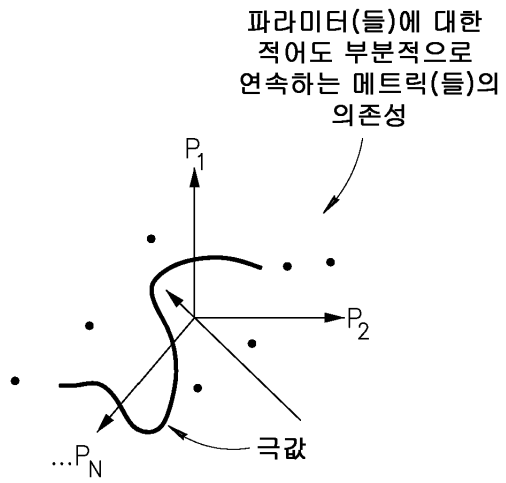


도면6a

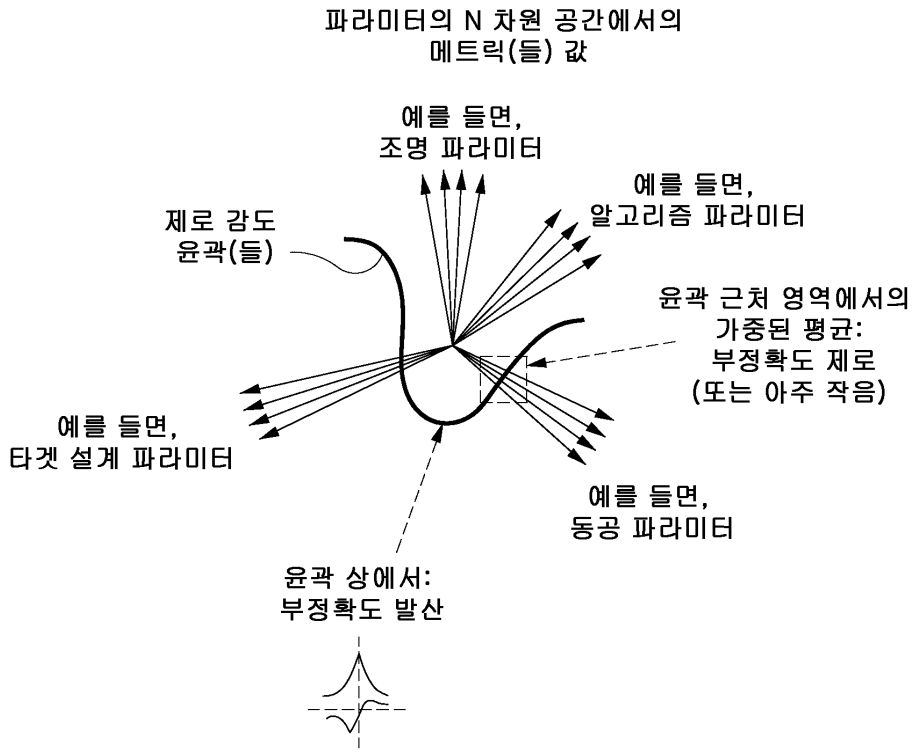


종래 기술

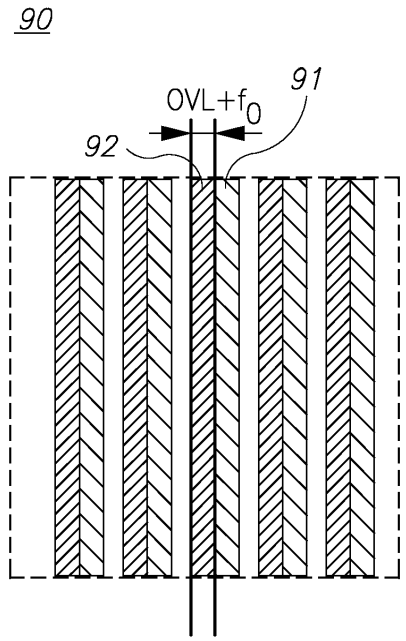
도면6b


파라미터(들)에 대한
적어도 부분적으로
연속하는 메트릭(들)의
의존성
P1
P2
...PN
극값

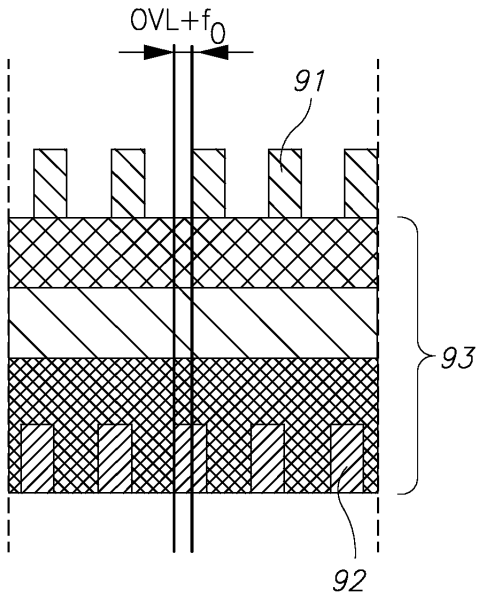
도면6c


파라미터의 N 차원 공간에서의
메트릭(들) 값
예를 들면,
조명 파라미터
예를 들면,
알고리즘 파라미터
제로 감도
윤곽(들)
윤곽 근처 영역에서의
가중된 평균:
부정확도 제로
(또는 아주 작음)
예를 들면,
타겟 설계 파라미터
예를 들면,
동공 파라미터
윤곽 상에서:
부정확도 발산

