



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0127925
(43) 공개일자 2022년09월20일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G03F 7/20 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
G03F 7/705 (2013.01)
G03F 7/70558 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2022-7028942
- (22) 출원일자(국제) 2021년02월18일
심사청구일자 2022년08월22일
- (85) 번역문제출일자 2022년08월22일
- (86) 국제출원번호 PCT/EP2021/054064
- (87) 국제공개번호 WO 2021/165419
국제공개일자 2021년08월26일
- (30) 우선권주장
62/980,068 2020년02월21일 미국(US)

- (71) 출원인
에이에스엠엘 네델란드 비.브이.
네덜란드 5500 아하 벨트호벤 피.오.박스 324
- (72) 발명자
반 인첸 슈나우, 코엔라드
네덜란드, 5500 아하 벨트호벤, 피.오. 박스 324
슬라처, 에이브러햄
네덜란드, 5500 아하 벨트호벤, 피.오. 박스 324
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인
특허법인(유)화우

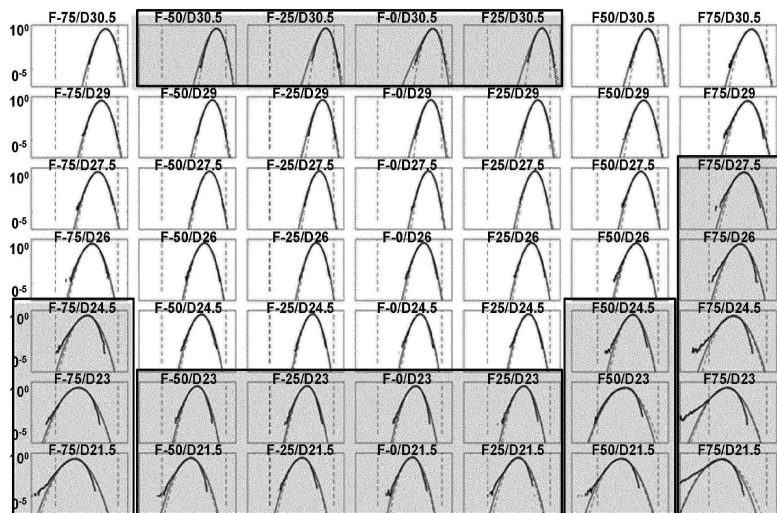
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 **결합 기반의 프로세스 윈도우에 기초하여 시뮬레이션 프로세스를 캘리브레이팅하기 위한 방법**

(57) 요약

칩의 제조와 관련된 시뮬레이션 프로세스 및 솔루션(예를 들면, 리타겟팅된 패턴)을 개선하는 것에 관련되는 방법이 본원에서 설명된다. 방법은 복수의 선량-초점 설정, 및 복수의 선량-초점 설정의 각각의 설정과 관련되는 인쇄된 패턴의 특성의 측정된 값에 기초한 기준 분포를 획득하는 것을 포함한다. 방법은, 조정 모델 및 복수의 선량-초점 설정에 기초하여, PDF와 기준 분포 사이의 에러가 감소되도록 특성의 확률 밀도 함수(PDF)를 결정하는 것을 더 포함한다. PDF는 선량과 관련되는 분산 및 조정 모델의 함수일 수 있으며, 조정 모델은 PDF에 대한 비선형 선량 감도 기여의 비율을 변경하도록 구성된다. 특성의 결정된 PDF에 기초하여 프로세스 윈도우가 조정될 수 있다.

대표도



(52) CPC특허분류

G03F 7/70625 (2013.01)

G03F 7/70633 (2013.01)

G03F 7/70641 (2013.01)

(72) 발명자

티모스코브, 바딤 유리에비치

네덜란드, 5500 아하 벨트호벤, 피.오. 박스 324

쿠이만, 말린

네덜란드, 5500 아하 벨트호벤, 피.오. 박스 324

반 라레, 마리-플레르

네덜란드, 5500 아하 벨트호벤, 피.오. 박스 324

딜렌, 헤르마누스, 아드리아누스

네덜란드, 5500 아하 벨트호벤, 피.오. 박스 324

훈스체, 스테판

미국, 캘리포니아 95131, 새너제이, 399 웨스트 트

림블 로드

콜리나, 루이스, 알베르토, 콜리나, 산타마리아

네덜란드, 5500 아하 벨트호벤, 피.오. 박스 324

지앙, 아이친

미국, 캘리포니아 95131, 새너제이, 1762 오토메이

션 파크웨이

왕, 푸밍

미국, 캘리포니아 95131, 새너제이, 399 웨스트 트

림블 로드

라구나탄, 수드하르사난

미국, 캘리포니아 95131, 새너제이, 1762 오토메이

션 파크웨이

명세서

청구범위

청구항 1

프로세스 윈도우를 조정하기 위한 방법으로서,

(i) 복수의 선량-초점 설정(dose-focus setting), 및 (ii) 상기 복수의 선량-초점 설정의 각각의 설정과 관련되는 인쇄된 패턴의 특성의 측정된 값에 기초한 기준 분포:를 획득하는 단계;

조정 모델 및 상기 복수의 선량-초점 설정에 기초하여, 확률 밀도 함수(probability density function; PDF) - 상기 PDF는 상기 선량과 관련되는 분산 및 조정 모델의 함수이고, 상기 조정 모델은 상기 PDF에 대한 비선형 선량 감도 기여의 비율을 변경하도록 구성됨 - 와 상기 기준 분포 사이의 에러가 감소되도록 상기 특성의 상기 PDF를 결정하는 단계; 및

상기 특성의 상기 결정된 PDF에 기초하여, 패턴화 프로세스와 관련되는 프로세스 윈도우를 조정하는 단계를 포함하는, 프로세스 윈도우를 조정하기 위한 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 PDF의 상기 결정은 반복 프로세스이고, 반복은:

상기 조정 모델에 기초하여, 상기 복수의 선량-초점 설정 중 주어진 선량-초점 설정에 대한 조정 값을 결정하는 것;

상기 조정 값에 기초하여, 패턴의 상기 특성의 상기 PDF를 결정하는 것;

상기 PDF와 상기 기준 분포 사이의 에러를 결정하는 것; 및

상기 에러가 최소화되도록, 상기 복수의 선량-초점 설정 중 상기 주어진 선량 및 초점 설정에 대한 상기 조정 모델의 파라미터를 조정하는 것을 포함하는, 프로세스 윈도우를 조정하기 위한 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 PDF는 제1 PDF 및 제2 PDF의 컨볼루션에 의해 결정되며, 상기 제1 PDF는 제1 변동의 함수이고, 상기 제1 변동은 상기 조정 모델 및 선량의 변동의 곱이고, 상기 제2 PDF는 패턴의 상기 특성에서의 변동에 기여하는 선량 이외의 인자와 관련되는 제2 변동의 함수인, 프로세스 윈도우를 조정하기 위한 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 PDF의 상기 결정은 반복 프로세스이고, 반복은:

패턴의 상기 특성의 상기 PDF를 결정하기 위해 상기 제1 PDF 및 상기 제2 PDF를 컨볼루션하는 것;

상기 PDF와 상기 기준 분포 사이의 에러를 결정하는 것; 및

상기 에러가 최소화되도록, 상기 복수의 선량-초점 설정 중 주어진 선량 및 초점 설정에 대한 상기 제1 변동 및 상기 제2 변동의 파라미터를 조정하는 것을 포함하는, 프로세스 윈도우를 조정하기 위한 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 복수의 선량-초점 설정에 대한 상기 조정 모델의 상기 파라미터의 상기 조정은, 적응적 모멘트 추정 또는 경사 하강법:으로부터 선택되는 최적화 알고리즘에 의해 수행되는, 프로세스 윈도우를 조정하기 위한 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 조정 모델은 선량 및 초점의 다항식 함수인, 프로세스 윈도우를 조정하기 위한 방법.

청구항 7

제4항에 있어서,

상기 복수의 선량-초점 설정의 각각의 선량 및 각각의 초점 설정에 대한 상기 기준 분포와 관련하여 최소 에러를 갖는 상기 PDF와 관련되는 복수의 조정 값을 결정하는 단계; 및

적합된 다항식 함수와 상기 복수의 조정 모델 값 사이의 차이가 최소화되도록 상기 조정 모델을 결정하기 위해, 상기 복수의 조정 값에 기초하여, 선량 및 초점의 다항식 함수를 적합시키는 단계를 더 포함하는, 프로세스 윈도우를 조정하기 위한 방법.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 패턴과 관련되는 불량률 데이터(failure rate data)를 사용하여, 임계 불량률과 관련되는 특성 한계를 결정하기 위해 상기 결정된 확률 밀도 함수를 실행하는 단계를 더 포함하는, 프로세스 윈도우를 조정하기 위한 방법.

청구항 9

명령어를 포함하는 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서,

상기 명령어는, 하나 이상의 프로세서에 의해 실행될 때:

(i) 복수의 선량-초점 설정, 및 (ii) 복수의 선량-초점 설정의 각각의 설정과 관련되는 인쇄된 패턴의 특성의 측정된 값에 기초한 기준 분포:를 획득하는 것;

조정 모델 및 상기 복수의 선량-초점 설정에 기초하여, 확률 밀도 함수(PDF) - 상기 PDF는 상기 선량과 관련되는 분산 및 조정 모델의 함수이고, 상기 조정 모델은 상기 PDF에 대한 비선형 선량 감도 기여의 비율을 변경하도록 구성됨 - 와 상기 기준 분포 사이의 에러가 감소되도록 상기 특성의 상기 PDF를 결정하는 것; 및

상기 특성의 상기 결정된 PDF에 기초하여, 패턴화 프로세스와 관련되는 프로세스 윈도우를 조정하는 것을 포함하는 동작을 야기하는, 명령어를 포함하는 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 PDF의 상기 결정은 반복 프로세스이고, 반복은:

상기 조정 모델에 기초하여, 상기 복수의 선량-초점 설정 중 주어진 선량-초점 설정에 대한 조정 값을 결정하는 것;

상기 조정 값에 기초하여, 패턴의 상기 특성의 상기 PDF를 결정하는 것;

상기 PDF와 상기 기준 분포 사이의 에러를 결정하는 것; 및

상기 에러가 최소화되도록, 상기 복수의 선량-초점 설정 중 상기 주어진 선량 및 초점 설정에 대한 상기 조정 모델의 파라미터를 조정하는 것을 포함하는, 명령어를 포함하는 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 PDF는 제1 PDF 및 제2 PDF의 컨볼루션에 기초하여 결정되되, 상기 제1 PDF는 제1 변동의 함수이고, 상기 제1 변동은 상기 조정 모델 및 선량의 변동의 곱이고, 상기 제2 PDF는 패턴의 상기 특성에서의 변동에 기여하는

선량 이외의 인자와 관련되는 제2 변동의 함수인, 명령어를 포함하는 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체.

청구항 12

제9항에 있어서,

상기 복수의 선량-초점 설정에 대한 상기 조정 모델의 상기 파라미터의 상기 조정은, 적응적 모멘트 추정 또는 경사 하강법:으로부터 선택되는 최적화 알고리즘에 의해 수행되는, 명령어를 포함하는 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체.

청구항 13

제9항에 있어서,

상기 조정 모델은 선량 및 초점의 다항식 함수인, 명령어를 포함하는 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체.

청구항 14

제12항에 있어서,

상기 복수의 선량-초점 설정의 각각의 선량 및 각각의 초점 설정에 대한 상기 기준 분포와 관련하여 최소 에러를 갖는 상기 PDF와 관련되는 복수의 조정 값을 결정하는 것; 및

적합된 다항식 함수와 상기 복수의 조정 모델 값 사이의 차이가 최소화되도록 상기 조정 모델을 결정하기 위해, 상기 복수의 조정 값에 기초하여, 선량 및 초점의 다항식 함수를 적합시키는 것을 더 포함하는, 명령어를 포함하는 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체.

청구항 15

제9항에 있어서,

상기 패턴과 관련되는 불량률 데이터(failure rate data)를 사용하여, 임계 불량률과 관련되는 특성 한계를 결정하기 위해 상기 결정된 확률 밀도 함수를 실행하는 것을 더 포함하는, 명령어를 포함하는 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 관련 출원에 대한 교차 참조

[0002] 본 출원은 2020년 2월 21일자로 출원된, 그리고 참조에 의해 그 전체가 본원에 통합되는 미국 출원 제 62/980,068호의 우선권을 주장한다.

[0003] 분야

[0004] 본 개시는 디바이스 제조 프로세스의 성능을 개선하는 기술에 관한 것이다. 기술은 리소그래피 장치 또는 계측 장치와 관련하여 사용될 수도 있다.

배경 기술

[0005] 리소그래피 장치는 기판의 타겟 부분 상으로 소망되는 패턴을 적용하는 머신이다. 리소그래피 장치는, 예를 들면, 집적 회로(integrated circuit; IC)의 제조에서 사용될 수 있다. 그 상황에서, IC의 개개의 층에 대응하는 회로 패턴을 생성하기 위해, 대안적으로 마스크 또는 레티클로 칭해지는 패턴화 디바이스가 사용될 수도 있고, 이 패턴은, 방사선 감응성 재료(레지스트)의 층을 갖는 기판(예를 들면, 실리콘 웨이퍼) 상의 타겟 부분(예를 들면, 하나의 또는 여러 개의 다이의 부분을 포함함) 상으로 이미지화될 수 있다. 일반적으로, 단일의 기판은, 연속적으로 노출되는 인접한 타겟 부분의 네트워크를 포함할 것이다. 공지된 리소그래피 장치는, 전체 패턴을 타겟 부분 상으로 한 번에 노출시키는 것에 의해 각각의 타겟 부분이 조사되는(irradiated) 소위 스테퍼(stepers), 및 주어진 방향("스캐닝" 방향)에서, 이 방향과 평행하게 또는 반평행하게 기판을 동시에 스캐닝하면서, 빔을 통해 패턴을 스캐닝하는 것에 의해 각각의 타겟 부분이 조사되는 소위 스캐너를 포함한다.

[0006] 패턴화 디바이스로부터 기판으로 회로 패턴을 전사하기 이전에, 기판은 프라이밍(priming), 레지스트 코팅 및 소프트 베이크(soft bake)와 같은 다양한 프로시저를 거칠 수도 있다. 노출 이후, 기판은 노출 후 베이크(post-exposure bake; PEB), 현상, 하드 베이크(hard bake) 및 전사된 회로 패턴의 측정/검사와 같은 다른 프로시저에 노출될 수도 있다. 프로시저의 이 어레이는, 디바이스, 예를 들면, IC의 개개의 층을 만들기 위한 기초로서 사용된다. 그 다음, 기판은 에칭, 이온 주입(도핑), 금속화(metallization), 산화, 화학적 기계적 연마, 등등과 같은 다양한 프로세스를 거칠 수도 있는데, 이들 모두는 디바이스의 개개의 층을 마무리하도록 의도된다. 디바이스에서 여러 개의 층이 필요로 되는 경우, 그러면 전체 프로시저 또는 그 변형이 각각의 층에 대해 반복된다. 결국, 디바이스가 기판 상의 각각의 타겟 부분에서 존재할 것이다. 그 다음, 이들 디바이스는 다이싱(dicing) 또는 쏘잉(sawing)과 같은 기술에 의해 서로 분리되고, 그러므로, 개개의 디바이스는 캐리어 상에 장착될 수 있거나, 핀에 연결될 수 있거나, 등등으로 될 수 있다.

[0007] 따라서, 반도체 디바이스와 같은 디바이스를 제조하는 것은, 통상적으로, 다수의 제조 프로세스를 사용하여 기판(예를 들면, 반도체 웨이퍼)을 프로세싱하여 디바이스의 다양한 피쳐(feature) 및 다수의 층을 형성하는 것을 수반한다. 그러한 층 및 피쳐는, 통상적으로, 예를 들면, 퇴적, 리소그래피, 에치, 화학적 기계적 연마, 및 이온 주입을 사용하여 제조되고 프로세싱된다. 다수의 디바이스가 기판 상의 복수의 다이 상에 제조될 수도 있고, 그 다음, 개개의 디바이스로 분리될 수도 있다. 이 디바이스 제조 프로세스는 패턴화 프로세스로 간주될 수도 있다. 패턴화 프로세스는, 패턴화 디바이스 상의 패턴을 기판으로 전사하기 위한 패턴화 단계, 예컨대 리소그래피 장치(lithographic apparatus)에서 패턴화 디바이스를 사용하는 광학적 및/또는 나노임프린트 리소그래피를 수반하지만, 그러나 옵션 사항으로(optionally), 하나 이상의 관련된 패턴 프로세싱 단계, 예컨대 현상 장치에 의한 레지스트 현상, 베이크 툴을 사용하는 기판의 베이킹, 에치 장치(etch apparatus)를 사용하여 패턴을 에칭하는 것, 등등을 수반한다.

발명의 내용

[0008] 한 실시형태에 따르면, 시뮬레이션 프로세스를 캘리브레이팅하는 방법이 제공된다. 방법은, (i) 인쇄된 패턴의 임계 불량률(threshold failure rate)에 기초한 인쇄된 패턴의 특성의 특성 한계, 및 (ii) 특성 한계에 기초한 기준 프로세스 윈도우:를 획득하는 것; 및 시뮬레이팅된 프로세스 윈도우가 기준 프로세스 윈도우의 허용 가능한 임계치 내에 있도록 시뮬레이션 프로세스를 캘리브레이팅하는 것을 포함한다. 시뮬레이션 프로세스의 캘리브레이팅은, 시뮬레이팅된 패턴을 결정하기 위해, 하나 이상의 프로세스 모델을 실행하는 것; 및 시뮬레이팅된 패턴의 특성이 특성 한계를 충족할 때까지 하나 이상의 프로세스 모델과 관련되는 파라미터 값을 조정하는 것을 포함한다.

[0009] 더구나, 한 실시형태에 따르면, 패턴화 프로세스와 관련되는 리타겟팅된 패턴(retargeted pattern)을 생성하기 위한 방법이 제공된다. 방법은, (i) 타겟 패턴과 관련되는 특성 한계 - 특성 한계는, 타겟 패턴에 대응하는 인쇄된 패턴이, 넘어서게 되면, 결함이 있는 것으로 간주되는 특성의 값임 - , 및 (ii) 타겟 패턴의 특성과 관련되는 임계 불량률에 기초하여 선량(dose) 및/또는 마스크 파라미터를 계산하도록 구성되는 소스 마스크 최적화(source mask optimization; SMO) 프로세스를 획득하는 것; 및 타겟 패턴을 사용하여 소스 마스크 최적화 프로세스를 시뮬레이팅하는 것에 의해, 리타겟팅된 패턴과 관련되는 특성이 타겟 패턴과 관련되는 특성 한계 내에 또한 속하도록 리타겟팅된 패턴을 생성하는 것을 포함한다.

[0010] 더구나, 한 실시형태에 따르면, 프로세스 윈도우를 조정하기 위한 방법이 제공된다. 방법은, (i) 선량의 확률을 결정하기 위한 선량 확률 밀도 함수(dose probability density function; 선량 PDF) - 선량 PDF는 (a) 피쳐의 특성 및 (b) 마스크 특성의 편차의 함수이고, 마스크 특성은 기판 상에 피쳐를 인쇄하기 위해 사용되는 마스크와 관련됨 - , (ii) 마스크 특성의 편차에서의 확률을 결정하기 위한 마스크 확률 밀도 함수(mask probability density function; 마스크 PDF):를 획득하는 것; 마스크 특성 값의 주어진 범위에 걸쳐 (i) 선량 PDF 및 (ii) 마스크 PDF를 컨볼루션하는 것에 의해 특성과 관련되는 확률 밀도 함수를 결정하는 것; 및 특성과 관련되는 결정된 확률 밀도 함수에 기초하여, 패턴화 프로세스와 관련되는 프로세스 윈도우를 조정하는 것을 포함한다.

[0011] 더구나, 한 실시형태에 따르면, 프로세스 윈도우를 조정하기 위한 방법이 제공된다. 방법은, (i) 복수의 선량-초점 설정(dose-focus setting), 및 (ii) 복수의 선량-초점 설정의 각각의 설정과 관련되는 인쇄된 패턴의 특성의 측정된 값에 기초한 기준 분포:를 획득하는 것; 조정 모델 및 복수의 선량-초점 설정에 기초하여, 확률 밀도 함수(PDF) - PDF는 선량과 관련되는 분산 및 조정 모델의 함수이고, 조정 모델은 PDF에 대한 비선형 선량 감도 기여의 비율을 변경하도록 구성됨 - 와 기준 분포 사이의 에러가 감소되도록 특성의 PDF를 결정하는 것; 및 특성의 결정된 PDF에 기초하여, 패턴화 프로세스와 관련되는 프로세스 윈도우를 조정하는 것을 포함한다.

[0012] 더구나, 한 실시형태에 따르면, 명령어를 포함하는 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체가 제공되는데, 명령어는, 하나 이상의 프로세서에 의해 실행될 때, (i) 인쇄된 패턴의 임계 불량률에 기초한 인쇄된 패턴의 특성의 특성 한계, 및 (ii) 특성 한계에 기초한 기준 프로세스 윈도우:를 획득하는 것; 및 시뮬레이팅된 프로세스 윈도우가 기준 프로세스 윈도우의 허용 가능한 임계치 내에 있도록 시뮬레이션 프로세스를 캘리브레이팅하는 것을 포함하는 동작을 초래한다. 시뮬레이션 프로세스의 캘리브레이팅은, 시뮬레이팅된 패턴을 결정하기 위해, 하나 이상의 프로세스 모델을 실행하는 것; 및 시뮬레이팅된 패턴의 특성이 특성 한계를 충족할 때까지 하나 이상의 프로세스 모델과 관련되는 파라미터 값을 조정하는 것을 포함한다.

[0013] 더구나, 한 실시형태에 따르면, 명령어를 포함하는 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체가 제공되는데, 명령어는, 하나 이상의 프로세서에 의해 실행될 때, (i) 타겟 패턴과 관련되는 특성 한계 - 특성 한계는, 타겟 패턴에 대응하는 인쇄된 패턴이, 넘어서게 되면, 결함이 있는 것으로 간주되는 특성의 값임 -, 및 (ii) 타겟 패턴의 특성과 관련되는 임계 불량률에 기초하여 선량 및/또는 마스크 파라미터를 계산하도록 구성되는 소스 마스크 최적화(SMO) 프로세스를 획득하는 것; 및 타겟 패턴을 사용하여 소스 마스크 최적화 프로세스를 시뮬레이팅하는 것에 의해, 리타겟팅된 패턴과 관련되는 특성이 타겟 패턴과 관련되는 특성 한계 내에 또한 속하도록 리타겟팅된 패턴을 생성하는 것을 포함하는 동작을 초래한다.

[0014] 더구나, 한 실시형태에 따르면, 명령어를 포함하는 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체가 제공되는데, 명령어는, 하나 이상의 프로세서에 의해 실행될 때, (i) 선량의 확률을 결정하기 위한 선량 확률 밀도 함수(선량 PDF) - 선량 PDF는 (a) 피처의 특성 및 (b) 마스크 특성의 편차의 함수이고, 마스크 특성은 기판 상에 피처를 인쇄하기 위해 사용되는 마스크와 관련됨 -, (ii) 마스크 특성의 편차에서의 확률을 결정하기 위한 마스크 확률 밀도 함수(마스크 PDF):를 획득하는 것; 마스크 특성 값의 주어진 범위에 걸쳐 (i) 선량 PDF 및 (ii) 마스크 PDF를 컨볼루션하는 것에 의해 특성과 관련되는 확률 밀도 함수를 결정하는 것; 및 특성과 관련되는 결정된 확률 밀도 함수에 기초하여, 패턴화 프로세스와 관련되는 프로세스 윈도우를 조정하는 것을 포함하는 동작을 초래한다.

[0015] 더구나, 실시형태에 따르면, 명령어를 포함하는 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체가 제공되는데, 명령어는, 하나 이상의 프로세서에 의해 실행될 때, (i) 복수의 선량-초점 설정, 및 (ii) 복수의 선량-초점 설정의 각각의 설정과 관련되는 인쇄된 패턴의 특성의 측정된 값에 기초한 기준 분포:를 획득하는 것; 조정 모델 및 복수의 선량-초점 설정에 기초하여, 확률 밀도 함수(PDF) - PDF는 선량과 관련되는 분산 및 조정 모델의 함수이고, 조정 모델은 PDF에 대한 비선형 선량 감도 기여의 비율을 변경하도록 구성됨 - 와 기준 분포 사이의 에러가 감소되도록 특성의 PDF를 결정하는 것; 및 특성의 결정된 PDF에 기초하여, 패턴화 프로세스와 관련되는 프로세스 윈도우를 조정하는 것을 포함하는 동작을 초래한다.

도면의 간단한 설명

- [0016] 도 1은, 한 실시형태에 따른, 리소그래피 장치를 개략적으로 묘사한다;
- 도 2는, 한 실시형태에 따른, 리소그래피 셀 또는 클러스터의 실시형태를 개략적으로 묘사한다;
- 도 3은, 한 실시형태에 따른, 예시적인 검사 장치 및 계측 기술을 개략적으로 묘사한다;
- 도 4는, 한 실시형태에 따른, 예시적인 검사 장치를 개략적으로 묘사한다;
- 도 5는, 한 실시형태에 따른, 검사 장치의 조명 스팟과 계측 타겟 사이의 관계를 예시한다;
- 도 6은, 한 실시형태에 따른, 측정 데이터에 기초하여 복수의 관심 변수를 유도하는 프로세스를 개략적으로 묘사한다;
- 도 7은, 한 실시형태에 따른, 프로세싱 변수의 예시적인 카테고리를 도시한다;
- 도 8은, 한 실시형태에 따른, 패턴화 시뮬레이션 방법에 대한 흐름을 개략적으로 도시한다;
- 도 9는, 한 실시형태에 따른, 측정 시뮬레이션 방법에 대한 흐름을 개략적으로 도시한다;
- 도 10은, 한 실시형태에 따른, 특정한 피처에 관련되는 리타겟팅을 위해 사용되는 현존하는 프로세스의 예의 플로우차트이다;
- 도 11은, 한 실시형태에 따른, 종래의 패턴화 프로세스 시뮬레이션을 향상시키기 위해 결함 기반의 프로세스 윈도우 및 특성 한계를 구현하는 시뮬레이션 프로세스의 플로우차트이다;
- 도 12a는, 한 실시형태에 따른, (예를 들면, 도 11의) 시뮬레이션 프로세스를 캘리브레이팅하기 위해 사용되는

예시적인 게이지를 예시한다;

도 12b는, 한 실시형태에 따른, 예시적인 게이지 및 각각의 게이지에 대한 (예를 들면, 도 11의) 시물레이션 프로세스를 캘리브레이팅하기 위해 사용되는 대응하는 결함 기반의 CD 한계 및 레지스트 CD 한계(resist-CD limit)를 예시한다;

도 12c는, 한 실시형태에 따른, 상단(top) CD 및 저부(bottom) CD 위치를 예시하는 패턴 또는 게이지의 예시적인 레지스트 프로파일이다;

도 13은, 한 실시형태에 따른, 레지스트 프로파일의 상단 및 저부와 관련되는 예시적인 결함 기반의 프로세스 윈도우를 예시한다;

도 14a는, 한 실시형태에 따른, (예를 들면, 도 11의) 시물레이션 프로세스를 캘리브레이팅하기 위해 사용되는 실험 데이터에 기초한 예시적인 DB-PW 프로세스 윈도우를 예시한다;

도 14b는, 한 실시형태에 따른, (예를 들면, 도 11의) 시물레이션 프로세스를 캘리브레이팅하는 것으로부터 획득되는 시물레이팅된 프로세스 윈도우의 예를 예시한다;

도 14c는, 한 실시형태에 따른, 레지스트 상의 상이한 위치에서 이용 가능한 예시적인 CD 마진(CD-margin)을 도시한다;

도 15는, 한 실시형태에 따른, 도 11과 유사한, 시물레이션 프로세스의 캘리브레이팅의 플로우차트이다;

도 16은, 한 실시형태에 따른, 에칭 이후에 소망될 예시적인 타겟 패턴, 및 예시적인 패턴화 후 프로세스(post-patterning process)의 결과를 예시한다;

도 17은, 한 실시형태에 따른, 에치 이후 타겟 패턴 및 캘리브레이팅된 SMO 프로세스에 기초하여 생성되는 예시적인 리타겟팅된 패턴 및 관련된 프로세스 파라미터 값을 예시한다;

도 18은, 한 실시형태에 따른, 예시적인 리타겟팅 프로세스의 블록도이다;

도 19는 도 18의 리타겟팅 프로세스에서 활용될 마진을 결정하는 예를 예시한다;

도 20a 및 도 20b는, 한 실시형태에 따른, 선량 변동에 기인하여 야기되는 마진의 예시적인 거동을 예시한다;

도 21은, 한 실시형태에 따른, 패턴화 프로세스와 관련되는 리타겟팅된 패턴을 생성하기 위한 방법의 플로우차트이다;

도 22는, 한 실시형태에 따른, 예시적인 CD 분포 적합(distribution fitting)의 플롯이다;

도 23은 마스크 CD에서의 편차에 대해 플롯되는 각각의 마스크 콘택 홀과 관련되는 측정된 레지스트 LCDU의 플롯을 예시한다;

도 24는, 한 실시형태에 따른, 기관 상에 인쇄될 피처의 특성과 관련되는 확률 밀도 함수를 결정하기 위한 방법의 플로우차트이다;

도 25는, 한 실시형태에 따른, 마스크 사이즈에서의 변화에 기인하여 야기되는 웨이퍼 상의 CD에서의 변화와 마스크 사이즈 사이의 예시적인 관계를 예시한다;

도 26은, 한 실시형태에 따른, 상이한 δCD_{mask} 에 대한 기관 상의 CD와 선량(D) 사이의 두 가지 예시적인 관계를 예시한다;

도 27은, 한 실시형태에 따른, 미가공 CD 데이터의 예시적인 분포 및 미가공 데이터에 대한 가우시안 피트(Gaussian fit)를 예시한다;

도 28은, 한 실시형태에 따른, 상이한 선량-초점 설정에 대한 현존하는 CD 모델에 의해 생성되는 샘플 결과이다;

도 29는, 한 실시형태에 따른, 기관 상에 인쇄될 패턴의 특성과 관련되는 확률 밀도 함수를 결정하기 위한 방법의 플로우차트이다;

도 30a 및 도 30b는, 한 실시형태에 따른, 특성(예를 들면, CD) 변동에 대한 선량 기여(dose contribution)를 조정하기 위해 사용되는 조정 모델에 관련되는 조정 값의 플롯이다;

도 31은, 한 실시형태에 따른, 상이한 선량-초점 설정에 대한 특성 모델(예를 들면, CD 모델)에 의해 생성되는 샘플 결과인데, 여기서 특성 모델은 도 29의 방법에 의해 결정된다;

도 32는, 한 실시형태에 따른, 도 1의 서브시스템에 대응하는 시뮬레이션 모델의 블록도이다;

도 33은, 한 실시형태에 따른, 리소그래피 투영 장치를 최적화하는 일반적인 방법의 플로우차트를 도시한다;

도 34는, 한 실시형태에 따른, 모든 설계 변수의 최적화가 교대로 실행되는 리소그래피 투영 장치를 최적화하는 방법의 플로우차트를 도시한다;

도 35는, 한 실시형태에 따른, 최적화의 하나의 예시적인 방법을 도시한다;

도 36은, 한 실시형태에 따른, 예시적인 컴퓨터 시스템의 블록도이다;

도 37은, 한 실시형태에 따른, 다른 리소그래피 투영 장치의 개략적인 다이어그램이다;

도 38은, 한 실시형태에 따른, 도 37의 장치의 더 상세한 도면이다; 그리고

도 39는, 한 실시형태에 따른, 도 37 및 도 38의 장치의 소스 콜렉터 모듈(source collector module)의 더 상세한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0017] 실시형태를 더욱 상세하게 설명하기 이전에, 실시형태가 구현될 수도 있는 예시적인 환경을 제시하는 것이 도움이 된다.
- [0018] 도 1은 리소그래피 장치(lithographic apparatus; LA)의 실시형태를 개략적으로 묘사한다. 장치는 다음의 것을 포함한다:
- [0019] - 방사선 빔(B)(예를 들면, UV 방사선 또는 DUV 방사선)을 컨디셔닝하도록 구성되는 조명 시스템(일루미네이터(illuminator; IL));
- [0020] - 패턴화 디바이스(예를 들면, 마스크)(mask; MA)를 지지하도록 구성되며 소정의 파라미터에 따라 패턴화 디바이스를 정확하게 배치하도록 구성되는 제1 포지셔너(positioner; PM)에 연결되는 마스크 지지부(예를 들면, 마스크 테이블)(mask table; MT);
- [0021] - 기판(예를 들면, 레지스트 코팅된 웨이퍼)(W)을 유지하도록 구성되며 소정의 파라미터에 따라 기판을 정확하게 배치하도록 구성되는 제2 포지셔너(PW)에 연결되는 기판 테이블(예를 들면, 웨이퍼 테이블)(wafer table; WT)(예를 들면, WTa, WTb 또는 둘 모두); 및
- [0022] - 패턴화 디바이스(MA)에 의해 방사선 빔(B)에 부여되는 패턴을, 기판(W)의 타겟 부분(C)(예를 들면, 하나 이상의 다이들 포함하고 종종 필드(field)로 지칭됨) 상으로 투영하도록 구성되는 투영 시스템(예를 들면, 굴절 투영 렌즈 시스템)(projection system; PS) - 투영 시스템은 기준 프레임(reference frame; RF) 상에서 지지됨 - .
- [0023] 여기에서 묘사되는 바와 같이, 장치는 (예를 들면, 투과성 마스크를 활용하는) 투과 타입을 갖는다. 대안적으로, 장치는 (예를 들면, 위에서 언급되는 바와 같은 타입의 프로그래머블 미러 어레이를 활용하거나, 또는 반사 마스크를 활용하는) 반사 타입을 가질 수도 있다.
- [0024] 일루미네이터(IL)는 방사선 소스(SO)로부터 방사선 빔을 수신한다. 예를 들면, 소스가 엑시머 레이저인 경우, 소스 및 리소그래피 장치는 별개의 엔티티일 수도 있다. 그러한 경우에, 소스는 리소그래피 장치의 일부를 형성하는 것으로 간주되지 않으며, 방사선 빔은, 예를 들면, 적절한 지향 미러 및/또는 빔 확장기(beam expander)를 포함하는 빔 전달 시스템(BD)의 도움으로 소스(SO)로부터 일루미네이터(IL)로 전달된다. 다른 경우에, 소스는, 예를 들면, 소스가 수은 램프인 경우, 장치의 필수 부분일 수도 있다. 소스(SO) 및 일루미네이터(IL)는, 필요한 경우 빔 전달 시스템(BD)과 함께, 방사선 시스템으로 칭해질 수도 있다.
- [0025] 일루미네이터(IL)는 빔의 강도 분포를 변경할 수도 있다. 일루미네이터는, 일루미네이터(IL)의 동공 평면의 한 형 영역 내에서 강도 분포가 제로가 아니도록 방사선 빔의 반경 방향 범위를 제한하도록 배열될 수도 있다. 추가적으로 또는 대안적으로, 일루미네이터(IL)는, 동공 평면의 복수의 동일하게 이격된 섹터에서 강도 분포가 제로가 아니도록 동공 평면에서 빔의 분포를 제한하도록 동작 가능할 수도 있다. 일루미네이터(IL)의 동공 평면에

서 방사선 빔의 강도 분포는 조명 모드로서 지칭될 수도 있다.

[0026] 따라서, 일루미네이터(IL)는 빔의 (각도적/공간적) 강도 분포를 조정하도록 구성되는 조정기(adjuster)(AM)를 포함할 수도 있다. 일반적으로, 일루미네이터의 동공 평면에서의 강도 분포의 적어도 외부 및/또는 내부 반경 방향 범위(일반적으로, 각각, σ -외부 및 σ -내부로 지칭됨)가 조정될 수 있다. 일루미네이터(IL)는 빔의 각도 분포를 변경시키도록 동작 가능할 수도 있다. 예를 들면, 일루미네이터는 강도 분포가 제로가 아닌 동공 평면에서 섹터의 수, 및 각도 범위를 변경하도록 동작 가능할 수도 있다. 일루미네이터의 동공 평면에서 빔의 강도 분포를 조정하는 것에 의해, 상이한 조명 모드가 달성될 수도 있다. 예를 들면, 일루미네이터(IL)의 동공 평면에서 강도 분포의 반경 방향 및 각도 범위를 제한하는 것에 의해, 강도 분포는, 예를 들면, 쌍극자, 4극자(quadrupole) 또는 6극자(quadrupole) 분포와 같은 다극자 분포(multi-pole distribution)를 가질 수도 있다. 소망되는 조명 모드는, 예를 들면, 조명 모드를 제공하는 광학기기(optic)를 일루미네이터(IL)에 삽입하는 것 또는 공간 광 변조기를 사용하는 것에 의해 획득될 수도 있다.

[0027] 일루미네이터(IL)는 빔의 편광을 변경하도록 동작 가능할 수도 있고 조정기(AM)를 사용하여 편광을 조정하도록 동작 가능할 수도 있다. 일루미네이터(IL)의 동공 평면에 걸친 방사선 빔의 편광 상태는 편광 모드로서 지칭될 수도 있다. 상이한 편광 모드의 사용은 기관(W) 상에서 형성되는 이미지에서 더 큰 콘트라스트가 달성되는 것을 허용할 수도 있다. 방사선 빔은 편광되지 않을 수도 있다. 대안적으로, 일루미네이터는 방사선 빔을 선형적으로 편광시키도록 배열될 수도 있다. 방사선 빔의 편광 방향은 일루미네이터(IL)의 동공 평면에 걸쳐 변할 수도 있다. 방사선의 편광 방향은 일루미네이터(IL)의 동공 평면 내의 상이한 영역에서 상이할 수도 있다. 방사선의 편광 상태는 조명 모드에 의존하여 선택될 수도 있다. 다극자 조명 모드의 경우, 방사선 빔의 각각의 극(pole)의 편광은, 일반적으로, 일루미네이터(IL)의 동공 평면에서의 그 극의 포지션 벡터에 수직일 수도 있다. 예를 들면, 쌍극자 조명 모드의 경우, 방사선은 쌍극자의 두 개의 대향하는 섹터를 이등분하는 라인에 실질적으로 수직인 방향에서 선형적으로 편광될 수도 있다. 방사선 빔은 두 개의 상이한 직교 방향 중 하나에서 편광될 수도 있는데, X 편광 상태 및 Y 편광 상태로서 지칭될 수도 있다. 4극자 조명 모드의 경우, 각각의 극의 섹터에서의 방사선은, 그 섹터를 이등분하는 라인에 실질적으로 수직인 방향에서 선형적으로 편광될 수도 있다. 이 편광 모드는 XY 편광으로 지칭될 수도 있다. 유사하게, 6극자 조명 모드의 경우, 각각의 극의 섹터에서의 방사선은 그 섹터를 이등분하는 라인에 실질적으로 수직인 방향에서 선형적으로 편광될 수도 있다. 이러한 편광 모드는 TE 편광으로 지칭될 수도 있다.

[0028] 또한, 일루미네이터(IL)는 적분기(integrator; IN) 및 집광기(condenser; CO)와 같은 다양한 다른 컴포넌트를 일반적으로 포함한다. 조명 시스템은, 방사선을 지향, 성형 또는 제어하기 위한 다양한 타입의 광학 컴포넌트, 예컨대 굴절, 반사, 자기, 전자기, 정전기, 또는 다른 타입의 광학 컴포넌트, 또는 이들의 임의의 조합을 포함할 수도 있다.

[0029] 따라서, 일루미네이터는, 단면에서 소망되는 균일성 및 강도 분포를 갖는 방사선(B)의 컨디셔닝된 빔을 제공한다.

[0030] 지지 구조물(MT)은 패턴화 디바이스의 방위, 리소그래피 장치의 설계, 및 예를 들면, 패턴화 디바이스가 진공 환경에서 유지되는지 또는 그렇지 않은지의 여부와 같은, 다른 조건에 의존하는 방식으로 패턴화 디바이스를 지지한다. 지지 구조물은 패턴화 디바이스를 유지하기 위해 기계적, 진공, 정전기 또는 다른 클램핑 기술을 사용할 수 있다. 지지 구조물은, 예를 들면, 필요에 따라 고정될 수도 있거나 또는 움직일 수도 있는 프레임 또는 테이블일 수도 있다. 지지 구조물은, 패턴화 디바이스가, 예를 들면, 투영 시스템에 대하여 소망되는 포지션에 있는 것을 보장할 수도 있다. 본원에서 용어 "레티클" 또는 "마스크"의 임의의 사용은, 더욱 일반적인 용어 "패턴화 디바이스"와 동의어로서 간주될 수도 있다.

[0031] 본원에서 사용되는 용어 "패턴화 디바이스"는, 기관의 타겟 부분에서 패턴을 부여하기 위해 사용될 수 있는 임의의 디바이스를 가리키는 것으로 광의적으로 해석되어야 한다. 한 실시형태에서, 패턴화 디바이스는 기관의 타겟 부분에서 패턴을 생성하기 위해 방사선 빔에 그 단면에서 패턴을 부여하기 위해 사용될 수 있는 임의의 디바이스이다. 방사선 빔에 부여되는 패턴은, 예를 들면, 패턴이 위상 시프팅 피쳐 또는 소위 지원 피쳐를 포함하는 경우, 기관의 타겟 부분에서의 소망되는 패턴에 정확하게 대응하지 않을 수도 있다는 것을 유의해야 한다. 일반적으로, 방사선 빔에 부여되는 패턴은, 집적 회로와 같은, 타겟 부분에서 생성되고 있는 디바이스의 특정한 기능 층에 대응할 것이다.

[0032] 패턴화 디바이스는 투과성 또는 반사성일 수도 있다. 패턴화 디바이스의 예는, 마스크, 프로그래머블 미러 어레이(programmable mirror array), 및 프로그래머블 LCD 패널을 포함한다. 마스크는 리소그래피에서 널리 알려져

있으며, 이진, 교대하는 위상 시프트, 및 감쇠 위상 시프트와 같은 마스크 타입뿐만 아니라, 다양한 하이브리드 마스크 타입을 포함한다. 프로그래머블 미러 어레이의 예는, 작은 미러의 매트릭스 배열을 활용하는데, 각각은 입사 방사선 빔을 상이한 방향으로 반사시키기 위해 개별적으로 기울어질 수 있다. 기울어진 미러는, 미러 매트릭스에 의해 반사되는 방사선 빔에 패턴을 부여한다.

[0033] 본원에서 사용되는 용어 "투영 시스템"은, 사용되고 있는 노출 방사선(구조물)에 대해, 또는 침지 액체의 사용 또는 진공의 사용과 같은 다른 인자(factor)에 대해 적절한, 굴절, 반사, 반사굴절(catadioptric), 자기, 전자기 및 정전 광학 시스템, 또는 이들의 임의의 조합을 비롯한, 임의의 타입의 투영 시스템을 포괄하는 것으로 광의적으로 해석되어야 한다. 본원에서 용어 "투영 렌즈"의 임의의 사용은, 더욱 일반적인 용어 "투영 시스템"과 동의어로서 간주될 수도 있다.

[0034] 투영 시스템(PS)은 기판(W) 상에 이미지화되는 패턴에 영향을 끼칠 수 있는 불균일할 수도 있는 광학 전달 함수(optical transfer function)를 갖는다. 비편광 방사선의 경우, 그러한 효과는, 투영 시스템(PS)을 빠져나가는 방사선의 투과(아포다이제이션) 및 상대적 위상(수차)을 동공 평면에서의 포지션의 함수로서 설명하는 두 개의 스칼라 맵에 의해 상당히 잘 설명될 수 있다. 투과 맵 및 상대적 위상 맵으로 지칭될 수도 있는 이들 스칼라 맵은, 기저 함수의 완전한 세트의 선형 조합으로서 표현될 수도 있다. 특히 편리한 세트는, 단위 원 상에서 정의되는 직교 다항식의 세트를 형성하는 Zernike(제르니케) 다항식이다. 각각의 스칼라 맵의 결정은 그러한 확장에서 계수를 결정하는 것을 수반할 수도 있다. 제르니케 다항식이 단위 원 상에서 직교하기 때문에, 제르니케 계수는 각각의 제르니케 다항식과의 측정된 스칼라 맵의 내적(inner product)을 차례로 계산하는 것 및 이것을 그 제르니케 다항식의 놈(norm)의 제곱에 의해 제산하는 것에 의해 결정될 수도 있다.

[0035] 투과 맵 및 상대적 위상 맵은 필드 및 시스템 의존적이다. 즉, 일반적으로, 각각의 투영 시스템(PS)은 각각의 필드 포인트에 대해(즉, 이미지 평면의 각각의 공간 위치에 대해) 상이한 제르니케 확장을 가질 것이다. 자신의 동공 평면에서의 투영 시스템(PS)의 상대적 위상은, 투영 시스템(PS)을 통해 그리고 파면(즉, 동일한 위상을 갖는 포인트의 자취)을 측정하기 위해 전단 간섭계(shearing interferometer)를 사용하여, 예를 들면, 투영 시스템(PS)의 오브젝트 평면(즉, 패턴화 디바이스(MA)의 평면)에서 포인트 형상의 소스로부터의 방사선을 투영하는 것에 의해 결정될 수도 있다. 전단 간섭계는 공통 경로 간섭계이며, 따라서, 유리하게는, 파면을 측정하는 데 보조 기준 빔이 필요로 되지 않는다. 전단 간섭계는 투영 시스템(즉, 기판 테이블(WT))의 이미지 평면에서 회절 격자, 예를 들면, 이차원 그리드를 그리고 투영 시스템(PS)의 동공 평면에 공액인 평면에서 간섭 패턴을 검출하도록 배열되는 검출기를 포함할 수도 있다. 간섭 패턴은 전단 방향(shearing direction)에서 동공 평면의 좌표에 대한 방사선의 위상의 도함수에 관련된다. 검출기는, 예를 들면, 전하 결합 소자(charge coupled device; CCD)와 같은 감지 엘리먼트의 어레이를 포함할 수도 있다.

[0036] 리소그래피 장치의 투영 시스템(PS)은 가시적 프린지(fringe)를 생성하지 않을 수도 있고 따라서 파면의 결정의 정확도는, 예를 들면, 회절 격자를 이동시키는 것과 같은 위상 스텝핑 기술을 사용하여 향상될 수 있다. 스텝핑은 회절 격자의 평면에서 그리고 측정의 스캐닝 방향에 수직인 방향에서 수행될 수도 있다. 스텝핑 범위는 하나의 격자 주기일 수도 있고, 적어도 세 개의 (균일하게 분포된) 위상 스텝이 사용될 수도 있다. 따라서, 예를 들면, y 방향에서 세 개의 스캐닝 측정이 수행될 수도 있는데, 각각의 스캐닝 측정은 x 방향에서 상이한 포지션에 대해 수행된다. 회절 격자의 이러한 스텝핑은 위상 변동을 강도 변동으로 효과적으로 변환하여, 위상 정보가 결정되는 것을 허용한다. 격자는 검출기를 캘리브레이팅하기 위해 회절 격자에 수직인 방향(z 방향)에서 계단식으로 형성될(steped) 수도 있다.

[0037] 회절 격자는, 투영 시스템(PS)의 좌표 시스템의 축(x 및 y)과 일치할 수도 있거나 또는 이들 축에 대해 45도와 같은 각도에 있을 수도 있는 두 개의 수직인 방향에서 순차적으로 스캐닝될 수도 있다. 스캐닝은 정수 개수의 격자 주기, 예를 들면, 하나의 격자 주기에 걸쳐 수행될 수도 있다. 스캐닝은 하나의 방향에서 위상 변동을 평균하여, 다른 방향에서의 위상 변동이 재구성되는 것을 허용한다. 이것은 파면이 양방향의 함수로서 결정되는 것을 허용한다.

[0038] 자신의 동공 평면에서 투영 시스템(PS)의 투과(아포다이제이션)는, 예를 들면, 투영 시스템(PS)을 통해, 투영 시스템(PS)의 오브젝트 평면(즉, 패턴화 디바이스(MA)의 평면)의 포인트 형상의 소스로부터 방사선을 투영하는 것, 및 검출기를 사용하여, 투영 시스템(PS)의 동공 평면에 공액인 평면에서 방사선의 강도를 측정하는 것에 의해 결정될 수도 있다. 수차를 결정하기 위해, 파면을 측정하기 위해 사용되는 것과 동일한 검출기가 사용될 수도 있다.

[0039] 투영 시스템(PS)은 복수의 광학(예를 들면, 렌즈) 엘리먼트를 포함할 수도 있고 수차(필드 전체에 걸쳐 동공 평

면에 걸친 위상 변동)를 보정하기 위해, 광학 엘리먼트 중 하나 이상을 조정하도록 구성되는 조정 메커니즘(A M)을 더 포함할 수도 있다. 이것을 달성하기 위해, 조정 메커니즘은 투영 시스템(PS) 내의 하나 이상의 광학(예를 들면, 렌즈) 엘리먼트를 하나 이상의 상이한 방식으로 조작하도록 동작 가능할 수도 있다. 투영 시스템은, 자신의 광학 축이 z 방향에서 연장되는 좌표 시스템을 가질 수도 있다. 조정 메커니즘은 다음의 것의 임의의 조합을 행하도록 동작 가능할 수도 있다: 하나 이상의 광학 엘리먼트를 변위시키는 것; 하나 이상의 광학 엘리먼트를 기울이는 것; 및/또는 하나 이상의 광학 엘리먼트를 변형시키는 것. 광학 엘리먼트의 변위는 임의의 방향(x, y, z 또는 이들의 조합)에 있을 수도 있다. z 축을 중심으로 하는 회전이 비회전 대칭 비구면 광학 엘리먼트에 대해 사용될 수도 있지만, 광학 엘리먼트의 기울임은, x 및/또는 y 방향의 축을 중심으로 회전시키는 것에 의해, 광학 축에 수직인 평면을 통상적으로 벗어난다. 광학 엘리먼트의 변형은 저주파 형상(예를 들면, 비점수차) 및/또는 고주파수 형상(예를 들면, 자유 형태 비구면)을 포함할 수도 있다. 광학 엘리먼트의 변형은, 예를 들면, 광학 엘리먼트의 하나 이상의 면(side)에 대해 힘을 가하기 위해 하나 이상의 액추에이터를 사용하는 것에 의해 및/또는 광학 엘리먼트의 하나 이상의 선택된 영역을 가열하기 위해 하나 이상의 가열 엘리먼트를 사용하는 것에 의해 수행될 수도 있다. 일반적으로, 아포다이제이션(동공 평면에 걸친 투과 변동)을 보정하기 위해 투영 시스템(PS)을 조정하는 것은 가능하지 않을 수도 있다. 투영 시스템(PS)의 투과 맵은 리소그래피 장치(LA)를 위한 패턴화 디바이스(예를 들면, 마스크)(MA)를 설계할 때 사용될 수도 있다. 컴퓨터 사용 리소그래피 기술(computational lithography technique)을 사용하여, 패턴화 디바이스(MA)는 아포다이제이션을 적어도 부분적으로 보정하도록 설계될 수도 있다.

[0040] 리소그래피 장치는 두 개의 테이블(이중 스테이지) 또는 그 이상의 테이블(예를 들면, 두 개 이상의 기관 테이블(WTa, WTb), 두 개 이상의 패턴화 디바이스 테이블, 기관 테이블(WTa) 및 예를 들면, 측정 및/또는 세정, 등등을 용이하게 하도록 전용되는 기관이 없는 투영 시스템 아래의 테이블(WTb))을 구비하는 타입을 가질 수도 있다. 그러한 "다수의 스테이지" 머신에서, 추가적인 테이블(들)은 병렬로 사용될 수도 있거나, 또는 하나 이상의 다른 테이블이 노출을 위해 사용되고 있는 동안 하나 이상의 테이블 상에서 준비 단계가 수행될 수도 있다. 예를 들면, 정렬 센서(alignment sensor; AS)를 사용하는 정렬 측정 및/또는 레벨 센서(level sensor; LS)를 사용하는 레벨(높이, 기울기, 등등) 측정이 이루어질 수도 있다.

[0041] 리소그래피 장치는 또한, 투영 시스템과 기관 사이의 공간을 채우기 위해, 기관의 적어도 일부가 상대적으로 높은 굴절률을 갖는 액체, 예를 들면, 물에 의해 덮일 수도 있는 타입을 가질 수도 있다. 또한, 침지 액체는, 리소그래피 장치의 다른 공간, 예를 들면, 패턴화 디바이스와 투영 시스템 사이에 적용될 수도 있다. 투영 시스템의 개구수(numerical aperture)를 증가시키기 위한 침지 기술은 기술 분야에 잘 알려져 있다. 본원에서 사용되는 바와 같은 용어 "침지"는, 기관과 같은 구조물이 액체에 잠겨야 한다는 것을 의미하는 것이 아니라, 오히려, 단지, 노출 동안 액체가 투영 시스템과 기관 사이에 위치된다는 것을 의미한다.

[0042] 따라서, 리소그래피 장치의 동작에서, 방사선 빔은 조명 시스템(IL)에 의해 컨디셔닝되고 제공된다. 방사선 빔(B)은, 지지 구조물(예를 들면, 마스크 테이블)(MT) 상에 유지되는 패턴화 디바이스(예를 들면, 마스크)(MA) 상에 입사하며, 패턴화 디바이스에 의해 패턴화된다. 패턴화 디바이스(MA)를 횡단한 이후, 방사선 빔(B)은 투영 시스템(PS)을 통과하는데, 투영 시스템(PS)은 빔을 기관(W)의 타겟 부분(C) 상으로 집속시킨다. 제2 포지셔너(PW) 및 포지션 센서(IF)(예를 들면, 간섭계 디바이스, 선형 인코더, 2-D 인코더 또는 용량성 센서)의 도움으로, 기관 테이블(WT)은, 예를 들면, 방사선 빔(B)의 경로에서 상이한 타겟 부분(C)을 배치하기 위해 정확하게 이동될 수 있다. 유사하게, 제1 포지셔너(PM) 및 다른 포지션 센서(이것은 도 1에 명시적으로 묘사되지 않음)는, 예를 들면, 마스크 라이브러리로부터의 기계적 회수 이후, 또는 스캔 동안, 방사선 빔(B)의 경로에 대해 패턴화 디바이스(MA)를 정확하게 배치하기 위해 사용될 수 있다. 일반적으로, 지지 구조물(MT)의 이동은 제1 포지셔너(PM)의 일부를 형성하는 장행정 모듈(long-stroke module)(대략적인 배치(positioning)) 및 단행정 모듈(short-stroke module)(정밀한 배치)의 도움으로 실현될 수도 있다. 유사하게, 기관 테이블(WT)의 이동은, 제2 포지셔너(PW)의 일부를 형성하는 장행정 모듈 및 단행정 모듈을 사용하여 실현될 수도 있다. (스캐너와는 대조적으로) 스테퍼의 경우, 지지 구조물(MT)은 단행정 액추에이터에만 연결될 수도 있거나, 또는 고정될 수도 있다. 패턴화 디바이스(MA) 및 기관(W)은 패턴화 디바이스 정렬 마크(M1, M2) 및 기관 정렬 마크(P1, P2)를 사용하여 정렬될 수도 있다. 비록 예시되는 바와 같은 기관 정렬 마크가 전용 타겟 부분을 점유하지만, 그들은 타겟 부분 사이의 공간에 위치될 수도 있다(이들은 스크라이브 레인 정렬 마크(scribe-lane alignment mark)로 알려져 있음). 유사하게, 하나보다 더 많은 다이 패턴화 디바이스(MA) 상에 제공되는 상황에서, 패턴화 디바이스 정렬 마크는 다이 사이에 위치될 수도 있다.

