



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년10월16일
(11) 등록번호 10-2166317
(24) 등록일자 2020년10월08일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G03F 7/20 (2006.01) G03F 9/00 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
G03F 7/70633 (2013.01)
G03F 7/705 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2018-7021309
- (22) 출원일자(국제) 2018년12월09일
심사청구일자 2018년07월24일
- (85) 번역문제출일자 2018년07월24일
- (65) 공개번호 10-2018-0096776
- (43) 공개일자 2018년08월29일
- (86) 국제출원번호 PCT/EP2016/080484
- (87) 국제공개번호 WO 2017/108453
국제공개일자 2017년06월29일
- (30) 우선권주장
15202675.3 2015년12월24일
유럽특허청(EPO)(EP)
- (56) 선행기술조사문헌
KR1020140003320 A*
US20130168877 A1
US20140322831 A1
US20100112467 A1
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자
에이에스엘 네델란드 비.브이.
네덜란드 5500 아하 벨트호벤 피.오.박스 324
- (72) 발명자
슬로트봄, 덴, 마우리츠
네덜란드, 5500 아하 벨트호벤, 피.오.박스 324
쿠퍼스, 미첼
네덜란드, 5500 아하 벨트호벤, 피.오.박스 324
- (74) 대리인
특허법인(유)화우

전체 청구항 수 : 총 15 항

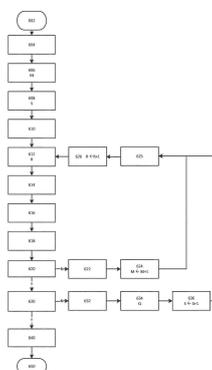
심사관 : 계원호

(54) 발명의 명칭 패터닝 공정의 제어 방법, 디바이스 제조 방법, 리소그래피 장치용 제어 시스템 및 리소그래피 장치

(57) 요약

성능 측정 타겟들은 다수의 기관을 처리한 후에, 리소그래피 공정의 성능을 측정하는 데 사용된다. 설정 단계에서, 본 방법은 패터닝 공정의 예상 파라미터들을 참조하여 복수의 후보 마크 유형 중에서 정렬 마크 유형 및 정렬 레시피를 선택한다. 패터닝 공정을 사용하여 다수의 테스트 기관을 노광한 후, 우선적인 계측 타겟 유형 및 (뒷면에 계속)

대표도 - 도6



계측 레시피는 참고 기술에 의해 측정된 패터닝 공정의 측정된 성능 파라미터(예를 들어, 오버레이)를 비교함으로써 선택된다. 패터닝 공정의 실제 수행 이후에 위치 측정 마크 및 성능 측정 타겟의 측정에 기초하여, 정렬 마크 유형 및/또는 레시피가 수정되어 정렬 마크 및 계측 타겟을 공동 최적화할 수 있다. 대안적인 런-투-런 피드백 전략은 또한 공정의 후속 동작 동안에 비교될 수 있다.

(52) CPC특허분류

G03F 7/70525 (2013.01)

G03F 9/7073 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

패터닝 공정을 제어하는 방법으로서,

- (a) 기판 상에 제공된 다수의 위치 측정 마크의 위치를 측정하는 단계;
- (b) 측정된 상기 위치를 사용하여 기판 보정치를 정의하는 단계;
- (c) 상기 패터닝 공정의 제어 시에 상기 기판 보정치를 이용하여, 패턴을 상기 기판에 인가하는 단계;
- (d) 인가되는 상기 패턴에 포함된 다수의 성능 측정 타겟을 이용하여, 상기 패터닝 공정의 성능 파라미터를 측정하는 단계; 및
- (e) 다수의 기판을 처리한 후, 측정된 상기 성능 파라미터를 사용하여 공정 보정치를 계산하고, 단계 (c)에서의 상기 기판 보정치와 함께 상기 공정 보정치를 사용하는 단계를 포함하고,

