

(45) 공고일자 2022년06월10일
(11) 등록번호 10-2408321
(24) 등록일자 2022년06월08일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/66 (2006.01)
 - (52) CPC특허분류
H01L 22/12 (2013.01)
H01L 22/20 (2013.01)
 - (21) 출원번호 10-2018-7009448
 - (22) 출원일자(국제) 2016년09월01일
심사청구일자 2021년07월26일
 - (85) 번역문제출일자 2018년04월03일
 - (65) 공개번호 10-2018-0038064
 - (43) 공개일자 2018년04월13일
 - (86) 국제출원번호 PCT/US2016/050000
 - (87) 국제공개번호 WO 2017/040857
국제공개일자 2017년03월09일
 - (30) 우선권주장
62/214,472 2015년09월04일 미국(US)
15/250,649 2016년08월29일 미국(US)
 - (56) 선행기술조사문헌
US20150144798 A1*
US20140063490 A1
JP2003279319 A
- *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자
케이엘에이 코포레이션
 미합중국, 캘리포니아 95035, 밀피타스, 윈 테크
 놀로지 드라이브
- (72) 발명자
세즈기너 압둘라흐만 (아포)
 미국 캘리포니아주 95030 몬테 세레노 위데이 로
 드 19020
벨라 에릭
 미국 캘리포니아주 94043 마운틴 뷰 벤자민 드라
 이브 2446
 (뒷면에 계속)
- (74) 대리인
김태홍, 김진희

전체 청구항 수 : 총 21 항

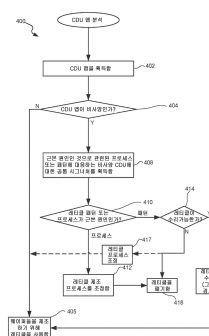
심사관 : 홍종선

(54) 발명의 명칭 모델 기반 임계 치수 측정을 위한 방법 및 시스템

(57) 요약

레티클 상의 구조체의 측정된 이미지를 획득하도록 이미징 시스템을 사용해 레티클이 검사되고, 구조체는 미지의 임계 치수(critical dimension; CD)를 가진다. 모델을 사용해, 레티클의 구조체를 형성하기 위해 사용되는 패턴을 기술하는(describe) 설계 데이터베이스를 사용해서, 계산된 이미지가 생성된다. 모델은, 구조체의 레티클 물질의 광학적 특성, 이미징 시스템의 계산 모델, 및 조정가능한 CD에 기초해 계산된 이미지를 생성한다. 측정된 이미지와 계산된 이미지간의 차이의 norm은, 구조체의 미지의 CD에 대해 최종 CD를 획득하도록, 조정가능한 CD를 조정하고, 계산된 이미지를 생성하는 동작을 되풀이하여 반복함으로써 최소화된다. 차이의 norm을 최소화하는 것은, 이미징 시스템의 하나 이상의 불확실한 파라미터와 조정가능한 CD에 대해 동시에 수행된다.

대표도 - 도4



(52) CPC특허분류

H01L 22/30 (2013.01)

(72) 발명자

가나파티 발라지

미국 캘리포니아주 94587 유니온 시티 사파이어 테
라스 1076

리우 안웨이

미국 캘리포니아주 94526 덴빌 글래스고우 서클
100

명세서

청구범위

청구항 1

레티클 상의 임계 치수 바이어스를 측정하는 방법에 있어서,

상기 레티클 상의 구조체 - 상기 구조체는 미지의 임계 치수 값을 가짐 - 의 측정된 이미지를 획득하도록 이미징 시스템을 사용해 상기 레티클을 검사하는 단계;

모델을 사용해, 상기 레티클 상에 구조체를 형성하기 위해 사용된 패턴을 기술하는(describe) 설계 데이터베이스를 사용해 계산된 이미지를 생성하는 단계 - 상기 측정된 이미지는 상기 레티클에 대해 획득되었고, 상기 모델은, 상기 구조체에 대응하는 레티클 물질의 광학 특성, 상기 이미징 시스템의 계산 모델, 및 조정가능한 임계 치수에 기초해 상기 계산된 이미지를 생성함 -;

최종 모델 임계 치수를 산출하도록, 상기 조정가능한 임계 치수를 조정하고 계산된 이미지를 생성하는 동작을 되풀이하여 반복함으로써 상기 측정된 이미지와 상기 계산된 이미지간의 차이의 놈(norm)을 최소화하는 단계 - 상기 차이의 놈을 최소화하는 단계는 상기 이미징 시스템의 하나 이상의 불확실한 파라미터와 상기 조정가능한 임계 치수에 대해 동시에 수행되고, 상기 시스템의 상기 하나 이상의 불확실한 파라미터는 초점 및 조명 강도를 포함함 -; 및

상기 미지의 임계 치수 값을, 상기 차이의 놈의 최소화를 산출한 상기 최종 임계 치수로서 규정하는 단계를 포함하는, 레티클 상의 임계 치수 바이어스를 측정하는 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 측정된 이미지는, 상기 계산된 이미지의 동일한 복수의 xy 위치에 대응하는, 복수의 xy 위치에서의 복수의 강도 값으로 이루어지는 것인, 레티클 상의 임계 치수 바이어스를 측정하는 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 측정된 이미지는 상기 이미징 시스템의 상이한 동작 파라미터들에 대해서 복수의 뷰(view)에 대해 획득된 상기 구조체의 복수의 측정된 이미지를 포함하고, 상기 계산된 이미지는 상기 복수의 뷰에 대해서 상기 구조체에 대해 복수의 계산된 이미지로 이루어지도록 생성되는 것인, 레티클 상의 임계 치수 바이어스를 측정하는 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 뷰는 반사되고 투과된 광의 검출을 포함하는 것인, 레티클 상의 임계 치수 바이어스를 측정하는 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 뷰는, 초점 오프셋, 조명의 동공 분포, 상기 조명의 편광 상태, 수집 광학기의 개구수(numerical aperture), 개구 형상, 동공 필터 설정, 또는 분석기 설정 중의 하나 이상에 대한 상이한 설정들을 포함하는 것인, 레티클 상의 임계 치수 바이어스를 측정하는 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 이미징 시스템의 계산 모델은, 상기 이미징 시스템 상에서 측정된 수차 특징을 포함하는 것인, 레티클 상의 임계 치수 바이어스를 측정하는 방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

최소화되는 상기 차이의 높은,

$$\min_{CD, p} \sum_v \sum_x \sum_y (I_{calc}(x, y, v, CD, p) - I_{meas}(x, y, v))^2 w(x, y, v) \text{ 이고,}$$

$I_{calc}(x, y, v, CD, p)$ 는 x , y 위치, 뷰 v , 임계 치수 CD , 및 하나 이상의 미지의 이미징 시스템 파라미터 p 의 함수로서 상기 계산된 이미지의 복수의 강도 값이고,

$I_{meas}(x, y, v)$ 는 x , y 위치와 뷰 v 의 함수로서 상기 측정된 이미지의 복수의 강도 값이며,

$w(x, y, v)$ 는 x , y 위치와 뷰 v 의 함수로서 복수의 가중치인 것인, 레티클 상의 임계 치수 바이어스를 측정하는 방법.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 측정된 이미지와 상기 계산된 이미지간의 차이의 높은, 측정된 이미지 픽셀 값과 계산된 이미지 픽셀 값의 차이의 제곱의 합인 것인, 레티클 상의 임계 치수 바이어스를 측정하는 방법.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 측정된 이미지와 상기 계산된 이미지간의 차이의 높은, 측정된 이미지 픽셀 값과 계산된 이미지 픽셀 값간의 차이의 절댓값의 합인 것인, 레티클 상의 임계 치수 바이어스를 측정하는 방법.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 측정된 이미지와 상기 계산된 이미지 각각은, 반사 또는 투과 모드, 조명 동공 분포, 조명 편광, 수집 동공 개구수와 형상, 초점 설정, 및 동공 필터 위상과 진폭을 포함하는 적어도 하나 이상의 이미징 파라미터에 의해 상이한, 복수의 뷰인 두 개의 뷰에서 획득된 이미지의 세트를 포함하는 것인, 레티클 상의 임계 치수 바이어스를 측정하는 방법.

청구항 11

제1항에 있어서,

최소화되는 상기 차이의 높은,

$$\min_{CD, p} \left\{ \sum_v \sum_x \sum_y \frac{(I_{calc}(x, y, v, CD, p) - I_{meas}(x, y, v))^2}{\sigma^2(x, y, v)} + \sum_i \frac{(p_i - E(p_i))^2}{\sigma^2(p_i)} \right\} \text{ 이고,}$$

$I_{calc}(x, y, v, CD, p)$ 는 x , y 위치, 뷰 v , 임계 치수 CD , 및 하나 이상의 미지의 이미징 시스템 파라미터 p 의 함수로서 상기 계산된 이미지의 복수의 강도 값이고,

$I_{meas}(x, y, v)$ 는 x , y 위치와 뷰 v 의 함수로서 상기 측정된 이미지의 복수의 강도 값이고,

$\sigma(x, y, v)$ 는 뷰 v 에서 픽셀 (x, y) 에서의 강도 측정의 불확실성이고,

p_i 는 상기 이미징 시스템의 i 번째 불확실 파라미터이고,

$E(p_i)$ 는 p_i 의 기댓값이며,

$\sigma(p_i)$ 는 p_i 의 불확실성인 것인, 레티클 상의 임계 치수 바이어스를 측정하는 방법.

청구항 12

제1항에 있어서,

상기 레티클을 가로질러 복수의 구조체에 대해 복수의 최종 임계 치수를 획득하도록, 상기 레티클을 가로질러 상기 복수의 구조체에 대해 상기 복수의 구조체 각각에 대해, 검사하는 동작, 계산된 이미지를 생성하는 동작, 높을 최소화하는 동작, 및 상기 미지의 임계 치수를 규정하는 동작을 반복함으로써, 임계 치수 균일성(critical dimension uniformity; CDU) 맵을 생성하는 단계; 및

상기 레티클이 결함이 있어 수리되거나 폐기될지, 또는 상기 레티클이 반도체 웨이퍼를 제조하기 위해 사용될지 여부를 결정하도록 상기 CDU 맵을 분석하는 단계

를 더 포함하는, 레티클 상의 임계 치수 바이어스를 측정하는 방법.

청구항 13

레티클 상의 임계 치수 바이어스를 측정하기 위한 이미징 시스템에 있어서,

입사 빔을 생성하고 이 입사 빔을 상기 레티클을 향해 지향시키기 위한 조명 광학기;

상기 입사 빔에 응답해서 상기 레티클로부터 이미지를 검출하기 위한 출력 광학기; 및

적어도 하나의 메모리와 적어도 하나의 프로세서

를 포함하고,

상기 적어도 하나의 메모리와 상기 적어도 하나의 프로세서는,

상기 레티클 상의 구조체 - 상기 구조체는 미지의 임계 치수 값을 가짐 - 의 측정된 이미지를 획득하도록 이미징 시스템을 사용해 상기 레티클을 검사하는 동작;

모델을 사용해, 상기 레티클 상에 구조체를 형성하기 위해 사용된 패턴을 기술하는 설계 데이터베이스를 사용해 계산된 이미지를 생성하는 단계 - 상기 측정된 이미지는 상기 레티클에 대해 획득되었고, 상기 모델은, 상기 구조체에 대응하는 레티클 물질의 광학 특성, 이미징 시스템의 계산 모델, 및 조정가능한 임계 치수에 기초해 상기 계산된 이미지를 생성함 -;

최종 모델 임계 치수를 산출하도록, 조정가능한 임계 치수를 조정하고 계산된 이미지를 생성하는 동작을 되풀이하여 반복함으로써 상기 측정된 이미지와 상기 계산된 이미지간의 차이의 놈(norm)을 최소화하는 동작 - 상기 차이의 놈을 최소화하는 동작은 상기 이미징 시스템의 하나 이상의 불확실한 파라미터와 상기 조정가능한 임계 치수에 대해 동시에 수행되고, 상기 시스템의 상기 하나 이상의 불확실한 파라미터는 초점 및 조명 강도를 포함함 -; 및

상기 미지의 임계 치수 값을, 상기 차이의 놈의 최소화를 산출한 상기 최종 임계 치수로서 규정하는 동작

을 개시하도록 구성되는 것인, 레티클 상의 임계 치수 바이어스를 측정하기 위한 이미징 시스템.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 측정된 이미지는, 상기 계산된 이미지의 동일한 복수의 xy 위치에 대응하는, 복수의 xy 위치에서의 복수의 강도 값으로 이루어지는 것인, 레티클 상의 임계 치수 바이어스를 측정하기 위한 이미징 시스템.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 측정된 이미지는 상기 이미징 시스템의 상이한 동작 파라미터들에 대해서 복수의 뷰에 대해 획득된 상기 구조체의 복수의 측정된 이미지를 포함하고, 상기 계산된 이미지는 상기 복수의 뷰에 대해서 상기 구조체에 대해 복수의 계산된 이미지로 이루어지도록 생성되는 것인, 레티클 상의 임계 치수 바이어스를 측정하기 위한 이

미징 시스템.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 뷰는, 반사되고 투과된 광의 검출과, 초점 오프셋, 상기 조명의 동공 분포, 상기 조명의 편광 상태, 수집 광학기의 개구수, 개구 형상, 동공 필터 설정, 또는 분석기 설정 중의 하나 이상에 대한 상이한 설정들 중 두 개 이상을 포함하는 것인, 레티클 상의 임계 치수 바이어스를 측정하기 위한 이미징 시스템.