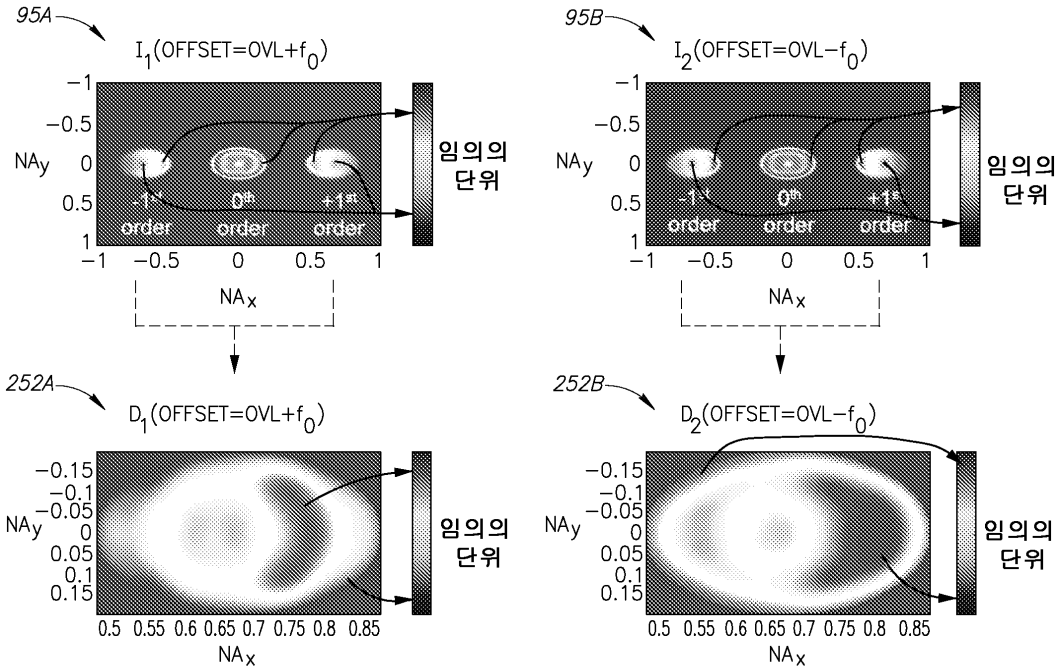
도면7a



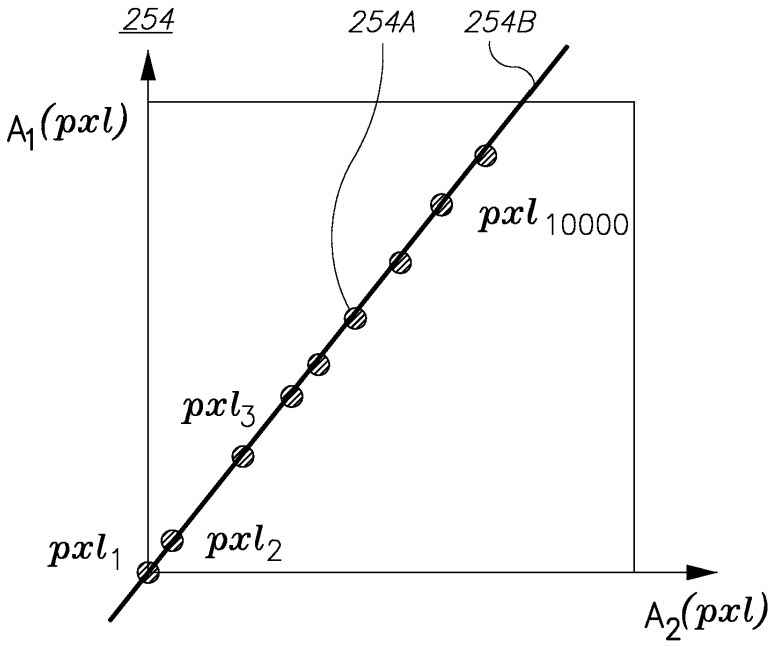
도면7b



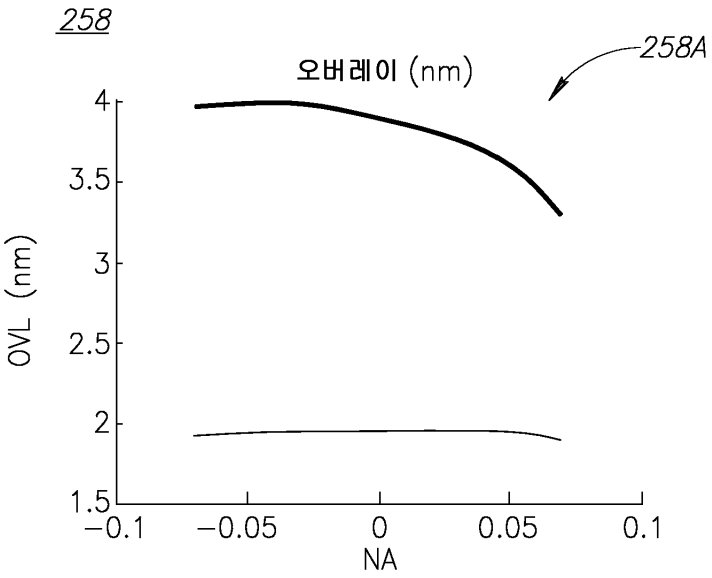
도면8


95A
I1(OFFSET=OVL+f0)
95B
I2(OFFSET=OVL−f0)
NAy
NAx
−1
−0.5
0
0.5
1
-1st order
0th order
+1st order
임의의 단위
252A
D1(OFFSET=OVL+f0)
252B
D2(OFFSET=OVL−f0)
−0.15
−0.1
−0.05
0.05
0.1
0.15
0.5 0.55 0.6 0.65 0.7 0.75 0.8 0.85