상기 방법은, 설정 단계에서,

- (i) 상기 패터닝 공정의 예상 파라미터들을 참조하여 복수의 후보 마크 유형들 중에서 상기 패터닝 공정을 위한 위치 측정 마크의 유형을 선택하는 단계;
- (ii) 상기 패터닝 공정을 사용하여 복수의 후보 유형의 성능 측정 타겟을 포함하는 테스트 패턴을 다수의 기판에 인가하는 단계; 및
- (iii) 상이한 유형의 성능 측정 타겟을 사용하여 측정된 패터닝 공정의 성능과, 다른 수단에 의해 측정된 패터닝 공정의 성능을 비교함으로써, 우선적인 후보 유형의 성능 측정 타겟을 선택하는 단계를 더 포함하고,

상기 방법은 상기 설정 단계에서,

- (iv) 단계 (ii)에서 상기 패터닝 공정의 실제 수행 이후에 위치 측정 마크 및 성능 측정 타겟의 측정에 기초하여, 단계 (c)에서 상기 패터닝 공정을 제어하는데 사용되는 위치 측정 마크 유형의 선택을 수정하는 단계를 더 포함하는

방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 복수의 후보 마크 유형은 적어도 상기 설정 단계 동안 각 기판 상에 제공되는

방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 단계 (i) 및/또는 (iv)는 상이한 유형의 위치 측정 마크 사이에서 선택하는 단계 외에도, 위치 측정 방법을 위한 상이한 레시피 중에서 선택하는 단계를 더 포함하는

방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 단계 (ii)는 상기 패터닝 공정의 예상 파라미터를 참조하여 복수의 유형 중에서 상기 패터닝 공정을 위한 하나 이상의 후보 유형의 성능 측정 타겟을 선택하는 단계를 포함하는

방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 방법은 상기 설정 단계에서,

(v) 단계 (ii)에서 상기 패터닝 공정의 실제 수행 이후에 위치 측정 마크 및 성능 측정 타겟의 측정에 기초하여, 단계 (c)에서 상기 패터닝 공정을 제어하는데 사용되는 성능 측정 타겟 유형의 선택을 수정하는 단계를 더 포함하는

방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 단계 (ii) 및/또는 (v)는 상이한 유형의 성능 측정 타겟 중에서 선택하는 단계 외에도, 성능 측정 방법을 위한 상이한 레시피 중에서 선택하는 단계를 더 포함하는

방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

생산 단계의 단계 (e)에서, 상기 공정 보정치는 선택된 성능 피드백 전략에 따라 새로 처리된 기관으로부터의 측정된 성능 파라미터에 응답하여 점진적으로 갱신되는

방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

(vi) 상기 선택된 성능 피드백 전략을 사용하여 상기 패터닝 공정의 성능을 제어하는 것과 병행하여, 하나 이상의 대안적인 성능 피드백 전략에 따라 대안적인 공정 보정치를 계산하는 단계, 및

(vii) 상기 선택된 성능 피드백 전략을 사용하여 달성된 패터닝 공정의 성능과 상기 대안적인 성능 피드백 전략을 사용하여 시뮬레이션된 패터닝 공정의 성능을 비교하여, 상기 시뮬레이션된 성능을, 상기 달성된 성능보다 더 우수한 대안적인 성능 피드백 전략으로서 스위칭하는 단계를 더 포함하는

방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

(viii) 대안적인 성능 피드백 전략으로 스위칭한 후, 상이한 유형의 성능 측정 마크를 사용하여 측정된 새로운

성능 피드백 전략 패터닝 공정의 안정성을 비교함으로써, 우선적인 후보 유형의 성능 측정 타겟의 선택을 수정하는 단계를 더 포함하는 방법.

청구항 10

다수의 기관들을 처리한 후에 패터닝 공정의 성능을 측정하는 데 성능 측정 타겟들을 사용하는 패터닝 공정 제어 방법으로서,

상기 패터닝 공정 제어 방법은 설정 단계에서,

(i) 상기 패터닝 공정의 예상 파라미터들을 참조하여 복수의 후보 마크 유형 중에서 상기 패터닝 공정을 위한 위치 측정 마크의 유형을 선택하는 단계;