청구항 17

제13항에 있어서,

상기 이미징 시스템의 계산 모델은, 상기 이미징 시스템 상에서 측정된 수차 특징을 포함하는 것인, 레티클 상의 임계 치수 바이어스를 측정하기 위한 이미징 시스템.

청구항 18

제13항에 있어서,

상기 측정된 이미지와 상기 계산된 이미지간의 차이의 높은, 측정된 이미지 픽셀 값과 계산된 이미지 픽셀 값간의 차이의 제곱의 합인 것인, 레티클 상의 임계 치수 바이어스를 측정하기 위한 이미징 시스템.

청구항 19

제13항에 있어서,

상기 측정된 이미지와 상기 계산된 이미지 각각은, 반사 모드 또는 투과 모드, 조명 동공 분포, 조명 편광, 수집 동공 개구수와 형상, 초점 설정, 및 동공 필터 위상과 진폭을 포함하는 적어도 하나 이상의 이미징 파라미터에 의해 상이한, 복수의 뷰인 두 개의 뷰에서 획득된 이미지의 세트를 포함하는 것인, 레티클 상의 임계 치수 바이어스를 측정하기 위한 이미징 시스템.

청구항 20

제13항에 있어서,

상기 레티클을 가로질러 복수의 구조체에 대해 복수의 최종 임계 치수를 획득하도록, 상기 레티클을 가로질러 상기 복수의 구조체에 대해, 상기 복수의 구조체 각각에 대해, 검사하는 동작, 계산된 이미지를 생성하는 동작, 노이즈를 최소화하는 동작, 및 상기 미지의 임계 치수를 규정하는 동작을 반복함으로써, 임계 치수 균일성(critical dimension uniformity; CDU) 맵을 생성하는 동작; 및

상기 레티클이 결함이 있어 수리되거나 폐기될지, 또는 상기 레티클이 반도체 웨이퍼를 제조하기 위해 사용될지 여부를 결정하도록 상기 CDU 맵을 분석하는 동작

을 더 포함하는, 레티클 상의 임계 치수 바이어스를 측정하기 위한 이미징 시스템.

청구항 21

명령어를 저장한 컴퓨터 판독가능한 매체에 있어서,

상기 명령어는,

레티클 상의 구조체 - 상기 구조체는 미지의 임계 치수 값을 가짐 - 의 측정된 이미지를 획득하도록 이미징 시스템을 사용해 상기 레티클을 검사하는 동작;

모델을 사용해, 상기 레티클 상에 구조체를 형성하기 위해 사용된 패턴을 기술하는 설계 데이터베이스를 사용해 계산된 이미지를 생성하는 동작 - 상기 측정된 이미지는 상기 레티클에 대해 획득되었고, 상기 모델은, 상기 구조체에 대응하는 레티클 물질의 광학 특성, 상기 이미징 시스템의 계산 모델, 및 조정가능한 임계 치수에 기초해 상기 계산된 이미지를 생성함 -;

최종 모델 임계 치수를 산출하도록, 상기 조정가능한 임계 치수를 조정하고 계산된 이미지를 생성하는 동작을

되풀이하여 반복함으로써 상기 측정된 이미지와 상기 계산된 이미지간의 차이의 놈(norm)을 최소화하는 동작 - 상기 차이의 놈을 최소화하는 동작은 상기 이미징 시스템의 하나 이상의 불확실한 파라미터와 상기 조정가능한 임계 치수에 대해 동시에 수행되고, 상기 시스템의 상기 하나 이상의 불확실한 파라미터는 초점 및 조명 강도를 포함함 -; 및

상기 미지의 임계 치수 값을, 상기 차이의 놈의 최소화를 산출한 상기 최종 임계 치수로서 규정하는 동작을 수행하기 위한 것인, 컴퓨터 판독가능한 매체.

청구항 22

삭제

청구항 23

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 관련 출원에 대한 상호 참조

[0002] 본 출원은 Abdurrahman Sezginer 등에 의해 "모델 기반 CD 측정(Model-Based CD Measurement)"이라는 명칭으로 2015년 9월 4일에 출원된 이전의 미국 가출원 제62/214,472호의 35 U.S.C. § 119 하의 우선권을 주장하고, 이 출원은 모든 목적을 위해 그 전체가 본 명세서에 참고용으로 병합된다.

[0003] 본 발명은 일반적으로, 예를 들면, 레티클 계측과 같은 반도체 계측 분야에 대한 것이다. 보다 구체적으로, 본 발명은 레티클 상의 피처(feature)의 치수를 측정하기 위한 방법에 대한 것이다.

배경 기술

[0004] 일반적으로, 반도체 제조 산업은 실리콘과 같은, 기판 상에 계층화되고 패터닝되는 반도체 물질들을 이용하여 집적 회로들을 제조하기 위한 높은 복잡도 기술들을 수반한다. 집적 회로는 일반적으로 복수의 레티클로부터 제조된다. 초기에, 회로 설계자는, 특별한 집적 회로(integrated circuit; IC) 설계를 기술하는(describe), 회로 패턴 데이터 또는 설계 데이터베이스를, 레티클 생산 시스템, 또는 레티클 기록기(writer)에 제공한다. 회로 패턴 데이터는, 전형적으로, 제조된 IC 디바이스의 물리적 층의 대표적인 레이아웃의 형태이다. 대표적인 레이아웃은 IC 디바이스의 각각의 물리적 층(예를 들어, 게이트 산화물, 폴리실리콘, 메탈라이제이션 등)에 대한 대표적인 층을 포함하고, 각각의 대표적인 층은 특별한 IC 디바이스의 층의 패터닝을 규정하는 복수의 다각형으로 이루어진다. 레티클 기록기는, 특별한 IC 설계를 제조하기 위해서 추후에 이용될 복수의 레티클을 기록하기 위해서 회로 패턴 데이터를 이용한다(예를 들어, 전형적으로, 전자 빔 기록기 또는 레이저 스캐너를 이용하여 레티클 패턴을 노출시킨다).

[0005] 각각의 레티클 또는 포토마스크는, 일반적으로 집적 회로와 같은 전자 디바이스 내의 공면의 피처의 패턴을 함께 규정하는, 적어도 투명 영역 및 불투명 영역, 그리고 종종 반-투명 영역 및 위상 천이(phase shifting) 영역을 포함하는 광학적 요소이다. 레티클이 포토리소그래피 동안 이용되어, 에칭, 이온 주입, 또는 다른 제조 프로세스를 위한 반도체 웨이퍼의 명시된 영역을 규정한다.

[0006] 레티클 검사 시스템은, 레티클의 생산 동안에 또는 포토리소그래피에서 이러한 레티클의 사용 후에 발생했을 수 있는, 예를 들면, 임계 치수 균일성 이슈와 같은, 결함에 대해 레티클을 검사할 수 있다. 회로 집적의 대규모 및 반도체 디바이스들의 감소하는 크기로 인해, 제조된 디바이스들은 결함들에 점점 민감하게 되었다. 즉, 디바이스에서 장애를 야기하는 결함들은 더 작아지고 있다. 따라서, 레티클의 특징을 모니터링하기 위한 향상된 검사 기술을 위한 지속적인 필요가 존재한다.

발명의 내용

[0007] 이하는, 본 발명의 특정 실시예에 관한 기본적인 이해를 제공하기 위한 개시 내용(disclosure)의 단순화된 요지를 제공한다. 이러한 요지는 개시 내용의 광범위한 개관이 아니고, 본 발명의 주요/중요 요소를 식별하거나 발명의 범위를 묘사하는 것이 아니다. 그 유일한 목적은 본원에서 개시된 일부 개념을, 추후에 제시되는 보다 구

체적인 설명에 대한 전조로서, 단순화된 형태로 제시하는 것이다.

[0008] 일 실시예에서, 레티클 상의 임계 치수 바이어스를 측정하기 위한 방법 및 장치가 개시된다. 레티클 상의 구조체의 측정된 이미지를 획득하도록 이미징 시스템을 사용해 레티클이 검사되고, 구조체는 미지의 임계 치수(critical dimension; CD)를 가진다. 모델을 사용해, 레티클 상에 구조체를 형성하기 위해 사용되는 패턴을 기술하는 설계 데이터베이스를 사용해서, 계산된 이미지가 생성된다. 모델은, 구조체의 레티클 물질의 광학적 특성, 이미징 시스템의 계산 모델, 및 조정가능한 CD에 기초해 계산된 이미지를 생성한다. 측정된 이미지와 계산된 이미지간의 차이의 놈(norm)은, 구조체의 미지의 CD에 대해 최종 CD를 획득하도록, 조정가능한 CD를 조정하고, 계산된 이미지를 생성하는 동작을 되풀이하여 반복함으로써 최소화된다. 차이의 놈을 최소화하는 것은, 이미징 시스템의 하나 이상의 불확실한 파라미터와 조정가능한 CD에 대해 동시에 수행된다.

[0009] 특정 실시예에서, 측정된 이미지는, 계산된 이미지의 동일한 복수의 xy 위치에 대응하는, 복수의 xy 위치에서의 복수의 강도 값으로 이루어진다. 추가적인 양상에서, 측정된 이미지는 검사 툴(tool)의 상이한 동작 파라미터에 대해서 복수의 뷰(view)에 대해 획득된 구조체의 복수의 측정된 이미지를 포함하고, 계산된 이미지는 복수의 뷰에 대해서 구조체에 대해 복수의 계산된 이미지로 이루어지도록 생성된다. 또 다른 양상에서, 뷰는 반사되고 투과된 광의 검출을 포함한다. 추가적인 실시예에서, 뷰는, 초점 오프셋, 조명의 동공 분포, 조명의 편광 상태, 수집 광학기의 개구수, 개구 형상, 동공 필터 설정, 또는 분석기 설정 중의 하나 이상에 대한 상이한 설정들을 포함한다.

[0010] 또 다른 양상에서, 이미징 시스템의 계산 모델은, 이미징 시스템 상에서 측정된 수차 특징을 포함한다. 또 다른 양상에서, 측정된 이미지와 계산된 이미지간의 차이의 놈(norm)은, 측정된 이미지 픽셀 값과 계산된 이미지 픽셀 값의 차이의 제곱의 합이다. 대안적인 실시예에서, 측정된 이미지와 계산된 이미지간의 차이의 놈은, 측정된 이미지 픽셀 값과 계산된 이미지 픽셀 값의 차이의 절댓값의 합이다. 또 다른 실시예에서, 시스템의 하나 이상의 불확실한 파라미터는 초점과 조명 강도 중 하나 이상을 포함한다. 특정 예시에서, 측정된 이미지와 계산된 이미지 각각은, 반사 모드 또는 투과 모드, 조명 동공 분포, 조명 편광, 수집 동공 개구수와 형상, 초점 설정, 및 동공 필터 위상과 진폭을 포함하는 적어도 하나 이상의 이미징 파라미터에 의해 상이한, 복수의 뷰인 두 개의 뷰에서 획득된 이미지의 세트를 포함한다.

[0011] 또 다른 예시에서, 레티클을 가로질러 복수의 구조체에 대해 복수의 최종 임계 치수를 획득하도록, 레티클을 가로질러 복수의 구조체에 대해, 복수의 구조체 각각에 대해, 검사하는 동작, 계산된 이미지를 생성하는 동작, 놈을 최소화하는 동작, 및 미지의 임계 치수를 규정하는 동작이 반복됨으로써, 임계 치수 균일성(critical dimension uniformity; CDU) 맵을 생성한다. 레티클이 결함이 있어 수리되거나 폐기될지, 또는 레티클이 반도체 웨이퍼를 제조하기 위해 사용될지 여부를 결정하도록 CDU 맵이 분석된다.

[0012] 대안적인 실시예에서, 본 발명은 레티클 상의 임계 치수 바이어스를 측정하기 위한 검사 시스템에 관한 것이다. 시스템은 입사 빔을 생성하고 생성된 입사 빔을 레티클 상으로 지향시키기 위한 조명 광학기와, 입사 빔에 응답해서 레티클로부터 실제 이미지를 검출하기 위한 출력 광학기를 포함한다. 시스템은, 적어도 하나의 메모리와, 상기 설명된 동작 중 하나 이상을 시작(initiate)하도록 구성되는 적어도 하나의 프로세서를 더 포함한다. 다른 실시예에서, 본 발명은 상기 설명된 동작들 중 적어도 일부를 수행하기 위한 명령어를 저장한 컴퓨터 판독가능한 매체에 대한 것이다.

[0013] 본 발명의 이러한 그리고 다른 양태가 도면을 참조하여 이하에서 더 설명된다.

도면의 간단한 설명

[0014] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 임계 치수(CD) 측정 프로세스의 흐름도이다.

