



등록특허 10-2698679



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년08월23일
(11) 등록번호 10-2698679
(24) 등록일자 2024년08월21일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06T 7/00 (2017.01) *G01N 21/95* (2006.01)
- (52) CPC특허분류
G06T 7/001 (2013.01)
G01N 21/9501 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2018-7008204
- (22) 출원일자(국제) 2016년08월25일
심사청구일자 2021년07월27일
- (85) 번역문제출일자 2018년03월22일
- (65) 공개번호 10-2018-0037281
- (43) 공개일자 2018년04월11일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2016/048767
- (87) 국제공개번호 WO 2017/040219
국제공개일자 2017년03월09일
- (30) 우선권주장
62/212,113 2015년08월31일 미국(US)
15/230,339 2016년08월05일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌
JP2015102442 A*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

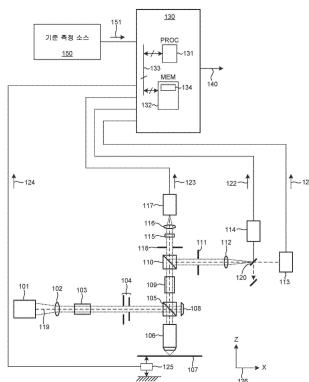
전체 청구항 수 : 총 23 항

심사관 : 신재철

- (54) 발명의 명칭 이미지를 이용한 모델 기반 계측

(57) 요 약

반도체 웨이퍼의 측정된 이미지에 존재하는 정보를, 측정된 이미지 내의 특정한 구조물의 추가적인 측정치와 결합하기 위한 방법 및 시스템이 본원에서 제시된다. 하나의 양태에서, 이미지 기반 신호 응답 계측(SRM) 모델은 측정된 이미지 및 각각의 이미지 내의 특정한 구조물의 대응하는 기준 측정에 기초하여 트레이닝된다. 그 다음, 트레이닝된 이미지 기반 SRM 모델은, 다른 웨이퍼로부터 수집되는 측정된 이미지 데이터로부터 직접적으로 하나 이상의 관심 파라미터 값을 계산하기 위해 사용된다. 다른 양태에서, 측정 신호 합성 모델은, 측정된 이미지 및 비이미징 측정 기법에 의해 각각의 이미지 내의 특정한 구조물의 측정에 의해 생성되는 대응하는 측정 신호에 기초하여 트레이닝된다. 다른 웨이퍼로부터 수집되는 이미지는 비이미징 측정 기법과 관련되는 합성 측정 신호로 변형되고, 모델 기반 측정은 합성 신호에 기초하여 관심 파라미터의 값을 추정하는 데 활용된다.

대 표 도 - 도1

(52) CPC특허분류

G01N 21/9515 (2013.01)

G06T 2207/30148 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

시스템에 있어서,

하나 이상의 실험 계획법(Design Of Experiments; DOE) 웨이퍼의 복수의 필드에 위치되는 복수의 DOE 측정 사이트 – 각각의 DOE 측정 사이트는 적어도 하나의 관심 파라미터에 의해 특징지어지는 적어도 하나의 구조물의 인스턴스를 포함함 – 를 조명하도록 구성되는 적어도 하나의 조명 소스;

상기 복수의 DOE 측정 사이트 각각으로부터 이미지화되는 광을 검출하도록 그리고 상기 복수의 DOE 측정 사이트 각각의 이미지를 생성하도록 구성되는 적어도 하나의 이미징 검출기;

상기 복수의 DOE 측정 사이트 각각에서의 상기 적어도 하나의 관심 파라미터의 기준 값을 추정하도록 구성되는 기준 측정 시스템; 및

컴퓨팅 시스템

을 포함하고, 상기 컴퓨팅 시스템은:

상기 복수의 DOE 측정 사이트 각각의 상기 이미지 및 상기 복수의 DOE 측정 사이트 각각에서의 상기 적어도 하나의 관심 파라미터의 상기 기준 값을 수신하도록; 그리고

상기 복수의 DOE 측정 사이트 각각의 상기 이미지 및 상기 복수의 DOE 측정 사이트 각각에서의 상기 적어도 하나의 관심 파라미터의 대응하는 기준 값에 기초하여, 상기 적어도 하나의 구조물의 인스턴스를 포함하는 측정 사이트의 이미지를 상기 적어도 하나의 구조물의 상기 적어도 하나의 관심 파라미터의 값에 관련시키는 이미지 기반 신호 응답 계측(signal response metrology; SRM) 모델을 트레이닝시키도록

구성되고,

상기 복수의 DOE 측정 사이트 각각의 각 이미지는 하나 이상의 상이한 계측 기법에 의해 획득되는 이미지 또는 이미지의 조합을 포함하는 것인, 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 조명 소스는 또한 상기 DOE 측정 사이트 중 임의의 것과는 상이한 측정 사이트를 조명하도록 구성되고, 상기 측정 사이트는 상기 적어도 하나의 관심 파라미터에 의해 특징지어지는 상기 적어도 하나의 구조물의 인스턴스를 포함하고;

상기 이미징 검출기는 또한, 상기 측정 사이트로부터 이미지화되는 광을 검출하도록 그리고 상기 검출된 광을 나타내는 상기 측정 사이트의 이미지를 생성하도록 구성되고,

상기 컴퓨팅 시스템은 또한:

상기 측정 사이트의 이미지를 수신하도록;

상기 트레이닝된 이미지 기반 SRM 모델 및 상기 측정 사이트의 이미지에 기초하여, 상기 측정 사이트에서의 상기 적어도 하나의 구조물의 인스턴스를 특징짓는 상기 적어도 하나의 관심 파라미터의 값을 결정하도록; 그리고

상기 적어도 하나의 관심 파라미터의 값을 메모리에 저장하도록

구성되는 것인, 시스템.

청구항 3

제2항에 있어서,

측정 신호 값이 상기 측정 사이트 및 상기 복수의 DOE 측정 사이트 각각의 각 이미지의 각각의 픽셀과 연관되고, 상기 측정 사이트의 이미지는, 상기 복수의 DOE 측정 사이트 각각의 각 이미지에서 동일한 측정 기법 또는 측정 기법의 조합에 의해 수행되는 측정으로부터 유도되는 것인, 시스템.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 컴퓨팅 시스템은 또한:

상기 이미지 각각의 차원을 감소시키는 피처 추출 모델을 사용하여 상기 복수의 DOE 측정 사이트 각각의 각 이미지로부터 피처 – 상기 이미지 기반 SRM 모델의 트레이닝은, 상기 복수의 DOE 측정 사이트 각각의 각 이미지로부터 추출되는 상기 피처 및 상기 복수의 DOE 측정 사이트 각각에서의 상기 적어도 하나의 관심 파라미터의 상기 대응하는 기준 값에 기초함 – 를 추출하도록; 그리고

상기 피처 추출 모델을 사용하여 상기 측정 사이트의 상기 이미지로부터 피처 – 상기 적어도 하나의 관심 파라미터의 값의 결정은 상기 트레이닝된 이미지 기반 SRM 모델 및 상기 측정 사이트의 이미지로부터 추출되는 상기 피처에 기초함 – 를 추출하도록

구성되는 것인, 시스템.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 피처 추출 모델은 주성분 분석(principal component analysis; PCA) 모델, 독립 성분 분석(independent component analysis; ICA) 모델, 커널 PCA 모델, 비선형 PCA 모델, 고속 푸리에 변환(fast Fourier transform; FFT) 모델, 이산 코사인 변환(discrete cosine transform; DCT) 모델, 및 웨이브릿(wavelet) 모델 중 임의의 것인, 시스템.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 복수의 실험 계획법(DOE) 측정 사이트는 상기 적어도 하나의 관심 파라미터의 값에서의 변동을 포함하는 것인, 시스템.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 적어도 하나의 관심 파라미터는, 임계 치수(critical dimension; CD) 파라미터, 오버레이 파라미터, 초점 파라미터, 선량(dose) 파라미터, 구조물 비대칭 파라미터, 구조물 거칠기 파라미터, 유도 자기 조립(directed self assembly; DSA) 패턴 균일성 파라미터, 및 피치 워크(pitch walk) 파라미터 중 임의의 것인, 시스템.

청구항 8

제1항에 있어서,

각각의 DOE 측정 사이트는 계측 타겟, 주기적 격자 구조물, 및 디바이스 구조물 중 임의의 것을 포함하는 것인, 시스템.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 적어도 하나의 구조물은, 라인-스페이스 격자 구조물, FinFET 구조물, SRAM 메모리 구조물, FLASH 메모리 구조물, 및 DRAM 메모리 구조물 중 임의의 것인, 시스템.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 기준 측정 시스템은, 주사형 전자 현미경, 광학 기반 측정 시스템, x 선 기반 측정 시스템, 터널링 전자 현미경 시스템, 및 원자력 현미경 시스템 중 임의의 것인, 시스템.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 적어도 하나의 관심 파라미터는, 프로세스 파라미터 값, 구조 파라미터 값, 분산 파라미터 값(dispersion parameter value), 및 레이아웃 파라미터 값 중 임의의 것인, 시스템.

청구항 12

제1항에 있어서,

상기 이미지 기반 SRM 모델은, 선형 모델, 다항식 모델, 신경망 모델, 서포트 벡터 머신(support vector machine) 모델, 의사 결정 트리(decision tree) 모델, 및 랜덤 포레스트 모델(random forest model) 중 임의의 것인, 시스템.

청구항 13

삭제

청구항 14

시스템에 있어서,

하나 이상의 실험 계획법(DOE) 웨이퍼의 복수의 필드에 위치되는 복수의 DOE 측정 사이트 – 각각의 DOE 측정 사이트는 적어도 하나의 관심 파라미터에 의해 특징지어지는 적어도 하나의 구조물의 인스턴스를 포함함 – 를 조명하도록 구성되는 적어도 하나의 조명 소스;

상기 복수의 DOE 측정 사이트 각각으로부터 이미지화되는 광을 검출하도록 그리고 상기 복수의 DOE 측정 사이트 각각의 이미지를 생성하도록 구성되는 이미징 검출기;

비이미징 측정 기법에 따라 상기 복수의 DOE 측정 사이트 각각으로부터 수집되는 광을 검출하도록 그리고 상기 복수의 DOE 측정 사이트 각각에서의 상기 검출된 광을 나타내는 하나 이상의 측정 신호를 생성하도록 구성되는 비이미징 검출기; 및

컴퓨팅 시스템

을 포함하고, 상기 컴퓨팅 시스템은:

상기 복수의 DOE 측정 사이트 각각의 이미지 및 상기 복수의 DOE 측정 사이트 각각과 연관되는 상기 하나 이상의 측정 신호를 수신하도록; 그리고

상기 복수의 DOE 측정 사이트 각각의 이미지를, 상기 복수의 DOE 측정 사이트 각각과 연관되는 상기 하나 이상의 측정 신호에 관련시키는 측정 신호 합성 모델을 트레이닝시키도록

구성되고,

상기 비이미징 측정 기법은 광학 기반 산란측정법 측정 시스템 및 x 선 기반 산란측정법 측정 시스템 중 임의의 것인, 시스템.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 적어도 하나의 조명 소스는 또한 상기 DOE 측정 사이트 중 임의의 것과는 상이한 측정 사이트를 조명하도록 구성되고, 상기 측정 사이트는 상기 적어도 하나의 관심 파라미터에 의해 특징지어지는 상기 적어도 하나의 구조물의 인스턴스를 포함하고;

상기 적어도 하나의 이미징 검출기는 또한, 상기 측정 사이트로부터 이미지화되는 광을 검출하도록 그리고 상기 검출된 광을 나타내는 상기 측정 사이트의 이미지를 생성하도록 구성되고,

상기 컴퓨팅 시스템은 또한:

상기 측정 사이트의 이미지를 수신하도록;

상기 트레이닝된 측정 신호 합성 모델 및 상기 측정 사이트의 이미지에 기초하여 상기 측정 사이트와 연관되는 합성 측정 신호의 세트를 생성하도록;

상기 비이미징 측정 기법에 따라 상기 합성 측정 신호를 상기 측정 사이트의 측정의 모델에 적합시키는 (fitting) 것에 기초하여, 상기 측정 사이트에서의 상기 적어도 하나의 구조물의 인스턴스를 특정짓는 상기 적어도 하나의 관심 파라미터의 값을 결정하도록; 그리고

상기 적어도 하나의 관심 파라미터의 값을 메모리에 저장하도록

구성되는 것인, 시스템.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 비이미징 측정 기법은, 모델 기반 x 선 계측 기법, 모델 기반 광학 계측 기법, 또는 이들의 임의의 조합인 것인, 시스템.

청구항 17

제14항에 있어서,

상기 컴퓨팅 시스템은 또한:

상기 이미지 각각의 차원을 감소시키는 피처 추출 모델을 사용하여 상기 복수의 DOE 측정 사이트 각각의 각 이미지로부터 피처 – 상기 측정 신호 합성 모델은, 상기 복수의 DOE 측정 사이트 각각의 상기 이미지 각각으로부터 추출되는 피처를, 상기 복수의 DOE 측정 사이트 각각과 연관되는 상기 하나 이상의 측정 신호에 관련시킴 – 를 추출하도록; 그리고

상기 피처 추출 모델을 사용하여 상기 측정 사이트의 상기 이미지로부터 피처 – 상기 측정 사이트와 연관되는 합성 측정 신호의 세트의 생성은 상기 트레이닝된 측정 신호 합성 모델 및 상기 측정 사이트의 이미지로부터 추출되는 피처에 기초함 – 를 추출하도록

구성되는 것인, 시스템.

청구항 18

제14항에 있어서,

상기 적어도 하나의 관심 파라미터는, 임계 치수(CD) 파라미터, 오버레이 파라미터, 초점 파라미터, 선량 파라미터, 구조물 비대칭 파라미터, 구조물 거칠기 파라미터, 유도 자기 조립(DSA) 패턴 균일성 파라미터, 및 피치 워크 파라미터 중 임의의 것인, 시스템.

청구항 19

삭제

청구항 20

방법에 있어서,

하나 이상의 실험 계획법(DOE) 웨이퍼의 복수의 필드에 위치되는 복수의 DOE 측정 사이트 – 각각의 DOE 측정 사이트는 적어도 하나의 관심 파라미터에 의해 특징지어지는 적어도 하나의 구조물의 인스턴스를 포함함 – 를 조명하는 단계;

상기 복수의 DOE 측정 사이트 각각의 조명에 응답하여, 상기 복수의 DOE 측정 사이트 각각으로부터 이미지화되는 광을 검출하는 단계;

상기 복수의 DOE 측정 사이트 각각의 이미지를 생성하는 단계;

상기 복수의 DOE 측정 사이트 각각에서의 상기 적어도 하나의 관심 파라미터의 기준 측정 값을 추정하는 단계; 및

상기 복수의 DOE 측정 사이트 각각의 이미지 및 상기 복수의 DOE 측정 사이트 각각에서의 상기 적어도 하나의 관심 파라미터의 대응하는 기준 값에 기초하여 이미지 기반 신호 응답 계측(SRM) 모델 – 상기 이미지 기반 SRM 모델은 상기 적어도 하나의 구조물의 인스턴스를 포함하는 측정 사이트의 이미지를 상기 적어도 하나의 구조물의 상기 적어도 하나의 관심 파라미터의 값에 관련시킴 – 을 트레이닝시키는 단계

를 포함하고,

상기 복수의 DOE 측정 사이트 각각의 각 이미지는 하나 이상의 상이한 계측 기법에 의해 획득되는 이미지 또는 이미지의 조합을 포함하는 것인, 방법.

청구항 21

제20항에 있어서,

상기 DOE 측정 사이트 중 임의의 것과는 상이한 측정 사이트 – 상기 측정 사이트는 상기 적어도 하나의 관심 파라미터에 의해 특징지어지는 상기 적어도 하나의 구조물의 인스턴스를 포함함 – 를 조명하는 단계;

상기 측정 사이트의 조명에 응답하여, 상기 측정 사이트로부터 이미지화되는 광을 검출하는 단계;

상기 검출된 광을 나타내는 상기 측정 사이트의 이미지를 생성하는 단계; 및

상기 트레이닝된 이미지 기반 SRM 모델 및 상기 측정 사이트의 이미지에 기초하여, 상기 측정 사이트에서의 상기 적어도 하나의 구조물의 인스턴스를 특징짓는 상기 적어도 하나의 관심 파라미터의 값을 결정하는 단계

를 더 포함하는, 방법.

청구항 22

제21항에 있어서,

측정 신호 값이 상기 측정 사이트 및 상기 복수의 DOE 측정 사이트 각각의 각 이미지의 각각의 픽셀과 연관되고, 상기 측정 사이트의 상기 이미지는, 상기 복수의 DOE 측정 사이트 각각의 각 이미지와 동일한 측정 기법 또는 측정 기법의 조합에 의해 수행되는 측정으로부터 유도되는 것인, 방법.