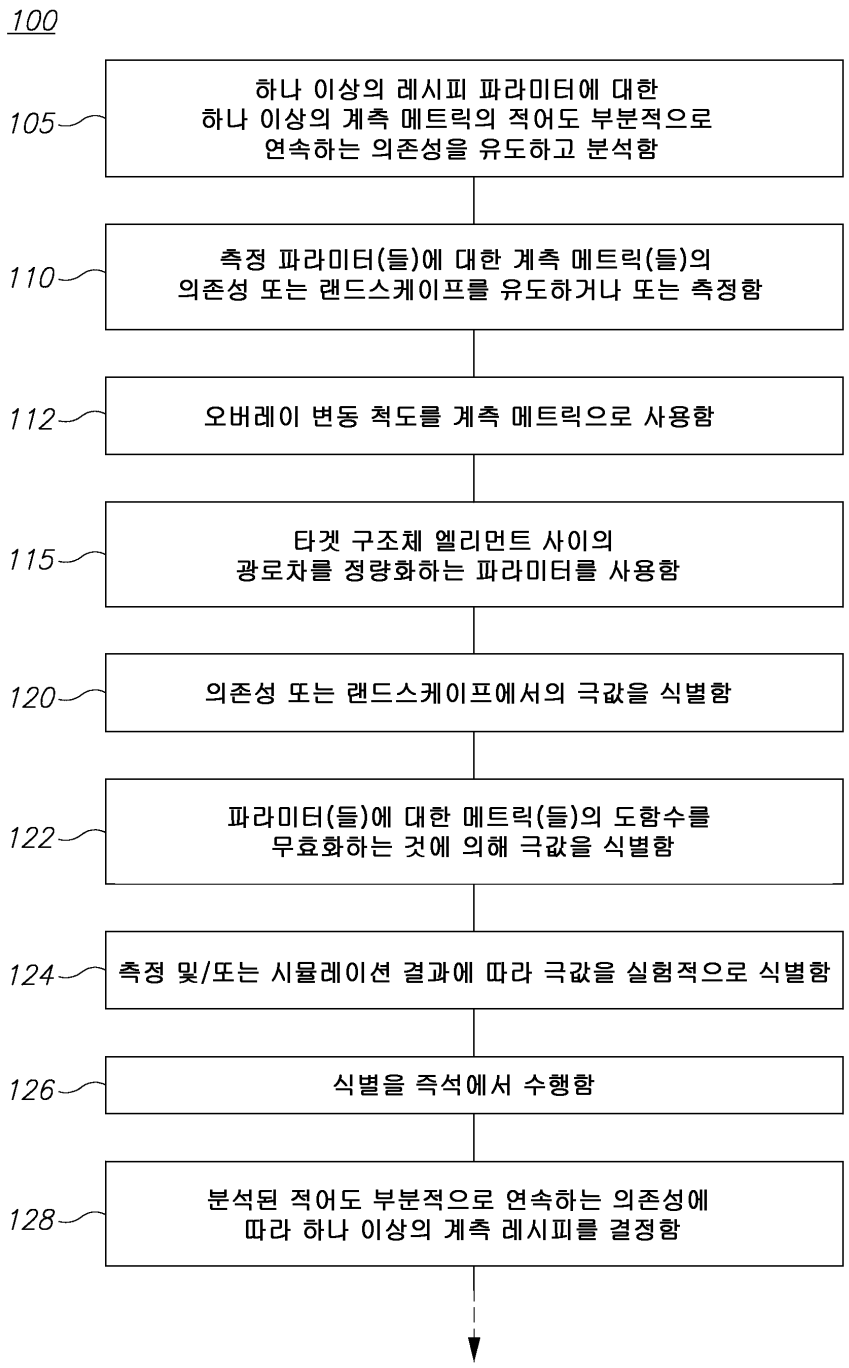
도면9


254
254A
254B
A1(pxl)
A2(pxl)
pxl1
pxl2
pxl3
pxl10000

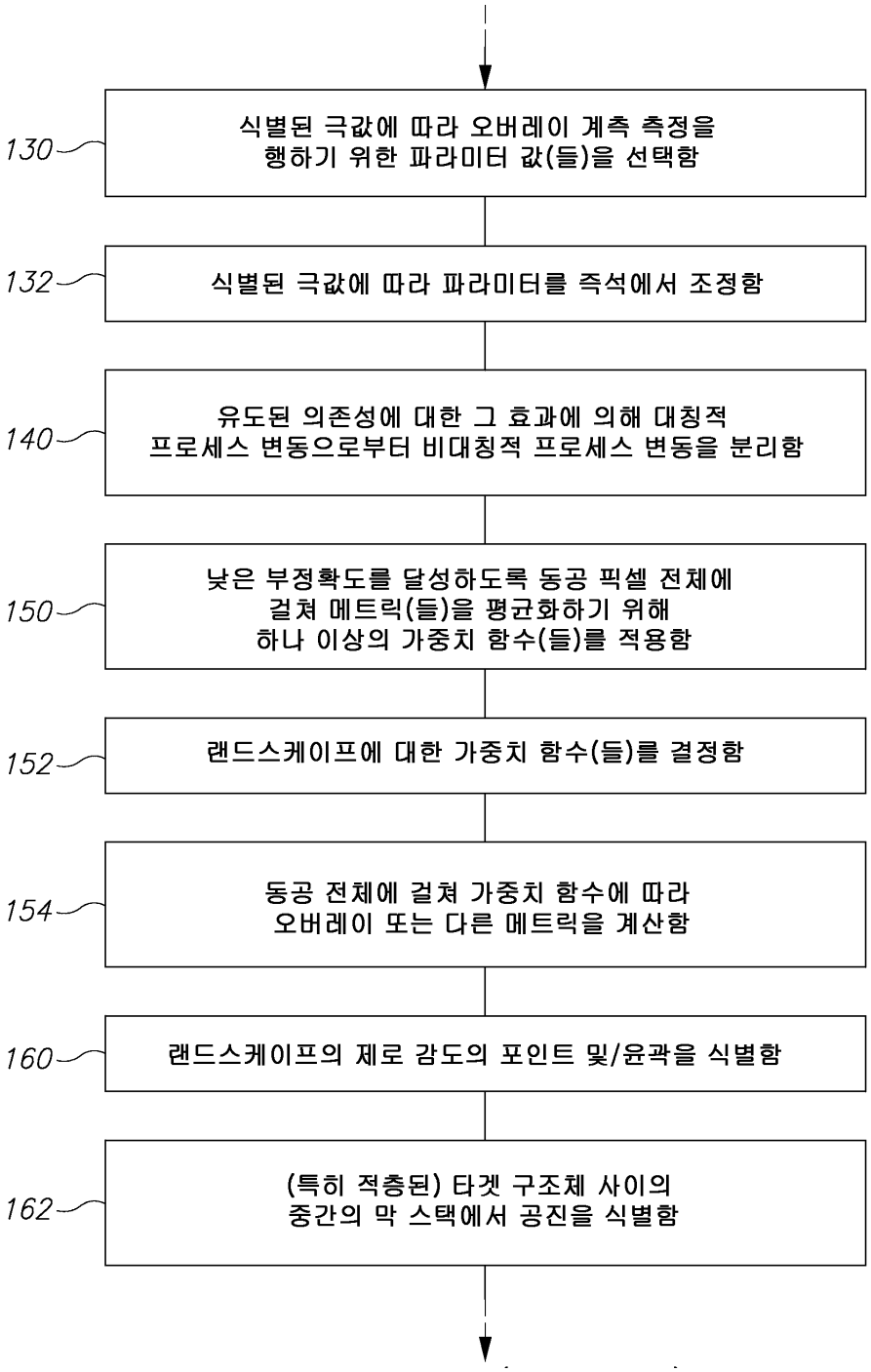
도면10



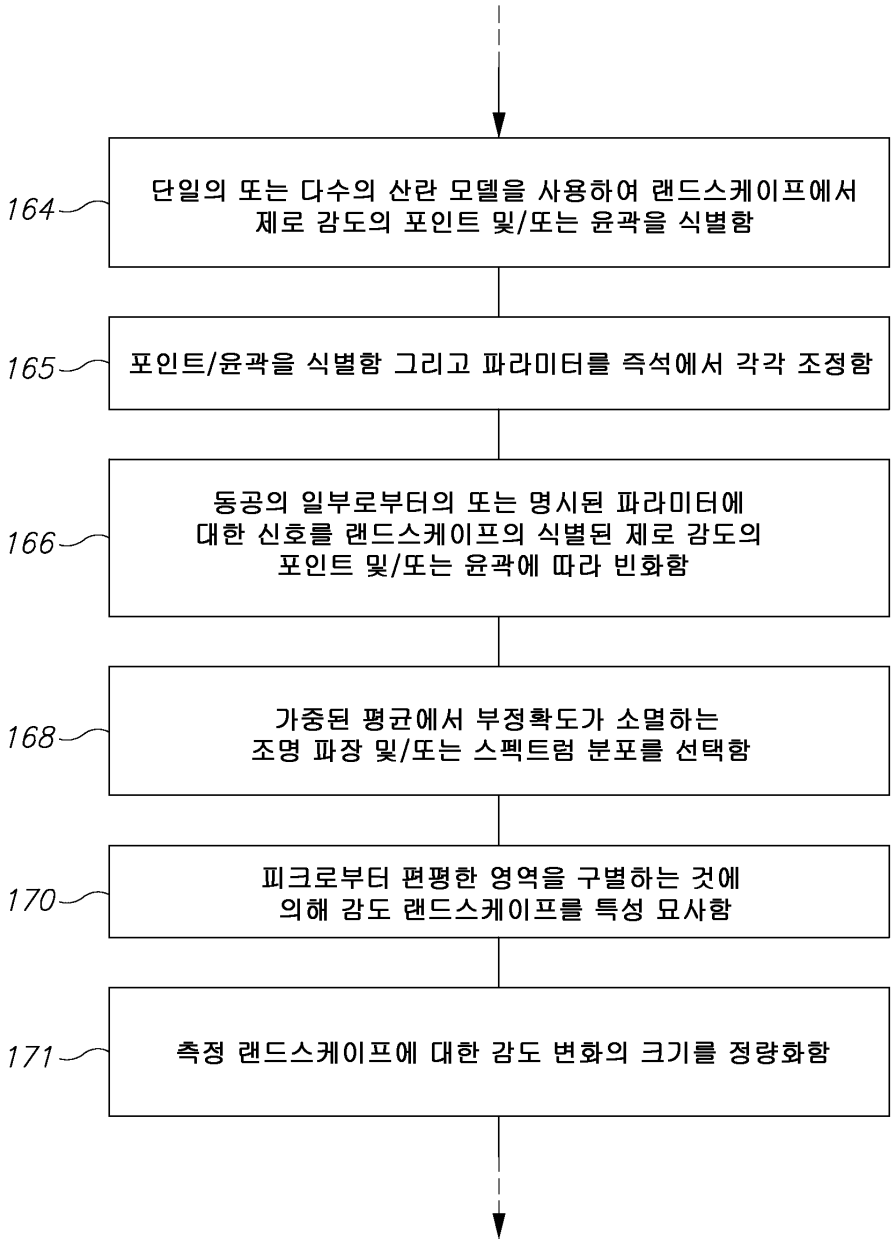
도면11a


100
105
하나 이상의 레시피 파라미터에 대한
하나 이상의 계측 메트릭의 적어도 부분적으로
연속하는 의존성을 유도하고 분석함
110
측정 파라미터(들)에 대한 계측 메트릭(들)의
의존성 또는 랜드스케이프를 유도하거나 또는 측정함
112
오버레이 변동 척도를 계측 메트릭으로 사용함
115
타겟 구조체 엘리먼트 사이의
광로차를 정량화하는 파라미터를 사용함
120
의존성 또는 랜드스케이프에서의 극값을 식별함
122
파라미터(들)에 대한 메트릭(들)의 도함수를
무효화하는 것에 의해 극값을 식별함
124