[0043] [79]

- [0044] 묘사된 장치는 다음 모드 중 적어도 하나에서 사용될 수 있다:
- [0045] 1. 스텝 모드에서, 방사선 빔에 부여되는 전체 패턴이 한 번에 타겟 부분(C) 상으로 투영되는 동안, 지지 구조물(MT) 및 기관 테이블(WT)은 본질적으로 정지 상태로 유지된다(즉, 단일의 정적 노출). 그 다음, 기관 테이블(WT)은, 상이한 타겟 부분(C)이 노출될 수 있도록 X 및/또는 Y 방향으로 시프트된다. 스텝 모드에서, 노출 필드의 최대 사이즈는, 단일의 정적 노출에서 이미지화되는 타겟 부분(C)의 사이즈를 제한한다.
- [0046] 2. 스캔 모드에서, 방사선 빔에 부여되는 패턴이 타겟 부분(C) 상으로 투영되는 동안, 지지 구조물(MT) 및 기관 테이블(WT)은 동시에 스캔된다(즉, 단일의 동적 노출). 지지 구조물(MT)에 대한 기관 테이블(WT)의 속도 및 방향은, 투영 시스템(PS)의 배율(축소) 및 이미지 반전 특성에 의해 결정될 수도 있다. 스캔 모드에서, 노출 필드의 최대 사이즈는 단일의 동적 노출에서 타겟 부분의 (비 스캐닝 방향에서의) 폭을 제한하고, 반면, 스캐닝 방향의 길이는 타겟 부분의 (스캐닝 방향에서의) 높이를 결정한다.
- [0047] 3. 다른 모드에서, 지지 구조물(MT)은 프로그래머블 패턴화 디바이스를 유지하면서 본질적으로 정지 상태로 유지되고, 방사선 빔에 부여되는 패턴이 타겟 부분(C) 상으로 투영되는 동안 기관 테이블(WT)은 이동 또는 스캔된다. 이 모드에서, 일반적으로 펄스식 방사선 소스가 활용되며, 프로그래머블 패턴화 디바이스는 기관 테이블(WT)의 각각의 이동 이후 또는 스캔 동안 연속하는 방사선 펄스 사이에서 필요에 따라 업데이트된다. 이 동작 모드는 상기에서 언급되는 바와 같은 타입의 프로그래머블 미리 어레이와 같은 프로그래머블 패턴화 디바이스를 활용하는 마스크가 없는 리소그래피(maskless lithography)에 쉽게 적용될 수 있다.
- [0048] 상기에서 설명되는 사용 모드의 조합 및/또는 변형 또는 완전히 상이한 사용 모드가 또한 활용될 수도 있다.
- [0049] 비록 IC의 제조에서의 리소그래피 장치의 사용에 대해 본 문서에서 특정한 참조가 이루어질 수도 있지만, 본원에서 설명되는 리소그래피 장치는, 통합된 광학 시스템, 자기 도메인 메모리에 대한 안내 및 검출 패턴, 액정 디스플레이(liquid-crystal display; LCD), 박막 자기 헤드, 등등의 제조와 같은 다른 애플리케이션을 가질 수도 있다는 것이 이해되어야 한다. 숙련된 기술자는, 그러한 대안적인 애플리케이션의 맥락에서, 본원에서의 용어 "웨이퍼" 또는 "다이"의 임의의 사용은, 더욱 일반적인 용어 "기관" 또는 "타겟 부분"과 각각 동의어로서 간주될 수도 있다는 것을 인식할 것이다. 본원에서 언급되는 기관은, 노출 이전에 또는 이후에, 예를 들면, 트랙(통상적으로 기관에 레지스트의 층을 도포하고 노출된 레지스트를 현상하는 툴) 또는 계측(metrology) 또는 검사 툴에서 프로세싱될 수도 있다. 적용 가능한 경우, 본원에서의 개시는, 그러한 기관 프로세싱 도구 및 다른 기관 프로세싱 도구에 적용될 수도 있다. 게다가, 기관은, 예를 들면, 다층 IC를 생성하기 위해, 한 번보다 더 많이 프로세싱될 수도 있고, 그 결과, 본원에서 사용되는 용어 기관은, 이미 다수의 프로세싱된 층을 포함하는 기관을 또한 가리킬 수도 있다.
- [0050] 본원에서 사용되는 용어 "방사선" 및 "빔"은, 자외선(ultraviolet; UV) 방사선(예를 들면, 365, 248, 193, 157 또는 126 nm의 파장을 가짐) 및 극자외선(extreme ultra-violet; EUV) 방사선(예를 들면, 5 내지 20 nm의 범위 내의 파장을 가짐)뿐만 아니라, 이온 빔 또는 전자 빔과 같은 입자 빔을 비롯한, 모든 타입의 전자기 방사선을 포함한다.
- [0051] 패턴화 디바이스 상의 또는 패턴화 디바이스에 의해 제공되는 다양한 패턴은 상이한 프로세스 윈도우, 즉, 명세 내에서 패턴이 생성될 프로세싱 변수의 공간을 가질 수도 있다. 잠재적인 시스템 결함에 관련되는 패턴 명세의 예는, 네킹(necking), 라인 풀백(line pull back), 라인 박형화(line thinning), CD, 에지 배치(edge placement), 중첩, 레지스트 상단 손실(resist top loss), 레지스트 언더컷 및/또는 브리징에 대한 체크를 포함한다. 패턴화 디바이스 또는 그 한 영역 상의 모든 패턴의 프로세스 윈도우는 각각의 개개의 패턴의 프로세스 윈도우를 병합(예를 들면, 중첩)하는 것에 의해 획득될 수도 있다. 모든 패턴의 프로세스 윈도우의 경계는 개개의 패턴 중 일부의 프로세스 윈도우의 경계를 포함한다. 다시 말하면, 이들 개개의 패턴은 모든 패턴의 프로세스 윈도우를 제한한다. 이들 패턴은 "핫스팟" 또는 "프로세스 윈도우 제한 패턴(process window limiting pattern; PWLP)"으로 지칭될 수 있는데, 이들은 본원에서 상호 교환 가능하게 사용된다. 패턴화 프로세스의 일부를 제어할 때, 핫스팟에 집중하는 것이 가능하고 경제적이다. 핫스팟에 결함이 없으면, 모든 패턴에 결함이 없을 가능성이 가장 높다.
- [0052] 도 2에서 도시되는 바와 같이, 리소그래피 장치(LA)는, 또한 때때로 리소 셀 또는 클러스터로 칭해지는 리소그래피 셀(lithographic cell; LC)의 일부를 형성할 수도 있는데, 리소그래피 셀(LC)은 기관에 대해 노출 전 프로세스 및 노출 후 프로세스를 수행할 장치를 또한 포함한다. 종래에, 이들은 하나 이상의 레지스트 층을 퇴적하기 위한 하나 이상의 스핀 코터(spin coater; SC), 노출된 레지스트를 현상하기 위한 하나 이상의 현상액(DE),

하나 이상의 냉각 플레이트(chill plate; CH) 및/또는 하나 이상의 베이킹 플레이트(bake plate; BK)를 포함한다. 기관 핸들러, 또는 로봇(RO)은, 입력/출력 포트(I/O1, I/O2)로부터 하나 이상의 기관을 픽업하고, 그들을 상이한 프로세스 장치 사이에서 이동시키고, 그들을 리소그래피 장치의 로딩 베이/loading bay; LB)로 전달한다. 종종 집합적으로 트랙으로 칭해지는 이들 장치는, 감독 제어 시스템(supervisory control system; SCS)에 의해 자체 제어되는 트랙 제어 유닛(track control unit; TCU)의 제어 하에 있는데, 감독 제어 시스템(SCS)은 또한 리소그래피 제어 유닛(lithography control unit; LACU)을 통해 리소그래피 장치를 제어한다. 따라서, 스루풋 및 프로세싱 효율성을 최대화하기 위해 상이한 장치가 동작될 수 있다.

[0053] 리소그래피 장치에 의해 노출되는 기관이 정확하고 일관되게 노출되기 위해 및/또는 적어도 하나의 패턴 전사 단계(예를 들면, 광학 리소그래피 단계)를 포함하는 패턴화 프로세스(예를 들면, 디바이스 제조 프로세스)의 일부를 모니터링하기 위해, 기관 또는 다른 오브젝트를 검사하여, 정렬, 오버레이(이것은, 예를 들면, 위에 놓이는 층의 구조물 사이에 또는 예를 들면, 이중 패턴화 프로세스에 의해 층에 대해 개별적으로 제공된 동일한 층의 구조물 사이에 있을 수 있음), 라인 두께, 임계 치수(critical dimension; CD), 초점 오프셋, 재료 속성, 등등과 같은 하나 이상의 속성을 측정 또는 결정하는 것이 바람직하다. 따라서, 리소셀(lithocell; LC)이 위치되는 제조 설비는, 통상적으로, 리소셀 내의 다른 오브젝트 또는 리소셀에서 프로세싱된 기관(W)의 일부 또는 모두를 측정하는 계측 시스템(metrology system; MET)을 또한 포함한다. 계측 시스템(MET)은 리소셀(LC)의 일부일 수도 있고, 예를 들면, 그것은 리소그래피 장치(LA)의 일부(예컨대, 정렬 센서(AS))일 수도 있다.

[0054] 하나 이상의 측정된 파라미터는, 예를 들면, 패턴화된 기관 내에 또는 상에 형성되는 연속적인 층 사이의 오버레이, 예를 들면, 패턴화된 기관 내에 또는 상에 형성되는 피처의 임계 치수(CD)(예를 들면, 임계 선포), 광학 리소그래피 단계의 초점 또는 초점 에러, 광학 리소그래피 단계의 선량 또는 선량 에러, 광학 리소그래피 단계의 광학 수차, 등등을 포함할 수도 있다. 이 측정은 제품 기관 자체의 타겟에 대해 및/또는 기관 상에서 제공되는 전용 계측 타겟에 대해 수행될 수도 있다. 측정은 레지스트의 현상 이후에 그러나 에칭 이전에 수행될 수 있거나 또는 에칭 이후에 수행될 수 있다.

[0055] 주사 전자 현미경, 이미지 기반의 측정 도구 및/또는 다양한 특수 도구의 사용을 비롯하여, 패턴화 프로세스에서 형성되는 구조물을 측정하기 위한 다양한 기술이 있다. 상기에서 논의되는 바와 같이, 빠르고 비침습적인 형태의 특수 계측 도구는, 방사선의 빔이 기관의 표면 상의 타겟 상으로 지향되고 산란된(회절된/반사된) 빔의 속성이 측정되는 것이다. 기관에 의해 산란되는 방사선의 하나 이상의 속성을 평가하는 것에 의해, 기관의 하나 이상의 속성이 결정될 수 있다. 이것은 회절 기반의 계측으로 칭해질 수도 있다. 이러한 회절 기반의 계측의 하나의 그러한 적용은 타겟 내의 피처 비대칭성의 측정에서 있다. 이것은, 예를 들면, 오버레이의 척도로서 사용될 수 있지만, 그러나, 다른 애플리케이션도 또한 공지되어 있다. 예를 들면, 비대칭성은, 회절 스펙트럼의 반대부분을 비교하는 것(예를 들면, 주기적 격자의 회절 스펙트럼에서 -1차 및 +1차를 비교함)에 의해 측정될 수 있다. 이것은 상기에서 설명되는 바와 같이 그리고 예를 들면, 참조에 의해 그 전체가 본원에 통합되는 미국 특허 출원 공개공보 US 제2006-066855호에서 설명되는 바와 같이 수행될 수 있다. 회절 기반의 계측의 다른 적용은 타겟 내의 피처 폭(CD)의 측정에서 있다. 그러한 기술은 지금부터 설명되는 장치 및 방법을 사용할 수 있다.

[0056] 따라서, 디바이스 제조 프로세스(예를 들면, 패턴화 프로세스 또는 리소그래피 프로세스)에서, 기관 또는 다른 오브젝트는 프로세스 동안 또는 그 이후 다양한 타입의 측정을 받을 수도 있다. 측정은, 특정한 기관에 결함이 있는지의 여부를 결정할 수도 있거나, 프로세스 및 프로세스에 사용되는 장치에 대한 조정을 확립할 수도 있거나(예를 들면, 기관 상에 두 개의 층을 정렬하는 것 또는 패턴화 디바이스를 기관에 정렬하는 것), 프로세스 및 장치의 성능을 측정할 수도 있거나, 또는 다른 목적을 위한 것일 수도 있다. 측정의 예는 광학 이미징(예를 들면, 광학 현미경), 비 이미징 광학 측정(예를 들면, ASML YieldStar 계측 도구, ASML SMASH 계측 시스템과 같은 회절에 기초한 측정), 기계적 측정(예를 들면, 스타일러스를 사용한 프로파일링, 원자력 현미경 검사(atomic force microscopy; AFM)), 및/또는 비광학 이미징(예를 들면, 주사 전자 현미경 검사(scanning electron microscopy; SEM))을 포함한다. SMASH(SMART Alignment Sensor Hybrid; 스마트 정렬 센서 하이브리드) 시스템은, 참조에 의해 그 전체가 본원에 통합되는 미국 특허 번호 6,961,116에서 설명되는 바와 같이, 정렬 마커의 두 개의 중첩되고 상대적으로 회전된 이미지를 생성하는 자체 참조 간섭계를 활용하고, 이미지의 Fourier(푸리에) 변환이 간섭을 야기하게 되는 동공 평면에서의 강도를 검출하고, 간섭을 받는 차수에서 강도 변동으로서 나타나는 두 이미지의 회절 차수 사이의 위상 차이로부터 포지션 정보를 추출한다.

[0057] 계측 결과는 감독 제어 시스템(SCS)(138)에 직접적으로 또는 간접적으로 제공될 수도 있다. 에러가 검출되면, (특히 배치(batch)의 하나 이상의 다른 기관이 여전히 노출될 만큼 충분히 신속하고 빠르게 검사가 행해질 수 있는 경우) 후속하는 기관의 노출에 대해 및/또는 노출된 기관의 후속하는 노출에 대해 조정이 이루어질 수도

있다. 또한, 이미 노출된 기관은 수율을 향상시키기 위해 제거되어(stripped) 재가공될 수도 있거나, 또는 폐기될 수도 있고, 그에 의해, 결함이 있는 것으로 알려진 기관에 대해 추가적인 프로세싱을 수행하는 것을 방지할 수도 있다. 기관의 몇몇 타겟 부분만이 결함이 있는 경우, 양호한 타겟 부분에 대해서만 추가적인 노출이 수행될 수도 있다.

- [0058] 계측 시스템(MET) 내에서, 계측 장치는 기관의 하나 이상의 속성, 특히, 상이한 기관의 하나 이상의 속성이 어떻게 변하는지 또는 동일한 기관의 상이한 층이 층마다 어떻게 변하는지를 결정하기 위해 사용된다. 상기에서 언급되는 바와 같이, 계측 장치는 리소그래피 장치(LA) 또는 리소셀(LC)에 통합될 수도 있거나 또는 독립형 디바이스일 수도 있다.
- [0059] 계측을 가능하게 하기 위해 하나 이상의 타겟이 기관 상에서 제공될 수 있다. 한 실시형태에서, 타겟은 특별히 설계되고 주기적 구조물을 포함할 수도 있다. 한 실시형태에서, 타겟은 디바이스 패턴의 일부, 예를 들면, 디바이스 패턴의 주기적 구조물이다. 한 실시형태에서, 디바이스 패턴은 메모리 디바이스의 주기적 구조물(예를 들면, 바이폴라 트랜지스터(Bipolar Transistor; BPT), 비트 라인 콘택(Bit Line Contact; BLC) 등등의 구조물)이다.
- [0060] 한 실시형태에서, 기관 상의 타겟은, 현상 이후, 주기적인 구조적 피처가 솔리드 레지스트 라인으로 형성되도록 인쇄되는 하나 이상의 1-D 주기적 구조물(예를 들면, 격자)을 포함할 수도 있다. 한 실시형태에서, 타겟은 하나 이상의 2-D 주기적 구조물(예를 들면, 격자)을 포함할 수도 있는데, 이들은, 현상 이후, 하나 이상의 주기적 구조물이 레지스트 내의 비아 또는 솔리드 레지스트 필라(solid resist pillar)로 형성되도록 인쇄된다. 바, 필라 또는 비아는 대안적으로 기관 안으로(예를 들면, 기관 상의 하나 이상의 층 안으로) 에치될 수도 있다.
- [0061] 한 실시형태에서, 패턴화 프로세스의 관심 파라미터 중 하나는 오버레이이다. 오버레이는, 제로 차수의 회절(정반사(specular reflection)에 대응함)이 차단되고, 더 높은 차수만이 프로세싱되는 암시야 산란 측정법(dark field scatterometry)을 사용하여 측정될 수 있다. 암시야 계측의 예는 PCT 특허 출원 공개 번호 WO 2009/078708 및 WO 2009/106279에서 발견될 수 있으며, 이들은 참조에 의해 그들 전체가 본원에 통합된다. 이 기술의 추가적인 개발은 미국 특허 출원 공개번호 US2011-0027704, US2011-0043791 및 US2012-0242970에서 설명되어 있으며, 이들은 참조에 의해 그들 전체가 본원에 통합된다. 회절 차수의 암시야 검출을 사용하는 회절 기반의 오버레이는 더 작은 타겟에 대한 오버레이 측정을 가능하게 한다. 이들 타겟은 조명 스팟보다 더 작을 수 있고 기관 상의 디바이스 제품 구조물에 의해 둘러싸일 수도 있다. 한 실시형태에서, 다수의 타겟이 하나의 방사선 캡처에서 측정될 수 있다.
- [0062] 도 3은 예시적인 검사 장치(예를 들면, 산란계)를 묘사한다. 그것은 기관(W) 상으로 방사선을 투영하는 광대역(백색광) 방사선 프로젝터(2)를 포함한다. 제지향된 방사선은, 예를 들면, 그래프의 좌측 하단에서 도시되는 바와 같이, 정반사된 방사선(specular reflected radiation)의 스펙트럼(10)(파장의 함수로서의 강도)을 측정하는 분광계 검출기(4)로 전달된다. 이 데이터로부터, 검출된 스펙트럼을 발생시키는 구조물 또는 프로파일은, 프로세서(PU)에 의해, 예를 들면, 엄밀한 결합과 해석(Rigorous Coupled Wave Analysis) 및 비선형 회귀에 의해 또는 도 3의 저부 우측에서 도시되는 바와 같이 시뮬레이션된 스펙트럼의 라이브러리와의 비교에 의해 재구성될 수도 있다. 일반적으로, 재구성을 위해, 구조물의 일반적인 형태가 공지되어 있고, 측정된 데이터로부터 결정될 구조물의 몇몇 변수만을 남겨 두면서, 몇몇 변수가 구조물이 만들어진 프로세스의 지식으로부터 추정된다. 그러한 검사 장치는 수직 입사 검사 장치(normal-incidence inspection apparatus) 또는 경사 입사 검사 장치(oblique-incidence inspection apparatus)로서 구성될 수도 있다.
- [0063] 사용될 수도 있는 다른 검사 장치가 도 4에서 도시되어 있다. 이 디바이스에서, 방사선 소스(2)에 의해 방출되는 방사선은 렌즈 시스템(12)을 사용하여 시준되고 간섭 필터(13) 및 편광기(17)를 통해 투과되고, 부분적 반사 표면(16)에 의해 반사되고, 바람직하게는 적어도 0.9 또는 적어도 0.95인 높은 개구수(numerical aperture; NA)를 갖는 대물 렌즈(15)를 통해 기관(W) 상의 스팟(S)에 집속된다. 침지 검사 장치(물과 같은 상대적으로 높은 굴절률 유체를 사용함)는 심지어 1 이상의 개구수를 가질 수도 있다.
- [0064] 리소그래피 장치(LA)에서와 같이, 측정 동작 동안 기관(W)을 유지하기 위해 하나 이상의 기관 테이블이 제공될 수도 있다. 기관 테이블은 도 1의 기관 테이블(WT)과 형태에서 유사할 수도 있거나 또는 동일할 수도 있다. 검사 장치가 리소그래피 장치와 통합되는 예에서, 그들은 심지어 동일한 기관 테이블일 수도 있다. 측정 광학 시스템과 관련하여 기관을 정확하게 배치시키도록 구성되는 제2 포지셔너(PW)에 대략적(coarse) 및 미세(fine) 포지셔너가 제공될 수도 있다. 예를 들면, 관심 타겟의 포지션을 획득하기 위해, 그리고 그것을 대물 렌즈(15) 아래의 포지션으로 가져오기 위해, 다양한 센서 및 액추에이터가 제공된다. 통상적으로, 기관(W)을 가로질러 상이

한 위치에 있는 타겟에 대해 많은 측정이 이루어질 것이다. 기관 지지부는 상이한 타겟을 획득하도록 X 및 Y 방향에서 이동될 수 있고, 광학 시스템의 초점에 대한 타겟의 소망되는 위치를 획득하도록 Z 방향에서 이동될 수 있다. 예를 들면, 실제로 광학 시스템이 (통상적으로 X 및 Y 방향에서, 그러나 어쩌면 또한 Z 방향에서) 실질적으로 고정된 상태로 남아 있을 수도 있고 기관만이 움직일 때, 마치 대물 렌즈가 기관을 기준으로 상이한 위치로 이동되고 있는 것처럼 동작을 생각하고 설명하는 것이 편리하다. 기관 및 광학 시스템의 상대적 위치선이 정확하다면, 원칙적으로, 그들 중 어떤 것이 현실 세계에서 움직이고 있는지, 또는 둘 모두가 움직이고 있는지, 또는 광학 시스템의 나머지 부분이 정지 상태에 있고 기관이 (예를 들면, X 및 Y 방향에서, 그러나 또한 옵션 사항으로 Z 및/또는 경사 방향에서) 움직이고 있는 상태에서 광학 시스템의 일부의 조합이 (예를 들면, Z 및/또는 경사 방향에서) 움직이고 있는지는 중요하지 않다.

[0065] 기관(W)에 의해 재지향되는 방사선은, 그 다음, 스펙트럼이 검출되게 하기 위해, 부분 반사 표면(16)을 통해 검출기(18)로 전달된다. 검출기(18)는 후방 투영 초점 평면(11)에서(즉, 렌즈 시스템(15)의 초점 거리에서) 위치될 수도 있거나 또는 평면(11)은 보조 광학기(도시되지 않음)를 사용하여 검출기(18) 상으로 다시 이미지화될 수도 있다. 검출기는, 기관 타겟(30)의 이차원 각도 산란 스펙트럼이 측정될 수 있도록 하는 이차원 검출기일 수도 있다. 검출기(18)는, 예를 들면, CCD 또는 CMOS 센서의 어레이일 수도 있고, 예를 들면, 프레임당 40밀리초의 통합 시간을 사용할 수도 있다.

[0066] 기준 빔은, 예를 들면, 입사 방사선의 강도를 측정하기 위해 사용될 수도 있다. 이것을 행하기 위해, 방사선 빔이 부분 반사 표면(16)에 입사될 때, 그것의 일부는, 기준 미러(14)를 향하는 기준 빔으로서, 부분 반사 표면(16)을 통해 투과된다. 그 다음, 기준 빔은 동일한 검출기(18)의 상이한 부분 상으로 또는 대안적으로 상이한 검출기(도시되지 않음) 상으로 투영된다.

[0067] 하나 이상의 간섭 필터(13)는, 예를 들면, 405 내지 790 nm 또는 심지어 더 낮은, 예컨대 200 내지 300 nm의 범위 내에서 관심 파장을 선택하는 데 이용 가능하다. 간섭 필터는 상이한 필터의 세트를 포함하기보다는 튜닝 가능할 수도 있다. 간섭 필터 대신 격자가 사용될 수 있다. 타겟에 대한 방사선의 입사각 범위를 제어하기 위해 조명 경로에서 어퍼처 조리개(aperture stop) 또는 공간 광 변조기(도시되지 않음)가 제공될 수도 있다.

[0068] 검출기(18)는 단일의 파장(또는 좁은 파장 범위)에서 재지향된 방사선의 강도를, 다수의 파장에서 개별적으로 있는 강도를 또는 파장 범위에 걸쳐 통합되는 강도를 측정할 수도 있다. 더구나, 검출기는 횡방향 자기 편광 방사선 및 횡방향 전기 편광 방사선의 강도 및/또는 횡방향 자기 편광 방사선과 횡방향 전기 편광 방사선 사이의 위상 차이를 별개로 측정할 수도 있다.

[0069] 기관(W) 상의 타겟(30)은, 현상 이후, 바가 솔리드 레지스트 라인으로 형성되도록 인쇄되는 1-D 격자일 수도 있다. 타겟(30)은 2-D 격자일 수도 있는데, 이것은, 현상 이후, 격자가 레지스트 내의 비아 또는 고체 레지스트 필라로 형성되도록 인쇄된다. 바, 필라 또는 비아는 기관 안으로 또는 상에서(예를 들면, 기관 상의 하나 이상의 층 안으로) 에치될 수도 있다. (예를 들면, 바, 필라 또는 비아의) 패턴은 패터닝 프로세스의 프로세싱에서의 변화(예를 들면, 리소그래피 투영 장치(특히 투영 시스템(PS))에서의 광학 수차, 초점 변화, 선량 변화, 등등)에 민감하고, 인쇄된 격자에서 변동을 나타낼 것이다. 따라서, 인쇄된 격자의 측정된 데이터는 격자를 재구성하기 위해 사용된다. 선 폭 및/또는 형상과 같은 1-D 격자의 하나 이상의 파라미터, 또는 필라 또는 비아 폭 또는 길이 또는 형상과 같은 2-D 격자의 하나 이상의 파라미터가, 인쇄 단계 및/또는 다른 검사 프로세스의 지식으로부터, 프로세서(PU)에 의해 수행되는 재구성 프로세스에 입력될 수도 있다.

[0070] 재구성에 의한 파라미터의 측정에 더하여, 제품 및/또는 레지스트 패턴에서 피처의 비대칭성의 측정에서는 각도 분해 산란 측정법이 유용하다. 비대칭성 측정의 특정한 적용은 오버레이의 측정을 위한 것인데, 여기서 타겟(30)은 다른 것 상에 중첩되는 주기적 피처의 하나의 세트를 포함한다. 도 3 또는 도 4의 기구(instrument)를 사용하는 비대칭성 측정의 개념은, 예를 들면, 그 전체가 본원에 통합되는 미국 특허 출원 공개공보 US2006-066855에서 설명된다. 간단히 말해서, 타겟의 회절 스펙트럼에서 회절 차수의 위치선이 타겟의 주기성에 의해서만 결정되지만, 회절 스펙트럼에서의 비대칭성은 타겟을 구성하는 개개의 피처에서의 비대칭성을 나타낸다. 검출기(18)가 이미지 센서일 수도 있는 도 4의 기구에서, 회절 차수에서의 그러한 비대칭성은 검출기(18)에 의해 기록되는 동공 이미지에서의 비대칭성으로 직접적으로 나타난다. 이 비대칭성은 단위 PU의 디지털 이미지 프로세싱에 의해 측정될 수 있으며, 오버레이의 공지된 값에 대해 캘리브레이팅된다.

[0071] 도 5는 통상적인 타겟(30)의 평면도, 및 도 4의 장치에서의 조명 스팟(S)의 범위를 예시한다. 주변 구조물로부터의 간섭이 없는 회절 스펙트럼을 획득하기 위해, 타겟(30)은, 한 실시형태에서, 조명 스팟(S)의 폭(예를 들면, 직경)보다 더 큰 주기적 구조물(예를 들면, 격자)이다. 스팟(S)의 폭은 타겟의 폭 및 길이 보다 더 작을

수도 있다. 다시 말하면, 타겟은 조명에 의해 '언더필되며(underfilled)', 회절 신호는 본질적으로 타겟 그 자체 외부의 제품 피쳐 및 등등으로부터의 어떠한 신호도 없다. 조명 배열체(2, 12, 13, 17)는 대물 렌즈(15)의 후방 초점 평면에 걸쳐 균일한 강도의 조명을 제공하도록 구성될 수도 있다. 대안적으로, 예를 들면, 조명 경로에서 어퍼처를 포함하는 것에 의해, 조명은 축상 또는 축외 방향으로 제한될 수도 있다.

[0072] 도 6은 계측을 사용하여 획득되는 측정 데이터에 기초하여 타겟 패턴(30')의 하나 이상의 관심 변수의 값의 결정의 예시적인 프로세스를 개략적으로 묘사한다. 검출기(18)에 의해 검출되는 방사선은 타겟(30')에 대한 측정된 방사선 분포(108)를 제공한다.

[0073] 주어진 타겟(30')의 경우, 방사선 분포(208)는, 예를 들면, 수치적 Maxwell(맥스웰) 솔버(210)를 사용하여 파라미터화된 모델(206)로부터 계산/시뮬레이션될 수 있다. 파라미터화된 모델(206)은 타겟을 구성하는, 그리고 그것과 관련되는 다양한 재료의 예시적인 층을 도시한다. 파라미터화된 모델(206)은, 변경 및 유도될 수도 있는, 고려 하에 있는 타겟의 부분의 피쳐 및 층에 대한 변수 중 하나 이상을 포함할 수도 있다. 도 6에서 도시되는 바와 같이, 변수 중 하나 이상은, 하나 이상의 층의 두께(t), 하나 이상의 피쳐의 폭(w)(예를 들면, CD), 하나 이상의 피쳐의 높이(h), 및/또는 하나 이상의 피쳐의 측벽 각도(α)를 포함할 수도 있다. 도시되지는 않지만, 변수 중 하나 이상은, 층 중 하나 이상의 층의 굴절률(예를 들면, 실수 또는 복소 굴절률, 굴절률 텐서, 등등), 하나 이상의 층의 흡광 계수(extinction coefficient), 하나 이상의 층의 흡수, 현상 동안의 레지스트 손실, 하나 이상의 피쳐의 푸딩(footing), 및/또는 하나 이상의 피쳐의 라인 에지 조도(line edge roughness)를 더 포함할 수도 있지만, 그러나 이들로 제한되지는 않는다. 변수의 초기 값은 측정되고 있는 타겟에 대한 예상되는 값일 수도 있다. 측정된 방사선 분포(108)는, 그 다음, 212에서, 계산된 방사선 분포(208)에 비교되어, 둘 사이의 차이를 결정한다. 차이가 있는 경우, 파라미터화된 모델(206)의 변수 중 하나 이상의 변수의 값은 변경될 수도 있고, 측정된 방사선 분포(108)와 계산된 방사선 분포(208) 사이에서 충분한 매치가 있을 때까지, 새로 계산된 방사선 분포(208)가 계산되어 측정된 방사선 분포(108)에 대해 비교된다. 그 지점에서, 파라미터화된 모델(206)의 변수의 값은 실제 타겟(30')의 기하학적 형상의 양호한 또는 최상의 매치를 제공한다. 한 실시형태에서, 측정된 방사선 분포(108)와 계산된 방사선 분포(208) 사이의 차이가 허용 한계 임계치(tolerance threshold) 내에 있을 때, 충분한 매치가 존재한다.

[0074] 패턴화 프로세스의 변수는 "프로세싱 변수"로 칭해진다. 패턴화 프로세스는 리소그래피 장치에서 패턴의 실제 전사에 대한 업스트림 및 다운스트림 프로세스를 포함할 수도 있다. 도 7은 프로세싱 변수(370)의 예시적인 카테고리를 도시한다. 제1 카테고리는 리소그래피 장치 또는 리소그래피 프로세스에서 사용되는 임의의 다른 장치의 변수(310)일 수도 있다. 이 카테고리의 예는, 리소그래피 장치의 조명, 투영 시스템, 기관 스테이지, 등등의 변수를 포함한다. 제2 카테고리는 패턴화 프로세스에서 수행되는 하나 이상의 프로시저의 변수(320)일 수도 있다. 이 카테고리의 예는, 초점 제어 또는 초점 측정, 선량 제어 또는 선량 측정, 대역폭, 노출 지속 기간, 현상 온도, 현상에서 사용되는 화학 조성물, 등등을 포함한다. 제3 카테고리는 설계 레이아웃의 변수(330) 및 패턴화 디바이스에서의 또는 패턴화 디바이스 사용하는 그것의 구현일 수도 있다. 이 카테고리의 예는, 지원 피쳐의 형상 및/또는 위치, 분해능 향상 기술(resolution enhancement technique; RET)에 의해 적용되는 조정, 마스크 피쳐의 CD, 등등을 포함할 수도 있다. 제4 카테고리는 기관의 변수(340)일 수도 있다. 예는 레지스트 층 아래의 구조물의 특성, 레지스트 층의 화학적 조성물 및/또는 물리적 치수, 등등을 포함한다. 제5 카테고리는 패턴화 프로세스의 하나 이상의 변수의 시간적 변동의 특성(350)일 수도 있다. 이 카테고리의 예는, 고주파 스테이지 이동의 특성(예를 들면, 주파수, 진폭, 등등), 고주파 레이저 대역폭 변화(예를 들면, 주파수, 진폭, 등등) 및/또는 고주파 레이저 파장 변화를 포함한다. 이들 고주파수 변화 또는 움직임은 기저의 변수(예를 들면, 스테이지 포지션, 레이저 강도)를 조정하기 위한 메커니즘의 응답 시간을 초과하는 것들이다. 제6 카테고리는, 스핀 코팅, 노출 후 베이킹(PEB), 현상, 예칭, 퇴적, 도핑 및/또는 패키징과 같은, 리소그래피 장치에서의 패턴 전사에 대한 업스트림 또는 다운스트림의 프로세스의 특성(360)일 수도 있다.

[0075] 인식될 바와 같이, 이들 변수 중 모두가 아니면 많은 것은, 변수가 패턴화 프로세스의 파라미터 및 종종 관심 파라미터에 영향을 끼칠 것이다. 패턴화 프로세스의 파라미터의 비제한적인 예는, 임계 치수(CD), 임계 치수 균일성(critical dimension uniformity; CDU), 초점, 오버레이, 에지 포지션 또는 배치, 측벽 각도, 패턴 시프트, 등등을 포함할 수도 있다. 종종, 이들 파라미터는 공칭 값(예를 들면, 설계 값, 평균 값, 등등)으로부터의 에러를 나타낸다. 파라미터 값은 개개의 패턴의 특성의 값 또는 패턴의 그룹의 특성의 통계치(예를 들면, 평균, 분산, 등등)일 수도 있다.

[0076] 프로세싱 변수 중 일부 또는 모두의 값, 또는 그에 관련되는 파라미터는 적절한 방법에 의해 결정될 수도 있다. 예를 들면, 값은 다양한 계측 도구(예를 들면, 기관 계측 도구)를 사용하여 획득되는 데이터로부터 결정될 수도

있다. 값은 패턴화 프로세스에서 장치의 다양한 센서 또는 시스템(예를 들면, 센서, 예컨대 리소그래피 장치의 레벨링 센서 또는 정렬 센서, 리소그래피 장치의 제어 시스템(예를 들면, 기관 또는 패턴화 디바이스 테이블 제어 시스템), 트랙 도구의 센서, 등등)으로부터 획득될 수도 있다. 값은 패턴화 프로세스의 오퍼레이터로부터 유래할 수도 있다.

[0077] 패턴화 프로세스의 일부를 모델링 및/또는 시뮬레이팅하기 위한 예시적인 플로우차트가 도 8에서 예시되어 있다. 인식될 바와 같이, 모델은 상이한 패턴화 프로세스를 나타낼 수도 있고 하기에서 설명되는 모든 모델을 포함할 필요는 없다. 소스 모델(1200)은 패턴화 디바이스의 조명의 광학적 특성(방사선 강도 분포, 대역폭 및/또는 위상 분포를 포함함)을 나타낸다. 소스 모델(1200)은, 개구수 설정, 조명 시그마(σ) 설정뿐만 아니라 임의의 특정한 조명 형상(예를 들면, 환형, 4극자, 쌍극자, 등등과 같은 축외 방사선 형상)을 포함하는, 그러나 이들로 제한되지는 않는 조명의 광학적 특성을 나타낼 수 있는데, 여기서 σ (또는 시그마)는 일루미네이터의 외부 반경 방향 범위이다.

[0078] 투영 광학기기 모델(1210)은 투영 광학기기의 광학적 특성(투영 광학기기에 의해 야기되는 위상 분포 및/또는 방사선 강도 분포에 대한 변화를 포함함)을 나타낸다. 투영 광학기기 모델(1210)은, 수차(aberration), 왜곡(distortion), 하나 이상의 굴절률, 하나 이상의 물리적 사이즈, 하나 이상의 물리적 치수, 등등을 비롯한, 투영 광학기기의 광학적 특성을 나타낼 수 있다.

[0079] 패턴화 디바이스/설계 레이아웃 모델 모듈(1220)은, 패턴화 디바이스의 패턴에서 설계 피처가 어떻게 배치되는지를 캡처하고, 예를 들면, 참조에 의해 그 전체가 통합되는 미국 특허 번호 7,587,704에서 설명되는 바와 같은 패턴화 디바이스의 상세한 물리적 속성의 표현을 포함할 수도 있다. 한 실시형태에서, 패턴화 디바이스/설계 레이아웃 모델 모듈(1220)은 설계 레이아웃(예를 들면, 집적 회로, 메모리, 전자 디바이스, 등등의 피처에 대응하는 디바이스 설계 레이아웃)의 광학적 특성(예를 들면, 주어진 설계 레이아웃에 의해 야기되는 위상 분포 및/또는 방사선 강도 분포에 대한 변화를 포함함)을 표현하는데, 이것은 패턴화 디바이스 상의 또는 패턴화 디바이스에 의해 형성되는 피처의 배열의 표현이다. 리소그래피 투영 장치에서 사용되는 패턴화 디바이스가 변경될 수 있기 때문에, 적어도 조명 및 투영 광학기기를 포함하는 리소그래피 투영 장치의 나머지의 광학적 속성으로부터 패턴화 디바이스의 광학적 속성을 분리하는 것이 바람직하다. 시뮬레이션의 목적은, 종종, 예를 들면, 에지 배치 및 CD를 정확하게 예측하는 것인데, 이들은, 그 다음, 디바이스 설계에 대해 비교될 수 있다. 디바이스 설계는 OPC 전 패턴화 디바이스 레이아웃(pre-OPC patterning device layout)으로서 일반적으로 정의되며, GDSII 또는 OASIS와 같은 표준화된 디지털 파일 포맷으로 제공될 것이다.

[0080] 에어리얼 이미지(1230)는 소스 모델(1200), 투영 광학기기 모델(1210) 및 패턴화 디바이스/설계 레이아웃 모델(1220)로부터 시뮬레이팅될 수 있다. 에어리얼 이미지(aerial image; AI)는 기관 레벨에서의 방사선 강도 분포이다. 리소그래피 투영 장치의 광학적 속성(예를 들면, 조명, 패턴화 디바이스 및 투영 광학기기의 속성)은 에어리얼 이미지에 영향을 준다(dictate).

[0081] 기관 상의 레지스트 층은 에어리얼 이미지에 의해 노출되고 에어리얼 이미지는 레지스트 층으로 그 내부의 잠복 "레지스트 이미지(resist image; RI)"로서 전사된다. 레지스트 이미지(RI)는 레지스트 층에서 레지스트의 용해성(solubility)의 공간적 분포로서 정의될 수 있다. 레지스트 이미지(1250)는 레지스트 모델(1240)을 사용하여 에어리얼 이미지(1230)로부터 시뮬레이팅될 수 있다. 레지스트 모델은 에어리얼 이미지로부터 레지스트 이미지를 계산하기 위해 사용될 수 있는데, 그 예는 미국 특허 출원 공개 번호 US 2009-0157360에서 발견될 수 있으며, 그 미국 특허 출원의 개시는 참조에 의해 그 전체가 본원에 통합된다. 레지스트 모델은, 통상적으로, 예를 들면, 기관 상에 형성되는 레지스트 피처의 윤곽(contour)을 예측하기 위해, 레지스트 노출, 노출 후 베이킹(PEB) 및 현상 동안 발생하는 화학적 프로세스의 영향을 설명할 수도 있고, 따라서, 그것은 통상적으로 레지스트 층의 그러한 속성(예를 들면, 노출, 노출 후 베이킹 및 현상 동안 발생하는 화학적 프로세스의 영향)에만 관련된다. 한 실시형태에서, 레지스트 층의 광학적 속성, 예를 들면, 굴절률, 막 두께, 전파 및 편광 효과는 투영 광학기기 모델(1210)의 일부로서 캡처될 수도 있다.

[0082] 따라서, 일반적으로, 광학 모델과 레지스트 모델 사이의 연결은 레지스트 층 내에서의 시뮬레이팅된 에어리얼 이미지 강도인데, 이것은 기관 상으로의 방사선의 투영, 레지스트 계면에서의 굴절, 및 레지스트 막 스택에서의 다수의 반사로부터 발생한다. 방사선 강도 분포(에어리얼 이미지 강도)는, 입사 에너지의 흡수에 의해 잠복 "레지스트 이미지"로 변환되는데, 이것은 확산 프로세스 및 다양한 부하 효과(loading effect)에 의해 추가로 수정된다. 전체 칩 애플리케이션에 대해 충분히 빠른 효율적인 시뮬레이션 방법은 2차원 에어리얼(및 레지스트) 이미지에 의해 레지스트 스택의 사실적인 3차원 강도 분포를 근사한다.

- [0083] 한 실시형태에서, 레지스트 이미지는 패턴 전사 후 프로세스 모듈 모듈(post-pattern transfer process model module; 1260)에 대한 입력으로서 사용될 수 있다. 패턴 전사 후 프로세스 모듈(1260)은 하나 이상의 레지스트 현상 후 프로세스(예를 들면, 에치, 현상, 등등)의 성능을 정의한다.
- [0084] 패턴화 프로세스의 시뮬레이션은, 예를 들면, 레지스트 및/또는 에치된 이미지에서 윤곽, CD, 에지 배치(edge placement)(예를 들면, 에지 배치 에러), 등등을 예측할 수 있다. 따라서, 시뮬레이션의 목적은, 예를 들면, 인쇄된 패턴의, 에지 배치, 및/또는 에어리얼 이미지 강도 경사, 및/또는 CD, 등등을 정확하게 예측하는 것이다. 예를 들면, 패턴화 프로세스를 보정하기 위해, 결함이 발생할 것으로 예측되는 위치를 식별하기 위해, 등등을 위해, 이들 값은 의도된 설계에 비교될 수 있다. 의도된 설계는 일반적으로 GDSII 또는 OASIS 또는 다른 파일 포맷과 같은 표준화된 디지털 파일 포맷으로 제공될 수 있는 OPC 전 설계 레이아웃(pre-OPC design layout)으로서 정의된다.
- [0085] 따라서, 모델 공식화(model formulation)는, 전체 프로세스의 공지된 물리학 및 화학의, 모두가 아니면, 대부분을 설명하며, 모델 파라미터 각각은 바람직하게는 별개의 물리적 또는 화학적 효과에 대응한다. 따라서, 모델 공식화는 전체 제조 프로세스를 시뮬레이팅하기 위해 모델이 얼마나 잘 사용될 수 있는지에 대한 상한을 설정한다.
- [0086] 계측 프로세스를 모델링 및/또는 시뮬레이팅하기 위한 예시적인 플로우차트가 도 9에서 예시되어 있다. 인식될 바와 같이, 다음의 모델은 상이한 계측 프로세스를 나타낼 수도 있고 하기에서 설명되는 모든 모델을 포함할 필요는 없다(예를 들면, 일부는 결합될 수도 있음). 소스 모델(1300)이 계측 타겟의 조명의 광학적 특성(방사선 강도 분포, 방사선 파장, 편광, 등등을 포함함)을 나타낸다. 소스 모델(1300)은, 파장, 편광, 조명 시그마(σ) 설정(여기서 σ (또는 시그마)는 일루미네이터에서의 조명의 반경 방향 범위임), 임의의 특정한 조명 형상(예를 들면, 환형, 4극자, 쌍극자, 등등과 같은 축외 방사선 형상), 등등을 포함하는, 그러나 이들로 제한되지는 않는 조명의 광학적 특성을 나타낼 수 있다.
- [0087] 계측 광학기기 모델(1310)은 계측 광학기기의 광학적 특성(계측 광학기기에 의해 야기되는 위상 분포 및/또는 방사선 강도 분포에 대한 변화를 포함함)을 나타낸다. 계측 광학기기(1310)는 계측 광학기기에 의한 계측 타겟의 조명의 광학적 특성 및 계측 장치 검출기를 향하는 계측 타겟으로부터의 재지향된 방사선의 전달의 광학적 특성을 나타낼 수 있다. 계측 광학기기 모델은, 수차, 왜곡, 하나 이상의 굴절률, 하나 이상의 물리적 사이즈, 하나 이상의 물리적 치수, 등등을 비롯하여, 타겟의 조명 및 검출기를 향하는 계측 타겟으로부터의 재지향된 방사선의 전달을 수반하는 다양한 특성을 나타낼 수 있다.
- [0088] 계측 타겟 모델(1320)은 계측 타겟에 의해 재지향되고 있는 조명의 광학적 특성(계측 타겟에 의해 야기되는 위상 분포 및/또는 조명 방사선 강도 분포에 대한 변화를 포함함)을 나타낼 수 있다. 따라서, 계측 타겟 모델(1320)은 계측 타겟에 의한 조명 방사선의 재지향된 방사선으로의 변환을 모델링할 수 있다. 따라서, 계측 타겟 모델은 계측 타겟으로부터의 재지향된 방사선의 결과적으로 나타나는 조명 분포를 시뮬레이팅할 수 있다. 계측 타겟 모델은, 하나 이상의 굴절률, 계측의 하나 이상의 물리적 사이즈, 계측 타겟의 물리적 레이아웃, 등등을 비롯하여, 타겟의 조명 및 계측으로부터의 재지향된 방사선의 생성을 수반하는 다양한 특성을 나타낼 수 있다. 사용되는 계측 타겟이 변경될 수 있기 때문에, 계측 타겟의 광학적 속성을, 적어도 조명 및 투영 광학기기 및 검출기를 포함하는 계측 장치의 나머지의 광학적 속성으로부터 분리하는 것이 바람직하다. 시뮬레이션의 목적은 종종, 예를 들면, 강도, 위상, 또는 등등을 정확하게 예측하는 것인데, 이들은, 그 다음, 오버레이, CD, 초점, 등등과 같은 패턴화 프로세스의 관심 파라미터를 유도하기 위해 사용될 수 있다.
- [0089] 동공 또는 에어리얼 이미지(1330)는 소스 모델(1300), 계측 광학기기 모델(1310) 및 계측 타겟 모델(1320)로부터 시뮬레이팅될 수 있다. 동공 또는 에어리얼 이미지는 검출기 레벨에서의 방사선 강도 분포이다. 계측 광학기기 및 계측 타겟의 광학적 속성(예를 들면, 조명, 계측 타겟 및 계측 광학기기의 속성)은 동공 또는 에어리얼 이미지에 영향을 준다.
- [0090] 계측 장치의 검출기는 동공 또는 에어리얼 이미지에 노출되고 동공 또는 에어리얼 이미지의 하나 이상의 광학적 속성(예를 들면, 강도, 위상, 등등)을 검출한다. 검출 모델 모듈(1320)은 계측 광학기기로부터의 방사선이 계측 장치의 검출기에 의해 검출되는 방법을 나타낸다. 검출 모델은, 검출기가 동공 또는 에어리얼 이미지를 검출하는 방법을 설명할 수 있으며 신호 대 노이즈, 검출기 상에서의 입사 방사선에 대한 감도, 등등을 포함할 수 있다. 따라서, 일반적으로, 계측 광학기기 모델과 검출기 모델 사이의 연결은 시뮬레이팅된 동공 또는 에어리얼 이미지인데, 이것은 광학기기에 의한 계측 타겟의 조명, 타겟에 의한 방사선의 재지향 및 검출기로의 재지향된 방사선의 전달로부터 발생한다. 방사선 분포(동공 또는 에어리얼 이미지)는 검출기 상에서의 입사 에너지의 흡

수에 의해 검출 신호로 변환된다.

- [0091] 계측 프로세스의 시뮬레이션은, 예를 들면, 검출기에서의 공간 강도 신호, 공간 위상 신호, 등등 또는 검출 시스템으로부터의 다른 계산된 값, 예컨대 오버레이, CD, 등등, 동공 또는 에어리얼 이미지의 검출기에 의한 검출에 기초한 값을 예측할 수 있다. 따라서, 시뮬레이션의 목적은, 예를 들면, 검출기 신호 또는 계측 타겟에 대응하는 오버레이, CD와 같은 유도된 값을 정확하게 예측하는 것이다. 예를 들면, 패턴화 프로세스를 보정하기 위해, 결함이 발생할 것으로 예측되는 위치를 식별하기 위해, 등등을 위해, 이들 값은 의도된 설계 값에 비교될 수 있다.
- [0092] 따라서, 모델 공식화는, 전체 계측 프로세스의 공지된 물리학 및 화학의, 모두가 아니면, 대부분을 설명하며, 모델 파라미터 각각은 바람직하게는 계측 프로세스에서의 별개의 물리적 및/또는 화학적 효과에 대응한다.
- [0093] 한 실시형태에서, 도 8에서 설명되는 시뮬레이션 프로세스로부터의 데이터 및 상기에서 논의되는 계측 도구는 또는 계측 시뮬레이션으로부터의 계측 데이터는 본원에서 설명되는 방법에서 활용될 수 있다. 예를 들면, 데이터는 기관과 관련되는 특성, 프로세스 변수, 및/또는 마스크 파라미터 사이의 관계를 확립하기 위해 사용될 수 있다. 예를 들면, 기관 상에 인쇄되는 피처의 CD, 선량 값, 및 마스크 CD 사이의 관계. 한 실시형태에서, 예를 들면, 결함 인식 패턴화 프로세스, 타겟 레이아웃의 리타겟팅, 등등을 생성하기 위해 시뮬레이션 프로세스의 하나 이상의 모델에서 추가적인 관계가 구현될 수도 있다.
- [0094] 패턴화 디바이스 상의 또는 패턴화 디바이스에 의해 제공되는 다양한 패턴은 상이한 프로세스 윈도우, 즉, 명세 내에서 패턴이 생성될 프로세스 변수의 공간을 가질 수도 있다. 잠재적인 시스템 결함에 관련되는 패턴 명세의 예는, 네킹(necking), 라인 풀백(line pull back), 라인 박형화(line thinning), CD, 에지 배치(edge placement), 중첩, 레지스트 상단 손실(resist top loss), 레지스트 언더컷 및/또는 브리징에 대한 체크를 포함한다. 예를 들면, 패턴화 이후 획득되는 CD가 패턴의 피처의 소망되는 CD의 $\pm 10\%$ 이내에 있을 수도 있도록, 프로세스 윈도우는 두 개의 프로세스 변수, 즉, 선량 및 초점에 걸쳐 정의된다. 패턴화 디바이스 또는 그 한 영역 상의 모든 패턴의 프로세스 윈도우는 개개의 패턴의 프로세스 윈도우를 병합(예를 들면, 중첩)하는 것에 의해 획득될 수도 있다.
- [0095] 통상적으로, 패턴은 패턴을 형성하기 위해 소정의 방식으로 배열되는 하나 이상의 피처의 여러 개의 인스턴스(예를 들면, 피처 A의 10^6 개의 인스턴스, 피처 B의 10^4 개의 인스턴스, 등등)를 포함할 수 있다. 패턴화 프로세스 동안, 하나 이상의 피처는 소정의, 예를 들면, 선량/초점 설정에서 불량으로 될 수도 있고, 그 결과, 기관의 결함으로 이어질 수도 있고, 그에 의해, 패턴화 프로세스의 수율에 영향을 끼칠 수도 있다. 그러므로, 소망되는 수율 또는 선택된 수율을 달성하기 위해서는, 적절한 범위의 선량/초점 값 또는 프로세스 윈도우의 선택이 중요하다. 예를 들면, 설계자 또는 제조사에 의해 높은 수율(예를 들면, 99.9%)이 선택될 수도 있거나 또는 수율의 범위(예를 들면, 98% 내지 99.99%)가 선택될 수도 있다.
- [0096] OPC 전 레이아웃에 대해 "리타겟팅"으로 칭해지는 규칙 기반의 수정을 사용하여 특정한 피처에 대한 프로세스 윈도우를 개선하는 것에 몇몇 시도가 이루어졌다. K. Lucas 등등의, "Process, Design, and OPC Requirements for the 65 nm Device Generation", Proc. SPIE, Vol. 5040, pg. 408, 2003을 참조한다. OPC 전 레이아웃의 규칙 기반의 리타겟팅을 위한 한 가지 접근법은 선택적 바이어스 및 패턴 시프트를 포함한다. 이 접근법은, OPC 소프트웨어가 소망되는 최종 결과로서 사용하는 타겟 에지 배치를 선택적으로 변경하는 것에 의해, 공칭 프로세스 조건에서만 OPC 보정을 여전히 계산하면서, 소정의 중요한 피처에 대한 전체 프로세스 윈도우 성능을 향상시킬 수도 있다. 따라서, 설계 치수와 시뮬레이팅된 에지 배치 사이의 에러를 최소화하는 대신, OPC 소프트웨어는 리타겟팅된 치수와 시뮬레이팅된 에지 배치 사이의 에러를, 대신, 최소화한다.
- [0097] OPC 소프트웨어 유저는 다수의 방식으로 프로세스 윈도우 성능을 향상시키기 위해 설계를 리타겟팅할 수 있다. 리타겟팅의 가장 간단한 예에서, 특정한 피처에 규칙이 적용되어 그들의 인쇄 가능성 및 프로세스 윈도우를 개선할 수 있다. 예를 들면, 격리된 라인은 조밀한 라인보다 더 불량한 프로세스 윈도우 관용도를 가지지만, 그러나 피처 사이즈가 증가함에 따라 프로세스 마진이 향상된다는 것은 널리 공지되어 있다. 작은 격리된 라인을 확장하기 위해 간단한 규칙이 적용될 수 있고, 그에 의해, 프로세스 윈도우를 개선할 수 있다. 리타겟팅된 에지 배치를 결정하기 위해, 정규화된 이미지 로그 기울기(normalized image log slope; NILS) 또는 마스크 CD 에러에 대한 감도(MEF 또는 마스크 에러 보강 인자(Mask Error Enhancement Factor; MEEF))와 같은 CD 이외의 메트릭이 사용되는 다른 규칙 기반의 리타겟팅 방법이 개발되었다.
- [0098] 규칙 기반의 리타겟팅 방법은 프로세스 윈도우 전체에 걸쳐 피처의 인쇄 가능성을 향상시킬 수 있지만, 그러나

그들은 여러 가지 단점에 시달린다. 이들 방법은 상당히 복잡해질 수 있고 OPC 전 레이아웃에만 기초한다. 일단 OPC 보정이 설계에 추가되면, 프로세스 조건의 함수로서의 인쇄 성능은 OPC 전 설계로부터 예상되었던 것과는 상당히 상이하게 될 수 있어서, 상당한 에러 소스를 도입할 수 있고 리타겟팅이 소망되는 결과를 달성하는 것을 방해할 수도 있다.

[0099] 도 10은 특정한 피처에 관련되는 리타겟팅을 위해 사용되는 현존하는 프로세스의 다른 예를 예시한다. 프로시저 (P10)에서, 반도체 제조 프로세스는 관련된(예비) 설계 규칙을 갖는 특정한 설계 의도(1001)(예를 들면, 에치 이후 이미지(after etch image; AEI)에서 특정한 임계 치수(CD)를 갖는 비아에 의해 연결되는 라인)의 개발과 함께 시작된다. 예를 들면, 설계 규칙은 지원될 수 있는 최소 라인 피치/CD, 최소 비아 피치/CD, 2D 라인 또는 1D 라인을 포함한다. 프로시저(P20)에서, 초기 타겟 CD(예를 들면, 현상 이후 이미지(after development image; ADI)에서의 패턴의 CD)가 이미징을 위해 설정되고, 초기 타겟 CD는 이전의 노드(예를 들면, 이전 제조사 기관) 및 초기 결함 검사 실험으로부터의 경험/외삽에 기초할 수도 있다.

[0100] 게다가, 프로시저(P30)에서, 선량/마스크/초점 편위(excursion) 또는 변동에 의해 야기되는 이들 타겟 CD가 주어지면, 클립의 다양한 게이지(예를 들면, 측정 목적을 위해 사용되는 선택된 패턴 또는 피처)에서 편차(편위로서 또한 지칭됨)를 최소화하는 가중치 함수(weight-function)에 일반적으로 기초하여, 최적의 조명-동공을 결정하기 위해, 소스 마스크 최적화(Source-Mask Optimization; SMO)가 수행된다.

[0101] SMO 프로세스 이후, 프로시저(P40)에서, 마스크를 제조하기 위해 마스크 패턴(예를 들면, 피처당 많은 게이지를 갖는 >1k 피처)이 SMO의 결과로부터 선택되고, 마스크는 기관 상에 패턴을 이미지화(노출 또는 인쇄로서 상호 교환 가능하게 지칭됨)하기 위해 사용된다. 이미지화된 기관 상의 패턴은, OPC 프로세스를 포함하는 패턴화 프로세스 시뮬레이션을 통해, 레지스트 파라미터, 계층 파라미터(예를 들면, 10 개의 파라미터), 또는 다른 패턴화 프로세스 관련 파라미터와 같은 프로세스 파라미터를 캘리브레이팅하기 위해 사용된다. OPC 캘리브레이션은 OPC된(OPCed) 마스크 패턴을 사용하여 다른 기관을 노출시키는 것, 및 노출된 기관의 CD를 측정하는 것에 의해 검증된다. 여기서, 소정의 잔차 에러(residual-error)가 허용된다.

[0102] 일단 OPC 프로세스가 캘리브레이팅되면, 프로시저(P50)에서, 예를 들면, 기관을 노출시키기 위해 초점 노출 매트릭스(focus-exposure-matrix; FEM)를 사용하여, 실험 계획법(design-of-experiment; DOE)이 수행된다. 노출된 기관은 명시야(Brightfield) 또는 전자 빔 검사 도구(예를 들면, 주사 전자 현미경 검사(scanning electron microscopy; SEM) 또는 투과 전자 현미경 검사(transmission electron microscopy; TEM))를 사용하여 결함에 대해 검사된다. 더욱 성숙한 프로세스를 위해, 검사 알고리즘을 개선하여 높은 캡처 및 낮은 방해물 레이트를 가지고 올바른 양의 결함을 캡처하기 위해, 전기 테스트 구조물 및 SEM/TEM과 같은 검사 도구가 사용된다.

[0103] 프로시저(P60)에서, 프로세스 조정이 수행되고 및/또는 설계 규칙이 업데이트된다(예를 들면, 소정의 보조 피처가 OPC 세트에 추가되고, 일부는 OPC 세트로부터 폐기될 수도 있음). 불량률과 관련하여 타겟 CD의 이상적이지 않은 선택의 결과로서, 타겟 CD도 또한 업데이트된다, 즉, 최소 패턴화 관련 수율이 달성되도록 ADI, AEI, AEI (2L)에서의 결함률을 허용 가능한 불량률로 개선하도록 "리타겟팅"된다. 리타겟팅 이후, 수율을 추가로 향상시키기 위해, SMO, OPC, 검사, 등등을 포함하는 프로세스, 및 추가적인 리타겟팅 CD가 한 번 더 수행될 수도 있다.