청구항 23

제21항에 있어서,

상기 이미지 각각의 차원을 감소시키는 피처 추출 모델을 사용하여 상기 복수의 DOE 측정 사이트 각각의 각 이미지로부터 피처 – 상기 이미지 기반 SRM 모델의 트레이닝은, 상기 복수의 DOE 측정 사이트 각각의 각 이미지로부터 추출되는 피처 및 상기 복수의 DOE 측정 사이트 각각에서의 상기 적어도 하나의 관심 파라미터의 상기 대응하는 기준 값에 기초함 – 를 추출하는 단계; 및

상기 피처 추출 모델을 사용하여 상기 측정 사이트의 이미지로부터 피처 – 상기 적어도 하나의 관심 파라미터의 값의 결정은 상기 트레이닝된 이미지 기반 SRM 모델 및 상기 측정 사이트의 이미지로부터 추출되는 피처에 기초함 – 를 추출하는 단계

를 더 포함하는, 방법.

청구항 24

방법에 있어서,

하나 이상의 실험 계획법(DOE) 웨이퍼의 복수의 필드에 위치되는 복수의 DOE 측정 사이트 – 각각의 DOE 측정 사이트는 적어도 하나의 관심 파라미터에 의해 특징지어지는 적어도 하나의 구조물의 인스턴스를 포함함 – 를 조명하는 단계;

상기 복수의 DOE 측정 사이트의 조명에 응답하여, 상기 복수의 DOE 측정 사이트 각각으로부터 이미지화되는 광을 검출하는 단계;

상기 복수의 DOE 측정 사이트 각각의 이미지를 생성하는 단계;

비이미징 측정 기법에 따라 상기 복수의 DOE 측정 사이트 각각으로부터 수집되는 광을 검출하는 단계;

상기 복수의 DOE 측정 사이트 각각에서의 상기 검출된 광을 나타내는 하나 이상의 측정 신호를 생성하는 단계;
및

상기 복수의 DOE 측정 사이트 각각의 이미지를, 상기 복수의 DOE 측정 사이트 각각과 연관되는 상기 하나 이상의 측정 신호에 관련시키는 측정 신호 합성 모델을 트레이닝시키는 단계

를 포함하고,

상기 비이미징 측정 기법은 광학 기반 산란측정법 측정 시스템 및 x 선 기반 산란측정법 측정 시스템 중 임의의 것인, 방법.

청구항 25

제24항에 있어서,

상기 DOE 측정 사이트 중 임의의 것과는 상이한 측정 사이트 — 상기 측정 사이트는 상기 적어도 하나의 관심파라미터에 의해 특징지어지는 상기 적어도 하나의 구조물의 인스턴스를 포함함 — 를 조명하는 단계;

상기 측정 사이트의 조명에 응답하여, 상기 측정 사이트로부터 이미지화되는 광을 검출하는 단계;

상기 검출된 광을 나타내는 상기 측정 사이트의 이미지를 생성하는 단계;

상기 트레이닝된 측정 신호 합성 모델 및 상기 측정 사이트의 이미지에 기초하여 상기 측정 사이트와 연관되는 합성 측정 신호의 세트를 생성하는 단계; 및

상기 비이미징 측정 기법에 따라 상기 합성 측정 신호를 상기 측정 사이트의 측정의 모델에 적합시키는 것에 기초하여, 상기 측정 사이트에서의 상기 적어도 하나의 구조물의 인스턴스를 특징짓는 상기 적어도 하나의 관심파라미터의 값을 결정하는 단계; 및

상기 적어도 하나의 관심 파라미터의 값을 메모리에 저장하는 단계

를 더 포함하는, 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 특허에 대한 본 출원은, 35 U.S.C. § 119하에서, 2015년 8월 31일자로 출원된 발명의 명칭이 "Model-Based Metrology Using Images"인 미국 특허 가출원 제62/212,113호의 우선권을 주장하는데, 이 특허 가출원의 요지(subject matter)는 참조에 의해 그 전체가 본원에 통합된다.

[0002] 설명되는 실시형태는 계측 시스템 및 방법에 관한 것으로, 특히, 향상된 모델 기반 측정을 위한 방법 및 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 로직 및 메모리 디바이스와 같은 반도체 디바이스는 시료(specimen)에 대해 적용되는 일련의 프로세싱 단계에 의해 통상적으로 제조된다. 반도체 디바이스의 다양한 피처(feature) 및 다수의 구조적 레벨(structural level)은 이들 프로세싱 단계에 의해 형성된다. 예를 들면, 다른 것들 중에서도 리소그래피는 반도체 웨이퍼 상에 패턴을 생성하는 것을 수반하는 하나의 반도체 제조 프로세스이다. 반도체 제조 프로세스의 추가적인 예는, 화학적 기계적 연마, 애칭, 퇴적(deposition), 및 이온 주입을 포함하지만, 그러나 이들로 제한되는 것은 아니다. 다수의 반도체 디바이스가 단일의 반도체 웨이퍼 상에서 제조될 수도 있고, 그 다음, 개개의 반도체 디바이스로 분리될 수도 있다.

[0004] 계측 프로세스는, 웨이퍼 상에서 결함을 검출하여 더 높은 수율을 촉진하기 위해, 반도체 제조 프로세스 동안의 다양한 단계에서 사용된다. 광학적 계측 기법은 샘플 파괴의 위험 없이 높은 스루풋에 대한 잠재성을 제공한다. 나노스케일 구조물의 임계 치수, 막 두께, 조성, 오버레이 및 다른 파라미터의 특성을 묘사하기 위

해, 산란측정법(scatterometry) 및 반사측정법(reflectometry) 구현 및 관련 분석 알고리즘을 포함하는 다수의 광학적 계측 기반 기술이 일반적으로 사용된다. 비이미징(non-imaging) 모델 기반 광학 계측 기법은 일반적으로, 반도체 웨이퍼의 필드 영역 상에 드문 드문하게 위치되는 계측 타겟으로부터 측정 신호를 순차적으로 그리고 일반적으로 획득한다. 비록 비이미징 모델 기반 광학 계측 기법이 고정밀 측정 성능을 제공하지만, 주어진 웨이퍼 스루풋 요건에 대해 측정될 수 있는 위치의 수는 제한된다.

[0005] 반대로, 이미징 기반 측정 시스템은 다수의 신호를 병렬로 수집한다. 따라서, 주어진 웨이퍼 스루풋 요건에 대한 이미징 기반 측정에 의해 특성 묘사될 수 있는 웨이퍼 면적은 모델 기반 광학 계측 기법에 비해 훨씬 더 크다. 불행하게도, 현 시점에서는, 이미징 기반 측정은 오늘날 일반적으로 제조되는 복잡한 삼자원 구조물을 직접적으로 측정하기 위한 충분한 해상도가 부족하다.

[0006] 이미지 기반 측정은, 통상적으로, 이미지에서 특정한 타겟 피처(예를 들면, 라인 세그먼트, 박스, 등등)의 인식을 수반하고 관심 파라미터가 이를 피처에 기초하여 계산된다. 통상적으로, 특수화된 타겟 구조물은 이미지 프로세싱 알고리즘에 고유하다. 예를 들면, 오버레이 타겟(예를 들면, 박스 내 박스 타겟, 프레임 내 프레임 타겟, 향상된 이미징 계측(advanced imaging metrology; AIM) 타겟)과 관련되는 라인 세그먼트는, 알고리즘의 명세를 따르도록 명확히 설계된다. 이 때문에, 전통적인 이미지 기반 계측 알고리즘은 임의의 타겟 또는 디바이스 구조물과는 신뢰성 있게 수행될 수 없다.

[0007] 반도체 제조, 및 특히 패턴화 프로세스에서, 프로세스 제어는 특정한 전용 구조물에 대해 계측을 수행하는 것에 의해 가능하게 된다. 이들 전용 구조물은, 다이 사이의, 또는 다이 자체 내부의 스크라이브 라인에 위치될 수도 있다. 전통적인 산란측정법 기반 계측 기법에 의한 전용 계측 구조물의 측정은 시간 소모적이다.

[0008] 미래의 계측 애플리케이션은, 증가 추세의 작은 해상도 요건 및 웨이퍼 면적의 증가 추세의 높은 값으로 인해 이미지 기반 계측에 대해 도전 과제를 제시한다. 따라서, 향상된 이미지 기반 측정을 위한 방법 및 시스템이 소망된다.

발명의 내용

[0009] 반도체 웨이퍼의 측정된 이미지에 존재하는 정보 콘텐츠를, 측정된 이미지 내의 특정한 구조물의 추가적인 측정 치와 결합하여 관심 구조 파라미터를 신속하고 정확하게 추정하기 위한 방법 및 시스템이 본원에서 제시된다.

[0010] 하나의 양태에서, 측정된 이미지에 존재하는 높은 정보 콘텐츠는 관심 구조 파라미터의 추정된 값으로 변환된다. 이미지 기반 신호 응답 계측(signal response metrology; SRM) 모델은 측정된 이미지 기반 트레이닝 데이터(예를 들면, 실험계획법(Design of Experiments; DOE) 웨이퍼로부터 수집되는 이미지) 및 대응하는 기준 측정 데이터에 기초하여 트레이닝된다. 그 다음, 트레이닝된 이미지 기반 측정 모델은, 하나 이상의 관심 파라미터의 값을, 다른 웨이퍼로부터 수집되는 측정된 이미지 데이터로부터 직접적으로 계산하기 위해 사용된다. 본원에서 설명되는 트레이닝된 이미지 기반 SRM 모델은 입력으로서 이미지 데이터를 직접적으로 수신하고 출력으로서 하나 이상의 관심 파라미터의 값의 추정치를 제공한다. 측정 프로세스를 간소화하는 것에 의해, 계산 및 유저 시간에서의 감소와 함께 예측 결과는 향상된다.

[0011] 이미지 기반 측정 모델을 생성하기 위해 단지 원시 이미지 데이터만을 사용하는 것에 의해, 본원에서 설명되는 바와 같이, 전통적인 이미지 기반 계측 방법과 관련되는 에러 및 근사치가 감소된다. 또한, 이미지 기반 측정 모델은, 이미지 기반 측정 모델이 특정한 계측 시스템으로부터 수집되는 이미지 데이터에 기초하여 트레이닝되고 동일한 계측 시스템으로부터 수집되는 이미지에 기초하여 측정을 수행하도록 사용되기 때문에, 시스템적 에러, 비대칭성, 등등에 민감하지 않다.

[0012] 다른 양태에서, 측정된 이미지는 필드 내의 하나 이상의 위치에서 모델 기반 측정 기법과 관련되는 합성 비이미징 기반 측정 신호로 변환된다. 모델 기반 측정 기법은 합성 신호에 기초하여 관심 구조 파라미터의 값을 추정하기 위해 활용된다. 측정 신호 합성 모델은, 측정된 이미지 기반 트레이닝 데이터(예를 들면, 실험계획법(DOE) 웨이퍼로부터 수집되는 이미지) 및 대응하는 비이미징 측정 데이터에 기초하여 트레이닝된다. 또 다른 양태에서, 각각의 이미지화된 필드의 상이한 위치에 있는 다수의 구조물에 대해 합성 신호가 생성된다. 몇몇 예에서, 합성 신호에 기초하여 모델 기반 측정을 수행하는 것이, 각각의 다른 위치에서 실제 측정 데이터를 획득하는 것보다 훨씬 빠르다.

[0013] 상기의 내용은 개요이며, 따라서, 필요에 의해, 세부사항의 단순화, 일반화, 및 생략을 포함하며; 결과적으로, 개요는 단지 예시적인 것이며 어떠한 방식으로든 제한하는 것은 아니라는 것을 기술 분야의 숙련된 자는 인식할

것이다. 본원에서 설명되는 디바이스 및/또는 프로세스의 다른 양태, 독창적인 피처, 및 이점은, 본원에서 기술되는 비제한적인 상세한 설명에서 명확해질 것이다.

도면의 간단한 설명

[0014] 도 1은 본원에서 제시되는 예시적인 방법에 따라 관심 파라미터의 측정을 수행하기 위한 시스템(100)을 예시한다.

도 2는 본원에서 설명되는 바와 같이 이미지 기반 SRM 모델을 트레이닝시키는 방법(200)을 예시하는 플로우차트이다.

도 3은, 방법(400)을 참조로 설명되는 트레이닝된 SRM 모델을 사용하여 구조물의 측정을 수행하는 방법(210)을 예시하는 플로우차트이다.

도 4는 하나 이상의 관심 파라미터의 알려진 변동을 나타내는 구조물을 포함하는 측정 사이트(site)의 그리드를 갖는 실험 계획법 웨이퍼(design of experiments wafer; 1600)를 묘사한다.

도 5는 웨이퍼(160)의 상이한 측정 사이트의 예시적인 이미지(162 내지 164)를 묘사한다.

도 6은 이미지(162)와 관련되는 픽셀(165)의 그리드를 예시한다.

도 7은 본원에서 설명되는 방법에 따라 모델 트레이닝 및 측정을 위해 선택되는 상이한 픽셀 위치를 묘사한다.

도 8은 도 7에서 예시되는 픽셀 위치에서 샘플링되는 측정된 강도(intensity) 값의 벡터(176)를 묘사한다.

도 9는 본원에서 설명되는 바와 같은 측정 신호 합성 모델을 트레이닝하는 방법(220)을 예시하는 플로우차트이다.

도 10은 방법(220)을 참조하여 설명되는 측정 신호 합성 모델을 사용하여 구조물의 측정을 수행하는 방법(230)을 예시하는 플로우차트이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0015] 이제, 배경 기술의 예 및 본 발명의 몇몇 실시형태를 상세히 참조할 것인데, 본 발명의 실시형태의 예는 첨부의 도면에서 예시된다.

[0016] 반도체 웨이퍼의 측정된 이미지에 존재하는 정보 콘텐츠를 측정된 이미지 내의 특정한 구조물의 추가적인 측정 치와 결합하여 관심 구조 파라미터를 신속하고 정확하게 추정하기 위한 방법 및 시스템이 본원에서 제시된다.

[0017] 도 1은 본원에서 제시되는 예시적인 방법에 따라 시료의 특성을 측정하기 위한 시스템(100)을 예시한다. 도 1에서 도시되는 바와 같이, 시스템(100)은 시료(107) 상에 형성되는 하나 이상의 구조물 이미징 및 비이미징 측정을 수행하기 위해 사용될 수도 있다. 이 양태에서, 시스템(100)은 빔 프로파일 반사계(beam profile reflectometer; BPR), 필드 이미징 시스템, 및 분광 반사계(spectroscopic reflectometer; SR)로서 구성될 수도 있다. 대안적으로, 시스템(100)은 BPR, 분광 타원편광 해석기(spectroscopic ellipsometer; SE) 및 필드 이미징 시스템으로서 구성될 수도 있다. 시스템(100)은, 동공 검출기(pupil detector; 117)로의 광학 경로 및 필드 검출기(113 또는 114)로의 다른 광학 경로를 생성하기 위해 높은 개구수(numerical aperture; NA) 대물 렌즈(예를 들면, NA > 0.9) 및 적어도 하나의 수집 빔 스플리터(110)를 포함한다. 필드 검출기 및 동공 검출기는 시료(107)로부터, 각각, 필드 신호(121 또는 122) 및 동공 신호(123)를 획득한다. 필드 이미지 또는 동공 이미지는 하나 이상의 구조 파라미터 또는 프로세스 파라미터 값을 추정하도록 프로세싱된다.

[0018] 도 1에서 묘사되는 바와 같이, 시스템(100)은 어떤 양의 조명 광(119)을 생성하는 조명 소스(101)를 포함한다. 몇몇 실시형태에서, 조명 소스(101)는, 크세논 램프, 레이저 구동 광원, 다파장 레이저(multiple wavelength laser), 초연속체 레이저, 등등과 같은 광대역 조명 소스이다. 몇몇 다른 실시형태에서, 조명 소스(101)는 다수의 협대역 광원 예컨대 단일 파장 레이저, 조정가능한 협대역 레이저(tunable narrowband laser), 등을 포함한다. 몇몇 실시형태에서, 조명 소스(101)는 광대역 및 협대역 조명 소스의 조합을 포함한다. 몇몇 실시형태에서, 광학 필터는 하나 이상의 조명 파장(들) 및 대응하는 파장 범위(들)를 선택하기 위해 포함된다.