(ii) 상기 패터닝 공정을 사용하여 복수의 후보 유형의 성능 측정 타겟을 포함하는 테스트 패턴을 다수의 기관에 인가하는 단계; 및

(iii) 상이한 유형의 성능 측정 타겟을 사용하여 측정된 패터닝 공정의 성능과 다른 수단에 의해 측정된 패터닝 공정의 성능을 비교함으로써, 우선적인 후보 유형의 성능 측정 타겟을 선택하는 단계를 더 포함하고,

상기 패터닝 공정 제어 방법은 상기 설정 단계에서,

(iv) 단계 (ii)의 패터닝 공정의 실제 수행 후에 위치 측정 마크 및 성능 측정 타겟의 측정에 기초하여, 상기 기관에 걸쳐 위치 편차를 측정하기 위해 상기 패터닝 공정에서 사용되는 위치 측정 마크 유형의 선택을 수정하는 단계를 더 포함하는

패터닝 공정 제어 방법.

청구항 11

다수의 기관을 처리한 후에, 공정 보정치를 계산하는 데 측정된 성능 파라미터를 사용하며, 상기 공정 보정치는 일련의 새로운 기관에 패턴을 인가하는 데 사용되며, 그리고 상기 공정 보정치는 선택된 성능 피드백 전략에 따라 새로 처리된 기관으로부터 측정된 성능 파라미터에 응답하여 점진적으로 갱신되는 패터닝 공정 제어 방법으로서,

(i) 상기 선택된 성능 피드백 전략을 사용하여 상기 패터닝 공정의 성능을 제어하는 것과 병행하여, 하나 이상의 대안적인 성능 피드백 전략에 따라 대안적인 공정 보정치를 계산하는 단계, 및

(ii) 상기 선택된 성능 피드백 전략을 사용하여 달성된 패터닝 공정의 성능과 상기 대안적인 성능 피드백 전략을 사용하여 시뮬레이션된 패터닝 공정의 성능을 비교하여, 시뮬레이션된 성능을, 상기 달성된 성능보다 우수한 대안적인 성능 피드백 전략으로서 스위칭하는 단계를 더 포함하는

패터닝 공정 제어 방법.

청구항 12

리소그래피 장치용 제어 시스템으로서,

복수의 이전 기관에 패턴을 인가할 때 패터닝 공정의 성능을 나타내는 이력 성능 측정치를 저장하는 저장 장치; 및

상기 패터닝 공정을 제어하기 위해 현재의 기관 상에 행해진 위치 측정치와 함께 상기 이력 성능 측정치를 사용하기 위한 프로세서를 포함하고,

상기 제어 시스템은 최적화 시스템 내에서,

상기 패터닝 공정의 예상 파라미터들을 참조하여 복수의 후보 마크 유형들 중에서 상기 패터닝 공정을 위한 위

치 측정 마크의 유형을 선택하는 모듈;

상기한 유형의 성능 측정 타겟을 사용하여 측정된 패터닝 공정의 성능과 다른 수단에 의해 측정된 패터닝 공정의 실제 성능을 비교함으로써, 하나 이상의 기관에 적용되는 복수의 후보 유형의 성능 측정 타겟 중에서 우선적인 후보 유형의 성능 측정 타겟을 선택하는 모듈, 및

상기 패터닝 공정의 실제 수행 후에 위치 측정 마크 및 성능 측정 타겟의 측정에 기초하여 상기 기관에 걸쳐 위치 편차를 측정하는 데 사용되는 위치 측정 마크 유형의 선택을 수정하는 모듈을 더 포함하는

제어 시스템.

청구항 13

리소그래피 장치로서,

측정 시스템, 패터닝 시스템 및 제어 시스템을 포함하고,

상기 제어 시스템은 제12항에 청구된 것인

리소그래피 장치.

청구항 14

기록매체에 저장된 컴퓨터 프로그램으로서, 상기 컴퓨터 프로그램은 제1항, 제10항 또는 제11항 중 어느 한 항의 방법의 단계들을 구현하기 위한 하나 이상의 시퀀스의 기계-판독가능한 명령어를 포함하는

기록매체에 저장된 컴퓨터 프로그램.