도 2는 마스크 상의 3차원 패턴의 물리적 모델의 표현의 단면도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따라 계산된 레티클 이미지와 측정된 레티클 이미지간의 회귀 분석의 수행으로부터의 결과의 그래프이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따라 CD 균일성(CD uniformity; CDU) 맵 분석 절차를 예증하는 흐름도이다.

도 5는 본 발명의 기술이 구현될 수 있는 예시적인 검사 시스템의 도해적 표현이다.

도 6a는 특정 실시예에 따라 마스크 패턴을 포토마스크로부터 웨이퍼 상으로 전사하기 위한 리소그래픽 시스템의 단순화된 개략 표현이다.

도 6b는 특정 실시예에 따라 포토마스크 검사 장치의 개략적 표현을 제공한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0015] 이하의 설명에서, 수 많은 구체적인 상세 내용은 본 발명의 완전한 이해를 제공하기 위해서 기술된 것이다. 본 발명은 이러한 구체적인 상세 내용의 일부 또는 전부가 없이도 실시될 수 있다. 다른 경우들에서, 잘 알려진 프로세스 동작들은 본 발명을 불필요하게 모호하게 하지 않기 위해 구체적으로 설명되지 않았다. 본 발명이 구체적인 실시예와 함께 설명될 것이지만, 본 발명이 이들 특정 실시예로 제한되는 것으로 의도되지 않음을 이해할 것이다.
- [0016] 본 발명의 특정 실시예는 레티클 피처의 결함, 또는 보다 구체적으로, 레티클 피처의 임계 치수(CD)와 같은, 특징 변이를 검출하도록 레티클을 검사하기 위한 기술 및 시스템을 제공한다. 비록 하기의 예시적인 실시예가 레티클에 대해 설명되지만, 임의의 적절한 유형의 샘플(예를 들면, 웨이퍼)이 이러한 기술 또는 시스템을 사용해 모니터링될 수 있다. 추가적으로, 하기의 예시적인 실시예는, CD 변이 외에도, 예를 들면, 높이 균일성, 측벽 각도 균일성, 표면 조도 균일성, 펠리클 투과율 균일성, 석영 투과율 균일성 등과 같은 다른 샘플 특징을 모니터링하는데 적용될 수 있다.
- [0017] 용어 "레티클"은 예를 들면, 유리와 같은 투명 기관, 보로실리케이트 유리, 석영, 또는 그 자신 상에 형성된 불투명 물질층을 갖는 용융 실리카를 포함한다. 불투명 (또는 실질적으로 불투명) 물질은, 포토리소그래피 광(예를 들면, 딥 UV)을 완전히 또는 부분적으로 차단하는 임의의 적절한 물질을 포함할 수 있다. 예시적인 물질은, 크롬, 몰리브덴 실리사이드(MoSi), 탄탈륨 실리사이드, 텅스텐 실리사이드, 유리 상의 불투명 MoSi(OMOG) 등을 포함한다. 폴리실리콘막은 접착을 향상시키도록 불투명 층과 투명 기관 사이에 또한 추가될 수 있다. 예를 들면, 몰리브덴 산화물(MoO₃), 텅스텐 산화물(WO₃), 티타늄 산화물(TiO₂), 또는 크롬 산화물(CrO₂)과 같은, 저반사성막이 불투명 물질 위에 형성될 수 있다.
- [0018] 용어 레티클은, 비제한적으로, 클리어 필드(clear-field) 레티클, 다크 필드(dark-field) 레티클, 이진 레티클, 위상 변위 마스크(phase-shift mask; PSM), 교번(alternating) PSM, 감쇄형 또는 하프톤 PSM, 3진(ternary) 감쇄형 PSM, 및 무 크롬(chromeless) 위상 변위 리소그래피 CPL 마스크를 포함하는 상이한 유형의 레티클을 지칭한다. 클리어 필드 레티클은 투명 필드 또는 배경 영역을 가지며, 다크 필드 레티클은 불투명 필드 또는 배경 영역을 가진다. 이진 레티클은 투명하거나 불투명 패턴닝된 영역을 갖는 레티클이다. 예를 들면, 크롬 금속 흡수 막에 의해 규정된 패턴을 갖는 투명 용융 실리카 블랭크(blank)로부터 제조된 포토마스크가 사용될 수 있다. 이진 레티클은 위상 변위 마스크(PSM)와는 상이하고, 위상 변위 마스크(PSM)의 한 유형은 광을 단지 부분적으로 투과시키는 막을 포함할 수 있으며, 이들 레티클은 하프톤 또는 매립된 위상 변위 마스크(embedded phase-shift mask; EPSM)라고 일반적으로 지칭될 수 있다. 위상 변위 물질이 레티클의 교번하는 빈 공간 상에 배치되면, 레티클은 교번 PSM, ALT PSM, 또는 레벤슨(Levenson) PSM이라고 지칭된다. 임의의 레이아웃 패턴에 적용되는 위상 변위 물질의 한 유형은, 불투명 물질을 부분적으로 투명형 즉, "하프톤" 막으로 대체시킴으로써 제조될 수 있는, 감쇄형 또는 하프톤 PSM이라고 지칭된다. 3진 감쇄형 PSM는, 완전히 불투명 피처를 또한 포함하는 감쇄형 PSM이다.
- [0019] 일반적으로, 불투명, 흡수형, 부분적으로 불투명한, 위상 변위 물질은, 임계 치수(CS) 폭으로 설계되고 형성되는 패턴 구조체로 형성되며, 이는 또한 CS를 갖는 구조체들간의 빈 공간을 또한 초래한다. 특정 CD 값은 일반적으로 특정 레티클 피처가 포토리소그래피 프로세스에서 어떻게 웨이퍼로 전사되는지에 영향을 줄 수 있고, 이러한 CD는 이 전사 프로세스를 최적화하도록 선택된다. 또 다른 방식으로 말하자면, 특정 레티클 피처의 CD 값이 명시된 CS 범위 내에 있으면, 이러한 CD 값은, 회로 설계자에 의해 의도된 바와 같이, 산출되는 집적 회로의 적절한 동작을 허용하는 대응 웨이퍼 피처의 제조를 초래할 것이다. 피처는 집적 칩 면적을 보전하도록, 동작 회로를 또한 초래하는 최소 치수로 일반적으로 형성된다.
- [0020] 새롭게 제조된 레티클은 CD (또는 다른 막 또는 패턴 특징) 결함 이슈를 포함할 수 있다. 예를 들면, 레티클은 예를 들면, 마스크 기록기 스와스 오류(swath-error)와 같은, 결함 CD 영역을 가질 수 있다. 레티클은 많은 상이한 방식으로 시간에 따라 또한 손상될 수 있다. 제1 열화 예시에서, 포토리소그래피 노출 프로세스는 레티클의 불투명 물질의 물리적 열화를 초래할 수 있다. 예를 들면, 레티클 상에서 사용되는, 예를 들면, 193 nm에서 고전력 딥 자외선(ultra violet; UV) 빔과 같은, 고전력 빔은, 레티클 상의 불투명 물질에 대해 물리적으로 손상을 야기할 수 있다. 손상은, 예를 들면, 248 nm UV 빔과 같은 다른 파장에 의해 또한 야기될 수 있다. 효과상, UV 빔은 레티클 상의 불투명 패턴이 물리적으로 쇠퇴되게(slump) 하여, 피처가 평평하게 야기될 수 있다.

결과로서, 불투명 피처가 원래 CD 폭과 비교해서 상당히 더 큰 CD 폭을 가질 수 있는 한편, 이러한 불투명 피처들 사이의 간격은 원래의 CD 폭과 비교해서 훨씬 더 작은 CD 폭을 가질 수 있다. 다른 유형의 CD 열화는 레티클 피처(MoSi)와 노출광간의 화학적 반응, 세정 프로세스, 오염 등에 의해 야기될 수 있다. 이들 물리적 효과는 또한 시간에 따라 레티클의 임계 치수들(CD's)에 부정적인 영향을 끼칠 수 있다.

[0021] 이 열화의 결과로서, 레티클을 가로질러 CD 균일성에 영향을 끼치고 웨이퍼 수율에 부정적인 영향을 끼치도록, 피처 CD 값은, 상당히 변경되었을 수 있다. 예를 들면, 마스크의 부분 내의 마스크 피처 폭은 원래의 라인 폭 CD보다 상당히 더 클 수 있다. 예를 들면, CD 비균일성의 방사상 패턴이 존재할 수 있으며, 레티클의 중심은 레티클의 에지와는 상이한 CD를 가진다.

[0022] 특정한 이전의 CD 측정 기술은 테스트 중인 물체(object)의 디지털화된 이미지를 활용한다. 강도 문턱값이 이미지와, 이 문턱값과 동일한 강도 이미지가 발견되는 에지의 위치에 적용된다. 그런 다음, 이들 에지들 사이의 거리가 결정될 수 있다. 하나의 구현에서, 문턱값은 이소-포컬(iso-focal)이 되도록 선택되어, 초점을 변경시키는 것이 측정을 최소한으로 교란시키게 된다.

[0023] 레티클 이미지 상에서 수행되는, 이 치수 측정 기술은 이미징 시스템 내의 강도 스케일과 수차에서의 오류에 민감하다. 추가적으로, 정확한 이소-포컬 조건이 항상 달성 가능하지는 않다. 레티클과의 조명의 상호작용은 또한 정확하게 고려되지 않는다. 따라서, 측정된 거리의 기하학적 또는 물리적 의미는 특히 임의의 2차원 패턴에 대해 불명확하여, CD 측정 정확성에 대해 용인가능하지 않은 레벨을 야기한다.

[0024] 본 발명의 특정 기술에서, 테스트 중인 물체(예를 들면, 레티클)가 조명되고, 이 물체의 이미지가 검출기 상에 형성된다. 그런 다음, 검출기의 출력이 디지털화되고 추가적으로 프로세싱된다. 그런 다음, 피처의 임계 치수(CD)는 계산 모델에 의해 계산된 이미지를, 이미징 시스템에 의해 획득된 (측정된) 이미지에 반복해서 피팅(fitting)시킴으로써 측정될 수 있다. 검사 툴의 해상도 한도에 있는 패턴을 레티클이 가지지만, 이 모델은 레티클로부터 획득된 이러한 실제 이미지와 비교될 수 있도록 이미지를 시뮬레이팅할 수 있다.

[0025] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 레티클 검사 프로세스(100)의 흐름도이다. 도시된 바와 같이, 레티클(102)은 레티클 이미지(106)를 획득하도록 이미징 시스템(104)에 제공될 수 있다. 레티클은 설계 데이터베이스에 기초해 제조되었다. 레티클 이미지(106)는 예를 들면, 캘리포니아주 밀피타스 소재의 케이엘에이-텐코 코포레이션으로부터 이용가능한 테론(Teron, 640)과 같은, 임의의 툴을 사용해 획득될 수 있다. 레티클 이미지(106)는 일반적으로 이미지 또는 필드 평면 내에서 획득된 흐릿해진 이미지(예를 들면, 레티클 패턴의 흐릿해진 복제품)이다. 하기 설명이 단일 레티클 구조체와, 그 대응 이미지(들)와, 시뮬레이팅된 이미지(들)에 대한 것이지만, 이 기술은 레티클 상의 다수의 구조체의 다수의 이미지에 적용될 수 있다.

[0026] 각 레티클 이미지(계산되고 측정됨)는 또한 복수의 xy 좌표 또는 강도 픽셀의 어레이에서의 복수의 강도 값으로 이루어질 것이다. 하나 이상의 레티클 이미지는, 예를 들면, 레티클로부터의 반사되고 그리고/또는 투과된 광의 검출, 특정 파장, 초점 오프셋, 조명의 동공 분포, 조명의 편광 상태, 수집 광학기의 개구수, 개구 형상, 동공 필터 설정, 분석기 설정 등과 같은, 다양한 이미징 조건 또는 "뷰" 또는 "v" 설정하에서 또한 획득될 수 있다. 예를 들면, 상이한 위상 및 진폭 설정들이 조명 및/또는 수집 동공에서의 상이한 위치들에 대해 설정될 수 있다. 또 다른 예시에서, 상이한 S 또는 P 편광이 선택될 수 있다. 요컨대, 검사 툴의 조명 및/또는 수집 설정의 다양한 조합이 레티클 이미지를 획득하도록 사용될 수 있다.

[0027] 따라서, 레티클 이미지의 각 세트는 복수의 상이한 x,y와 하나 이상의 뷰 설정에서 복수의 강도 값에 대응할 것이다. 다수의 레티클 이미지를 획득하도록 다수의 뷰가 사용될 때, 레티클 이미지의 세트는 상이한 x,y,v 값들에 의해 인덱싱되는 강도 값의 세트로서 표현될 수 있다. 단일 뷰로부터의 레티클 이미지가 데이터의 풍부한 소스(즉, 상이한 레티클 위치들에서의 강도 값)를 제공하는 한편, 상이한 뷰들에서 획득된 이미지는 이하에서 더 설명되는 바와 같이 CD를 발견하기 위한 프로세싱 기술을 위해 훨씬 더 많은 데이터를 제공한다.