[0019] 도 1에서 묘사되는 바와 같이, 조명 광(119)은 조명 광학장치(illumination optics; 102)를 통과한다. 조명 광학장치(102)는 조명 광을 집속하고 시준한다. 조명 광학장치(102)는 렌즈 컴포넌트, 미러 컴포넌트, 또는 양자의 조합을 포함한다. 조명 광은, 조명 빔 스플리터(105)에 도달하기 이전에, 하나 이상의 선택가능한 조명

어페쳐(104)를 통과한다. 몇몇 실시형태에서, 선택가능한 조명 어페쳐(104)는, 조명 시야 조리개(illumination field stop)의 세트 및 조명 동공 조리개(illumination pupil stop)의 세트를 포함한다. 조명 시야 조리개는 시료(107) 상으로 투사되는 조명 스팟 사이즈를 선택하도록 구성된다. 조명 동공 조리개는 시료(107) 상으로 투사되는 조명 동공을 선택하도록 구성된다. 조명 시야 조리개 및 동공 조리개는, 시료(107)의 표면에 대한 최적의 광 스루풋, 조명 시야, 및 동공을 위해 조정되는 조명 NA를 달성하기 위해, 다른 조명 광학장치 컴포넌트(예를 들면, 조명 광학장치(102) 및 대물 렌즈(106))와 연계하여 동작한다. 선택가능한 조명 어페쳐(104) 중의 어페쳐(들)는, 기계적 핀 홀, 공간적 광 변조기(spatial light modulator; SLM), 아포다이저, 및 임의의 다른 빔 포밍 및 제어 컴포넌트 또는 서브시스템을 포함하는 그러나 이들로 제한되지는 않는 임의의 적절한 디바이스에 의해 형성될 수도 있다.

[0020] 조명 빔 스플리터(105)는 시준된 조명 광의 일부를 대물 렌즈(106)로 지향시키고 시준된 조명 광의 다른 일부를 강도 모니터(108)로 지향시킨다. 몇몇 실시형태에서, 강도 모니터(108)는 컴퓨팅 시스템(130)에 통신 가능하게 커플링되고, 전체적인 조명 강도, 조명 강도 프로파일, 또는 양자의 표시(indication)를 컴퓨팅 시스템(130)으로 제공한다. 대물 렌즈(106)는 넓은 범위의 입사각에 걸쳐 조명 광을 시료(107)의 표면으로 지향시킨다. 시료(107)의 표면으로부터 반사, 회절 및 산란되는 광은 대물 렌즈(106)에 의해 수집되고 수집 빔 스플리터(110)를 통과한다. 수집된 광의 일부는 필드 검출 경로를 통해 지향되고, 한편 수집된 광의 다른 일부는 동공 검출 경로를 통해 지향된다. 조명 빔 스플리터(105) 및 수집 빔 스플리터(110)는, 큐빅 빔 스플리터(cubic beam splitter), 금속 코팅판(metallic coating plate), 이색성 광학 코팅판(dichroic optical coating plate), 또는 다른 빔 분할 메커니즘을 포함하는, 그러나 이들로 제한되지는 않는 임의의 적절한 빔 분할 엘리먼트를 포함할 수도 있다.

[0021] 필드 검출 경로는 선택 가능한 필드 수집 어페쳐(111), 필드 집속용 광학장치(focusing field optics; 112), 및 적어도 하나의 필드 검출기를 포함한다. 몇몇 실시형태에서, 선택 가능한 필드 수집 어페쳐(111)는 필드 신호 검출기(113 또는 114) 상으로의 투사를 위한 신호를 선택하기 위한 시야 조리개(field stop)의 세트를 포함한다. 몇몇 예에서, 필드 신호 검출기(113 또는 114) 상으로의 투사를 위해, 더 높은 차수의 필드 신호가 선택된다. 선택가능한 필드 수집 어페쳐(111) 중의 어페쳐(들)는, 기계적 핀 홀, 공간적 광 변조기(SLM), 아포다이저, 및 임의의 다른 빔 포밍 및 제어 컴포넌트 또는 서브시스템을 포함하는 그러나 이들로 제한되지는 않는 임의의 적절한 디바이스에 의해 형성될 수도 있다.

[0022] 도 1에서 묘사되는 실시형태에서, 시스템(100)은 필드 이미징 검출기(114) 및 분광 필드 검출기(113)를 포함한다. 플립 인(flip-in) 미러 메커니즘(120)이 컴퓨팅 시스템(130)으로부터 수신되는 커맨드 신호(도시되지 않음)에 기초하여 필드 검출 경로에 선택적으로 위치된다. 하나의 구성에서, 플립 인 미러 메커니즘(120)은 필드 검출 경로에 위치되고 수집된 광은 필드 이미징 검출기(114)로 지향된다. 다른 구성에서, 플립 인 미러 메커니즘(120)은 필드 검출 경로 외부에 위치되고 수집된 광은 분광 필드 검출기(113)를 향해 지향된다. 이러한 방식에서, 시스템(100)은 이미지 기반 또는 분광 기반 필드 측정 중 어느 하나를 수행하도록 구성된다. 하나의 실시형태에서, 필드 이미징 검출기(114)는 조명 소스에 의해 조명되는 웨이퍼 표면의 일부를 검출기 상으로 이미지화한다. 필드 이미징 검출기(114)는 CCD 카메라, CMOS 카메라, 어레이 검출기, 등등일 수도 있다.

[0023] 동공 검출 경로는 선택 가능한 동공 수집 어페쳐(118), 선택 가능한 협대역 통과 필터(115), 및 수집된 광을 동공 검출기(117)로 지향시키는 동공 중계 광학장치(pupil relay optics; 116)를 포함한다. 몇몇 실시형태에서, 선택 가능한 동공 수집 어페쳐(118)는, 동공 신호 검출기(117) 상으로의 투사를 위한 신호를 선택하기 위한 시야 조리개의 세트를 포함한다. 몇몇 예에서, 동공 신호 검출기(117) 상으로의 투사를 위해, 더 높은 차수의 동공 신호가 선택된다. 선택가능한 동공 수집 어페쳐(118) 중의 어페쳐(들)는, 기계적 핀 홀, 공간적 광 변조기(SLM), 아포다이저, 및 임의의 다른 빔 포밍 및 제어 컴포넌트 또는 서브시스템을 포함하는 그러나 이들로 제한되지는 않는 임의의 적절한 디바이스에 의해 형성될 수도 있다.

[0024] 묘사된 실시형태에서, 동공 검출기(117)는 이미징 검출기이다. 그러나, 몇몇 다른 실시형태에서, 동공 검출기(117)는 분광 검출기이다. 일반적으로, 동공 검출 경로는 동시에 또는 순차적으로 동공 데이터를 수집하도록 구성되는 하나 이상의 동공 검출기를 포함할 수도 있다.

[0025] 본원에서 설명되는 바와 같이, 동공 이미징 검출기(117)에 의해 검출되는 동공 이미지 또는 필드 이미징 검출기(114)에 의해 검출되는 필드 이미지는, 이미지 기반 SRM 모델에 직접적으로 기초하여, 또는 측정 신호 합성 모델에 간접적으로 기초하여 관심 파라미터를 측정하기 위해 사용될 수도 있다. 하나의 실시형태에서, 분광 필드 검출기(113)는 분광계이다. 비제한적인 예로서, 검출된 스펙트럼은 관심 파라미터의 측정을 위해 또한 사용될

수도 있다. 예시적인 관심 파라미터는, 임계 치수(critical dimension; CD) 파라미터, 오버레이 파라미터, 초점 파라미터, 선량(dose) 파라미터, 구조물 비대칭성 파라미터, 구조물 거칠기 파라미터, 유도 자기 조립(directed self assembly; DSA) 패턴 균일성 파라미터, 퍼치 워크 파라미터, 등등 중 임의의 것을 포함한다.

[0026] 도 1에서 묘사되는 실시형태에서, 시스템(100)은 조명 경로에 편광자(103)를 그리고 수집 경로에 분석기(109)를 포함한다. 편광기(103)가 회전하는지 또는 그렇지 않은지의 여부에 따라, 시스템(100)은 분광 반사측정법(spectroscopic reflectometry; SR) 측정 또는 분광 타원편광 해석법(spectroscopic ellipsometry; SE) 측정을 수행하도록 구성될 수도 있다. 이러한 방식에서, 시스템(100)은 SR 또는 SE 측정을 수행하도록 선택적으로 구성될 수도 있다.

[0027] 또한, 시스템(100)은 시료(107)의 표면에 수직인 방향(즉, 좌표 프레임(126)에서 묘사되는 z 방향)에서 광학 시스템에 대한 시료(107)의 위치를 측정하도록 구성되는 측정 디바이스(예를 들면, 인코더(125))를 포함한다. 이러한 방식에서, 인코더(125)는 광학 시스템에 대한 시료(107)의 초점 위치의 표시를 제공한다. 동공 신호(123) 및 필드 신호(121 또는 122)는 컴퓨팅 시스템(130)에 의한 분석을 위해 초점 위치(124)의 표시와 함께 수집될 수 있다. 초점 위치의 추정에 기초하여, 컴퓨팅 시스템(130)은, 광학 시스템에 대한 시료(107)의 초점 위치를 조정하기 위해, 커맨드 신호를 웨이퍼 위치 결정 시스템(도시되지 않음) 또는 광학 위치 결정시스템(도시되지 않음)으로 전달한다. 이러한 방식에서, 시료(107)의 초점 위치는 이미지 획득 동안 모니터링되고 조정된다. 몇몇 다른 예에서, 이미지 데이터는 시료(107)의 초점 위치를 z 방향에서 중분적으로 또는 연속적으로 이동시키는 동안 수집된다.

[0028] 전통적으로, 관심 파라미터의 모델 기반 측정은 비이미징 측정 데이터(예를 들면, 검출기(113)에 의해 수집되는 스펙트럼 데이터)에 기초하여 수행된다. 예를 들면, 모델 기반 CD 측정은 관심 CD 파라미터의 관점에서 계측 타겟의 파라미터화를 포함하는 CD 측정 모델을 수반한다. 또한, 측정 모델은 측정 툴 그 자체의 파라미터화(예를 들면, 파장, 입사각, 편광 각도, 등등)를 포함한다. 또한, 과도하게 큰 오차를 도입하는 것을 방지하기 위해 시뮬레이션 근사(예를 들면, 슬래빙(slabbing), 엄밀한 결합파 해석(Rigorous Coupled Wave Analysis; RCWA), 등등)가 조심스럽게 수행된다. 이산화(discretization) 및 RCWA 파라미터가 정의된다.

[0029] 머신 파라미터(P_{machine})는 계측 툴 그 자체의 특성을 묘사하기 위해 사용되는 파라미터이다. 예시적인 머신 파라미터는 입사각(angle of incidence; AOI), 분석기 각도(analyzer angle; A0), 편광기 각도(P0), 조명 파장, 개구수(numerical aperture; NA), 등을 포함한다. 시료 파라미터(P_{specimen})는 시료의 기하학적 특성 및 재료적 특성을 특성 묘사하기 위해 사용되는 파라미터이다.

[0030] 측정 목적을 위해, 다중 타겟 모델의 머신 파라미터는 공지인 것으로 취급되고, 측정 모델의 고정 파라미터 및 시료 파라미터, 또는 시료 파라미터의 서브세트는 미지의 부유하는 파라미터로서 취급된다. 부유하는 파라미터는, 이론적 예측치와 측정된 데이터 사이의 최상의 적합도를 생성하는 적합화 프로세스(fitting process)(예를 들면, 회귀, 라이브러리 매칭, 등등)에 의해 결정된다. 미지의 시료 파라미터인 P_{specimen} 은 변경되며, 모델 출력 값은, 모델 출력 값과 측정된 값 사이의 밀접한 매치로 귀결되는 시료 파라미터 값의 세트가 결정될 때까지 계산된다. 이러한 방식에서 측정을 수행하는 것은 계산적으로 비용이 많이 듈다.

[0031] 하나의 양태에서, 측정된 이미지에 존재하는 높은 정보 콘텐츠는 관심 구조 파라미터의 추정된 값으로 변환된다. 이미지 기반 신호 응답 계측(signal response metrology; SRM) 모델은 측정된 이미지 기반 트레이닝 데이터(예를 들면, 실험계획법(Design of Experiments; DOE) 웨이퍼로부터 수집되는 이미지) 및 대응하는 기준 측정 데이터에 기초하여 트레이닝된다. 그 다음, 트레이닝된 이미지 기반 측정 모델은, 하나 이상의 관심 파라미터의 값을 다른 웨이퍼로부터 수집되는 측정된 이미지 데이터로부터 직접적으로 계산하기 위해 사용된다. 본원에서 설명되는 트레이닝된 이미지 기반 SRM 모델은 입력으로서 이미지 데이터를 직접적으로 수신하고 출력으로서 하나 이상의 관심 파라미터의 값의 추정치를 제공한다. 측정 프로세스를 간소화하는 것에 의해, 계산 및 유저 시간에서의 감소와 함께 예측 결과는 향상된다.

[0032] 이미지 기반 측정 모델을 생성하기 위해 단지 원시 이미지 데이터만을 사용하는 것에 의해, 본원에서 설명되는 바와 같이, 전통적인 이미지 기반 계측 방법과 관련되는 여러 및 근사치가 감소된다. 또한, 이미지 기반 측정 모델은, 이미지 기반 측정 모델이 특정한 계측 시스템으로부터 수집되는 이미지 데이터에 기초하여 트레이닝되고 동일한 계측 시스템으로부터 수집되는 이미지에 기초하여 측정을 수행하도록 사용되기 때문에, 시스템적 여러, 비대칭성, 등등에 민감하지 않다.

[0033] 몇몇 예에서, 이미지 기반 SRM 모델은 한 시간 미만에 생성될 수 있다. 게다가, 단순화된 모델을 활용하는 것

에 의해, 측정 시간은 현존하는 이미지 기반 계측 방법과 비교하여 감소된다. 추가적인 모델링 세부 사항은, 미국 특허 공개 공보 제2014/0297211 및 미국 특허 공개 공보 제2014/0316730호에서 설명되는데, 이들 각각의 요지는 참조에 의해 그 전체가 본원에 통합된다.

[0034] 일반적으로, 본원에서 설명되는 방법 및 시스템은 각각의 이미지를 전체로서 분석한다. 이미지에서 개개의 피처를 인식하는 대신, 각각의 픽셀은, 구조 파라미터, 프로세스 파라미터, 분산 파라미터(dispersion parameter), 등등에 관한(또는 이들에 민감한) 정보를 포함하는 개개의 신호로서 간주된다.

[0035] 도 2는 본 발명의 도 1에서 예시되는 측정 시스템(100)과 같은 측정 시스템에 의한 구현에 적합한 방법(200)을 예시한다. 하나의 양태에서, 방법(200)의 데이터 프로세싱 블록은, 컴퓨팅 시스템(130), 또는 임의의 다른 범용 컴퓨팅 시스템의 하나 이상의 프로세서에 의해 실행되는 미리 프로그래밍된 알고리즘을 통해 실행될 수도 있다는 것이 인식된다. 본원에서는, 측정 시스템(100)의 특정한 구조적 양태가 제한을 나타내지 않으며 예시적인 것으로서만 해석되어야 한다는 것이 인식된다.

[0036] 블록(201)에서, 복수의 실험 계획법(DOE) 측정 사이트가 조명 소스에 의해 조명된다. DOE 측정 사이트는 하나 이상의 DOE 웨이퍼 상에 위치되는 다수의 상이한 필드에 위치된다. 각각의 DOE 측정 사이트는 적어도 하나의 관심 파라미터에 의해 특징지어지는 적어도 하나의 구조물의 인스턴스를 포함한다. 구조물은 전용 계측 타겟, 디바이스 구조물, 격자 구조물, 등등일 수 있다.

[0037] 관심 파라미터는 하나 이상의 프로세스 파라미터, 구조 파라미터, 분산 파라미터, 또는 레이아웃 파라미터를 포함한다. 측정 사이트의 각각은, 측정 사이트의 각각 내의 동일한 공칭 위치에서 동일한 공칭 구조물을 포함한다. 하나의 예에서, 측정 사이트는, 웨이퍼 표면 전체에 걸쳐 반복적으로 구성되는 반도체 웨이퍼의 필드 영역을 둘러싼다. 몇몇 예에서, 측정 사이트는, 웨이퍼 표면에 걸쳐 반복적으로 구성되는 다이 영역을 둘러싼다. 비록 각각의 측정 사이트가 공칭적으로 동일한 구조물을 포함하지만, 실제에서는, 그리고 모델 트레이닝의 목적을 위해, 각각의 측정 사이트는 다양한 파라미터(예를 들면, CD, 측벽 각도, 높이, 오버레이, 등등)의 변동을 포함한다.

[0038] 모델 트레이닝의 목적을 위해, 관심 파라미터(들)의 변동은 반도체 웨이퍼(예를 들면, DOE 웨이퍼)의 표면 상에서 실험 계획법(DOE) 패턴으로 편제된다. 이 방식에서, 웨이퍼 표면 상의 상이한 위치에 있는 측정 사이트는, 관심 파라미터(들)의 상이한 값에 대응한다. 하나의 예에서, DOE 패턴은 초점 노광 매트릭스(focus exposure matrix; FEM) 패턴이다. 통상적으로, FEM 패턴을 나타내는 DOE 웨이퍼는 측정 사이트의 그리드 패턴을 포함한다. 하나의 그리드 방향(예를 들면, x 방향)에서는, 초점은 변하고 한편 노광은 일정하게 유지된다. 직교 그리드 방향(예를 들면, y 방향)에서는, 노광은 변하고 한편 초점은 일정하게 유지된다. 이 방식에서, DOE 웨이퍼로부터 수집되는 이미지 데이터는 초점 및 노광에서의 변동과 관련되는 데이터를 포함한다. 도 4는, 관심 파라미터(들)(예를 들면, 초점 및 노광)에서 변동을 나타내는 구조물을 포함하는 측정 사이트(예를 들면, 측정 사이트(161))의 그리드를 구비하는 DOE 웨이퍼(160)를 묘사한다. 초점은 x 방향에서 DOE 웨이퍼(160) 상의 위치의 함수로서 변한다. 노광은 y 방향에서 DOE 웨이퍼(160) 상의 위치의 함수로서 변한다.