[0104] 상기에서 논의한 현존하는 프로세스는 고객의 테스트 디바이스당 최대 1년이 소요될 수 있는데, 여기서 반도체 제조 프로세스는 각각의 개개의 프로세스 단계 및 기관의 통합된 층에 대해 충분한 수율을 가질 때까지 튜닝된다. 동시에, 제조에서의 변동을 제한하고 총 수율을 향상시키기 위해, 다른 솔루션(예를 들면, OVL 타겟, 및 프로세스 도구에 대한 제어 및 모니터링 솔루션)도 또한 개발된다. 충분한 패턴화 수율을 갖는 칩을 생산하는 최종 대량 제조(high volume manufacturing; HVM) 프로세스에 도달하기 위해서는, 증가하는 복잡도를 갖는 여러 가지 테스트 디바이스가 필요할 수도 있다. 한 예에서, 패턴화 기하학적 형상 허용 한계 또는 설계 규칙에 기인하는 수율. 그러나 더욱 무작위적인/예측 불가능한 편위, 예를 들면, 입자에 기인하는 파라메트릭 수율(parametric yield) 또는 수율 손실이 또한 존재한다. 예를 들면, 전기적 성능, 디바이스가 작동하는지의 여부를 결정하기 위한 열 성능, 디바이스가 요건과 관련하여 더 많은 전력을 소비하는지 또는 너무 느린지의 여부, 등등과 같은 칩의 기능에 관련되는 파라메트릭 수율.

[0105] 상기에서 논의되는, 현존하는 프로세스의 도전 과제 중 하나는, 프로세스 그 자체, 패턴화 프로세스의 파라미터, 및 프로세스 변수 사이의 다양한 상호 종속성 때문에, 제1 사이클(또는 반복)으로부터의 학습이 다음 사이클(또는 반복)에서 고려될 필요가 있다는 것이다. 무차별 대입(brute-force)을 사용하는 것을 제외하면, 병렬화는 어렵다. 그러므로, 긴 사이클 시간에 기인하여 개발 시간은 길어진다.

- [0106] 현존하는 프로세스는 여러 가지 단점을 갖는다. 제1 단점은, 각각의 프로세스 반복에 대해 여러 개의 새로운 마스크가 제조되어야 한다는 것이다. 둘째, 계측/검사 사이클이 매우 길 수 있다(일반적으로 몇 주). 셋째, 종래의 SMO 프로세스는 타겟 CD의 극단적인 쪽(예를 들면, 너무 큰/너무 작은 피처)에서 실제 불량률 기반의 한계를 인식하지 못한다. 종래의 SMO는, 예를 들면, 주어진 타겟 CD에 대한 프로세스 변수 \pm 선량, \pm 초점, 또는 \pm 마스크 바이어스에서의 최적의 가변성을 위해 단순히 최적화한다. 그러한 최적화는, (종종 독점적) 검사 모델에 기초하여 정확한 CD 타겟을 제공하는 유저에 크게 의존하기 때문에, 차선책일 수도 있다.
- [0107] 본 개시는 결합 기반의 프로세스 윈도우를 사용하여 계측/검사 데이터로부터 특성 한계(예를 들면, 레지스트 CD와 관련됨)를 결정하는 대안적인 메커니즘을 설명한다. 결합 기반의 프로세스 윈도우는 기관 상에 인쇄될 패턴과 관련되는 불량률 데이터에 기초하여 결정되는 프로세스 변수 값을 지칭한다. 한 실시형태에서, 패턴화 프로세스와 관련되는 결합 기반의 프로세스를 (예를 들면, 컴퓨터 하드웨어 시스템(100)을 통해) 결정하는 것은, (i) 패턴화 프로세스의 불량률 측정에 기초하여 패턴화 프로세스와 관련되는 특성(예를 들면, CD)의 특성 한계, 및 (ii) 프로세스 변수 및/또는 패턴화 프로세스의 프로세스 변수의 분산의 함수로서 정의되는 특성(예를 들면, CD)의 확률 밀도 함수(PDF)를 획득하는 것을 수반한다. 특성 한계 및 특성의 확률 밀도 함수에 기초하여, 패턴화 프로세스의 추정된 불량률이 결정된다. 게다가, 결합 기반의 프로세스 윈도우는, 특성의 추정된 불량률이 선택된 불량률 임계치(소망되는 불량률 또는 타겟 불량률로서 상호 교환 가능하게 지칭됨)보다 더 작도록 프로세스 변수의 관점에서 결정된다. 예를 들면, 프로세스 윈도우의 식별은 추정된 불량률과 선택된 임계치의 교집합 사이의 프로세스 변수의 범위를 결정하는 것을 수반한다.
- [0108] 한 실시형태에서, 특성 한계는 주어진 설정에 대한 프로세스 변수(예를 들면, 선량)의 확률 밀도 함수를, 변환 함수에 기초하여 설정에 대한 특성(예를 들면, CD)의 확률 밀도 함수로 변환하는 것에 의해 획득된다. 변환 함수는 프로세스 변수의 함수에 기초하여 결정된다. 특성 분포(예를 들면, CD 분포)에 기초하여, 주어진 프로세스 변수 설정 및 피처의 불량률의 측정에 대해 특성 한계가 결정된다.
- [0109] 특성 한계(피처와 관련되는 파라미터 한계로서 또한 지칭됨) 및 결합 기반의 프로세스 윈도우를 결정하기 위한 방법의 예는, 2017년 12월 22일자로 출원된 미국 특허 출원 번호 62,609,755 및 PCT 출원 PCT/EP2018/085159로서 또한 출원된, 2018년 11월 30일자로 출원된 미국 특허 출원 번호 62/773,259에서 설명되는데, 이들 모두는 참조에 의해 그 전체가 본원에 통합된다. 계측 데이터 또는 검사 데이터는, 임의의(예를 들면, 보간된) 피처 사이즈에 대한 시뮬레이터에서의 특성 한계를 결정하기 위해 사용될 수 있는 불량률 모델을 캘리브레이팅하기 위해 사용되는 여러 가지 피처로부터 획득된다.
- [0110] 본 개시에 따르면, 시뮬레이션 결과 및 리타겟팅을 향상시키기 위해 결합 기반의 프로세스 윈도우가 활용된다. 도 11은 본 개시의 실시형태에 따른 종래의 패턴화 프로세스 시뮬레이션(예를 들면, SMO, 리타겟팅, OPC, 등)을 향상시키기 위해 결합 기반의 프로세스 윈도우 및 특성 한계를 구현하는 예시적인 시뮬레이션 프로세스의 플로우차트이다.
- [0111] 방법(1100)은, 도 10에서 논의되는 바와 같이, 타겟 레이아웃(예를 들면, 전체 칩 레이아웃의 클립) 상에서 SMO 프로세스를 시뮬레이팅하는 프로시저(P30)로 시작된다. 예를 들면, 타겟 레이아웃은 백만 개 또는 수십만 개 이상의 피처를 포함할 수 있다. SMO 시뮬레이션의 결과는 FEM, 최적화된 마스크 파라미터(예를 들면, 마스크 바이어스 및 CD), 최적화된 소스, 최적화된 초점, 최적화된 조명 동공, 등등일 수 있다.
- [0112] 프로시저(P1101)는, 특성 한계(예를 들면, CD 한계) 및 기관 상에 인쇄될 패턴에 관련되는 국소적 CD 균일성을 결정하기 위해, 캘리브레이션 세트(예를 들면, 10 개의 게이지 또는 타겟 레이아웃의 선택된 패턴을 포함함)에 대해 결합 기반의 프로세스 윈도우(defect-based process window; DB-PW) 캘리브레이션을 수행하는 것을 수반한다. DB-PW 캘리브레이션 이후, 특성 한계는 타겟 레이아웃의 임의의 주어진 패턴에 활용될 수 있다. 특성 한계(피처와 관련되는 파라미터 한계로서 또한 지칭됨) 및 결합 기반의 프로세스 윈도우를 결정하기 위한 방법의 예는, 참조에 의해 그 전체가 본원에 통합되는 PCT 출원 번호 PCT/EP2018/085159에서 설명된다.
- [0113] P1101과 병행하여, (도 10에서 논의되는 바와 같은) OPC 캘리브레이션을 수반하는 프로시저(P40)는, 예를 들면, 10,000 게이지를 사용하여 수행된다. 한 실시형태에서, OPC 캘리브레이션은 DB-PW를 위해 사용되는 것과 비교하여 훨씬 더 많은 수의 게이지 또는 패턴에 대해 수행된다. 한 실시형태에서, DB-PW 캘리브레이션 및 OPC 캘리브레이션은 분리된다. DB-PW 캘리브레이션은, 인쇄된 기관 상에서 실제 CD 및 결함을 결정하기 위해 계측 측정을 수행하는 것을 수반하기 때문에 더 많은 시간이 걸릴 수도 있고, 한편 OPC 캘리브레이션은 어떠한 계측 측정 또는 결합 기반의 계산도 수반하지 않는다.

[0114] 한 실시형태에서, OPC 캘리브레이션은, 기관 상의 시뮬레이션된 패턴이 소망되는 레지스트 타겟(예를 들면, 레지스트 내의 CD)에 근접하는 것을 보장하기 위해, 예를 들면, 레지스트 파라미터를 캘리브레이션하는 것을 수반한다. 한 실시형태에서, OPC의 출력은, 예를 들면, 보조 피쳐, 메인 피쳐, 곡선형 마스크 패턴, 직선형 패턴을 포함하는 마스크 패턴이다. 한 실시형태에서, OPC 캘리브레이션은 실질적으로 많은 수의 패턴 또는 게이지(예를 들면, 100,000 개의 게이지)를 사용하고, 한편, DB-PW는 게이지의 서브세트(예를 들면, 10 개의 게이지)만을 사용한다.

[0115] 한 실시형태에서, DB-PW 캘리브레이션은 피쳐의 특성의 불량률 모델 및 확률 밀도 함수를 생성하거나 또는 사용한다. 예를 들면, 패턴과 관련되는 CD 분포는 인쇄된 기관의 측정된 데이터에 기초하여 모델링될 수도 있다. 한 실시형태에서, 그러한 불량률 모델 및 CD 분포 모델은, 캘리브레이션이 단지 수십 개의 게이지에 대해서만 행해지고, 그 다음, 임의의 게이지 또는 패턴에 대해 어떤 CD가 인쇄될지를 예측하기 때문에, CD 한계를 결정하기 위해 사용될 수도 있다. 예를 들면, CD 분포 및 불량률 모델은 계측 기반의 데이터, 예를 들면, 측정된 CD 및 불량률에 대해 적합되는 가우시안(Gaussian) 모델일 수 있다. 적합된 모델은 소망되는 불량률 또는 타겟 불량률에 대한 CD 한계를 결정하기 위해 사용될 수 있다. 한 실시형태에서, CD 한계는 하드(hard) 한계로서 취급될 수 있는데, 예를 들면, CD 한계 아래에서, 피쳐는 결함으로 간주된다.

[0116] 한 실시형태에서, DB-PW 캘리브레이션은 국소적 CD 균일성(local CD uniformity; LCDU)이 어떻게 거동하는지의 응답을 또한 캘리브레이션한다. 한 예에서, Bossung(보쌈) 거동은 CD의 조사량(dosage) 감도를 설명하고, 한편 국소적 LCDU는 CD 분산을 설명하는데, 이것은 기저의 CD 분포의 척도를 제공할 수 있다.

[0117] 프로시저(P1101 및 P40)로부터의 출력, 예를 들면, CD 한계 및 레지스트 파라미터, 선량-초점 매트릭스, 마스크 파라미터, 등등은 프로시저(P1103)에서 "동적 리타겟팅"을 수행하기 위해 사용할 수 있다. 예시적인 동적 리타겟팅은 도 15와 관련하여 논의된다.

[0118] 한 실시형태에서, 방법(1100)은, 프로시저(P1104)에서, 현상 이후 이미지(ADI) 및/또는 에치 이후 이미지(AEI) 데이터에 기초하여 최적의 프로세스 윈도우를 결정하기 위해 추가로 확장될 수 있다. 예를 들면, ADI 프로세스 윈도우는 현상 단계에서 CD 거동에 기초하여 결정될 수 있다. AEI 프로세스 윈도우는 에치 이후 단계에서 CD 거동에 기초하여 결정될 수 있다. 한 실시형태에서, CD 거동을 결정하기 위해, ADI 또는 AEI 파라미터에서의 변화에 따른 CD 변화를 설명하는 ADI 및/또는 AEI 모델이 활용될 수 있다. 한 예에서, AEI 모델은 에치 이후 CD를 예측할 수 있다. 에치 이후 CD(after etch CD)가 허용 가능한 범위 내에 있는지를 결정하기 위해, 에치 이후 CD는 CD 한계에 대해 체크될 수 있다. 허용 가능한 범위 내에 있지 않은 경우, 리타겟팅된 레이아웃이 생성될 수도 있거나 또는 에치 이후 CD가 DB-PW에 의해 결정되는 CD 한계 내에 있도록 에치 프로세스가 수정될 수도 있다. 한 실시형태에서, 프로시저(P1105)에서, 최적의 프로세스 윈도우는 전체 칩의 수율을 예측하기 위해 또한 사용될 수 있다.

[0119] CD 한계를 결정하기 위한 예시적인 방법은, 참조에 의해 그 전체가 본원에 통합되는 PCT 출원 번호 PCT/EP2018/085159에서 상세하게 논의되는 다음의 수학적 식 (1)에서 표현될 수 있다.

$$R_{fail} = \int_{CD_{lim}}^{\infty} PDF_{CD}(CD, d) dCD = 1 - CDF_{CD}(CD_{lim}, d) \quad \dots (1)$$

[0120] 상기의 수학적 식 (1)에서, (i) R_{fail} 은 프로세스 변수, 예를 들면, 선량, 레지스트 관련 및/또는 에칭 관련의 설정에 따른 피쳐의 불량률이고; (ii) $PDF_{CD}(CD, d)$ 는 소정의 프로세스 조건("d"에 의해 나타내어짐)에서 프로세스(P1101)의 측정된 데이터에 기초한 CD PDF 모델을 지칭하고; 그리고 (iii) $CDF_{CD}(CD_{lim}, d)$ 는 CD_{lim} 에서 그리고 그것을 넘어서는 불량률의 전체 확률을 제공하는 $PDF_{CD}(CD, d)$ 의 누적 분포 함수이다. CD 한계는, 불량인 피쳐가 서로의 불량률에 영향을 끼치지 않지만(즉, 각각의 불량률 "격리된 불량"으로서 취급할 수 있음) 그러나 측정된 또는 결정된 불량률의 분산을 제한하기 위해 그들의 충분한 양이 존재하는 대응하는 불량률을 갖는 프로세스 변수(예를 들면, 선량, 레지스트 관련, 에치 변수)의 하나 이상의 설정에서 결정될 수 있다. 한 실시형태에서, PDF_{CD} 는 하기에서 설명되는 바와 같이 본 개시에 따라 결정될 수 있다. 예를 들면, PDF_{CD} 는 선량 및 마스크 변동의 함수로서 결정될 수 있다. 다른 예에서, PDF_{CD} 는 선량 기여에 기인하여 야기되는 변동을 조정하는 조정 모델에 기초하여 결정될 수 있다.

[0122] 불량률 모델은, 프로세스 변수(예를 들면, 선량, 레지스트, 에치)에 관한 프로세스 윈도우(세부 사항에 대해서

는 PCT 출원 번호 PCT/EP2018/085159 참조)를 결정하기 위해 추가로 사용될 수도 있다. 예를 들면, 프로세스 윈도우는 추정된 불량률이 10^{-9} 미만일 수도 있는 선량 값("d")의 범위일 수 있다. 한 실시형태에서, 소망되는 불량률은, 예를 들면, 하기의 수학적 (2)를 사용하여 소망되는 수율(예를 들면, 10^6 개의 피처에 대해 99.9 %)로부터 결정될 수도 있다:

[0123]
$$R_{fail}(d) = (1 - Y(d)) \quad \dots (2)$$

[0124] 한 실시형태에서, (예를 들면, 수학적 2에서) 추정된 불량률을 다음과 같이 사용하여 수율이 계산될 수 있다:

[0125]
$$Y(d) = (1 - R_{fail}(d))^N \quad \dots (3)$$

[0126] 상기의 수학적 (3)에서, Y(d)는 N 개의 개개의 피처에 대한 특정한 선량(d)에서의 수율이고, $R_{fail}(d)$ 은 (예를 들면, 수학적 2에서의) 추정된 불량률이다. 그러한 계산된 수율에 기초하여, 계산된 수율이 소망되는 수율(예를 들면, 99.9 %)보다 더 크거나 또는 동일한 프로세스 윈도우가 선택될 수 있다.

[0127] 도 12a 및 도 12b는 CD 한계 및 불량률 데이터를 결정하기 위해 패턴의 캘리브레이션 세트를 사용하는 예시적인 방법을 예시한다. 한 실시형태에서, 시뮬레이션된 레지스트 패턴은 다음과 같이 설명되는 수학적 (4)를 사용하여 (프로시저(P1101)에서) DB-PW 캘리브레이션의 측정된 데이터에 대응할 수도 있다.

[0128]
$$CD_{lim} = a + b.(H_2 - H_1) \quad \dots (4)$$

[0129] 상기의 수학적 (4)에서 CD_{lim} 은 DB-PW 데이터로부터 결정되는 피처의 CD를 기초한 특성 한계의 한 예이고, $H_2 - H_1$ 은 두 개의 상이한 높이, 예를 들면, 레지스트 층의 상단에 있는 H_1 및 레지스트 층의 저부에 있는 H_2 에서의 시뮬레이션된 레지스트 프로파일(예를 들면, 도 12c 참조)의 CD 값에 기초하여 결정되는 CD 마진이다. 한 실시 형태에서, SMO 또는 관련된 프로세스 시뮬레이터는, 레지스트(도 12c 참조)의 상단 또는 저부 중 어느 하나에서 마진을 결정하기 위해 수학적 (4)를 포함하도록 수정될 수 있다.

[0130] 한 실시형태에서, 도 12a에서 도시되는 바와 같이, 게이지(#G)는 변할 수 있는 4 개의 파라미터(p_x , p_y , CD_x , 및 CD_y)를 갖는 홀의 어레이일 수 있는데, 여기서 p 는 x 방향에서의 피치를 나타내고 CD_x 는 x 방향에서의 CD를 나타낸다. 한 실시형태에서, 게이지(#G)로부터, 도 12b에서 도시되는 바와 같이, 다수의 게이지(#G0, #G1, #G2, #G3, 및 #G4)가 생성될 수 있다. 예를 들면, 도 12b에서, #G1은 피처의 단일의 행이고, #G1은 피처의 수직 열이고, #G3은 대각선 방향으로 배열된 피처이다. 각각의 게이지에 대해, CD 한계가 결정될 수도 있다. 예를 들면, CD 한계는 $CD_{L,G0}$, $CD_{L,G1}$, $CD_{L,G2}$, $CD_{L,G3}$, 및 $CD_{L,G4}$ 일 수 있다. 유사하게, 각각의 게이지에 대해, 시뮬레이터는, 예를 들면, 레지스트 $CD(H1/H2_{G0}, H1/H2_{G1}, H1/H2_{G2}, H1/H2_{G3}, \text{ 및 } H1/H2_{G4})$ 를 생성할 수 있다. 이러한 방식으로, 수학적 (4)는 CD_{lim} 을 시뮬레이션된 CD 값에 관련시킨다. 예시적인 레지스트 프로파일 및 CD가 측정되는 상단 및 저부 위치선이 도 12c에서 예시되어 있다.

[0131] 도 13은, 본 개시의 실시형태에 따른, 레지스트 프로파일의 상단 및 저부에서 CD를 사용하여 결함 기반의 프로세스 윈도우를 결정하는 예시적인 방법을 도시한다. 본 예에서, 프로세스 시뮬레이션은 20 nm 콘택 홀에 대해 그리고 환형의 조명 모델을 사용하여 수행된다. 한 실시형태에서, 프로세스 윈도우 및 CD_{lim} 은, 예를 들면, 측정된 데이터에 기초한 불량률 모델을 사용하여 결정되었다. 또한, 그러한 프로세스 윈도우는 본원에서 논의되는 바와 같이 수정된 프로세스를 사용하여 시뮬레이션될 수 있다. 예를 들면, 수학적 (4)를 포함하는 캘리브레이션된 시뮬레이션 프로세스(예를 들면, 도 14a 및 도 14b와 관련하여 논의됨)를 사용한다. 그러한 만큼, 결함 기반의 프로세스 윈도우(PW1)는 반도체 제조 프로세스에서 초기에 유리하게 시뮬레이션될 수 있다. 예를 들면, 레지스트의 저부 및 상단에서 측정하는 것 및 CD_{lim} 과 관련하여 소정의 마진을 가정하는 것에 의해, 프로세스 윈도우(PW1)가 결정될 수 있다. 프로세스 윈도우(PW1)의 예지는 프로파일 또는 이들 한계가 레지스트 프로파일의 상이한 깊이에서 어떻게 거동하는지를 도시한다. 한 실시형태에서, 마진은 레지스트의 저부 및 상단으로 통용되는데 이용 가능한 CD 변화의 양이다. 그 다음, 선량 및 초점 매트릭스를 통해 프로세스 윈도우(PW1)가 결정될 수 있다. 따라서, 레지스트 프로파일에 기초하여, CD 한계가 비교될 수 있다; 그리고 CD 한계에 기초하여, 프로세스 윈도우가 결정될 수 있다. 이 실시형태에서, 결함 기반의 프로세스 윈도우(PW1)는 국소적 CD 변동이 없다는 것을 가정하여 획득된다. 몇몇 다른 실시형태에서, LCDU가 고려되고, 상응하여, 프로세스 윈도우가 변경될 수도

있다.

[0132] 도 14a 및 도 14b는, 본 개시의 실시형태에 따른 캘리브레이팅된 시물레이션 프로세스를 결정하기 위한 예시적인 방법을 도시한다. 도 14a는 인쇄된 기판 및 인쇄된 기판의 검사 데이터로부터 획득되는 실험 데이터에 기초한 예시적인 DB-PW(세부 사항에 대해서는 PCT 출원 번호 PCT/EP2018/085159 참조)를 예시한다. 도 14a를 참조하면, 불량률은 모든 프로세스 조건에 대한 불량률 모델을 (예를 들면, 컴퓨터 하드웨어 시스템(100)의 프로세서 상에서) 실행하는 것(예를 들면, P1101)에 의해 결정될 수 있다. 게다가, 주어진 소망되는 불량률 또는 허용 가능한 불량률에 기초하여, 허용 가능한 프로세스 윈도우(PW2)(점선)가 결정될 수 있다. 게다가, 예를 들면, 최대 노출 관용도를 갖는 타원형 프로세스 윈도우(PW3)를 결정하기 위해, 타원 핏(ellipse-fit)(또는 임의의 다른 종류의 적절한 핏)이 허용 가능한 프로세스 윈도우(PW2)에 대해 수행될 수도 있다.

[0133] 도 14a에서, 프로세스 윈도우(cPW)는 20나노미터 평균 콘택 홀을 갖는 29 개의 콘택에 대한 종래의 OPC 시물레이션에 기초하여 획득되는 프로세스 윈도우이며, PW2의 윤곽은 고정된 불량률 또는 허용 가능한 불량률에 있고, PW3의 윤곽은 윈도우(PW2) 내에서의 타원형 핏인데, 여기서 PW3은 초점 및 CD 관점에서 최대 프로세스 윈도우로 간주될 수 있다. 전통적인 프로세스 윈도우(cPW)는 DB-PW(PW2/PW3)와는 상이하다는 것이 관찰될 수 있다. 프로세스 윈도우(PW2/PW3)에 기초하여, 최상의 선량이 약 53 mJ/cm^2 이고, 최적 CD가 약 22.5 nm이며, 최상의 초점 포지션은 윈도우 중앙에서 -11 나노미터이다는 것이 결정될 수 있다. 이것은 유리하게는, 인쇄된 패턴이 소정의 불량률 내에 있도록 패턴화 프로세스를 동작시키기 위해 사용될 수 있는 프로세스 윈도우의 사이즈 및 실험 설정을 제공한다.

[0134] 도 14b는, 본 개시의 한 실시형태에 따른, 시물레이션 프로세스의 파라미터가 DB-PW 데이터(예를 들면, 도 14a에서 도시됨)에 기초하여 캘리브레이팅되는 캘리브레이팅된 시물레이션 프로세스를 사용하여 생성되는 예시적인 시물레이팅된 프로세스 윈도우(PW2' 및 PW3')를 예시한다. 본 예에서, DB-PW 데이터, 예를 들면, CD_{lim} 또는 PW2는, 레지스트의 저부에서 그리고 상단에서 얼마만큼의 마진이 이용 가능한지에 관해 시물레이터를 안내한다. 따라서, 시물레이션 프로세스에서 사용되는 모델의 파라미터는 실험 결과와 매치하도록 수정된다. 본 예에서, 조정된 시물레이션 파라미터는 흡수/di ILB = 5 um^{-1} , 레지스트 두께(T_{resist}) = 44 nm, $Z_{meas} = T_{resist}$ 의 15 %이다. 한 실시형태에서, 시물레이팅된 프로세스 윈도우, 예를 들면, PW3'이 DB-PW, 예를 들면, PW3와 정렬되도록 또는 밀접하게 매치하도록, AI의 블러(blur), 플레어(flare) 및 다른 파라미터가 또한 적용되거나 또는 수정될 수도 있다. 본 개시에 따르면, 전통적인 CD-보정에 관련되는 파라미터(예를 들면, 레지스트의 σ_{blur} , 플레어, SEM 오프셋, 등등)가 적합될 수 있을 뿐만 아니라, 또한, 예를 들면, 시물레이션으로부터 획득되는 패턴의 레지스트 프로파일의 상이한 높이에서 CD에 의해 특성 묘사되는, "CD 한계"와 관련되는 파라미터가 적합될 수 있다.

[0135] 본 개시에 따르면, 캘리브레이팅된 시물레이션 프로세스의 여러 가지 이점이 있다. 한 실시형태에서, 측정되는 CD 변동이 예를 들면, 선량 감도에 관련되는 시물레이팅된 CD 변동과 관련될 수 있도록 국소적 CD 응답이 또한 캘리브레이팅될 수 있다. 추가적으로, 캘리브레이션은 레지스트에서 CD 변동을 야기하는 마스크의 CD 변동을 포함하도록 확장될 수 있다. 다른 예에서, 선량이 증가되고, 레지스트 또는 레지스트의 감도가 증가될 때 프로세스 윈도우가 어떻게 변하는지를 결정하기 위해 시물레이션이 또한 수행될 수 있다. 또한, 마스크 레벨에서 CD 바이어스가 변경되는 경우 어떤 일이 발생하는지를 연구하기 위해 시물레이션이 수행될 수 있다.

[0136] 추가적인 선량이 프로세스 윈도우를 개선할 수도 있지만, 그러나, 타겟 CD 및 최상의 초점을 변경할 수 있다. 예를 들면, 선량이 조정됨에 따라, 국소적 CD 균일성은 감소되고, CD 타겟 바이어스가 감소되며, CD 윈도우가 증가된다. 그러나, 선량에서의 증가는, 바람직하지 않을 수도 있는 초점 심도(depth of focus; DoF)를 또한 증가시킬 수 있다. 생산성 관점에서, 선량을 가능한 한 낮게 유지하는 것이 바람직할 수도 있지만, 그러나 성능 관점(예를 들면, 증가된 PW)에서, 더 높은 선량이 소망될 수도 있다. 그러한 만큼, 여러 가지 파라미터(선량, CD 윈도우(CD-window), LCDU@BEBF, BF, DoF)에서의 변화에 기초하여, 솔루션 중간의 선량 값이 선택될 수도 있다.

[0137] 다른 예에서, 테이블 2에서, 타겟 CD 바이어스로 하여금 증가되게 하도록 마스크 바이어스(mask-bias)가 조정될 수도 있다. 예를 들면, 20 % 마스크 바이어스에서 최적의 CD 윈도우가 획득될 수도 있다. 또한, 20 % 마스크 바이어스에서, 최상의 초점에서의 LCDU가 변경되고 상응하여 DoF도 역시 변경된다.

[0138] 몇몇 실시형태에서, 노출 관용도는 선량 범위이고 DoF는 윈도우(예를 들면, 도 14a의 PW2)의 범위이다. 한 실시형태에서, 노출 관용도는 CD 윈도우, 예를 들면, (더 높은 선량 - 더 낮은 선량의 CD)로 변환될 수 있다.

- [0139] 다른 예에서, 레지스트 파라미터는 상이한 레지스트 재료(예를 들면, CAR 레지스트 대 비CAR(non-CAR) 레지스트)에 대한 주어진 흡수율에서 최적 레지스트 두께를 결정하도록 조정될 수 있다.
- [0140] 한 실시형태에서, 레지스트의 거동, 예를 들면, 광자 흡수 또는 국소적 CD 변동이 레지스트의 두께에 어떻게 의존하는지 모델링될 수 있다면, 레지스트 두께는 최적의 프로세스 윈도우를 결정하도록 변경될 수 있다. 전술한 레지스트 파라미터는 예로서 제시되며 본 개시의 범위를 제한하지는 않는다는 것이 이해될 수 있다. 한 실시형태에서, 레지스트 파라미터 사이의 추가적인 관계는 실험적으로 결정될 수 있고 레지스트 관련 측정에 기초하여 시뮬레이션 프로세스를 캘리브레이팅할 수 있다.
- [0141] 한 실시형태에서, DoF를 결정하는 여러 가지 인자가 있을 수도 있다. 예를 들면, 보정 곡선, 국소적 CDU 열화 및 실제 레지스트 프로파일 및 CD 마진에 대한 영향을 사용하여 결정되는 전통적인 CD 윈도우. 그러한 거동은 본 개시의 실시형태를 사용하여 또한 시뮬레이팅될 수 있다.
- [0142] 도 14c는 DoF에서의 변화가, 명확하지 않은 프로세스 윈도우를 생성하는 CD 마진에 어떻게 영향을 끼치는지를 나타내는 예시적인 시뮬레이션을 예시한다. 도 14c는 상이한 DoF에서 이용 가능한 마진을 예시하고, 곡선 Mup는 상단 레지스트 CD와 관련되는 상부 마진을 나타내고, 곡선 Mb는 저부 레지스트 CD와 관련되는 내부 마진을 나타내고, 곡선 Mtot는 초점의 함수로서 가질 것으로 예상되는 총 마진을 나타낸다. 곡선은 DoF가 레지스트 프로파일에 상당히 극적으로 영향을 끼친다는 것을 나타내는데, DoF가 중심(예를 들면, 최상의 초점 또는 공칭 초점)으로부터 너무 멀리 있을 때 레지스트 프로파일의 저부에서 또는 상단에서 더 적은 CD 마진이 이용 가능하다는 것을 나타낸다.
- [0143] 한 실시형태에서, 패턴화 프로세스에 관련되는 시뮬레이션 프로세스의 캘리브레이팅은 도 15와 관련하여 논의되는 바와 같이 구현될 수 있다. 예를 들면, 방법(1500)은 다음과 같이 상세하게 논의되는 프로시저(P1501 및 P1503)를 포함한다.
- [0144] 프로시저(P1501)는 다음의 것을 획득하는 것을 포함한다: (i) 인쇄된 패턴의 임계 불량률에 기초한 인쇄된 패턴의 특성의 특성 한계(1501), 및 (ii) 특성 한계(1501)에 기초한 기준 프로세스 윈도우(1503).
- [0145] 한 실시형태에서, 특성 모델은 시뮬레이팅된 패턴의 특성 및 인쇄된 패턴의 특성에 기초하여 특성 모델의 파라미터를 적합시키는 것에 의해 결정된다.
- [0146] 한 실시형태에서, 인쇄된 패턴의 특성의 특성 한계(1501)의 (예를 들면, 컴퓨터 하드웨어 시스템(100)을 통한) 획득은 다음의 것을 포함한다: 리소그래피 장치를 통해, 기판 상에 타겟 레이아웃의 선택된 패턴을 인쇄하는 것; 인쇄된 패턴의 검사 데이터에 기초하여, 각각의 선택된 패턴의 불량률(예를 들면, 컴퓨터 하드웨어 시스템(100)을 통해) 결정하는 것; 불량률 및 각각의 선택된 패턴의 특성에 기초하여, 패턴의 특성과 관련되는 불량률을 결정하도록 구성되는 불량률 모델을 적합시키는 것; 및 임계 불량률이 충족되도록 선택된 패턴의 특성의 특성 한계(1501)를 결정하기 위해 불량률 모델을 (예를 들면, 컴퓨터 하드웨어 시스템(100)의 프로세서 상에서) 실행하는 것.
- [0147] 한 실시형태에서, 특성 한계(1501)를 획득함에 있어서, 특성 한계(1501)뿐만 아니라, 또한, 패턴의 CD의 거동 및 관련된 고차 모멘트(예를 들면, 분산, 스큐(skew), 첨도(kurtosis), 등등)가 캘리브레이팅될 수도 있다. 한 실시형태에서, 예를 들면, 분산 및 왜곡도(skewness)를 캘리브레이팅하는 것은 특성 모델의 예측을 시뮬레이션 데이터에 더 잘 매칭시키는 데 도움이 된다. CD 분포를 캘리브레이팅하는 것의 예는 앞서 언급된 PCT 출원 PCT/EP2018/085159에서 상세하게 논의된다. 한 실시형태에서, 선량/초점을 통한 CD는, 예를 들면, 플레어, 레지스트 블러를 포함하는 프로세스 변수를 조정하는 것에 의해 캘리브레이팅된다. 분산은, 예를 들면, 본원에서 논의되는 바와 같이, 선량 감도("ILS") 및/또는 MEEF 시뮬레이션에 의해 캘리브레이팅될 수 있다. 한 실시형태에서, 고차 모멘트는 윈도우를 통해 또한 특성 묘사되고 예측과 매치하도록 적합될 수 있다.
- [0148] 프로시저(P1505)는, 시뮬레이팅된 프로세스 윈도우가 기준 프로세스 윈도우(1503)의 허용 가능한 임계치 내에 있도록 시뮬레이션 프로세스를 (예를 들면, 컴퓨터 하드웨어 시스템(100)을 통해) 캘리브레이팅하는 것을 포함한다. 한 실시형태에서, 시뮬레이팅된 패턴은 기판의 층 내의 패턴의 프로파일을 포함한다. 한 실시형태에서, 시뮬레이팅된 패턴의 특성은, 층의 상단에 있는 제1 특성과 층의 저부에 있는 제2 특성 사이의 차이를 포함한다. 한 실시형태에서, 시뮬레이션 프로세스는 다음의 것을 포함한다: 인쇄된 패턴으로 하여금 타겟 특성 값의 허용 가능한 임계치 내에 있도록 하기 위해, 마스크 파라미터, 소스 파라미터, 또는 프로세스 파라미터를 조정하도록 구성되는 소스 마스크 최적화 프로세스 및 광학적 근접 보정 프로세스.

- [0149] 한 실시형태에서, 기준 프로세스 윈도우(1503)의 획득은, 인쇄된 기관과 관련되는 검사 데이터에 기초하여, 특성 한계(1501)를 충족하는 각각의 선택된 패턴의 특성에 대응하는 선량 및 초점의 값을 (예를 들면, 컴퓨터 하드웨어 시스템(100)을 통해) 결정하는 것을 포함한다.
- [0150] 한 실시형태에서, 시물레이션 프로세스의 캘리브레이팅은, 시물레이팅된 패턴을 결정하기 위해, (예를 들면, 컴퓨터 하드웨어 시스템(100)의 프로세서 상에서) 하나 이상의 프로세스 모델을 실행하는 것; 및 시물레이팅된 패턴의 특성이 특성 한계(1501)를 충족할 때까지 하나 이상의 프로세스 모델과 관련되는 파라미터 값을 조정하는 것을 포함한다. 한 실시형태에서, 캘리브레이션은, 시물레이팅된 패턴의 특성에 기초하여, 시물레이팅된 프로세스 윈도우 및 시물레이팅된 프로세스 윈도우가 기준 프로세스 윈도우(1503)의 허용 가능한 임계치 내에 있는지의 여부를 (예를 들면, 컴퓨터 하드웨어 시스템(100)을 통해) 결정하는 것을 포함한다.
- [0151] 한 실시형태에서, 하나 이상의 프로세스 모델은 특성 모델을 포함하는데, 특성 모델은 인쇄된 패턴과 관련되는 특성 한계(1501) 및 시물레이팅된 패턴에 기초하여 적합된다. 한 실시형태에서, 특성 모델은 시물레이팅된 패턴의 특성 및 인쇄된 패턴의 특성에 기초하여 특성 모델의 파라미터를 적합시키는 것에 의해 결정된다.
- [0152] 한 실시형태에서, 하나 이상의 프로세스 모델의 파라미터는 특성 모델의 파라미터를 포함할 수도 있다. 예를 들면, 특정한 프로세스, 예를 들면, ADI 또는 AEI에서 CD의 거동을 설명하는 평균, 분산, 왜곡도, 등등.
- [0153] 한 실시형태에서, 하나 이상의 프로세스 모델의 파라미터는 패턴화 프로세스와 관련되는 에어리얼 모델(aerial model)과 관련되는 에어리얼 이미지 파라미터를 포함할 수도 있다.
- [0154] 한 실시형태에서, 하나 이상의 프로세스 모델의 파라미터는 패턴화 프로세스에 관련되는 레지스트 모델과 관련되는 레지스트 파라미터를 포함할 수도 있다. 한 실시형태에서, 레지스트 파라미터는 다음의 것 중 하나 이상을 포함한다: 에어리얼 이미지의 블러 관련 파라미터, 레지스트 층의 레지스트 두께, 레지스트(재료)에 관련되는 흡수량, 레지스트 층의 표면 장력, 레지스트 층의 응력 및 변형, 또는 레지스트 모델 또는 시물레이터에 포함되는 다른 레지스트 관련 파라미터. 한 실시형태에서, CD에 대한 그러한 레지스트 파라미터의 효과는 본질적으로 선형적일 수도 있거나 또는 비선형적일 수도 있다.
- [0155] 한 실시형태에서, 하나 이상의 프로세스 모델의 파라미터는 패턴화 프로세스와 관련되는 에치 모델과 관련되는 에치 파라미터를 포함할 수도 있다.
- [0156] 한 실시형태에서, 시물레이션 프로세스의 캘리브레이팅은 반복 프로세스이다. 하나 이상의 반복은, 기관 상의 시물레이팅된 패턴을 결정하기 위해, 기관 상에 인쇄될 선택된 패턴을 사용하여 하나 이상의 프로세스 모델을 (예를 들면, 컴퓨터 하드웨어 시스템(100)의 프로세서 상에서) 실행하는 것; 시물레이팅된 패턴의 특성이 선택된 패턴과 관련되는 특성 한계(1501)를 충족하도록 하나 이상의 프로세스 모델과 관련되는 파라미터의 값을 조정하는 것; 및 시물레이팅된 패턴의 특성에 기초하여, 시물레이팅된 프로세스 윈도우 및 시물레이팅된 프로세스 윈도우가 기준 프로세스 윈도우(1503)의 허용 가능한 임계치 내에 있는지의 여부를 (예를 들면, 컴퓨터 하드웨어 시스템(100)을 통해) 결정하는 것을 포함한다.
- [0157] 한 실시형태에서, 하나 이상의 프로세스 모델의 파라미터의 조정은, 상단에서의 시물레이팅된 패턴의 특성과 저부에서의 시물레이팅된 패턴의 특성 사이의 마진이 특성 한계(1501)와 관련하여 최대화되도록, 특성 모델과 관련되는 파라미터의 값을 조정하는 것을 포함한다.
- [0158] 한 실시형태에서, 방법(1500)은 핫 스팟 패턴 - 각각의 핫스팟 패턴은 타겟 레이아웃으로부터의 유저 선택 패턴 및/또는 타겟 레이아웃의 다른 패턴과 비교하여 불량률의 상대적으로 높은 확률과 관련되는 패턴임 - 의 세트를 획득하는 것; 핫스팟 패턴의 세트 및 불량률 모델을 사용하여 캘리브레이팅된 시물레이션 프로세스를 (예를 들면, 컴퓨터 하드웨어 시스템(100)을 통해) 시물레이팅하는 것에 의해, 각각의 핫스팟 패턴에 대한 결함 기반의 프로세스 윈도우를 결정하는 것; 및 각각의 결함 기반의 프로세스 윈도우의 중첩에 기초하여, 임계 불량률과 관련되는 하나 이상의 프로세스 변수의 최적의 값을 결정하는 것을 더 포함한다.
- [0159] 수학적 4와 관련하여 앞서 언급된 바와 같이, 총 불량률 $(1-FR_{final}) = \prod_i (1-FR_{feature-i})^{Ni}$ 로서 계산될 수 있는데, 여기서 $FR_{feature}$ 는 프로세스 파라미터(예를 들면, 선량/초점)에 의존한다.
- [0160] 한 실시형태에서, 하나 이상의 프로세스 변수는 다음의 것으로부터 선택된다: 최상의 초점, 최상의 선량, 임계 불량률에 의해 특성 묘사되는 선량-초점 윈도우, 수차(예를 들면, 스캐너 상에서 선택 가능함/튜닝 가능함), MSD, OVL(예를 들면, 두 개의 별개의 층 상의 패턴의 CD에 의해 영향을 받는 "EPE" 설정의 경우).

- [0161] 한 실시형태에서, 방법(1500)은 불량률 모델에 기초하여, 각각의 핫스팟 패턴과 관련된 수율을 (예를 들면, 컴퓨터 하드웨어 시스템(100)을 통해) 결정하는 것; 및 전체 칩 레이아웃에 걸쳐 각각의 핫스팟 패턴과 관련되는 각각의 수율의 곱을 계산하는 것에 의해 전체 칩 레이아웃의 총 수율을 결정하는 것을 더 포함한다.
- [0162] 한 실시형태에서, 방법(1500)은 캘리브레이팅된 시뮬레이션 프로세스를 시뮬레이팅하는 것에 의해, 타겟 특성 값으로 하여금 기관 상에 인쇄되게 하기 위해 리타겟팅된 패턴의 특성을 조정하도록 마진이 이용 가능한지의 여부를 결정하는 것; 및 마진이 이용 가능하지 않은 것에 응답하여, 리타겟팅된 패턴을 사용하여 캘리브레이팅된 시뮬레이션 프로세스를 시뮬레이팅하는 것을 통해, 타겟 특성 값이 기관 상에 인쇄되도록 패턴화 프로세스와 관련된 프로세스에 대한 조정을 결정하는 것을 더 포함한다.
- [0163] 한 실시형태에서, 프로세스에 대한 조정은 다음의 것을 포함한다: 등방성 에치백 또는 스페이서 프로세스를 비롯한, 현상 이후 이미지에서의 에치 바이어스, 프로세스 부하의 양 중 하나 이상의 것의 값을 (예를 들면, 컴퓨터 하드웨어 시스템(100)을 통해) 조정하는 것. 한 실시형태에서, 프로세스 부하의 양은, 플라즈마 밀도, 재퇴적 레이트에 의해 또는 사용되는 가스의 부분 압력을 조정하는 것에 의해 결정되는 에치 레이트 및/또는 퇴적 레이트의 함수일 수 있다. 한 예에서, 부하는 가우시안 반경 내의 오픈 프레임에 의존하는 에치 레이트 또는 퇴적 레이트에 의해 모델링될 수 있다.
- [0164] 한 실시형태에서, 방법(1500)은 시뮬레이팅된 특성 값과 전체 칩 레이아웃과 관련되는 타겟 특성 값 사이의 간차 에러를 결정하기 위해 전체 칩 레이아웃을 사용하여 캘리브레이팅된 시뮬레이션 프로세스를 시뮬레이팅하는 것; 전체 칩 레이아웃과 관련되는 시뮬레이팅된 특성 값이 소망되는 수율을 충족하는지의 여부를, 리소그래피 제조 체크(lithography manufacturing check)를 통해, 결정하는 것; 및 소망되는 수율이 충족되지 않는 것에 응답하여, 소망되는 수율이 충족되도록 잔차 에러를 감소시키기 위해, 캘리브레이팅된 시뮬레이션 프로세스를 통해, 소스 파라미터, 마스크 파라미터, 또는 프로세스 파라미터를 조정하는 것을 더 포함한다.
- [0165] 일단 시뮬레이션 프로세스가 DB-PW 실험 데이터에 따라 캘리브레이팅되면, 상기의 도 11 및 도 15와 관련하여 논의되는 바와 같이, 캘리브레이팅된 시뮬레이션 프로세스는, 예를 들면, 리타겟팅을 포함하는 소위 결함 기반의 소스 마스크 최적화를 수행하기 위해 사용될 수 있다. 한 실시형태에서, 리타겟팅은 타겟 패턴을 바이어싱하는 것에 기초하여 업데이트된 패턴을 생성하는 것을 지칭한다. 본 실시형태에서, 리타겟팅은 불량률 모델 및 CD 분포 모델로부터 획득되는 CD 한계에 기초한 특성(예를 들면, 타겟 CD)의 바이어싱에 의할 수 있다. 한 실시형태에서, CD 분포 모델은 본원에서 또는 그 전체가 본원에 통합되는 PCT/EP2018/085159에서 논의되는 바와 같이 결정될 수 있다. 본 개시에 따라 결정되는 CD 분포 모델은, 본 개시에서 나중에 논의될 바와 같이, 특정한 선량 및/또는 마스크 바이어스에 대한 CD의 더욱 정확한 예측을 제공할 수 있다.
- [0166] 도 18은 본 개시에 따른 동적 리타겟팅의 예를 예시한다. 한 실시형태에서, DB-PW 데이터는 소스 마스크 최적화 프로세스와 연계하여 활용된다. 예를 들면, SMO 내에서, CD 마진의 균형을 유지하기 위한 ±선량, ±마스크 바이어스 및 ΔBF (즉, 최상의 초점에서의 변화). 예를 들면, (예를 들면, 프로시저(P1101)에서와 같이) DB-PW 실험에 따라 획득되는 CD 한계와 관련하여 결정되는 CD 마진. 또한, SMO 내에서, CD 한계가 이용 가능한 경우, 타겟 패턴의 피처에 동적 리타겟팅이 적용될 수 있다.
- [0167] 동적 리타겟팅은, 타겟 패턴을 갖는 클립 또는 초기 타겟 클립(TP181)으로서 또한 지칭되는 초기 타겟 패턴(TP181)을 가지고 시작된다. 타겟 패턴(TP181)의 리타겟팅은, 예상되는 타겟 패턴의 특성에서의 편위(예를 들면, CD 편위)에 기초한다. 한 실시형태에서, 주어진 불량률에 대해, CD 상에 얼마나 많은 선량 및 마스크 편위가 있는지를 추정할 수 있다. 편위를 결정하기 위한 예시적인 선량 및 마스크 기반의 수학적식이 본원에서 논의된다.
- [0168] 본 예에서, 초기 타겟 패턴(TP181)은 도시되는 바와 같이 배열되는 복수의 콘택 홀을 포함한다. 리타겟팅된 패턴을 결정하기 위해 (예시되는 바와 같은) 특성 한계 데이터(L181)가 활용된다. 한 예에서, 특성 한계(L181)는 DB-PW 실험에 기초하여 결정되는 CD 한계(L181)이다. 한 예에서, 초기 타겟 패턴(TP181)의 피처(TF181)는 CD 한계(L181)에 기초하여 리타겟팅된다.
- [0169] 특성 한계 데이터(L181)는 DB-PW 실험에 의해 결정되는 CD 상한(upper CD-limit)(CDL1) 및 CD 하한(lower CD-limit)(CDL2)을 포함한다. 또한, 공칭 또는 타겟 CD(target-CD; TCD)가 CD 한계 데이터(L181) 상에 오버레이되어 도시된다. 또한, 주어진 불량률에서 콘택 홀에 대한 평가된 CD 편위(EV1 및 EV2)가 도시된다. CD 편위의 평가의 예는 도 20 및 도 21과 관련하여 논의된다. CD 편위와 CD 한계 사이의 차이로서 계산되는 예시적인 CD 마진이 또한 도시된다. 한 실시형태에서, CD 편위(EV1 및 EV2)는, 예를 들면, 주어진 불량률에서 공칭 CD 또는 타

겟 CD로부터 3 표준 편차로서 계산되는 CD 값이다. 이들 극단 값 편위는, 예를 들면, 도 11 및 도 15와 관련하여 논의되는 캘리브레이팅된 시뮬레이션 프로세스를 사용하여 시뮬레이션될 수 있다.

- [0170] 상에서의 한계(L181)는 또한 하부 쪽(lower side)(예를 들면, CDL2-EV2) 상에서 이용 가능한 것보다 상부 쪽(upper side)(예를 들면, CDL1-EV1)에서 상대적으로 더 많은 마진이 이용 가능하다는 것을 또한 도시한다. 이들 마진은, 피쳐 사이즈를 감소시키기보다는, 타겟 패턴(TP181)의 피쳐 사이즈가 증가될 수 있다는 것을 나타낸다. 그러므로, 도시되는 바와 같이, 리타겟팅된 패턴(RTP181)은 TF181에서 도시되는 타겟 CD와 비교하여 더 큰 CD를 갖는 리타겟팅된 피쳐(RTF181)를 포함하도록 생성될 수도 있다.
- [0171] 한 실시형태에서, 상기의 단계는 최종 리타겟팅된 패턴 또는 리타겟팅된 클립을 생성하기 위해 반복될 수도 있다. 더구나, 한 실시형태에서, 리타겟팅된 클립에 대해, 소스도 또한 최적화될 수도 있다.
- [0172] 따라서, 도 18의 리타겟팅 프로세스는, CD 한계에서 얼마나 많은 피쳐가 있는지, 어떤 피쳐가 한계 밖에 있는지를 예측할 수 있다. 또한, 타겟 레이아웃에서의 피쳐의 발생의 횟수가 주어지면, 그러면, 어떤 피쳐가 유지될 수 있는지 그리고 어떤 피쳐가 제거될 수 있는지를 결정하기 위해 통계 분석이 수행될 수 있다. 예를 들면, 피쳐 #1의 10^{-10} 의 불량률을 가지고, 피쳐 #2는 10^{-6} 의 불량률을 가지며 피쳐 #2 타입의 개수가 피쳐 #1보다 훨씬 더 많은 경우, 그러면, 마진에 기초하여, 피쳐 # 2의 타겟 사이즈를 허용할지 또는 리타겟팅되어야 하는지의 여부가 결정될 수 있다. 다른 예에서, 피쳐를 리타겟팅할 마진이 남아 있지 않은 경우, 그러면, 프로세스에서의 변경이 권장될 수도 있다. 예시적인 프로세스 변경은, 도 16 및 도 17과 관련하여 논의되는 바와 같이, 레지스트 파라미터, 에칭 파라미터, 등등에서의 변경을 포함한다.
- [0173] 도 19는, 본 개시의 실시형태에 따른, 패턴의 특성 한계(예를 들면, CD 한계)와 관련되는 예시적인 CD 편위 및 CD 마진을 예시한다. 도 20a 및 도 20b는, 본 개시의 실시형태에 따른, 상이한 프로세스 조건(예를 들면, 선량, 초점, 마스크 바이어스, 등등) 하에서 CD 마진 및 CD의 극단 값(extreme value; EV) 편위가 어떻게 거동하는지의 예를 예시한다.
- [0174] 도 19에서, 예시적인 확률 분포 함수(PDF191)는 특정한 CD의 불량 확률을 계산하기 위해 불량률 데이터에 기초하는 모델링된 CD 분포이다. 한 실시형태에서, CD 분포(PDF191)는 선량 및 마스크 변동, 및 본 개시에서 나중에 논의되는 조정 모델에 기초하여 결정될 수 있다.
- [0175] CD 분포(PDF191)를 통합하면, 누적 밀도 함수(cumulative density function; CDF)가 계산될 수 있다. 본 예에서, 좌측 CDF는 좌측에서 우측으로 CD(x 축) 위에 PDF191을 통합하는 것에 의해 계산될 수 있다. 마찬가지로, 우측 CDF는 우측에서 좌측으로 CD(x 축) 위에 PDF191을 통합하는 것에 의해 계산될 수 있다.
- [0176] 한 실시형태에서, CD 한계는 인쇄된 기관의 불량률 데이터에 기초하여 결정될 수 있다(예를 들면, 프로시저(P1101) 참조). 한 실시형태에서, CD 한계 미만의 CD 값을 갖는 패턴은 불량인 패턴으로서 간주된다. 한 실시형태에서, 패턴화 프로세스의 수율을 향상시키기 위해, 허용 가능한 불량률(TFR)(임계 불량률로서 또한 지칭됨)이 명시될 수도 있다. 허용 가능한 불량률 또는 임계 불량률은 패턴의 실제 불량률보다 더 높을 수도 있다. 그 다음, 이 임계 불량률(TFR)과 관련하여 리타겟팅 또는 프로세스 조정이 수행될 수 있다.
- [0177] 한 실시형태에서, EV 편위는 결합 기반의 프로세스 윈도우의 에지에서 결정되는 특성 또는 프로세스 변수의 값을 지칭한다. 예를 들면, CD에서의 EV 편위는 공칭 CD 또는 타겟 CD(TCD)와 관련한 CD 편차일 수 있는데, 여기서 CD 편차는 DB-PW의 극단적인 선량 값 및/또는 극단적인 초점 값에서 결정된다. 한 실시형태에서, EV 편위는 모델링된 CD 분포의 3 표준 편차에 기초하여 결정될 수 있다. 한 실시형태에서, 동적 리타겟팅 프로세스(예를 들면, 도 18)는 CD EV 편위를 최소화하기 위해 또는 CD 마진을 향상시키기 위해(한 실시형태에서, 최대화하기 위해) 피쳐의 CD 값을 반복적으로 수정한다. 한 실시형태에서, EV 편위를 최소화하는 것은, 도 19에서 예시되는 바와 같이, CD 마진으로 하여금 양쪽에서 최대화되게 한다. 한 실시형태에서, 본원에서 논의되는, 선량 편위 및/또는 마스크 편위 수확식을 포함하는 캘리브레이팅된 SMO는, 선량 및/또는 마스크 바이어스를 변경하는 것에 의해 EV 편위를 최소화하기 위해 사용될 수 있다.
- [0178] 한 실시형태에서, CD 분포 또는 CDF의 형상에 의존하여, 다른 쪽보다 한 쪽 상에서 상대적으로 더 많은 CD 마진(nm)이 이용 가능할 수도 있다. 예를 들면, 상대적으로 더 긴 꼬리(tail)를 갖는 CD 분포는 꼬리에서 더 적은 CD 마진을 가질 수도 있다.
- [0179] 도 20a는 CD 분포(PDF191) 또는 대응하는 CDF가 우측으로 시프트하는 경우 어떤 일이 발생하는지의 예를 도시한다. 도시되는 바와 같이, 좌측에 있는 CD 마진(CDM1')은 증가하지만, 그러나 CDM2'는 우측에서 음수로 된다. 그

러므로, CDF에서의 시프트는, CD에서의 EV 편위로 하여금, CD 한계를 초과하게 할 수도 있고 더 큰 피쳐는 타겟 불량률 기준을 충족할 수 없을 수도 있다. 다시 말하면, 리타겟팅된 CD의 사이즈를 증가시키는 데 어떠한 마진도 이용 가능하지 않으며 리타겟팅된 CD가 패턴의 불량률 야기할 가능성이 있을 것이다. 한 실시형태에서, CD 마진 둘 모두는 음수가 될 수도 있는데, 이것은 바람직하지 않다. 도 20b는, CD 마진(CDM3)이 음수이고 좌측 CD 마진이 제로인 예를 도시하는데, 이것도 또한 바람직하지 않다.

[0180] 소스 마스크 최적화 관점에서, EV 편위는 타겟 불량률에 속하는 선량 설정에 관련될 수도 있다. 다시 말하면, 타겟 불량률에서의 선량 설정은 PDF에서의 꼬리 또는 CDF에서의 시프트를 야기할 수도 있다. 따라서, 본 개시에 따르면, 소스 마스크 최적화기는, 타겟 불량률(TFR)에 속하는 특정한 선량 값을 주시하는 것에 의해 CD 마진을 추적하도록 구성될 수도 있다. 그러므로, 선량을 추적하는 것에 의해 CD 마진 또는 EV 편위가 추적될 수 있다.

[0181] 한 실시형태에서, 소스만이 최적화될 수도 있고 특정한 타겟 레이트에서의 선량은 다음의 선량 편위 수학적식을 사용하여 추적될 수 있다:

$$dose_{EV} = \frac{LCDU_{dose} 3\sigma}{NDS} \cdot CDF^{-1}(1 - FR_{target})/3 \quad \dots(5)$$

[0183] 상기의 수학적식 (5)에서, $dose_{EV}$ 는 타겟 불량률 또는 소망되는 불량률(FR_{target})(즉, TFR)에서의 그리고 평균 특성 값으로부터의 3 표준 편차에서 특성 값과 관련되는 극단 값 편위에서의 선량 값을 나타내고, NDS는 패턴의 특성의 선량 감도이고, $LCDU_{dose} 3\sigma$ 는 특정한 선량에서의 그리고 평균 특성 값으로부터의 3 표준 편차에서의 특성 값과 관련되는 변동을 나타내고, 그리고 CDF는 특성의 PDF의 누적 분포 함수를 나타낸다. 하나의 실시형태에서, 타겟 불량률에서 양수이든 또는 음수이든 간에, CD 마진을 추적하는 선량 범위가 결정될 수 있다. 하나의 실시형태에서, 초점 제어는 선량 범위를 추적하는 것에 의해 최소화될 수 있다.