측정 및/또는 시뮬레이션 결과에 따라 극값을 실험적으로 식별함
126
식별을 즉석에서 수행함
128
분석된 적어도 부분적으로 연속하는 의존성에
따라 하나 이상의 계측 레시피를 결정함

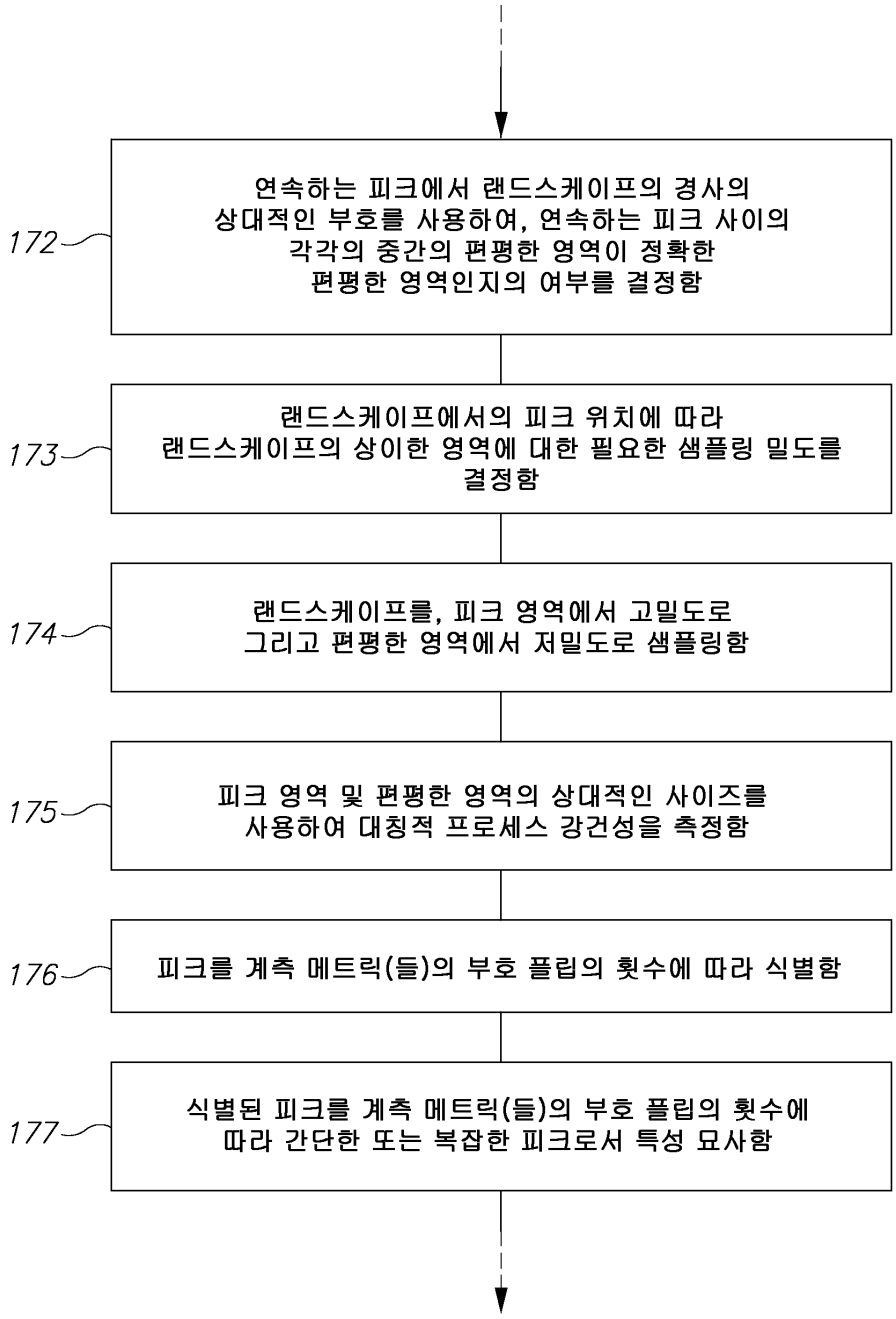
도면11b


130
식별된 극값에 따라 오버레이 계측 측정을 행하기 위한 파라미터 값(들)을 선택함
132
식별된 극값에 따라 파라미터를 즉석에서 조정함
140
유도된 의존성에 대한 그 효과에 의해 대칭적 프로세스 변동으로부터 비대칭적 프로세스 변동을 분리함
150
낮은 부정확도를 달성하도록 동공 픽셀 전체에 걸쳐 메트릭(들)을 평균화하기 위해 하나 이상의 가중치 함수(들)를 적용함
152
랜드스케이프에 대한 가중치 함수(들)를 결정함
154
동공 전체에 걸쳐 가중치 함수에 따라 오버레이 또는 다른 메트릭을 계산함
160
랜드스케이프의 제로 감도의 포인트 및/윤곽을 식별함
162
(특히 적층된) 타겟 구조체 사이의 중간의 막 스택에서 공진을 식별함