[0039] 몇몇 실시형태에서, 이미지는 디바이스 영역을 포함한다. 측정 사이트의 특정한 이미지의 각각의 픽셀은, 특정한 조명 및 수집 조건, 광장, 편광, 등등 하에서 수집된 광의 강도를 나타낸다. 도 5는 웨이퍼(160)의 상이한 측정 사이트의 이미지(162 내지 164)를 묘사한다. 각각의 이미지는 측정 사이트 내의 디바이스 구조물의 조감도(aerial view)를 나타낸다. 측정 사이트는 자신의 X 및 Y 좌표에 의해 식별된다.

[0040] 몇몇 다른 실시형태에서, 이미지는 관심 파라미터(들)의 이미지 기반 측정을 용이하게 하도록 설계되는 특정 타겟을 포함한다. 디바이스 표현을 향상시키기 위해, 관심 파라미터(들)(초점, 선량, CD)에 대한 감도를 최대화하기 위해, 그리고 프로세스 변동에 대한 상관을 감소시키기 위해, 특별히 설계된 타겟이 활용될 수도 있다.

[0041] 상기 언급된 예에서, 이미지 데이터는, 초점 및 노광(즉, 선량)에서 변동을 가지고 프로세싱되는 DOE 웨이퍼와 관련된다. 그러나, 일반적으로, 프로세스 파라미터, 구조 파라미터, 분산, 등등의 임의의 변동과 관련되는 이미지 데이터가 고려될 수도 있다. DOE 웨이퍼의 이미지는 관심 파라미터(들)의 범위를 나타내어야 한다.

[0042] 블록(202)에서, 복수의 DOE 측정 사이트 각각으로부터 이미지화되는 광은, 복수의 DOE 측정 사이트 각각의 조명에 응답하여 검출된다. 하나의 예에서, 도 1에서 묘사되는 필드 이미징 검출기(114)는 각각의 DOE 측정 사이트에서 웨이퍼(107)의 표면으로부터 이미지화된 광을 검출한다. 다른 예에서, 동공 이미징 검출기(117)는 각각의 DOE 측정 사이트에서 대물 렌즈(106)의 동공으로부터 이미지화되는 광을 검출한다.

[0043] 블록(203)에서, 복수의 DOE 측정 사이트 각각의 이미지가 생성된다. 하나의 예에서, 필드 이미징 검출기(114)

는 DOE 측정 사이트 각각의 이미지를 생성하고 각각의 생성된 이미지를 나타내는 신호(122)를 컴퓨팅 시스템(130)으로 전달한다. 다른 예에서, 동공 이미징 검출기(117)는 DOE 측정 사이트 각각의 동공 이미지를 생성하고 각각의 생성된 동공 이미지를 나타내는 신호를 컴퓨팅 시스템(130)으로 전달한다.

[0044] 몇몇 예에서, 각각의 측정 사이트의 단일의 이미지가 생성된다. 이들 예에서, 각각의 측정 사이트의 각각의 이미지는 각각의 이미지 픽셀과 관련되는 단일의 측정 신호 값을 포함한다. 몇몇 예에서, 단일의 측정 값은, 측정 시스템 설정(예를 들면, 파장, 편광, 입사각, 방위각, 등등)의 특정한 세트에서 이미징 반사계에 의해 측정되는 각각의 픽셀의 위치에서의 반사율이다.

[0045] 몇몇 다른 예에서, 각각의 측정 사이트의 다수의 이미지가 생성된다. 각각의 측정 사이트의 이미지의 각각은, 각각의 픽셀과 관련되는 단일의 측정 신호 값을 포함한다. 따라서, 다수의 측정 신호 값이 각각의 픽셀에 대해 측정된다. 일반적으로, 각각의 측정 사이트의 이미지의 각각은, 상이한 설정(예를 들면, 파장, 편광, 입사각, 방위각, 등등), 상이한 측정 기법, 또는 이들의 조합 중 어느 하나에서 동일한 측정 시스템에 의해 측정된다. 이 방식에서, 각각의 측정 사이트의 각각의 픽셀에 대해 측정 데이터의 다양한 세트가 모일 수도 있다. 일반적으로, 이미지 데이터는, 광학 이미징 시스템, 현미경, 주사 전자 현미경, 터널링 전자 현미경(tunneling electron microscope), 또는 다른 이미지 형성 시스템과 같은 임의의 이미징 기반 시스템으로부터 수집될 수 있다.

[0046] 블록(204)에서, 신뢰되는 기준 계측 시스템에 의해 복수의 DOE 측정 사이트의 각각에서, 적어도 하나의 관심 파라미터의 기준 측정 값이 추정된다. 기준 측정은 기준 측정 시스템, 또는 임의의 적합한 계측 기법, 또는 계측 기법의 조합에 기초한 기준 측정 시스템의 조합에 의해 수행된다. 비제한적인 예로서, 주사 전자 현미경, 광학 기반 측정 시스템, x 선 기반 측정 시스템, 터널링 전자 현미경 시스템, 및 원자력 현미경 시스템 중 임의의 것이 DOE 측정 사이트의 기준 측정을 수행하기 위해 활용될 수도 있다.

[0047] 도 1에서 묘사되는 바와 같이, 하나의 예에서, 각각의 DOE 측정 사이트에서 관심 파라미터의 기준 측정치(151)는 기준 측정 소스(150)로부터 컴퓨팅 시스템(130)으로 전달된다.

[0048] 도 1에서 묘사되는 다른 예에서, 분광 필드 검출기(113)는 각각의 측정 사이트 내의 각각의 관심 파라미터에 의해 특징지어지는 하나 이상의 구조물로부터 수집되는 광을 나타내는 측정 신호(121)를 생성한다. 이 예에서, 측정 신호는 분광 산란측정법(spectroscopic scatterometry) 신호이다. 컴퓨팅 시스템(130)은 검출된 측정 신호(121)에 기초하여 각각의 측정 사이트에서 각각의 관심 파라미터의 값을 추정하기 위해 모델 기반 측정(예를 들면, 광학 임계 치수 측정)을 수행한다.

[0049] 옵션적 블록(도시되지 않음)에서, 이미지의 각각은 각각의 측정 사이트의 공통 기준 위치와 정렬된다. 이 방식에서, 각각의 이미지로부터의 임의의 특정한 픽셀은 각각의 이미지화된 측정 사이트 상의 동일 위치에 대응한다. 하나의 예에서, 수집된 이미지는, 이들이 제1 이미지의 세트와 매치하도록 정렬된다. 도 6은 이미지(162)와 관련되는 픽셀(165)의 그리드를 예시한다. 몇몇 예에서, 측정 시스템은 높은 정밀도에서 동작하고 추가적인 이미지 정렬은 불필요하다. 이 점에서, 이미지 정렬은 옵션적이다.

[0050] 다른 옵션적 블록(도시되지 않음)에서, 이미지의 각각은 하나 이상의 이미지 필터에 의해 필터링된다. 이미지 필터는 노이즈 감소, 콘트라스트 향상, 등을 위해 활용될 수도 있다. 하나의 예에서, 이미지 필터는, 에지를 검출하고 에지 및 근접 영역을 제거하거나 또는 마스킹하는 것에 의해, 에지 효과를 감소시키도록 활용될 수도 있다. 이 방식에서, 후속하는 이미지 샘플은 상대적으로 동질의(homogenous) 디바이스 영역으로부터 취해진다. 활용되는 이미지 필터는 유저에 의해 또는 자동 프로시져에 의해 선택될 수도 있다. 상이한 이미지 필터의 수 및 각각의 선택된 필터와 관련되는 파라미터는 과도한 계산적 부담 없이 최종 측정 결과를 향상시키도록 선택된다. 비록 이미지 기반 필터의 사용이 유익할 수도 있을지라도, 일반적으로, 그것은 불필요하다. 이런 의미에서, 이미지 필터링은 옵션적이다.

[0051] 각각의 측정 사이트의 각각의 이미지는 수백 만 개의 픽셀을 포함할 수도 있으며, 이들 픽셀 중 소수의 픽셀만이 관심 파라미터와 임의의 상관 관계를 갖는다. 다른 옵션적 블록(도시되지 않음)에서, 제1 복수의 이미지의 각각과 관련되는 픽셀의 서브세트가 모델 트레이닝 및 측정을 위해 선택된다. 제1 복수의 이미지 각각의 동일한 선택된 픽셀과 관련되는 측정 신호 값은 모델 트레이닝 및 측정을 위해 사용된다. 많은 예에서, 이것은 계산적 노력을 최소화하는 데 바람직하다.

[0052] 도 7은 모델 트레이닝 및 측정을 위해 선택되는 상이한 위치에 있는 픽셀의 두 개의 상이한 그룹을 묘사한다. 묘사된 예에서, 픽셀 그룹(170, 172, 및 174)은, 각각, 이미지(162, 163, 및 164) 상의 동일한 위치에

대응한다. 마찬가지로, 픽셀 그룹(171, 173, 및 175)은, 각각, 이미지(162, 163, 및 164) 상의 동일한 위치에 대응한다. 이들 픽셀의 각각과 관련되는 측정 신호는 모델 트레이닝 및 측정을 위해 사용된다. 도 8은 도 7에서 예시되는 픽셀 위치에서 샘플링되는 측정된 강도(예를 들면, 반사율) 값의 벡터(176)를 묘사한다. 이 샘플링된 이미지 데이터는 모델 트레이닝 및 측정을 위해 사용된다. 도 8에서 묘사되는 예에서, ${}^1I_{(I_1, J_1)}$ 는 이미지(162)의 픽셀 그룹(170)과 관련되는 강도 값이고, ${}^2I_{(I_1, J_1)}$ 는 이미지(163)의 픽셀 그룹(172)과 관련되는 강도 값이고, ${}^N I_{(I_1, J_1)}$ 는 이미지(164)의 픽셀 그룹(174)과 관련되는 강도 값이다. 마찬가지로, ${}^1I_{(I_2, J_2)}$ 는 이미지(162)의 픽셀 그룹(171)과 관련되는 강도 값이고, ${}^2I_{(I_2, J_2)}$ 는 이미지(163)의 픽셀 그룹(173)과 관련되는 강도 값이고, ${}^N I_{(I_2, J_2)}$ 는 이미지(164)의 픽셀 그룹(175)과 관련되는 강도 값이다. 이 방식에서, 벡터(176)는 각각의 이미지화된 측정 사이트의 동일한 위치에서의 픽셀 그룹으로부터의 강도 측정 신호를 포함한다.

[0053] 몇몇 예에서, 픽셀 또는 픽셀의 그룹은 관심 파라미터에 의해 특징지어지는 구조물에 대한 그들의 근접을 위해 선택된다. 하나의 예에서, 선택된 픽셀은, 관심 구조물의 5 배 내지 10 배만큼 큰 관심 구조물 주위의 영역과 연관된다. 다른 예에서, 픽셀 위치는 랜덤하게 선택된다. 몇몇 다른 예에서, 픽셀 위치는 그들의 측정 감도에 기초하여 선택된다. 하나의 예에서, 각각의 픽셀과 관련되는 측정 신호 값의 분산(variance)은 이미지의 앙상블(ensemble)로부터 계산된다. 각각의 픽셀 위치와 관련되는 분산은, 각각의 대응하는 픽셀 위치에서의 측정 감도를 특징짓는 메트릭이다. 상대적으로 높은 분산을 갖는 픽셀 위치는 더 높은 측정 감도를 제공하며 추가적인 분석을 위해 선택된다. 상대적으로 낮은 분산을 갖는 픽셀 위치는 더 낮은 측정 감도를 제공하며 무시된다. 몇몇 예에서, 분산에 대한 미리 결정된 임계 값이 선택되고 미리 결정된 임계 값을 초과하는 분산을 갖는 픽셀 위치가 모델 트레이닝 및 측정을 위해 선택된다. 이 방식에서, 가장 민감한 위치만이 샘플링된다. 몇몇 예에서, 제1 복수의 이미지의 각각과 관련되는 픽셀의 전체가 모델 트레이닝 및 측정을 위해 선택된다. 이러한 의미에서 픽셀 선택은 옵션적이다.

[0054] 다른 옵션적 블록(도시되지 않음)에서, 선택된 이미지 데이터에 기초하여 피처 추출 모델이 결정된다. 피처 추출 모델은 이미지 데이터의 차원을 감소시킨다. 피처 추출 모델은 원래의 신호를, 신호의 신규의 감소된 세트로 매핑한다. 변환은, 선택된 이미지에서의 관심 파라미터(들)의 변동에 기초하여 결정된다. 각각의 이미지의 각각의 픽셀은, 상이한 이미지에 대해 프로세스 범위 내에서 변하는 원래의 신호로서 취급된다. 피처 추출 모델은 모든 이미지 픽셀, 또는 이미지 픽셀의 서브세트에 적용될 수도 있다. 몇몇 예에서, 피처 추출 모델에 의한 분석의 대상이 되는 픽셀은 랜덤하게 선택된다. 몇몇 다른 예에서, 피처 추출 모델에 의한 분석의 대상이 되는 픽셀은, 관심 파라미터(들)에서의 변화에 대한 그들의 상대적으로 높은 감도로 인해 선택된다. 예를 들면, 관심 파라미터(들)에서의 변화에 민감하지 않은 픽셀은 무시될 수도 있다.

[0055] 비제한적인 예로서, 피처 추출 모델은, 주성분 분석(principal component analysis; PCA) 모델, 커널 PCA 모델, 비선형 PCA 모델, 독립 성분 분석(independent component analysis; ICA) 모델 또는 딕셔너리, 이산 코사인 변환(discrete cosine transform; DCT) 모델, 고속 푸리에 변환(fast fourier transform; FFT) 모델, 웨이브릿 모델, 등등을 사용하는 다른 차원 감소 방법일 수도 있다.

[0056] 통상적인 실험 계획법에서, 웨이퍼 상의 위치는, 특정한 기하학적 값 및 프로세스 파라미터 값(예를 들면, 초점, 선량, 오버레이, CD, 측벽 각도, 높이, 등등)을 갖도록 프로그래밍된다. 그러므로, 주 성분 표현은, 하나 이상의 신호 표현을, 전체 웨이퍼에 걸친 프로세스 파라미터 및 기하학적 파라미터의 함수로서 매핑하는 것을 허용한다. 패턴의 성질은, 디바이스가 고립된 피처를 포함하든 또는 조밀한 피처를 포함하든 간에, 디바이스의 본질적인 특성을 캡쳐한다.

[0057] 블록(205)에서, 생성된 이미지, 또는 생성된 이미지로부터 추출되는 피처 및 적어도 하나의 관심 파라미터의 기준 값에 기초하여 이미지 기반 신호 응답 계측(SRM) 모델이 트레이닝된다. 이미지 기반 SRM 모델은, 하나 이상의 측정 사이트에서 계측 시스템에 의해 생성되는 이미지 데이터를 수신하도록, 그리고 각각의 측정 타겟과 관련되는 관심 파라미터(들)를 직접적으로 결정하도록 구조화된다. 몇몇 실시형태에서, 이미지 기반 측정 모델은 신경망 모델로서 구현된다. 하나의 예에서, 신경망의 노드의 수는 이미지 데이터로부터 추출되는 피처에 기초하여 선택된다. 다른 예에서, 이미지 기반 SRM 모델은, 선형 모델, 다항식 모델, 응답 표면 모델(response surface model), 서포트 벡터 머신 모델, 또는 다른 타입의 모델로서 구현될 수도 있다. 몇몇 예에서, 이미지 기반 측정 모델은 모델의 조합으로서 구현될 수도 있다. 몇몇 예에서, 선택된 모델은 피처 추출 모델로부터 결정되는 신호의 감소된 세트 및 관심 파라미터(들)의 측정된 기준값에 기초하여 트레이닝된다. 모델은, 모델의

출력이, DOE 이미지에 의해 정의되는 파라미터 변동 공간 내의 모든 이미지에 대한 관심 파라미터(들)의 측정된 참조 값에 적합하도록 트레이닝된다.

[0058] 도 1에서 묘사되는 바와 같이, 컴퓨팅 시스템(130)은, 필드 이미징 검출기(114) 또는 동공 이미징 검출기(117)로부터 수신되는 각각의 DOE 측정 사이트의 각각의 DOE 이미지에 대한 측정 신호(121)에 기초하여 계산되는 기준 값 또는 기준 측정 소스(150)로부터 수신되는 기준 값에 자신의 출력이 적합하도록 이미지 기반 SRM 모델을 트레이닝시킨다.