[0184] 한 실시형태에서, 소스 및 마스크 둘 모두가 최적화될 수도 있고 CD에서의 편위는 선량 및 마스크 파라미터(예를 들면, 마스크 바이어스) 둘 모두에 의해 야기될 수도 있다. 이 경우, 마스크 CD 변동과 선량 CD 변동의 조합이 고려될 수 있다. 예를 들면, 특정한 타겟 레이트(TFR)에서의 선량은 하기에서 주어지는 선량 편위 수학적식 (6)을 사용하여 추적될 수 있다. 또한, 특정한 타겟 레이트(TFR)에서의 마스크 파라미터(예를 들면, 마스크 바이어스)는 하기에서 설명되는 다음의 마스크 바이어스 편위 수학적식 (7)을 사용하여 추적될 수 있다.

[0185] 한 실시형태에서, 선량 편위 수학적식은 다음에 의해 주어진다:

$$dose_{EV} = \frac{LCDU_{dose}}{LCDU_{total}} \cdot \frac{LCDU_{dose} 3\sigma}{NDS} \cdot CDF^{-1}(1 - FR_{target})/3^2 \quad \dots(6)$$

[0187] 상기의 수학적식 (6)에서, $dose_{EV}$ 는 타겟 불량률 또는 임계 불량률(FR_{target})(즉, TFR)에서의 그리고 평균 특성 값으로부터의 3 표준 편차에서 특성 값과 관련되는 극단 값 편위에서의 선량 값을 나타내고, NDS는 패턴의 특성의 선량 감도이고, $LCDU_{dose}$ 는 특정한 선량에서 특성에서의 변동을 나타내고, $LCDU_{total}$ 은 패턴의 특성에서의 총 변동을 나타내고, $LCDU_{dose} 3\sigma$ 는 특정한 선량에서의 그리고 평균 특성 값으로부터의 3 표준 편차에서의 특성 값과 관련되는 변동을 나타내고, 그리고 CDF는 특성의 PDF의 누적 분포 함수를 나타낸다.

[0188] 한 실시형태에서, 마스크 바이어스 편위 수학적식은 다음에 의해 주어진다:

$$mask_{EV} = \frac{LCDU_{mask@W}}{LCDU_{total}} \cdot LCDU_{mask@W} \cdot CDF^{-1}(1 - FR_{target})/3^2 \quad \dots(7)$$

[0190] 상기의 수학적식 (7)에서, $mask_{EV}$ 는 임계 불량률(FR_{target})에서의 그리고 평균 특성 값으로부터의 3 표준 편차에서 특성 값과 관련되는 극단 값 편위에서의 마스크 바이어스를 나타내고, $LCDU_{mask@W}$ 는 마스크 바이어스에 의해 야기되는 레지스트 패턴과 관련되는 특성에서의 변동이고, $LCDU_{total}$ 은 패턴의 특성에서의 총 변동을 나타내고, 그리고 CDF는 특성의 PDF의 누적 분포 함수를 나타낸다.

[0191] 한 실시형태에서, 수학적식 5, 6, 및/또는 7은, 최대 CD 마진을 얻기 위해 또는 편위를 최소화하기 위해, SMO 프로세스에 삽입되거나 또는 SMO 프로세스와 연계하여 사용된다.

[0192] 도 21은 패턴화 프로세스와 관련되는 리타겟팅된 패턴을 생성하기 위한 방법(2100)의 플로우차트이다. 예를 들면, 방법(2100)은 다음과 같이 상세하게 논의되는 프로시저(P2101 및 P2103)를 포함한다.

- [0193] 프로시저(P2101)는, (i) 기관 상에 인쇄될 타겟 패턴과 관련되는 특성의 타겟 값, (ii) 타겟 패턴과 관련되는 특성 한계(2101) - 특성 한계(2101)는, 타겟 패턴에 대응하는 인쇄된 패턴이, 넘어서게 되면, 결합이 있는 것으로 간주되는 특성의 값임 - , 및 (iii) 타겟 패턴의 특성과 관련되는 임계 불량률에 기초하여 선량 및/또는 마스크 파라미터를 계산하도록 구성되는 소스 마스크 최적화(SMO) 프로세스를 획득하는 것을 포함한다.
- [0194] 한 실시형태에서, 본원에서 논의되는 바와 같이, 특성 한계(2101)는 불량률 모델에 기초하여 획득되는데, 불량률 모델은 기관 상의 인쇄된 패턴과 관련되는 불량률 데이터 및 임계 불량률을 사용하여 캘리브레이팅되고, 인쇄는 초기 SMO 데이터를 사용하여 수행된다.
- [0195] 프로시저(P2103)는, 타겟 패턴을 사용하여 소스 마스크 최적화 프로세스를 시뮬레이션하는 것에 의해, 리타겟팅된 패턴과 관련되는 특성이 타겟 패턴과 관련되는 특성 한계 내에 또한 속하도록 리타겟팅된 패턴을 생성하는 것을 포함한다. 실시형태에서, 리타겟팅 패턴의 특성이 한계 내에 또한 있는지의 여부를 결정하는 것은, 임계 불량률에서, 특성 한계(2101)와 관련되는 마진에 기초한다. 한 실시형태에서, 그러한 마진은 증가되거나 또는 한 실시형태에서 최대화된다. 리타겟팅된 패턴의 생성은 다음의 것을 포함한다: 초기 SMO 데이터를 사용하여, 임계 불량률에서 타겟 패턴과 관련되는 특성에서의 편위를 결정하기 위해 소스 마스크 최적화 프로세스를 시뮬레이션하는 것; 임계 불량률에서 편위와 특성 한계(2101) 사이의 마진을 (예를 들면, 컴퓨터 하드웨어 시스템(100)을 통해) 결정하는 것; 및 타겟 패턴과 관련되는 특성 한계(2101)를 초과하지 않으면서 마진이 증가되도록 타겟 패턴의 특성 값을 조정하는 것 - 조정된 특성 값은 리타겟팅된 패턴을 생성하기 위해 사용됨 - .
- [0196] 한 실시형태에서, 소스 마스크 최적화(SMO) 프로세스의 획득은 다음의 것을 포함한다: 특성의 확률 밀도 함수(PDF), 국소적 임계 치수 균일성, 패턴의 특성의 선량 감도, 및 임계 불량률에 기초하여 선량을 계산하기 위해 선량 편위 수학적식을 포함하는 것; 및/또는 특성의 확률 밀도 함수(PDF), 마스크 바이어스에 의해 야기되는 국소적 CD 균일성 및 임계 불량률에 기초하여 마스크 특성을 계산하기 위해 마스크 수학적식을 포함하는 것.
- [0197] 한 실시형태에서, 선량 편위 수학적식은 본원에서 논의되는 수학적식 (5) 또는 (6)에 의해 주어지고, 마스크 수학적식은 본원에서 논의되는 수학적식 (7)에 의해 주어진다. 한 실시형태에서, 극단 값 편위는 전역적 편위(global excursion)일 수도 있다. 이들 편위는 SMO 프로세스에서 사용되는 비용 함수 또는 메리트 함수에서 구현될 수 있다.
- [0198] 한 실시형태에서, 리타겟팅된 패턴의 (예를 들면, 컴퓨터 하드웨어 시스템(100)을 통한) 결정은 반복 프로세스인데, 반복은 다음의 것을 포함한다: 임계 불량률에서 타겟 패턴과 관련되는 특성에서의 편위를 결정하기 위해, 최적화된 소스, 최적화된 마스크 파라미터, 및 초기 타겟 패턴 또는 리타겟팅된 패턴을 포함하는 초기 SMO 데이터를 입력으로서 사용하여, 소스 마스크 최적화 프로세스를 시뮬레이션하는 것; 임계 불량률에서 특성의 편위와 특성 한계(2101) 사이의 마진을 결정하는 것; 및 타겟 패턴과 관련되는 특성 한계(2101)를 초과하지 않으면서 마진이 증가되도록 타겟 패턴의 특성 값을 조정하는 것 - 조정된 특성 값은 리타겟팅된 패턴을 생성하기 위해 사용됨 - .
- [0199] 한 실시형태에서, 특성의 특성 한계와 특성의 극단 값 사이의 마진이 최대화되는데, 특성의 극단 값은 소망되는 불량률에서 하나 이상의 프로세스 변수, 예를 들면, 통계적으로 전역적으로(예를 들면, 타겟 레이아웃의 클립이 아니라 전체 타겟 레이아웃에 관련되는 데이터) 다양한 프로세스 변수로부터의 기여자(contributor)에 의해 야기되는 값이다.
- [0200] 한 실시형태에서, 특성의 극단 값은 초점, 선량 또는 전역적 선량, 측정된 값과 타겟 값 사이의 에러의 이동 표준 편차(moving standard deviation; MSD), 레지스트 두께, 및/또는 산 또는 소광제를 포함하는 레지스트 구성 요소에 의해 야기된다.
- [0201] 한 실시형태에서, 방법(2100)은 전체 칩 레이아웃과 관련되는 시뮬레이션된 특성 값을 결정하기 위해 리타겟팅된 패턴을 사용하여 소스 마스크 최적화(SMO) 프로세스를 시뮬레이션하는 것; 전체 칩 레이아웃과 관련되는 시뮬레이션된 특성 값이 소망되는 수율을 충족하는지의 여부를, 리소그래피 제조 체크를 통해, 결정하는 것; 및 소망되는 수율이 충족되지 않는 것에 응답하여, 소망되는 수율이 충족되도록 소스 파라미터, 마스크 파라미터, 또는 프로세스 파라미터를 조정하는 것 - 조정된 소스 파라미터, 마스크 파라미터, 또는 프로세스 파라미터는 최적화된 소스, 최적화된 조명 동공, 및/또는 최적화된 마스크를 생성하기 위해 사용됨 - 을 더 포함한다.
- [0202] 상기에서 논의한 방법은 여러 가지 이점을 갖는다. 이점 중 하나는 이용 가능한 CD 마진에 기초하여 프로세스 조정이 수행될 수도 있다는 것이다. 프로세스 조정을 결정하기 위해 CD 마진 또는 EV 편위에 기초하여 SMO 또는 캘리브레이팅된 SMO 시뮬레이션 프로세스 및 동적 리타겟팅을 사용하는 것의 예시적인 적용이 하기에서 상세하

게 추가로 논의된다. 프로세스 조정은, 기관 상에 최종 패턴(또는 구조물)을 제조하기 위해 사용되는 에치 프로세스, 퇴적 프로세스, 또는 다른 현상 이후 프로세스의 특성을 고려하는 것에 의해 수행된다.

[0203] 종래의 SMO는 리소그래피 설계 타겟(예를 들면, ADI 타겟)과 리소-에치-바이어스(litho-etch-bias)를 고려하는 규칙의 특정한 세트를 고려한다. 바이어싱 규칙은 다음의 이유 때문에 소망될 수도 있다. 첫째, 에치 프로세스는 근접 효과를 도입한다. 이는 최종 OPC 단계에서 완화될 수 있지만, 그러나, SMO에서 일찍부터 그것을 고려하는 것은 상이한 결과로 이어진다. 둘째, CD 및 패턴 배치 에러(pattern placement error; PPE) 또는 에지 배치 에러(edge placement error; EPE)의 ADI로부터 AEI로의 변환은 매우 상이하다. 통상적으로, CD 에러는 에치 이후 2의 비율(예를 들면, 2 배)만큼 감소되지만, 그러나 PPE 또는 EPE는 그렇지 않다. 결과적으로, 종래의 SMO 프로세스에 의해 차선의 동공을 획득될 수도 있다. 셋째, 에치 프로세스는 레지스트 프로파일에서의 차이에 기인하여 피처 사이에서 상당한 초점 시프트를 야기할 수 있다. 이 초점 시프트는 최종 OPC 단계에 의해 복구될 수 없다.

[0204] 본 개시에 따르면, 에치 프로세스의 특성을 고려하는 패턴 전사 또는 에치 인식 SMO가 설명된다. 특히: (i) 에치 근접 효과(예를 들면, 피처별(feature-feature), 2D 형상, CD 대 피처). 이들은 통상적으로 CD와 관련된다; (ii) 각각 상이한 가중치(weight)를 부여하는 것에 의한, ADI로부터 AEI로의 CD 및 패턴 배치 에러의 변환. 실제로, SMO는 CD 및 배치 에러의 조합인 에지 포지션 ADI를 최적화한다. 따라서, 이제, 에지 포지션 AEI가 예측되고 최적화를 위해 사용된다; (iii) 에치 유도 초점 시프트. SMO가 이것을 최적화에서 포함하기 위해, 레지스트 프로파일이 계산되고 간단한 에치 모델이 사용된다. 예를 들면, 레지스트 프로파일을 획득하기 위해, 에지 포지션은 다수의 레지스트 임계치에서 계산된다. 그 다음, 에치 모델은 이 레지스트 프로파일이 CD AEI로 변환되는 방법을 계산할 수 있다; 그리고 (iv) 리소-에치 바이어스의 함수로서 예상된 LCDU 감소를 포함한다. 이 관계는 피처 의존적일 수 있다. 그것은 ADI에서 차선의 LCDU로 이어질 수도 있지만, AEI에서는 최적의 LCDU로 이어질 수도 있다.

[0205] 도 16은 현상 이후 이용 가능한 통상적인 옵션을 설명하고, 그 결과, 기관은 예시적인 타겟 패턴(1601)(본원에서 타겟 AEI로서 상호 교환 가능하게 지칭됨)을 포함한다. 타겟 패턴(1601)은 조밀한 콘택 홀 어레이(3×3) 및 격리된 콘택 홀을 포함하는데, 각각의 콘택 홀은 25 nm 사이즈의 것이도록 소망된다. 예시적인 프로세스에서, 타겟 AEI(1601)는 퇴적, 에칭, 원자 층 에치(atomic layer etch; ALE), 및 원자 층 퇴적(atomic layer deposition; ALD)을 포함하는 하나 이상의 현상 이후 프로세싱을 수행하는 것에 의해 달성될 수 있다.

[0206] 본 예에서, 1602에서의 프로세스를 참조하면, 퇴적 프로세스는 조밀한 어레이 상에서 격리된 콘택 홀보다 더 적은 퇴적을 야기한다. 그러므로, 조밀한 어레이 CD는 30 nm로 증가되고, 한편 격리된 콘택 홀은 50 nm로 증가되는데, 그 이유는 조밀한 어레이와 격리된 콘택 홀에 대해 부하 효과가 상이할 수도 있기 때문이다. 다른 옵션은 퇴적 프로세스 이후에 에치 프로세스를 수행하는 것일 수도 있다. 에칭 프로세스 이후, 조밀한 어레이 CD는 20 nm로 감소되고, 한편 격리된 콘택 홀 CD는 10 nm로 감소된다. 다시 말하지만, CD에서의 차이는 조밀한 어레이와 격리된 홀에 대한 에치 부하 효과에 기인할 수도 있다. 다른 옵션에서, ALD 또는 ALE는 조밀한 어레이 및 격리된 홀을 선형적으로 성장시키기 위해 또는 선형적으로 에치하기 위해 수행될 수 있다. 다시 말하면, 격리된 홀과 조밀한 어레이에 대해 퇴적되는 재료의 양(또는 에치 재료의 양)은 동일하고, 그에 의해, 패턴에서의 각각의 CD는 30 nm(또는 ALE의 경우 20 nm)일 수도 있다.

[0207] 통상적으로, 에칭 및 퇴적을 동시에 수행하는 것에 의해 부하의 양의 균형을 맞추도록 또는 각각의 프로세스를 사이클 단위로 수행하도록 조정이 수행될 수 있다. 예를 들면, 먼저 규칙적인 퇴적, 규칙적인 에치 사이클을, 그 다음, ALE 및/또는 ALD를 행한다.

[0208] 본 개시에서, SMO 또는 캘리브레이팅된 SMO는, 에치 파라미터, 또는 퇴적 파라미터를 튜닝하는 것에 의해 에치 패턴, 퇴적 패턴 및 각각의 패턴의 특성 값(예를 들면, CD, PPE, EPE)을 결정하기 위해, 에치 모델, 퇴적 모델 또는 다른 관련된 모델과 같은 패턴화 후 모델(post-patterning model)을 포함하도록 수정될 수 있다. 한 실시 형태에서, 에치 및/또는 퇴적 프로세스 모델은 에치 패턴 및 퇴적 패턴의 기하학적 형상 파라미터에 기초하여 적합될 수 있다. 예를 들면, 적합한 에치된 패턴 데이터, 에치된 기관으로부터 획득되는 퇴적 패턴 데이터, 및 퇴적 후(post-deposition)를 포함하는 실험 데이터에 기초할 수 있다.

[0209] 앞서 논의되는 바와 같이, 한 실시 형태에 따르면, SMO 시뮬레이션은 결함을 인식하도록 구성된다. 예를 들면, 시뮬레이팅된 특성이 타겟 불량률에서 CD 마진을 충족하는지의 여부를 결정하기 위해 체크가 수행된다. 한 실시 형태에서, SMO 프로세스에서 에치 모델 및/또는 퇴적 모델을 포함시키는 것에 의해, 에치 CD 및/또는 퇴적 CD가 이용 가능한 CD 마진에 대해 체크될 수도 있다.

- [0210] 도 16에서 논의되는 바와 같이, 현존하는 에치 프로세스, 퇴적 프로세스, ALE, ALD는 허용 가능한 한계(예를 들면, CD 한계) 내에 있지 않은 패턴(예를 들면, 조밀한 패턴 또는 격리된 패턴)의 에치 CD 또는 퇴적 후 CD로 귀결될 수도 있는데, 이것은 타겟 불량을 초과하는 것으로 귀결될 수도 있다. 그러므로, 에치 모델, 및/또는 퇴적 모델을 활용하는 것 및 결과를 ADI에서 임계 불량률과 관련되는 특성 한계와 비교하는 것에 의해, 결함 기반의 프로세스 윈도우는 추가로 개선될 수 있다. 예를 들면, 에치 또는 배치 파라미터를 조정하는 것 또는 이용 가능한 CD 마진에 기초하여 조밀한 어레이의 피쳐와는 상이하게 격리된 피쳐에 대해 바이어싱하는 것에 의해.
- [0211] 도 17을 참조하면, 패턴 전달 인식 SMO가 다음과 같이 더욱 상세하게 설명될 것이다. 예시적인 타겟 AEI 패턴(1701)은 조밀한 콘택 홀 어레이 및 격리된 홀을 포함한다. 한 실시형태에서, 에치 모델 및 퇴적 모델로 보완되는 SMO를 사용하는 상기에서 논의된 리타겟팅 방법은, 고밀도 콘택 홀 어레이(DF1)가 격리된 홀(IF1 및 IF2)과 비교하여 상이한 바이어싱을 갖는 최적화된 리타겟팅된 패턴(1703)을 생성하기 위해 적용된다. 리타겟팅된 패턴(1703)은 또한, 예를 들면, 퇴적량 및 ALE 양이 수반될 수 있다. 한 실시형태에서, CD 마진은 타겟 AEI 패턴(1701)의 바이어싱 및 얼마나 많은 에칭 및 퇴적이 수행될 수 있는지를 안내하고, 그에 의해, 타겟 불량률 명세가 충족되는 방식으로 조밀하고 격리된 홀과 관련되는 LCDU를 고려한다. 한 실시형태에서, SMO 시뮬레이션과 연계하여, 에치 파라미터 및 퇴적 파라미터는 최종 에치 프로파일 및 그와 관련되는 CD에 영향을 끼치는 에칭 및 퇴적의 양을 결정하도록 조정된다. 따라서, 에칭 및 퇴적의 양은, 타겟 불량률과 관련되는 특성 한계 및 CD 마진을 참조하여 또한 수행된다.
- [0212] 한 실시형태에서, 특성 한계는 동일한 층 상의 또는 두 개의 별개의 층 상의 패턴과 관련되는 PPE(또는 EPE)의 관점에서 표현될 수도 있다. 예를 들면, 퇴적 및 에칭 사이클 이후, 제1 층 상의 라인의 결과적으로 나타나는 에치 프로파일은 기판 상의 에치된 패턴 사이에서 PPE 또는 EPE를 야기하는 제2 층 상의 콘택 홀과 정렬되지 않을 수도 있다. 그러한 결함은 피쳐 사이의 전기적 연결의 결여에 기인하여 칩의 기능에 영향을 줄 수 있다. 패턴 사이의 PPE(또는 EPE)는 에치 파라미터 및 퇴적 파라미터의 함수로 최소화될 수 있다. 한 실시형태에서, 특성 한계는 타겟 불량률과 관련되는 PPE 마진(또는 EPE 마진)일 수 있다. PPE 마진(또는 EPE 마진)은 본원에서 논의되는 CD 한계와 유사하게 또한 결정될 수 있다. 예를 들면, 특성 PDF는 인쇄된 기판의 PPE 또는 EPE 측정 및 PPE 또는 EPE에 관련되는 불량률에 기초하여 결정할 수 있다. 한 실시형태에서, CD 마진 및/또는 EPE 마진은, 예를 들면, 결함 기반의 한계에 기초하여 더 나은 에치 배치를 획득하기 위해 국소적 CD(예를 들면, 조밀한 홀 CD 및 격리된 홀 CD)가 얼마나 많이 변경될 수 있는지를 결정하기 위해 시뮬레이션 프로세스를 안내한다.
- [0213] 한 실시형태에서, 에치 이후 CD 조정을 위한 마진이 약간 너무 많거나 또는 너무 적지만 그러나 ADI에서 CD 조정을 위한 충분한 마진이 있다는 것을 시뮬레이션이 결정하는 경우, 그러면, 그것은, 타겟 불량률 명세를 충족 하면서 에치 이후 CD가 소망되는 범위 내에 있도록, 현상 단계 또는 리소그래피 패턴화 단계에서 프로세스 변경을 행할 더 많은 자유가 있다는 것을 나타낸다. 다른 예에서, 에치 프로파일의 상부 및 하부 쪽(즉, 상단 또는 저부) 상의 마진은 패턴이 불량으로 되는 애스펙트 비(aspect ratio)에 의존한다. 에치 프로파일의 상단 CD 또는 저부 CD에 기초하여, 에치 이후 특정한 프로세스에 대해 어떠한 마진도 전혀 이용 가능하지 않을지도 모르지만, 그러나, ADI 단계에서, 리타겟팅된 패턴은 결함 기반의 한계를 충족하였다. 따라서, 결함 기반의 윈도우는 ADI 단계에서 특정한 피쳐가 약간 너무 공격적으로 축소되었다는 것을 나타내는 가이드로서 역할을 하고, 따라서, 프로세스 업데이트를 행하는 것이 권장될 수도 있거나 또는 에치 이후 더 큰 마진을 제공하는 상이한 마스크 패턴을 결정해야 할 수도 있다.
- [0214] 다른 예에서, 에치 이후, 피쳐의 CD 분포(또는 CD 거동)는 ADI에서의 CD 거동과는 상당히 상이할 수도 있다. 한 실시형태에서, 에치 이후 CD는 리소그래피 장치와 관련되는 초점 시프트를 야기할 수 있다. 그 이유는, 현상 단계 이후 CD(예를 들면, 레지스트 CD)가, 상이한 CD 한계에 대해, 패턴 전사와 관련되는 CD 한계가 발생하는 것보다 더 많이 나타날 수도 있기 때문이다. 예를 들면, 레지스트의 저부에서의 레지스트 CD는 어떤 패턴이 기판으로 전사되고 있는지를 결정할 수도 있지만, 그러나 CD는 레지스트의 상단에서의 피쳐의 거동에 더 민감할 수도 있다.
- [0215] 본 개시에 따르면, 에치 이후 및 현상 이후 결함 기반의 윈도우는 어떤 에치 바이어스가 적절한지를 시뮬레이터에게 안내할 뿐만 아니라, 또한, 기판의 층의 스택을 통해 레지스트 프로파일을 시뮬레이팅할 수 있다. 한 예에서, 서로 접하는 또는 접촉하는 피쳐는 레지스트의 상단에서의 CD 거동에 더 민감할 수도 있다. 다른 예에서, 병합되는 또는 폐쇄되는 피쳐는 레지스트의 저부에서의 CD 거동에 더 민감할 수 있다. 스루 스택 레지스트 프로파일(through stack resist-profile)에 기초하여, 시뮬레이터는 상단 CD 및 저부 CD를 결정할 수 있다. 예를 들면, 앞서 논의된 바와 같이, 시뮬레이팅된 레지스트 프로파일을 사용하여, 상단 CD와 저부 CD 사이의 차이를

사용하여 모델이 CD 한계에 적합될 수 있다. 그러므로, 상단 및 저부에서의 에치 이후 CD 거동은 에치 모델 및 CD 한계 기반의 모델을 사용하여 또한 평가될 수 있다. 따라서, 상단 CD 및 저부 CD 관련 마진이 허용 가능한 불량을 한계 내에 있도록 에치 프로세스에 대한 조정이 결정될 수 있다.

- [0216] 한 실시형태에서, 에치 프로세스 모델 및/또는 퇴적 프로세스 모델은, 에칭 또는 퇴적의 입사각에 민감한 에치 레이트 또는 퇴적 레이트와 같은 에치 파라미터 또는 퇴적 파라미터를 결정하도록 구성될 수 있다. 이들 레이트가 입사각에 민감하기 때문에, 시뮬레이터는, 예를 들면, 45 도 입사각에서, 레이트가 매우 민감할 수도 있다는 것을 결정할 수 있는데, 다른 입사각과 비교하여 프로세스 퇴적 또는 에치가 매우 강력하다는 것을 나타낸다.
- [0217] 그러므로, 상기에서 논의되는 바와 같이, 에치 이후 프로세스와 관련되는 한계가 이용 가능한 경우, 그러면, 그러한 한계는, 최적화된 소스, 최적화된 마스크, 및/또는 프로세스 조정을 결정하기 위해, SMO 시뮬레이션 프로세스에 또한 포함될 수 있다.
- [0218] 본 개시의 방법은 여러 가지 이점을 갖는다. 방법은 단지 하나의 마스크만을 제조하는 것 및 DB-PW 실험을 수행하는 것, 후속하여, 패턴화 프로세스 또는 반도체 제조 프로세스와 관련되는 시뮬레이션 프로세스의 캘리브레이팅을 제안한다. 캘리브레이팅된 시뮬레이션 프로세스는, 선택된 반도체 제조 프로세스에 대한 충분한 수율이 달성될 수 있는지의 여부의 예측을 허용한다. 또한, 어떤 설계가 실현 가능한지(또는 불가능한지) 및 관련된 타겟 CD에 대한 피드백이 수신될 수 있다. 그것은 시뮬레이터와 관련되는 매우 빠른 프로세스 사이클 및 캘리브레이션을 허용한다. 궁극적으로, DB-PW 기반의 실험은, 일반적으로 유저에 의해 소망되는 대략 8 시간 내에 적합될 수 있다. 다른 한편으로, 도 10에서 도시되는 바와 같이, 그러한 결정의 종래의 시뮬레이션 프로세스는 여러 사이클을 필요로 하며, 각각의 사이클은 리타겟팅이 행해질 수 있기 이전에 마스크의 제조 및 결합 검사를 필요로 한다.
- [0219] 동적 리타겟팅은, 제품 수율을 고려하면서, 조명 동공이 최적의 타겟 CD를 가지고 최적화되는 것을 보장한다. 그러한 만큼, 개선된 SMO 솔루션, 예를 들면, 개선된 CD 제어뿐만 아니라 더 나은 노출 관용도가 예상된다. 또한, 동적 리타겟팅은 (입계 불량률에서) 적절한 편위를 포함하며, 따라서, 암시적으로 소스 마스크 최적화에서, 최적의 선량 및 초점을 찾도록 선량 및/또는 초점을 변경할 수 있다. 한 실시형태에서, 관찰되는 실제 측정된 선량/마스크 분산에 대한 DB-PW의 결과는, 주어진 타겟 불량률에서 CD에서의 관련된 극단 값 편위를 모니터링하는 것에 의해 선량, 초점, 및/또는 마스크 바이어스에 대한 실용적인 범위 한계를 설정하기 위해 사용될 수 있다. EV 편위를 추적하는 것은 상당히 상이한 SMO 솔루션으로 이어진다. 예를 들면, EUV는 일반적으로 왜곡된 꼬리를 최소화하기 위해, 또는 적어도 고려하기 위해, $\pm 30\%$ 선량 편위에 대해 최적화된 필요가 있다. 본원에서 설명되는 방법은 피쳐 타입별로 관련 편위를 결정하는 것을 허용한다.
- [0220] 한 실시형태에서, 하드 한계(hard limit)(예를 들면, 결합 및 제품 수율에 영향을 끼침)와 소프트 한계(soft-limit)(예를 들면, 칩의 효율적인 기능에 영향을 끼침, 파라메트릭 수율로서 또한 지정됨) 사이의 절충이 분석되어야만 하는 상황이 있을 수도 있다. 예를 들면, 하드 한계는 DB-PW에 기초하는 CD 한계일 수 있고, 소프트 한계는 디바이스의 파라메트릭 수율에 영향을 끼칠 유저 정의의 CD일 수 있다. 예를 들면, 그러한 소프트 한계는 디바이스(예를 들면, 디바이스의 인쇄된 기관) 기능 동안 열 문제, 또는 전기적 문제를 야기할 수도 있는 CD 값일 수도 있다. 다시 말하면, 소프트 한계는 디바이스의 불량에 관련될 필요는 없지만 그러나 그것은 초과되는 경우 문제가 될 수 있다. 이 경우, 동적 리타겟팅은, 디바이스의 성능 또는 파라메트릭 수율을 동시에 최적화하면서, 소망되는 수율을 여전히 제공하는 최대 또는 최소 공칭 CD를 선택하는 것을 허용한다. 따라서, 예를 들면, 소정의 CD 마진이 이용 가능하거나 또는 리타겟팅된 패턴이 마진 내에 있는 경우, 그것은 또한 피쳐(예를 들면, 콘택 홀)의 사이즈를 확대하는 것을 또한 허용할 수도 있는데, 그것이 더 나은 디바이스 성능을 초래할 것이기 때문이다. 한 실시형태에서, 소프트 한계는 피쳐 영역(예를 들면, 콘택 홀 영역)일 수 있고, 그것은 두 층 사이, 또는 심지어 디바이스에서 사용되는 기관의 하나의 층에 있는 영역과 접촉할 수 있다. 리소그래피 변동에 기초한 파라메트릭 최적화를 위해 사용되는 예시적인 시뮬레이션 프로세스는, 참조에 의해 그 전체가 본원에 통합되는 미국 출원 16/541,420에서 상세하게 논의된다.
- [0221] 한 실시형태에서, 유사한 DB-PW 실험이 ADI 및 AEI 데이터 둘 모두를 사용하여 수행될 수 있다. 본원에서의 방법은 (예를 들면, 레지스트가 충분한 CD 윈도우 또는 수율을 가질 때) 소망되는 레지스트 CD를 초래하기 위해 마스크 CD를 조정하기 위한 유연성이 있는지의 여부를 유저가 분석하는 것을 가능하게 한다. 본원에서의 방법은 최종 AEI CD를 달성하기 위해 프로세스(예를 들면, 리소-에치 바이어스, 다른 등방성 에칭, 또는 스페이서 프로세스, 등등을 사용함)를 조정할지의 여부를 유저가 분석하는 것을 또한 가능하게 한다. 따라서, 본 방법은 프로세스 조정 또는 선택된 프로세스에 대해 어떤 최종 타겟 CD가 작동할지에 관련되는 권장 사항을 제공할 수

있다.

- [0222] 새로운 레티클 설계, 예를 들면, 대량 제조(HVM)에 사용되는 마스크의 경우, 기관에 관련되는 CD 에러가 있을 수도 있다. 한 실시형태에서, 일주일과 같은 상대적으로 긴 기간 동안 실행되는 기준 시뮬레이션 프로세스로부터 획득되는 기준 시뮬레이션 결과와 비교하여, 고정된 횟수의 반복 이후에 획득되는 시뮬레이션 결과로부터 유래하는 CD 에러. 한 실시형태에서, 실질적으로 시간의 긴 기간 동안 또는 CD 에러가 제로일 때까지 최적화를 행하는 것에 의해 마스크 패턴이 결정되지 않을 수도 있기 때문에, 마스크에 기인하여 야기되는 기관 전체에 걸친 잔차 CD 에러가 있을 수도 있다. 한 실시형태에서, CD 에러는 전체 칩 OPC로부터의 수렴 잔차(convergence-residual)로서 또한 지칭된다. 한 실시형태에서, 수렴 잔차는 OPC 전체 칩이 소망되는 수율을 제공할 것으로 예상되는 레티클로 이어지는지의 여부를 결정하기 위해 최종 레티클 검증, 예를 들면, 리소-제조 체크(litho-manufacturing check; LMC) 동안 사용될 수 있다. 한 실시형태에서, CD 에러가 결정되어 에러가 레티클 상의 특정한 핫스팟에 대한 허용 가능한 한계 내에 있는지의 여부에 대해 체크될 수도 있다. 한 실시형태에서, 핫스팟은, 임계 패턴을 포함하는 레티클의 부분으로서 정의되는, 레티클 상의 유저 정의 위치, 또는 결함 발생의 상대적으로 더 높은 확률을 갖는 위치일 수도 있다.
- [0223] 앞서 언급된 바와 같이, PCT 출원 PCT/EP2018/085159에서, 프로세스 윈도우의 에지에서의 측정된 불량률 및 예상된 CD 분포에 기초하여 결함 기반의 프로세스 윈도우를 정의하는 것이 제안되었다. 앞서 제안되는 접근법은 최상의 노출 및 최상의 초점(best exposure and best focus; BEBF) 조건에서 매우 낮은 확률 레벨에서 CD 분포의 형상을 예측하는 단계를 포함한다. CD 분포를 결정하기 위해, 선량 반응 곡선(dose-response curve)이 비선형적이라는 것 - 이것은 최종 CD 분포에서 왜곡을 산출함 - 예상되었다. 그러나, 마스크의 영향에 대해서는, MEEF가 선형적이었다는 것이 가정된다. 이것은, 마스크 상의 가우시안 분포가 기관의 마스크 콘택 홀마다의 평균 CD의 가우시안 분포로 변환된다는 것을 암시한다.
- [0224] 한 실시형태에서, 본 개시는 비선형 마스크 에러 보강 인자(MEEF) 및 마스크 피쳐 사이즈에 대한 레지스트 LCDU의 의존성에 기인하는 CD 분포에서의 비대칭성을 고려하는 것에 의해 결함 기반의 프로세스 윈도우를 결정하기 위한 개선된 방법을 (도 24에서) 제공한다.
- [0225] (도 24에서의) 그 방법은, 제한된 추가적인 측정 및/또는 시뮬레이션을 사용하는 것에 의해 MEEF에서의 비선형성 및 피쳐 사이즈에 대한 레지스트 LCDU의 의존성을 고려하는 것에 의해 기관 상의 CD 분포의 형상을 더 잘 예측할 수 있다.
- [0226] 다음의 설명은, MEEF에서의 비선형성이 기관 상의 마스크 피쳐 사이즈(예를 들면, 콘택 홀 사이즈)마다의 평균 CD의 분포의 왜곡에 영향을 끼친다는 것을 나타내는 측정치를 나타낸다. 그것은 레지스트 LCDU가 마스크 피쳐 사이즈(예를 들면, 콘택 홀 사이즈)에 의존한다는 것을 또한 나타낸다. 추가적으로, 기관 상의 CD 분포의 예측에서 이들 두 가지 효과가 어떻게 고려될 수 있는지가 설명된다.
- [0227] 도 22는 (마스크 콘택 홀마다의 평균 기관 CD - 평균 CD)의 측정된 데이터(도트)의 플롯이다. 알 수 있는 바와 같이, 측정된 데이터(도트)의 분포는 왜곡되어 있다. 본 예에서, 측정된 데이터에 대해 가우시안 함수(Gaussian function)가 적합된다. 그러나, 가우시안 핏은 측정된 데이터를 정확하게 설명하지 못한다. 다른 한편으로, 본 방법에 따라 결정되는 비선형 적합(non-linear fit)은 가우시안 핏보다 상대적으로 더 나은 적합을 갖는다.
- [0228] 도 23은 마스크 CD에서의 편차(δCD_{mask})에 대해 플롯되는 각각의 마스크 콘택 홀과 관련되는 측정된 레지스트 LCDU의 플롯을 예시한다. 많은 고유의 측정 노이즈가 있지만, 측정된 데이터의 이동 평균은 마스크 콘택 홀 사이즈가 감소함에 따라, 레지스트 LCDU가 크게 증가한다는 것을 명확하게 나타낸다. 측정된 감도는 패턴화 프로세스와 관련되는 시뮬레이션(예를 들면, Hyperlith(하이퍼리쓰) 소프트웨어를 사용함)으로부터 예측되는 것보다 더 강하다. 한 예에서, 이동 평균 곡선은, 마스크 콘택 홀 사이즈와 기관의 국소적 CDU 사이의 관계(즉, CD의 표준 편차)를 나타낸다.
- [0229] 도 24는 기관 상에 인쇄될 피쳐의 특성과 관련되는 확률 밀도 함수를 결정하기 위한 방법의 플로우차트이다. 예시적인 방법(2400)은 CD PDF를 결정하기 위해 선량 PDF 및 마스크 PDF를 사용하는 프로시저(P2401 및 P2403)를 포함한다.
- [0230] 프로시저(P2401)는 (예를 들면, 컴퓨터 하드웨어 시스템(100)을 통해) 다음의 것을 획득하는 것을 포함한다: (i) 선량의 확률을 결정하기 위한 선량 확률 밀도 함수(선량 PDF), 및 (ii) 마스크 특성의 편차에서의 확률을 결정하기 위한 마스크 확률 밀도 함수(마스크 PDF). 한 실시형태에서, 선량 PDF는 (a) 피쳐의 특성(예를 들면,

CD) 및 (b) 마스크 특성의 편차(δCD_{mask})의 함수이다. 한 실시형태에서, 마스크 특성(예를 들면, 마스크 CD)은 기관 상에 피처를 인쇄하기 위해 사용되는 마스크와 관련된다.

[0231] 프로시저(P2403)는, (i) 선량 PDF 및 (ii) 마스크 PDF를 마스크 특성 값의 주어진 범위에 걸쳐 컨볼루션하는 것에 의해 특성과 관련되는 확률 밀도 함수를 (예를 들면, 컴퓨터 하드웨어 시스템(100)을 통해) 결정하는 것을 포함한다. 한 예에서, 특성과 관련되는 확률 밀도 함수는 CD PDF 또는 $PDF_{CD}(CD, d)$ 로서 표현된다.

[0232] 한 실시형태에서, 프로시저(P2404)는, 특성의 결정된 PDF에 기초하여, 패턴화 프로세스와 관련되는 프로세스 윈도우를 조정하는 것을 포함한다. 한 실시형태에서, 그러한 프로세스 윈도우는, 예를 들면, 본원에서 논의되는 방법(1100, 1500, 및 2100)에서 사용되는 CD 한계를 결정하기 위해 사용될 수 있다. 한 실시형태에서, 프로세스 윈도우는, 리소그래피 장치를 통해, 패턴화 프로세스 동안 사용될 수 있다. 결정된 PDF의 적용은 프로세스 윈도우를 조정하는 것으로 제한되지는 않는다는 것이 기술 분야에서 통상의 기술을 가진 자에 의해 이해될 수 있다. PDF는 다른 패턴화 관련 프로세스, 시뮬레이션, 또는 제조 동작을 향상시키기 위해 사용될 수 있다.

[0233] 한 실시형태에서, 선량 PDF 및 마스크 PDF는, 그 다음, 다음의 예시적인 수학적 식 (8)을 사용하여 CD PDF를 결정하기 위해 결합된다:

[0234]
$$PDF_{CD}(CD, d) = \int \delta CD_{mask} PDF_{dose}(CD, d, \delta CD_{mask}) \times PDF_{mask}(\delta CD_{mask}) \dots (8)$$

[0235] 수학적 식 (8)에서의 용어는 하기에서 추가로 논의된다.

[0236] 한 실시형태에서, 마스크 PDF는 마스크 PDF에서 왜곡도를 야기하는 비선형 마스크 에러 보강 인자(MEEF)의 의존성을 통합한다. 비선형 MEEF는 마스크 특성과 기관 상에 인쇄되는 것의 특성 사이의 관계의 역함수를 사용하여 계산된다.

[0237] 한 실시형태에서, 마스크 PDF는 하기의 수학적 식 (9)를 사용하여 계산될 수 있다. 한 실시형태에서, $PDF_{mask}(\delta CD_{mask})$ 는, 동일한 마스크 콘택 홀과 관련되는 모든 콘택 홀의 기관 상의 평균 CD 편차인 기관 상의 δCD_{mask} 를 찾는 확률 밀도 함수를 나타낸다.

[0238]
$$PDF_{mask}(\delta CD_{mask}) = G_{mask}(g_{mask}(\delta CD_{mask}); \mu_{mask}, \sigma_{mask}) \cdot \left| \frac{\partial}{\partial mask} g_{mask}(\delta CD_{mask}) \right| \dots (9)$$

[0239] 상기의 수학적 식 10에서, G_{mask} 는 마스크 상에서 주어진 $size_{mask}$ 의 콘택 홀을 찾을 확률을 결정하기 위해 사용되는 마스크 특성의 가우시안 분포이고, G_{mask} 의 평균인 μ_{mask} 는 $g_{mask}(\delta CD_{mask})$ 에 의해 표현되는 기관 상에 인쇄되는 것의 특성과 마스크 특성 사이의 관계의 역함수에 기초하여 계산되고, G_{mask} 의 표준 편차는 σ_{mask} 이고, 이것은 δ

CD_{mask} 의 측정된 표준 편차 및 역함수 기초하여 결정되는 표준 편차이고, $\left| \frac{\partial}{\partial mask} g_{mask}(\delta CD_{mask}) \right|$ 는 비선형 MEEF를 결정한다. 한 실시형태에서, G_{mask} 는 $size_{mask}$ 의 가우시안 분포 또는 $size_{mask}^2$ 의 가우시안 분포일 수 있다.

[0240] 한 실시형태에서, 도 25를 참조하면, $size_{mask} = g_{mask}(\delta CD_{mask})$ 인데, 이것은 $size_{mask}$ 와 δCD_{mask} 사이의 (역)관계를 제공한다. 마스크 상의 홀의 사이즈가 $size_{mask}$ 인 경우, 콘택 홀 사이즈의 평균 편차는 $g_{mask}^{-1}(size_{mask})$ 이다. 이것은 또한 $\mu_{mask}, \sigma_{mask}$ 를 결정한다. 한 예에서, 관계는 2차 다항식, 3차 다항식, 스플라인 핏(spline fit), 또는 시뮬레이션된 또는 측정된 데이터를 사용하여 결정되는 다른 적합 함수(fit function)일 수 있다.

[0241] 한 실시형태에서, 선량 PDF는 기관 상의 레지스트 패턴과 관련되는 국소적 임계 치수 균일성(local critical dimension uniformity; LCDU)의 의존성을 통합한다. LCDU는 마스크 특성에 의해 야기된다. 도 23은 레지스트 LCDU와 마스크 CD에서의 편차 사이의 예시적인 관계를 예시한다.

[0242] 한 실시형태에서, 선량 PDF는 정규 분포, 푸아송(Poisson), 또는 평균 선량 및 선량 표준 편차를 갖는 복합 푸아송 분포를 사용하여 결정되는데, 평균 선량은 마스크 특성에서의 주어진 편차에 대한 CD와 선량 사이의 관계의 역함수에 의해 결정되고, 선량 표준 편차는 마스크 특성에 의해 야기되는 기관 상의 레지스트 패턴에 관련되

는 LCDU에 기초하여 결정된다. 선량 PDF는 정규 분포 또는 푸아송 분포로 제한되지는 않는다는 것이 이해될 수 있다. 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본원에서 논의되는 바와 같이 선량 PDF를 결정하기 위해 다른 공지된 분포 함수를 선택할 수도 있다.

[0243] 한 실시형태에서, 선량 PDF는 하기의 수학적 식 (10)에 의해 계산될 수 있다:

$$PDF_{dose}(g_d(CD, \delta CD_{mask}); \mu_d(\delta CD_{mask}), \sigma_d(\delta CD_{mask})) \dots (10)$$

[0244] 상기의 수학적 식 10에서, 선량($g_d(CD, \delta CD_{mask})$)은 마스크 특성에서의 주어진 편차(δCD_{mask})에 대한 피처의 특성 CD와 선량 사이의 관계의 역함수를 사용하여 결정되고, 선량 표준 편차(σ_d)는 역함수($g_d(CD, \delta CD_{mask})$) 및 측정된 표준 편차($\sigma_{CD}^{resist}(\delta CD_{mask})$)에 기초하는데, 여기서 $\sigma_{CD}^{resist}(\delta CD_{mask})$ 는 주어진 마스크 편차에 대한 레지스트 변동 및 선량에 기인하여 야기되는 LCDU(1σ)를 나타낸다.

[0246] 한 실시형태에서, 도 26은 상이한 δCD_{mask} 에 대한 기관 상의 CD와 선량(D) 사이의 두 가지 예시적인 관계를 예시한다. 한 실시형태에서, $g_d(CD, \delta CD_{mask})$ 는 선량(D)과 CD와 δCD_{mask} 사이의 (역)관계를 나타낸다. 한 예에서, D의 가우시안 분포 또는 ϵD 의 푸아송 분포, 여기서 ϵ 은 적합 파라미터이다. 한 실시형태에서, $g_d(CD, \delta CD_{mask})$ 는 2차 이변량 다항식(bivariate polynomial), 고차 이변량 다항식, 스플라인 핏, 또는 시뮬레이팅된 또는 측정된 데이터에 기초하여 적합되는 다른 핏 함수(fit function)일 수 있다.

[0247] 한 실시형태에서, 방법(2400)은, 타겟 레이아웃과 관련되는 불량률 데이터(2410)를 사용하여, 임계 불량률과 관련되는 특성 한계를 결정하기 위해 결정된 확률 밀도 함수를 (예를 들면, 컴퓨터 하드웨어 시스템(100)의 프로세서 상에서) 실행하는 것을 포함하는 프로시저(P2405)를 더 포함한다. 한 실시형태에서, 불량률 데이터는, 결합 기반의 프로세스 윈도우와 관련하여 상기에서 논의되며 참조에 의해 그 전체가 본원에 통합되는 PCT/EP2018/085159에서 더욱 상세하게 논의되는 바와 유사한 방식으로 획득될 수 있다.

[0248] 한 실시형태에서, CD 분포에 대한 선량 기여의 가중치에 기초하여 CD 분포를 결정하기 위한 다른 방법이 제공된다.

[0249] 통상적으로, 확률론적 노이즈(stochastic noise)는 EUV 리소그래피의 경우 염려되는 영역이다. 확률론적 노이즈는 국소적 CD 균일성(LCDU), 국소적 패턴 배치 에러 및 라인 에지 조도(line-edge-roughness; LER)에 영향을 끼칠 뿐만 아니라, 또한, 그것은 확률론적 결함으로 칭해지는 희소 이벤트(rare event)를 통해 결함을 야기한다. CD 변동성 및 확률론적 결함의 불량률은 EUV 리소그래피 프로세스 제어에 대해 중요하게 되었다. 수백 개의 데이터 포인트에 걸쳐 측정되는 평균 CD에 기초한 종래의 프로세스 윈도우 분석은, 타겟 레이아웃에 대한 전체 CD 분포를 고려하지 않으면서 강건한 프로세스를 결정하기에 더 이상 충분하지 않다.

[0250] 앞서 언급되고 PCT/EP2018/085159에서 상세하게 설명되는 바와 같이, 소프트웨어 제품(예를 들면, PFScan)은 확률론적 인식 프로세스 윈도우 특성 묘사를 결정하도록 구성될 수도 있다. 소프트웨어 제품은 CD 및 불량률 데이터(또는 결합 데이터)를 입력으로서 취할 수 있다. 입력 데이터를 사용하여, CD 분포 및 불량률 모델링에 대한 통계 분석이 수행되어 확률론적 인식 프로세스 윈도우를 생성할 수 있다. 불량률 모델을 결정하는 것은, CD/LCDU 보정 적합, CD 분포 모델링 및 불량률 프로세스 윈도우 생성을 포함한다. CD 분포 모델링 단계에서, CD 확률 밀도 함수(PDF)는, 현상 이후 프로세스에 대한 유효 선량 변동에 의해 유도되는 것으로 보고되는 비선형 분포로 선형(정규) CD 분포를 컨볼루션하는 것에 의해 모델링된다.

[0251] 그러나, 실용적인 의미에서, 선량 변동, 마스크 에러 및 계측 노이즈, 에칭 이후 프로세스로부터의 에칭 노이즈, 배경 노이즈 등등과 같은 여러 가지 인자가 전체 LCDU에 기여한다. 결과적으로, CD PDF를 결정하기 위한 모델링 선량 기여는 충분하지 않을 수도 있다. 도 27을 참조하면, 선량 기여의 가능한 과대 평가는 모델링된 CD 분포에서 더 두꺼운 꼬리를 야기한다. 본 예에서, CD PDF는 측정된 CD 데이터(미가공 CD)에 대한 비선형 선량 기여의 함수로서 모델링되거나 또는 적합된다.

[0252] 본 개시에서, 추가적인 LCDU 기여자가 CD PDF 모델에 적용된다. 측정된 LCDU에 조정 인자가 적용되어 선량 변동의 영향을 조정하고, 마스크 에러, SEM 노이즈, 에칭 에러, 등등으로부터의 기여를 모델링하기 위해 측정된 LCDU의 다른 부분을 적합시킨다. 다음의 수학적 식 (11)은 총 LCDU(σ_{au}^2)에 대한 상이한 기여를 나타낸다.

[0253]
$$\sigma_{all}^2 = \sigma_{dose}^2 + \sigma_{mask}^2 + \sigma_{sem}^2 + \sigma_{other}^2 = adj_factor * \sigma_{dose}^2 + \sigma_{additional}^2 \dots(11)$$

[0254] 상기의 수학적식에서, adj_factor는 주어진 선량 초점 매트릭스 또는 설정에 걸쳐 선량 변동에 적용되는 값 또는 값의 세트이다. 한 실시형태에서, adj_factor는, 본 개시에서 나중에 논의되는 바와 같이, 상이한 선량 및 초점 설정에 걸쳐 최적화된다.

[0255] 한 실시형태에서, 초점/선량 매트릭스에 걸쳐 일정한 그러나 최적화된 adj_factor 값을 적용하는 것은, 많은 경우에, SRAM 및 규칙적인 비아 어레이와 같은 단순한 패턴을 위해 상이한 선량-초점 설정에 걸쳐 CD 분포를 효과적으로 모델링할 수 있다. 그러나, 다른 사용 사례에서, 초점 노출 설정 전체에 걸친 adj_factor 값의 튜닝은 모델링된 PDF를 측정된 PDF를 나타내게 만드는 데 중요하게 된다. 측정된 PDF는 인쇄된 기관의 실제 측정된 CD 데이터를 플롯팅하는 것에 의해 표현되는 PDF를 지칭한다.

[0256] 도 28은 비선형 선량 기여를 모델링하기 위해 일정한 adj_factor 값을 사용하여 상이한 초점-노출 조건에 걸쳐 적합되는 PDF의 예를 도시한다. 강조 표시된 선량-초점 설정에 대한 적합된 PDF는 측정된 PDF와는 상당히 떨어져 있다. 공칭 조건(중앙 조건)으로부터 더 멀어질수록, 모델 PDF와 측정 PDF 사이에서 더 많은 차이가 보인다. 이것은 강조 표시된 조건에 대한 PDF가 추가로 최적화되어야 한다는 것을 나타낸다.

[0257] 한 실시형태에서, 비선형 선량 기여 PDF(예를 들면, PDF_{NL,d})는 adj_factor * σ_{dose}^2 에 기초하여 모델링된다. 한 실시형태에서, 다른 인자 기여 PDF(예를 들면, PDF_{linear})는 $\sigma_{additional}^2$ 에 기초하여 별개로 모델링된다. 두 개의 PDF 사이의 컨볼루션은, 하기에서 도시되는 바와 같이, 최종 CD 분포(모델링된 PDF 또는 모델링된 CD PDF로서 또한 지칭됨)를 결정하기 위해 수행되는데, 여기서 \otimes 는 컨볼루션 동작을 나타낸다:

[0258]
$$PDF_{CD}(CD, d) = PDF_{NL, d} \otimes PDF_{linear}$$

[0259] 본 개시에서, 각각의 PDF의 모델링 파라미터는, 에러가 최소화되도록, 모델링된 PDF와 측정된 PDF 사이의 차이 또는 에러에 기초하여 결정된다. 본 개시에 따르면, 다른 기여 인자로부터의 추가적인 가우시안 분포 및 조정 모델을 도입하는 것은 측정된 CD 분포를 효과적으로 모델링하는 데 도움이 될 수 있다.

[0260] 한 실시형태에서, adj_factor는, 상이한 선량-초점 설정에 걸쳐 adj_factor를 동적으로 만들어, FEM 매트릭스에 걸쳐 모델링된 PDF(예를 들면, PDF_{CD}(CD,d))에 대한 비선형 선량 감도 기여의 비율을 효과적으로 변경하도록 자신의 파라미터가 최적화되는 모델이다. 비선형 및 선형 분포 둘 모두는 각각의 선량-초점 설정에서 동시에 최적화되고, 그 다음, 최적화된 adj_factor는 불량률 모델링을 위해 초점 및 선량의 함수로 모델링된다.

[0261] 모델링된 PDF와 측정된 PDF 사이의 평균 제곱근 오차(root mean square error; RMS)와 같은 메트릭에 기초하여 adj_factor 모델을 최적화하기 위해, 다양한 최적화 알고리즘이 적용될 수 있다. 하나의 예는 FEM(즉, 선량-초점 설정)에 걸쳐 적응적 모멘트 추정(adaptive moment estimation; Adam) 알고리즘을 적용하는 것이다.

[0262] 도 29는, 본 개시의 실시형태에 따른, 기관 상에 인쇄될 패턴의 특성과 관련되는 확률 밀도 함수(예를 들면, PDF_{CD}(CD,d))를 결정하기 위한 예시적인 방법의 플로우차트이다.

[0263] 한 실시형태에서, 방법(2900)은 선량 기여를 위해 FEM에 걸쳐 일정한 adj_factor를 가지고 시작될 수 있다. 하나의 실시형태에서, 유저는 adj_factor를, 그것의 값을 조정하지만 그러나 FEM에 걸쳐 그것을 동일하게 유지하거나, 또는 선량 및 초점에 따라 그것을 변경하는 것에 의해, 수동으로 튜닝할 수 있다. 수동 튜닝은 유저가 공칭에 가까운 초점/선량 조건에 대해 대략적으로 허용 가능한 스팟을 찾는 것을 돕는다. 적합 에러 RMS가 유저 명시 임계치(예를 들면, 0.1)보다 더 큰 경우 수동 튜닝은 만족스럽지 않을 수도 있다. 한 실시형태에서, 수동 튜닝으로부터의 최상의 결과(최소 에러를 가짐)는 실행 시간을 절약하기 위해 자동 최적화를 위한 초기 입력으로서 사용될 수 있다.

[0264] 일단 초기 셋업이 완료되면, 초점 및 선량 설정의 세트를 통해 자동 최적화가 실행될 수 있다. 한 실시형태에서, 유저는, 전체 FEM 설정 대신, 실행 시간을 절약하기 위해, 최적화될 초점 및 선량 설정의 샘플링을 명시할 수 있다. 방법(2900)은 다음의 프로시저(P2901 및 P2903)에서 추가로 논의된다.

[0265] 프로시저(P2901)는 다음의 것을 획득하는 것을 포함한다: (i) 복수의 선량-초점 설정(2901), 및 (ii) 복수의 선

량-초점 설정의 각각의 설정과 관련되는 인쇄된 패턴의 특성의 측정된 값에 기초한 기준 분포(2903). 한 실시형태에서, 기준 분포(2903)는 측정된 PDF로서 또한 지칭된다.