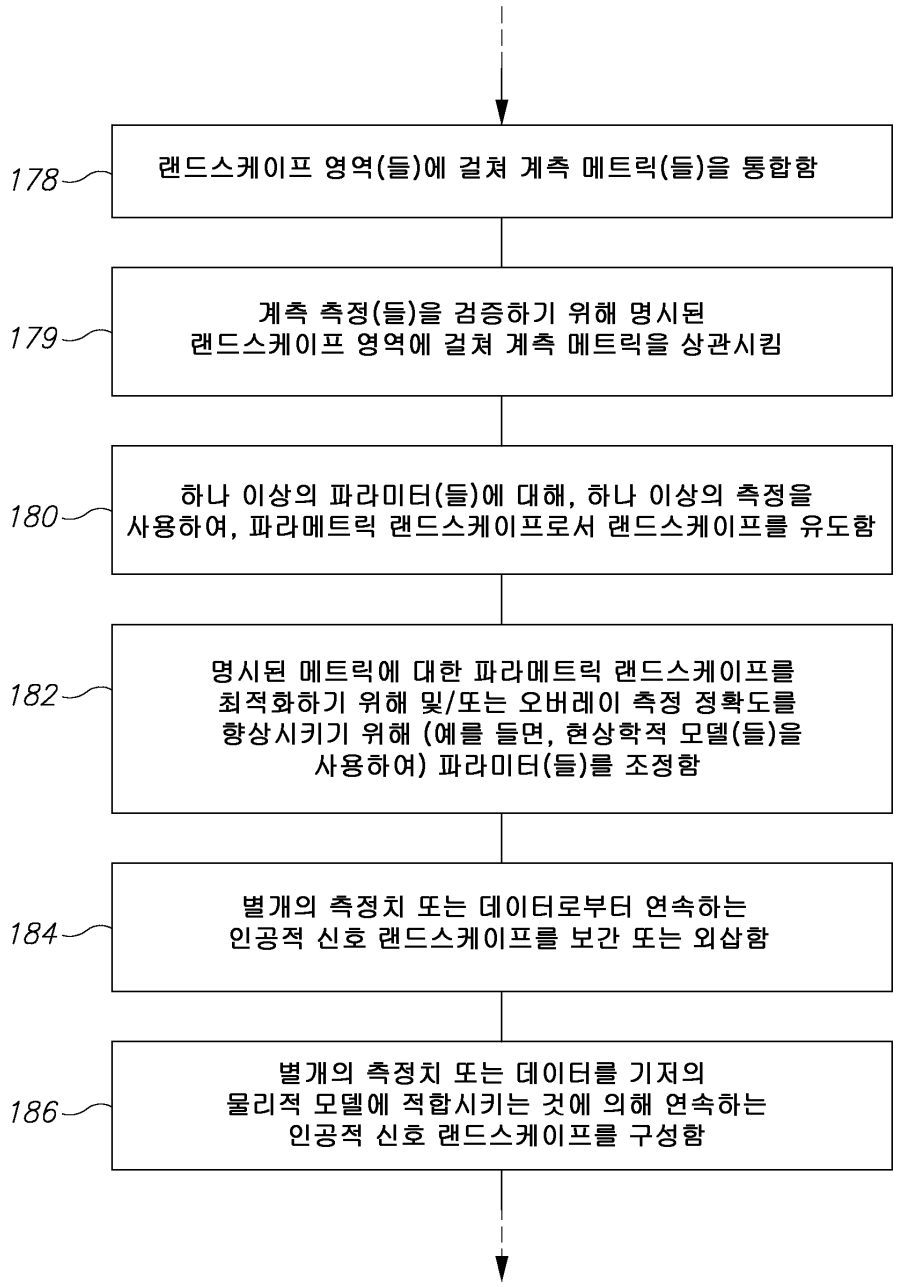
도면11c


164
단일의 또는 다수의 산란 모델을 사용하여 랜드스케이프에서 제로 감도의 포인트 및/또는 윤곽을 식별함
165
포인트/윤곽을 식별함 그리고 파라미터를 즉석에서 각각 조정함
166
동공의 일부로부터의 또는 명시된 파라미터에 대한 신호를 랜드스케이프의 식별된 제로 감도의 포인트 및/또는 윤곽에 따라 빈화함
168
가중된 평균에서 부정확도가 소멸하는 조명 파장 및/또는 스펙트럼 분포를 선택함
170
피크로부터 편평한 영역을 구별하는 것에 의해 감도 랜드스케이프를 특성 묘사함
171
측정 랜드스케이프에 대한 감도 변화의 크기를 정량화함