[0028] 이미징되고 있는 레티클 상의 동일 패턴/구조체를 위한 설계 데이터베이스(108)는, 이러한 패턴/구조체에 대해 계산된 레티클 이미지(112)를 생성하도록 계산 모델(110)에 또한 공급될 수 있다. 설계 데이터베이스는, 예를 들면, 레티클이 제조된 직후에 수행되는, 다이 대 데이터베이스 결함 검사시에 통상적으로 이용가능할 것이다. 설계 데이터베이스(108)는 레티클(102) 상의 패턴 및 구조체의 설명을 포함한다. 일 예시에서, 그레이스케일 값을 갖는 데이터베이스(DB) 이미지는 데이터베이스 다각형 또는 2차원 형상으로부터 래스터화된다. 이러한 데이터베이스는 OASIS, MEBES, 또는 GDSII 포맷의 파일에 의해 통상적으로 송신된다.

[0029] 모델은, 상수와 하나 이상의 조정가능한 파라미터(예를 들면, CD)를 포함하는, 검사 툴 파라미터와 구조/패턴의

주어진 세트에 대해 상이한 계산된 이미지들을 생성하도록 임의의 적절한 방식으로 구성될 수 있다. 각각의 라인 피쳐 및 그 둘러싸는 이웃 또는 배경의 모델링된 이미지 클립이 생성될 수 있다. 일반적으로, 모델은, 레티클 이미지를 획득하도록 실제 레티클 상에서 사용될 특정 이미징 툴의 광학적 특성을 시뮬레이팅한다.

[0030] 각 모델링된 이미지 클립은 특정 타겟 구조체와, 이러한 특정 타겟으로부터의 특정 거리 내의 그 둘러싸는 이웃에 기초해 바람직하게 생성된다. 클립의 크기는 타겟과 이러한 타겟으로부터의 거리에 종속되며, 이 거리 내에서 임의의 이웃 구조체는 산출된 모델링된 타겟 이미지에 대해 광학적 효과를 아마도 가질 수 있다. 예를 들면, 이미지 클립은 피쳐와, 피쳐로부터 이미징 시스템의 점 확산 함수(point-spread-function)의 10배인 거리 내에 있는 임의의 이웃 피쳐 또는 영역을 포함하도록 크기가 정해질 수 있다. 모델은, 검사 툴 또는 모델링되고 있는 어떠한 이미징 광학 툴 내에 존재할 광학 효과의 적어도 일부를 포함할 것이다. 예시적인 모델은 케이엘에이-텐코의 레티클 검사 시스템 등에서 사용되는 데이터베이스 렌더링 모델을 포함한다.

[0031] 예를 들면, 레티클 상에 테스트 중인 패턴의 설명은 모델에 입력된다. 일반적으로, 테스트 중인 구조체의 설명과 그 둘러싸는 배경은 통상적으로 설계 데이터베이스로부터 획득되고 모델에 입력된다. 즉, 검사되고 있는 특정 구조체의 위치는, 설계 데이터베이스로부터 대응 구조체와 그 주위의 배경의 설명을 검색하도록 사용된다. 테스트 중인 패턴에 대한 다른 모델 입력 파라미터는 레티클 물질의 광학적 특성을 포함할 수 있다.

[0032] 모델은, 상수 파라미터와 하나 이상의 조정가능한 파라미터(CD를 포함함)를 포함하는, 패턴 파라미터의 주어진 세트에 대해 상이한 계산된 이미지들을 생성하도록 임의의 적절한 방식으로 구성될 수 있다. 예를 들면, 레티클 상의 패턴의 설명은 모델에 입력된다. 패턴 모델 파라미터는 패턴의 프로파일 치수, 레티클 물질의 광학적 특성 등을 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 레티클 상에 에칭되는 패턴의 에지의 프로파일은 일정하다(constant)고 가정된다. 가장 간단한 구현에서, 에지는 수직이라고 가정된다. 도 2는 마스크 상의 3차원 패턴(200)의 물리적 모델의 표현의 단면도이다. 마스크 패턴은 레티클 기판 상에 퇴적된 층의 스택 내로 에칭된다. 도시된 바와 같이, 패턴 표현(200)은 레티클의 기판(202) 상으로 패턴닝된 제1 층(204a) 및 제2 층(204b)을 가진다. 각 층의 굴절률과 두께의 실수 부분과 허수 부분이 계산 모델 내로 입력될 수 있다. 실제 레티클의 에칭되지 않은 막 스택의 굴절률과 두께(예를 들면, t_1 과 t_2)는 다윈 분광기에 의해 측정될 수 있다. 마스크 패턴은 조정가능한 연관된 CD를 또한 가질 것이다.

[0033] 검사 툴의 광학 구성이 또한 모델링될 수 있다. 추가적으로, 검사 툴의 수차가 주기적으로 특징화되고 측정되며 모델 내로 입력될 수 있다. 예를 들면, 간섭 측정 기술은 검사 툴의 수차를 측정하기 위해 사용될 수 있다.

[0034] 진단 구조체를 사용해 수차를 측정하기 위한 또 다른 접근법은, 모든 목적을 위해 그 전체로서 참조에 의해 본 명세서에 병합되는, Qiang Zhang 등에 의해 2016년 5월 10일에 발행된 미국 특허 9,335,206호에서 더 설명된다. 하나의 접근법에서, 진단 테스트 패턴은, 가능한한 균일하게 동공을 실질적으로 채우도록, EUV 광 강도를 회절 시키도록 설계된다. 추가적으로, 진단 마스크 실시예는, 이미징되는 테스트 구조체와 이미징되는 배경간의 고 대비를 초래하는, 테스트 구조체와 주위의 배경 물질을 포함한다.

[0035] 진단 마스크의 테스트 패턴의 임계 측방향 치수는, 투사 광학기의 해상도와 비슷하거나 그 미만이 되도록 설계될 수 있다. 일 실시예에서, 테스트 패턴은 수십 나노미터(nm) 이하이다. 진단 마스크는, 테스트 구조체가 EUV 광 하에 이미징될 때 고 광학 해상도를 제공하면서, 매우 선명한(fine) 해상도 레벨에서 리소그래피 패턴닝을 지원하도록 또한 설계될 수 있다.

[0036] 일 실시예에서, 진단 마스크는, 고 굴절률 대비를 갖는 두 개의 교번 저흡수 물질로 이루어진, 얇은 EUV 다층(multilayer; ML) 반사기 설계에 기초한다. 통상적으로 Mo/Si 이중층의 40 내지 60개의 쌍을 포함하는, 제조 레티클 상에서 보이는 반사기와 대조적으로, 진단 마스크는 약 15개 이하 또는 약 10개 이하, 예를 들면, 5개 쌍의 Mo/Si 이중층을 갖는 ML 필라(pillar) 또는 핀홀을 포함한다. ML 부분의 10개 미만의 이중층 또는 쌍을 사용한 결과는, 다중층 반사기의 대역폭이 상당히 증가된다는 것이다. 추가적으로, 이중층(예를 들면, Mo/Si)의 두께 또는 주기는, 해당 각도 범위 내의 반사도를 더 평탄화(flatten out)시키도록 약 7.0 nm와 7.5 nm 사이의 범위에 대해 조절될 수 있다.

[0037] 일반적으로, 파면 수차는, 검사 이미징 시스템을 사용해, 그 파면이 측정될 진단 테스트 구조체 상에서 캡처된 이미지에 기초해 위상 검색 방법에 의해 측정될 수 있다. 진단 구조체의 이상화된, 이탈되지 않은 이미지가 계산되고 그 대응하는 측정된 이미지와 비교되어, 검사 시스템의 수차의 특징화를 획득한다. 그 논문이 참조에 의해 본 명세서에서 병합되는, P. Dirksen et al, "Characterization of a projection lens using the extended Nijboer-Zernike approach", Proceedings of SPIE v4691, 1392 (2002)에서 설명된 기술과 같은, 위상 검색 기

술이 사용될 수 있다.

- [0038] 계산된 레티클 이미지를 형성하기 위한 모델을 다시 참조하면, 다른 모델 파라미터는, 레티클로부터의 반사되고 그리고/또는 투과된 광의 검출, 특정 파장, 초점 오프셋, 조명의 동공 분포, 조명의 편광 상태, 수집 광학기의 개구수, 개구 형상, 동공 필터 설정, 분석기 설정 등을 포함할 수 있는 그러한 툴의 뷰 설정뿐만 아니라, 검사 툴의 설명을 일반적으로 포함할 것이다. 모델 레티클 이미지는, 실제 측정된 레티클 이미지를 획득하도록 사용된 뷰에 대해 생성될 수 있다.
- [0039] 일반적으로 계산적 모델은, 조명이, 레티클 상에 에칭되는 특정 패턴 또는 구조체와 어떻게 상호작용하는지를 계산한다. 이 목적을 위해, 엄밀한 결합 파동 분석(Rigorous Coupled Wave Analysis: RCWA) 방법이 사용될 수 있다. 예를 들면, 유한 차분 시간 도메인(Finite-Difference Time-Domain; FDTD), 경계 적분 등식, 부피 적분 등식, 유한 요소 방법(finite element method; FEM), 스펙트럼 요소 방법, 키르코프 근사(Kirchhoff Approximation)와 같은 다른 방법이 가능하다.
- [0040] 계산 모델은 정확하게 알려지지 않은 조정가능한 파라미터를 가진다. 가장 의미있는 조정가능한 파라미터는, 결정될/측정될 양, 즉, 임계 치수(CD)이다. 설계 데이터베이스는, 의도된 치수를 갖는 패턴닝된 구조체를 포함하고, 실제 레티클은 예를 들면, CD 바이어스에 의해, 이러한 의도된 치수로부터 벗어날 수 있는 대응하는 패턴닝된 구조체를 가진다. 설계 데이터베이스 구조체의 치수는 조정되고, 그런 다음, 이러한 조정된 패턴에 대해 산출된 이미지를 계산하도록 사용될 수 있다.
- [0041] CD에 추가적으로, 모델은 다른 조정가능한 파라미터를 가질 수 있다. 예를 들면, 예를 들면, 초점과 광 강도와 같은, 이미징 시스템의 일부 파라미터는 변동될 수 있고, 그러므로 불확실하다. 다른 모델 파라미터는 "충분히 잘" 알려져 있거나, 특정한 높은 정도의 확실성을 가질 수 있다. 더 많은 파라미터가 조정될 때, 그 결과는 더 반복적이고 덜 정확하게 된다. 따라서, 모델에 대해 선택되는 조정가능한 파라미터의 수는 정확한 CD 결과를 달성하는 목표에 대해 균형이 맞춰진다. 따라서, 모델 파라미터는 가능한 한 많이 측정되고 알려진다. 일 실시예에서, 단지 CD와 초점만이 모델에서 조정되어 모델 이미지를 생성한다.
- [0042] 이미지에 대한 불확실한 파라미터의 효과가 CD의 효과로부터 충분히 구별될 때, 불확실한 이미징 파라미터는, 계산되고 측정된 이미지를 피팅하도록 CD와 동시에 조정된다. 실시예에서, 조정 가능한 파라미터는 균일한 바이어스 ΔCD 이어서, 레티클 데이터베이스 패턴 내의 모든 형상의 모든 에지가 ΔCD 에 의해 바이어싱된다.
- [0043] 도 1의 프로세스를 다시 참조하면, 측정된 이미지(106)와 모델에 의해 계산된 이미지(112)는 동작(114)에서 차이가 구해지고(differenced), 이 차이의 높이가 계산된다. 예시에 의해, 이미지의 차이의 높이는 픽셀별 이미지의 제공의 합이다. 이미지들의 차이의 다른 높이는, 픽셀별 이미지 차이의 제공의 가중된 합, 절댓값의 합, 또는 절댓값의 최대값을 포함한다.
- [0044] 그런 다음, 반복적 프로세스는, 하나 이상의 차이량을 최소화하도록 수행될 수 있다. 도시된 바와 같이, 차이의 높이는 동작(116)에서 충분히 작은지 여부가 결정될 수 있다. 양이 적절하게 작지 않으면, CD와 다른 하나 이상의 미지의 파라미터의 추정, 동작(118)에서 차이의 이러한 높이를 감소시키는 방식으로 변경될 수 있다. 차이의 높이가 충분히 작을 때, 그러면, 이미지 비교로부터의 차이의 최소화된 높이를 초래한 모델 CD가 동작(120)에서 출력될 수 있다. 그런 다음, (예를 들면, 도 2에 도시된 바와 같은) 이 모델 CD는 대응 패턴의 실제 또는 측정된 CD로서 규정될 수 있다.
- [0045] 일반적으로, 계산되고 측정된 이미지는 차이의 높이를 획득하도록 피팅된다. 이 피팅 프로세스는 계산되고 측정된 이미지의 차이의 높이를 최소화함으로써 수행될 수 있다. 잘 동작되는 적절한 높이의 예시는 다음과 같은 가중된 l_1 및 l_2 -높이를 포함한다:

수학적 1

$$\|I_{calc} - I_{meas}\|_1 = \sum_v \sum_x \sum_y |I_{calc}(x, y, v) - I_{meas}(x, y, v)| w(x, y, v)$$

[0046]

수학식 2

$$(\|I_{calc} - I_{meas}\|_2)^2 = \sum_v \sum_x \sum_y (I_{calc}(x, y, v) - I_{meas}(x, y, v))^2 w(x, y, v)$$

[0047]

[0048]

l_2 -놈 (제곱된 오류의 합)의 사용은 l_2 -놈을 최소화하는 알고리즘이 더 빠르게 실행되는 것을 허용한다. 각 패턴 구조체에 대한 합산은 복수의 이미지 픽셀 x, y 와 v 에 의해 인덱싱되는 뷰에 대해 취해질 수 있다.