- [0266] 프로시저(P2903)는, 조정 모델 및 복수의 선량-초점 설정에 기초하여, 확률 밀도 함수(PDF) - PDF는 선량과 관련되는 분산 및 조정 모델의 함수이고, 조정 모델은 PDF에 대한 비선형 선량 감도 기여의 비율을 변경하도록 구성됨 - 와 기준 분포 사이의 에러가 감소되도록 특성의 PDF(예를 들면, PDF_{CD})를 (예를 들면, 컴퓨터 하드웨어 시스템(100)을 통해) 결정하는 것을 포함한다. 조정 모델은 PDF에 대한 비선형 선량 감도 기여의 비율을 변경하도록 구성된다. 한 실시형태에서, 조정 모델은 선량 및 초점의 다항식 함수이다.
- [0267] 한 실시형태에서, 프로시저(P2904)는, 특성의 결정된 PDF에 기초하여, 패턴화 프로세스와 관련되는 프로세스 윈도우를 조정하는 것을 포함한다. 한 실시형태에서, 그러한 프로세스 윈도우는, 예를 들면, 본원에서 논의되는 방법(1100, 1500, 및 2100)에서 사용되는 CD 한계를 결정하기 위해 사용될 수 있다. 한 실시형태에서, 프로세스 윈도우는, 리소그래피 장치를 통해, 패턴화 프로세스 동안 사용될 수 있다. 결정된 PDF의 적용은 프로세스 윈도우를 조정하는 것으로 제한되지는 않는다는 것이 기술 분야에서 통상의 기술을 가진 자에 의해 이해될 수 있다. PDF는 다른 패턴화 관련 프로세스, 시뮬레이션, 또는 제조 동작을 향상시키기 위해 사용될 수 있다.
- [0268] 한 실시형태에서, PDF(예를 들면, PDF_{CD})의 결정은 반복 프로세스인데, 반복은 조정 모델에 기초하여, 복수의 선량-초점 설정 중 주어진 선량-초점 설정에 대한 조정 값을 결정하는 것; 조정 값에 기초하여, 패턴의 특성의 PDF(예를 들면, PDF_{CD})를 결정하는 것; PDF와 기준 분포 사이의 에러를 결정하는 것; 및 에러가 최소화되도록, 복수의 선량-초점 설정 중 주어진 선량 및 초점 설정에 대한 조정 모델의 파라미터를 조정하는 것을 포함한다.
- [0269] 한 실시형태에서, PDF(예를 들면, PDF_{CD})는 제1 PDF 및 제2 PDF의 컨볼루션인데, 여기서 제1 PDF는 제1 변동의 함수이고, 제1 변동은 조정 모델 및 선량의 변동의 곱이고, 제2 PDF는 패턴의 특성에서의 변동에 기여하는 선량 이외의 인자와 관련되는 제2 변동의 함수이다.
- [0270] 한 실시형태에서, PDF의 결정은 반복 프로세스인데, 반복은 패턴의 특성의 PDF를 결정하기 위해 제1 PDF 및 제2 PDF를 컨볼루션하는 것; PDF와 기준 분포 사이의 에러를 결정하는 것; 및 에러가 최소화되도록, 복수의 선량-초점 설정 중 주어진 선량 및 초점 설정에 대한 제1 변동 및 제2 변동의 파라미터를 조정하는 것을 포함한다.
- [0271] 한 실시형태에서, 복수의 선량-초점 설정에 대한 조정 모델의 파라미터의 조정은 다음의 것으로부터 선택되는 최적화 알고리즘에 의해 수행된다: 적응적 모멘트 추정 또는 경사 하강법(gradient decent method).
- [0272] 한 실시형태에서, 방법(2900)은 복수의 선량-초점 설정의 각각의 선량 및 각각의 초점 설정에 대한 기준 분포와 관련하여 최소 에러를 갖는 PDF와 관련되는 복수의 조정 값을 결정하는 것; 및 적합한 다항식 함수와 복수의 조정 모델 값 사이의 차이가 최소화되도록 조정 모델을 결정하기 위해, 복수의 조정 값에 기초하여, 선량 및 초점의 다항식 함수를 적합시키는 것을 더 포함한다.
- [0273] 도 30a 및 도 30b는, 본 개시의 실시형태에 따른, 선량 및 초점에 대한 조정 값(adj_factor)의 의존성을 각각 예시한다. 도 30a 및 도 30b는 조정 모델을 구축하기 위해 사용되는 최적화된 조정 값을 도시한다. 도 30a는 비선형 CD 분포를 정의하는 조정 값(adj_factor 값)이 선량에 대해 선형적이고, 선량에 의해 크게 영향을 받는다는 것을 도시한다. adj_factor 값은 선량이 감소됨에 따라 감소된다. 그것은 비선형성 CD 분포에 대한 확률론적 효과의 영향을 도시한다: 즉, 더 작은 선량에서 더 많은 확률론적 효과, 따라서, 선량 변동으로부터 유래하는 CD 변동의 더 많은 비율을 의미하는 더 큰 조정 값.
- [0274] 조정 값은 초점에 따라 또한 변경되며(도 30b), 그것은 고차 관계이다. 도 30은 더 높은 선량에서 초점을 통한 더 많은 변동을 또한 도시한다. 디포커스(defocus)가 증가됨에 따라, 조정 값은 증가된다.
- [0275] 동적으로 최적화된 조정 값은 모든 선량/초점 조건에서 CD 분포를 모델링하는 데 더 나은 성능을 제공한다. 한 실시형태에서, 동적으로 최적화되는 것은 각각의 선량-초점 설정에 대한 상이한 최적화된 조정 값을 지칭한다. 예를 들면, 도 31에서 도시되는 바와 같이, 모델링된 PDF는, 비선형 선량 기여를 모델링하기 위해 최적화된 adj_factor 모델을 사용하여 상이한 선량-초점 설정에 걸쳐 더욱 정확하게 적합된다. 대조적으로, 일정한 조정 값을 활용하는 도 28은, 앞서 설명되는 바와 같이, 공칭 조건에서 떨어진 선량-초점 설정에 걸쳐 CD 분포에 적합되지 않는다.
- [0276] 한 실시형태에서, 방법(2900)은, 패턴과 관련되는 불량률 데이터(2910)를 사용하여, 임계 불량률과 관련되는 특성 한계를 결정하기 위해 결정된 확률 밀도 함수(예를 들면, PDF_{CD})를 (예를 들면, 컴퓨터 하드웨어 시스템(10

0)의 프로세서 상에서) 실행하는 것을 포함하는 프로시저(P2905)를 더 포함한다.

- [0277] 한 실시형태에서, 조정 모델은 다른 불량률 모델 실행을 위해 저장되어 재사용될 수 있다. 최적화된 조정 값은 동일한 층으로부터의 다른 피처에 대해, 비록 그들이 상이한 패턴 또는 패턴 그룹을 포함하더라도, 작동할 수도 있다. 동일한 층으로부터의 상이한 패턴에 대해 불량률 모델을 실행하기 이전에, 사용할 수 있는 현존하는 조정 모델이 있는지의 여부에 대한 체크가 수행된다.
- [0278] 본 개시에 따르면, 개시된 엘리먼트의 조합 및 하위 조합은 별개의 실시형태를 구성한다. 예를 들면, 제1 조합은, 결합 기반의 프로세스 윈도우에 기초하여, 타겟 패턴 또는 별개로 생성된 OPC 전 패턴(post-OPC pattern)을 사용하여 리타겟팅되는 패턴을 결정하는 것을 포함한다. 제2 조합은 캘리브레이팅된 시뮬레이션 프로세스를 결정하는 것을 포함한다. 다른 조합에서, 프로세스 조정은 임계 불량률을 충족하는 패턴을 시뮬레이팅하거나 또는 제조하기 위해 결정될 수도 있다. 다른 조합에서, 리소그래피 장치는 본원에서 논의되는 바와 같이 결정되는 마스크 패턴을 사용하여 제조되는 마스크를 포함한다.
- [0279] 한 실시형태에서, 본원에서 논의되는 방법(예를 들면, 1100, 1500, 2100, 2400, 및 2900)은, 명령어가 기록된 컴퓨터 프로그램 제품 또는 비일시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서 제공될 수도 있는데, 그 명령어는, 컴퓨터에 의해 실행될 때, 상기에서 논의되는 방법의 동작을 구현한다. 예를 들면, 도 36의 예시적인 컴퓨터 시스템(100)은, 하나 이상의 프로세서(예를 들면, 104)에 의해 실행될 때, 본원의 상기에서 논의되는 방법의 동작(예를 들면, 프로시저)을 야기하는 명령어를 포함하는 비일시적 컴퓨터 판독 가능 매체(예를 들면, 메모리)를 포함한다.
- [0280] 다음의 설명은 광학 근접 보정(Optical proximity correction; OPC) 프로세스를 제공한다. OPC는, 리소그래피 투영 장치에 의한 임의의 축소(demagnification) 외에도, 기관 상에 투영되는 패턴화 디바이스 패턴의 이미지의 최종 크기 및 배치가, 패턴화 디바이스 상의 대응하는 패턴화 디바이스 패턴 피처와 동일하지 않을 것이거나, 또는 그 대응하는 패턴화 디바이스 패턴 피처의 크기 및 배치에만 단순히 의존할 것이라는 사실을 다룬다. 용어 "마스크", "레티클", "패턴화 디바이스"는 본원에서 상호 교환적으로 활용된다는 점을 유의한다. 또한, 기술 분야의 숙련된 자는, 특히 리소그래피 시뮬레이션/최적화의 맥락에서, 용어 "마스크 패턴", "레티클 패턴" 및 "패턴화 디바이스 패턴"은, 리소그래피 시뮬레이션/최적화에서와 같이, 상호 교환 가능하게 사용될 수 있고, 물리적 패턴화 디바이스는 반드시 사용되는 것은 아니지만 그러나 물리적 패턴화 디바이스를 나타내기 위해 패턴화 디바이스 패턴이 사용될 수 있다는 것을 인식할 것이다. 몇몇 패턴화 디바이스 패턴 상에서 존재하는 작은 피처 크기 및 높은 피처 밀도의 경우, 주어진 피처의 특정한 에지의 위치는 다른 인접한 피처의 존재 또는 부재에 의해 소정의 정도까지 영향을 받을 것이다. 이들 근접 효과는 하나의 피처로부터 다른 피처로 커플링되는 미세한 양의 방사선 및/또는 회절 및 간섭과 같은 비 기하학적 형상의 광학 효과로부터 발생한다. 유사하게, 근접 효과는, 일반적으로 리소그래피를 따르는 노출 후 베이킹(PEB), 레지스트 현상, 및 에칭 동안 확산 및 다른 화학적 효과로부터 발생할 수도 있다.
- [0281] 패턴화 디바이스 패턴의 투영된 이미지가 주어진 타겟 설계의 요건을 따른다는 것을 보장하기 위해, 정교한 수치 모델, 패턴화 디바이스 패턴의 보정 또는 사전 왜곡을 사용하여, 근접 효과가 예측되고 보상되어야 한다. 논문 ["Full-Chip Lithography Simulation and Design Analysis - How OPC Is Changing IC Design", C. Spence, Proc. SPIE, Vol. 5751, pp 1-14 (2005)]는 현재의 "모델 기반의" 광학 근접 보정 프로세스의 개요를 제공한다. 통상적인 고급 설계(high-end design)에서, 패턴화 디바이스 패턴의 거의 모든 피처는 타겟 설계에 대한 투영된 이미지의 높은 충실도를 달성하기 위해, 약간의 수정을 갖는다. 이들 OPC 수정은 에지 위치 또는 라인 폭의 시프팅 또는 바이어싱 및/또는 다른 피처의 투영을 지원하도록 의도되는 "보조" 피처의 적용을 포함할 수도 있다.
- [0282] 타겟 설계에 대한 모델 기반의 OPC의 적용은, 디바이스 설계에서 통상적으로 존재하는 많은 수백만 개의 피처를 고려하면, 양호한 프로세스 모델 및 상당한 계산 리소스를 수반한다. 그러나, OPC를 적용하는 것은 일반적으로 정확한 과학이 아니라, 모든 가능한 근접 효과를 항상 보상하지는 않는 경험적이고 반복적인 프로세스이다. 따라서, 설계 결점의 가능성이 패턴화 디바이스 패턴 안으로 구축되는 것을 감소시키거나 또는 최소화하기 위해, OPC의 효과, 예를 들면, OPC 및 임의의 다른 RET의 적용 이후의 패턴화 디바이스 패턴은 설계 검사, 예를 들면, 캘리브레이팅된 수치 프로세스 모델을 사용하는 집약적 전체 칩 시뮬레이션에 의해 검증되어야 한다. 이것은 수백만 달러의 범위 내에서 실행되는 하이 엔드 패턴화 디바이스를 제조하는 막대한 비용에 의해, 뿐만 아니라, 실제 패턴화 디바이스를, 일단 그들이 제조되면, 재작업하는 것 또는 수리하는 것에 의한 턴어라운드 시간에 대한 영향에 의해 주도된다. OPC 및 전체 칩 RET 검증 둘 모두는, 예를 들면, 미국 특허 번호 7,003,758 및 Y.

Cao 등등에 의한 "Optimized Hardware and Software For Fast, Full Chip Simulation"이라는 제목의 논문 (Proc. SPIE, Vol. 5754, 405 (2005))에서 설명되는 바와 같은 수치 모델링 시스템 및 방법에 기초할 수도 있는데, 이들 문헌은 참조에 의해 그들 전체가 본원에 통합된다.

[0283] 가장 단순한 형태의 OPC 중 하나는 선택적 바이어스이다. CD 대 피치 데이터가 주어지면, 패턴화 디바이스 레벨에서 CD를 변경하는 것에 의해, 적어도 최상의 초점과 노출에서, 모든 상이한 피치가 동일한 CD를 생성하도록 강제될 수 있다. 따라서, 피치가 기관 레벨에서 너무 작게 인쇄되는 경우, 패턴화 디바이스 레벨 피치는 공칭보다 약간 더 크게 바이어싱될 것이고, 그 반대의 경우도 마찬가지이다. 패턴화 디바이스 레벨로부터 기관 레벨로의 패턴 전사 프로세스는 비선형적이기 때문에, 바이어스의 양은 단순히 최상의 초점 및 노출에서의 측정된 CD 에러 및 감소 비율의 곱이 아니라, 모델링 및 실험을 통해, 적절한 바이어스가 결정될 수 있다. 선택적 바이어스는, 특히 공칭 프로세스 조건에서만 적용되는 경우, 근접 효과의 문제에 대한 불완전한 솔루션이다. 원칙적으로, 최상의 초점 및 노출에서 균일한 CD 대 피치 곡선을 제공하기 위해 그러한 바이어스가 적용될 수 있지만, 일단 노출 프로세스가 공칭 조건으로부터 변경되면, 각각의 바이어스 피치 곡선은 상이하게 반응할 것이고, 그 결과, 상이한 피치에 대한 상이한 프로세스 윈도우로 나타날 것이다. 프로세스 윈도우는, 피치가 충분히 적절하게 생성되게 되는(예를 들면, 피치의 CD가 $\pm 10\%$ 또는 $\pm 5\%$ 와 같은 소정의 범위 내에 있음) 두 개 이상의 프로세스 파라미터(예를 들면, 리소그래피 장치에서의 초점 및 방사선 선량(radiation dose))의 값의 범위이다. 따라서, 동일한 CD 대 피치를 제공하는 "최상의" 바이어스는, 심지어, 전체 프로세스 윈도우에 대해 부정적인 영향을 끼칠 수도 있어서, 소망되는 프로세스 허용 한계 내에서 모든 타겟 피치가 기관 상에 인쇄되는 초점 및 노출 범위를 확대하기 보다는 감소시킬 수도 있다.

[0284] 상기의 일차원 바이어스 예를 넘어서는 애플리케이션을 위해 다른 더 복잡한 OPC 기술이 개발되었다. 이차원 근접 효과는 라인 단부 단축화(line end shortening)이다. 라인 단부는 노출 및 초점의 함수로서 그들의 소망되는 엔드 포인트 위치로부터 "후퇴되는(pull back)" 경향이 있다. 많은 경우에, 긴 라인의 단부 단축화의 정도는, 대응하는 라인 협소화(line narrowing)보다 몇 배 더 클 수 있다. 이러한 타입의 라인 단부 후퇴는, 라인 단부가, 소스 드레인 영역 위의 폴리실리콘 게이트 층과 같은, 자신이 커버하려고 의도했던 기저의 층을 완전히 교차하지 못하는 경우, 제조되고 있는 디바이스의 치명적인 불량으로 나타날 수 있다. 이러한 타입의 패턴이 초점 및 노출에 매우 민감하기 때문에, 단순히 라인 단부를 설계 길이보다 더 길게 바이어싱하는 것은, 최상의 초점 및 노출에서의, 또는 노출 부족 상태의 라인이 과도하게 길 것이기 때문에 불충분하고, 그 결과, 연장된 라인 단부가 이웃하는 구조물에 닿을 때 단락으로 나타나거나 또는 회로의 개개의 피치 사이에 더 많은 공간이 추가되는 경우 불필요하게 큰 회로 사이즈로 나타나게 된다. 디바이스 설계 및 제조의 목표 중 하나가, 종종, 칩당 필요로 되는 면적을 감소시키면서 기능성 엘리먼트의 수를 최대화하는 것이기 때문에, 과도한 간격을 추가하는 것은 바람직하지 않은 솔루션이다.

[0285] 이차원 OPC 접근법은 라인 단부 후퇴 문제를 해결하는 데 도움이 될 수도 있다. "해머헤드(hammerhead)" 또는 "세리프(serif)"와 같은 추가적인 구조물("보조 피쳐(assist feature)")로 또한 칭해짐)를 라인 단부에 추가하여, 그들을 제자리에 효과적으로 고정하고 전체 프로세스 윈도우에 걸쳐 감소된 후퇴를 제공할 수도 있다. 심지어 최상의 초점 및 노출에서도, 이들 추가적인 구조물은 분해되지 않지만, 그러나 그들은 그들 자체적으로 완전히 분해되지 않은 상태에서 메인 피쳐의 외관을 변경한다. 본원에서 사용되는 바와 같은 "메인 피쳐"는 프로세스 윈도우의 일부 또는 모든 조건 하에서 기관에 인쇄되도록 의도되는 피쳐를 의미한다. 패턴화 디바이스 상의 패턴이, 단순히, 감소 비율만큼 확대되는 소망되는 기관 패턴이 더 이상 아니면, 보조 피쳐는 라인 단부에 추가되는 단순한 해머헤드보다 훨씬 더 공격적인 형태를 취할 수 있다. 세리프와 같은 보조 피쳐는, 단순히 라인 단부 후퇴를 감소시키는 것보다 더 많은 상황에 대해 적용될 수 있다. 내부 또는 외부 세리프는, 코너 라운딩 또는 에지 돌출을 감소시키기 위해, 임의의 에지, 특히 이차원 에지에 적용될 수 있다. 충분한 선택적 바이어싱 및 모든 사이즈 및 극성의 보조 피쳐를 통해, 패턴화 디바이스 상의 피쳐는 기관 레벨에서 소망되는 최종 패턴과 점점 덜 닮는다. 일반적으로, 패턴화 디바이스 패턴은 기관 레벨 패턴의 사전 왜곡된 버전이 되는데, 여기서 왜곡은, 설계자에 의해 의도되는 것에 가능한 한 가까운 기관 상의 패턴을 생성하기 위해, 제조 프로세스 동안 발생할 패턴 변형에 대응하도록 또는 그것을 상쇄시키도록 의도된다.

[0286] 다른 OPC 기술은, 메인 피쳐에 연결되는 그들 보조 피쳐(예를 들면, 세리프) 대신에 또는 그들에 추가하여, 완전히 독립적이고 분해 불가능한(non-resolvable) 보조 피쳐를 사용하는 것을 수반한다. 여기서 용어 "독립적인"은, 이들 보조 피쳐의 에지가 메인 피쳐의 에지에 연결되지 않는다는 것을 의미한다. 이들 독립적인 보조 피쳐는 기관 상의 피쳐로서 인쇄되도록 의도되거나 또는 소망되는 것이 아니라, 오히려, 그 메인 피쳐의 인쇄 가능성 및 프로세스 허용 한계를 향상시키기 위해 주변의 메인 피쳐의 에어리얼 이미지(aerial image)를 수정하도

록 의도된다. 이들 보조 피쳐(종종 "산란 바(scattering bar)" 또는 "SBAR"로 지칭됨)는, 메인 피쳐의 에지 외부에 있는 피쳐인 분해능 미만의 보조 피쳐(sub-resolution assist feature; SRAF) 및 메인 피쳐의 에지 내부로부터 제거되는 피쳐인 분해능 미만의 역 피쳐(sub-resolution inverse feature; SRIF)를 포함할 수 있다. SBAR의 존재는 패턴화 디바이스 패턴에 복잡성의 또 다른 층을 추가한다. 산란 바의 사용의 간단한 예는, 격리된 라인 피쳐의 양쪽에 분해 불가능한 산란 바의 규칙적인 배열이 묘화되는 경우인데, 이것은, 에어리얼 이미지의 관점에서, 격리된 라인 외관을 조밀한 라인의 어레이 내에서 단일의 라인을 더 많이 표현하도록 만들고, 그 결과, 초점 및 노출 허용 한계에서 조밀한 패턴의 것과 훨씬 더 가까운 프로세스 윈도우를 초래하는 효과를 갖는다. 그러한 장식된 격리된 피쳐와 조밀한 패턴 사이의 공통 프로세스 윈도우는, 패턴화 디바이스 레벨에서 격리된 것으로 묘화되는 피쳐의 것보다 초점 및 노출 변동에 대한 더 큰 공통 허용 한계를 가질 것이다.

[0287] 보조 피쳐는 패턴화 디바이스 상의 피쳐와 패턴화 디바이스 패턴에서의 피쳐 사이의 차이로 간주될 수도 있다. 용어 "메인 피쳐" 및 "보조 피쳐"는, 패턴화 디바이스 상의 특정한 피쳐가 둘 중 어느 하나로서 라벨링되어야 한다는 것을 암시하지는 않는다.

[0288] 패턴화 디바이스 패턴에 대한 최적화(예를 들면, OPC)에 더하여, 또는 그것에 대안적으로, 전체 리소그래피 층 실도를 개선하기 위한 노력으로, 패턴화 디바이스 최적화와 공동으로 또는 별개로, 조명 모드가 최적화될 수 있다. 환형, 4극자(quadrupole), 및 쌍극자와 같은 많은 축외 조명 모드가 사용되었으며, OPC 설계에 대해 더 많은 자유를 제공하고, 그에 의해, 이미징 결과를 개선한다. 공지되어 있는 바와 같이, 축외 조명은 패턴화 디바이스에 포함되는 미세 구조물(즉, 타겟 피쳐)을 분해하는 입증된 방식이다. 그러나, 전통적인 조명 모드에 비교되는 경우, 축외 조명 모드는 일반적으로 에어리얼 이미지(AI)에 대해 더 적은 방사선 강도를 제공한다. 따라서, 더 미세한 분해능과 감소된 방사선 강도 사이의 최적의 균형을 달성하기 위해 조명 모드를 최적화하려고 시도하는 것이 바람직하게 된다. 예를 들면, Rosenbluth 등등에 의한 "Optimum Mask and Source Patterns to Print a Given Shape"이라는 제목의 논문(Journal of Microlithography, Microfabrication, Microsystems 1(1), pp.13-20, (2002))에서 여러 조명 최적화 접근법이 발견될 수 있는데, 이 문헌은 참조에 의해 그 전체가 본원에 통합된다.

[0289] 계속해서 감소하는 설계 규칙의 압력은 반도체 칩 제조사를 낮은 k_1 리소그래피로 더 깊이 이동하도록 유도한다. 더 낮은 k_1 을 향하는 리소그래피는 RET, 노출 도구, 및 리소그래피 친화적인 설계에 대한 강력한 요구를 가한다. 따라서, 작업 가능한 프로세스 윈도우를 사용하여 기관 상으로 디바이스 설계가 생성될 수 있는 것을 보장하는 것을 돕기 위해, 조명 모드-패턴화 디바이스 패턴 최적화(illumination mode-patterning device pattern optimization)(몇몇 경우 소스 마스크 최적화 또는 SMO로서 지칭됨)가, 예를 들면, 더 작은 피쳐를 달성하기 위한 중요한 RET가 되고 있다.

[0290] 따라서, 낮은 k_1 포토리소그래피의 경우, 조명 모드와 패턴화 디바이스 패턴 둘 모두의 최적화는, 중요한 디바이스 패턴의 투영을 위한 실행 가능한 프로세스 윈도우를 보장하는 데 유용하다. (예를 들면, 참조에 의해 그 전체가 본원에 통합되는, Socha 등등의, "SMO(Simultaneous Source Mask Optimization)", Proc. SPIE Vol. 5853, 180-193 (2005)에서 설명되는 바와 같은) 몇몇 알고리즘은, 조명을 독립적인 조명 분포 포인트로 그리고 패턴화 디바이스 패턴을 공간 주파수 도메인에서 회절 차수로 이산화하고, 그리고 조명 분포 포인트 강도 및 패턴화 디바이스 패턴 회절 차수로부터 광학 이미징 모델에 의해 예측될 수 있는 노출 관용도와 같은 프로세스 윈도우 메트릭에 기초하여 목적 함수(이것은 선택된 설계 변수의 함수로서 정의됨)를 개별적으로 공식화한다.

[0291] 제약 없이 그리고 실용적인 양의 시간 내에서 목적 함수를 사용하여 조명 모드 및 패턴화 디바이스 패턴의 동시적 최적화를 허용하는 추가적인 조명 모드 및 패턴화 디바이스 패턴 최적화 방법 및 시스템이, 참조에 의해 그 전체가 본원에 통합되는, 발명의 명칭이 "Fast Freeform Source and Mask Co-Optimization Method"인 PCT 특허 출원 공개 번호 WO 2010/059954에서 설명된다. 조명 분포의 픽셀을 조정하는 것에 의해 조명을 최적화하는 것을 수반하는 다른 조명 및 패턴화 디바이스 최적화 방법 및 시스템이, 참조에 의해 그 전체가 본원에 통합되는, 발명의 명칭이 "Source-Mask Optimization in Lithographic Apparatus"인 미국 특허 출원 공개 번호 2010/0315614에서 설명된다.

[0292] 이제, 상기에서 언급되는 패턴화 디바이스는 하나 이상의 패턴화 디바이스 패턴을 포함할 수 있다. 패턴화 디바이스 패턴은 CAD(computer-aided design; 컴퓨터 지원 설계) 프로그램을 활용하여 생성될 수 있는데, 이 프로세스는 종종 EDA(electronic design automation; 전자 설계 자동화)로 지칭된다. 대부분의 CAD 프로그램은, 패턴화 디바이스에 대한 기능적 패턴화 디바이스 패턴을 생성하기 위해, 사전 결정된 설계 규칙의 세트를 따른다.

이들 규칙은 프로세싱 및 설계 제한에 의해 설정된다. 예를 들면, 설계 규칙은, 디바이스 또는 라인이 서로 바람직하지 않은 방식으로 상호 작용하지 않는 것을 보장하도록, 디바이스 피쳐(예컨대, 게이트, 커패시터, 등등) 또는 인터커넥트 라인 사이의 공간 허용 한계(space tolerance)를 정의한다. 설계 규칙 제한은 "임계 치수(critical dimension; CD)"로 지칭될 수 있다. 디바이스의 임계 치수는 라인 또는 홀의 가장 작은 폭 또는 두 라인 또는 두 홀 사이의 최소 공간으로서 정의될 수 있다. 따라서, CD는 설계된 디바이스의 전체 사이즈 및 밀도를 결정한다. 디바이스 제조에서의 목표 중 하나는 (패턴화 디바이스를 통해) 기관 상에서 원래의 디바이스 설계를 충실하게 재현하는 것이다.

[0293] 또한, 시스템의 최적화 프로세스에서, 시스템의 성능 지수(figure of merit)는 목적 함수(예를 들면, 비용 함수 또는 메리트 함수)로서 표현될 수 있다. 최적화 프로세스는 통상적으로 목적 함수를 최소화하거나 또는 최대화하는 시스템의 파라미터(설계 변수)의 세트를 찾는 프로세스로 요약된다. 목적 함수는 최적화의 목표에 따라 임의의 적절한 형태를 가질 수 있다. 예를 들면, 목적 함수는 이들 특성의 의도된 값(예를 들면, 이상적인 값)과 관련하여 시스템의 소정의 특성(평가 포인트)의 편차의 가중된 제곱 평균 제곱근(root mean square; RMS)일 수 있고; 목적 함수는 또한 이들 편차의 최대치일 수 있다. 본원에 사용되는 바와 같은 용어 "설계 변수"는 패턴화 프로세스의(예를 들면, 리소그래피 프로세스, 리소그래피 투영 장치, 등등의) 파라미터, 예를 들면, 리소그래피 투영 장치의 유저가 조정할 수 있는 파라미터의 세트를 포함한다. 조명 모드, 패턴화 디바이스 패턴(또는 패턴화 디바이스 구성), 투영 광학기기, 및/또는 레지스트의 특성을 비롯하여, 패턴화 프로세스의 임의의 특성은 최적화에서의 설계 변수 중에 있을 수 있다는 것이 인식되어야 한다. 목적 함수는 종종 설계 변수의 비선형 함수이다. 그 다음, 예를 들면, 목적 함수를 최소화하거나 또는 최대화하기 위해 표준 최적화 기술이 사용된다. 본원에서의 용어 "평가 포인트"는 시스템 또는 프로세스의 임의의 특성을 포함하도록 광의적으로 해석되어야 한다. 시스템의 설계 변수는, 시스템 또는 프로세스의 구현의 실용성에 기인하여 상호 의존적일 수 있고 및/또는 유한한 범위로 제한될 수 있다. 리소그래피 투영 장치의 경우, 제약은 종종, 튜닝 가능한 범위, 및/또는 패턴화 디바이스 제조 가능성 설계 규칙(MRC; manufacturability design rule)과 같은 하드웨어의 물리적 속성 및 특성과 관련되며, 평가 포인트는 기관 상의 레지스트 이미지 상의 물리적 포인트뿐만 아니라, 선량 및 초점과 같은 비물리적 특성을 포함할 수 있다.

[0294] 따라서, 리소그래피 투영 장치에서, 조명 시스템은 패턴화 디바이스로 조명(즉, 방사선)을 제공하고 투영 광학기기는 그 조명을 패턴화 디바이스로부터 기관 상으로 지향시킨다. 한 실시형태에서, 투영 광학기기는 기관 상의 방사선 강도 분포인 에어리얼 이미지(AI)의 형성을 가능하게 한다. 기관 상의 레지스트 층이 노출되고 에어리얼 이미지는 레지스트 층으로 그 내부의 잠복 "레지스트 이미지(resist image; RI)"로서 전사된다. 레지스트 이미지(RI)는 레지스트 층에서 레지스트의 용해성의 공간적 분포로서 정의될 수 있다. 한 실시형태에서, 리소그래피 프로세스의 시뮬레이션은 에어리얼 이미지 및/또는 레지스트 이미지의 생성을 시뮬레이션할 수 있다.

[0295] 패턴화 프로세스의 일부를 모델링 및/또는 시뮬레이션하기 위한 예시적인 플로우차트가 도 32에서 예시되어 있다. 인식될 바와 같이, 모델은 상이한 패턴화 프로세스를 나타낼 수도 있고 하기에서 설명되는 모든 모델을 포함할 필요는 없다.

[0296] 조명 모델(31)은 패턴화된 방사선 빔을 생성하기 위해 사용되는 조명 모드의 광학적 특성(방사선 강도 분포 및/또는 위상 분포를 포함함)을 나타낸다. 조명 모델(31)은, 개구수 설정, 조명 시그마(σ) 설정뿐만 아니라 임의의 특정한 조명 모드 형상(예를 들면, 환형, 4극자, 쌍극자, 등등과 같은 축외 방사선 형상)을 포함하는, 그러나 이들로 제한되지는 않는, 조명의 광학적 특성을 나타낼 수 있는데, 여기서 σ (또는 시그마)는 일루미네이터의 외부 반경 방향 범위이다.

[0297] 투영 광학기기 모델(32)은 투영 광학기기의 광학적 특성(투영 광학기기에 의해 야기되는 위상 분포 및/또는 방사선 강도 분포에 대한 변화를 포함함)을 나타낸다. 투영 광학기기 모델(32)은 다양한 인자, 예를 들면, 투영 광학기기의 컴포넌트의 가열, 투영 광학기기의 컴포넌트의 기계적 연결에 의해 야기되는 응력, 등등에 의해 야기되는 광학 수차를 포함할 수도 있다. 투영 광학기기 모델(32)은, 다음의 것으로부터 선택되는 하나 이상을 비롯한, 투영 광학기기의 광학적 특성을 나타낼 수 있다: 수차, 왜곡, 굴절률, 물리적 사이즈, 물리적 치수, 흡수, 등등. 리소그래피 투영 장치의 광학적 속성(예를 들면, 조명, 패턴화 디바이스 패턴 및 투영 광학기기의 속성)은 에어리얼 이미지에 영향을 준다. 리소그래피 투영 장치에서 사용되는 패턴화 디바이스 패턴이 변경될 수 있기 때문에, 적어도 조명 및 투영 광학기기를 포함하는 리소그래피 투영 장치의 나머지의 광학적 속성으로부터 패턴화 디바이스 패턴의 광학적 속성을 분리하는 것이 바람직하다. 조명 모델(31) 및 투영 광학기기 모델(32)은 투과 교차 계수(transmission cross coefficient; TCC) 모델로 결합될 수 있다.

- [0298] 패턴화 디바이스 패턴 모델(33)은, 패턴화 디바이스 상의 또는 패턴화 디바이스에 의해 형성되는 피처의 배열의 표현인 패턴화 디바이스 패턴(예를 들면, 집적 회로, 메모리, 전자 디바이스, 등등의 피처에 대응하는 디바이스 설계 레이아웃)의 광학적 특성(주어진 패턴화 디바이스 패턴에 의해 야기되는 위상 분포 및/또는 방사선 강도 분포에 대한 변화를 포함함)을 표현한다. 패턴화 디바이스 모델(33)은, 예를 들면, 참조에 의해 그 전체가 통합되는 미국 특허 번호 7,587,704에서 설명되는 바와 같이, 패턴화 디바이스의 패턴에서 설계 피처가 어떻게 배치되는지를 캡처하고 패턴화 디바이스 및 패턴화 디바이스 패턴의 상세한 물리적 속성의 표현을 포함할 수도 있다.
- [0299] 레지스트 모델(37)은 에어리얼 이미지로부터 레지스트 이미지를 계산하기 위해 사용될 수 있다. 그러한 레지스트 모델의 예는, 참조에 의해 그 전체가 본원에 통합되는 미국 특허 번호 8,200,468에서 발견될 수 있다. 레지스트 모델은, 통상적으로, 예를 들면, 기판 상에 형성되는 레지스트 피처의 윤곽(contour)을 예측하기 위해, 레지스트 노출, 노출 후 베이킹(PEB) 및 현상 동안 발생하는 화학적 프로세스의 영향을 설명할 수도 있고, 따라서, 그것은 통상적으로 레지스트 층의 그러한 속성(예를 들면, 노출, 노출 후 베이킹 및 현상 동안 발생하는 화학적 프로세스의 영향)에만 관련된다. 한 실시형태에서, 레지스트 층의 광학적 속성, 예를 들면, 굴절률, 막 두께, 전파 및 편광 효과는 투영 광학기기 모델(32)의 일부로서 캡처될 수도 있다.
- [0300] 이들 모델을 가지면, 조명 모델(31), 투영 광학기기 모델(32) 및 패턴화 디바이스 패턴 모델(33)로부터 에어리얼 이미지(36)가 시뮬레이팅될 수 있다. 에어리얼 이미지(AI)는 기판 레벨에서의 방사선 강도 분포이다. 리소그래피 투영 장치의 광학적 속성(예를 들면, 조명, 패턴화 디바이스 및 투영 광학기기의 속성)은 에어리얼 이미지에 영향을 준다.
- [0301] 기판 상의 레지스트 층은 에어리얼 이미지에 의해 노출되고 에어리얼 이미지는 레지스트 층으로 그 내부의 잠복 "레지스트 이미지(resist image; RI)"로서 전사된다. 레지스트 이미지(RI)는 레지스트 층에서 레지스트의 용해성의 공간적 분포로서 정의될 수 있다. 레지스트 이미지(38)는 레지스트 모델(37)을 사용하여 에어리얼 이미지(36)로부터 시뮬레이팅될 수 있다. 따라서, 일반적으로, 광학 모델과 레지스트 모델 사이의 연결은 레지스트 층 내에서의 시뮬레이팅된 에어리얼 이미지 강도인데, 이것은 기판 상으로의 방사선의 투영, 레지스트 계면에서의 굴절, 및 레지스트 막 스택에서의 다수의 반사로부터 발생한다. 방사선 강도 분포(에어리얼 이미지 강도)는, 입사 에너지의 흡수에 의해 잠복 "레지스트 이미지"로 변환되는데, 이것은 확산 프로세스 및 다양한 부하 효과에 의해 추가로 수정된다. 전체 칩 애플리케이션에 대해 충분히 빠른 효율적인 시뮬레이션 방법은 2차원 에어리얼 (및 레지스트) 이미지에 의해 레지스트 스택의 사실적인 3차원 강도 분포를 근사한다.
- [0302] 한 실시형태에서, 레지스트 이미지는 패턴 전사 후 프로세스 모델 모듈(post-pattern transfer process model module; 39)에 대한 입력으로서 사용될 수 있다. 패턴 전사 후 프로세스 모델(39)은 하나 이상의 레지스트 현상 후 프로세스(예를 들면, 에치, CMP, 등등)의 성능을 정의하고 에치 후 이미지를 생성할 수 있다.
- [0303] 따라서, 모델 공식화는, 전체 프로세스의 공지된 물리학 및 화학의, 모두가 아니면, 대부분을 설명하며, 모델 파라미터 각각은 바람직하게는 별개의 물리적 또는 화학적 효과에 대응한다. 따라서, 모델 공식화는 전체 제조 프로세스를 시뮬레이팅하기 위해 모델이 얼마나 잘 사용될 수 있는지에 대한 상한을 설정한다.
- [0304] 패턴화 프로세스의 시뮬레이션은, 예를 들면, 에어리얼, 레지스트 및/또는 에치된 이미지에서 윤곽, CD, 에지 배치(예를 들면, 에지 배치 에러), 패턴 시프트, 등등을 예측할 수 있다. 따라서, 시뮬레이션의 목적은, 예를 들면, 인쇄된 패턴의, 에지 배치, 및/또는 윤곽, 및/또는 패턴 시프트, 및/또는 에어리얼 이미지 강도 경사, 및/또는 CD, 등등을 정확하게 예측하는 것이다. 예를 들면, 패턴화 프로세스를 보정하기 위해, 결함이 발생할 것으로 예측되는 위치를 식별하기 위해, 등등을 위해, 이들 값은 의도된 설계에 비교될 수 있다. 의도된 설계는 일반적으로 GDSII 또는 OASIS 또는 다른 파일 포맷과 같은 표준화된 디지털 파일 포맷으로 제공될 수 있는 OPC 전 설계 레이아웃(pre-OPC design layout)으로서 정의된다.
- [0305] 패턴화 디바이스 패턴을 다양한 리소그래피 이미지(예를 들면, 에어리얼 이미지, 레지스트 이미지, 등등)로 변환하기 위해, 그들 기술 및 모델을 사용하여 OPC를 적용하기 위해 그리고 성능을 (예를 들면, 프로세스 윈도우의 관점에서) 평가하기 위해 사용되는 기술 및 모델의 세부 사항은, 미국 특허 출원 공개 번호 US 2008-0301620, 2007-0050749, 2007-0031745, 2008-0309897, 2010-0162197, 2010-0180251 및 2011-0099526에서 설명되는데, 이들 문헌 각각의 개시는 참조에 의해 그 전체가 본원에 통합된다.
- [0306] 모델 평가의 속도를 촉진하기 위해, 패턴화 디바이스 패턴으로부터, "클립"으로 지칭되는 하나 이상의 부분이 식별될 수도 있다. 특정한 실시형태에서, 패턴화 디바이스 패턴의 복잡한 패턴을 나타내는 클립(임의의 수의 클

립이 사용될 수도 있지만, 통상적으로 약 50 내지 1000 개의 클립의 세트가 추출된다. 기술 분야의 숙련된 자에 의해 인식될 바와 같이, 이들 패턴 또는 클립은 설계의 작은 부분(즉, 회로, 셀 또는 패턴)을 나타내고, 특히 클립은 특별한 주의 및/또는 검증이 필요로 되는 작은 부분을 나타낸다. 다시 말하면, 클립은 패턴화 디바이스 패턴의 일부일 수도 있거나 또는 중요한 피처가 경험(고객에 의해 제공되는 클립을 포함함)에 의해, 시행 착오(trial and error)에 의해, 또는 전체 칩 시뮬레이션을 실행하는 것에 의해 식별되는 패턴화 디바이스 패턴의 일부의 유사한 거동을 가질 수도 있거나 또는 유사할 수도 있다. 클립은 일반적으로 하나 이상의 테스트 패턴 또는 게이지 패턴을 포함한다. 특정한 이미지 최적화를 필요로 하는 패턴화 디바이스 패턴에서의 공지된 중요한 피처 영역에 기초하여, 클립의 초기의 더 큰 세트가 고객에 의해 선형적으로 제공될 수도 있다. 대안적으로, 다른 실시형태에서, 클립의 초기의 더 큰 세트는, 중요한 피처 영역을 식별하는 일종의 자동화된(예컨대, 머신 비전) 또는 수동 알고리즘을 사용하는 것에 의해 전체 패턴화 디바이스 패턴으로부터 추출될 수도 있다.

[0307] 더구나, 패턴화 디바이스 상의 또는 패턴화 디바이스에 의해 제공되는 다양한 패턴은 상이한 프로세스 윈도우, 즉, 명세 내에서 패턴이 생성될 프로세싱 변수의 공간을 가질 수도 있다. 잠재적인 시스템 결함에 관련되는 패턴 명세의 예는, 네킹(necking), 라인 풀백(line pull back), 라인 박형화(line thinning), CD, 에지 배치(edge placement), 중첩, 레지스트 상단 손실(resist top loss), 레지스트 언더컷 및/또는 브리징에 대한 체크를 포함한다. 패턴화 디바이스 또는 그 한 영역 상의 모든 패턴의 프로세스 윈도우는 각각의 개개의 패턴의 프로세스 윈도우를 병합(예를 들면, 중첩)하는 것에 의해 획득될 수도 있다. 모든 패턴의 프로세스 윈도우의 경계는 개개의 패턴 중 일부의 프로세스 윈도우의 경계를 포함한다. 다시 말하면, 이들 개개의 패턴은 모든 패턴의 프로세스 윈도우를 제한한다. 이들 패턴은 "핫스팟" 또는 "프로세스 윈도우 제한 패턴(PWLP)"으로 지칭될 수 있는데, 이들은 본원에서 상호 교환 가능하게 사용된다. 예를 들면, 본원에서 설명되는 모델링을 사용하여 패턴화 프로세스의 일부를 설계, 수정, 등등을 할 때, 핫스팟에 초점을 맞추는 것이 가능하고 경제적이다. 핫스팟에 결함이 없으면, 모든 패턴에 결함이 없을 가능성이 가장 높다.

[0308] 패턴화 프로세스의 모델링으로 다시 돌아가서, 예를 들면, 다음과 같은 목적 함수를 사용하여 최적화가 수행될 수 있는데

$$CF(z_1, z_2, \dots, z_N) = \sum_{p=1}^P w_p f_p^2(z_1, z_2, \dots, z_N) \quad (15)$$

[0310] 여기서 (z_1, z_2, \dots, z_N) 은 N 개의 설계 변수 또는 그 값이고; $f_p(z_1, z_2, \dots, z_N)$ 은 (z_1, z_2, \dots, z_N) 의 설계 변수의 값의 세트에 대한 p 번째 평가 포인트에서의 결함 메트릭의 함수일 수도 있다. w_p 는 p 번째 평가 포인트에 할당되는 가중치 상수(weight constant)이다. 다른 것보다 더 중요한 평가 포인트 또는 패턴은 더 높은 w_p 값을 할당받을 수 있다. 더 큰 발생 횟수를 갖는 패턴 및/또는 평가 포인트도 또한 더 높은 w_p 값을 할당받을 수도 있다. 평가 포인트의 예는 기관 상의 임의의 물리적 포인트 또는 패턴, 또는 패턴화 디바이스 패턴, 또는 레지스트 이미지, 또는 에어리얼 이미지 상의 임의의 포인트일 수 있다.

[0311] 목적 함수는 패턴화 프로세스의, 예컨대 리소그래피 투영 장치 또는 기관의 임의의 적절한 특성, 예를 들면, 초점, CD, 이미지 시프트, 이미지 왜곡, 이미지 회전, 등등을 나타낼 수도 있다. 예를 들면, 목적 함수는 다음의 리소그래피 메트릭 중 하나 이상의 함수일 수도 있다: 에지 배치 에러, 임계 치수, 레지스트 윤곽 거리, 최악의 결함 사이즈, 패턴 시프트, 확률론적 효과, 패턴화 디바이스의 삼차원 효과, 레지스트의 삼차원 효과, 최상의 초점 시프트, 동공 충전율(pupil fill factor), 노출 시간, 및/또는 스루풋. 기관 상의 패턴에 종종 영향을 주는 것이 레지스트 이미지이기 때문에, 목적 함수는 레지스트 이미지의 일부 특성을 나타내는 함수를 종종 포함한다. 예를 들면, 그러한 평가 포인트의 $f_p(z_1, z_2, \dots, z_N)$ 는, 단순히, 레지스트 이미지에서의 결함의 총 개수일 수 있다. 설계 변수는 조명 모드, 패턴화 디바이스 패턴, 투영 광학기기, 선량, 초점, 등등의 조정 가능한 파라미터와 같은 임의의 조정 가능한 파라미터일 수 있다.

[0312] 리소그래피 장치는, 방사선 빔의 파면의 형상 및 강도 분포 및/또는 위상 시프트를 조정하기 위해 사용될 수 있는 "파면 조작기(wavefront manipulator)"로 일괄적으로 칭해지는 하나 이상의 컴포넌트를 포함할 수도 있다. 파면 및 강도 분포는 리소그래피 투영 장치의 광학 경로를 따르는 임의의 위치, 예컨대 패턴화 디바이스 앞, 동공 평면 근처, 이미지 평면 근처, 또는 초점 평면 근처에서 조정될 수 있다. 투영 광학기기는, 예를 들면, 조명, 패턴화 디바이스, 리소그래피 투영 장치의 온도 변동, 및/또는 리소그래피 투영 장치의 컴포넌트의 열팽창에 의해 야기되는 파면 및 강도 분포의 소정의 왜곡을 보정하거나 또는 보상하기 위해 사용될 수 있다. 파면 및 강도 분포를 조정하는 것은 평가 포인트 및 목적 함수의 값을 변경할 수 있다. 그러한 변화는 모델로부터 시

플레이팅될 수 있거나 또는 실제로 측정될 수 있다.

[0313] $f_p(z_1, z_2, \dots, z_N)$ 의 정규 가중 평균 제곱근(RMS)은 $\sqrt{\frac{1}{P} \sum_{p=1}^P w_p f_p^2(z_1, z_2, \dots, z_N)}$ 로서 정의되고, 따라서, 예를 들면, $f_p(z_1, z_2, \dots, z_N)$ 의 가중된 RMS는 수학식 15에서 정의되는 목적 함수 $CF(z_1, z_2, \dots, z_N) = \sum_{p=1}^P w_p f_p^2(z_1, z_2, \dots, z_N)$ 를 최소화하는 것과 동가하다는 것을 유의해야 한다. 따라서, $f_p(z_1, z_2, \dots, z_N)$ 의 가중된 RMS 및 수학식 15는 본원에서 표기의 간략화를 위해 상호 교환 가능하게 활용될 수도 있다.

[0314] 또한, 프로세스 윈도우(PW)가 최대화되면, 상이한 PW 조건으로부터의 동일한 물리적 위치를, 수학식 15의 목적 함수에서 상이한 평가 포인트로서 고려하는 것이 가능하다. 예를 들면, N 개의 PW 조건이 고려되는 경우, 그러면, 평가 포인트는 그들의 PW 조건에 따라 분류될 수 있으며 목적 함수는 다음과 같이 작성될 수 있다:

[0315]
$$CF(z_1, z_2, \dots, z_N) = \sum_{p=1}^P w_p f_p^2(z_1, z_2, \dots, z_N) = \sum_{u=1}^U \sum_{p_u=1}^{P_u} w_{p_u} f_{p_u}^2(z_1, z_2, \dots, z_N) \quad (16)$$

[0316] 여기서 $f_{p_u}(z_1, z_2, \dots, z_N)$ 는 u 번째 PW 조건($u = 1, \dots, U$)에서 (z_1, z_2, \dots, z_N)의 설계 변수의 값의 세트에 대한 p_i 번째 평가 포인트의 결합 메트릭의 함수이다. 이 결합 메트릭이 불량률인 경우, 그러면, 상기의 목적 함수를 최소화하는 것은 다양한 PW 조건 하에서 결합을 최소화하는 것과 동가인데, 이것은 PW를 최대화하는 것으로 이어질 수도 있다. 특히, PW가 상이한 패턴화 디바이스 바이어스를 또한 포함하는 경우, 그러면, 상기의 목적 함수를 최소화하는 것은, 기관 EPE와 유도된 패턴화 디바이스 패턴 피쳐 에지 바이어스 사이의 비율로 정의되는 마스크 에러 보강 인자(MEEF)의 최소화를 또한 포함한다.

[0317] 설계 변수는 (z_1, z_2, \dots, z_N) ∈ Z로서 표현될 수 있는 제약을 가질 수도 있는데, 여기서 Z는 설계 변수의 가능한 값의 세트이다. 제약은, 예를 들면, 리소그래피 투영 장치의 하드웨어 구현에서의 물리적 제약을 나타낼 수도 있다. 제약은 다음의 것으로부터 선택되는 하나 이상을 포함할 수도 있다: 튜닝 범위, 패턴화 디바이스 제조 가능성(patterning device manufacturability; MRC)을 관리하는 규칙, 및/또는 두 개 이상의 설계 변수 사이의 상호 의존성.

[0318] 따라서, 최적화 프로세스는, 제약(z_1, z_2, \dots, z_N) ∈ Z 하에서, 예를 들면, 목적 함수를 최소화하는, 설계 변수의 값의 세트를 찾는 것, 즉, 다음의 것을 찾는 것이다

[0319]
$$(\tilde{z}_1, \tilde{z}_2, \dots, \tilde{z}_N) = \arg \min_{(z_1, z_2, \dots, z_N) \in Z} CF(z_1, z_2, \dots, z_N) = \arg \min_{(z_1, z_2, \dots, z_N) \in Z} \sum_{p=1}^P w_p f_p^2(z_1, z_2, \dots, z_N) \quad (17)$$

[0320] 한 실시형태에 따른, 리소그래피 투영 장치를 최적화하는 일반적인 방법이 도 33에서 예시되어 있다. 이 방법은 복수의 설계 변수의 다중 변수 목적 함수를 정의하는 단계(302)를 포함한다. 설계 변수는 다음의 것으로부터 선택되는 임의의 적절한 조합을 포함할 수도 있다: 조명 모드(300A)의 하나 이상의 특성(예를 들면, 동공 충전 비율, 즉 동공 또는 어퍼처를 통과하는 조명의 방사선의 백분율), 투영 광학기기(300B)의 하나 이상의 특성 및/또는 패턴화 디바이스 패턴(300C)의 하나 이상의 특성. 예를 들면, 설계 변수는 조명 모드(300A)의 특성 및 패턴화 디바이스 패턴(300C)의 특성(예를 들면, 전역적 바이어스)을 포함할 수도 있지만, SMO로 이어지는 투영 광학기기(300B)의 특성은 포함하지 않을 수도 있다. 대안적으로, 설계 변수는 조명 모드(300A)의 특성, 투영 광학기기(300B)의 특성 및 조명, 패턴화 디바이스 패턴 및 투영 광학기기의 최적화(때로는 소스 마스크-렌즈 최적화(source-mask-lens optimization; SMLO)로서 또한 지칭됨)로 이어지는 패턴화 디바이스 패턴(300C)의 특성을 포함할 수도 있다. 단계(304)에서, 목적 함수가 수렴 쪽으로 이동하도록 설계 변수는 동시에 조정된다. 단계(306)에서, 사진 정의된 종료 조건이 충족되는지의 여부가 결정된다. 사진 결정된 종료 조건은 다양한 가능성, 예를 들면, 목적 함수가 사용되는 수치 기술에 의해 요구되는 대로 최소화되거나 또는 최대화될 수도 있음, 목적 함수의 값이 임계 값과 동일하거나 또는 임계 값을 넘어섬, 목적 함수의 값이 사전 설정된 에러 한계 내에 도달함, 및/또는 목적 함수평가의 사전 설정된 반복의 횟수에 도달함을 포함할 수도 있다. 단계(306)에서 종료 조건이 충족되는 경우, 방법은 종료된다. 단계(306)에서 종료 조건이 충족되지 않는 경우, 소망되는 결과가 획득될 때까지 단계(304 및 306)가 반복된다. 동공 충전율, 레지스트 화학적 성질, 스루풋, 등등과 같은 인자에

의해 야기되는 물리적 제약이 있을 수도 있기 때문에, 최적화는 설계 변수에 대한 값의 단일의 세트르 반드시 이어지지 않는다. 최적화는 설계 변수 및 관련된 성능 특성(예를 들면, 스투풋)에 대한 값의 다수의 세트르 제공할 수도 있고 리소그래피 장치의 유저가 하나 이상의 세트르 고르는 것을 허용한다.

[0321] 한 실시형태에서, 조명 시스템 및/또는 투영 광학기기의 광학적 특성에 대한 영향을 계산 및/또는 결정하는 대신에, 또는 그에 추가하여, 조명 시스템 및/또는 투영 광학기기의 조정 가능한 광학적 특성이 설계 변수에 포함될 수 있다는 것이 구상된다. 예시적인 조정 가능한 광학적 특성은, 하나 이상의 렌즈 조각기, 조명 시스템 및/또는 투영 시스템의 광학 엘리먼트의 온도를 제어하기 위해 활용되는 하나 이상의 디바이스, 예를 들면, 히터의 온도 테이터 또는 온도 테이터와 관련된 신호, 하나 이상의 제르니케(Zernike) 계수, 등등을 포함할 수도 있다. 그 다음, SMO 또는 SMLO 프로시저가 실행될 수 있고, 조정 가능한 광학적 특성을 비롯한 설계 변수는, 목적 함수가 수렴 쪽으로 이동되도록, 동시에 조정될 수 있다.

[0322] 도 33에서는 모든 설계 변수의 최적화가 동시에 실행된다. 그러한 흐름은 동시적 최적화, 공동 최적화(joint optimization), 또는 공동 최적화(co-optimization)로 칭해질 수도 있다. 본원에 사용되는 바와 같은 용어 "동시적", "동시에", "공동(joint)" 및 "공동으로(jointly)"는, 조명 모드, 패턴화 디바이스, 투영 광학기기 및/또는 임의의 다른 설계 변수의 특성의 설계 변수가 동시에 변경되도록 허용된다는 것을 의미한다.

[0323] 대안적으로, 모든 설계 변수의 최적화가, 도 34에서 예시되는 바와 같이, 교대로 실행된다. 이 흐름에서, 각각의 단계에서, 몇몇 설계 변수는 고정되고 한편 다른 설계 변수는 목적 함수평가의 일부로서 최적화되고; 그 다음, 다음 번 단계에서, 변수의 상이한 세트가 고정되고 한편 다른 변수는 목적 함수평가의 일부로서 최적화된다. 이들 단계는 수렴 또는 소정의 종료 조건이 충족될 때까지 교대로 실행된다. 도 34의 비제한적인 예시적 플로우차트에서 도시되는 바와 같이, 먼저, 패턴화 디바이스 패턴(단계(402))이 획득되고, 그 다음, 조명 모드 최적화의 단계가 단계(404)에서 실행되는데, 이 경우, 조명 모드의 모든 설계 변수는, 모든 다른 설계 변수가 고정되는 동안, 적절한 목적 함수의 평가의 일부로서 최적화된다(SO). 그 다음, 다음 번 단계(406)에서, 마스크 최적화(MO)가 수행되는데, 이 경우, 패턴화 디바이스의 모든 설계 변수는, 모든 다른 설계 변수가 고정되는 동안, 적절한 목적 함수의 평가의 일부로서 최적화된다. 이들 두 단계는 단계(408)에서 소정의 종료 조건이 충족될 때까지, 교대로 실행된다. 목적 함수의 값이 임계 값과 동등하게 됨, 목적 함수의 값이 임계 값을 넘어서, 목적 함수의 값이 사전 설정된 에러 한계 내에 도달함, 또는 목적 함수의 평가의 사전 설정된 반복의 횟수가 도달됨, 등등과 같은 다양한 종료 조건이 사용될 수 있다. SO-MO 교대 최적화(SO-MO-Alternate-Optimization)가 대안적인 흐름의 예로서 사용된다는 것을 유의한다. 교대적 흐름은 SO-LO-MO 교대 최적화(SO-LO-MO-Alternate-Optimization)와 같은 많은 상이한 형태를 취할 수 있는데, 이 경우, SO, LO(Lens Optimization; 렌즈 최적화)가 실행되고, MO가 교대로 그리고 반복적으로 실행되거나; 또는 먼저 SMO가 한 번 실행될 수 있고, 그 다음, LO 및 MO를 교대로 그리고 반복적으로 실행할 수고; 및 등등일 수 있다. 마지막으로, 최적화 결과의 출력은 단계(410)에서 획득되고, 프로세스는 중지된다.

[0324] 앞서 논의되는 바와 같은 패턴 선택 알고리즘은 동시적 또는 교대적(alternate) 최적화와 통합될 수도 있다. 예를 들면, 교대적 최적화가 채택되는 경우, 먼저, 전체 칩 SO가 수행될 수 있고 '핫 스팟' 및/또는 '웜 스팟'이 식별되고, 그 다음, MO가 수행된다. 본 개시의 관점에서, 소망되는 최적화 결과를 달성하기 위해, 하위 최적화(sub-optimization)의 많은 순열(permutation) 및 조합이 가능하다.