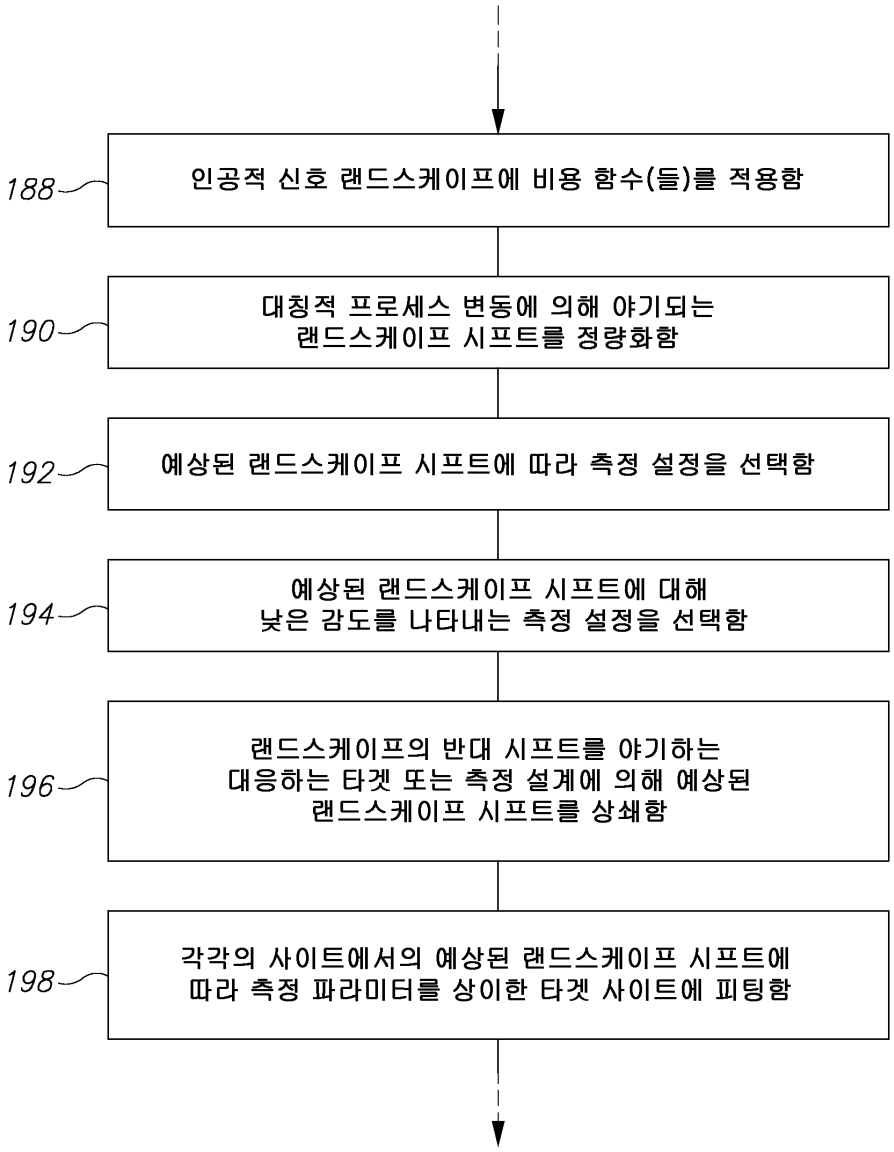
도면11d


172
연속하는 피크에서 랜드스케이프의 경사의 상대적인 부호를 사용하여, 연속하는 피크 사이의 각각의 중간의 편평한 영역이 정확한 편평한 영역인지의 여부를 결정함
173
랜드스케이프에서의 피크 위치에 따라 랜드스케이프의 상이한 영역에 대한 필요한 샘플링 밀도를 결정함
174
랜드스케이프를, 피크 영역에서 고밀도로 그리고 편평한 영역에서 저밀도로 샘플링함
175
피크 영역 및 편평한 영역의 상대적인 사이즈를 사용하여 대칭적 프로세스 강건성을 측정함
176
피크를 계측 메트릭(들)의 부호 플립의 횟수에 따라 식별함
177
식별된 피크를 계측 메트릭(들)의 부호 플립의 횟수에 따라 간단한 또는 복잡한 피크로서 특성 묘사함

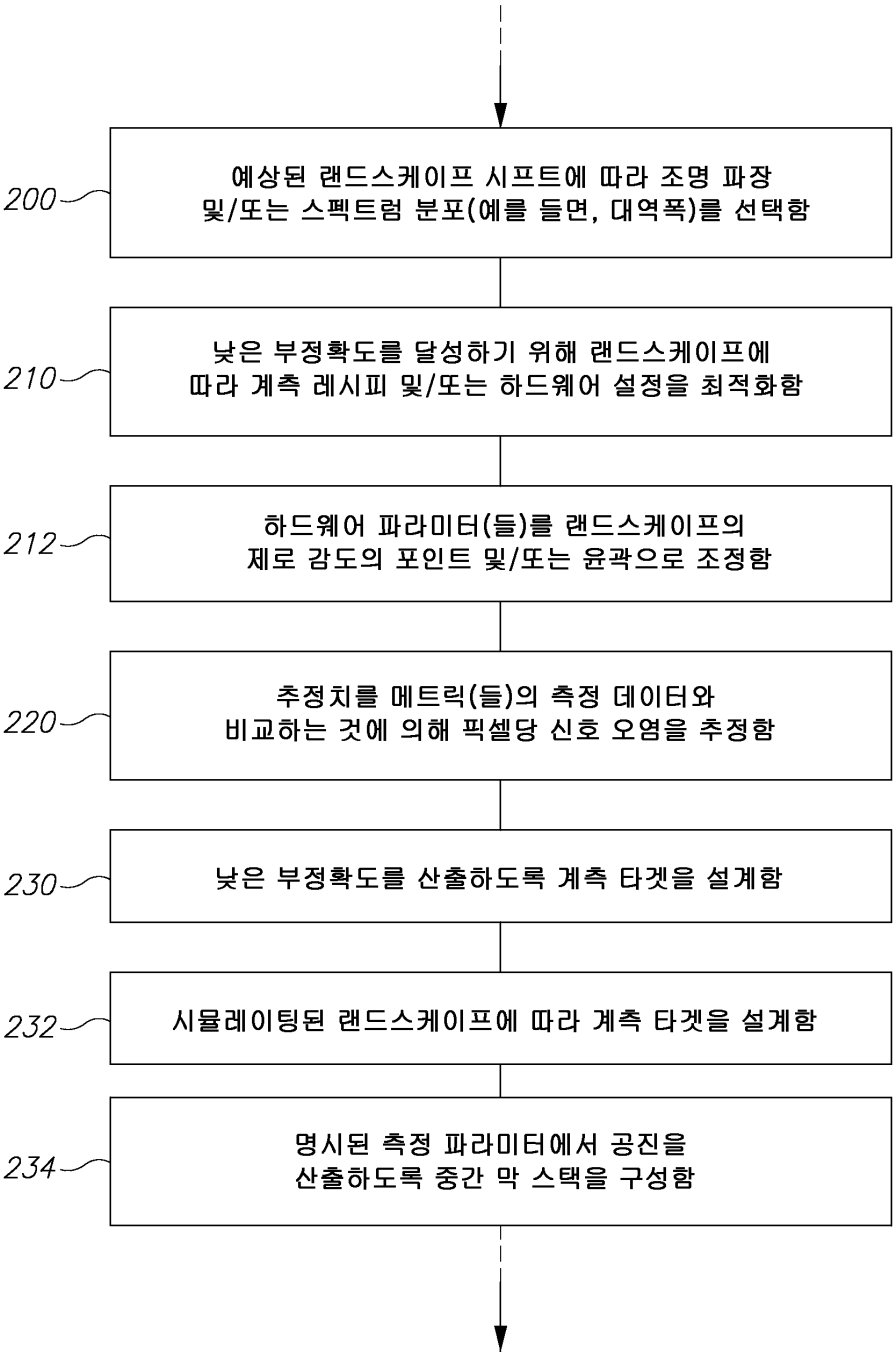
도면11e


178
랜드스케이프 영역(들)에 걸쳐 계측 메트릭(들)을 통합함
179
계측 측정(들)을 검증하기 위해 명시된
랜드스케이프 영역에 걸쳐 계측 메트릭을 상관시킴
180
하나 이상의 파라미터(들)에 대해, 하나 이상의 측정을
사용하여, 파라메트릭 랜드스케이프로서 랜드스케이프를 유도함
182
명시된 메트릭에 대한 파라메트릭 랜드스케이프를
최적화하기 위해 및/또는 오버레이 측정 정확도를
향상시키기 위해 (예를 들면, 현상학적 모델(들)을
사용하여) 파라미터(들)를 조정함
184
별개의 측정치 또는 데이터로부터 연속하는
인공적 신호 랜드스케이프를 보간 또는 외삽함
186
별개의 측정치 또는 데이터를 기저의
물리적 모델에 적합시키는 것에 의해 연속하는
인공적 신호 랜드스케이프를 구성함