[0049]

모델이 예를 들면, CD와 같은, 측정된 이미지의 실제 파라미터와 정확하게 매칭되는 입력을 가지면, 수학식 1 및 2의 상기 양은 0이 될 것이다. 모델로의 입력으로서 선택되는 CD가 이미징되는 구조체의 실제 CD와 상이하면, 그 양은 수학식 1 및 2에 대해 양수가 될 것이다.

[0050]

양 $w(x, y, v)$ 은, 상이한 세트들의 픽셀 및 뷰에 대한 상대 값을 배치시키는 양의 가중치이다. 특정 가중치는 이미지의 정밀도에 기초해서 특정 위치 및 뷰에 대해 결정될 수 있다. 이미지의 더 잡음이 있는 뷰 또는 부분은 더 작은 가중치를 받는다.

[0051]

계산된 이미지는 수학식 1 및 2에 대해 예증된 바와 같이 단일 뷰 또는 복수의 뷰에 대해 측정된 이미지에 피팅될 수 있다. 뷰는 반사되거나 투과된 광에 의해 형성된 이미지와 같은, 특정 이미징 조건을 참조한다. 뷰는, 레티클로부터의 반사되고 그리고/또는 투과된 광의 검출, 특정 파장, 초점 오프셋, 조명의 동공 분포, 조명의 편광 상태, 수집 광학기의 개구수, 개구 형상, 동공 필터 설정, 분석기 설정 중 하나 이상에 의해 구별될 수 있다.

[0052]

하나보다 많은 뷰가 사용될 때, 복수의 뷰의 측정된 이미지는, 단일 조정가능한 CD 파라미터를 갖는 하나의 물리적 모델과 동시에 피팅될 수 있다. 복수의 뷰는 조정가능한 CD를 더 잘 제약하고, CD 측정 불확실성을 감소시킨다.

[0053]

하나의 접근법에서, 반사되고 투과된 이미지가 동시에 피팅된다. 하나의 예시에서, 반사되고 투과된 이미지들에 공통적인, 단지 하나의 조정가능한 CD 파라미터와 단지 하나의 초점 파라미터만이 존재한다. 또 다른 방법에서, 알려진 초점 오프셋을 갖는 두 개의 투과된 이미지가 동시에 피팅된다. 이 예시에서, 단지 하나의 조정가능한 CD 파라미터와 조정될 필요가 있는 단지 하나의 초점 파라미터만이 존재한다.

[0054]

CD를 결정하도록, 모델과 측정된 이미지간의 차이의 놈 표현은 임의의 적절한 방식으로 특정 CD에 대해 최소화될 수 있다. 수학식 2와 같은 수식을 최소화하는 방법은 잘 알려져 있다. 특정 구현에서, 최소화는 다음에 의해 달성될 수 있다.

수학식 3

$$\min_{CD, p} \sum_v \sum_x \sum_y (I_{calc}(x, y, v, CD, p) - I_{meas}(x, y, v))^2 w(x, y, v)$$

[0055]

[0056]

수학식 3의 최소화는 CD 및 p 에 대한 것이다. 후자의 양 p_i 는 이미징 시스템의 불확실한 파라미터의 배열이다. 불확실한 파라미터는 예시에 의해 초점 및 조명 강도를 포함할 수 있다.

[0057]

대안적인 실시예에서, 최대 귀납적 확률(maximum posteriori probability; MAP) 추정이 사용될 수 있다. 계산되고 측정된 레티클 이미지로의 MAP의 적용은 수학식 4로서 표현될 수 있다.

수학식 4

$$\min_{CD, p} \left\{ \sum_v \sum_x \sum_y \frac{(I_{calc}(x, y, v, CD, p) - I_{meas}(x, y, v))^2}{\sigma^2(x, y, v)} + \sum \frac{(p_i - E(p_i))^2}{\sigma^2(p_i)} \right\}$$

[0058]

- [0059] $\sigma(x,y,v)$ 는 뷰 v 에서 픽셀 (x,y) 에서의 강도 측정의 불확실성이고, p_i 는 이미징 시스템의 i 번째 불확실한 파라미터이다. 예를 들면, p_1 은 초점이고, p_2 는 광 강도이다. $E(p_i)$ 는 p_i 의 기댓값이고, $\sigma(p_i)$ 는 p_i 에서의 불확실성이다. 각 양은 그 불확실성에 반비례하게 가중될 수 있다. 각각의 불확실한 파라미터에 대한 불확실성은 이미징 장비의 설계 공차로부터, 또는 불확실한 파라미터의 샘플을 측정하고 샘플의 분산을 계산함으로써 결정될 수 있다. 이 가중 기술은 상기 수학적 4의 항의 상대적 중요성을 정확하게 설정할 수 있다.
- [0060] MAP의 가장 일반적인 공식화는, 관찰 또는 pdf(미지의 파라미터 | 관찰)가 주어졌을 때 미지의 파라미터의 확률 분포 함수를 최소화하는 것을 포함한다. 이 공식화는, 모든 측정 오류와 미지의 파라미터가 가우스 분포되면 그리고 모든 양이 통계적으로 독립이라면, 위의 수학적 4로 축약된다.
- [0061] 본 발명의 특정 실시예는 최대 가능성 추정 방법에 따라 CD를 결정하기 위해 전체 이미지가 사용되는 것을 허용한다. 종래의 방법은 문턱값에 대해 이미지 일부만을 사용한다. 위에서 설명된 기술은 문턱값을 사용할 필요가 없다. 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따라 계산된 레티클 이미지와 측정된 레티클 이미지간의 회귀 분석의 수행으로부터의 결과의 그래프이다. 도 3은 실제 데이터에 대응하고, 모델 출력이 실제 이미지에 근접하게 매칭하는 것을 보여 준다. 즉, 라인 구조체에 대해 측정되는 반사된 강도 데이터(302a)는 이러한 라인 구조체에 대해 계산된 (또는 렌더링된) 반사된 강도 데이터(302b)에 정확히 매칭한다. 마찬가지로, 투과된 측정된 강도 데이터(304a)는 투과된 렌더링된 강도 데이터(304b)에 근접하게 매칭한다. 따라서, 하나의 공통적인 CD는 반사된 뷰 및 투과된 뷰 둘 다에 대해 매칭하는 모델 및 실제 강도 데이터를 초래한다. 따라서, 동일한 CD 결과가 동일한 레티클 구조체에 대해 상이한 뷰 파라미터들에 대해 획득되므로, 이 기술은 CD 바이어스를 발견하기 위한 정확한 매커니즘을 제공하는 것으로 보인다.
- [0062] CD 바이어스 결과는 전체 레티클에 대해 CD 균일성(CD uniformity; CDU) 맵을 형성하도록 조합될 수 있다. 그런 다음, CDU 맵은, 레티클이 본 명세서에서 더 설명되는 바와 같이 사양(specifications) 내에 있는지 여부를 결정하도록 분석될 수 있다. CD 맵의 실시예는 임의의 적절한 형태를 취할 수 있다. 예를 들면, CDU 맵은 레티클의 각 영역에 대해 평균 CD 분산 값의 목록으로서 텍스트로 표현될 수 있다. 각각의 평균 CD 분산 값은 대응하는 레티클 영역 좌표를 따라서 나열될 수 있다. CDU 맵은 그리드 포인트 차이 값의 표준편차 또는 분산과 같은 메트릭(metric)에 의해 또한 표현될 수 있다. 대안적으로 또는 추가적으로, CDU 맵은 시각적으로 표현될 수 있어서, 상이한 CD 분산 값들 또는 범위들은 예를 들면, 상이하게 색칠된 레티클 영역들, 상이한 막대그래프 높이들, 상이한 그래프 값들, 또는 3차원 표현들 등과 같은, 상이한 시각적 방식으로 도시된다. CDU 맵은 상이한 그리드 포인트 샘플링 크기들로, 또는 예를 들면, 다항식 피팅 또는 푸리에 변환과 같은 상이한 함수 형태들로의 피팅에 의해 표현될 수 있다.
- [0063] 이들 CDU 맵은, 반도체 칩 제조자가 레티클의 사용으로부터 초래될 프로세스 윈도우(process window)를 이해하는데 중요할 수 있다. CDU 맵은, 칩 제조자가 레티클을 사용할지를 결정하거나, 리소그래피 프로세스 중에 오류에 대한 보상을 적용하거나, 향상된 다음 레티클을 형성하도록 레티클의 제조를 향상시키는 것을 허용할 수 있다. CDU 맵은 제조 결함 영역을 검출하도록 새롭게 제조된 레티클에 대해 생성되고 분석되거나, 피처 변화를 모니터링하고 그리고/또는 열화를 검출하도록 포토리소그래피 프로세스에서 1회 이상 사용한 레티클 상에서 수행될 수 있다.
- [0064] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따라 CD 맵 분석 절차(400)를 예증하는 흐름도이다. 초기에, CDU 맵은 동작(402)에서 획득될 수 있다. 예를 들면, CDU 맵은 레티클을 가로질러 다수의 패턴/구조체에 대해 도 1의 CD 바이어스 결정 프로세스를 수행함으로써 획득된다.
- [0065] 그런 다음, CDU 맵이 동작(404)에서 비사양인지(out of specification) 여부가 결정될 수 있다. 예를 들면, 특정 레티클에 대한 CDU 분산이 미리 규정된 문턱값을 초과하는지 여부가 결정될 수 있다. CDU 분산이 미리 정해진 문턱값을 초과하지 않으면, 레티클은 동작(405)에서 웨이퍼를 제조하기 위해 사용될 수 있다.
- [0066] CDU 분산이 미리 규정된 문턱값을 초과하면, 근본 원인으로서는 관련된 프로세스 또는 패턴에 대응하는 비사양의 CDU 맵에 대한 공통 시그니처(signature)는 동작(408)에서 획득될 수 있다. CDU 맵은 예를 들면, 레티클 제조/프로세스 이슈 또는 예를 들면, 크롬, MoSi, 펄리클, 세정 유형의 열화와 같은 시간에 따른 레티클의 열화에 의해 야기되는, 레티클 상의 문제 영역을 추적하기 위해 사용될 수 있다. 다른 말로 하면, 특정한 비사양의 CDU 맵은, 특정 근본 원인과 이전에 연관된 특정 시그니처를 가질 수 있다. 예를 들면, 레티클 또는 레티클 프로세스의 이전의 검사 및 분석은 근본 원인 문제 및 연관된 CDU 시그니처를 발견했을 수 있다.
- [0067] 예증된 예시를 다시 참조하면, 그러면 레티클 패턴 또는 프로세스가 동작(410)에서 근본 원인인지 여부가 결정

될 수 있다. 예를 들면, CDU 맵이 예를 들면 오염된 펠리클과 같은, 특정 근본 원인과 연관되었던 시그니처를 갖는지 여부가 결정될 수 있다. 레티클 패턴이 근본 원인이라면, 레티클이 동작(414)에서 수리 가능한지의 여부가 결정될 수 있다. 레티클이 수리가능하지 않으면, 그것은 동작(418)에서 폐기될 수 있다(그리고 새로운 레티클이 제조됨). 그렇지 않으면, 레티클은 동작(416)에서 수리된다. 예를 들면, 특정 결함이 레티클로부터 세정될 수 있다. 예시에 의해, 펠리클이 세정되거나 대체될 수 있거나 여분의 레티클 부분이 에칭되거나 제거될 수 있다. 수리 후에, 새로운 검사가 수리된 레티클에 대해 수행될 수 있고, CDU 맵을 생성하고 분석하기 위한 절차가 반복될 수 있다. 수리된 레티클이 사양 내에 있으면, 수리된 레티클은 동작(405)에서 웨이퍼를 제조하기 위해 사용될 수 있다. 대안적인 예시에서, 리소그래피 프로세스는 예를 들면, 동작(417)에서 선량 또는 초점을 수정함으로써 비사양 레티클에 대해 보상하도록 조정될 수 있고, 이 새로운 프로세스가 동작(405)에서 레티클과 함께 사용된다. 반면에, 레티클을 제조하기 위한 프로세스가 근본 원인이라면, 레티클 프로세스가 동작(412)에서 조정될 수 있다(그리고 레티클이 폐기되고 새로운 레티클이 제조된다).