청구항 15

기록매체에 저장된 컴퓨터 프로그램으로서, 상기 컴퓨터 프로그램은 처리 디바이스 또는 처리 디바이스들의 시스템이 제12항의 제어 시스템을 구현하게 하는 하나 이상의 시퀀스의 기계-판독가능한 명령어를 포함하는

기록매체에 저장된 컴퓨터 프로그램.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 관련 출원에 대한 상호 참조

[0002] 본 출원은 2015년 12월 24일에 출원된 EP 출원 제15202675.3호의 우선권을 주장하며, 이 EP 출원은 그 전체가 본 명세서에 참고로서 포함된다.

[0003] 본 발명은, 예를 들어 리소그래피와 같은 패터닝 공정에 의해 디바이스의 제조 성능을 유지하는 데 사용 가능한 제어 장치 및 제어 방법에 관한 것이다. 본 발명은 또한 리소그래피 기술을 사용하여 디바이스를 제조하는 방법에 관한 것이다. 본 발명은 또한 이러한 방법을 구현하는데 사용하기 위한 컴퓨터 프로그램 제품에 관한 것이다.

배경 기술

[0004] 리소그래피 장치는 기관 상에, 일반적으로 기관의 타겟 부분 상에 원하는 패턴을 인가하는 머신이다. 리소그래피 장치는, 예를 들어, 집적 회로(IC)의 제조에 사용될 수 있다. 그 경우, 마스크 또는 레티클로도 지칭되는 패터닝 디바이스는 IC의 개별 층 상에 형성될 회로 패턴을 생성하는 데 사용될 수 있다. 이 패턴은 기관(예를 들어, 실리콘 웨이퍼)상의 타겟 부분(예를 들어, 하나 또는 수 개의 다이의 일부를 포함) 상으로 전사될 수 있다. 패턴의 전사는 전형적으로 기관 상에 제공된 방사선-감광성 재료(레지스트)의 층 상으로의 결상(imaging)을 통해 이루어진다. 일반적으로, 단일 기관은 연속적으로 패터닝되는 인접한 타겟 부분들의 네트워크를 포함

할 것이다.