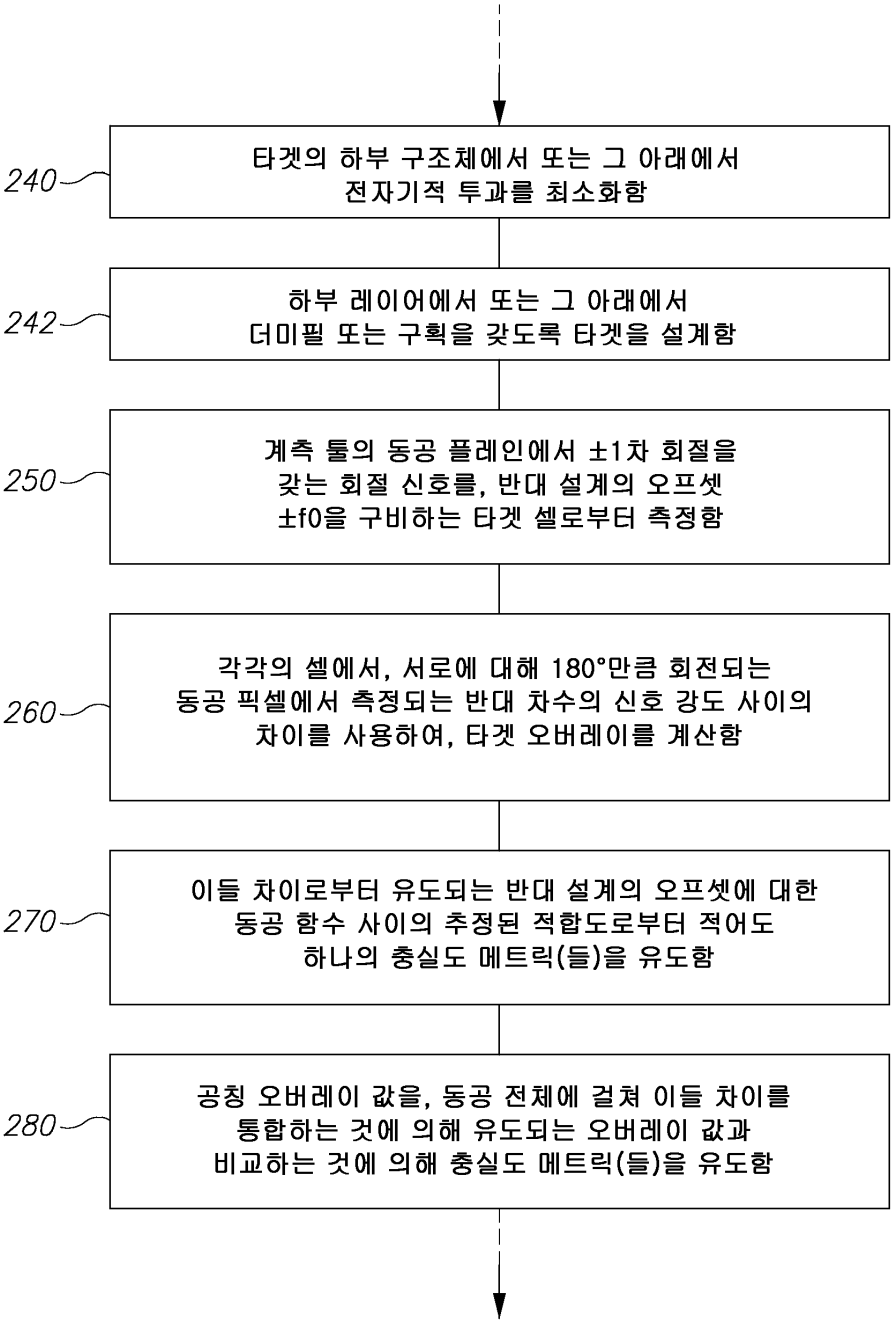
도면11f


188
인공적 신호 랜드스케이프에 비용 함수(들)를 적용함
190
대칭적 프로세스 변동에 의해 야기되는
랜드스케이프 시프트를 정량화함
192
예상된 랜드스케이프 시프트에 따라 측정 설정을 선택함
194
예상된 랜드스케이프 시프트에 대해
낮은 감도를 나타내는 측정 설정을 선택함
196
랜드스케이프의 반대 시프트를 야기하는
대응하는 타겟 또는 측정 설계에 의해 예상된
랜드스케이프 시프트를 상쇄함
198
각각의 사이트에서의 예상된 랜드스케이프 시프트에
따라 측정 파라미터를 상이한 타겟 사이트에 피팅함

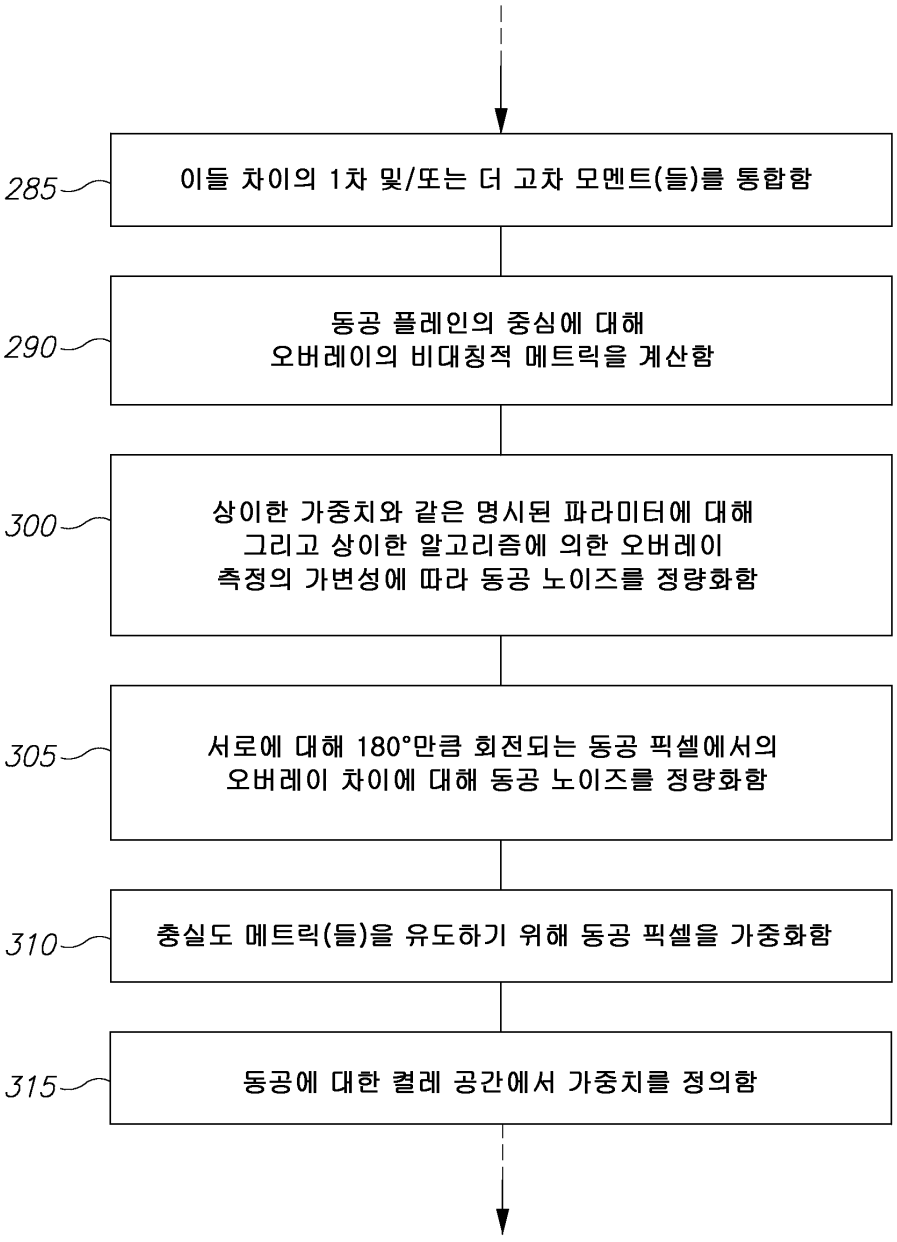
도면11g


200
예상된 랜드스케이프 시프트에 따라 조명 파장 및/또는 스펙트럼 분포(예를 들면, 대역폭)를 선택함
210
낮은 부정확도를 달성하기 위해 랜드스케이프에 따라 계측 레시피 및/또는 하드웨어 설정을 최적화함
212
하드웨어 파라미터(들)를 랜드스케이프의 제로 감도의 포인트 및/또는 윤곽으로 조정함
220
추정치를 메트릭(들)의 측정 데이터와 비교하는 것에 의해 픽셀당 신호 오염을 추정함
230
낮은 부정확도를 산출하도록 계측 타겟을 설계함
232
시뮬레이팅된 랜드스케이프에 따라 계측 타겟을 설계함
234
명시된 측정 파라미터에서 공진을 산출하도록 중간 막 스택을 구성함