[0068] 검사 동안에, 레티클의 복수의 이미지가 광학 검사 툴을 사용해 획득될 수 있다. 이미지 획득 동안에, 복수의 이미지가 레티클 상의 복수의 타겟 구조체에 대해 획득된다. 이미지는 레티클의 다이의 세트 중 각 다이의 개별 영역으로부터 획득될 수 있다. 예를 들면, 입사 광학 빔이 레티클을 가로질러 스캐닝 할 때 (또는 각 이미지로 이동할 때), 검사 툴은 반사되거나 투과된 광 또는 반사되고 투과된 광을 검출 및 수집하도록 동작가능할 수 있다. 입사 광학 빔은 각각 복수의 이미지를 포함하는 레티클 스와스(swaths)를 가로질러 스캐닝할 수 있다. 각 이미지의 복수의 포인트 또는 서브영역으로부터의 이 입사 빔에 응답해서 광이 수집된다.

[0069] 검사 툴은 일반적으로 이러한 검출된 광을 강도 값에 대응하는 검출된 신호로 변환하도록 동작가능할 수 있다. 검출된 신호는, 레티클의 상이한 위치들에서 상이한 강도 값들에 대응하는 진폭 값을 갖는 전자기 파형의 형태를 취할 수 있다. 검출된 신호는 또한 강도 값들 및 연관된 레티클 포인트 좌표의 간단한 목록의 형태를 취할 수 있다. 검출된 신호는 또한 레티클 상의 상이한 위치들 또는 스캔 포인트들에 대응하는 상이한 강도 값들을 갖는 이미지의 형태를 취할 수 있다. 레티클의 모든 위치들이 스캐닝되고 광이 검출된 후에 레티클 이미지가 생성될 수 있거나, 각 레티클 부분이 스캐닝됨에 따라 레티클 이미지의 부분이 생성될 수 있다.

[0070] 강도 데이터의 각 세트는 사행(serpentine) 패턴 또는 래스터 패턴 내의 레티클로부터의 이미지를 순차적으로 스캐닝함으로써 획득될 수 있다. 예를 들면, 레티클의 제1 스와스 부분은, 예를 들면, 강도 데이터의 제1 세트를 획득하도록 양의 x 방향으로 좌측에서 우측으로 광학 검사 시스템의 광학빔에 의해 스캐닝된다. 그런 다음, 레티클은 y 방향으로 빔에 대해 이동된다. 그런 다음, 제2 스와스는 강도 데이터의 제2 세트를 얻도록 음의 x 방향으로 우측에서 좌측으로 스캐닝된다. 스와스는 다이의 하단 행으로부터 다이의 상단 행을 통해 또는 그 역으로 순차적으로 스캐닝된다. 대안적으로, 레티클의 이미지는 레티클의 각각의 개별 타겟 영역으로 이동함으로써 획득될 수 있다.

[0071] 일 실시예에서, 각 이미지에 대한 적분된 강도 값은, 레티클 검사 동안에 검출되는, 반사된 광, 투과된 광, 또는 이들 둘다에 기초해 생성될 수 있다. 하나의 예시적인 구현에서, 반사된(R) 값과 투과된(T) 값은 $(T-R)/2$ 에 의해 조합될 수 있다. 반사된 신호는 통상적으로 투과된 신호와는 반대의 부호(sign)이다. 따라서, T 신호와 R 신호를 빼는 것은 이들 두 신호들을 함께 더한다. 잡음 소스가 T와 R에 대해 상이하므로, 잡음은 조합된 신호로부터 평균화가 되는 경향이 있을 수 있다. R 값 및/또는 T 값에 대한 다른 가중화는, 연관된 혜택을 갖는 이미지에 대해 적분된 강도 값을 생성하도록 사용될 수 있다. 일부 경우에서, 특정 영역에 대한 R 신호와 T 신호는 반대 부호 대신에 동일 부호를 가질 수 있는데, 이는 결과가 연관된 영역 내에서 비일관적이며 신뢰할 수 없다는 것을 표시할 수 있다. 따라서, R과 T의 조합은 충분히 신뢰가능하지 않다면 이러한 영역에서 가중치가 감소되거나 계산으로부터 제거될 수 있다.

[0072] 본 발명의 기술은 하드웨어 및/또는 소프트웨어의 임의의 적합한 조합으로부터 구현될 수 있다. 도 5는 본 발명의 기술이 구현될 수 있는 예시적인 검사 시스템(500)의 도해적 표현이다. 검사 시스템(500)은 검사 툴 또는 스캐너(미도시됨)로부터 입력(502)을 수신할 수 있다. 검사 시스템(500)은 또한 설계 데이터베이스에 기초해 레티클의 이미지를 모델링하는 모델로부터 입력(502)을 수신할 수 있다(또는 시스템(500)은 설계 데이터베이스를 수신하고 그런 다음 이러한 모델링된 이미지를 생성할 수 있다). 검사 시스템은 또한 수신된 입력(502)을 분배하기 위한 데이터 분배 시스템(예를 들면, 504a 및 504b), 수신된 입력(502)의 특정 이미지 또는 이미지 부분을 프로세싱하기 위한 강도 신호(또는 이미지) 프로세싱 시스템(예를 들면, 이미지 프로세서 및 메모리(506a 및 506b)), ΔCD 맵을 생성하기 위한 맵 생성기 시스템(예를 들면, 맵 생성기 프로세서 및 메모리(512)), 검사 시스템 컴포넌트들간에 통신을 허용하기 위한 네트워크(예를 들면, 스위칭 방식 네트워크(508)), 옵션인 대용량 저장 디바이스(506), 및 맵을 검토하기 위한 하나 이상의 검사 제어 및/또는 검토 스테이션(예를 들면, 510)을

포함할 수 있다. 검사 시스템(500)의 각 프로세서는 통상적으로 하나 이상의 마이크로프로세서 집적 회로를 포함할 수 있고, 인터페이스 및/또는 메모리 집적 회로를 또한 포함할 수 있으며, 하나 이상의 공유되고 그리고/또는 전역의(global) 메모리 디바이스에 추가적으로 결합될 수 있다.

[0073] 입력 데이터(502)를 생성하기 위한 스캐너 또는 데이터 획득 시스템(미도시됨)은 강도 신호 또는 레티클의 이미지를 획득하기 위한 (예를 들면, 본 명세서에서 더 설명되는 바와 같은) 임의의 적절한 장비의 형태를 취할 수 있다. 예를 들면, 스캐너는, 광학 이미지를 구축하거나, 반사되거나, 투과되거나, 그렇지 않으면 하나 이상의 광 센서에 지향된, 검출된 광의 일부분에 기초해 레티클의 일부분의 강도 값을 생성할 수 있다. 그런 다음, 스캐너는 강도 값을 출력할 수 있거나, 이미지는 스캐너로부터 출력될 수 있다.

[0074] 레티클은 일반적으로, 복수의 포인트로부터의 복수의 강도 값이 획득되는 복수의 이미지 부분 내로 분할된다. 레티클의 이미지 부분은 이 강도 값을 획득하도록 스캐닝될 수 있다. 이미지 부분은 특정 시스템 및 응용 요건에 따라 임의의 크기와 형상일 수 있다. 일반적으로, 각 이미지 부분에 대한 복수의 강도 값은 임의의 적절한 방식으로 레티클을 스캐닝함으로써 획득될 수 있다. 예시에 의해, 각 이미지 부분에 대한 복수의 강도 값은 레티클을 래스터 스캐닝함으로써 획득될 수 있다. 대안적으로, 이미지는 예를 들면, 원형 패턴 또는 나선형 패턴과 같은, 임의의 적절한 패턴으로 레티클을 스캐닝함으로써 획득될 수 있다. 물론, 센서는 상이하게 배열되어야 할 수 있고 그리고/또는 레티클로부터 원형 또는 나선형을 스캐닝하도록 레티클이 스캐닝 동안 상이하게 이동될 (예를 들면, 회전될) 수 있다.

[0075] 이하에서 예증된 예시에서, 레티클이 센서를 지나 이동함에 따라, 광이 레티클의 직사각형 영역(여기서 "스왈스"라고 지칭됨)으로부터 검출되며, 이러한 검출된 광은 각 이미지 내의 복수의 포인트에서 복수의 강도 값으로 변환된다. 이 실시예에서, 스캐너의 센서는, 레티클로부터 반사되고 그리고/또는 투과되는 광을 수신하고, 이 수신된 광으로부터 레티클의 이미지의 스왈스에 대응하는 강도 데이터의 세트를 생성하도록 직사각형 패턴으로 배열된다.

[0076] 각 이미지에 대한 강도 값은, 임의의 적절한 방식으로 설정되는 광학 검사 툴을 사용해 획득될 수 있다. 광학 툴은 일반적으로, 강도 값을 획득하기 위한 상이한 검사 런들(runs)에 대해 실질적으로 동일한 동작 파라미터의 세트, 즉, "레시피"로 설정된다. 레시피 설정은, 하기의 설정들, 즉, 특정 패턴, 픽셀 크기에서 레시피를 스캐닝하기 위한 설정, 단일 신호로부터 인접 신호를 그룹화하기 위한 설정, 초점 설정, 조명 또는 검출 개구 설정, 입사 빔 각도 및 파장 설정, 검출기 설정, 반사되거나 투과된 광량을 위한 설정, 공중(aerial) 모델링 파라미터 등 중 하나 이상을 포함할 수 있다.

[0077] 강도 또는 이미지 데이터(502)는 네트워크(508)를 통해 데이터 분배 시스템에 의해 수신될 수 있다. 데이터 분배 시스템은 수신된 데이터(502)의 적어도 일부분을 유지하기 위한, 예를 들면, RAM 버퍼와 같은, 하나 이상의 메모리 디바이스와 연관될 수 있다. 바람직하게, 전체 메모리는 데이터의 전체 건본(swath)을 유지하기에 충분히 크다. 예를 들면, 1 기가바이트의 메모리는 백만 x 1000 픽셀 또는 포인트인 건본에 대해 잘 작동한다.

[0078] 데이터 분배 시스템(예를 들면, 504a 및 504b)은 수신된 입력 데이터(502)의 부분을 프로세서(예를 들면 506a 및 506b)로 분배하는 것을 또한 제어할 수 있다. 예를 들면, 데이터 분배 시스템은 제1 이미지를 위한 데이터를 제1 이미지 프로세서(506a)로 라우팅할 수 있고, 제2 이미지를 위한 데이터를 이미지 프로세서(506b)에 라우팅할 수 있다. 복수의 이미지를 위한 데이터의 복수의 세트는 각각의 이미지 프로세서에 또한 라우팅될 수 있다.

[0079] 이미지 프로세서는 적어도 레티클의 이미지 부분에 대응하는 이미지 또는 강도 값을 수신할 수 있다. 이미지 프로세서는 각각, 수신된 데이터 부분을 유지하는 것과 같은, 로컬 메모리 기능을 제공하는 DRAM 디바이스와 같은, 하나 이상의 메모리 디바이스(미도시됨)에 또한 결합되거나 이 디바이스와 집적될 수 있다. 바람직하게, 메모리는 레티클의 이미지에 대응하는 데이터를 유지하기에 충분히 크다. 예를 들면, 8 메가바이트의 메모리는 512 x 1024 픽셀인 이미지에 대응하는 이미지 또는 강도 값에 대해 잘 작동한다. 이미지 프로세서는 또한 메모리를 공유할 수 있다.

[0080] 입력 데이터(502)의 각 세트는 레티클의 스왈스에 대응할 수 있다. 데이터의 하나 이상의 세트는 데이터 분배 시스템의 메모리 내에 저장될 수 있다. 이 메모리는 데이터 분배 시스템 내에 하나 이상의 프로세서에 의해 제어될 수 있고, 메모리는 복수의 파티션 내로 분할될 수 있다. 예를 들면, 데이터 분배 시스템은 스왈스의 일부분에 대응하는 데이터를 제1 메모리 파티션(미도시됨) 내로 수신할 수 있고, 데이터 분배 시스템은 또 다른 스왈스에 대응하는 또 다른 데이터를 제2 메모리 파티션(미도시됨) 내로 수신할 수 있다. 바람직하게, 데이터 분배 시스템의 메모리 파티션 각각은, 이러한 메모리 파티션과 연관된 프로세서로 라우팅될 데이터의 부분만을 유

지한다. 예를 들면, 데이터 분배 시스템의 제1 메모리 파티션은 제1 데이터를 유지하고 제1 데이터를 이미지 프로세서(506a)에 라우팅할 수 있고, 제2 메모리 파티션은 제2 데이터를 유지하고 제2 데이터를 이미지 프로세서(506b)에 라우팅할 수 있다.

[0081] 검출된 신호는 공중 이미지의 형태를 또한 취할 수 있다. 즉, 공중 이미징 기술은, 웨이퍼 상에서 노출되는 포토레지스트 패턴의 공중 이미지를 생성하도록, 포토리소그래피 시스템의 광학 효과를 시뮬레이팅하기 위해 사용될 수 있다. 일반적으로, 포토리소그래피 토폴의 광학기는, 레티클로부터 검출된 신호에 기초해서 공중 이미지를 생성하도록 에뮬레이팅된다. 공중 이미지는, 웨이퍼의 포토레지스트층 상으로 포토리소그래피 광학기와 레티클을 관통한 광으로부터 생성된 패턴에 대응한다. 추가적으로, 특정 유형의 포토레지스트 물질에 대한 포토레지스트 노출 프로세스가 또한 에뮬레이팅될 수 있다.