[0325] 도 35는, 목적 함수가 정의되고 평가되는 하나의 예시적인 최적화 방법을 도시한다. 단계(502)에서, 설계 변수의 초기 값이, 만약 있다면, 그들의 튜닝 범위를 비롯하여, 획득된다. 단계(504)에서, 다중 변수 목적 함수가 셋업된다. 단계(506)에서, 목적 함수는 제1 반복 단계($i = 0$)에 대한 설계 변수의 시작 포인트 값 주위의 작은 충분히 이웃 내에서 확장된다. 단계(508)에서, 목적 함수를 최소화하거나 또는 최대화하기 위해, 표준 다중 변수 최적화 기술이 적용된다. 최적화는, 508에서의 최적화 프로세스 동안 또는 최적화 프로세스의 나중의 단계에서, 튜닝 범위와 같은 제약을 가질 수 있다는 것을 유의한다. 각각의 반복은, 리소그래피 프로세스를 최적화하기 위해 선택되는 식별된 평가 포인트에 대한 주어진 테스트 패턴("게이지"로서 또한 공지되어 있음)을 사용하여 평가된다. 단계(510)에서, 리소그래피 응답(예를 들면, 에어리얼 이미지의 하나 이상의 소정의 특성, 레지스트 이미지의 하나 이상의 소정의 특성, 또는 리소그래피 프로세스의 하나 이상의 소정의 특성 예컨대 프로세스 윈도우)이 예측된다. 단계(512)에서, 단계(510)의 결과는 소망되는 또는 이상적인 리소그래피 응답 값과 비교된다. 단계(514)에서 종료 조건이 충족되는 경우, 즉, 최적화가 소망되는 값에 충분히 가까운 리소그래피 응답 값을 생성하는 경우, 그러면, 단계(518)에서 설계 변수의 최종 값이 출력된다. 출력 단계는, 동공 평면(또는 다른 평면)에서의 파면 수차 조정 맵, 최적화된 조명 모드 맵, 최적화된 패턴화 디바이스 패턴(예를 들면, 광학 근접 보정을 포함함), 등등을 출력하는 것과 같은, 설계 변수의 최종 값을 사용하여 다른 함수를 출력하는 것을 또한

포함할 수도 있다. 종료 조건이 충족되지 않는 경우, 그러면, 단계(516)에서, 설계 변수의 값은 i 번째 반복의 결과를 사용하여 업데이트되고, 프로세스는 단계(506)로 돌아간다. 목적 함수를 평가하고 해를 구하기 위해, Gauss-Newton(가우스-뉴턴) 알고리즘, Levenberg-Marquardt(레벤버그-마퀴트) 알고리즘, 경사 하강 알고리즘, 시뮬레이팅된 어닐링, 유전 알고리즘, 등등과 같은 알고리즘이 적용될 수 있다.

[0326] 패턴화 프로세스를 최적화하는 것은 프로세스 윈도우를 확장시킬 수 있다. 더 큰 프로세스 윈도우는 프로세스 설계 및 디바이스 설계에서 더 많은 유연성을 제공한다. 프로세스 윈도우는, 레지스트 이미지가 레지스트 이미지의 설계 타겟의 소정의 한계 내에 있는 초점 및 선량 값의 세트로서 정의될 수 있다. 여기에서 논의되는 모든 방법은, 노출 선량 및 디포커스에 추가하여 또는 이들 외에, 상이한 또는 추가적인 기본 파라미터에 의해 확립될 수 있는 일반화된 프로세스 윈도우 정의로 또한 확장될 수도 있다는 것을 유의한다. 이들은, NA, 광학 시그마, 광학 수차, 편광, 또는 레지스트 층의 광학 상수와 같은 광학 설정을 포함할 수도 있지만, 그러나 이들로 제한되지는 않는다. 예를 들면, 앞서 설명되는 바와 같이, PW가 상이한 마스크 바이어스를 또한 수반하는 경우, 그러면, 최적화는 MEEF의 최소화를 포함할 수 있다. 초점 및 선량 값에 대해 정의되는 프로세스 윈도우는 본 개시에서 단지 예로서만 역할을 한다.

[0327] 한 실시형태에 따른 프로세스 윈도우를 최대화하는 방법이 하기에서 설명된다. 제1 단계에서, 프로세스 윈도우의 공지된 조건(f_0, ϵ_0) - 여기서 f_0 은 공칭 초점이고 ϵ_0 은 공칭 선량임 - 으로부터 시작하면, 부근($f_0 \pm \Delta f, \epsilon_0 \pm \epsilon$)에서 하기의 예시적인 목적 함수 중 하나의 최소화가 수행된다:

[0328]
$$CF(z_1, z_2, \dots, z_N, f_0, \epsilon_0) = \min_{(f, \epsilon) = (f_0 \pm \Delta f, \epsilon_0 \pm \epsilon)} (\max_P |f_p(z_1, z_2, \dots, z_N, f, \epsilon)|) \quad (18)$$

[0329] 또는

[0330]
$$CF(z_1, z_2, \dots, z_N, f_0, \epsilon_0) = \min (\max (\sum_{(f, \epsilon) = (f_0 \pm \Delta f, \epsilon_0 \pm \epsilon)} \sum_p w_p f_p^2(z_1, z_2, \dots, z_N, f, \epsilon))) \quad (19)$$

[0331] 공칭 초점(f_0) 및 공칭 선량(ϵ_0)이 시프트하도록 허용되는 경우, 그들은 설계 변수(z_1, z_2, \dots, z_N)와 공동으로 최적화될 수 있다. 다음 번 단계에서, 목적 함수가 사전 설정된 한계 내에 있도록 하는 ($z_1, z_2, \dots, z_N, f, \epsilon$)의 값의 세트가 발견될 수 있는 경우, ($f_0 \pm \Delta f, \epsilon_0 \pm \epsilon$)가 프로세스 윈도우의 일부로서 수락된다.

[0332] 대안적으로, 초점 및 선량이 시프트하도록 허용되지 않는 경우, 설계 변수(z_1, z_2, \dots, z_N)는 초점과 선량이 공칭 초점(f_0) 및 공칭 선량(ϵ_0)에 고정된 상태에서 최적화된다. 대안적인 실시형태에서, 목적 함수가 사전 설정된 한계 내에 있도록 하는 (z_1, z_2, \dots, z_N)의 값의 세트가 발견될 수 있는 경우, ($f_0 \pm \Delta f, \epsilon_0 \pm \epsilon$)가 프로세스 윈도우의 일부로서 수락된다.

[0333] 수학적 (18) 또는 수학적 (19)의 각각의 목적 함수를 최소화하기 위해, 본 개시에서 앞서 설명된 방법이 사용될 수 있다. 설계 변수가 제르니케 계수와 같은 투영 광학기기의 특성인 경우, 그러면, 수학적 (18) 또는 (19)의 목적 함수를 최소화하는 것은, 투영 광학기기 최적화, 즉 L0에 기초한 프로세스 윈도우 최대화로 이어진다. 설계 변수가, 투영 광학기기의 특성에 더하여, 조명 모드 및 패턴화 디바이스 패턴의 특성인 경우, 그러면, 수학적 (18) 또는 (19)의 목적 함수를 최소화하는 것은 SML0에 기초한 프로세스 윈도우 최대화로 이어진다. 설계 변수가 조명 모드 및 패턴화 디바이스 패턴의 특성인 경우, 그러면, 수학적 (18) 또는 (19)의 목적 함수를 최소화하는 것은 SMO에 기초한 프로세스 윈도우 최대화로 이어진다.

[0334] 상기에서 설명되는 최적화는, 리소그래피 프로세스에 불리할 수도 있는 많은 물리적 효과를 감소시키기 위해, (z_1, z_2, \dots, z_N)의 값의 세트를 찾기 위해 사용될 수도 있다. 리소그래피 장치의 상이한 컴포넌트에 대해, 그리고 상이한 조건 하에서, 상이한 물리적 효과를 위해, 다수의 최적화가 직렬로 행해질 수도 있다.

[0335] 상기에서 논의되는 소스/마스크/소스 마스크 최적화에 관련되는 방법은 프로세스 윈도우 전체에 걸쳐 인쇄된 웨이퍼 윤곽을 최적화하기 위해 선택되는 선형화된 함수의 사용을 포함한다. 포토리소그래피 시스템의 광학기기가 프로세스 제약의 대부분을 결정하는 경향이 있기 때문에, 메리트 함수는 통상적으로 순수한 광학적 모델(pure optical model)에 기초한다. 하나의 예에서, 메리트 함수는, 프로세스 윈도우 전체에 걸쳐 설계 레이아웃의 최악의 에지 배치 에러를 감소시키기 위해 선택될 수도 있다.

[0336] 도 36은 본원에서 개시되는 방법 및 흐름을 구현함에 있어서 보조할 수 있는 컴퓨터 시스템(100)을 예시하는 블

록도이다. 컴퓨터 시스템(100)은, 정보를 전달하기 위한 버스(102) 또는 다른 통신 메커니즘, 및 정보를 프로세싱하기 위해 버스(102)와 커플링되는 프로세서(104)(또는 다수의 프로세서(104 및 105))를 포함한다. 컴퓨터 시스템(100)은 또한, 프로세서(104)에 의해 실행될 정보 및 명령어를 저장하기 위한, 버스(102)에 커플링되는 랜덤 액세스 메모리(random access memory; RAM) 또는 다른 동적 스토리지 디바이스와 같은 메인 메모리(106)를 포함한다. 메인 메모리(106)는 또한, 프로세서(104)에 의해 실행될 명령어의 실행 동안 임시 변수 또는 다른 중간 정보를 저장하기 위해 사용될 수도 있다. 컴퓨터 시스템(100)은, 프로세서(104)에 대한 정적인 정보 및 명령어를 저장하기 위한, 버스(102)에 커플링되는 리드 온리 메모리(read only memory; ROM)(108) 또는 다른 정적 스토리지 디바이스를 더 포함한다. 정보 및 명령어를 저장하기 위한 자기 디스크 또는 광학 디스크와 같은 스토리지 디바이스(110)가 제공되고 버스(102)에 커플링된다.

[0337] 컴퓨터 시스템(100)은, 버스(102)를 통해, 컴퓨터 유저에게 정보를 디스플레이하기 위한 디스플레이(112), 예컨대 음극선관(cathode ray tube; CRT) 또는 플랫 패널 또는 터치 패널 디스플레이에 커플링될 수도 있다. 정보 및 커맨드 선택을 프로세서(104)로 전달하기 위한 영숫자 및 다른 키를 포함하는 입력 디바이스(114)가 버스(102)에 커플링된다. 다른 타입의 유저 입력 디바이스는, 방향 정보 및 커맨드 선택을 프로세서(104)로 전달하기 위한 그리고 디스플레이(112) 상에서 커서 이동을 제어하기 위한 커서 제어부(116), 예컨대 마우스, 트랙볼, 또는 커서 방향 키이다. 이 입력 디바이스는 통상적으로, 디바이스가 평면에서의 포지션을 명시하는 것을 허용하는, 제1 축(예를 들면, x) 및 제2 축(예를 들면, y)인 두 개의 축에서 2 자유도를 갖는다. 터치 패널(스크린) 디스플레이도 또한 입력 디바이스로서 사용될 수도 있다.

[0338] 하나의 실시형태에 따르면, 프로세스의 일부는, 프로세서(104)가 메인 메모리(106)에 포함되는 하나 이상의 명령어의 하나 이상의 시퀀스를 실행하는 것에 응답하여, 컴퓨터 시스템(100)에 의해 수행될 수도 있다. 그러한 명령어는 스토리지 디바이스(110)와 같은 다른 컴퓨터 판독 가능 매체로부터 메인 메모리(106) 안으로 판독될 수도 있다. 메인 메모리(106)에 포함되는 명령어의 시퀀스의 실행은, 프로세서(104)로 하여금 본원에서 설명되는 프로세스 단계를 수행하게 한다. 메인 메모리(106)에 포함되는 명령어의 시퀀스를 실행하기 위해, 멀티 프로세싱 배열체(multi-processing arrangement)의 하나 이상의 프로세서가 또한 활용될 수도 있다. 대안적인 실시형태에서, 소프트웨어 명령어 대신에 또는 소프트웨어 명령어와 조합하여, 하드웨어에 내장된 회로부(hard-wired circuitry)가 사용될 수도 있다. 따라서, 본원의 설명은 하드웨어 회로부 및 소프트웨어의 임의의 특정한 조합으로 제한되지는 않는다.

[0339] 본원에서 사용되는 바와 같은 용어 "컴퓨터 판독 가능 매체"는, 실행을 위해 명령어를 프로세서(104)에 제공하는 데 참가하는 임의의 매체를 가리킨다. 그러한 매체는, 불휘발성 매체, 휘발성 매체, 및 송신 매체를 포함하는 그러나 이들로 제한되지는 않는 많은 형태를 취할 수도 있다. 불휘발성 매체는, 예를 들면, 스토리지 디바이스(110)와 같은 광학 또는 자기 디스크를 포함한다. 휘발성 매체는 메인 메모리(106)와 같은 동적 메모리를 포함한다. 송신 매체는, 버스(102)를 포함하는 와이어를 비롯한, 동축 케이블, 구리 와이어 및 광섬유를 포함한다. 송신 매체는 또한, 무선 주파수(radio frequency; RF) 및 적외선(infrared; IR) 데이터 통신 동안 생성되는 것들과 같은 음파 또는 광파의 형태를 취할 수 있다. 컴퓨터 판독 가능 매체의 일반적인 형태는, 예를 들면, 플로피 디스크, 플렉시블 디스크, 하드 디스크, 자기 테이프, 임의의 다른 자기 매체, CD-ROM, DVD, 임의의 다른 광학 매체, 펀치 카드, 종이 테이프, 홀의 패턴을 갖는 임의의 다른 물리적 매체, RAM, PROM 및 EPROM, FLASH-EPROM, 임의의 다른 메모리 칩 또는 카트리지, 이하에서 설명되는 바와 같은 반송파, 또는 컴퓨터가 판독할 수 있는 임의의 다른 매체를 포함한다.

[0340] 실행을 위해 하나 이상의 명령어의 하나 이상의 시퀀스를 하나 이상의 프로세서(104)로 전달함에 있어서, 다양한 형태의 컴퓨터 판독 가능 매체가 수반될 수도 있다. 예를 들면, 명령어는 초기에 원격 컴퓨터의 자기 디스크 상에서 제공될 수도 있다. 원격 컴퓨터는, 명령어를 자신의 동적 메모리에 로딩할 수 있고 모뎀을 사용하여 전화선을 통해 명령어를 전송할 수 있다. 컴퓨터 시스템(100)에 로컬인 모뎀은 전화선을 통해 데이터를 수신할 수 있고 적외선 송신기를 사용하여 데이터를 적외선 신호로 변환할 수 있다. 버스(102)에 커플링되는 적외선 검출기는 적외선 신호에서 운반되는 데이터를 수신할 수 있고 버스(102) 상에 데이터를 배치할 수 있다. 버스(102)는 데이터를 메인 메모리(106)로 전달하는데, 프로세서(104)는, 그로부터, 명령어를 검색 및 실행한다. 메인 메모리(106)에 의해 수신된 명령어는, 옵션 사항으로, 프로세서(104)에 의한 실행 이전에 또는 이후에 스토리지 디바이스(110) 상에 저장될 수도 있다.

[0341] 컴퓨터 시스템(100)은 또한 바람직하게는, 버스(102)에 커플링되는 통신 인터페이스(118)를 포함한다. 통신 인터페이스(118)는 로컬 네트워크(122)에 연결되는 네트워크 링크(120)에 양방향 데이터 통신 커플링을 제공한다. 예를 들면, 통신 인터페이스(118)는, 대응하는 타입의 전화선에 데이터 통신 연결을 제공하기 위한 통합 서비스

디지털 네트워크(integrated services digital network; ISDN) 카드 또는 모뎀일 수도 있다. 다른 예로서, 통신 인터페이스(118)는, 호환 가능한 LAN에 데이터 통신 연결을 제공하기 위한 근거리 통신망(local area network; LAN) 카드일 수도 있다. 무선 링크도 또한 구현될 수도 있다. 임의의 그러한 구현예에서, 통신 인터페이스(118)는, 다양한 타입의 정보를 나타내는 디지털 데이터 스트림을 반송하는(carry) 전기, 전자기 또는 광학 신호를 전송 및 수신한다.

[0342] 네트워크 링크(120)는 통상적으로 하나 이상의 네트워크를 통해 다른 데이터 디바이스로 데이터 통신을 제공한다. 예를 들면, 네트워크 링크(120)는, 로컬 네트워크(122)를 통해, 호스트 컴퓨터(124)에 대한 또는 인터넷 서비스 제공자(Internet Service Provider; ISP)(126)에 의해 운영되는 데이터 장비에 대한 연결을 제공할 수도 있다. ISP(126)는, 이어서, 현재 "인터넷"(128)으로 일반적으로 칭해지는 전세계 패킷 데이터 통신 네트워크를 통해 데이터 통신 서비스를 제공한다. 로컬 네트워크(122) 및 인터넷(128) 둘 모두는 디지털 데이터 스트림을 반송하는 전기, 전자기 또는 광학 신호를 사용한다. 다양한 네트워크를 통한 신호 및 컴퓨터 시스템(100)으로 그리고 컴퓨터 시스템(100)으로부터 디지털 데이터를 반송하는, 네트워크 링크(120) 상의 그리고 통신 인터페이스(118)를 통한 신호는 정보를 운반하는 반송파의 예시적인 형태이다.

[0343] 컴퓨터 시스템(100)은, 네트워크(들), 네트워크 링크(120), 및 통신 인터페이스(118)를 통해, 메시지를 전송할 수 있고, 프로그램 코드를 비롯한, 데이터를 수신할 수 있다. 인터넷 예에서, 서버(130)는, 인터넷(128), ISP(126), 로컬 네트워크(122) 및 통신 인터페이스(118)를 통해 애플리케이션 프로그램에 대한 요청된 코드를 송신할 수도 있을 것이다. 그러한 다운로드된 애플리케이션 중 하나는, 예를 들면, 실시형태의 조명 최적화를 제공할 수도 있다. 수신된 코드는, 그것이 수신될 때, 프로세서(104)에 의해 실행될 수도 있고, 및/또는 나중의 실행을 위해 스토리지 디바이스(110)에, 또는 다른 불휘발성 스토리지 디바이스에 저장될 수도 있다. 이러한 방식으로, 컴퓨터 시스템(100)은 반송파의 형태의 애플리케이션 코드를 획득할 수도 있다.

[0344] 도 37은 다음의 것을 포함하는 다른 예시적인 리소그래피 투영 장치(LA)를 개략적으로 묘사한다:

[0345] - 방사선을 제공하기 위한 소스 콜렉터 모듈(SO).

[0346] - 소스 콜렉터 모듈(SO)로부터의 방사선 빔 B(예를 들면, EUV 방사선)를 컨디셔닝하도록 구성되는 조명 시스템(일루미네이터)(IL).

[0347] - 패턴화 디바이스(예를 들면, 마스크 또는 레티클)(MA)를 지지하도록 구축되고 패턴화 디바이스를 정확하게 배치하도록 구성되는 제1 포지셔너(PM)에 연결되는 지지 구조물(예를 들면, 마스크 테이블)(MT);

[0348] - 기관(예를 들면, 레지스트 코팅된 웨이퍼)(W)을 유지하도록 구성되며 기관을 정확하게 배치하도록 구성되는 제2 포지셔너(PW)에 연결되는 기관 테이블(예를 들면, 웨이퍼 테이블)(WT); 및

[0349] - 기관(W)의 타겟 부분(C)(예를 들면, 하나 이상의 다이들 포함함) 상으로 디바이스(MA)를 패턴화하는 것에 의해 방사선 빔(B)에 부여되는 패턴을 투영하도록 구성되는 투영 시스템(예를 들면, 반사 투영 시스템)(PS).

[0350] 여기에서 묘사되는 바와 같이, 장치(LA)는 (예를 들면, 반사 마스크를 활용하는) 반사 타입을 갖는다. 대부분의 재료가 EUV 파장 범위 내에서 흡수되기 때문에, 패턴화 디바이스는, 예를 들면, 폴리브덴 및 실리콘의 다중 층 스택을 포함하는 다중 반사기를 가질 수도 있다는 것을 유의해야 한다. 하나의 예에서, 다중 스택 반사기는, 각각의 층의 두께가 1/4 파장인 폴리브덴 및 실리콘의 40 개의 층 쌍을 갖는다. X 선 리소그래피를 사용하여 더욱 더 작은 파장이 생성될 수도 있다. 대부분의 재료가 EUV 및 x 선 파장에서 흡수되기 때문에, 패턴화 디바이스 지형 상의 패턴화된 흡수 재료(예를 들면, 다중 반사기 상단 상의 TaN 흡수기)의 얇은 조각은, 피처가 인쇄될(포지티브 레지스트) 또는 인쇄되지 않을(네거티브 레지스트) 곳을 정의한다.

[0351] 도 26을 참조하면, 일루미네이터(IL)는 소스 콜렉터 모듈(SO)로부터 극 자외선 방사선 빔을 수신한다. EUV 방사선을 생성하는 방법은, EUV 범위 내의 하나 이상의 방출 라인을 갖는 적어도 하나의 원소, 예를 들면, 제논, 리튬 또는 주석을 갖는 재료를 플라즈마 상태로 전환하는 것을 포함하지만, 그러나 이것으로 반드시 제한되는 것은 아니다. 종종 레이저 생성 플라즈마(laser produced plasma; "LPP")로 칭해지는 하나의 그러한 방법에서, 플라즈마는, 라인 방출 엘리먼트를 갖는 재료의 액적, 스트림 또는 클러스터와 같은 연료를 레이저 빔으로 조사하는 것에 의해 생성될 수 있다. 소스 콜렉터 모듈(SO)은, 연료를 여기서키는 레이저 빔을 제공하기 위한, 도 26에서 도시되지 않은 레이저를 포함하는 EUV 방사선 시스템의 일부일 수도 있다. 결과적으로 나타나는 플라즈마는, 소스 콜렉터 모듈에서 배치되는 방사선 콜렉터를 사용하여 수집되는 출력 방사선, 예를 들면, EUV 방사선을 방출한다. 레이저 및 소스 콜렉터 모듈은, 예를 들면, 연료 여기를 위한 레이저 빔을 제공하기 위해 CO2 레이저

가 사용되는 경우, 별개의 엔티티일 수도 있다.

- [0352] 그러한 경우에, 레이저는 리소그래피 장치의 일부를 형성하기 위해 고려되지 않으며, 방사선 빔은, 예를 들면, 적절한 지향 미러 및/또는 빔 확장기를 포함하는 빔 전달 시스템의 도움으로 레이저로부터 소스 콜렉터 모듈로 전달된다. 다른 경우에서, 예를 들면, 방사선 소스가, 종종 DPP 방사선 소스로 또한 칭해지는 방전 생성 플라즈마 EUV 생성기(discharge produced plasma EUV generator)인 경우, 방사선 소스는 소스 콜렉터 모듈의 필수 부분일 수도 있다.
- [0353] 일루미네이터(IL)는 방사선 빔의 각도 강도 분포를 조정하기 위한 조정기를 포함할 수도 있다. 일반적으로, 일루미네이터의 동공 평면에서의 강도 분포의 적어도 외부 및/또는 내부 반경 방향 범위(일반적으로, 각각, σ -외부 및 σ -내부로 지칭됨)가 조정될 수 있다. 게다가, 일루미네이터(IL)는 패시 필드(faceted field) 및 동공 미러 디바이스(pupil mirror device)와 같은 다양한 다른 컴포넌트를 포함할 수도 있다. 일루미네이터는, 방사선 빔을, 그 단면에서 소망되는 균일성 및 강도 분포를 가지도록 컨디셔닝하기 위해 사용될 수도 있다.
- [0354] 방사선 빔(B)은, 지지 구조물(예를 들면, 마스크 테이블(MT) 상에 유지되는 패턴화 디바이스(예를 들면, 마스크(MA) 상에 입사하며, 패턴화 디바이스에 의해 패턴화된다. 패턴화 디바이스(예를 들면, 마스크(MA)로부터 반사된 이후, 방사선 빔(B)은 투영 시스템(PS)을 통과하는데, 투영 시스템(PS)은 빔을 기관(W)의 타겟 부분(C) 상으로 집속한다. 제2 포지셔너(PW) 및 포지션 센서(PS2)(예를 들면, 간섭계 디바이스, 선형 인코더 또는 용량성 센서)의 도움으로, 기관 테이블(WT)은, 예를 들면, 방사선 빔(B)의 경로에서 상이한 타겟 부분(C)을 배치하기 위해 정확하게 이동될 수 있다. 제1 포지셔너(PM) 및 다른 포지션 센서(PS1)는 방사선 빔(B)의 경로와 관련하여 패턴화 디바이스(예를 들면, 마스크(MA)를 정확하게 배치하기 위해 사용될 수 있다. 패턴화 디바이스(예를 들면, 마스크(MA) 및 기관(W)은 패턴화 디바이스 정렬 마크(M1, M2) 및 기관 정렬 마크(P1, P2)를 사용하여 정렬될 수도 있다.
- [0355] 묘사된 장치(LA)는 다음 모드 중 적어도 하나에서 사용될 수 있다:
- [0356] 1. 스텝 모드에서, 지지 구조물(예를 들면, 마스크 테이블(MT) 및 기관 테이블(WT)은 본질적으로 고정된 상태로 유지되고, 한편, 방사선 빔에 부여되는 전체 패턴은 한 번에 타겟 부분(C) 상으로 투영된다(즉, 단일의 정적 노출). 그 다음, 기관 테이블(WT)은, 상이한 타겟 부분(C)이 노출될 수 있도록 X 및/또는 Y 방향으로 시프트된다.
- [0357] 2. 스캔 모드에서, 지지 구조물(예를 들면, 마스크 테이블(MT) 및 기관 테이블(WT)은 동시에 스캔되고, 한편, 방사선 빔에 부여되는 패턴은 타겟 부분(C) 상으로 투영된다(즉, 단일의 동적 노출). 지지 구조물(예를 들면, 마스크 테이블(MT)에 대한 기관 테이블(WT)의 속도 및 방향은, 투영 시스템(PS)의 배율(축소) 및 이미지 반전 특성에 의해 결정될 수도 있다.
- [0358] 3. 다른 모드에서, 지지 구조물(예를 들면, 마스크 테이블(MT)는 프로그래머블 패턴화 디바이스(programmable patterning device)를 유지하면서 본질적으로 고정된 상태로 유지되고, 기관 테이블(WT)은 방사선 빔에 부여되는 패턴이 타겟 부분(C) 상으로 투영되는 동안 이동되거나 또는 스캔된다. 이 모드에서, 일반적으로 펄스식 방사선 소스가 활용되며, 프로그래머블 패턴화 디바이스는 기관 테이블(WT)의 각각의 이동 이후 또는 스캔 동안 연속하는 방사선 펄스 사이에서 필요에 따라 업데이트된다. 이 동작 모드는 상기에서 언급되는 바와 같은 타입의 프로그래머블 미러 어레이와 같은 프로그래머블 패턴화 디바이스를 활용하는 마스크가 없는 리소그래피에 쉽게 적용될 수 있다.
- [0359] 도 38은 소스 콜렉터 모듈(SO), 조명 시스템(IL), 및 투영 시스템(PS)을 포함하는 장치(LA)를 더욱 상세하게 도시한다. 소스 콜렉터 모듈(SO)은, 진공 환경이 소스 콜렉터 모듈(SO)의 엔클로징 구조물(enclosing structure)(220)에서 유지될 수 있도록 구성되고 배열된다. EUV 방사선 방출 플라즈마(210)는 방전 생성 플라즈마 방사선 소스에 의해 형성될 수도 있다. EUV 방사선은 가스 또는 증기, 예를 들면, Xe 가스, Li 증기 또는 Sn 증기에 의해 생성될 수도 있는데, 여기서 매우 뜨거운 플라즈마(210)는 전자기 스펙트럼의 EUV 범위에서 방사선을 방출하도록 생성된다. 매우 뜨거운 플라즈마(210)는, 예를 들면, 적어도 부분적으로 이온화된 플라즈마를 야기하는 전기적 방전에 의해 생성된다. 방사선의 효율적인 생성을 위해, Xe, Li, Sn 증기 또는 임의의 다른 적절한 가스 또는 증기의, 예를 들면, 10 Pa의 부분 압력이 필요로 될 수도 있다. 한 실시형태에서, EUV 방사선을 생성하기 위해 여기된 주석(Sn)의 플라즈마가 제공된다.
- [0360] 뜨거운 플라즈마(210)에 의해 방출되는 방사선은, 소스 챔버(211)의 개구 내에 또는 후방에 배치되는 옵션 사항의 가스 배리어(barrier) 또는 오염 물질 트랩(contaminant trap)(230)(몇몇 경우에 오염 물질 배리어 또는 포

일 트랩으로 또한 칭해짐)을 통해, 소스 챔버(211)로부터 콜렉터 챔버(212)로 전달된다. 오염 물질 트랩(230)은 채널 구조물(channel structure)을 포함할 수도 있다. 오염 물질 트랩(230)은 또한 가스 배리어 또는 가스 배리어와 채널 구조물의 조합을 포함할 수도 있다. 본원에서 추가로 나타내어지는 오염 물질 트랩 또는 오염 물질 배리어(230)는, 기술 분야에서 공지되어 있는 바와 같이, 채널 구조물을 적어도 포함한다.

[0361] 콜렉터 챔버(211)는 소위 스킴 입사 콜렉터(grazing incidence collector)일 수도 있는 방사선 콜렉터(CO)를 포함할 수도 있다. 방사선 콜렉터(CO)는 업스트림 방사선 콜렉터 측(upstream radiation collector side)(251) 및 다운스트림 방사선 콜렉터 측(downstream radiation collector side)(252)을 갖는다. 콜렉터(CO)를 통과하는 방사선은, 일점쇄선(dot-dashed line)('0')에 의해 나타내어지는 광학 축을 따라 가상의 소스 포인트(IF)에서 집속되도록 격자 스펙트럼 필터(240)에서 반사될 수 있다. 가상 소스 포인트(IF)는 일반적으로 중간 초점으로 지칭되며, 소스 콜렉터 모듈은, 중간 초점(IF)이 엔클로징 구조물(220)의 개구(221)에 또는 그 근처에 위치되도록 배열된다. 가상 소스 포인트(IF)는 방사선 방출 플라즈마(210)의 이미지이다.

[0362] 후속하여, 방사선은, 패턴화 디바이스(MA)에서, 방사선 빔(21)의 소망되는 각도 분포를 제공하도록, 뿐만 아니라, 패턴화 디바이스(MA)에서 방사선 강도의 소망되는 균일성을 제공하도록 배열되는 패킷 필드 미러 디바이스(faceted field mirror device)(22) 및 패킷 동공 미러 디바이스(faceted pupil mirror device)(24)를 포함할 수도 있는 조명 시스템(IL)을 통과한다. 지지 구조물(MT)에 의해 유지되는 패턴화 디바이스(MA)에서의 방사선의 빔(21)의 반사시, 패턴화된 빔(26)이 형성되고, 패턴화된 빔(26)은 투영 시스템(PS)에 의해 반사 엘리먼트(28, 30)를 통해 기관 테이블(WT)에 의해 유지되는 기관(W) 상으로 이미지화된다.

[0363] 일반적으로, 조명 광학기기 유닛(IL) 및 투영 시스템(PS)에서는 도시되는 것보다 많은 엘리먼트가 존재할 수도 있다. 격자 스펙트럼 필터(240)는 리소그래피 장치의 타입에 따라, 옵션 사항으로 존재할 수도 있다. 또한, 도면에서 도시되는 것들보다 더 많은 미러가 존재할 수도 있는데, 예를 들면, 도 38에서 도시되는 것보다 프로젝션 시스템(PS)에서 1 내지 6 개의 추가적인 반사 엘리먼트가 존재할 수도 있다.

[0364] 도 38에서 예시되는 바와 같이, 콜렉터 광학기기(CO)는, 단지 콜렉터(또는 콜렉터 미러)의 한 예로서, 스킴 입사 반사기(253, 254, 및 255)를 갖는 네스트화된(nested) 콜렉터로서 묘사된다. 스킴 입사 반사기(253, 254, 및 255)는 광학 축(O) 주위에 축 대칭으로 배치되고 이러한 타입의 콜렉터 광학기기(CO)는 방전 생성 플라즈마 방사선 소스와 조합하여 사용되는 것이 바람직하다.

[0365] 대안적으로, 소스 콜렉터 모듈(SO)은 도 39에서 도시되는 바와 같은 LPP 방사선 시스템의 일부일 수도 있다. 레이저(LAS)는 제논(Xe), 주석(Sn) 또는 리튬(Li)과 같은 연료에 레이저 에너지를 퇴적하도록 배치되어, 수십 eV의 전자 온도를 갖는 고도로 이온화된 플라즈마(210)를 생성한다. 이들 이온의 탈여기(de-excitation) 및 재결합 동안 생성되는 에너지 방사선은 플라즈마로부터 방출되어, 거의 수직 입사 콜렉터 광학기기(CO)에 의해 수집되고 엔클로징 구조물(220)의 개구(221) 상으로 집속된다.

[0366] 본원에서 개시되는 개념은, 파장 미만의 피쳐(sub wavelength feature)를 이미지화하기 위한 임의의 일반적인 이미징 시스템을 시뮬레이션하거나 또는 수학적으로 모델링할 수도 있고, 점점 더 작은 사이즈의 파장을 생성할 수 있는 신흥의(emerging) 이미징 기술과 함께 특히 유용할 수도 있다. 이미 사용되고 있는 신흥의 기술은, ArF 레이저의 사용을 통해 193 nm 파장을, 플루오르 레이저를 사용하여 심지어 157 nm 파장을 생성할 수 있는 EUV(극 자외선) 리소그래피를 포함한다. 또한, EUV 리소그래피는 20-5 nm 범위 내의 파장을, 싱크로트론(synchrotron)을 사용하는 것에 의해 또는 이 범위 내에서 광자를 생성하기 위해 고 에너지 전자를 재료(고체 또는 플라즈마)에 충돌시키는 것에 의해 생성할 수 있다.

[0367] 본원에서 개시되는 개념이 실리콘 웨이퍼와 같은 기관 상에서의 이미징을 위해 사용될 수도 있지만, 개시된 개념은 임의의 타입의 리소그래피 이미징 시스템, 예를 들면, 실리콘 웨이퍼 이외의 기관 상에서의 이미징을 위해 사용되는 것들과 함께 사용될 수도 있다는 것이 이해될 수 있을 것이다.

[0368] IC의 제조에서 실시형태의 사용에 대해 이 텍스트에서 특정한 참조가 이루어질 수도 있지만, 본원에서의 실시형태는 많은 다른 가능한 애플리케이션을 가질 수도 있다는 것이 이해되어야 한다. 예를 들면, 그것은, 자기 도메인 메모리(magnetic domain memory), 액정 디스플레이(liquid-crystal display; LCD), 박막 자기 헤드, 마이크로기계 시스템(micromechanical system; MEM), 등등에 대한 통합된 광학 시스템, 안내(guidance) 및 검출 패턴의 제조에서 활용될 수도 있다. 숙련된 기술자는, 그러한 대안적인 애플리케이션의 맥락에서, 본원에서의 용어 "레티클", "웨이퍼" 또는 "다이"의 임의의 사용은, 더욱 일반적인 용어 "패턴화 디바이스", "기관" 또는 "타겟 부분"과 각각 동의어로서 또는 상호 교환 가능하게 간주될 수도 있다는 것을 인식할 것이다. 본원에서 언급되는

기관은, 노출 이전에 또는 이후에, 예를 들면, 트랙(통상적으로 기관에 레지스트의 층을 도포하고 노출된 레지스트를 현상하는 톨) 또는 계측 또는 검사 톨에서 프로세싱될 수도 있다. 적용 가능한 경우, 본원에서의 개시는, 그러한 기관 프로세싱 도구 및 다른 기관 프로세싱 도구에 적용될 수도 있다. 게다가, 기관은, 예를 들면, 다층 IC를, 예를 들면, 생성하기 위해, 한 번보다 더 많이 프로세싱될 수도 있고, 그 결과, 본원에서 사용되는 용어 기관은, 이미 다수의 프로세싱된 층을 포함하는 기관을 또한 가리킬 수도 있다.

[0369] 본 문서에서, 용어 "방사선" 및 "빔"은, 본원에서 사용될 때, 자외선 방사선(예를 들면, 약 365, 약 248, 약 193, 약 157 또는 약 126 nm의 파장을 가짐) 및 극자외선(EUV) 방사선(예를 들면, 5 내지 20 nm의 범위 내의 파장을 가짐)뿐만 아니라, 입자 빔, 예컨대 이온 빔 또는 전자 빔을 비롯한, 모든 타입의 전자기 방사선을 포함한다.

[0370] 용어 "최적화하는(optimizing)" 및 "최적화(optimization)"는, 본원에서 사용될 때, 결과 및/또는 프로세스가 더욱 바람직한 특성, 예컨대 기관 상의 설계 패턴의 투영의 더 높은 정확도, 더 큰 프로세싱 윈도우, 등등을 가지도록, 패턴화 장치(예를 들면, 리소그래피 장치), 패턴화 프로세스, 등등을 조정하는 것을 가리키거나 또는 그것을 의미한다. 따라서, 용어 "최적화하는" 및 "최적화"는, 본원에서 사용될 때, 하나 이상의 파라미터에 대한 하나 이상의 값의 초기 세트와 비교하여, 적어도 하나의 관련 메트릭에서, 향상, 예를 들면, 국소적인 최적 조건(optimum)을 제공하는 그들 하나 이상의 파라미터에 대한 하나 이상의 값을 식별하는 프로세스를 가리키거나 또는 의미한다. "최적 조건" 및 다른 관련된 용어는 상응하게 해석되어야 한다. 한 실시형태에서, 하나 이상의 메트릭에서 추가적인 향상을 제공하기 위해 최적화 단계가 반복적으로 적용될 수 있다.

[0371] 본 발명의 양태는 임의의 편리한 형태로 구현될 수 있다. 예를 들면, 한 실시형태는, 유형의 캐리어 매체(예를 들면, 디스크) 또는 무형의 캐리어 매체(예를 들면, 통신 신호)일 수도 있는 적절한 캐리어 매체 상에서 반송될 수도 있는 하나 이상의 적절한 컴퓨터 프로그램에 의해 구현될 수도 있다. 본 발명의 실시형태는, 본원에서 설명되는 바와 같은 방법을 구현하도록 배열되는 컴퓨터 프로그램을 실행하는 프로그래머블 컴퓨터의 형태를 구체적으로 취할 수도 있는 적절한 장치를 사용하여 구현될 수도 있다. 따라서, 본 개시의 실시형태는 하드웨어, 펌웨어, 소프트웨어, 또는 이들의 임의의 조합으로 구현될 수도 있다. 본 개시의 실시형태는 또한, 하나 이상의 프로세서에 의해 판독 및 실행될 수도 있는, 머신 판독 가능 매체 상에서 저장되는 명령어로서 구현될 수도 있다. 머신 판독 가능 매체는, 머신(예를 들면, 컴퓨팅 디바이스)에 의해 판독 가능한 형태로 정보를 저장 또는 송신하기 위한 임의의 메커니즘을 포함할 수도 있다. 예를 들면, 머신 판독 가능 매체는, 리드 온리 메모리(ROM); 랜덤 액세스 메모리(RAM); 자기 디스크 저장 매체; 광학 저장 매체; 플래시 메모리 디바이스; 전기, 광학, 음향 또는 다른 형태의 전파 신호(예를 들면, 반송파, 적외선 신호, 디지털 신호, 등등), 및 기타를 포함할 수도 있다. 게다가, 펌웨어, 소프트웨어, 루틴, 명령어는 소정의 동작을 수행하는 것으로 본원에서 설명될 수도 있다. 그러나, 그러한 설명은 단지 편의를 위한 것이라는 것 및 그러한 액션은, 실제로는, 컴퓨팅 디바이스, 프로세서, 컨트롤러, 또는 펌웨어, 소프트웨어, 루틴, 명령어, 등등을 실행하는 다른 디바이스로부터 유래한다는 것이 인식되어야 한다.

[0372] 본 개시의 실시형태는 다음의 조항에 의해 추가로 설명될 수도 있다.

[0373] 1. 시뮬레이션 프로세스를 캘리브레이팅하는 방법으로서, 방법은:

[0374] (i) 인쇄된 패턴의 임계 불량률에 기초한 인쇄된 패턴의 특성의 특성 한계, 및 (ii) 특성 한계에 기초한 기준 프로세스 윈도우:를 획득하는 것; 및

[0375] 시뮬레이팅된 프로세스 윈도우가 기준 프로세스 윈도우의 허용 가능한 임계치 내에 있도록 시뮬레이션 프로세스를 캘리브레이팅하는 것을 포함하되, 시뮬레이션 프로세스의 캘리브레이팅은: 다음의 것을 포함한다:

[0376] 시뮬레이팅된 패턴을 결정하기 위해, 하나 이상의 프로세스 모델을 실행하는 것; 및

[0377] 시뮬레이팅된 패턴의 특성 및 특성 한계에 기초하여 하나 이상의 프로세스 모델과 관련되는 파라미터 값을 조정하는 것.

[0378] 2. 조항 1의 방법으로서, 시뮬레이션 프로세스는 다음의 것을 포함한다: 인쇄된 패턴으로 하여금 타겟 특성의 허용 가능한 임계치 내에 있도록 하기 위해, 마스크 파라미터, 소스 파라미터, 또는 프로세스 파라미터를 조정하도록 구성되는 소스 마스크 최적화 프로세스 및 광학적 근접 보정 프로세스.

[0379] 3. 조항 1의 방법으로서, 하나 이상의 프로세스 모델은 특성 모델을 포함하는데, 특성 모델은 인쇄된 패턴과 관련된 특성 한계 및 시뮬레이팅된 패턴에 기초하여 적합된다.

- [0380] 4. 조항 3의 방법으로서, 특성 모델은 시뮬레이팅된 패턴의 특성 및 인쇄된 패턴의 특성에 기초하여 특성 모델의 파라미터를 적합시키는 것에 의해 결정된다.
- [0381] 5. 조항 4의 방법으로서, 인쇄된 패턴 및 시뮬레이팅된 패턴의 특성은 임계 치수, 기관의 상이한 층 상의 두 개의 패턴 사이의 에지 배치 에러, 또는 기관의 동일한 또는 상이한 층 상의 두 개의 패턴 사이의 패턴 배치 에러이다.
- [0382] 6. 조항 5의 방법으로서, 시뮬레이팅된 패턴은 기관의 층 내의 패턴의 프로파일을 포함한다.
- [0383] 7. 조항 6의 방법으로서, 시뮬레이팅된 패턴의 특성은, 층의 상단에 있는 제1 특성과 층의 저부에 있는 제2 특성 사이의 차이를 포함한다.
- [0384] 8. 조항 1의 방법으로서, 하나 이상의 프로세스 모델의 파라미터는 다음의 것 중 하나 이상을 포함한다:
- [0385] 특성 모델의 파라미터;
- [0386] 패턴화 프로세스와 관련되는 에어리얼 모델과 관련되는 에어리얼 이미지 파라미터;
- [0387] 패턴화 프로세스와 관련되는 레지스트 모델과 관련되는 레지스트 파라미터; 및
- [0388] 패턴화 프로세스와 관련되는 에지 모델과 관련되는 에지 파라미터.
- [0389] 9. 조항 8의 방법으로서, 하나 이상의 프로세스 모델의 파라미터는 에어리얼 이미지의 블러, 레지스트 두께, 또는 레지스트에 관련되는 흡수량으로부터 선택되는 하나 이상의 파라미터를 포함한다.
- [0390] 10. 조항 1의 방법으로서, 인쇄된 패턴의 특성의 특성 한계의 획득은 다음의 것을 포함한다:
- [0391] 리소그래피 장치를 통해, 기관 상에 타겟 레이아웃의 선택된 패턴을 인쇄하는 것;
- [0392] 인쇄된 패턴의 검사 데이터에 기초하여, 각각의 선택된 패턴의 불량률을 결정하는 것;
- [0393] 불량률 및 각각의 선택된 패턴의 특성에 기초하여, 패턴의 특성과 관련되는 불량률을 결정하도록 구성되는 불량률 모델을 적합시키는 것; 및
- [0394] 임계 불량률이 충족되도록 선택된 패턴의 특성의 특성 한계를 결정하기 위해 불량률 모델을 실행하는 것.
- [0395] 11. 조항 1의 방법으로서, 기준 프로세스 윈도우의 획득은 다음의 것을 포함한다:
- [0396] 인쇄된 기관과 관련되는 검사 데이터에 기초하여, 특성 한계를 충족하는 각각의 선택된 패턴의 특성에 대응하는 선량 및 초점의 값을 결정하는 것.
- [0397] 12. 조항 1의 방법으로서, 시뮬레이션 프로세스의 캘리브레이팅은 반복 프로세스이고, 반복은 다음의 것을 포함한다:
- [0398] (a) 기관 상의 시뮬레이팅된 패턴을 결정하기 위해, 기관 상에 인쇄될 선택된 패턴을 사용하여 하나 이상의 프로세스 모델을 실행하는 것;
- [0399] (b) 시뮬레이팅된 패턴의 특성이 선택된 패턴과 관련되는 특성 한계를 충족하도록 하나 이상의 프로세스 모델과 관련되는 파라미터의 값을 조정하는 것;
- [0400] (c) 시뮬레이팅된 패턴의 특성에 기초하여, 시뮬레이팅된 프로세스 윈도우 및 시뮬레이팅된 프로세스 윈도우가 기준 프로세스 윈도우의 허용 가능한 임계치 내에 있는지의 여부를 결정하는 것; 및
- [0401] (d) 수용 가능한 임계치가 충족되지 않는 것에 응답하여, 단계 (a) 내지 (c)를 수행하는 것.
- [0402] 13. 조항 1의 방법으로서, 하나 이상의 프로세스 모델의 파라미터의 조정은 다음의 것을 포함한다:
- [0403] 상단에서의 시뮬레이팅된 패턴의 특성과 저부에서의 시뮬레이팅된 패턴의 특성 사이의 마진이 특성 한계와 관련하여 최대화되도록, 특성 모델과 관련되는 파라미터의 값을 조정하는 것.
- [0404] 14. 조항 1의 방법으로서, 다음의 것을 더 포함한다:
- [0405] 핫 스팟 패턴 - 각각의 핫스팟 패턴은 타겟 레이아웃으로부터의 유저 선택 패턴 및/또는 타겟 레이아웃의 다른 패턴과 비교하여 불량률의 상대적으로 더 높은 확률과 관련되는 패턴임 - 의 세트를 획득하는 것;
- [0406] 핫스팟 패턴의 세트 및 불량률 모델을 사용하여 캘리브레이팅된 시뮬레이션 프로세스를 시뮬레이팅하는 것에 의

해, 각각의 핫스팟 패턴에 대한 결함 기반의 프로세스 윈도우를 결정하는 것; 및

- [0407] 각각의 결함 기반의 프로세스 윈도우의 중첩에 기초하여, 임계 불량률과 관련되는 하나 이상의 프로세스 변수의 최적의 값을 결정하는 것.
- [0408] 15. 조항 14의 방법으로서, 하나 이상의 프로세스 변수는 다음의 것으로부터 선택된다: 최상의 초점, 최상의 선량, 임계 불량률에 의해 특성 묘사되는 선량-초점 윈도우, 렌즈 시스템의 수차, 레벨 설정, 오버레이 설정.
- [0409] 16. 조항 1의 방법으로서, 다음의 것을 더 포함한다:
- [0410] 불량률 모델에 기초하여, 각각의 핫스팟 패턴과 관련되는 수율을 결정하는 것;
- [0411] 전체 칩 레이아웃에 걸쳐 각각의 핫스팟 패턴과 관련되는 각각의 수율의 값을 계산하는 것에 의해 전체 칩 레이아웃의 총 수율을 결정하는 것.
- [0412] 17. 조항 1의 방법으로서, 다음의 것을 더 포함한다:
- [0413] 캘리브레이팅된 시뮬레이션 프로세스를 시뮬레이션하는 것에 의해, 타겟 특성 값으로 하여금 기관 상에 인쇄되게 하기 위해 리타겟팅된 패턴의 특성을 조정하도록 마진이 이용 가능한지의 여부를 결정하는 것; 및
- [0414] 마진이 이용 가능하지 않은 것에 응답하여, 리타겟팅된 패턴을 사용하여 캘리브레이팅된 시뮬레이션 프로세스를 시뮬레이션하는 것을 통해, 타겟 특성 값이 기관 상에 인쇄되도록 패턴화 프로세스와 관련되는 프로세스에 대한 조정을 결정하는 것.
- [0415] 18. 조항 17의 방법으로서, 프로세스에 대한 조정은 다음의 것 중 적어도 하나를 포함한다: 등방성 에치백 또는 스페이서 프로세스를 비롯한, 현상 이후 이미지에서의 에치 바이어스, 프로세스 부하의 양, 에치 레이트, 퇴적 레이트, 및 에칭 또는 퇴적의 입사각을 조정하는 것.
- [0416] 19. 조항 1의 방법으로서, 다음의 것을 더 포함한다:
- [0417] 시뮬레이션된 특성 값과 전체 칩 레이아웃과 관련되는 타겟 특성 값 사이의 간차 에러를 결정하기 위해 전체 칩 레이아웃을 사용하여 캘리브레이팅된 시뮬레이션 프로세스를 시뮬레이션하는 것;
- [0418] 전체 칩 레이아웃과 관련되는 시뮬레이션된 특성 값이 소망되는 수율을 충족하는지의 여부를, 리소그래피 제조 체크를 통해, 결정하는 것; 및
- [0419] 소망되는 수율이 충족되지 않는 것에 응답하여, 소망되는 수율이 충족되도록 간차 에러를 감소시키기 위해, 캘리브레이팅된 시뮬레이션 프로세스를 통해, 소스 파라미터, 마스크 파라미터, 또는 프로세스 파라미터를 조정하는 것.
- [0420] 20. 패턴화 프로세스와 관련되는 리타겟팅된 패턴을 생성하기 위한 방법으로서, 그 방법은 다음의 것을 포함한다:
- [0421] (i) 타겟 패턴과 관련되는 특성 한계 - 특성 한계는, 타겟 패턴에 대응하는 인쇄된 패턴이, 넘어서게 되면, 결함이 있는 것으로 간주되는 특성의 값임 -, 및 (ii) 타겟 패턴의 특성과 관련되는 임계 불량률에 기초하여 선량(dose) 및/또는 마스크 파라미터를 계산하도록 구성되는 소스 마스크 최적화(source mask optimization; SMO) 프로세스를 획득하는 것; 및
- [0422] 타겟 패턴을 사용하여 소스 마스크 최적화 프로세스를 시뮬레이션하는 것에 의해, 리타겟팅된 패턴과 관련되는 특성이 타겟 패턴과 관련되는 특성 한계 내에 또한 속하도록 리타겟팅된 패턴을 생성하는 것.
- [0423] 21. 조항 20의 방법으로서, 특성 한계는 불량률 모델에 기초하여 획득되며, 불량률 모델은 기관 상의 인쇄된 패턴과 관련되는 불량률 데이터 및 임계 불량률을 사용하여 캘리브레이팅되고, 인쇄는 초기 SMO 데이터를 사용하여 수행된다.
- [0424] 22. 조항 20의 방법으로서, 소스 마스크 최적화(SMO) 프로세스의 획득은 다음의 것을 포함한다:
- [0425] 특성의 확률 밀도 함수(PDF), 국소적 임계 치수 균일성, 패턴의 특성의 선량 감도, 및 임계 불량률에 기초하여 선량을 계산하기 위해 선량 편위 수학적식을 포함하는 것.

[0426] 23. 조항 22의 방법으로서, 선량 편위 수학식은 다음에 의해 주어지는데:

$$[0427] \text{dose}_{EV} = \frac{LCDU_{dose} 3\sigma}{NDS} \cdot CDF^{-1}(1 - FR_{target})/3$$

[0428] dose_{EV} 는 임계 불량률(FR_{target})에서의 그리고 평균 특성 값으로부터의 3 표준 편차에서 특성 값과 관련되는 극단 값 편위에서의 선량 값을 나타내고, NDS는 패턴의 특성의 선량 감도이고, $LCDU_{dose} 3\sigma$ 는 특정한 선량에서의 그리고 평균 특성 값으로부터의 3 표준 편차에서의 특성 값과 관련되는 변동을 나타내고, 그리고 CDF는 특성의 PDF의 누적 분포 함수를 나타낸다.

[0429] 24. 조항 22의 방법으로서, 선량 편위 수학식은 다음에 의해 주어지는데:

$$[0430] \text{dose}_{EV} = \frac{LCDU_{dose}}{LCDU_{total}} \cdot \frac{LCDU_{dose} 3\sigma}{NDS} \cdot CDF^{-1}(1 - FR_{target})/3^2$$

[0431] dose_{EV} 는 임계 불량률(FR_{target})에서의 그리고 평균 특성 값으로부터의 3 표준 편차에서 특성 값과 관련되는 극단 값 편위에서의 선량 값을 나타내고, NDS는 패턴의 특성의 선량 감도이고, $LCDU_{dose}$ 는 특정한 선량에서 특성에서의 변동을 나타내고, $LCDU_{total}$ 은 패턴의 특성에서의 총 변동을 나타내고, $LCDU_{dose} 3\sigma$ 는 특정한 선량에서의 그리고 평균 특성 값으로부터의 3 표준 편차에서의 특성 값과 관련되는 변동을 나타내고, 그리고 CDF는 특성의 PDF의 누적 분포 함수를 나타낸다.

[0432] 25. 조항 20의 방법으로서, 소스 마스크 최적화(SMO) 프로세스의 획득은 다음의 것을 포함한다:

[0433] 특성의 확률 밀도 함수(PDF), 마스크 바이어스에 의해 야기되는 국소적 CD 균일성 및 임계 불량률에 기초하여 마스크 특성을 계산하기 위해 마스크 바이어스 편위 수학식을 포함하는 것.

[0434] 26. 조항 25의 방법으로서, 마스크 바이어스 편위 수학식은 다음에 의해 주어지는데:

$$[0435] \text{mask}_{EV} = \frac{LCDU_{mask@W}}{LCDU_{total}} \cdot LCDU_{mask@W} \cdot CDF^{-1}(1 - FR_{target})/3^2$$

[0436] mask_{EV} 는 임계 불량률(FR_{target})에서의 그리고 평균 특성 값으로부터의 3 표준 편차에서 특성 값과 관련되는 극단 값 편위에서의 마스크 바이어스를 나타내고, $LCDU_{mask@W}$ 는 마스크 바이어스에 기인하여 야기되는 레지스트 패턴과 관련되는 특성에서의 변동이고, $LCDU_{total}$ 은 패턴의 특성에서의 총 변동을 나타내고, 그리고 CDF는 특성의 PDF의 누적 분포 함수를 나타낸다.

[0437] 27. 조항 20의 방법으로서, 리타겟팅된 패턴은, 임계 불량률에서 특성 한계와 관련되는 마진이 증가되도록 생성되고, 리타겟팅된 패턴의 생성은 다음의 것을 포함한다:

[0438] 초기 SMO 데이터를 사용하여, 임계 불량률에서 타겟 패턴과 관련되는 특성에서의 편위를 결정하기 위해 소스 마스크 최적화 프로세스를 시뮬레이션하는 것;

[0439] 임계 불량률에서 특성 한계와 편위 사이의 마진을 결정하는 것; 및

[0440] 타겟 패턴과 관련되는 특성 한계를 초과하지 않으면서 마진이 증가되도록 타겟 패턴의 특성 값을 조정하는 것 - 조정된 특성 값은 리타겟팅된 패턴을 생성하기 위해 사용됨 - .

[0441] 28. 조항 20의 방법으로서, 리타겟팅된 패턴의 생성은 반복 프로세스이고, 반복은 다음의 것을 포함한다:

[0442] (a) 임계 불량률에서 타겟 패턴과 관련되는 특성에서의 편위를 결정하기 위해, 최적화된 소스, 최적화된 마스크 파라미터, 및 초기 타겟 패턴 또는 리타겟팅된 패턴을 포함하는 초기 SMO 데이터를 입력으로서 사용하여, 소스 마스크 최적화 프로세스를 시뮬레이션하는 것;

[0443] (b) 임계 불량률에서 특성의 편위와 특성 한계 사이의 마진을 결정하는 것;

[0444] (c) 타겟 패턴과 관련되는 특성 한계를 초과하지 않으면서 마진이 증가되도록 타겟 패턴의 특성 값을 조정하는 것 - 조정된 특성 값은 리타겟팅된 패턴을 생성하기 위해 사용됨 - ; 및

[0445] (d) 마진이 특성 한계를 초과하는 것 또는 최대화되지 않는 것에 응답하여, 단계 (a) 내지 (c)를 수행하는 것.