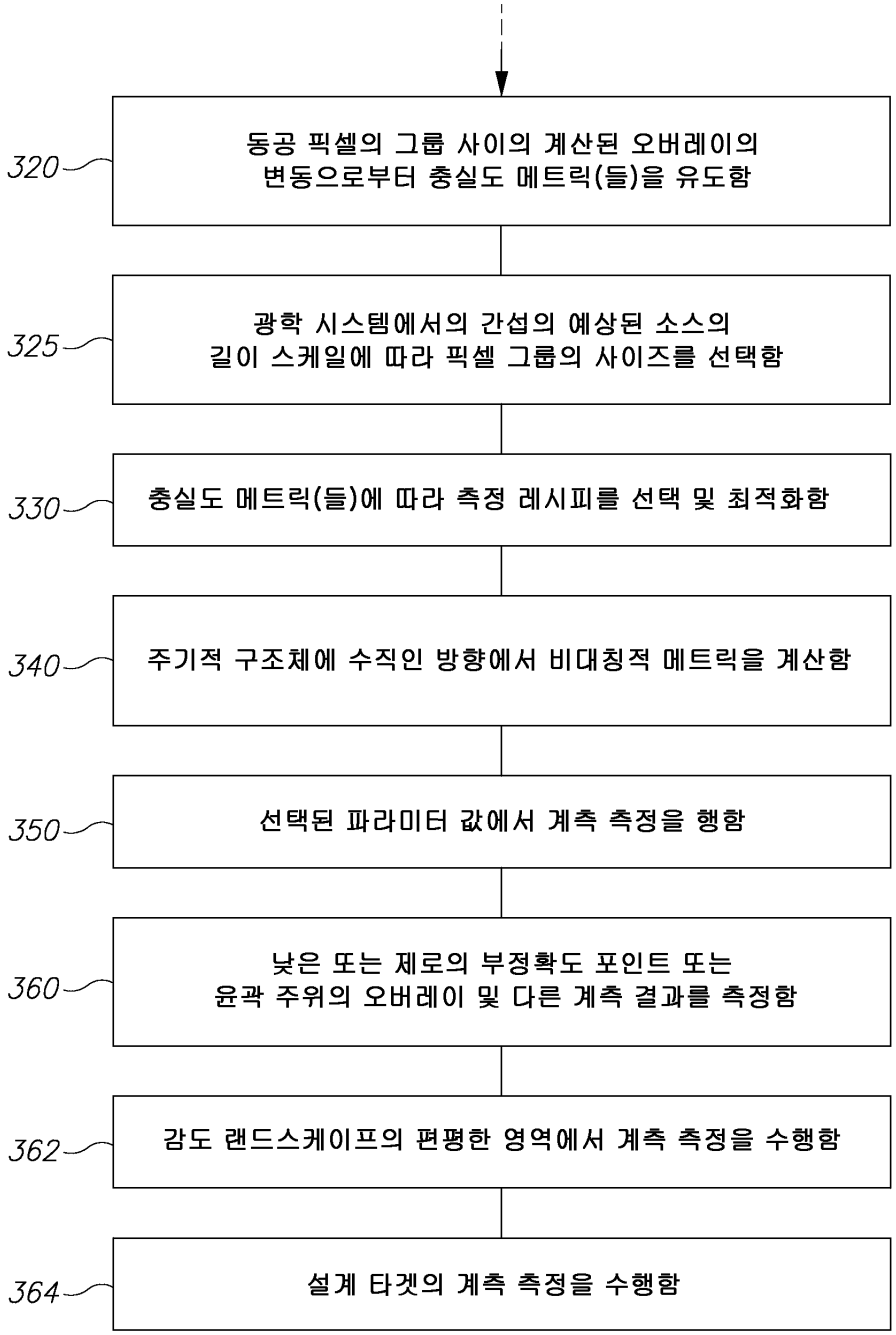
도면11h


240
타겟의 하부 구조체에서 또는 그 아래에서 전자기적 투과를 최소화함
242
하부 레이어에서 또는 그 아래에서 더미필 또는 구획을 갖도록 타겟을 설계함
250
계측 툴의 동공 플레인에서 ±1차 회절을 갖는 회절 신호를, 반대 설계의 오프셋 ±f0을 구비하는 타겟 셀로부터 측정함
260
각각의 셀에서, 서로에 대해 180°만큼 회전되는 동공 픽셀에서 측정되는 반대 차수의 신호 강도 사이의 차이를 사용하여, 타겟 오버레이를 계산함
270
이들 차이로부터 유도되는 반대 설계의 오프셋에 대한 동공 함수 사이의 추정된 적합도로부터 적어도 하나의 충실도 메트릭(들)을 유도함
280
공칭 오버레이 값을, 동공 전체에 걸쳐 이들 차이를 통합하는 것에 의해 유도되는 오버레이 값과 비교하는 것에 의해 충실도 메트릭(들)을 유도함

도면11i


285
이들 차이의 1차 및/또는 더 고차 모멘트(들)를 통합함
290
동공 플레인의 중심에 대해
오버레이의 비대칭적 메트릭을 계산함
300
상이한 가중치와 같은 명시된 파라미터에 대해
그리고 상이한 알고리즘에 의한 오버레이
측정의 가변성에 따라 동공 노이즈를 정량화함
305
서로에 대해 180°만큼 회전되는 동공 픽셀에서의
오버레이 차이에 대해 동공 노이즈를 정량화함
310
충실도 메트릭(들)을 유도하기 위해 동공 픽셀을 가중화함
315
동공에 대한 켤레 공간에서 가중치를 정의함

도면11j


320
동공 픽셀의 그룹 사이의 계산된 오버레이의 변동으로부터 충실도 메트릭(들)을 유도함
325
광학 시스템에서의 간섭의 예상된 소스의 길이 스케일에 따라 픽셀 그룹의 사이즈를 선택함
330
충실도 메트릭(들)에 따라 측정 레시피를 선택 및 최적화함
340
주기적 구조체에 수직인 방향에서 비대칭적 메트릭을 계산함
350
선택된 파라미터 값에서 계측 측정을 행함
360
낮은 또는 제로의 부정확도 포인트 또는 윤곽 주위의 오버레이 및 다른 계측 결과를 측정함
362
감도 랜드스케이프의 편평한 영역에서 계측 측정을 수행함
364
설계 타겟의 계측 측정을 수행함