[0082] 입사광 또는 검출된 광은, 임의의 적절한 입사 각도에서 임의의 입사 또는 검출된 광 프로파일을 생성하도록 임의의 적절한 공간적 개구를 관통할 수 있다. 예시에 의해, 프로그래밍가능 조명 또는 검출 개구는 쌍극(dipole), 사극(quadrupole), 퀘이사(quasar), 환형(annulus) 등과 같은, 특정 빔 프로파일을 생성하도록 활용될 수 있다. 특정 예시에서, 소스 마스크 최적화(Source Mask Optimization; SMO) 또는 임의의 픽셀화된 조명 기술이 구현될 수 있다.

[0083] 데이터 분배 시스템은 데이터의 임의의 적절한 파라미터에 기초해 데이터의 각 세트를 규정하고 분배할 수 있다. 예를 들면, 데이터는 레티클 상의 이미지의 대응 부분에 기초해 규정되고 분배될 수 있다. 일 실시예에서, 각 스와스는 스와스 내의 픽셀의 수평 위치에 대응하는 열 위치의 범위와 연관된다. 예를 들면, 스와스의 열 0 내지 256은 제1 이미지에 대응할 수 있고, 이들 열 내의 픽셀은, 하나 이상의 이미지 프로세서에 라우팅되는, 제1 이미지 또는 강도 값의 세트를 포함할 것이다. 마찬가지로, 스와스의 열 257 내지 512는 제2 이미지에 대응할 수 있고, 이들 열 내의 픽셀은, 상이한 이미지 프로세서(들)에 라우팅되는, 제2 이미지 또는 강도 값의 세트를 포함할 것이다.

[0084] 도 6a는 특정 실시예에 따라서 마스크 패턴을 포토마스크(M)로부터 웨이퍼(W) 상으로 전사하기 위해서 이용될 수 있는 전형적인 리소그래피 시스템(600)의 단순화된 개략도이다. 이러한 시스템의 예시는 스캐너 및 스텝퍼(stepppers), 보다 구체적으로 네덜란드 벨트호벤에 소재하는 ASML로부터 이용가능한 TWINSCAN 시스템을 포함한다. 일반적으로, 조명 소스(603)는 광 빔을 조명 광학기(607)(예를 들면, 렌즈(605))를 통해서 마스크 평면(602) 내에 위치한 포토마스크(M) 상으로 지향시킨다. 조명 렌즈(605)가 그 평면(602)에서 개구수(numeric aperture)(601)를 갖는다. 개구수(601)의 값은, 포토마스크 상의 어떠한 결함이 리소그래피적으로(lithographic) 중요한 결함인지 그리고 어떠한 결함이 그렇지 않은지에 영향을 미친다. 포토마스크(M)를 통과하는 빔의 일부는, 패턴닝된 광학적 신호를 형성하고, 그러한 패턴닝된 광학적 신호는 이미징 광학기(613)를 통해서 그리고 웨이퍼(W) 상으로 지향되어 패턴 전사를 시작한다.

[0085] 도 6b는, 특정 실시예에 따라, 레티클 평면(652)에서 비교적 큰 개구수(651b)를 갖는 이미징 렌즈를 포함하는 조명 광학기(651a)를 갖는 예시적인 검사 시스템(650)의 개략적인 표현을 제공한다. 묘사된 검사 시스템(650)은, 예를 들어, 향상된 검사를 위해 60-300X 이상의 확대를 제공하도록 설계된 현미경 확대 광학기를 포함한, 검출 광학기(653a 및 653b)를 포함한다. 예를 들면, 검사 시스템의 레티클 평면(652)에서의 개구수(651b)가 리소그래피 시스템(600)의 레티클 평면(602)에서의 개구수(601)보다 상당히 클 수 있으며, 이는 테스트 검사 이미지와 실제 인쇄된 이미지 사이의 차이를 초래할 것이다.

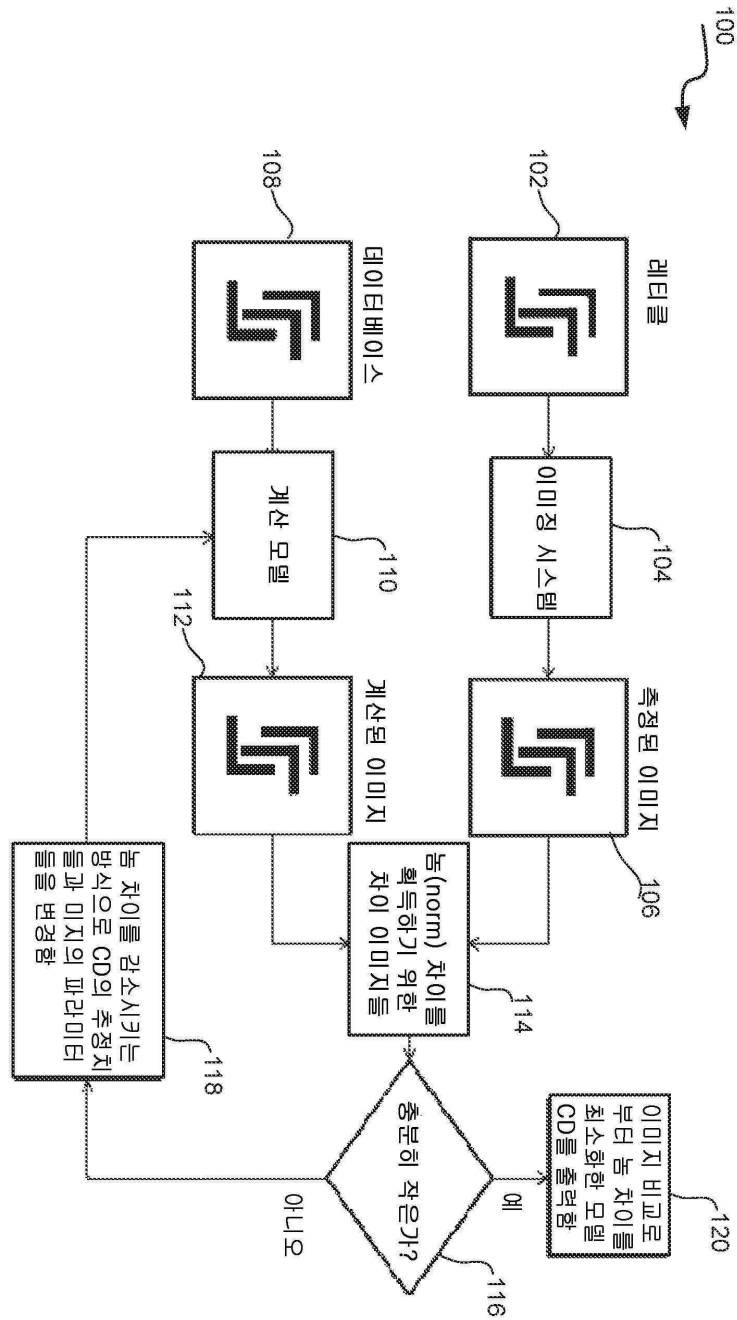
[0086] 본 명세서에 기재된 검사 기술은 도 6b에 개략적으로 예증된 것과 같이 다양한 특수하게 구성된 검사 시스템 상에서 구현될 수 있다. 예증된 시스템(650)은, 조명 광학기(651a)를 통해서 레티클 평면(652) 내의, 포토마스크(M) 상으로 지향되는, 광 빔을 생성하는 조명원(660)을 포함한다. 광원의 예시는 레이저 또는 필터링된 램프를 포함한다. 일 예시에서, 광원은 193 nm 레이저이다. 위에서 설명된 바와 같이, 검사 시스템(650)은, 대응하는 리소그래피 시스템의 레티클 평면 개구수(예를 들면, 도 6a의 요소(601))보다 클 수 있는, 레티클 평면(652)에서의 개구수(651b)를 가질 수 있다. 검사될 포토마스크(M)는 레티클 평면(652)에서 마스크 스테이지 상에 배치되고 광원에 노출된다.

[0087] 마스크(M)로부터의 패턴닝된 이미지는, 패턴닝된 이미지를 센서(654a) 상으로 투사하는 광학 요소의 집합체(653a)를 통해서 지향된다. 반사 시스템에서, 광학 요소(예를 들면, 빔 스플리터(676) 및 검출 렌즈(678))는 반사된 광을 센서(654b) 상으로 지향시키고 캡처한다. 적절한 센서는 전하 결합 소자(charged coupled device; CCD), CCD 어레이, 시간 지연 적분(time delay integration)(TDI) 센서, TDI 센서 어레이, 광전자 증배관(photomultiplier tube; PMT), 및 다른 센서를 포함한다.

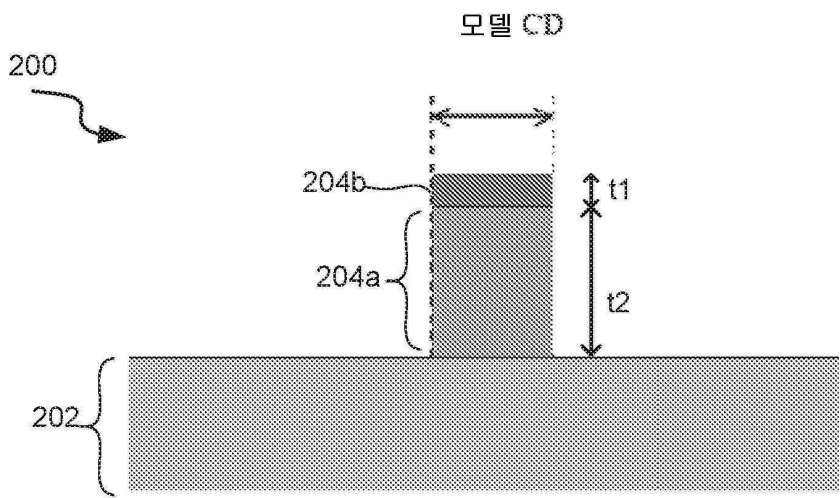
- [0088] 조명 광학기 열(column)은, 레티클의 이미지를 스캐닝하도록, 임의의 적합한 메커니즘에 의해 검출기 또는 카메라에 대해 이동된 마스크 스테이지 및/또는 스테이지에 대해 이동될 수 있다. 예를 들어, 모터 메커니즘은 스테이지를 이동시키도록 활용될 수 있다. 모터 메커니즘은 예를로서 나사 구동부(screw drive) 및 스텝퍼 모터, 피드백 위치를 갖는 라이너 구동부, 또는 밴드 액추에이터 및 스텝퍼 모터로부터 형성될 수 있다.
- [0089] 각각의 센서(예를 들어, 654a 및/또는 654b)에 의해서 캡처된 신호는, 컴퓨터 시스템(673) 또는, 보다 일반적으로, 프로세싱을 위해서 각각의 센서로부터의 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하도록 구성된 아날로그-대-디지털 변환기를 각각 포함할 수 있는, 하나 이상의 신호 프로세싱 디바이스에 의해 프로세싱될 수 있다. 컴퓨터 시스템(673)은 일반적으로 입출력 포트에 결합된 하나 이상의 프로세서와, 적절한 버스 또는 다른 통신 메커니즘을 경유한 하나 이상의 메모리를 갖는다.
- [0090] 컴퓨터 시스템(673)은 또한, 초점 및 다른 검사 레시피 파라미터를 변화시키는 것과 같은, 사용자 입력을 제공하기 위한 하나 이상의 입력 디바이스(예를 들어, 키보드, 마우스, 조이스틱)를 포함할 수 있다. 컴퓨터 시스템(673)은, 또한 예를 들어, 샘플 위치(예를 들어, 포커싱 및 스캐닝)를 제어하기 위해서 스테이지에 연결될 수 있고 이러한 검사 시스템 컴포넌트의 다른 검사 파라미터 및 구성을 제어하기 위해서 다른 검사 시스템 컴포넌트에 연결될 수 있다.
- [0091] 컴퓨터 시스템(673)은, 산출되는 강도 값, 이미지, 및 예를 들면, CD 바이어스 값과 맵과 같은, 다른 검사 결과를 디스플레이하기 위한 사용자 인터페이스(예를 들어, 컴퓨터 스크린)를 제공하도록 (예를 들어, 프로그래밍 명령어를 사용해) 구성될 수 있다. 컴퓨터 시스템(673)은 강도 변화, 위상, CDU 맵, 및/또는 반사되고 그리고/또는 투과된 감지된 광빔의 다른 특징을 분석하도록 구성될 수 있다. 컴퓨터 시스템(673)은 산출되는 강도 값, 이미지, 및 다른 검사 특징을 디스플레이하기 위한 사용자 인터페이스(예를 들어, 컴퓨터 스크린)를 제공하도록 (예를 들어, 프로그래밍 명령어를 사용해) 구성될 수 있다. 특정 실시예에서, 컴퓨터 시스템(673)은 위에서 자세히 설명된 검사 기술을 수행하도록 구성된다.
- [0092] 이러한 정보 및 프로그램 명령어들이 특별히 구성된 컴퓨터 시스템 상에서 구현될 수 있기 때문에, 그러한 시스템은 컴퓨터 판독가능 매체 상에 저장될 수 있는 본 명세서에 기재된 다양한 동작들을 수행하기 위한 프로그램 명령어들/컴퓨터 코드를 포함한다. 머신-판독 가능 매체의 예시는, 비제한적으로, 하드 디스크, 플로피 디스크, 및 자기 테이프와 같은 자기 매체; CD-ROM 디스크와 같은 광학적 매체; 광학적 디스크와 같은 자기-광학 매체; 및 판독 전용 메모리(read-only memory; ROM) 디바이스 및 랜덤 액세스 메모리(random access memory; RAM)와 같은, 프로그램 명령어를 저장 및 수행하도록 특별하게 구성되는 하드웨어 디바이스를 포함한다. 프로그램 명령어의 예시는, 컴파일러에 의해서 생성된 것과 같은 머신 코드, 및 인터프리터(interpreter)를 이용하여 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 더 높은 레벨의 코드를 포함하는 파일 모두를 포함한다.
- [0093] 특정 실시예에서, 포토마스크를 검사하기 위한 시스템은, 본 개시에서 설명된 기술을 수행하도록 구성되는 적어도 하나의 메모리 및 적어도 하나의 프로세서를 포함한다. 검사 시스템의 하나의 예시는 캘리포니아주 밀피타스 소재의 케이엘에이-텐코 코퍼레이션으로부터 이용가능한 특수하게 구성된 TeraScanTM DUV 검사 시스템을 포함한다.
- [0094] 비록 전술한 본 발명이 명확한 이해를 목적으로 어느 정도 구체적으로 설명되었지만, 특정 변화 및 수정이 첨부된 청구항들의 범위 내에서 실시될 수 있다는 것이 분명할 것이다. 본 발명의 프로세스, 시스템, 및 장치를 구현하는 많은 대안적인 방식이 있다는 것을 주목하여야 한다. 따라서, 본 실시예는 예증적인 것으로 그리고 제약하지 않는 것으로 간주되고, 본 발명은 본 개시에서 주어진 상세 내용으로 제한되지 않는다.