- [0005] 리소그래피 장치를 사용하여 웨이퍼에 패턴을 인가하기 전에, 웨이퍼는 일반적으로 웨이퍼를 적절하게 정렬하고 패턴링 동안에 웨이퍼 변형을 보정하도록 측정되고 모델링될 필요가 있다. 리소그래피 공정의 중요한 성능 척도는 오버레이(overlay)로서, 디바이스의 두 층 내의 피처들(features) 또는 동일한 층 내의 두 패턴링 단계에 의해 형성된 피처들 간의 정렬 정확도이다. 다수의 컬러 채널을 갖는 정렬 센서는 패턴링 이전에 최선의 가능한 위치 측정을 시도하고 획득하기 위해 공지된 리소그래피 장치에서 사용된다. 이러한 위치 측정은 각 웨이퍼에 대한 기판 모델을 계산하는 데 사용된다.
- [0006] 오버레이 및 다른 파라미터를 개선하기 위해, 패턴링 단계 및/또는 다른 단계에서 도입된 편차를 식별하고 정정하기 위한, 패턴링된 이전의 기판에 대한 추가적인 성능 측정을 행한다. 오버레이와 같은 성능 파라미터를 측정하기 위해 사용되는 주사 전자 현미경(SEM)을 포함하여 이러한 측정을 위한 다양한 도구가 알려져 있다. 그러나, SEM 측정은 대량의 제조에서 많은 양의 기판에 대해 수행되기에는 너무 많은 시간이 소요된다. 최근에는 리소그래피 분야에서 사용하기 위해 다양한 형태의 스캐터로미터(scatterometers)가 개발되었으며, 이는 대량의 측정을 가능하게 한다. 일반적으로 이러한 측정은 이전의 많은 기판에 대해 행해졌으며, 소위, 고급 공정 제어(Advanced Process Control: APC) 시스템에서 연속적인 성능 제어가 이루어졌다. 그러나, 고급 공정 제어의 성공 여부는 관심있는 성능 파라미터의 측정 정확도에 달려 있다. 현재의 관행에서는 새로운 공정의 개발 과정에서 다수의 상이한 타겟 유형이 고려될 수 있다. 다수의 상이한 타겟 유형이 다수의 테스트 기판 상에 제공될 수 있다. 마찬가지로, 타겟 유형과 계측 센서 응답의 최적의 조합을 얻기 위한 계측 센서 설정치도 변화된다. 계측 센서 설정치의 세트는 간단히 "계측 레시피"로 지칭될 수 있다.
- [0007] 가장 가능성있는 후보 타겟 설계를 예측하기 위한 자동화된 방법은 예를 들어 국제 공개 특허 출원 WO 2015101458 A1, WO 2015101459 A1, WO 2015101460 A1 및 WO 2015101461 A2에 기술되어 있다. TMU(총 측정 불확실성) 및 스택 감도와 같은 성능 지표는 계측 성능의 정확성을 결정하기 위해 시뮬레이션 및/또는 실험에 의해 결정된다. 그러나 이들 성능 지표는 제조된 디바이스의 성능과 직접적인 관련이 없다. 그 제조시의 실험 샘플 또는 제품의 특성과, 계측 타겟을 설계할 때 시뮬레이션된 특성 간에는 차이가 발생할 것이다. 따라서, 타겟 유형과 계측 센서 레시피의 최상의 조합은 첫 번째 시도에서는 종종 달성되지 않는다. 최적화는 종종 반복적인 토대 하에서 이루어진다. 최적의 파라미터에 대한 검색은 다차원적인 문제이며, 제품 기판의 성능이 점검되어 계측 센서가 예측한 성능과 비교되기 전에 제품 기판은 하나 이상의 참고 기술에 의해 처리되고 측정되어야 한다. 이것은 매우 시간 소모적이며 정확한 결과를 보장하지 않는다. 이 목적을 위한 참고 기술은 예를 들어 SEM(scanning electron microscopy), TEM(transmission electron microscopy), AFM(atomic force microscopy) 및 국제 공개 특허 출원 WO 2015018625 A1에 개시된 비대칭성-기반 기술을 포함한다.
- [0008] 제조 설비에서 조우되는 다수의 상이한 제품 설계와 공정 변화에 걸쳐, 최상의 성능을 얻기 위해서는 상이한 계측 타겟 설계와 각 설계마다 다른 계측 방법이 필요할 것이다. 따라서 새로운 공정을 개발하거나 공정을 변경할 때 특정 응용 분야에 대한 계측 타겟 및 계측 레시피의 최상의 조합을 선택하기 위한 최적화 공정이 수행된다. 제품 설계들 간 및 제품 설계의 층들 간을 포함하여 공정들 간에는 변화가 존재한다. 또한, 리소그래피 장치 및 관련 장치의 성능의 일관성에 따라, 로트들(lots) 간 및 기판들 간에도 변화가 존재한다.
- [0009] 또한, 상이한 계측 타겟 유형 및 레시피를 탐색하기 전에, 리소그래피 장치에서 위치 측정치를 얻는데 사용될 정렬 타겟의 설계 및 정렬 센서 응답을 결정하는 것이 통상적이다. 이러한 위치 측정치를 사용하여, 기존의 패턴과 원하는 위치 관계에서 새로운 층 패턴을 위치시키는 데 사용하기 위한 각 기판의 정렬 모델을 얻는다. 정렬 설계 및 정렬 센서 응답(정렬 레시피)의 최적화는 일반적으로 계측 타겟을 최적화하기 전에 설정 단계에서 수행된다. 한편, 제조 방법의 전반적인 성능은 계측 타겟에 대한 측정 성능의 정확성뿐만 아니라 두 가지 유형의 측정에서 정렬 마크 측정의 정확성 및 오류 간의 상관 관계에 의해 영향을 받는다. 이전에 최적화된 정렬 마크 및 정렬 레시피가 주어지면, 성능을 최적화하는 종래의 방법은 계측 타겟 설계 및 계측 레시피의 최적화에 국한된다. 주어진 응용분야에 대해, 상이한 정렬 마크 및/또는 정렬 레시피가, 상이한 계측 타겟 설계 및/또는 레시피와 결합되어 전반적인 성능을 향상시킬 수 있다는 가능성에 대한 설명은 없다.
- [0010] 제어될 생산 공정에서 이용 가능한 정렬 마크 유형 및 계측 타겟 유형은 패턴링 디바이스(레티클) 상에 어떤 것이 제공되는지에 의해 결정될 것이라는 것이 이해될 것이다. 이것이 프로그램 가능한 패턴링 디바이스가 아니라면, 정렬 유형 및 계측 타겟 유형을 변경할 기회는 실제로 매우 제한될 것이다. 변경은 아마도 신제품 개발이 진행 중일 때만 행해질 수도 있다는 것이다. 개발 단계에서, 정렬 마크 및 계측 타겟의 다수의 상이한 변형을 갖는 테스트 패턴이 제공될 수 있다. 완제품 설계에서 디바이스 레이아웃 내의 제한된 공간은 허용될 수 있는