[0059] 다른 양태에서, 트레이닝된 이미지 기반 SRM 모델은 다른 웨이퍼의 측정을 위한 측정 모델로서 활용된다. 도 3은 본 발명의 도 1에서 예시되는 계측 시스템(100)과 같은 계측 시스템에 의한 구현에 적합한 방법(210)을 예시한다. 하나의 양태에서, 방법(210)의 데이터 프로세싱 블록은, 컴퓨팅 시스템(130), 또는 임의의 다른 범용 컴퓨팅 시스템의 하나 이상의 프로세서에 의해 실행되는 미리 프로그래밍된 알고리즘을 통해 실행될 수도 있다는 것이 인식된다. 본원에서는, 계측 시스템(100)의 특정한 구조적 양태는 제한을 나타내지 않으며 예시적인 것으로서만 해석되어야 한다는 것이 인식된다.

[0060] 블록(211)에서, 동일한 이미지 기반 계측 기법, 또는 이미지 기반 SRM 모델을 트레이닝시키기 위해 사용되는 이미지를 생성하기 위해 활용되는 이미지 기반 계측 기법의 조합에 따라 측정 사이트가 조명된다. 측정 사이트는 DOE 측정 사이트 중 임의의 것과는 상이한 측정 사이트이다. 측정 사이트는 관심 파라미터(들)에 의해 특징지어지는 적어도 하나의 구조물의 인스턴스를 포함한다.

[0061] 블록(212)에서, 측정 사이트로부터 이미지화되는 광은 측정 사이트의 조명에 응답하여 검출된다. 하나의 예에서, 도 1에서 묘사되는 필드 이미징 검출기(114)는 측정 사이트에서 웨이퍼(107)의 표면으로부터 이미지화되는 광을 검출한다. 다른 예에서, 동공 이미징 검출기(117)는 측정 사이트에서 대물 렌즈(106)의 동공으로부터 이미지화되는 광을 검출한다.

[0062] 블록(213)에서, 측정 사이트의 이미지가 생성된다. 하나의 예에서, 필드 이미징 검출기(114)는 측정 사이트의 이미지를 생성하고 각각의 생성된 이미지를 나타내는 신호(122)를 컴퓨팅 시스템(130)으로 전달한다. 다른 예에서, 동공 이미징 검출기(117)는 측정 사이트의 동공 이미지를 생성하고 생성된 동공 이미지를 나타내는 신호를 컴퓨팅 시스템(130)으로 전달한다.

[0063] 몇몇 예에서, 이미지 데이터는 방법(200)과 관련하여 설명되는 동일한 정렬, 필터링, 샘플링, 및 피쳐 추출 단계를 거친다. 비록 이를 단계 중 임의의 것, 또는 전체의 사용이 유익할 수도 있을지라도, 일반적으로는, 그것은 불필요하다. 이 관점에서, 이를 단계는 옵션적이다.

[0064] 블록(214)에서, 측정 사이트에서의 구조물의 인스턴스를 특징짓는 적어도 하나의 관심 파라미터의 값은 트레이닝된 이미지 기반 SRM 모델 및 측정 사이트의 이미지에 기초하여 결정된다. 측정 사이트의 이미지는 관심 파라미터(들)의 값(들)을 결정하도록 이미지 기반 SRM 모델에 의해 프로세싱된다.

[0065] 다른 블록(도시되지 않음)에서, 관심 파라미터(들)의 결정된 값(들)은 메모리에 저장된다. 예를 들면, 파라미터 값은 측정 시스템(100) 온보드에, 예를 들면 메모리(132)에 저장될 수도 있거나, 또는 외부 메모리 디바이스로 (예를 들면, 출력 신호(140)를 통해) 전달될 수도 있다.

[0066] 다른 양태에서, 측정된 이미지는 필드 내의 하나 이상의 위치에서 모델 기반 측정 기법과 관련되는 합성 비이미징 기반 측정 신호로 변환된다. 모델 기반 측정 기법은 합성 신호에 기초하여 관심 구조 파라미터의 값을 추정하기 위해 활용된다. 측정 신호 합성 모델은, 측정된 이미지 기반 트레이닝 데이터(예를 들면, 실험계획법(DOE) 웨이퍼로부터 수집되는 이미지) 및 대응하는 비이미징 측정 데이터에 기초하여 트레이닝된다. 또 다른 양태에서, 각각의 이미지화된 필드의 상이한 위치 내의 다수의 구조물에 대해 합성 신호가 생성된다. 몇몇 예에서, 합성 신호에 기초하여 모델 기반 측정을 수행하는 것이, 각각의 다른 위치에서 실제 측정 데이터를 획득하는 것보다 훨씬 빠르다.

[0067] 도 9는 본 발명의 도 1에서 예시되는 측정 시스템(100)과 같은 측정 시스템에 의한 구현에 적합한 방법(220)을 예시한다. 하나의 양태에서, 방법(200)의 데이터 프로세싱 블록은, 컴퓨팅 시스템(130), 또는 임의의 다른 범용 컴퓨팅 시스템의 하나 이상의 프로세서에 의해 실행되는 미리 프로그래밍된 알고리즘을 통해 실행될 수도 있다는 것이 인식된다. 본원에서는, 측정 시스템(100)의 특정한 구조적 양태가 제한을 나타내지 않으며 예시적인 것으로서만 해석되어야 한다는 것이 인식된다.

[0068] 블록(221)에서, 복수의 실험 계획법(DOE) 측정 사이트가 조명 소스에 의해 조명된다. DOE 측정 사이트는 하나

이상의 DOE 웨이퍼 상에 위치되는 다수의 상이한 필드에 위치된다. 각각의 DOE 측정 사이트는 적어도 하나의 관심 파라미터에 의해 특징지어지는 적어도 하나의 구조물의 인스턴스를 포함한다. 구조물은 전용 계측 타겟, 디바이스 구조물, 격자 구조물, 등등일 수 있다.

[0069] 방법(200)과 관련하여 설명되는 바와 같이, 관심 파라미터는 하나 이상의 프로세스 파라미터, 구조 파라미터, 분산 파라미터, 또는 레이아웃 파라미터를 포함한다. 측정 사이트의 각각은, 측정 사이트의 각각 내의 동일한 공칭 위치에서 동일한 공칭 구조물을 포함한다. 하나의 예에서, 측정 사이트는, 웨이퍼 표면 전체에 걸쳐 반복적으로 구성되는 반도체 웨이퍼의 필드 영역을 둘러싼다. 몇몇 예에서, 측정 사이트는, 웨이퍼 표면에 걸쳐 반복적으로 구성되는 다이 영역을 둘러싼다. 비록 각각의 측정 사이트가 공칭적으로 동일한 구조물을 포함하지만, 실제에서는, 그리고 모델 트레이닝의 목적을 위해, 각각의 측정 사이트는 다양한 파라미터(예를 들면, CD, 측벽 각도, 높이, 오버레이, 등등)의 변동을 포함한다. 모델 트레이닝의 목적을 위해, 방법(200)과 관련하여 설명되는 바와 같이, 관심 파라미터(들)의 변동은 반도체 웨이퍼(예를 들면, DOE 웨이퍼)의 표면 상에서 실험 계획법(DOE) 패턴으로 편제된다.

[0070] 블록(222)에서, 복수의 DOE 측정 사이트 각각으로부터 이미지화되는 광은, 복수의 DOE 측정 사이트 각각의 조명에 응답하여 검출된다. 하나의 예에서, 도 1에서 묘사되는 필드 이미징 검출기(114)는 각각의 DOE 측정 사이트에서 웨이퍼(107)의 표면으로부터 이미지화된 광을 검출한다. 다른 예에서, 동공 이미징 검출기(117)는 각각의 DOE 측정 사이트에서 대물 렌즈(106)의 동공으로부터 이미지화되는 광을 검출한다.

[0071] 블록(223)에서, 복수의 DOE 측정 사이트 각각의 이미지가 생성된다. 하나의 예에서, 필드 이미징 검출기(114)는 DOE 측정 사이트 각각의 이미지를 생성하고 각각의 생성된 이미지를 나타내는 신호(122)를 컴퓨팅 시스템(130)으로 전달한다. 다른 예에서, 동공 이미징 검출기(117)는 DOE 측정 사이트 각각의 동공 이미지를 생성하고 각각의 생성된 동공 이미지를 나타내는 신호를 컴퓨팅 시스템(130)으로 전달한다.

[0072] 몇몇 예에서, 각각의 측정 사이트의 단일의 이미지가 생성된다. 이를 예에서, 각각의 측정 사이트의 각각의 이미지는 각각의 이미지 핵심과 관련되는 단일의 측정 신호 값을 포함한다. 몇몇 예에서, 단일의 측정 값은, 측정 시스템 설정(예를 들면, 파장, 편광, 입사각, 방위각, 등등)의 특정한 세트에서 이미징 반사계에 의해 측정되는 각각의 핵심의 위치에서의 반사율이다. 일부 다른 예에서, 방법(200)을 참조하여 설명되는 바와 같이, 각각의 측정 사이트의 다수의 이미지가 생성된다.

[0073] 몇몇 예에서, 이미지 데이터는 방법(200)과 관련하여 설명되는 동일한 정렬, 필터링, 샘플링, 및 피처 추출 단계를 거친다. 비록 이를 단계 중 임의의 것, 또는 전체의 사용이 유익할 수도 있을지라도, 일반적으로는, 그것은 불필요하다. 이 관점에서, 이를 단계는 옵션적이다.

[0074] 블록(224)에서, 복수의 DOE 측정 사이트의 각각 내에 위치되는 각각의 파라미터화된 구조물로부터 수집되는 광은 하나 이상의 비이미징 측정 기법에 따라 검출된다. 도 1에서 묘사되는 하나의 예에서, 분광 필드 검출기(113)는 각각의 측정 사이트 내의 각각의 관심 파라미터에 의해 특징지어지는 하나 이상의 구조물로부터 수집되는 광을 검출한다.

[0075] 블록(225)에서, 복수의 DOE 측정 사이트 각각에서의 검출된 광을 나타내는 하나 이상의 측정 신호가 생성된다. 도 1에서 묘사되는 하나의 예에서, 분광 필드 검출기(113)는 각각의 측정 사이트 내의 각각의 관심 파라미터에 의해 특징지어지는 하나 이상의 구조물로부터 수집되는 광을 나타내는 측정 신호(121)를 생성한다. 이 예에서, 측정 신호는 분광 산란측정법 신호이다.

[0076] 블록(226)에서, 측정 신호 합성 모델이 트레이닝된다. 측정 신호 합성 모델은 복수의 DOE 측정 사이트 각각의 이미지를, 복수의 DOE 측정 사이트의 각각에서 각각의 파라미터화된 구조물의 각각의 구조물의 각각의 비이미징 측정과 관련되는 측정 신호의 하나 이상의 세트에 관련시킨다. 측정 신호 합성 모델은, 하나 이상의 측정 사이트에서 계측 시스템에 의해 생성되는 이미지 데이터를 수신하도록, 그리고 복수의 DOE 측정 사이트의 각각 내에 위치되는 각각의 파라미터화된 구조물의 비이미징 측정과 관련되는 합성 측정 신호를 직접적으로 결정하도록 구조화된다. 몇몇 실시형태에서, 측정 신호 합성 모델은 신경망 모델로서 구현된다. 하나의 예에서, 신경망의 노드의 수는 이미지 데이터로부터 추출되는 피처에 기초하여 선택된다. 다른 예에서, 측정 신호 합성 모델은, 선형 모델, 다항식 모델, 응답 표면 모델, 서포트 벡터 머신 모델, 또는 다른 타입의 모델로서 구현될 수도 있다. 몇몇 예에서, 측정 신호 합성 모델은 모델의 조합으로서 구현될 수도 있다. 몇몇 예에서, 선택된 모델은 피처 추출 모델로부터 결정되는 신호의 감소된 세트 및 하나 이상의 비이미징 계측 기법에 기초하여 측정되는 신호에 기초하여 트레이닝된다. 모델은, DOE 이미지에 의해 정의되는 파라미터 변동 공간에서의 모든 이미지에

대한 측정된 신호에 자신의 출력이 적합하도록 트레이닝된다.

[0077] 도 1에서 묘사되는 바와 같이, 컴퓨팅 시스템(130)은, 필드 이미징 검출기(114) 또는 동공 이미징 검출기(117)로부터 수신되는 각각의 DOE 측정 사이트의 각각의 이미지에 대해 각각의 DOE 측정 사이트 내에서 측정되는 각각의 파라미터화된 구조물과 관련되는 측정된 신호(121)에 자신의 출력이 적합하도록 측정 신호 합성 모델을 트레이닝시킨다.

[0078] 하나의 또 다른 양태에서, 트레이닝된 측정 신호 합성 모델은 측정된 이미지를, 하나 이상의 모델기반 측정 기법과 관련되는 합성 비이미징 기반 측정 신호로 변환하기 위해 활용된다. 하나 이상의 모델 기반 측정 기법은, 합성 신호에 기초하여 관심 구조 파라미터의 값을 추정하기 위해 활용된다.

[0079] 도 10은 본 발명의 도 1에서 예시되는 계측 시스템(100)과 같은 계측 시스템에 의한 구현에 적합한 방법(230)을 예시한다. 하나의 양태에서, 방법(230)의 데이터 프로세싱 블록은, 컴퓨팅 시스템(130), 또는 임의의 다른 범용 컴퓨팅 시스템의 하나 이상의 프로세서에 의해 실행되는 미리 프로그래밍된 알고리즘을 통해 실행될 수도 있다는 것이 인식된다. 본원에서는, 계측 시스템(100)의 특정한 구조적 양태는 제한을 나타내지 않으며 예시적인 것으로서만 해석되어야 한다는 것이 인식된다.

[0080] 블록(231)에서, 동일한 이미지 기반 계측 기법, 또는 측정 신호 합성 모델을 트레이닝시키기 위해 사용되는 이미지를 생성하기 위해 활용되는 이미지 기반 계측 기법의 조합에 따라 측정 사이트가 조명된다. 측정 사이트는 DOE 측정 사이트 중 임의의 것과는 상이한 측정 사이트이다. 측정 사이트는 관심 파라미터(들)에 의해 특징지어지는 적어도 하나의 구조물의 인스턴스를 포함한다.

[0081] 블록(232)에서, 측정 사이트로부터 이미지화되는 광은 측정 사이트의 조명에 응답하여 검출된다. 하나의 예에서, 도 1에서 묘사되는 필드 이미징 검출기(114)는 측정 사이트에서 웨이퍼(107)의 표면으로부터 이미지화되는 광을 검출한다. 다른 예에서, 동공 이미징 검출기(117)는 측정 사이트에서 대물 렌즈(106)의 동공으로부터 이미지화되는 광을 검출한다.

[0082] 블록(233)에서, 측정 사이트의 이미지가 생성된다. 하나의 예에서, 필드 이미징 검출기(114)는 측정 사이트의 이미지를 생성하고 각각의 생성된 이미지를 나타내는 신호(122)를 컴퓨팅 시스템(130)으로 전달한다. 다른 예에서, 동공 이미징 검출기(117)는 측정 사이트의 동공 이미지를 생성하고 생성된 동공 이미지를 나타내는 신호를 컴퓨팅 시스템(130)으로 전달한다.

[0083] 몇몇 예에서, 이미지 데이터는 방법(230)과 관련하여 설명되는 동일한 정렬, 필터링, 샘플링, 및 피쳐 추출 단계를 거친다. 비록 이들 단계 중 임의의 것, 또는 전체의 사용이 유익할 수도 있을지라도, 일반적으로는, 그것은 불필요하다. 이 관점에서, 이들 단계는 옵션적이다.

[0084] 블록(234)에서, 트레이닝된 측정 신호 합성 모델 및 측정 사이트의 이미지에 기초하여 측정 사이트와 관련되는 합성 측정 신호의 세트가 생성된다. 합성 측정 신호는, 측정 신호 합성 모델의 트레이닝을 위해 사용되는 각각의 측정 사이트 내의 각각의 관심 파라미터에 의해 특징지어지는 동일한 구조물(들)의 상이한 인스턴스와 관련된다. 하나의 예에서, 합성 측정 신호는 도 1에서 묘사되는 분광 필드 검출기(113)에 의해 수행되는 측정과 관련된다.

[0085] 블록(235)에서, 측정 사이트에서의 적어도 하나의 구조물의 인스턴스를 특징짓는 적어도 하나의 관심 파라미터의 값은, 비이미징 측정 기법에 따라 합성 측정 신호를 측정 사이트의 측정의 모델에 적합시키는 것에 기초하여 결정된다. 하나의 예에서, 합성 신호의 세트는 컴퓨팅 시스템(130)에 의해 수신된다. 컴퓨팅 시스템(130)은, 합성 측정 신호의 세트에 기초하여 각각의 측정 사이트에서의 각각의 관심 파라미터의 값을 추정하기 위해 모델 기반 측정(예를 들면, 광학적 임계 치수 측정)을 수행한다.