- [0446] 29. 조항 28의 방법으로서, 특성의 특성 한계와 특성의 극단 값 사이의 마진이 최대화되되, 특성의 극단 값은 임계 불량률에서 하나 이상의 프로세스 변수로부터의 기여자에 의해 야기되는 값이다.
 - [0447] 30. 조항 20의 방법으로서, 특성의 극단 값은 초점, 선량, 측정된 값과 타겟 값 사이의 에러의 이동 표준 편차 (MSD), 레지스트 두께, 및/또는 산 또는 소광제를 포함하는 레지스트 구성 요소에 의해 야기된다.
 - [0448] 31. 조항 20의 방법으로서, 다음의 것을 더 포함한다:
 - [0449] 전체 칩 레이아웃과 관련되는 시뮬레이팅된 특성 값을 결정하기 위해 리타겟팅된 패턴을 사용하여 소스 마스크 최적화(SMO) 프로세스를 시뮬레이팅하는 것;
 - [0450] 전체 칩 레이아웃과 관련되는 시뮬레이팅된 특성 값이 소망되는 수율을 충족하는지의 여부를, 리소그래피 제조 체크를 통해, 결정하는 것; 및
 - [0451] 소망되는 수율이 충족되지 않는 것에 응답하여, 소망되는 수율이 충족되도록 소스 파라미터, 마스크 파라미터, 또는 프로세스 파라미터를 조정하는 것 - 조정된 소스 파라미터, 마스크 파라미터, 또는 프로세스 파라미터는 최적화된 소스, 최적화된 조명 동공, 및/또는 최적화된 마스크를 생성하기 위해 사용됨 - .
 - [0452] 32. 프로세스 윈도우를 조정하기 위한 방법으로서, 다음의 것을 포함한다:
 - [0453] (i) 선량의 확률을 결정하기 위한 선량 확률 밀도 함수(선량 PDF) - 선량 PDF는 (a) 피처의 특성 및 (b) 마스크 특성의 편차의 함수이고, 마스크 특성은 기관 상에 피처를 인쇄하기 위해 사용되는 마스크와 관련됨 - , (ii) 마스크 특성의 편차에서의 확률을 결정하기 위한 마스크 확률 밀도 함수(마스크 PDF):를 획득하는 것;
 - [0454] 마스크 특성값의 주어진 범위에 걸쳐 (i) 선량 PDF 및 (ii) 마스크 PDF를 컨볼루션하는 것에 의해 특성과 관련되는 확률 밀도 함수를 결정하는 것; 및
 - [0455] 특성과 관련되는 결정된 확률 밀도 함수에 기초하여, 패턴화 프로세스와 관련되는 프로세스 윈도우를 조정하는 것.
 - [0456] 33. 조항 32의 방법으로서, 마스크 PDF는 마스크 PDF에서 왜곡도를 야기하는 비선형 마스크 에러 보강 인자 (MEEF)의 의존성을 통합하되, 비선형 MEEF는 마스크 특성과 기관 상에 인쇄되는 것의 특성 사이의 관계의 역함수를 사용하여 계산된다.
 - [0457] 34. 조항 33의 방법으로서, 마스크 PDF는 다음에 의해 계산될 수 있는데:
- $$PDF_{mask}(\delta CD_{mask}) = G_{mask}(g_{mask}(\delta CD_{mask}); \mu_{mask}, \sigma_{mask}) * \left| \frac{\partial}{\partial mask} g_{mask}(\delta CD_{mask}) \right|$$
- [0458]
 - [0459] G_{mask} 는 마스크 특성의 가우시안 분포이고, G_{mask} 의 평균인 μ_{mask} 는 $g_{mask}(\delta CD_{mask})$ 에 의해 표현되는 기관 상에 인쇄되는 것의 특성과 마스크 특성 사이의 관계의 역함수에 기초하여 계산되고, G_{mask} 의 표준 편차는 σ_{mask} 이고, 이것은 δCD_{mask} 의 측정된 표준 편차 및 역함수 기초하여 결정되는 표준 편차이고, $\left| \frac{\partial}{\partial mask} g_{mask}(\delta CD_{mask}) \right|$ 는 비선형 MEEF를 결정한다.
 - [0460] 35. 조항 32의 방법으로서, 선량 PDF는 기관 상의 레지스트 패턴에 관련되는 국소적 임계 치수 균일성(LCDU)의 의존성을 통합하되, LCDU는 마스크 특성에 의해 야기된다.
 - [0461] 36. 조항 35의 방법으로서, 선량 PDF는 정규 분포 또는 평균 선량 및 선량 표준 편차를 갖는 푸아송 분포를 사용하여 결정되되, 평균 선량은 마스크 특성에서의 주어진 편차에 대한 CD와 선량 사이의 관계의 역함수에 의해 결정되고, 선량 표준 편차는 마스크 특성에 의해 야기되는 기관 상의 레지스트 패턴에 관련되는 LCDU에 기초하여 결정된다.
 - [0462] 37. 조항 36의 방법으로서, 선량 PDF는 다음에 의해 계산될 수 있는데
 - [0463] $PDF_{dose}(g_d(CD, \delta CD_{mask}); \mu_d(\delta CD_{mask}), \sigma_d(\delta CD_{mask}))$
 - [0464] 선량($g_d(CD, \delta CD_{mask})$)은 마스크 특성에서의 주어진 편차(δCD_{mask})에 대한 피처의 특성 CD와 선량 사이의 관계의

역함수를 사용하여 결정되고, 선량 표준 편차(σ_d)는 역함수($g_d(CD, \delta CD_{mask})$) 및 측정된 표준 편차($\sigma_{CD}^{resist}(\delta CD_{mask})$)에 기초하되, $\sigma_{CD}^{resist}(\delta CD_{mask})$ 는 주어진 마스크 편차에 대한 레지스트 변동 및 선량에 기인하여 야기되는 LCDU(1σ)를 나타낸다.

- [0465] 38. 조항 32의 방법으로서, 다음의 것을 더 포함한다:
- [0466] 임계 불량률과 관련되는 특성 한계를 결정하기 위해, 타겟 레이아웃과 관련되는 불량률 데이터를 사용하여, 결정된 확률 밀도 함수를 실행하는 것.
- [0467] 39. 프로세스 윈도우를 조정하기 위한 방법으로서, 다음의 것을 포함한다:
- [0468] (i) 복수의 선량-초점 설정, 및 (ii) 복수의 선량-초점 설정의 각각의 설정과 관련되는 인쇄된 패턴의 특성의 측정된 값에 기초한 기준 분포:를 획득하는 것;
- [0469] 조정 모델 및 복수의 선량-초점 설정에 기초하여, 확률 밀도 함수(PDF) - PDF는 선량과 관련되는 분산 및 조정 모델의 함수이고, 조정 모델은 PDF에 대한 비선형 선량 감도 기여의 비율을 변경하도록 구성됨 - 와 기준 분포 사이의 에러가 감소되도록 특성의 PDF를 결정하는 것; 및
- [0470] 특성의 결정된 PDF에 기초하여, 패턴화 프로세스와 관련되는 프로세스 윈도우를 조정하는 것.
- [0471] 40. 조항 39의 방법으로서, PDF의 결정은 반복 프로세스이고, 반복은 다음의 것을 포함한다:
- [0472] 조정 모델에 기초하여, 복수의 선량-초점 설정 중 주어진 선량-초점 설정에 대한 조정 값을 결정하는 것;
- [0473] 조정 값에 기초하여, 패턴의 특성의 PDF를 결정하는 것;
- [0474] PDF와 기준 분포 사이의 에러를 결정하는 것; 및
- [0475] 에러가 최소화되도록, 복수의 선량-초점 설정 중 주어진 선량 및 초점 설정에 대한 조정 모델의 파라미터를 조정하는 것.
- [0476] 41. 조항 39의 방법으로서, PDF는 제1 PDF 및 제2 PDF의 컨볼루션이되, 제1 PDF는 제1 변동의 함수이고, 제1 변동은 조정 모델 및 선량의 변동의 곱이고, 제2 PDF는 패턴의 특성에서의 변동에 기여하는 선량 이외의 인자와 관련되는 제2 변동의 함수이다.
- [0477] 42. 조항 41의 방법으로서, PDF의 결정은 반복 프로세스이고, 반복은 다음의 것을 포함한다:
- [0478] 패턴의 특성의 PDF를 결정하기 위해 제1 PDF 및 제2 PDF를 컨볼루션하는 것;
- [0479] PDF와 기준 분포 사이의 에러를 결정하는 것; 및
- [0480] 에러가 최소화되도록, 복수의 선량-초점 설정 중 주어진 선량 및 초점 설정에 대한 제1 변동 및 제2 변동의 파라미터를 조정하는 것.
- [0481] 43. 조항 40 내지 42 중 임의의 것의 방법으로서, 복수의 선량-초점 설정에 대한 조정 모델의 파라미터의 조정은 다음의 것으로부터 선택되는 최적화 알고리즘에 의해 수행된다: 적응적 모멘트 추정 또는 경사 하강법.
- [0482] 44. 조항 39의 방법으로서, 조정 모델은 선량 및 초점의 다항식 함수이다.
- [0483] 45. 조항 42의 방법으로서, 다음의 것을 더 포함한다:
- [0484] 복수의 선량-초점 설정의 각각의 선량 및 각각의 초점 설정에 대한 기준 분포와 관련하여 최소 에러를 갖는 PDF와 관련되는 복수의 조정 값을 결정하는 것; 및
- [0485] 적합된 다항식 함수와 복수의 조정 모델 값 사이의 차이가 최소화되도록 조정 모델을 결정하기 위해, 복수의 조정 값에 기초하여, 선량 및 초점의 다항식 함수를 적합시키는 것.
- [0486] 46. 조항 39의 방법으로서, 다음의 것을 더 포함한다:
- [0487] 패턴과 관련되는 불량률 데이터를 사용하여, 임계 불량률과 관련되는 특성 한계를 결정하기 위해 결정된 확률 밀도 함수를 실행하는 것.
- [0488] 47. 명령어를 포함하는 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서, 명령어는, 하나 이상의 프로세서에 의해 실행될

때:

- [0489] (i) 인쇄된 패턴의 임계 불량률에 기초한 인쇄된 패턴의 특성의 특성 한계, 및 (ii) 특성 한계에 기초한 기준 프로세스 윈도우:를 획득하는 것; 및
- [0490] 시뮬레이팅된 프로세스 윈도우가 기준 프로세스 윈도우의 허용 가능한 임계치 내에 있도록 시뮬레이션 프로세스를 캘리브레이팅하는 것
- [0491] 을 포함하는 동작을 야기하는데, 시뮬레이션 프로세스의 캘리브레이팅은: 다음의 것을 포함한다:
- [0492] 시뮬레이팅된 패턴을 결정하기 위해, 하나 이상의 프로세스 모델을 실행하는 것; 및
- [0493] 시뮬레이팅된 패턴의 특성이 특성 한계를 충족할 때까지 하나 이상의 프로세스 모델과 관련되는 파라미터 값을 조정하는 것.
- [0494] 48. 조항 47의 비일시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서, 시뮬레이션 프로세스는 다음의 것을 포함한다: 인쇄된 패턴으로 하여금 타겟 특성 값의 허용 가능한 임계치 내에 있도록 하기 위해, 마스크 파라미터, 소스 파라미터, 또는 프로세스 파라미터를 조정하도록 구성되는 소스 마스크 최적화 프로세스 및 광학적 근접 보정 프로세스.
- [0495] 49. 조항 47의 비일시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서, 하나 이상의 프로세스 모델은 특성 모델을 포함하는데, 특성 모델은 인쇄된 패턴과 관련되는 특성 한계 및 시뮬레이팅된 패턴에 기초하여 적합된다.
- [0496] 50. 조항 49의 비일시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서, 특성 모델은 시뮬레이팅된 패턴의 특성 및 인쇄된 패턴의 특성에 기초하여 특성 모델의 파라미터를 적합시키는 것에 의해 결정된다.
- [0497] 51. 조항 50의 비일시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서, 인쇄된 패턴 및 시뮬레이팅된 패턴의 특성은 임계 치수, 기관의 상이한 층 상의 두 개의 패턴 사이의 에지 배치 에러, 또는 기관의 동일한 또는 상이한 층 상의 두 개의 패턴 사이의 패턴 배치 에러이다.
- [0498] 52. 조항 51의 비일시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서, 시뮬레이팅된 패턴은 기관의 층 내의 패턴의 프로파일을 포함한다.
- [0499] 53. 조항 52의 비일시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서, 시뮬레이팅된 패턴의 특성은, 층의 상단에 있는 제1 특성과 층의 저부에 있는 제2 특성 사이의 차이를 포함한다.
- [0500] 54. 조항 47의 비일시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서, 하나 이상의 프로세스 모델의 파라미터는 다음의 것 중 하나 이상을 포함한다:
- [0501] 특성 모델의 파라미터;
- [0502] 패턴화 프로세스와 관련되는 에어리얼 모델과 관련되는 에어리얼 이미지 파라미터;
- [0503] 패턴화 프로세스와 관련되는 레지스트 모델과 관련되는 레지스트 파라미터; 및
- [0504] 패턴화 프로세스와 관련되는 에치 모델과 관련되는 에치 파라미터.
- [0505] 55. 조항 54의 비일시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서, 하나 이상의 프로세스 모델의 파라미터는 에어리얼 이미지의 블러, 레지스트 두께, 또는 레지스트에 관련되는 흡수량으로부터 선택되는 하나 이상의 파라미터를 포함한다.
- [0506] 56. 조항 47의 비일시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서, 인쇄된 패턴의 특성의 특성 한계의 획득은 다음의 것을 포함한다:
- [0507] 리소그래피 장치를 통해, 기관 상에 타겟 레이아웃의 선택된 패턴을 인쇄하는 것;
- [0508] 인쇄된 패턴의 검사 데이터에 기초하여, 각각의 선택된 패턴의 불량률을 결정하는 것;
- [0509] 불량률 및 각각의 선택된 패턴의 특성에 기초하여, 패턴의 특성과 관련되는 불량률을 결정하도록 구성되는 불량률 모델을 적합시키는 것; 및
- [0510] 임계 불량률이 충족되도록 선택된 패턴의 특성의 특성 한계를 결정하기 위해 불량률 모델을 실행하는 것.
- [0511] 57. 조항 47의 비일시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서, 기준 프로세스 윈도우의 획득은 다음의 것을 포함한다:
- [0512] 인쇄된 기관과 관련되는 검사 데이터에 기초하여, 특성 한계를 충족하는 각각의 선택된 패턴의 특성에 대응하는

선량 및 초점의 값을 결정하는 것.

- [0513] 58. 조항 47의 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서, 시뮬레이션 프로세스의 캘리브레이팅은 반복 프로세스이고, 반복은 다음의 것을 포함한다:
- [0514] (a) 기관 상의 시뮬레이팅된 패턴을 결정하기 위해, 기관 상에 인쇄될 선택된 패턴을 사용하여 하나 이상의 프로세스 모델을 실행하는 것;
- [0515] (b) 시뮬레이팅된 패턴의 특성이 선택된 패턴과 관련되는 특성 한계를 충족하도록 하나 이상의 프로세스 모델과 관련되는 파라미터의 값을 조정하는 것;
- [0516] (c) 시뮬레이팅된 패턴의 특성에 기초하여, 시뮬레이팅된 프로세스 윈도우 및 시뮬레이팅된 프로세스 윈도우가 기준 프로세스 윈도우의 허용 가능한 임계치 내에 있는지의 여부를 결정하는 것; 및
- [0517] (d) 수용 가능한 임계치가 충족되지 않는 것에 응답하여, 단계 (a) 내지 (c)를 수행하는 것.
- [0518] 59. 조항 47의 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서, 하나 이상의 프로세스 모델의 파라미터의 조정은 다음의 것을 포함한다:
- [0519] 상단에서의 시뮬레이팅된 패턴의 특성과 저부에서의 시뮬레이팅된 패턴의 특성 사이의 마진이 특성 한계와 관련하여 최대화되도록, 특성 모델과 관련되는 파라미터의 값을 조정하는 것.
- [0520] 60. 조항 47의 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서, 다음의 것을 더 포함한다:
- [0521] 핫 스팟 패턴 - 각각의 핫스팟 패턴은 타겟 레이아웃으로부터의 유저 선택 패턴 및/또는 타겟 레이아웃의 다른 패턴과 비교하여 불량률의 상대적으로 더 높은 확률과 관련되는 패턴임 - 의 세트를 획득하는 것;
- [0522] 핫스팟 패턴의 세트 및 불량률 모델을 사용하여 캘리브레이팅된 시뮬레이션 프로세스를 시뮬레이팅하는 것에 의해, 각각의 핫스팟 패턴에 대한 결함 기반의 프로세스 윈도우를 결정하는 것; 및
- [0523] 각각의 결함 기반의 프로세스 윈도우의 중첩에 기초하여, 임계 불량률과 관련되는 하나 이상의 프로세스 변수의 최적의 값을 결정하는 것.
- [0524] 61. 조항 60의 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서, 하나 이상의 프로세스 변수는 다음의 것으로부터 선택된다: 최상의 초점, 최상의 선량, 임계 불량률에 의해 특성 묘사되는 선량-초점 윈도우, 렌즈 시스템의 수차, 레벨 설정, 오버레이 설정.
- [0525] 62. 조항 47의 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서, 다음의 것을 더 포함한다:
- [0526] 불량률 모델에 기초하여, 각각의 핫스팟 패턴과 관련되는 수율을 결정하는 것;
- [0527] 전체 칩 레이아웃에 걸쳐 각각의 핫스팟 패턴과 관련되는 각각의 수율의 곱을 계산하는 것에 의해 전체 칩 레이아웃의 총 수율을 결정하는 것.
- [0528] 63. 조항 47의 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서, 다음의 것을 더 포함한다:
- [0529] 캘리브레이팅된 시뮬레이션 프로세스를 시뮬레이팅하는 것에 의해, 타겟 특성 값으로 하여금 기관 상에 인쇄되게 하기 위해 리타겟팅된 패턴의 특성을 조정하도록 마진이 이용 가능한지의 여부를 결정하는 것; 및
- [0530] 마진이 이용 가능하지 않은 것에 응답하여, 리타겟팅된 패턴을 사용하여 캘리브레이팅된 시뮬레이션 프로세스를 시뮬레이팅하는 것을 통해, 타겟 특성 값이 기관 상에 인쇄되도록 패턴화 프로세스와 관련되는 프로세스에 대한 조정을 결정하는 것.
- [0531] 64. 조항 63의 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서, 프로세스에 대한 조정은 다음의 것 중 적어도 하나를 포함한다: 등방성 에치백 또는 스페이서 프로세스를 비롯한, 현상 이후 이미지에서 에치 바이어스, 프로세스 부하의 양, 에치 레이트, 퇴적 레이트, 및 에칭 또는 퇴적의 입사각을 조정하는 것.
- [0532] 65. 조항 47의 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서, 다음의 것을 더 포함한다:
- [0533] 시뮬레이팅된 특성 값과 전체 칩 레이아웃과 관련되는 타겟 특성 값 사이의 잔차 에러를 결정하기 위해 전체 칩 레이아웃을 사용하여 캘리브레이팅된 시뮬레이션 프로세스를 시뮬레이팅하는 것;
- [0534] 전체 칩 레이아웃과 관련되는 시뮬레이팅된 특성 값이 소망되는 수율을 충족하는지의 여부를, 리소그래피 제조

체크를 통해, 결정하는 것; 및

[0535] 소망되는 수율이 충족되지 않는 것에 응답하여, 소망되는 수율이 충족되도록 잔차 에러를 감소시키기 위해, 캘리브레이팅된 시뮬레이션 프로세스를 통해, 소스 파라미터, 마스크 파라미터, 또는 프로세스 파라미터를 조정하는 것.

[0536] 66. 명령어를 포함하는 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서, 명령어는, 하나 이상의 프로세서에 의해 실행될 때, 다음의 것을 포함하는 동작을 야기한다:

[0537] (i) 타겟 패턴과 관련되는 특성 한계 - 특성 한계는, 타겟 패턴에 대응하는 인쇄된 패턴이, 넘어서게 되면, 결함이 있는 것으로 간주되는 특성의 값임 -, 및 (ii) 타겟 패턴의 특성과 관련되는 임계 불량률에 기초하여 선량 및/또는 마스크 파라미터를 계산하도록 구성되는 소스 마스크 최적화(SMO) 프로세스를 획득하는 것; 및

[0538] 타겟 패턴을 사용하여 소스 마스크 최적화 프로세스를 시뮬레이팅하는 것에 의해, 리타겟팅된 패턴과 관련되는 특성이 타겟 패턴과 관련되는 특성 한계 내에 또한 속하도록 리타겟팅된 패턴을 생성하는 것.

[0539] 67. 조항 66의 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서, 특성 한계는 불량률 모델에 기초하여 획득되며, 불량률 모델은 기판 상의 인쇄된 패턴과 관련되는 불량률 데이터 및 임계 불량률을 사용하여 캘리브레이팅되고, 인쇄는 초기 SMO 데이터를 사용하여 수행된다.

[0540] 68. 조항 66의 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서, 소스 마스크 최적화(SMO) 프로세스의 획득은 다음의 것을 포함한다:

[0541] 특성의 확률 밀도 함수(PDF), 국소적 임계 치수 균일성, 패턴의 특성의 선량 감도, 및 임계 불량률에 기초하여 선량을 계산하기 위해 선량 편위 수학적식을 포함하는 것.

[0542] 69. 조항 68의 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서, 선량 편위 수학적식은 다음에 의해 주어지는데:

[0543]
$$dose_{EV} = \frac{LCDU_{dose} 3\sigma}{NDS} \cdot CDF^{-1}(1 - FR_{target})/3$$

[0544] $dose_{EV}$ 는 임계 불량률(FR_{target})에서의 그리고 평균 특성 값으로부터의 3 표준 편차에서 특성 값과 관련되는 극단 값 편위에서의 선량 값을 나타내고, NDS는 패턴의 특성의 선량 감도이고, $LCDU_{dose} 3\sigma$ 는 특정한 선량에서의 그리고 평균 특성 값으로부터의 3 표준 편차에서의 특성 값과 관련되는 변동을 나타내고, 그리고 CDF는 특성의 PDF의 누적 분포 함수를 나타낸다.

[0545] 70. 조항 68의 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서, 선량 편위 수학적식은 다음에 의해 주어지는데:

[0546]
$$dose_{EV} = \frac{LCDU_{dose}}{LCDU_{total}} \cdot \frac{LCDU_{dose} 3\sigma}{NDS} \cdot CDF^{-1}(1 - FR_{target})/3^2$$

[0547] $dose_{EV}$ 는 임계 불량률(FR_{target})에서의 그리고 평균 특성 값으로부터의 3 표준 편차에서 특성 값과 관련되는 극단 값 편위에서의 선량 값을 나타내고, NDS는 패턴의 특성의 선량 감도이고, $LCDU_{dose}$ 는 특정한 선량에서 특성에서의 변동을 나타내고, $LCDU_{total}$ 은 패턴의 특성에서의 총 변동을 나타내고, $LCDU_{dose} 3\sigma$ 는 특정한 선량에서의 그리고 평균 특성 값으로부터의 3 표준 편차에서의 특성 값과 관련되는 변동을 나타내고, 그리고 CDF는 특성의 PDF의 누적 분포 함수를 나타낸다.

[0548] 71. 조항 66의 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서, 소스 마스크 최적화(SMO) 프로세스의 획득은 다음의 것을 포함한다:

[0549] 특성의 확률 밀도 함수(PDF), 마스크 바이어스에 의해 야기되는 국소적 CD 균일성 및 임계 불량률에 기초하여 마스크 특성을 계산하기 위해 마스크 바이어스 편위 수학적식을 포함하는 것.

[0550] 72. 조항 71의 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서, 마스크 바이어스 편위 수학적식은 다음에 의해 주어지는데:

[0551]
$$mask_{EV} = \frac{LCDU_{mask@W}}{LCDU_{total}} \cdot LCDU_{mask@W} \cdot CDF^{-1}(1 - FR_{target})/3^2$$

[0552] $mask_{EV}$ 는 임계 불량률(FR_{target})에서의 그리고 평균 특성 값으로부터의 3 표준 편차에서 특성 값과 관련되는 극단 값 편위에서의 마스크 바이어스를 나타내고, $LCDU_{mask@W}$ 는 마스크 바이어스에 기인하여 야기되는 레지스트 패턴과

관련되는 특성에서의 변동이고, $LCDU_{total}$ 은 패턴의 특성에서의 총 변동을 나타내고, 그리고 CDF는 특성의 PDF의 누적 분포 함수를 나타낸다.

- [0553] 73. 조항 66의 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서, 리타겟팅된 패턴은, 임계 불량률에서 특성 한계와 관련되는 마진이 증가되도록 생성되고, 리타겟팅된 패턴의 생성은 다음의 것을 포함한다:
- [0554] 초기 SMO 데이터를 사용하여, 임계 불량률에서 타겟 패턴과 관련되는 특성에서의 편위를 결정하기 위해 소스 마스크 최적화 프로세스를 시뮬레이션하는 것;
- [0555] 임계 불량률에서 특성 한계와 편위 사이의 마진을 결정하는 것; 및
- [0556] 타겟 패턴과 관련되는 특성 한계를 초과하지 않으면서 마진이 증가되도록 타겟 패턴의 특성 값을 조정하는 것 - 조정된 특성 값은 리타겟팅된 패턴을 생성하기 위해 사용됨 - .
- [0557] 74. 조항 66의 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서, 리타겟팅된 패턴의 생성은 반복 프로세스이고, 반복은 다음의 것을 포함한다:
- [0558] (a) 임계 불량률에서 타겟 패턴과 관련되는 특성에서의 편위를 결정하기 위해, 최적화된 소스, 최적화된 마스크 파라미터, 및 초기 타겟 패턴 또는 리타겟팅된 패턴을 포함하는 초기 SMO 데이터를 입력으로서 사용하여, 소스 마스크 최적화 프로세스를 시뮬레이션하는 것;
- [0559] (b) 임계 불량률에서 특성의 편위와 특성 한계 사이의 마진을 결정하는 것;
- [0560] (c) 타겟 패턴과 관련되는 특성 한계를 초과하지 않으면서 마진이 증가되도록 타겟 패턴의 특성 값을 조정하는 것 - 조정된 특성 값은 리타겟팅된 패턴을 생성하기 위해 사용됨 - ; 및
- [0561] (d) 마진이 특성 한계를 초과하는 것 또는 최대화되지 않는 것에 응답하여, 단계 (a) 내지 (c)를 수행하는 것.
- [0562] 75. 조항 74의 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서, 특성의 특성 한계와 특성의 극단 값 사이의 마진이 최대화 되되, 특성의 극단 값은 임계 불량률에서 하나 이상의 프로세스 변수로부터의 기여자에 의해 야기되는 값이다.
- [0563] 76. 조항 66의 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서, 특성의 극단 값은 초점, 선량, 측정된 값과 타겟 값 사이의 에러의 이동 표준 편차(MSD), 레지스트 두께, 및/또는 산 또는 소광제를 포함하는 레지스트 구성 요소에 의해 야기된다.
- [0564] 77. 조항 66의 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서, 다음의 것을 더 포함한다:
- [0565] 전체 칩 레이아웃과 관련되는 시뮬레이션된 특성 값을 결정하기 위해 리타겟팅된 패턴을 사용하여 소스 마스크 최적화(SMO) 프로세스를 시뮬레이션하는 것;
- [0566] 전체 칩 레이아웃과 관련되는 시뮬레이션된 특성 값이 소망되는 수율을 충족하는지의 여부를, 리소그래피 제조 체크를 통해, 결정하는 것; 및
- [0567] 소망되는 수율이 충족되지 않는 것에 응답하여, 소망되는 수율이 충족되도록 소스 파라미터, 마스크 파라미터, 또는 프로세스 파라미터를 조정하는 것 - 조정된 소스 파라미터, 마스크 파라미터, 또는 프로세스 파라미터는 최적화된 소스, 최적화된 조명 동공, 및/또는 최적화된 마스크를 생성하기 위해 사용됨 - .
- [0568] 78. 명령어를 포함하는 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서, 명령어는, 하나 이상의 프로세서에 의해 실행될 때, 다음의 것을 포함하는 동작을 야기한다:
- [0569] (i) 선량의 확률을 결정하기 위한 선량 확률 밀도 함수(선량 PDF) - 선량 PDF는 (a) 피처의 특성 및 (b) 마스크 특성의 편차의 함수이고, 마스크 특성은 기관 상에 피처를 인쇄하기 위해 사용되는 마스크와 관련된 - , (ii) 마스크 특성의 편차에서의 확률을 결정하기 위한 마스크 확률 밀도 함수(마스크 PDF):를 획득하는 것;
- [0570] 마스크 특성 값의 주어진 범위에 걸쳐 (i) 선량 PDF 및 (ii) 마스크 PDF를 컨볼루션하는 것에 의해 특성과 관련된 확률 밀도 함수를 결정하는 것; 및
- [0571] 특성과 관련되는 결정된 확률 밀도 함수에 기초하여, 패턴화 프로세스와 관련되는 프로세스 윈도우를 조정하는 것.
- [0572] 79. 조항 78의 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서, 마스크 PDF는 마스크 PDF에서 왜곡도를 야기하는 비선형 마스크 에러 보강 인자(MEEF)의 의존성을 통합하되, 비선형 MEEF는 마스크 특성과 기관 상에 인쇄되는 것의 특

성 사이의 관계의 역함수를 사용하여 계산된다.

[0573] 80. 조항 79의 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서, 마스크 PDF는 다음에 의해 계산될 수 있는데:

[0574]
$$PDF_{mask}(\delta CD_{mask}) = G_{mask}(g_{mask}(\delta CD_{mask}); \mu_{mask}, \sigma_{mask}) * \left| \frac{\partial}{\partial mask} g_{mask}(\delta CD_{mask}) \right|$$

[0575] G_{mask} 는 마스크 특성의 가우시안 분포이고, G_{mask} 의 평균인 μ_{mask} 는 $g_{mask}(\delta CD_{mask})$ 에 의해 표현되는 기관 상에 인쇄되는 것의 특성과 마스크 특성 사이의 관계의 역함수에 기초하여 계산되고, G_{mask} 의 표준 편차는 σ_{mask} 이고, 이것은 δCD_{mask} 의 측정된 표준 편차 및 역함수 기초하여 결정되는 표준 편차이고, $\left| \frac{\partial}{\partial mask} g_{mask}(\delta CD_{mask}) \right|$ 는 비선형 MEEF를 결정한다.

[0576] 81. 조항 78의 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서, 선량 PDF는 기관 상의 레지스트 패턴에 관련되는 국소적 임계 치수 균일성(LCDU)의 의존성을 통합하되, LCDU는 마스크 특성에 의해 야기된다.

[0577] 82. 조항 81의 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서, 선량 PDF는 정규 분포 또는 평균 선량 및 선량 표준 편차를 갖는 푸아송 분포를 사용하여 결정되되, 평균 선량은 마스크 특성에서의 주어진 편차에 대한 CD와 선량 사이의 관계의 역함수에 의해 결정되고, 선량 표준 편차는 마스크 특성에 의해 야기되는 기관 상의 레지스트 패턴에 관련되는 LCDU에 기초하여 결정된다.

[0578] 83. 조항 82의 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서, 선량 PDF는 다음에 의해 계산될 수 있는데

[0579]
$$PDF_{dose}(g_d(CD, \delta CD_{mask}); \mu_d(\delta CD_{mask}), \sigma_d(\delta CD_{mask}))$$

[0580] 선량($g_d(CD, \delta CD_{mask})$)은 마스크 특성에서의 주어진 편차(δCD_{mask})에 대한 피처의 특성 CD와 선량 사이의 관계의 역함수를 사용하여 결정되고, 선량 표준 편차(σ_d)는 역함수($g_d(CD, \delta CD_{mask})$) 및 측정된 표준 편차($\sigma_{CD}^{resist}(\delta CD_{mask})$)에 기초하되, $\sigma_{CD}^{resist}(\delta CD_{mask})$ 는 주어진 마스크 편차에 대한 레지스트 변동 및 선량에 기인하여 야기되는 LCDU(1σ)를 나타낸다.

[0581] 84. 조항 78의 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서, 다음의 것을 더 포함한다:

[0582] 임계 불량률과 관련되는 특성 한계를 결정하기 위해, 타겟 레이아웃과 관련되는 불량률 데이터를 사용하여, 결정된 확률 밀도 함수를 실행하는 것.

[0583] 85. 명령어를 포함하는 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서, 명령어는, 하나 이상의 프로세서에 의해 실행될 때, 다음의 것을 포함하는 동작을 야기한다:

[0584] (i) 복수의 선량-초점 설정, 및 (ii) 복수의 선량-초점 설정의 각각의 설정과 관련되는 인쇄된 패턴의 특성의 측정된 값에 기초한 기준 분포:를 획득하는 것;

[0585] 조정 모델 및 복수의 선량-초점 설정에 기초하여, 확률 밀도 함수(PDF) - PDF는 선량과 관련되는 분산 및 조정 모델의 함수이고, 조정 모델은 PDF에 대한 비선형 선량 감도 기여의 비율을 변경하도록 구성됨 - 와 기준 분포 사이의 에러가 감소되도록 특성의 PDF를 결정하는 것; 및

[0586] 특성의 결정된 PDF에 기초하여, 패턴화 프로세스와 관련되는 프로세스 윈도우를 조정하는 것.

[0587] 86. 조항 85의 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서, PDF의 결정은 반복 프로세스이고, 반복은 다음의 것을 포함한다:

[0588] 조정 모델에 기초하여, 복수의 선량-초점 설정 중 주어진 선량-초점 설정에 대한 조정 값을 결정하는 것;

[0589] 조정 값에 기초하여, 패턴의 특성의 PDF를 결정하는 것;

[0590] PDF와 기준 분포 사이의 에러를 결정하는 것; 및

[0591] 에러가 최소화되도록, 복수의 선량-초점 설정 중 주어진 선량 및 초점 설정에 대한 조정 모델의 파라미터를 조정하는 것.

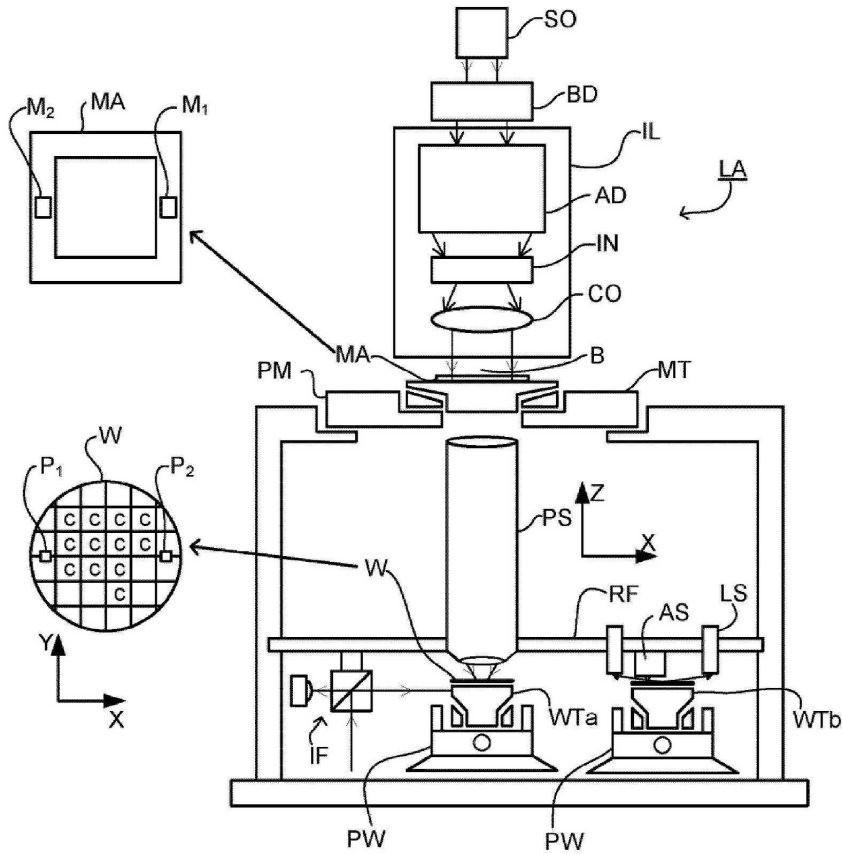
- [0592] 87. 조항 85의 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서, PDF는 제1 PDF 및 제2 PDF의 컨볼루션이되, 제1 PDF는 제1 변동의 함수이고, 제1 변동은 조정 모델 및 선량의 변동의 곱이고, 제2 PDF는 패턴의 특성에서의 변동에 기여하는 선량 이외의 인자와 관련되는 제2 변동의 함수이다.
- [0593] 88. 조항 87의 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서, PDF의 결정은 반복 프로세스이고, 반복은 다음의 것을 포함한다:
- [0594] 패턴의 특성의 PDF를 결정하기 위해 제1 PDF 및 제2 PDF를 컨볼루션하는 것;
- [0595] PDF와 기준 분포 사이의 에러를 결정하는 것; 및
- [0596] 에러가 최소화되도록, 복수의 선량-초점 설정 중 주어진 선량 및 초점 설정에 대한 제1 변동 및 제2 변동의 파라미터를 조정하는 것.
- [0597] 89. 조항 86 내지 88 중 임의의 것의 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서, 복수의 선량-초점 설정에 대한 조정 모델의 파라미터의 조정은 다음의 것으로부터 선택되는 최적화 알고리즘에 의해 수행된다: 적응적 모멘트 추정 또는 경사 하강법.
- [0598] 90. 조항 85의 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서, 조정 모델은 선량 및 초점의 다항식 함수이다.
- [0599] 91. 조항 88의 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서, 다음의 것을 더 포함한다:
- [0600] 복수의 선량-초점 설정의 각각의 선량 및 각각의 초점 설정에 대한 기준 분포와 관련하여 최소 에러를 갖는 PDF와 관련되는 복수의 조정 값을 결정하는 것; 및
- [0601] 적합된 다항식 함수와 복수의 조정 모델 값 사이의 차이가 최소화되도록 조정 모델을 결정하기 위해, 복수의 조정 값에 기초하여, 선량 및 초점의 다항식 함수를 적합시키는 것.
- [0602] 92. 조항 85의 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서, 다음의 것을 더 포함한다:
- [0603] 패턴과 관련되는 불량률 데이터를 사용하여, 임계 불량률과 관련되는 특성 한계를 결정하기 위해 결정된 확률 밀도 함수를 실행하는 것.
- [0604] 블록도에서, 예시된 컴포넌트는 별개의 기능 블록으로서 묘사되지만, 그러나, 실시형태는, 본원에서 설명되는 기능이 예시되는 바와 같이 편제되는 시스템으로 제한되지는 않는다. 컴포넌트의 각각에 의해 제공되는 기능성은, 현재 묘사되는 것과는 상이하게 구성되는 소프트웨어 또는 하드웨어 모듈에 의해 제공될 수도 있는데, 예를 들면, 그러한 소프트웨어 또는 하드웨어는 혼합될 수도 있거나, 결합될 수도 있거나, 복제될 수도 있거나, 분리될(broke up) 수도 있거나, (예를 들면, 데이터 센터 내에서 또는 지리적으로) 분산될 수도 있거나, 또는 다르게는 상이하게 구성될 수도 있다. 본원에서 설명되는 기능성은, 유형의 비밀시적 머신 판독 가능 매체 상에 저장되는 코드를 실행하는 하나 이상의 컴퓨터의 하나 이상의 프로세서에 의해 제공될 수도 있다. 몇몇 경우에, 씨드파티 콘텐츠 전달 네트워크는 네트워크를 통해 전달되는 정보의 일부 또는 전부를 호스팅할 수도 있는데, 이 경우, 정보(예를 들면, 콘텐츠)가 공급된다고 또는 다르게는 제공된다고 말하여지는 정도까지, 정보는, 콘텐츠 전달 네트워크로부터 그 정보를 검색하는 명령어를 전송하는 것에 의해 제공될 수도 있다.
- [0605] 구체적으로 달리 언급되지 않는 한, 논의로부터 명백한 바와 같이, "프로세싱", "컴퓨팅", "계산하는", "결정하는" 또는 등등과 같은 용어를 활용하는 논의는, 특수 목적 컴퓨터 또는 유사한 특수 목적 전자 프로세싱/컴퓨팅 디바이스와 같은 특정한 장치의 액션 또는 프로세스를 가리킨다는 것이 본 명세서 전체에 걸쳐 인식된다.
- [0606] 독자는 본 출원이 여러 가지 발명을 설명한다는 것을 인식해야 한다. 그들 발명을 다수의 별개의 특허 출원으로 분리하는 대신, 이들 발명은 단일의 문서로 그룹화되었는데, 그 이유는, 그들의 관련된 주제가 출원 과정에서의 절약에 적합하기 때문이다. 그러나, 그러한 발명의 뚜렷한 이점과 양태는 혼동되지 않아야 한다. 몇몇 경우에, 실시형태는 본원에서 언급되는 모든 결합을 해결하지만, 그러나, 본 발명은 독립적으로 유용하다는 것, 및 몇몇 실시형태는 그러한 문제의 일부만을 해결하거나 또는 본 개시를 고찰하는 기술 분야의 숙련된 자에게 명백할 다른 언급되지 않은 이점을 제공한다는 것이 이해되어야 한다. 비용 제약에 기인하여, 본원에서 개시되는 몇몇 발명은 현재 청구되지 않을 수도 있고, 연속 출원과 같은 나중의 출원에서 또는 본 청구범위를 수정하는 것에 의해 청구될 수도 있다. 마찬가지로, 공간 제약에 기인하여, 본 문서의 요약서 섹션도 또는 발명의 내용(Summary) 섹션도, 모든 그러한 발명의 포괄적인 목록 또는 그러한 발명의 모든 양태를 포함하는 것으로 간주되지 않아야 한다.

- [0607] 설명 및 도면은 본 개시를 개시되는 특정한 형태로 제한하도록 의도되는 것이 아니며, 오히려, 의도는, 첨부된 청구범위에 의해 정의되는 바와 같은 본 발명의 취지 및 범위 내에 속하는 모든 수정예, 등가예, 및 대안예를 포괄하는 것이라는 것이 이해되어야 한다.
- [0608] 본 발명의 다양한 양태의 수정예 및 대안적인 실시형태는, 이 설명을 고려한 기술 분야의 숙련된 자에게 명백할 것이다. 따라서, 이 설명 및 도면은 단지 예시적인 것으로 해석되어야 하며, 통상의 숙련자에게 본 발명을 실행하는 일반적인 방식을 교수하는 목적을 위한 것이다. 본원에 도시되고 설명되는 본 발명의 형태는 실시형태의 예로서 간주되어야 한다는 것이 이해되어야 한다. 이 설명의 이점을 가진 이후 기술 분야에서 숙련된 자에게 모두가 명백할 것처럼, 엘리먼트 및 재료는, 본원에서 예시되고 설명되는 것들을 대신할 수도 있고, 부품 및 프로세스는 반전 또는 생략될 수도 있고, 소정의 피처는 독립적으로 활용될 수도 있으며, 실시형태 또는 실시형태의 피처는 결합될 수도 있다. 다음의 청구범위에서 설명되는 바와 같은 본 발명의 취지 및 범위로부터 벗어나지 않으면서 본원에서 설명되는 엘리먼트에서 변경이 이루어질 수도 있다. 본원에서 사용되는 표제(heading)는 단지 편제의 목적(organizational purpose)을 위한 것이며, 설명의 범위를 제한하기 위해 사용되도록 의도되지 않는다.
- [0609] 본 출원 전반에 걸쳐 사용될 때, 단어 "할 수도 있는(may)"는, 강제적 의미(즉, 해야함(must)을 의미함)보다는 허용적 의미(즉, ~할 잠재성을 갖는다는 것을 의미함)에서 사용된다. 단어 "포함한다(include)", "포함하는(including)", 및 "포함한다(includes)" 및 등등은, ~를 포함하지만 그러나 ~로 제한되지 않는다는 것을 의미한다. 본 출원 전체에 걸쳐 사용될 때, 단수 형태 "a(한)", "an(한)" 및 "the(그)"는, 내용이 명시적으로 달리 지시하지 않는 한, 복수의 지시 대상을 포함한다. 따라서, 예를 들면, "한(an)" 엘리먼트 또는 "한(a)" 엘리먼트에 대한 언급은, "하나 이상"과 같은 하나 이상의 엘리먼트에 대한 다른 용어 및 어구의 사용에도 불구하고, 두 개 이상의 엘리먼트의 조합을 포함한다. 용어 "또는"은, 달리 지시되지 않는 한, 비배타적이다, 즉, "그리고" 및 "또는" 둘 모두를 포괄한다. 조건부 관계를 설명하는 용어, 예를 들면, "X에 응답하여, Y", "X이면, Y", "X인 경우, Y", "X인 때, Y", 및 등등은, 선행사가 필요한 인과 조건(necessary causal condition)이거나, 선행사가 충분한 인과 조건(sufficient causal condition)이거나, 또는 선행사가 결과의 기여하는 인과 조건(contributory causal condition)인 인과 관계를 포괄하는데, 예를 들면, "조건 Y가 획득되면 상태 X가 발생한다"는 "Y인 경우에만 X가 발생한다" 및 "Y 및 Z인 경우 X가 발생한다"에 대한 총칭이다. 그러한 조건부 관계는, 몇몇 결과가 지연될 수도 있기 때문에 선행사 획득을 즉시 따르는 결과로 제한되지 않으며, 조건문(conditional statement)에서, 선행사는 그들의 결과에 연결된다, 예를 들면, 선행사는 결과 발생 가능성에 관련된다. 복수의 특질(attribute) 또는 기능이 복수의 오브젝트(예를 들면, 단계 A, B, C 및 D를 수행하는 하나 이상의 프로세서)로 매핑되는 진술(statement)은, 달리 지시되지 않는 한, 모든 그러한 특질 또는 기능이 모든 그러한 오브젝트로 매핑되는 것 및 특질 또는 기능의 서브세트가 특질 또는 기능의 서브세트에 매핑되는 것 둘 모두(예를 들면, 모든 프로세서 각각이 단계 A 내지 D를 수행하는 것, 및 프로세서 1이 단계 A를 수행하고, 프로세서 2가 단계 B 및 단계 C의 일부를 수행하고, 프로세서 3이 단계 C의 일부 및 단계 D를 수행하는 경우 둘 모두)를 포괄한다. 또한, 달리 지시되지 않는 한, 하나의 값 또는 액션이 다른 조건 또는 값"에 기초한다"는 진술은, 조건 또는 값이 유일한 인자인 경우 및 조건 또는 값이 복수의 인자 중 하나의 인자인 경우 둘 모두를 포괄한다. 달리 나타내어지지 않는 한, 몇몇 컬렉션(collection)의 "각각의" 인스턴스가 몇몇 속성을 갖는다는 진술은, 더 큰 컬렉션의 몇몇의 다르거나 동일한 또는 유사한 멤버가 그 속성을 갖지 않는 경우를 배제하도록 판독되지 않아야 한다, 즉, 각각(each)은 반드시 각각(each) 및 모든 것(every)을 의미하지는 않는다. 범위로부터의 선택에 대한 언급은, 범위의 엔드포인트를 포함한다.
- [0610] 상기의 설명에서, 기술 분야의 숙련된 자에 의해 이해될 바와 같이, 플로우차트에서의 임의의 프로세스, 설명 또는 블록은, 프로세스에서 특정한 논리적 기능 또는 단계를 구현하기 위한 하나 이상의 실행 가능 명령어를 포함하는 코드의 모듈, 세그먼트 또는 일부를 나타내는 것으로 이해되어야 하고, 대안적인 구현에는, 수반되는 기능성에 따라, 순차적으로 동시에 또는 역순으로 실행되는 것을 비롯하여, 도시되는 또는 논의되는 것으로부터 벗어난 순서로 기능이 실행될 수 있는 본 발명의 예시적인 실시형태의 범위 내에 포함된다.
- [0611] 소정의 미국 특허, 미국 특허 출원, 또는 다른 자료(예를 들면, 논문)가 참조에 의해 통합되는 경우, 그러한 미국 특허, 미국 특허 출원, 및 다른 자료의 텍스트는, 본원에서 기술되는 진술 및 도면과 그러한 자료 사이에 어떠한 충돌도 없는 정도까지만 참조에 의해 통합된다. 그러한 충돌의 경우에, 참조에 의해 통합되는 그러한 미국 특허, 미국 특허 출원, 및 기타 자료에서의 임의의 그러한 충돌하는 텍스트는 참조에 의해 본원에 명시적으로 통합되지 않는다.
- [0612] 소정의 실시형태가 설명되었지만, 이들 실시형태는 단지 예로서 제시되었으며, 본 개시의 범위를 제한하도록 의

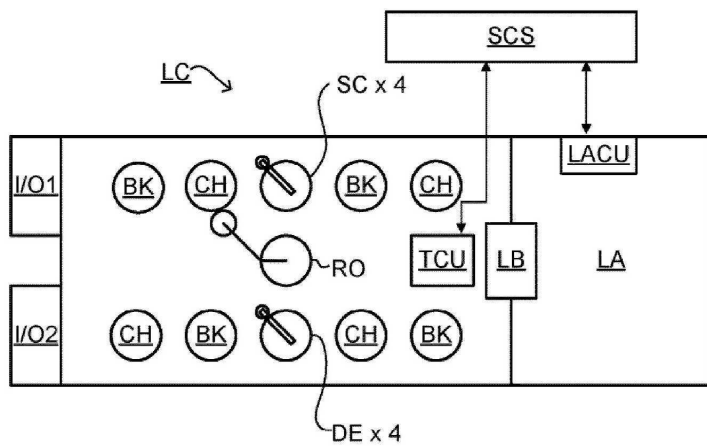
도되지 않는다. 실제로, 본원에서 설명되는 신규의 방법, 장치 및 시스템은 다양한 다른 형태로 구체화될 수 있고; 더구나, 본원에서 설명되는 방법, 장치 및 시스템의 형태에 있어서의 다양한 생략, 대체 및 변경은 본 개시의 취지로부터 벗어나지 않으면서 이루어질 수 있다. 첨부된 청구범위 및 그들의 균등물은 본 개시의 범위 및 취지 내에 속하는 그러한 형태 또는 수정을 포괄하도록 의도된다.