도면

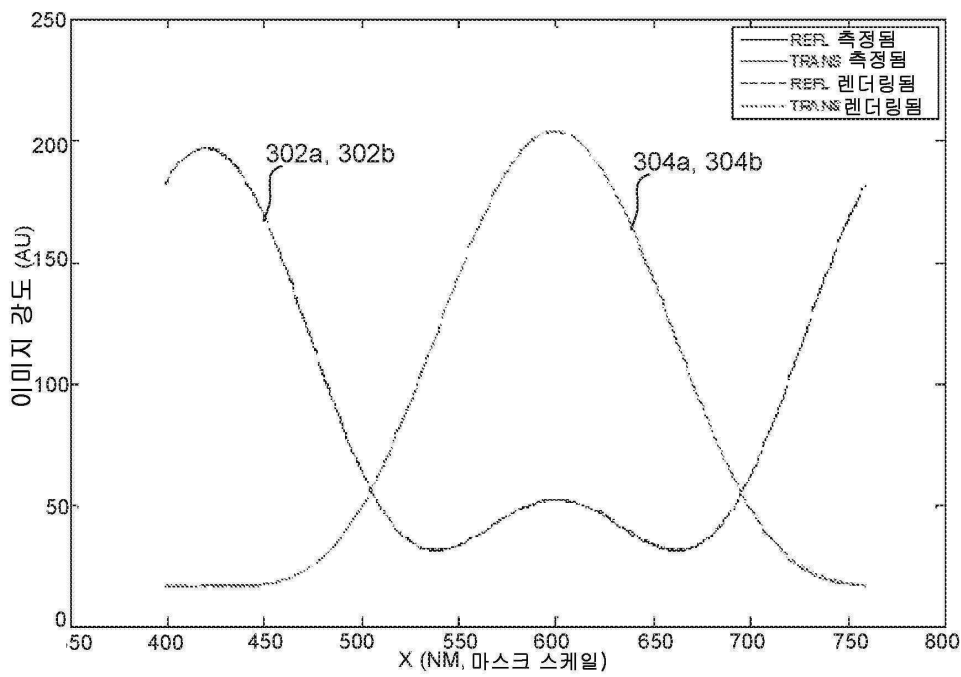
도면1



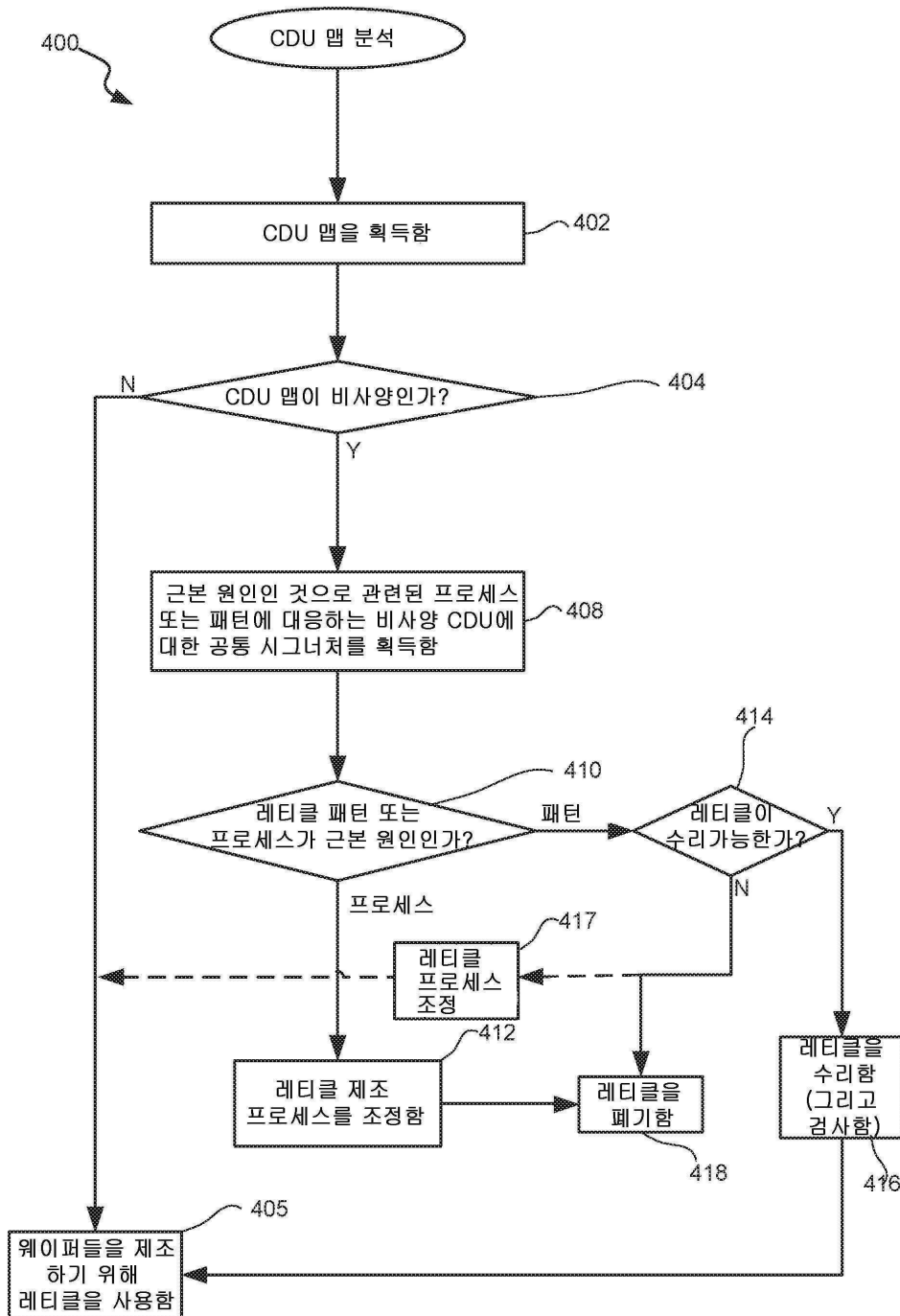
도면2



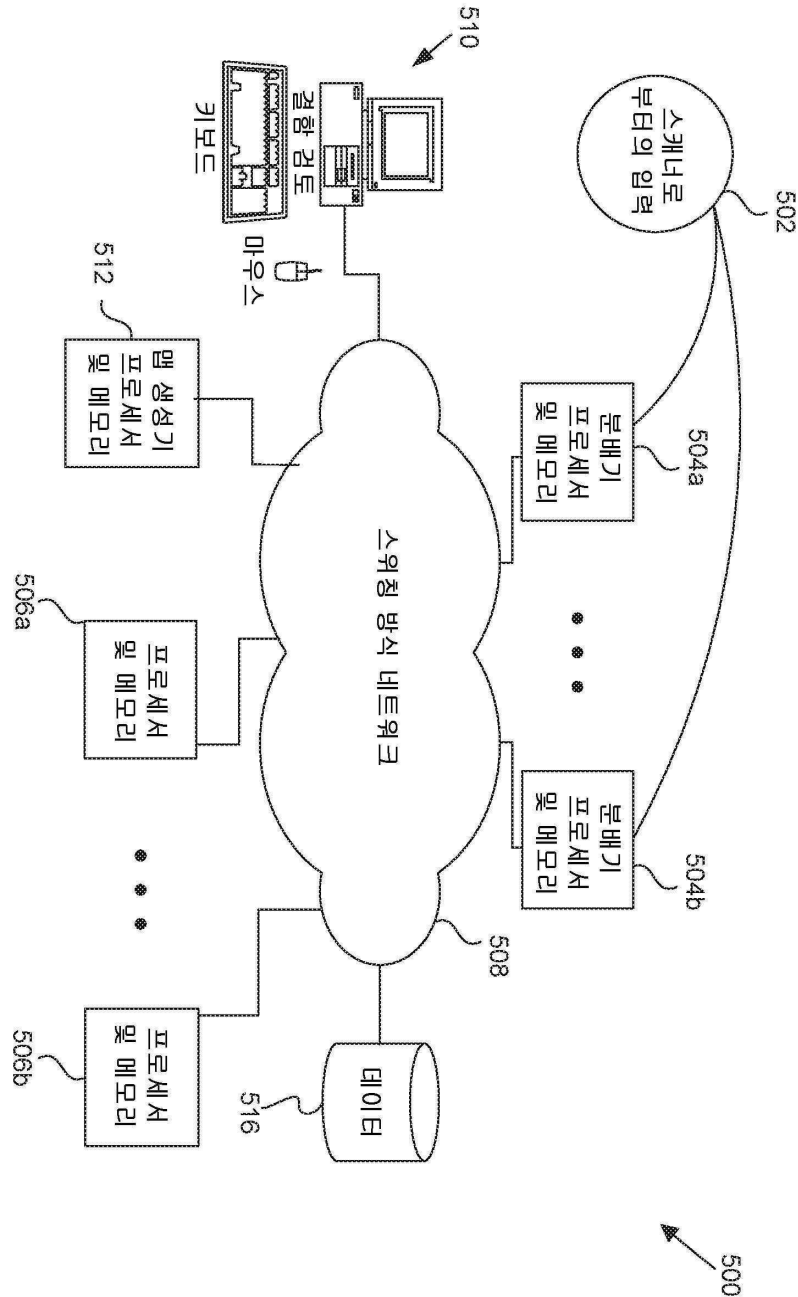
도면3



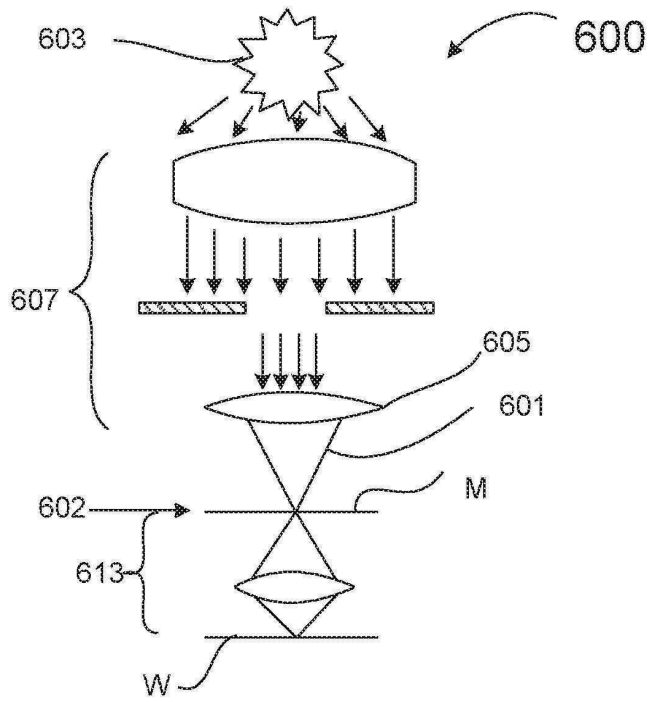
도면4



도면5



도면6a



도면6b