[0086] 블록(236)에서, 관심 파라미터(들)의 결정된 값(들)은 메모리에 저장된다. 예를 들면, 파라미터 값은 측정 시스템(100) 온보드에, 예를 들면 메모리(132)에 저장될 수도 있거나, 또는 외부 메모리 디바이스로 (예를 들면, 출력 신호(140)를 통해) 전달될 수도 있다.

[0087] 다른 추가 양태에서, 관심 파라미터의 값은 본원에서 설명되는 시스템 및 방법에 따라 디바이스 상의 구조물(on-device structure)의 이미지로부터 결정될 수도 있다. 몇몇 실시형태에서, 디바이스 상의 구조물의 이미지는 본원에서 설명되는 바와 같이 이미지 기반 SRM 모델 또는 측정 신호 합성 모델을 트레이닝시키기 위해 사용된다. 그 다음, 트레이닝된 모델은 하나 이상의 관심 파라미터의 값을 이미지로부터 직접적으로, 또는, 다른 웨이퍼로부터 수집되는 동일한 디바이스 상의 구조물의 합성 신호를 통해 간접적으로 계산하기 위해 사용된다.

이들 실시형태에서, 특수화된 타겟의 사용이 방지된다. 몇몇 다른 실시형태에서, 계측 타겟이 사용되고 타겟 사이즈는 10 미크론×10 미크론 미만일 수 있다. 일반적으로, 계측 타겟이 사용되는 경우, 다수의 타겟이 단일의 이미지로부터 측정될 수 있고 계측 타겟은 하나의 구조물 또는 하나보다 많은 상이한 구조물을 포함할 수 있다.

[0088] 본원에서 설명되는 방법 및 시스템에 따라 측정되는 관심 파라미터에 의해 특징지어지는 예시적인 구조물은, 라인-스페이스 격자 구조물, FinFET 구조물, SRAM 메모리 구조물, FLASH 메모리 구조물, 및 DRAM 메모리 구조물을 포함한다.

[0089] 본원의 상기에서 설명되는 바와 같이, 본원에서 설명되는 측정 방법 및 시스템은 특수한 타겟으로 한정되지 않는다. 일반적으로, 이용 가능한 이미징 시스템에 의해 이미지화될 때 관심 파라미터에 대해 감도를 나타내는 임의의 타겟이, 본원에서 설명되는 방법 및 시스템에 따라 활용될 수도 있다. 그러나, 몇몇 예에서, 이미지 기반 측정 성능을 향상시키기 위해서는, 이용 가능한 이미징 시스템에 의해 이미지화될 때 관심 파라미터에 대해 높은 감도를 나타내는 특수화된 측정 타겟을 활용하는 것이 유리하다. 몇몇 예에서, 측정 타겟은 반도체 영역의 스크라이브 라인에 위치된다. 다른 예에서, 측정 타겟은 디바이스 영역 내에 위치된다.

[0090] 다른 추가 양태에서, 이미지 기반 측정 모델을 트레이닝시키기 위한 방법 및 시스템은, 트레이닝된 모델에 도달하는 데 필요로 되는 엘리먼트 중 임의의 것 또는 전체를 자동화하는 최적화 알고리즘을 포함한다.

[0091] 몇몇 예에서, 최적화 알고리즘은, 다음의 파라미터 중 임의의 것 또는 전체를 최적화하는 것에 의해 (비용 함수에 의해 정의되는) 측정의 성능을 극대화하도록 구성된다: 이미지 필터의 리스트, 필터의 파라미터, 픽셀 샘플링, 피처 추출 모델의 타입, 선택된 피처 추출 모델의 파라미터, 측정 모델의 타입, 선택된 측정 모델의 파라미터. 최적화 알고리즘은 유저 정의 휴리스틱(user defined heuristics)을 포함할 수 있고 네스트화된(nested) 최적화의 조합(예를 들면, 조합적인 그리고 연속하는 최적화)일 수 있다

[0092] 추가 양태에서, 다수의 상이한 타겟을 포함하는 이미지 데이터가, 모델 구축, 트레이닝, 및 측정을 위해 수집된다. 동일한 프로세스 조건에 의해 형성되지만, 상이한 구조물을 구비하는 다수의 타겟과 관련되는 이미지 데이터의 사용은, 모델에 임베딩되는 정보를 증가시키고 프로세스 또는 다른 파라미터 변동에 대한 상관을 감소시킨다. 특히, 하나 이상의 측정 사이트에서 다수의 상이한 타겟의 이미지를 포함하는 트레이닝 데이터의 사용은, 관심 파라미터의 값의 더욱 정확한 추정을 가능하게 한다. 하나의 예에서, 상이한 격자 구조물 또는 필름 패드가 본원에서 설명되는 바와 같은 모델 트레이닝 및 측정을 위한 타겟으로서 활용된다.

[0093] 다른 추가 양태에서, 다수의 타겟으로부터의 신호는 프로세스 변동에 대한 감도를 감소시키도록 그리고 관심 파라미터에 대한 감도를 증가시키도록 프로세싱될 수 있다. 몇몇 예에서, 상이한 타겟의 이미지, 또는 이미지의 일부로부터의 신호는 서로 감산된다. 몇몇 다른 예에서, 상이한 타겟의 이미지, 또는 이미지의 일부로부터의 신호는 모델에 적합하고, 나머지는 본원에서 설명되는 바와 같이 모델을 구축, 트레이닝, 및 사용하도록 사용된다. 하나의 예에서, 두 개의 상이한 타겟으로부터의 이미지 신호는, 각각의 측정 결과에서 프로세스 노이즈의 효과를 제거하도록, 또는 상당히 감소시키도록 감산된다. 다른 예에서, 다수의 타겟으로부터의 측정 신호는, 각각의 측정 결과에서 하부 충의 영향을 제거하도록, 또는 크게 감소시키도록 감산된다. 다수의 타겟과 관련되는 측정 데이터의 사용은, 모델에 임베딩되는 샘플 및 프로세스 정보를 증가시킨다. 일반적으로, 프로세스 변동에 대해 감소된 감도를 그리고 관심 파라미터에 대해 증가된 감도를 갖는 이미지 신호를 결정하기 위해, 상이한 타겟 이미지, 또는 타겟 이미지의 일부로부터의 신호 사이에 다양한 수학적 연산이 적용될 수 있다.

[0094] 다른 추가 양태에서, 모델 구축, 트레이닝, 및 측정을 위해, 다수의 상이한 측정 기법의 조합에 의해 수행되는 측정으로부터 유도되는 측정 데이터가 수집된다. 다수의 상이한 측정 기법과 관련되는 측정 데이터의 사용은, 신호의 조합된 세트에서 정보 콘텐츠를 증가시키고 프로세스 또는 다른 파라미터 변동에 대한 상관 관계를 감소시킨다. 관심 파라미터의 추정에 이용 가능한 측정 정보를 향상시키기 위해 상이한 측정 사이트가 다수의 상이한 측정 기법에 의해 측정될 수도 있다.

[0095] 다른 추가의 양태에서, 다수의 파장에서의 측정 결과가 본원에서 설명되는 방법 및 시스템에 따른 모델 트레이닝 및 측정을 위해 결합된다.

[0096] 일반적으로, 피처 추출 모델, 이미지 기반 SRM 모델, 및 측정 신호 합성 모델 중 임의의 것에 의해 프로세싱되는 데이터가 벡터 형태이기 때문에, 본 특허 문헌의 범위 내에서 임의의 이미지 기반 측정 기법, 또는 두 개 이상의 이미지 기반 측정 기법의 조합이 고려될 수도 있다. 모델이 데이터 벡터에 대해 작용하기 때문에, 이미지 데이터의 각각의 픽셀은 독립적으로 처리된다. 또한, 데이터가 이차원 이미지 데이터이든지, 일차원 이미지 데

이터이든지, 또는 심지어 단일 지점 데이터이든지에 무관하게, 다수의 상이한 계측으로부터의 데이터를 사슬연결하는 것이 가능하다.

[0097] 본원에서 설명되는 방법에 따른 파라미터 추정을 위한 측정 모델 및 모델 트레이닝을 위한 측정 신호를 제공하도록 적용될 수도 있는 예시적인 측정 기법은, 물리 매트릭스 타원편광법을 비롯한 하나 이상의 각도의 조명에서의 분광 타원편광법, 분광 반사측정법(spectroscopic reflectometry), 각도 분해 반사측정법, 분광 산란측정법, 산란측정법 오버레이, 범 프로파일 반사측정법, 각도 분해 및 편광 분해 둘 모두의 범 프로파일 타원편광법, 단일의 또는 다수의 이산 파장 타원편광법, 단일 파장 반사측정법, 단일 파장 타원편광 해석법, 투과 소각 x 레이 산란계(transmission small angle x-ray scatterometer; TSAXS), 소각 x레이 산란(small angle x-ray scattering; SAXS), 스침 입사 소각 x 레이 산란(grazing incidence small angle x-ray scattering; GISAXS), 광각 x 레이 산란(wide angle x-ray scattering; WAXS), x 레이 반사율(x-ray reflectivity; XRR), x 레이 회절(x-ray diffraction; XRD), 스침 입사 x 레이 회절(grazing incidence x-ray diffraction; GIXRD), 고분해능 x 레이 회절(high resolution x-ray diffraction; HRXRD), x 레이 광전자 분광법(x-ray photoelectron spectroscopy; XPS); x 레이 형광법(x-ray fluorescence; XRF); 스침 입사 x 레이 형광법(grazing incidence x-ray fluorescence; GIXRF), x 레이 단층촬영법, x 레이 타원편광 해석법, 주사 전자 현미경 검사, 터널링 전자 현미경 측정법, 및 원자력 현미경 측정법을 포함하지만 그러나 이들로 제한되지는 않는다. 상기 언급된 계측 기법 중 임의의 것은 독립형 측정 시스템의 일부로 별도로 구현될 수도 있거나, 또는 통합 측정 시스템으로 결합될 수도 있다. 일반적으로, 상이한 측정 기술에 의해 수집되고 본원에서 설명되는 방법에 따라 분석되는 측정 데이터는, 다수의 기술을 통합하고 있는 하나의 툴 대신, 다수의 툴로부터 수집될 수도 있다.

[0098] 다른 추가 양태에서, 다수의 계측에 의해 측정되는 신호는, 프로세스 변동에 대한 감도를 감소시키도록 그리고 관심 파라미터에 대한 감도를 증가시키도록 프로세싱될 수 있다. 몇몇 예에서, 상이한 계측에 의해 측정되는 타겟의 이미지, 또는 이미지의 일부로부터의 신호는 서로 감산된다. 몇몇 다른 예에서, 상이한 계측에 의해 측정되는 타겟의 이미지, 또는 이미지의 일부로부터의 신호는 모델에 적합하고, 나머지는 본원에서 설명되는 바와 같이 이미지 기반 측정 모델을 구축, 트레이닝, 및 사용하도록 사용된다. 하나의 예에서, 두 개의 상이한 계측에 의해 측정되는 타겟으로부터의 이미지 신호는, 각각의 측정 결과에서 프로세스 노이즈의 효과를 제거하도록, 또는 상당히 감소시키도록 감산된다. 일반적으로, 프로세스 변동에 대해 감소된 감도를 그리고 관심 파라미터에 대해 증가된 감도를 갖는 이미지 신호를 결정하기 위해, 상이한 계측에 의해 측정되는 타겟 이미지, 또는 타겟 이미지의 일부의 신호 사이에 다양한 수학적 연산이 적용될 수 있다.

[0099] 일반적으로, 다수의 계측 기법에 의해 각각 측정되는 다수의 타겟으로부터의 이미지 신호는, 신호의 결합된 세트에서 정보 콘텐츠를 증가시키고 프로세스 또는 다른 파라미터 변동에 대한 오버레이 상관을 감소시킨다.

[0100] 다른 추가의 양태에서, 이미지 데이터 및 비이미징 데이터는, 웨이퍼 상의 필드 또는 다이 영역 내에서, 또는 스크라이브 라인 내에서 발견되는 전용 계측 타겟, 디바이스 구조물, 또는 프록시 구조물과 같은 측정 타겟으로부터 수집될 수도 있다.

[0101] 몇몇 예에서, 본원에서 설명되는 측정 방법은, 미국 캘리포니아 밀피타스(Milpitas)의 KLA-Tencor Corporation으로부터 입수가능한 SpectraShape® 광학 임계 치수 계측 시스템의 엘리먼트로서 구현된다.

[0102] 몇몇 다른 예에서, 본원에서 설명되는 측정 방법은, 예를 들면, 미국 캘리포니아 밀피타스의 KLA-Tencor Corporation으로부터 입수가능한 AcuShape® 소프트웨어를 구현하는 컴퓨팅 시스템에 의해 오프라인에서 구현된다.

[0103] 또 다른 양태에서, 본원에서 설명되는 측정 결과는 프로세스 툴(예를 들면, 리소그래피 툴, 에칭 툴, 퇴적 툴, 등등)로 능동 피드백(active feedback)을 제공하기 위해 사용될 수 있다. 예를 들면, 본원에서 설명되는 방법을 사용하여 결정되는 오버레이 에러의 값은, 소망하는 출력을 달성하도록 리소그래피 시스템을 조정하기 위해 리소그래피 툴로 전달될 수 있다. 유사한 방식에서, 에칭 툴 또는 퇴적 툴로 능동 피드백을 각각 제공하기 위해, 에칭 파라미터(예를 들면, 에칭 시간, 확산성, 등등) 또는 퇴적 파라미터(예를 들면, 시간, 농도, 등등)가 측정 모델에 포함될 수도 있다.

[0104] 일반적으로, 본원에서 설명되는 시스템 및 방법은 오프라인의 또는 툴 상에서의(on-tool) 측정을 위한 측정 모델을 준비하는 프로세스의 일부로서 구현될 수 있다. 또한, 측정 모델은 하나 이상의 타겟 구조물, 디바이스 구조물, 및 측정 사이트를 설명할 수도 있다.