도면

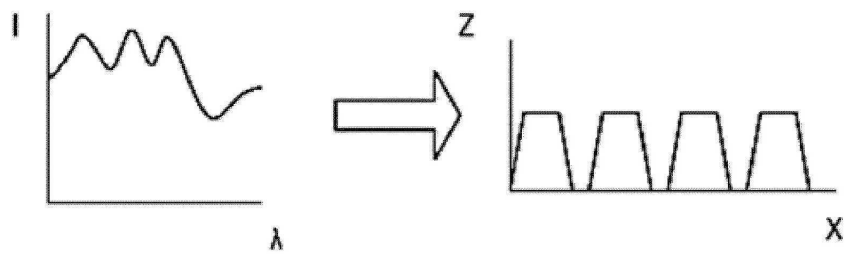
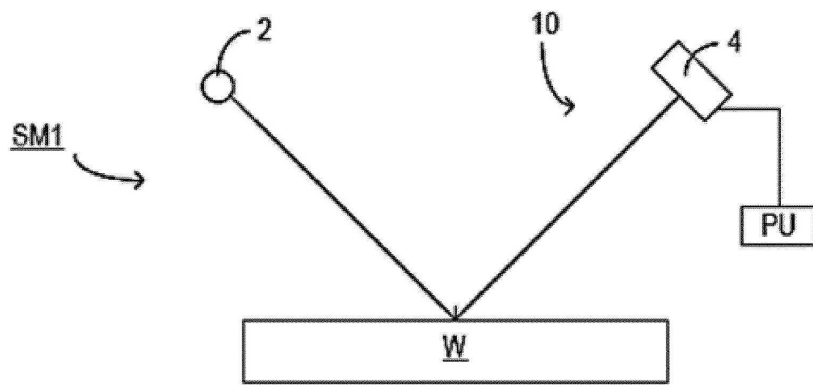
도면1



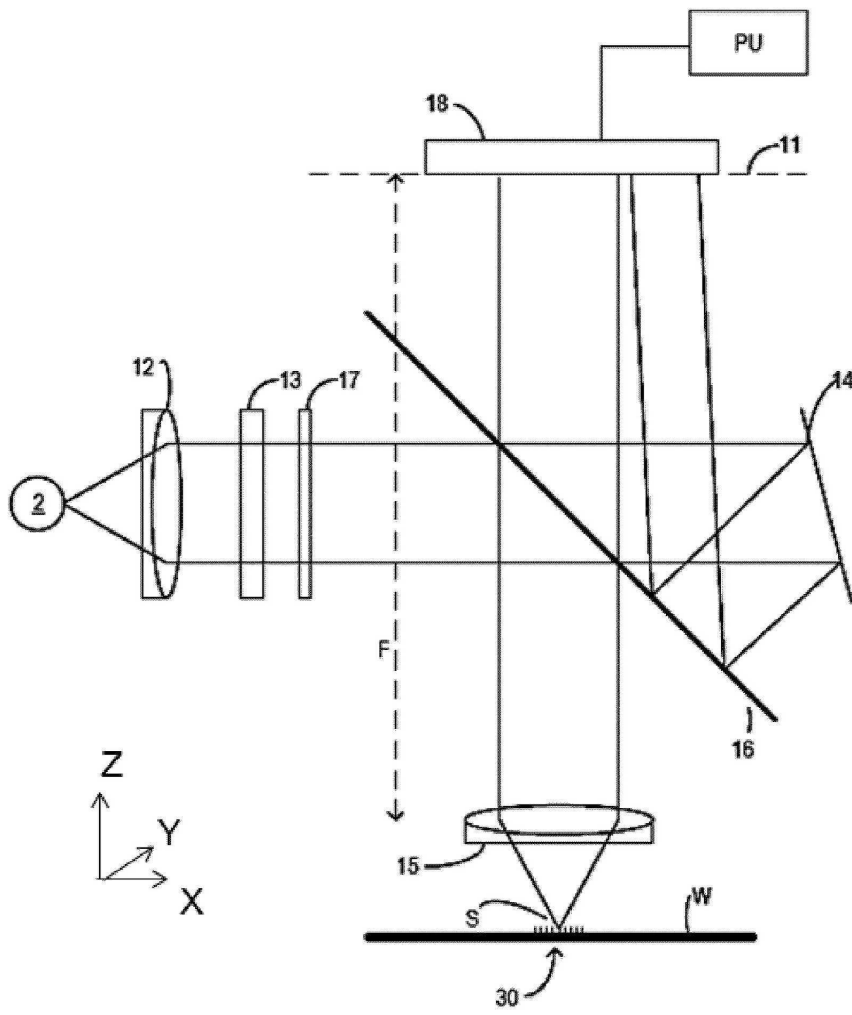
도면2



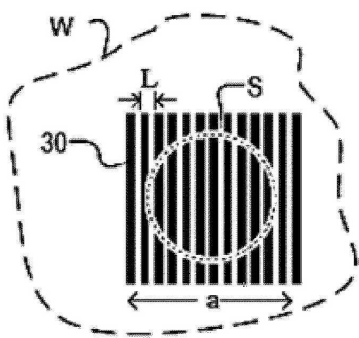
도면3



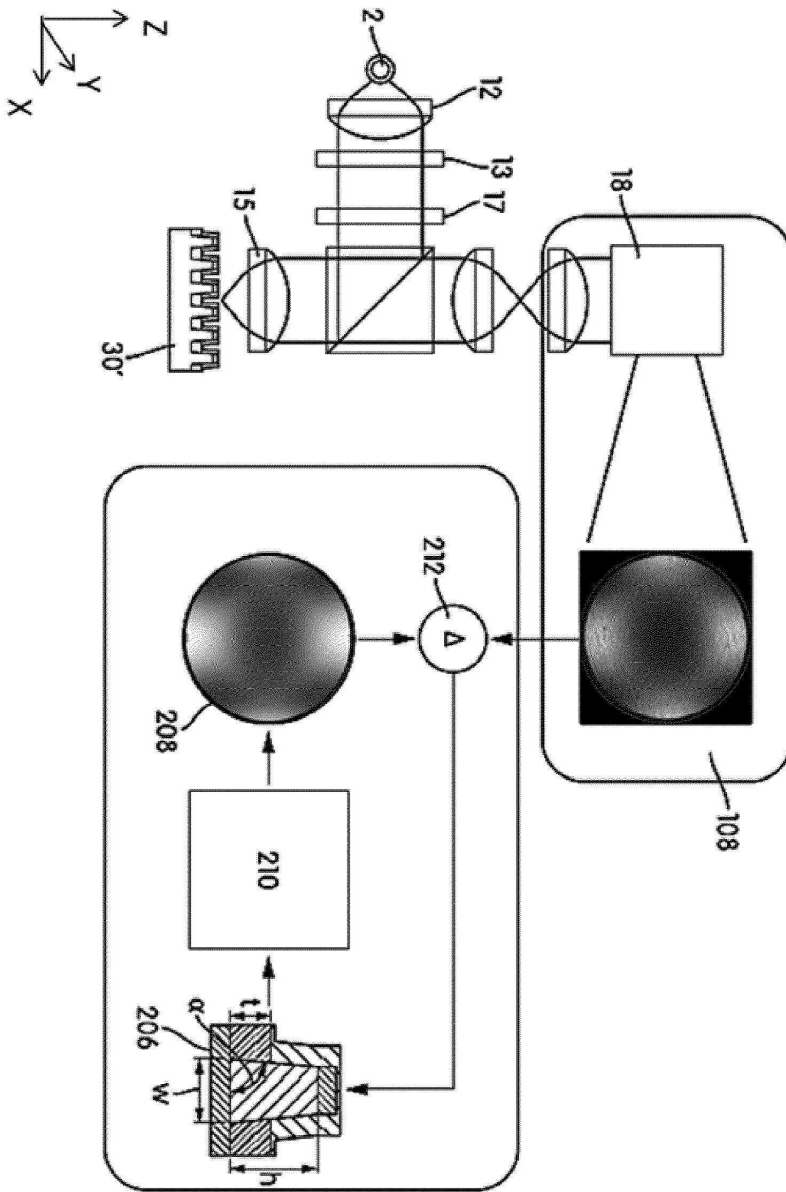
도면4



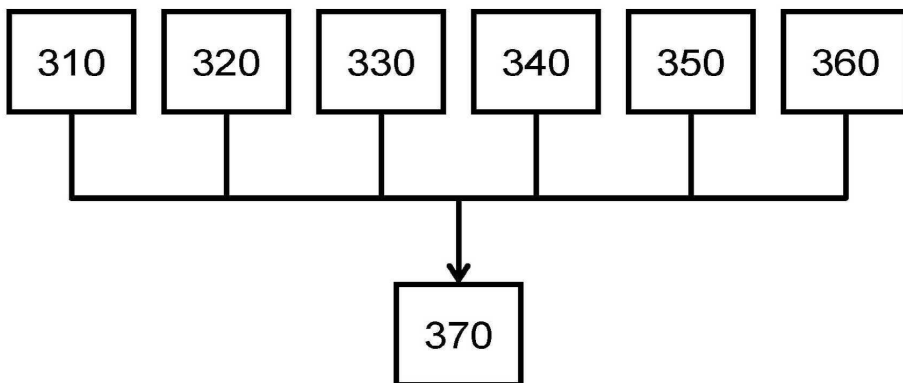
도면5



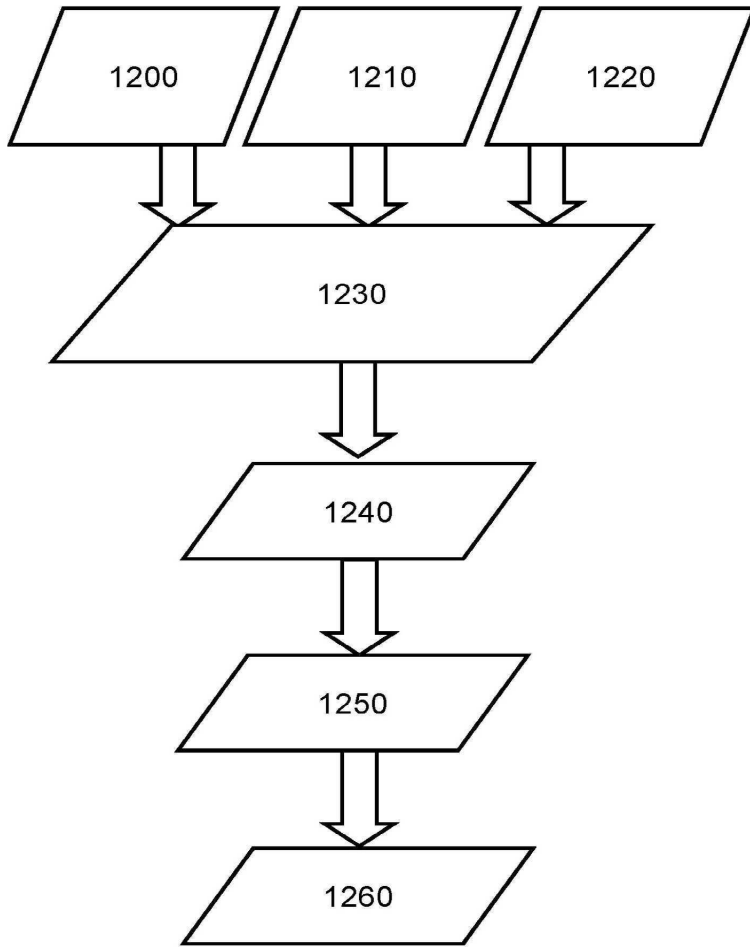
도면6



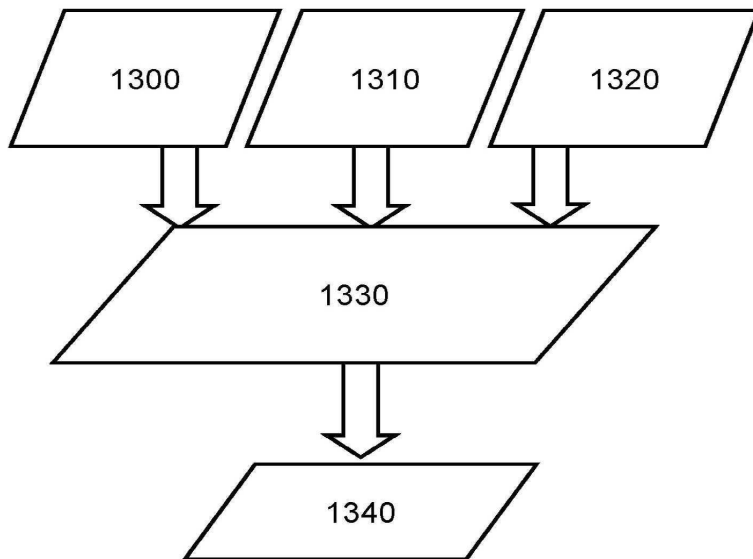
도면7



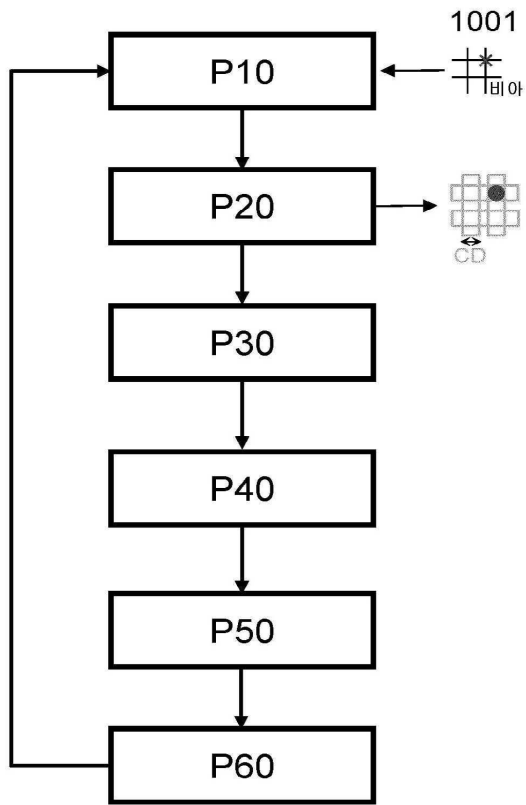
도면8



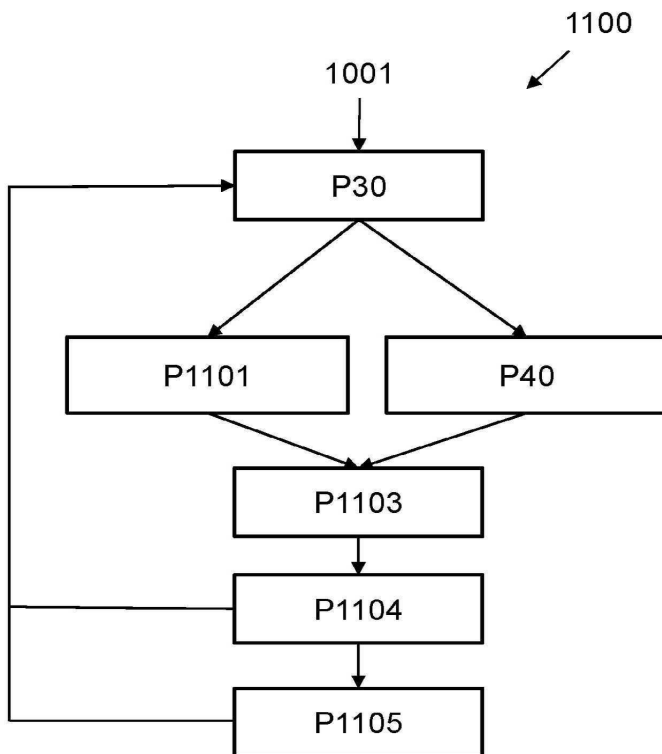
도면9



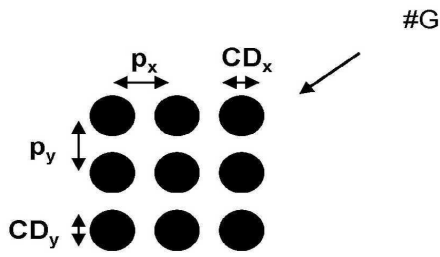
도면10



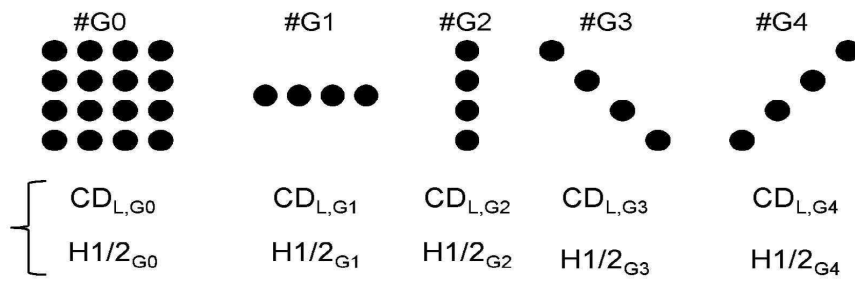
도면11



도면12a



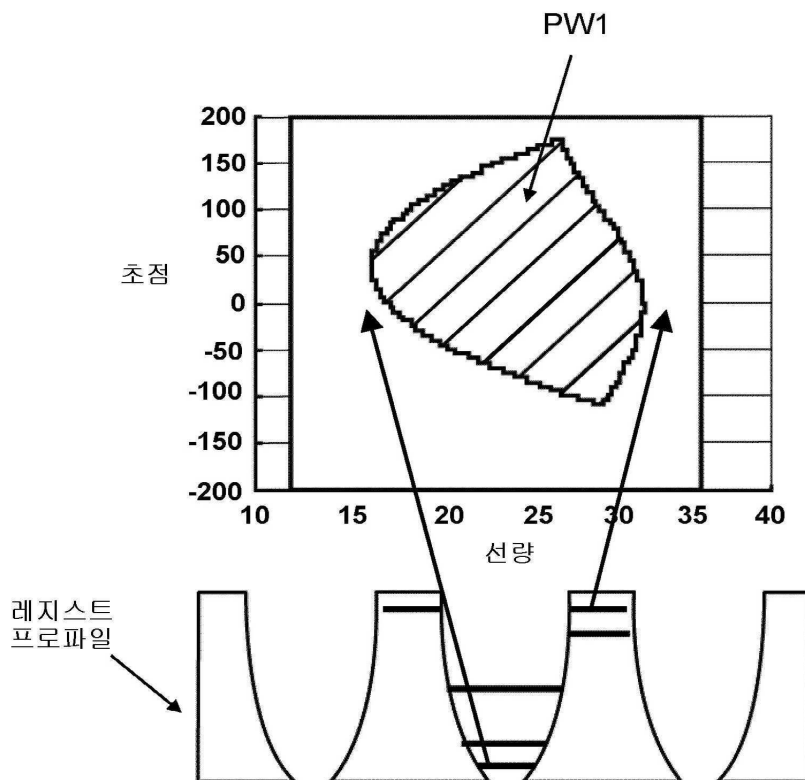
도면12b



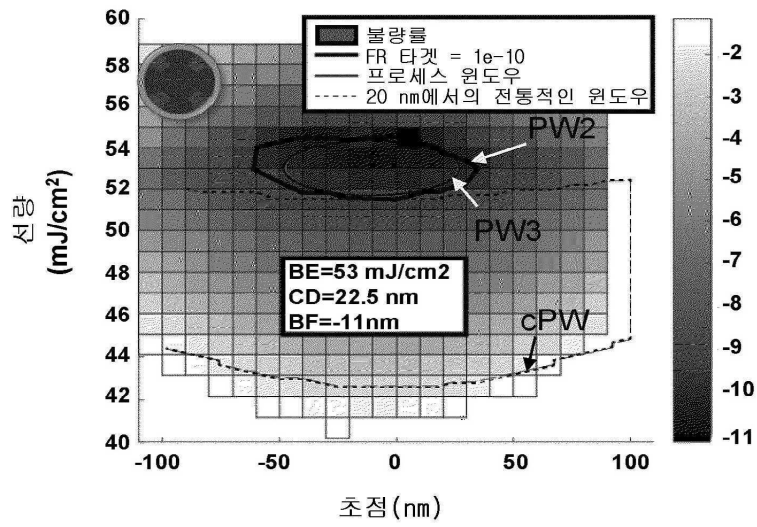
도면12c



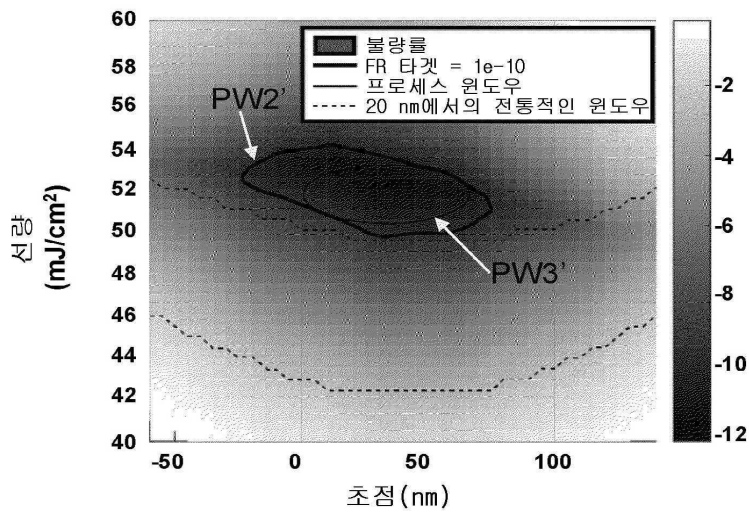
도면13



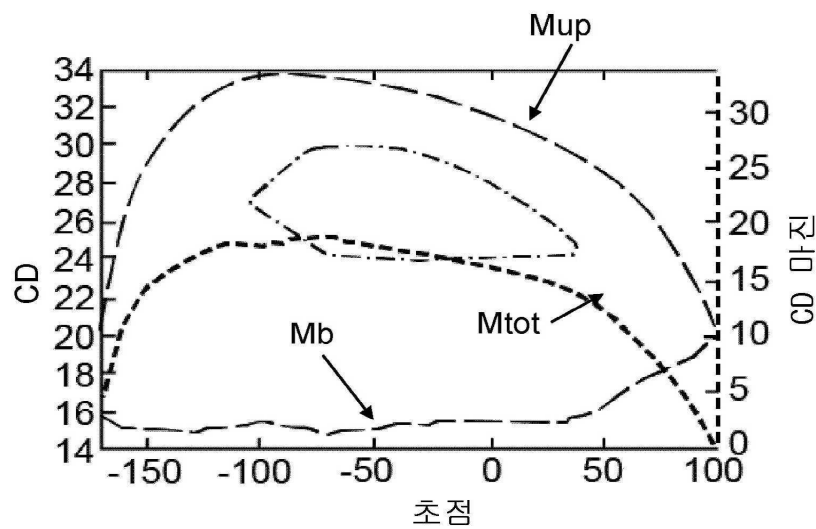
도면14a



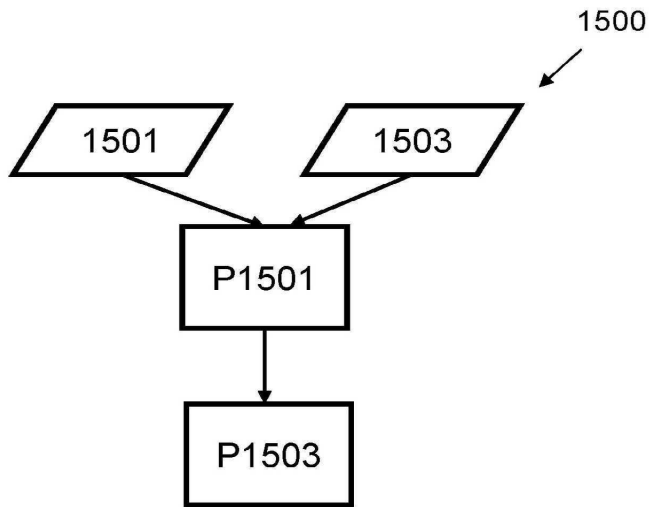
도면14b



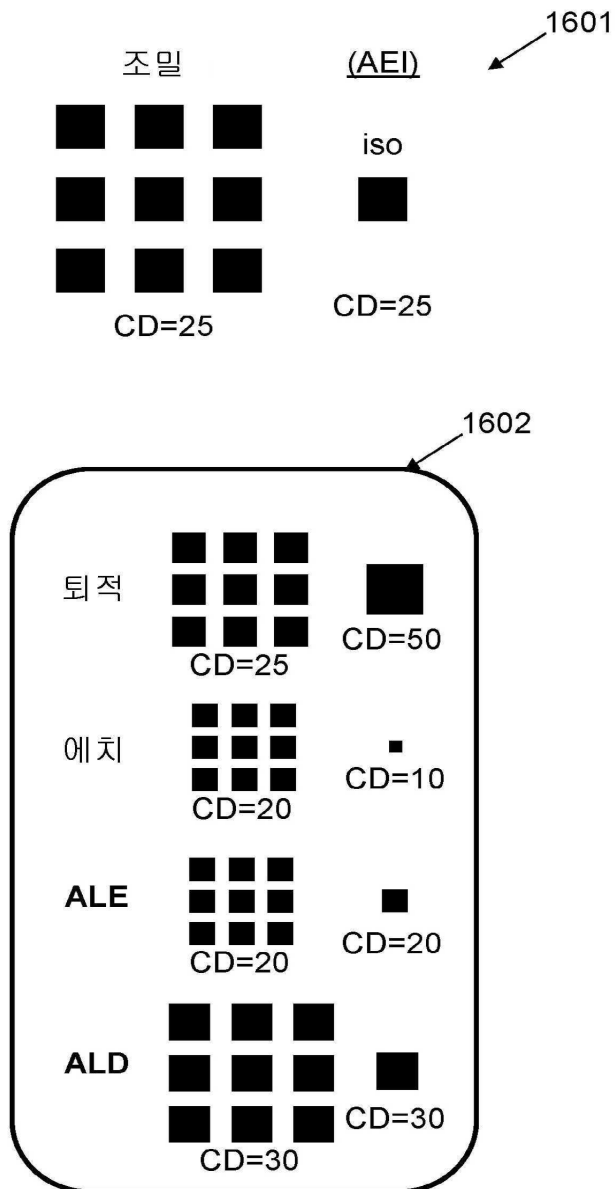
도면14c



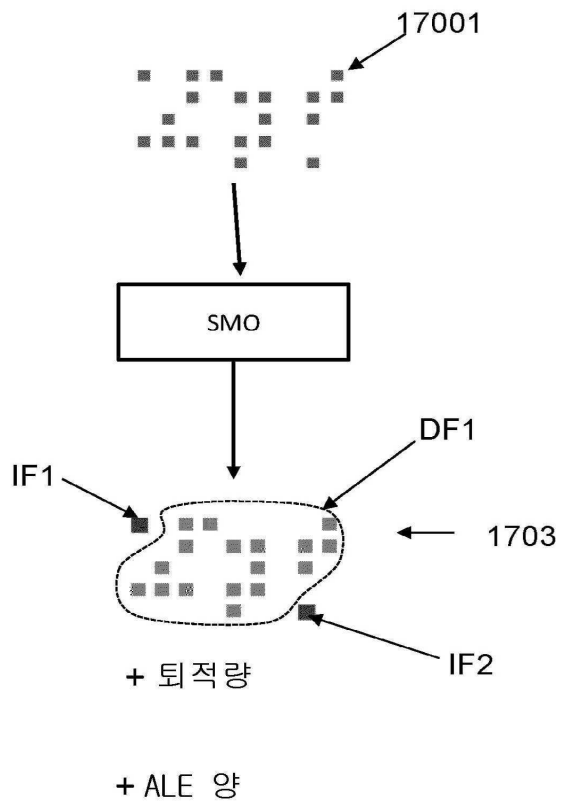
도면15



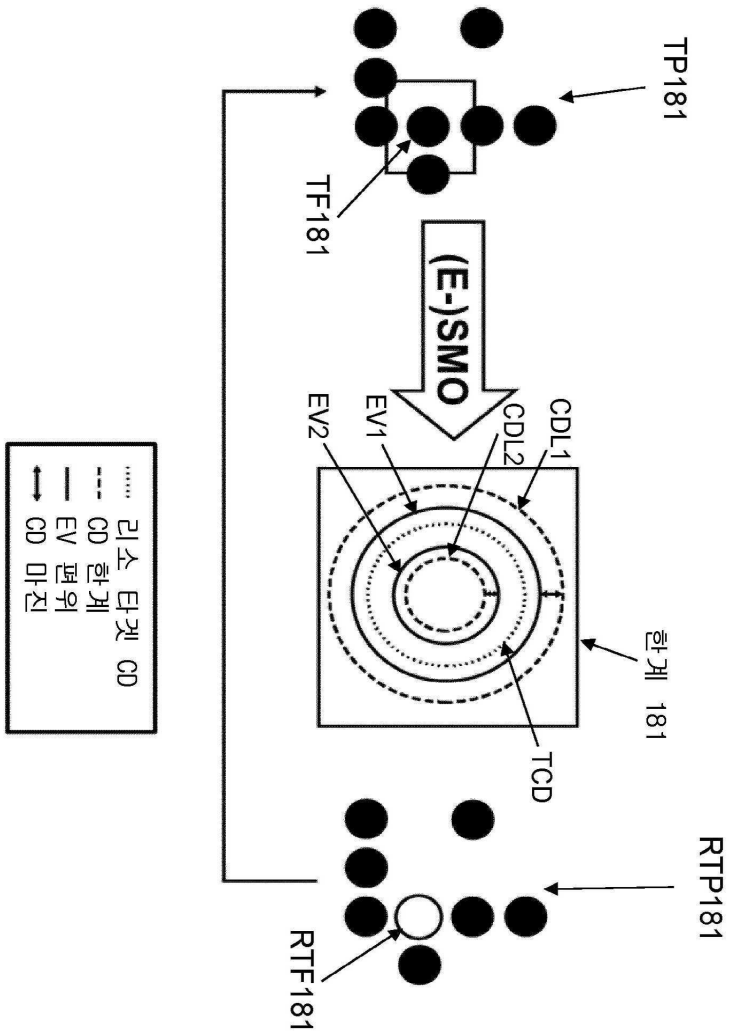
도면16



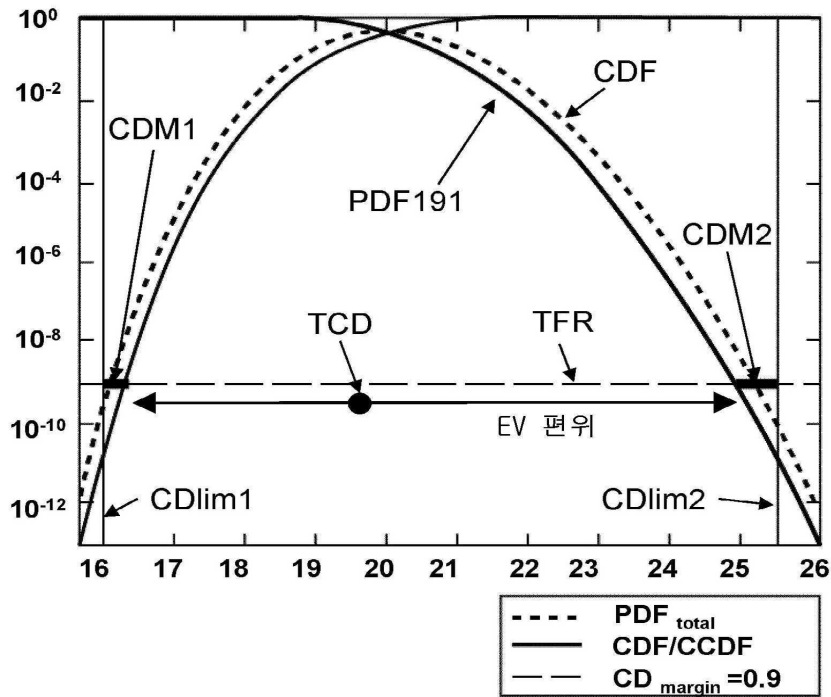
도면17



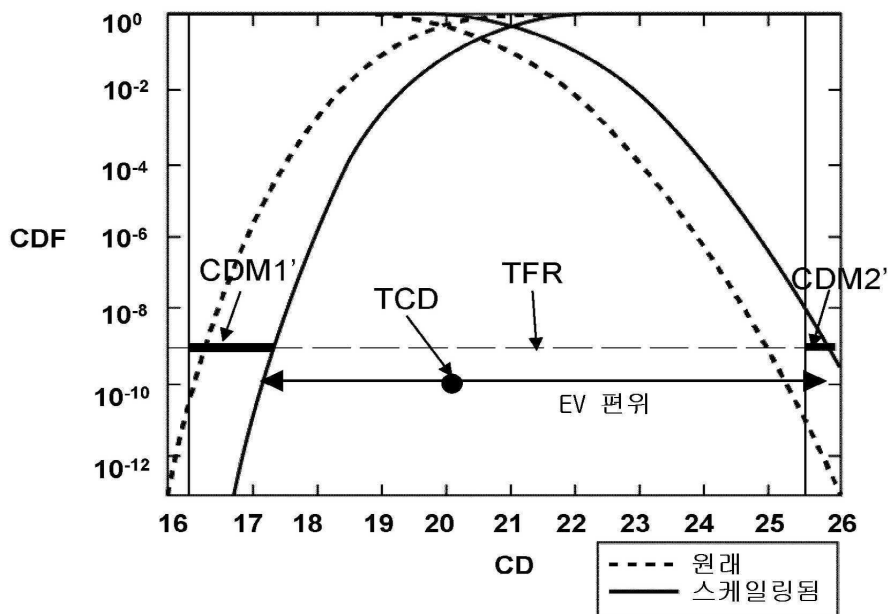
도면18



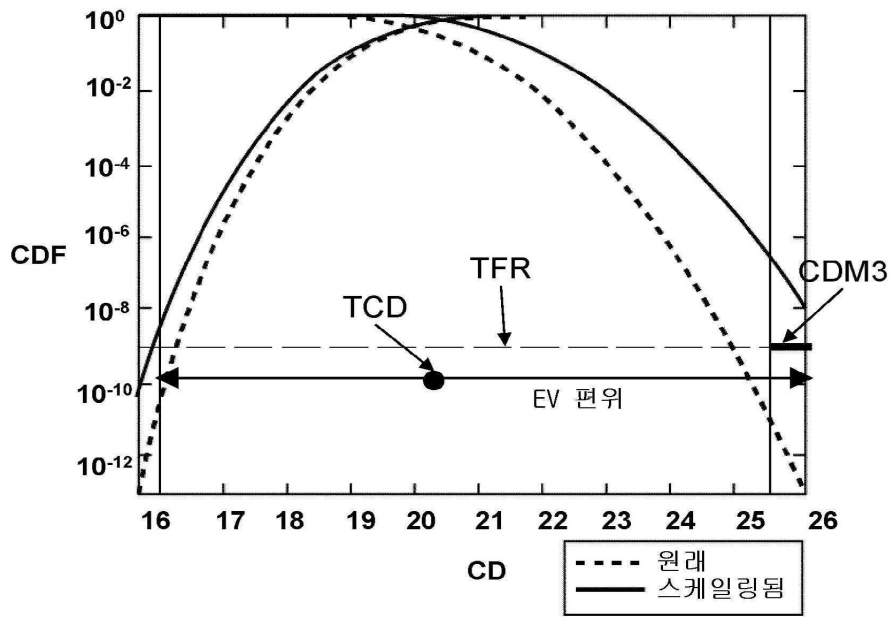
도면19



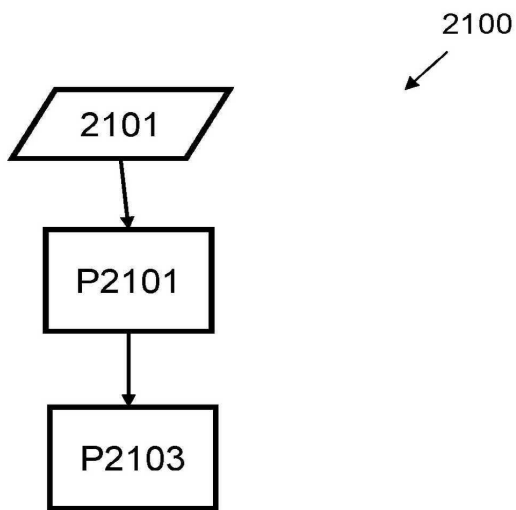
도면20a



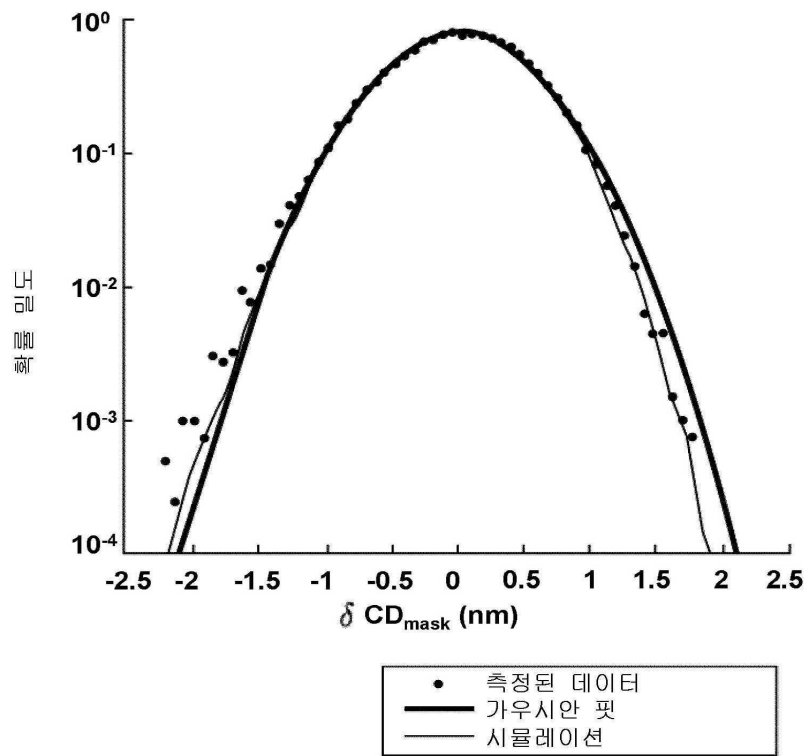
도면20b



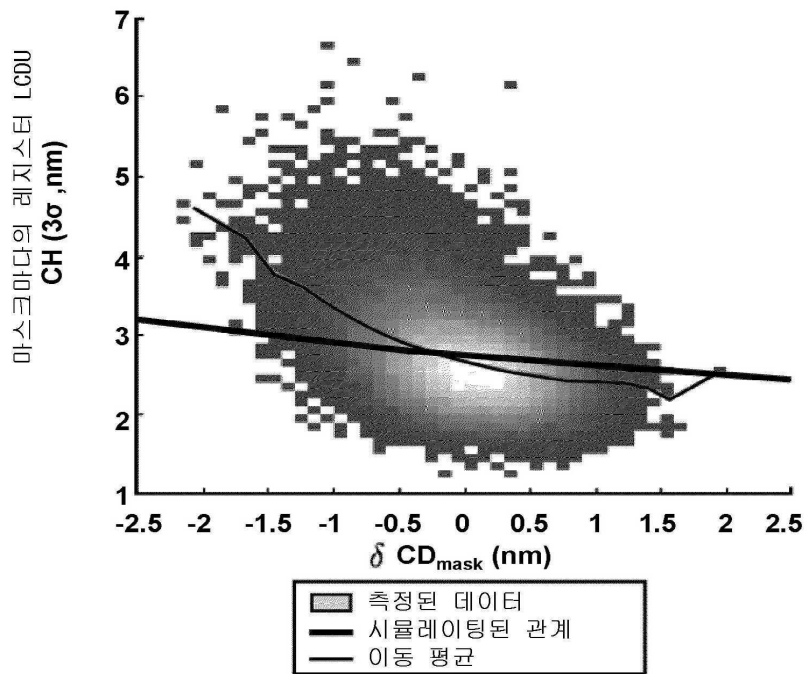
도면21



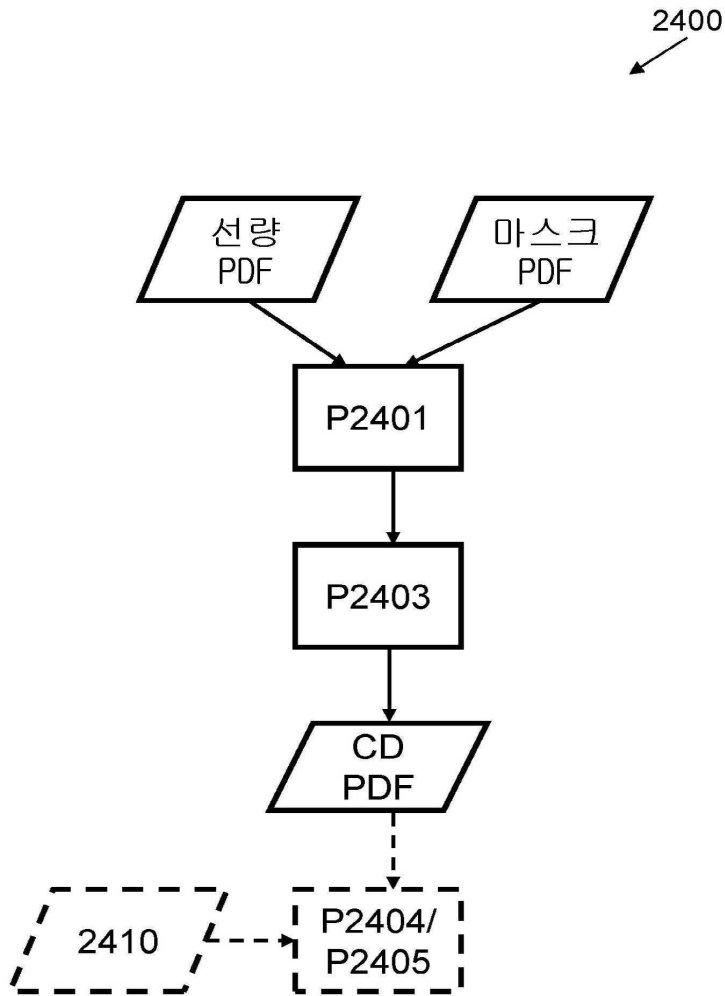
도면22



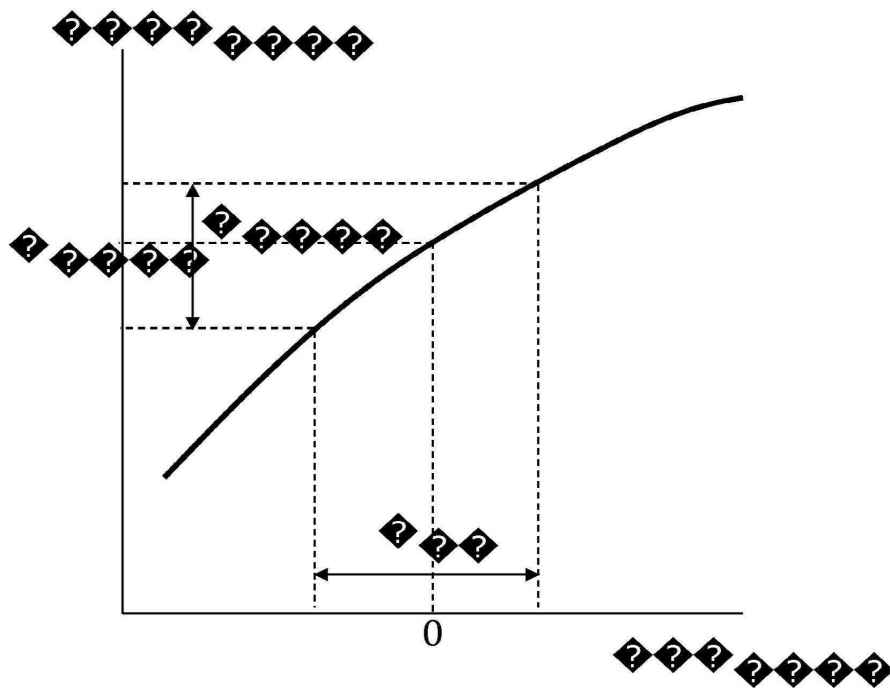
도면23



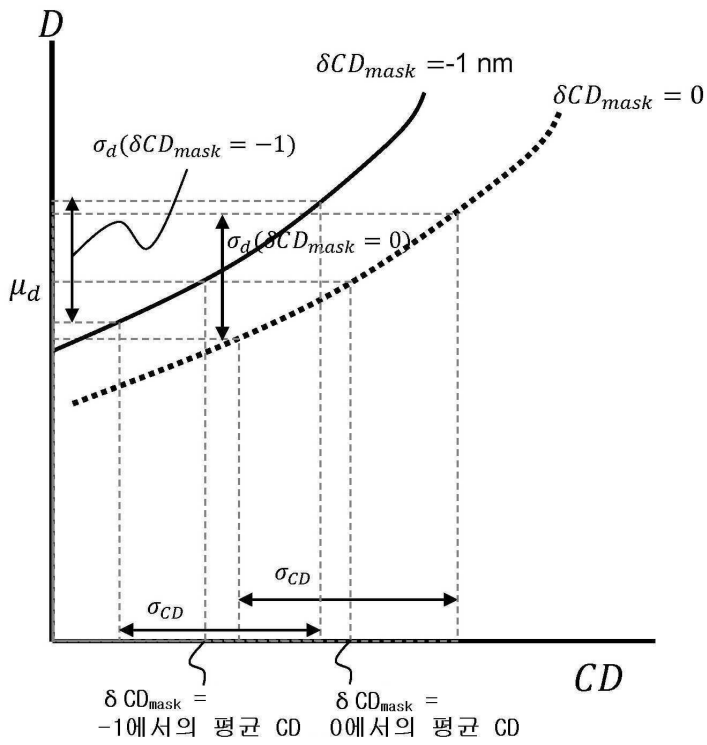
도면24



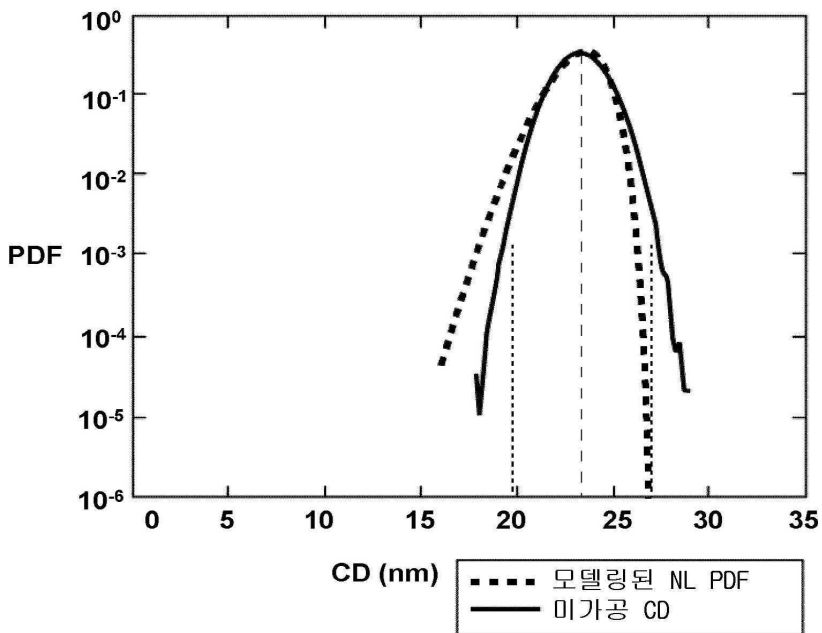
도면25



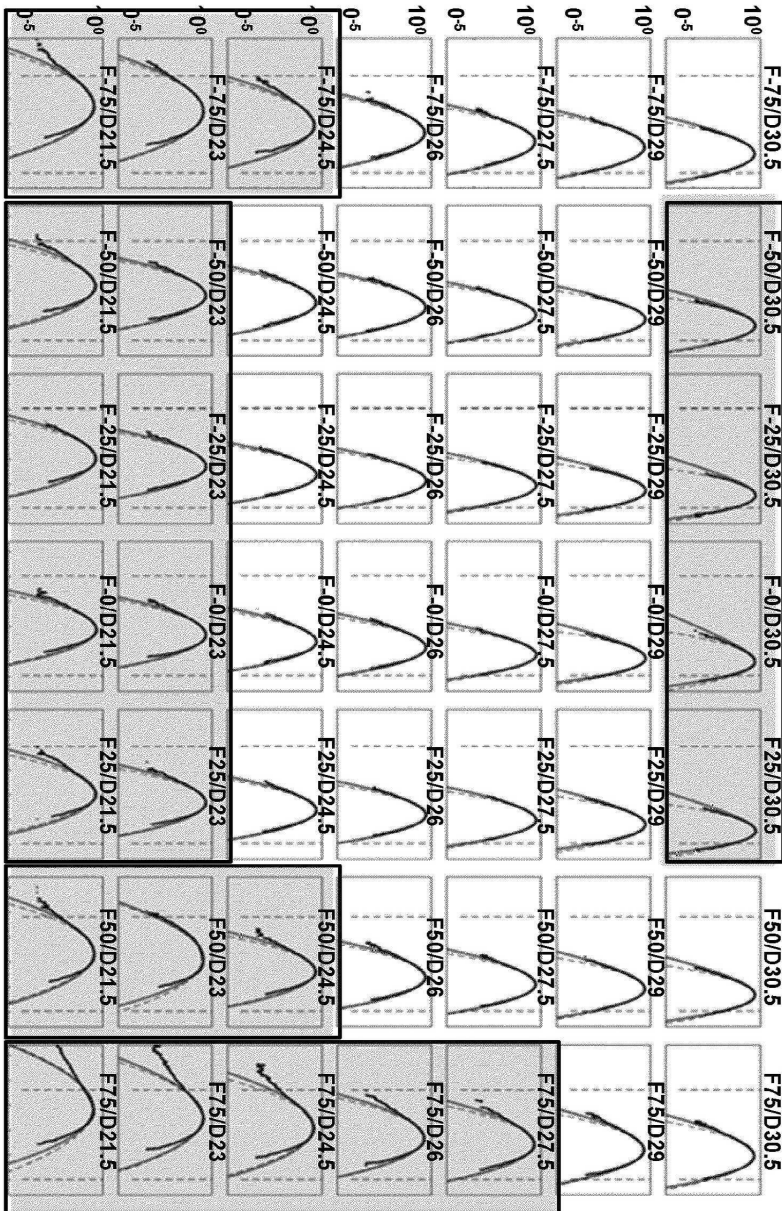
도면26



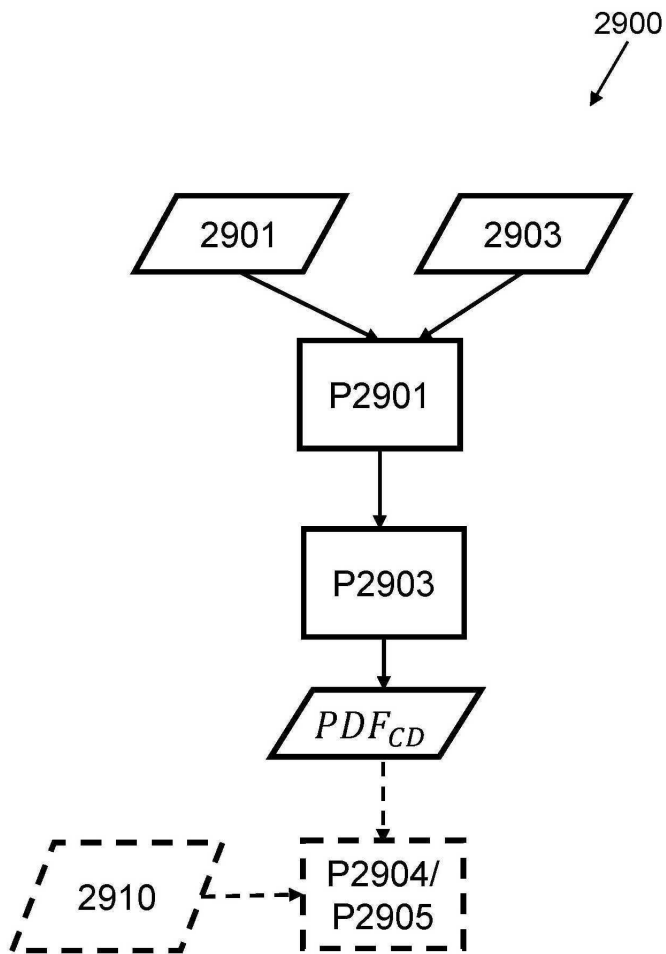
도면27



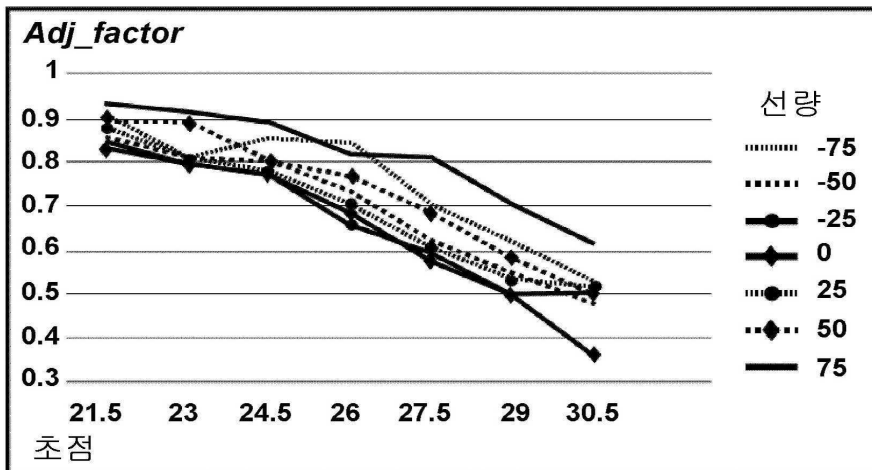
도면28



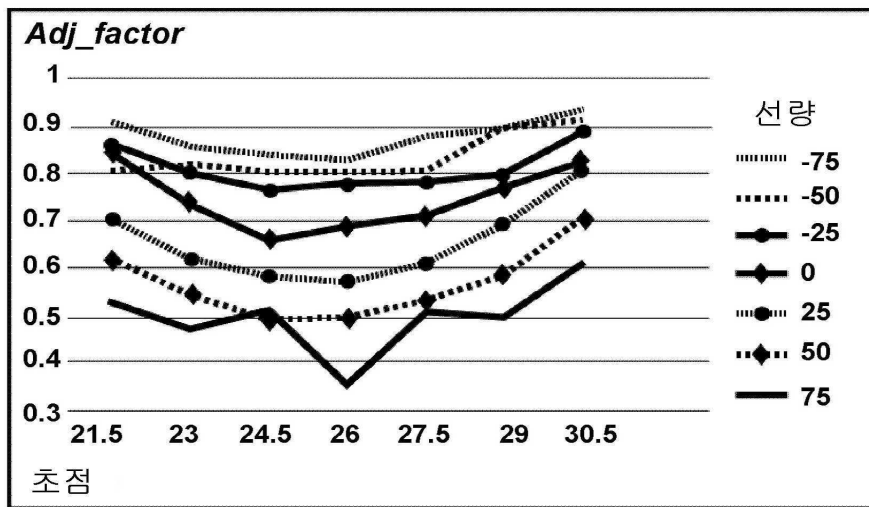
도면29



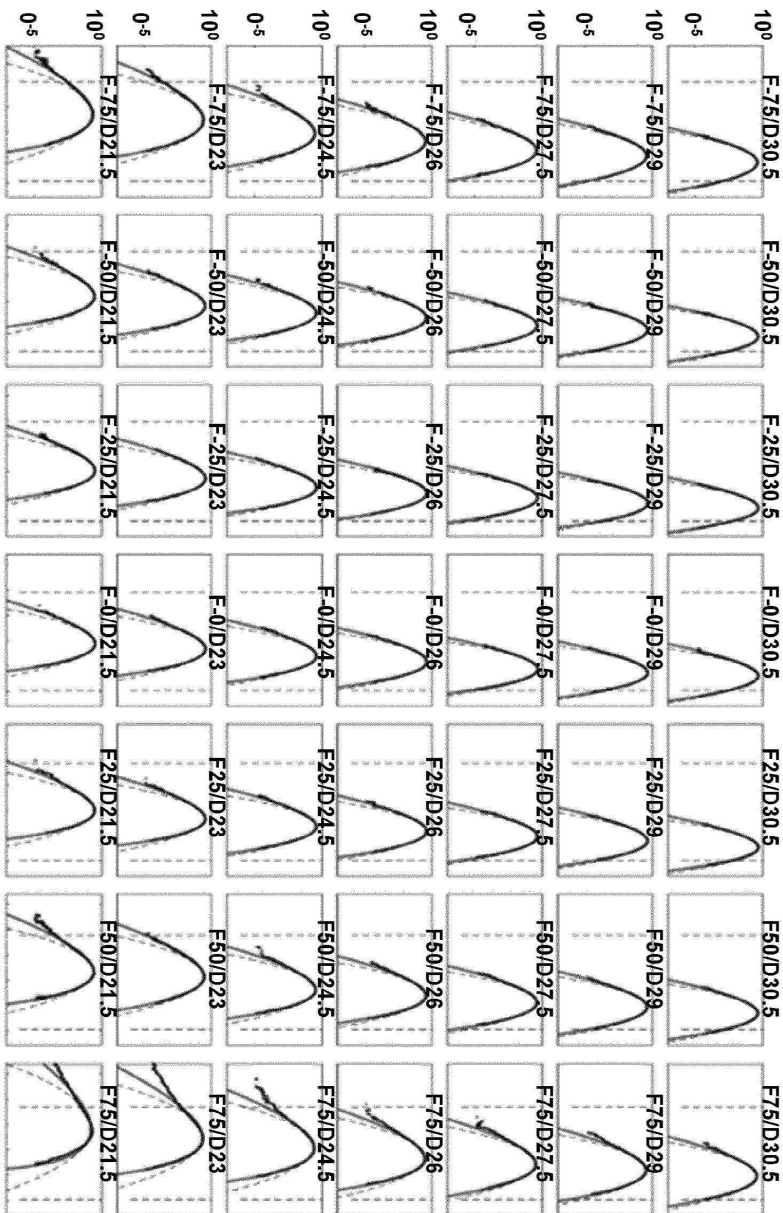
도면30a



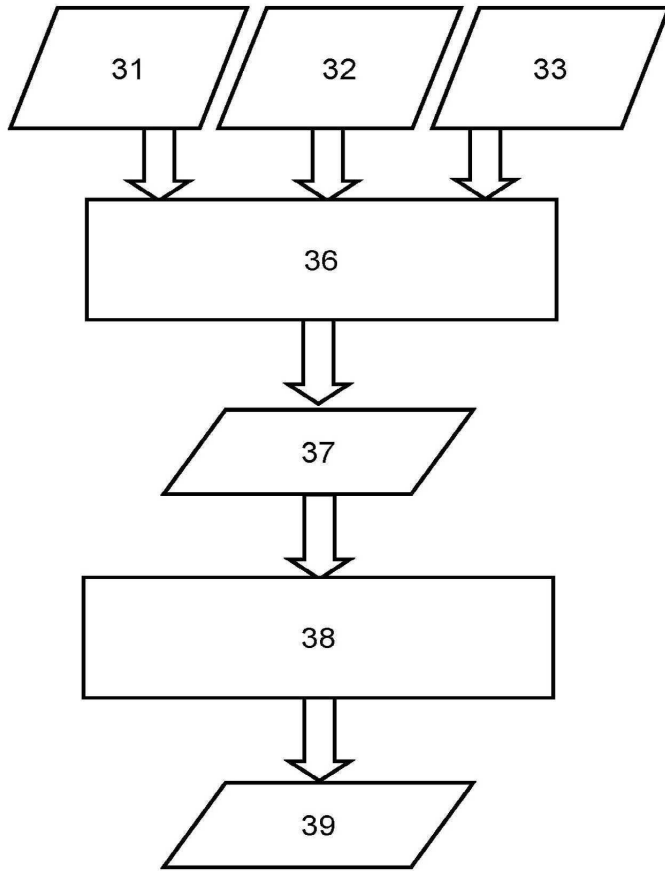
도면30b



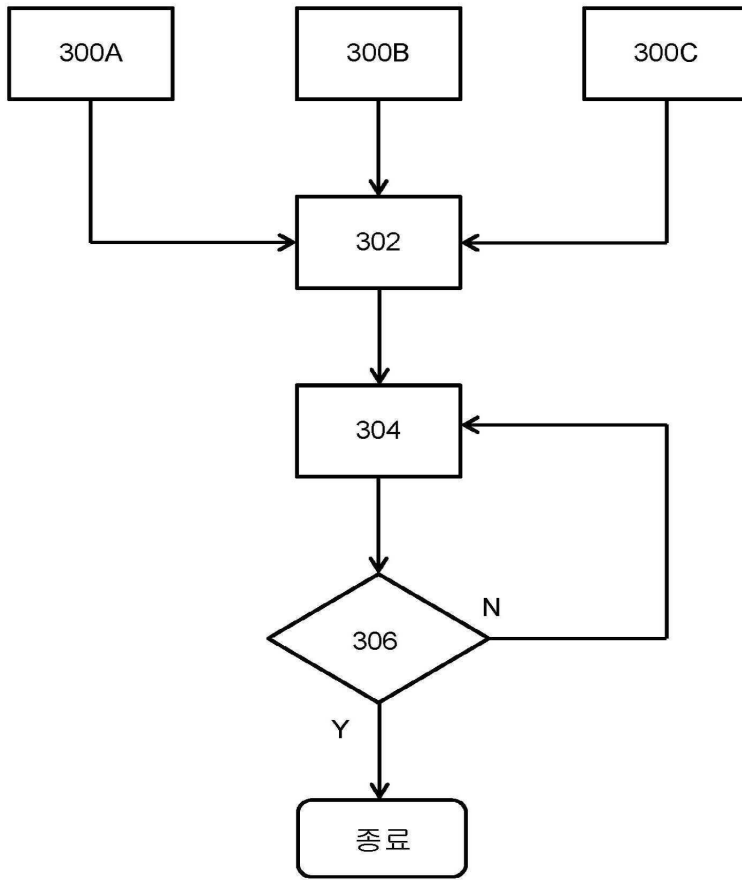
도면31



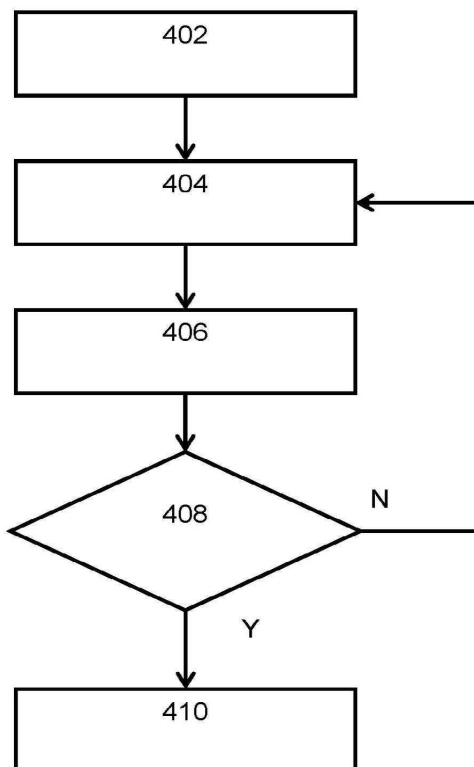
도면32



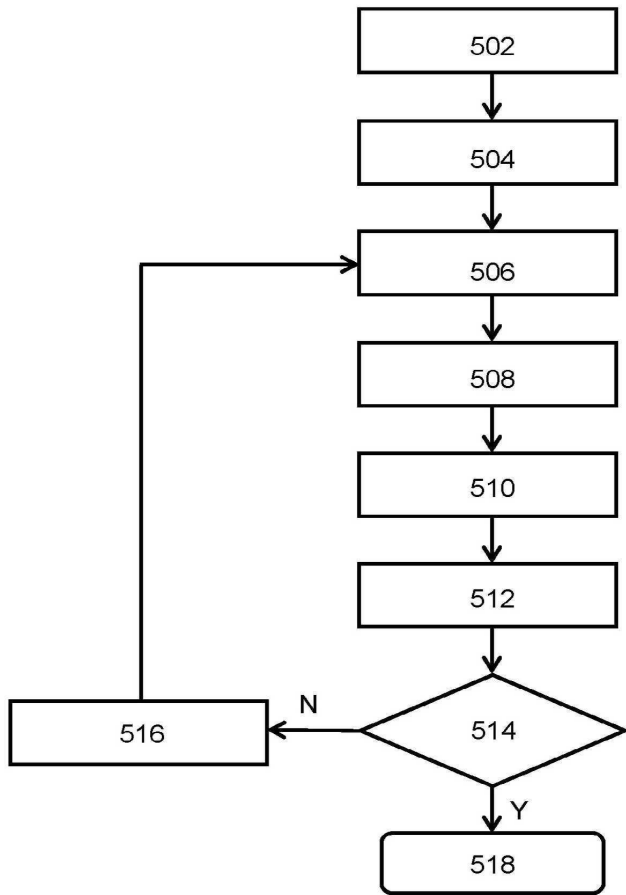
도면33



도면34



도면35



도면36