- [0105] 또 다른 양태에서, 본원에서 설명되는 바와 같은 모델 트레이닝 및 측정을 위해 활용되는 이미지는, 필드의 상이한 위치의 다수의 부분 이미지로부터의 선형 또는 비선형 변환의 결과이다.
- [0106] 또 다른 양태에서, 본원에서 설명되는 바와 같은 모델 트레이닝 및 측정을 위해 활용되는 이미지는, 상이한 필드의 상이한 위치의 다수의 부분 이미지로부터의 선형 또는 비선형 변환의 결과이다.
- [0107] 다른 추가의 양태에서, 본원에서 설명되는 바와 같은 모델 트레이닝 및 측정을 위해 활용되는 이미지는, 필드 내의 상이한 위치의 다수의 부분 이미지로부터의 선형 또는 비선형 변환의 결과이고 모델 트레이닝을 위해 사용되는 비선형 측정 신호(예를 들면, 산란측정법 신호)는 필드 내의 상이한 측정 위치와 관련된다.
- [0108] 추가 실시형태에서, 시스템(100)은 본원에서 설명되는 방법에 따라 측정을 수행하도록 활용되는 하나 이상의 컴퓨팅 시스템(130)을 포함할 수도 있다. 하나 이상의 컴퓨팅 시스템(130)은 시스템(100)의 검출기에 통신 가능하게 커플링될 수도 있다. 하나의 양태에서, 하나 이상의 컴퓨팅 시스템(130)은 시료(107)의 구조물의 측정과 관련되는 측정 데이터를 수신하도록 구성된다.
- [0109] 본 개시의 전체에 걸쳐 설명되는 다양한 단계는 단일의 컴퓨터 시스템(130), 또는, 대안적으로, 다수의 컴퓨터 시스템(130)에 의해 수행될 수도 있다는 것이 인식되어야 한다. 또한, 산란측정법 및 빔 프로파일 반사계와 같은 시스템(100)의 상이한 서브 시스템은 본원에서 설명되는 단계의 적어도 일부를 수행하기에 적합한 컴퓨터 시스템을 포함할 수도 있다. 따라서, 상기 언급된 설명은 본 발명에 대한 제한으로서 해석되어선 안되며 단지 예시로서 해석되어야 한다. 또한, 하나 이상의 컴퓨팅 시스템(130)은 본원에서 설명되는 방법 실시형태 중 임의의 실시형태의 임의의 다른 단계(들)를 수행하도록 구성될 수도 있다.
- [0110] 게다가, 컴퓨터 시스템(130)은, 기술분야에서 공지된 임의의 방식으로 시스템(100)의 검출기에 통신 가능하게 커플링될 수도 있다. 예를 들면, 하나 이상의 컴퓨팅 시스템(130)은 시스템(100)의 검출기와 관련되는 컴퓨팅 시스템에 커플링될 수도 있다. 다른 예에서, 검출기는 컴퓨터 시스템(130)에 커플링되는 단일의 컴퓨터 시스템에 의해 직접적으로 제어될 수도 있다.
- [0111] 계측 시스템(100)의 컴퓨터 시스템(130)은, 유선부 및/또는 무선부를 포함할 수도 있는 송신 매체에 의해 시스템의 서브시스템(예를 들면, 검출기(113, 114, 및 117), 및 등등)으로부터 데이터 또는 정보를 수신 및/또는 획득하도록 구성될 수도 있다. 이 방식에서, 송신 매체는 시스템(100)의 다른 서브시스템과 컴퓨터 시스템(130) 사이의 데이터 링크로서 기능할 수도 있다.
- [0112] 시스템(300)의 컴퓨터 시스템(130)은, 유선부 및/또는 무선부를 포함할 수도 있는 송신 매체에 의해 다른 시스템으로부터 데이터 또는 정보(예를 들면, 측정 결과, 모델링 입력, 모델링 결과, 등등)를 수신 및/또는 획득하도록 구성될 수도 있다. 이 방식에서, 송신 매체는 컴퓨터 시스템(130)과 다른 시스템(예를 들면, 계측 시스템(100) 온보드의 메모리, 외부 메모리, 또는 다른 외부 시스템) 사이의 데이터 링크로서 기능할 수도 있다. 예를 들면, 컴퓨팅 시스템(130)은 데이터 링크를 통해 저장 매체(즉, 메모리(132) 또는 외부 메모리)로부터 측정 데이터를 수신하도록 구성될 수도 있다. 예를 들면, 분광계(113)를 사용하여 획득되는 스펙트럼 측정 결과는, 영구적인 또는 반영구적인 메모리 디바이스(예를 들면, 메모리(132) 또는 외부 메모리)에 저장될 수도 있다. 이와 관련하여, 스펙트럼 결과는 온보드 메모리로부터 또는 외부 메모리 시스템으로부터 임포트(가져오기)될 수도 있다. 또한, 컴퓨터 시스템(130)은 송신 매체를 통해 데이터를 다른 시스템으로 전송할 수도 있다. 예를 들면, 컴퓨터 시스템(130)에 의해 결정되는 파라미터 값(140)은 전달되어 외부 메모리에 저장될 수도 있다. 이와 관련하여, 측정 결과는 다른 시스템으로 엑스포트(내보내기)될 수도 있다.
- [0113] 컴퓨팅 시스템(130)은, 퍼스널 컴퓨터 시스템, 메인프레임 컴퓨터 시스템, 워크스테이션, 이미지 컴퓨터, 병렬 프로세서, 또는 기술 분야에서 공지되어 있는 임의의 다른 디바이스를 포함할 수도 있지만, 이들로 한정되지는 않는다. 일반적으로, 용어 "컴퓨팅 시스템"은, 메모리 매체로부터의 명령어를 실행하는 하나 이상의 프로세서를 구비하는 임의의 디바이스를 망라하도록 광의적으로 정의될 수도 있다.
- [0114] 본원에서 설명되는 방법과 같은 방법을 구현하는 프로그램 명령어(134)는, 와이어, 케이블, 또는 무선 전송 링크와 같은 송신 매체를 통해 송신될 수도 있다. 예를 들면, 도 1에서 예시되는 바와 같이, 메모리(132)에 저장되는 프로그램 명령어(134)는 버스(133)를 통해 프로세서(131)로 송신된다. 프로그램 명령어(134)는 컴퓨터 판독 가능 매체(예를 들면, 메모리(132))에 저장된다. 예시적인 컴퓨터 판독 가능 매체는 리드 온리 메모리, 랜덤 액세스 메모리, 자기 또는 광학 디스크, 또는 자기 테이프를 포함한다.
- [0115] 본원에서 설명되는 바와 같이, 용어 "임계 치수"는 구조물의 임의의 임계 치수(예를 들면, 하부 임계 치수, 중

간 임계 치수, 상부 임계 치수, 측벽 각도, 격자 높이, 등등), 임의의 둘 이상의 구조물 사이의 임계 치수(예를 들면, 두 구조물 사이의 거리), 및 둘 이상의 구조물 사이의 변위(예를 들면, 중첩하는 격자 구조물 사이의 오버레이 변위, 등등)를 포함한다. 구조물은 삼차원 구조물, 패턴화된 구조물, 오버레이 구조물, 등등을 포함할 수도 있다.

[0116] 본원에서 설명되는 바와 같이, 용어 "임계 치수 애플리케이션" 또는 "임계 치수 측정 애플리케이션"은 임의의 임계 치수 측정을 포함한다.

[0117] 본원에서 설명되는 바와 같이, 용어 "계측 시스템"은, 임계 치수 계측, 오버레이 계측, 초점/노광량 계측, 및 조성 계측과 같은 측정 애플리케이션을 비롯한, 임의의 양태에서 시료를 적어도 부분적으로 특징짓는 데 활용되는 임의의 시스템을 포함한다. 그러나, 기술 분야의 이러한 용어는 본원에서 사용되는 바와 같은 용어 "계측 시스템"의 범위를 제한하지는 않는다. 또한, 계측 시스템(100)은 패턴화된 웨이퍼 및/또는 패턴화되지 않은 웨이퍼의 측정을 위해 구성될 수도 있다. 계측 시스템은, LED 검사 툴, 에지 검사 툴, 이면 검사 툴, 매크로 검사 툴, 또는 다중 모드 검사 툴(하나 이상의 플랫폼으로부터의 데이터를 동시에 수반함), 및 임계 치수 데이터에 기초한 시스템 파라미터의 캘리브레이션으로부터 이익을 얻는 임의의 다른 계측 또는 검사 툴로서 구성될 수도 있다.

[0118] 시료를 프로세싱하기 위해 사용될 수도 있는 반도체 프로세싱 시스템(예를 들면, 검사 시스템 또는 리소그래피 시스템)에 대한 다양한 실시형태가 본원에서 설명된다. 용어 "시료"는, 본원에서, 웨이퍼, 레티클, 또는 기술 분야에서 공지되어 있는 수단에 의해 프로세싱될 수도 있는(예를 들면, 결함에 대해 검사 또는 인쇄될 수도 있는) 임의의 다른 샘플을 가리키기 위해 사용된다.

[0119] 본원에서 사용되는 바와 같이, 용어 "웨이퍼"는 반도체 또는 비반도체 재료로 형성되는 기판을 일반적으로 지칭한다. 예는, 단결정 실리콘, 비화 갈륨, 및 인화 인듐을 포함하지만, 그러나 이들로 제한되는 것은 아니다. 이러한 기판은 반도체 제조 설비에서 공통적으로 발견될 수도 있고 및/또는 프로세싱될 수도 있다. 몇몇 경우에서, 웨이퍼는 기판(즉, 베어 웨이퍼(bare wafer))만을 포함할 수도 있다. 대안적으로, 웨이퍼는 기판 상에 형성되는 상이한 재료의 하나 이상의 층을 포함할 수도 있다. 웨이퍼 상에 형성되는 하나 이상의 층은 "패턴화될" 수도 있거나 또는 "패턴화되지 않을" 수도 있다. 예를 들면, 웨이퍼는 반복 가능한 패턴 피쳐를 갖는 복수의 다이를 포함할 수도 있다.

[0120] "레티클"은 레티클 제조 프로세스의 임의의 스테이지에서의 레티클일 수도 있거나, 또는 반도체 제조 설비에서의 사용을 위해 방출될(released) 수도 있는 또는 방출되지 않을 수도 있는 완성된 레티클일 수도 있다. 레티클, 또는 "마스크"는, 실질적으로 불투명한 영역이 상부에 형성되며 어떤 패턴으로 구성되는 실질적으로 투명한 기판으로서 일반적으로 정의된다. 기판은, 예를 들면, 비정질의 SiO₂와 같은 유리 재료를 포함할 수도 있다. 레티클은, 레티클 상의 패턴이 레지스트로 전사될 수도 있도록, 리소그래피 프로세스의 노광 단계 동안 레지스트로 피복된 웨이퍼 위에 배치될 수도 있다.

[0121] 웨이퍼 상에 형성되는 하나 이상의 층은 패턴화될 수도 있거나 또는 패턴화되지 않을 수도 있다. 예를 들면, 웨이퍼는, 반복 가능한 패턴 피쳐를 각각 구비하는 복수의 다이를 포함할 수도 있다. 이러한 재료의 층의 형성 및 프로세싱은 궁극적으로는 완성된 디바이스로 귀결될 수도 있다. 많은 상이한 타입의 디바이스가 웨이퍼 상에 형성될 수도 있고, 본원에서 사용되는 바와 같은 용어 웨이퍼는, 기술 분야에서 공지되어 있는 임의의 타입의 디바이스가 상부에서 제조되고 있는 웨이퍼를 망라하도록 의도된다.

[0122] 하나 이상의 예시적인 실시형태에서, 설명되는 기능은 하드웨어, 소프트웨어, 펌웨어, 또는 이들의 임의의 조합으로 구현될 수도 있다. 소프트웨어로 구현되면, 기능은 하나 이상의 명령어 또는 코드로서 컴퓨터 판독 가능 매체 상에 저장되거나 또는 컴퓨터 판독 가능 매체를 통해 전송될 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 매체는 한 장소에서 다른 장소로 컴퓨터 프로그램의 전송을 가능하게 하는 임의의 매체를 포함하는 컴퓨터 저장 매체 및 통신 매체 둘 다를 포함한다. 저장 매체는 범용 컴퓨터 또는 특수 목적용 컴퓨터에 의해 액세스될 수 있는 임의의 이용 가능한 매체일 수도 있다. 비제한적인 예로서, 이러한 컴퓨터 판독 가능 매체는 RAM, ROM, EEPROM, CD-ROM 또는 다른 광 디스크 스토리지, 자기 디스크 스토리지 또는 다른 자기 스토리지 디바이스, 또는 명령어 또는 데이터 구조의 형태로 소망하는 프로그램 코드 수단을 반송(carry) 또는 저장하기 위해 이용될 수 있으며 범용 컴퓨터나 특수 목적용 컴퓨터, 또는 범용 프로세서나 특수 목적용 프로세서에 의해 액세스될 수 있는 임의의 다른 매체를 포함할 수 있다. 또한, 임의의 접속이 컴퓨터 판독 가능 매체로 적절히 칭해진다. 예를 들면, 소프트웨어가 동축 케이블, 광섬유 케이블, 연선(twisted pair), 디지털 가입자 회선(digital subscriber line; DSL), 또는 적외선, 무선, 및 마이크로파와 같은 무선 기술을 사용하여 웹사이트, 서버, 또는 다른 원격 소스로부터

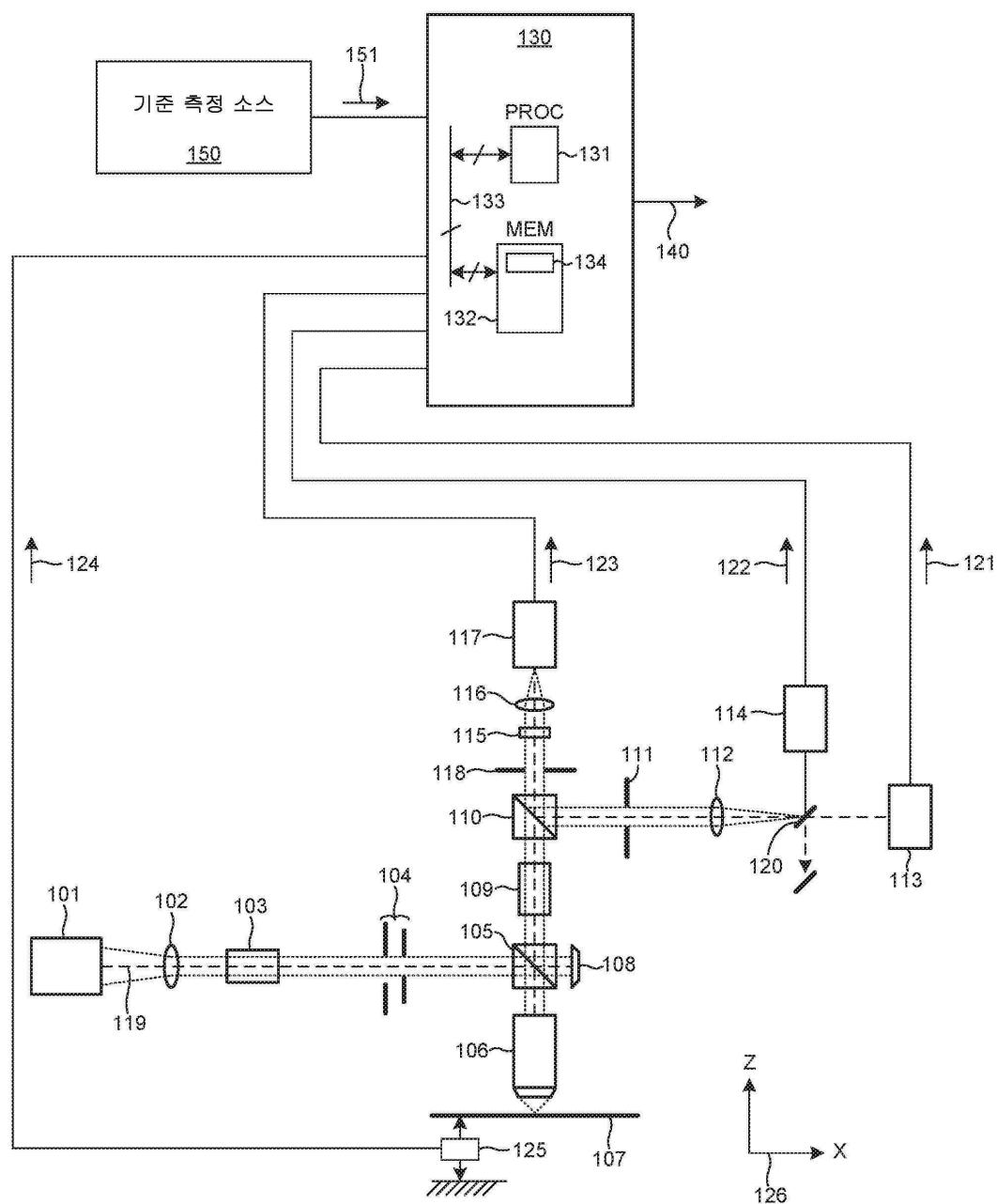
전송되면, 동축 케이블, 광섬유 케이블, 연선, DSL, 또는 적외선, 무선, 및 마이크로파와 같은 무선 기술은 매체의 정의에 포함된다. 디스크(disk) 및 디스크(disc)는, 본원에서 사용되는 바와 같이, 컴팩트 디스크(compact disc; CD), 레이저 디스크, 광학 디스크, 디지털 다기능 디스크(digital versatile disc; DVD), 플로피 디스크 및 블루레이 디스크를 포함하는데, 여기서 디스크(disk)는 일반적으로 데이터를 자기적으로 재생하고, 디스크(disc)는 레이저를 이용하여 광학적으로 데이터를 재생한다. 상기의 조합도 컴퓨터 판독가능 매체의 범위 내에 또한 포함되어야 한다.

[0123]

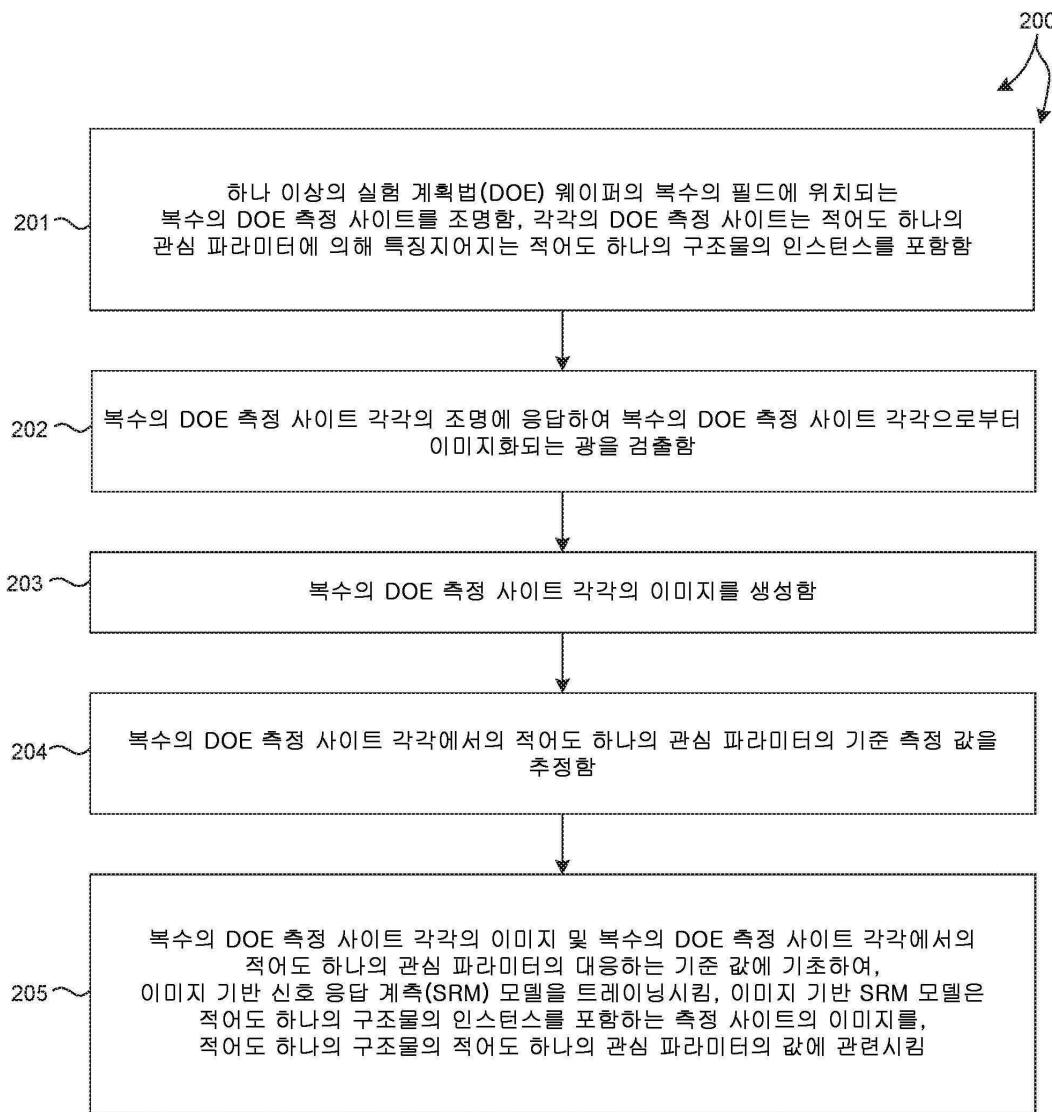
소정의 특정한 실시형태가 교수적인 목적을 위해 상기에서 설명되었지만, 본 특허 문헌의 교시는 일반적인 적용 가능성을 가지며 상기에서 설명되는 특정한 실시형태로 제한되는 것은 아니다. 따라서, 설명된 특정 실시형태의 다양한 피처의 다양한 수정예, 적용예, 및 조합은 청구범위에서 기술되는 바와 같은 본 발명의 범위를 벗어나지 않으면서 실시될 수 있다.

도면

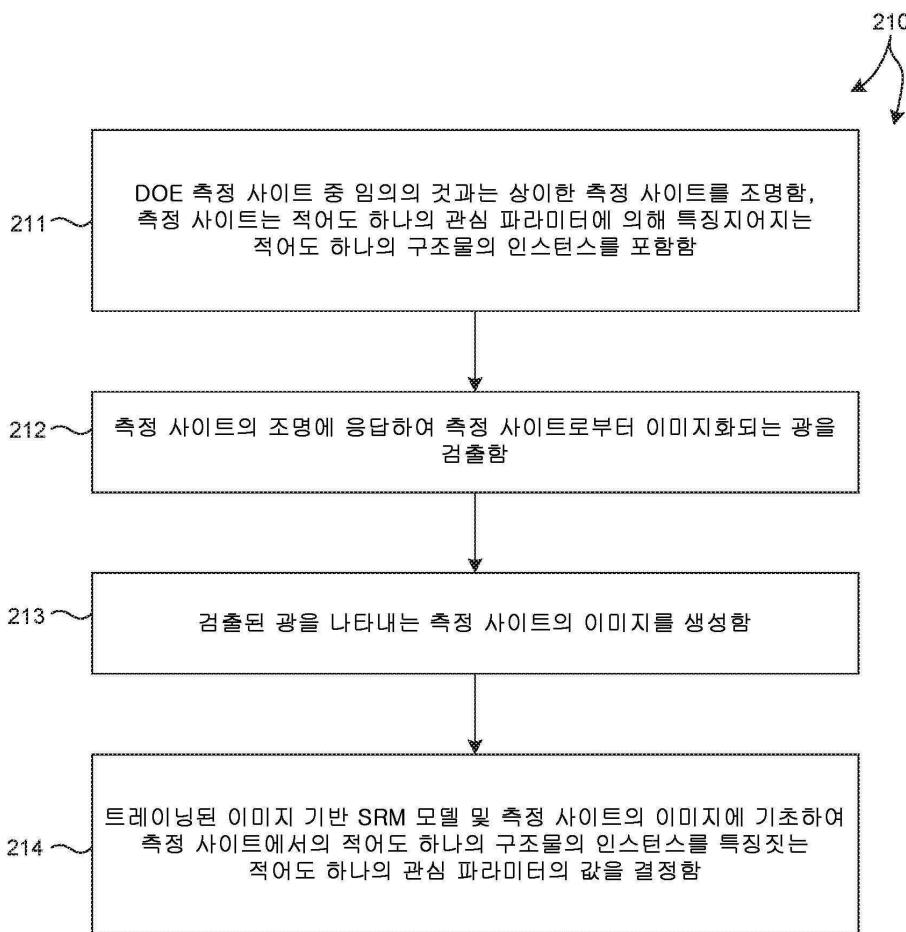
도면1



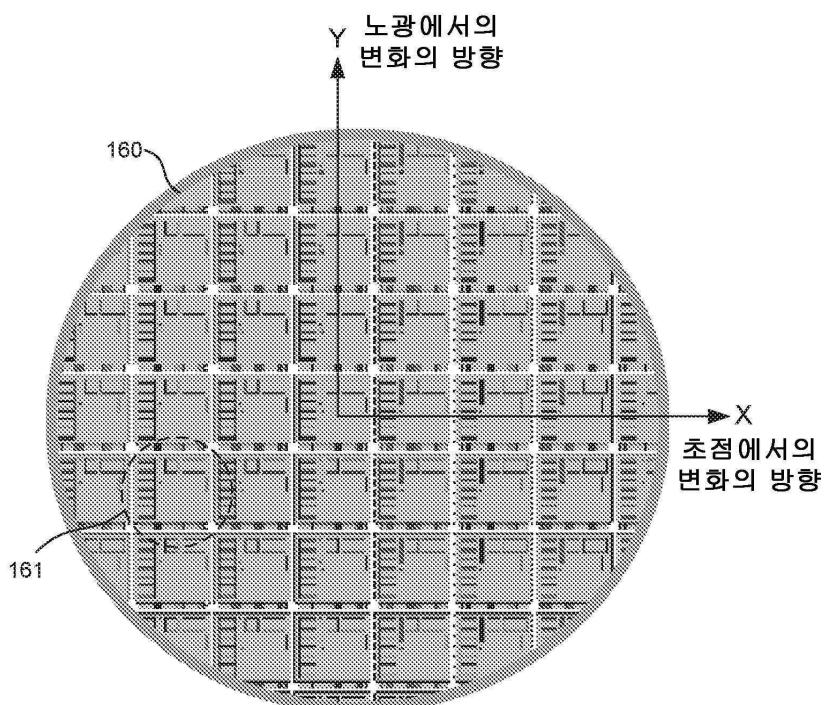
도면2



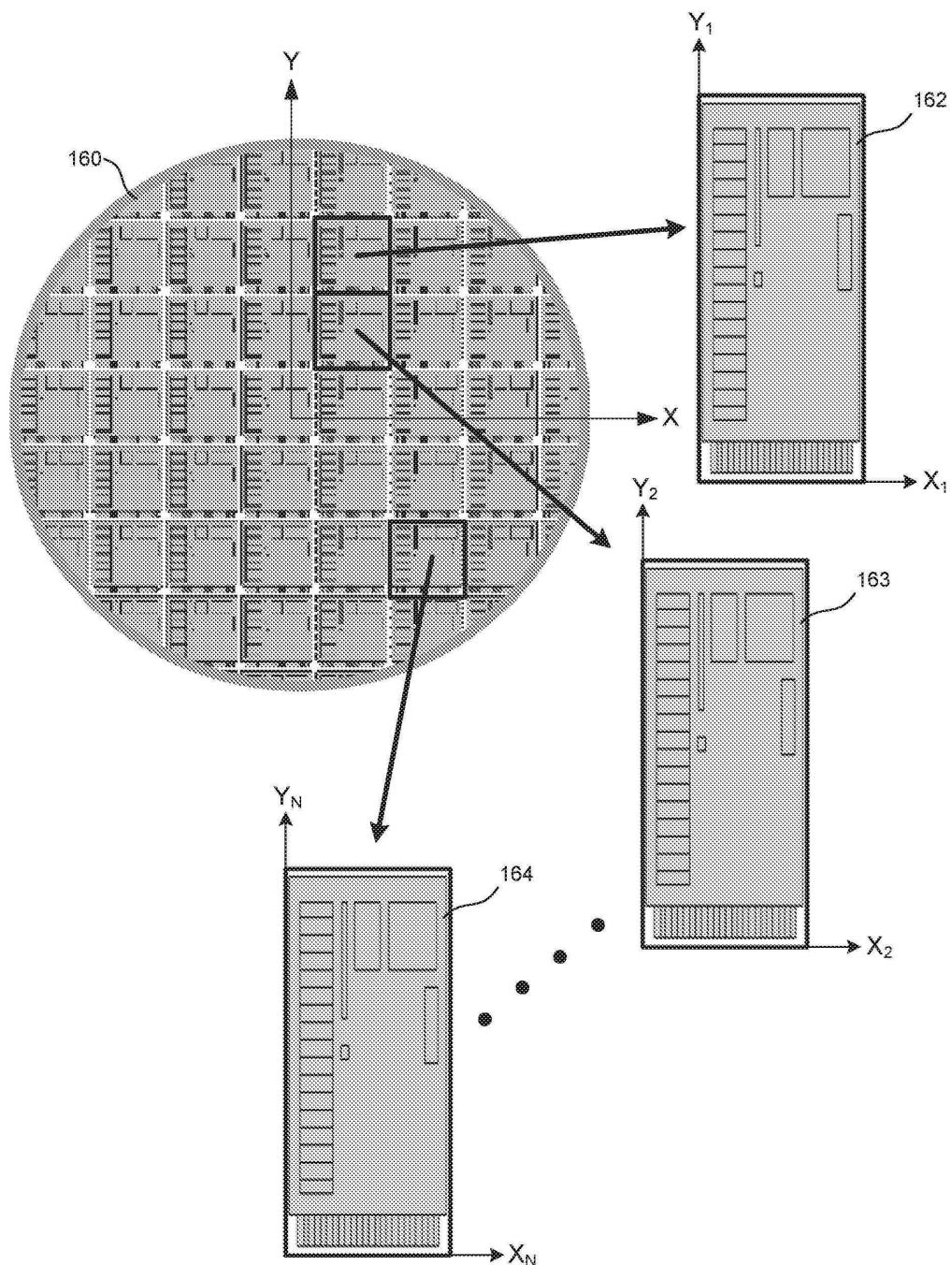
도면3



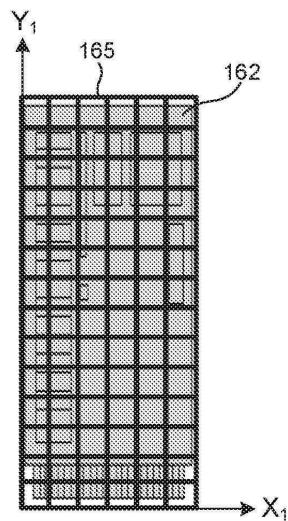
도면4



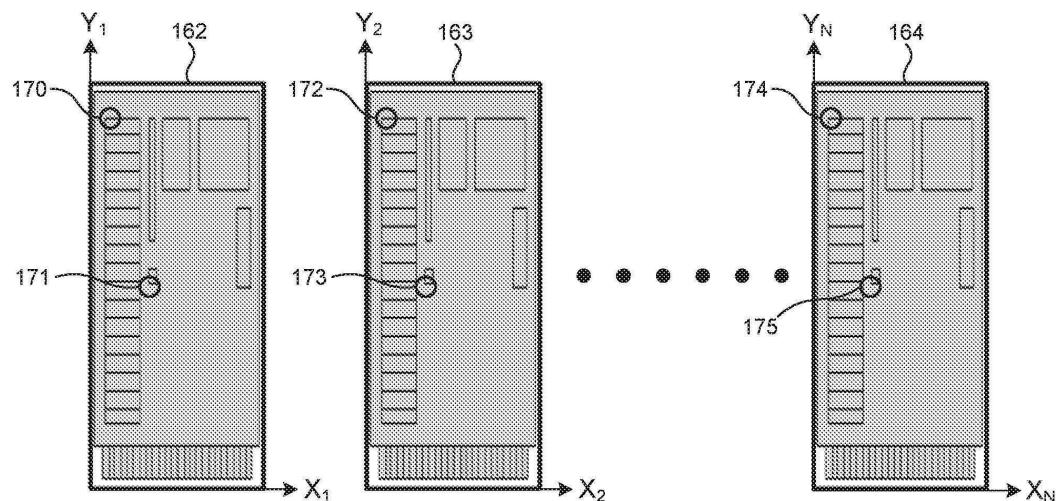
도면5



도면6



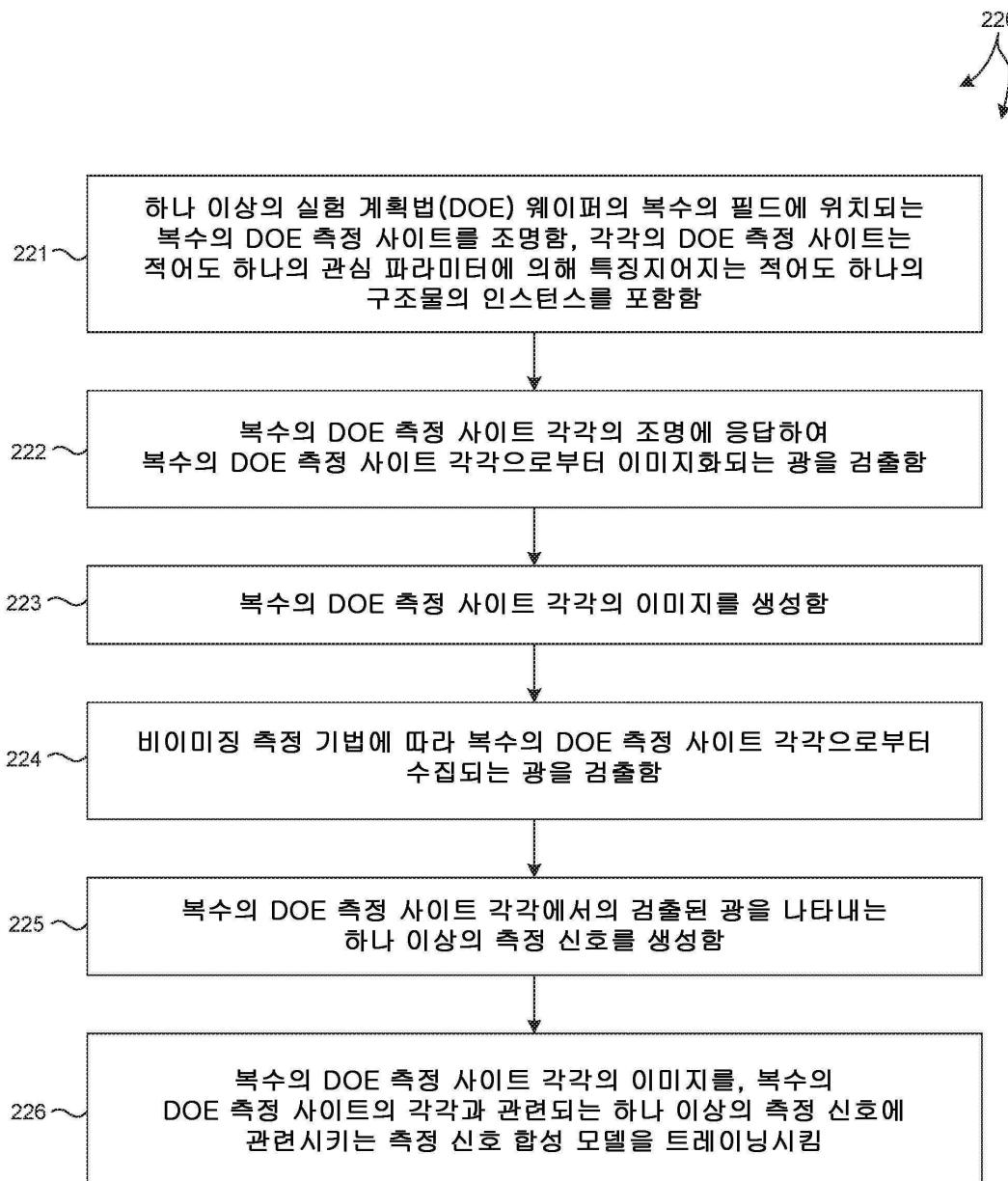
도면7



도면8

$$176 \sim \begin{bmatrix} {}^1I_{(l_1, J_1)} \\ {}^2I_{(l_1, J_1)} \\ \vdots \\ {}^NI_{(l_1, J_1)} \\ \hline {}^1I_{(l_2, J_2)} \\ {}^2I_{(l_2, J_2)} \\ \vdots \\ {}^NI_{(l_2, J_2)} \\ \hline \vdots \end{bmatrix}$$

도면9



도면10