마크 및 타겟의 수를 실질적으로 제한할 것이다.

- [0011] 최적화될 제어 시스템의 또 다른 파라미터는 "정렬 트리"의 선택이다. 정렬 트리는 새로운 층에 대해, 어떠한 이전 층의 정렬 마크가 새로운 층에 인가되는 패턴을 위치시키는데 사용되어야 하는지를 결정하는 리소그래피 공정 제어 레시피의 또 다른 부분이다. 잠재적으로 적합한 정렬 마크가 하나 초과된 층에서 종종 발견될 수 있다.
- [0012] 새로운 공정을 설정하는 공지된 방법에서, 새로운 공정 보정치를 계산하기 위해 과거의 성능 측정치를 피드백하는 특정 전략이 결정될 것이다. 이러한 소위 "런-투-런(run-to-run)" 제어 전략은 일반적으로, 제한된 실제 데이터가 사용될 수 있을 때, 새로운 공정 개발의 초기 단계에서 설정된다. 결과적으로, 시간이 경과함에 따라, 선택된 전략이 실제로 해당 생산 공정을 위한 최적의 전략인지는 알 수 없게 된다. 다른 런-투-런 제어 전략이 실제로 더 나은 결과를 항상 산출한다는 것이 가능할 수도 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

과제의 해결 수단

- [0013] 본 발명은 리소그래피 공정에서 오버레이와 같은 파라미터의 성능을 제어하기 위한 시스템을 개선하는 것을 목표로 한다. 본 발명자들은 지금까지 개별적으로 구현되어 있는 상이한 최적화들을 통합함으로써 성능을 개선할 수 있다는 것을 인식했다. 특정 예로서, 본 발명은 계측 타겟 유형 및 계측 레시피와 함께, 정렬 마크 유형 및 정렬 레시피의 공동 최적화를 제공한다.
- [0014] 또 다른 양상에서, 본 발명은 대량 생산 중에 런-투-런 제어 전략의 최적화를 가능하게 하는 것을 목표로 한다.
- [0015] 본 발명의 제1 양상에 따르면, 다수의 기관을 처리한 후에 패터닝 공정의 성능을 측정하기 위해 성능 측정 타겟이 사용되는 패터닝 공정 제어 방법이 제공되며, 상기 방법은, 설정 단계에서,
- [0016] (i) 패터닝 공정의 예상 파라미터들을 참조하여 복수의 후보 마크 유형들 중에서 패터닝 공정을 위한 위치 측정 마크의 유형을 선택하는 단계;
- [0017] (ii) 패터닝 공정을 사용하여 복수의 후보 유형의 성능 측정 타겟을 포함하는 테스트 패턴을 다수의 기관에 인가하는 단계; 및
- [0018] (iii) 상이한 유형의 성능 측정 타겟을 사용하여 측정된 패터닝 공정의 성능과, 다른 수단에 의해 측정된 패터닝 공정의 성능을 비교함으로써 바람직한 후보 유형의 성능 측정 타겟을 선택하는 단계를 더 포함하며,
- [0019] 상기 방법은 상기 설정 단계에서,
- [0020] (iv) 단계 (ii)의 패터닝 공정의 실제 수행 이후에 위치 측정 마크 및 성능 측정 타겟의 측정에 기초하여, 상기 기관에 걸쳐 위치 편차를 측정하기 위해 패터닝 공정에서 사용되는 위치 측정 마크 유형의 선택을 수정하는 단계를 더 포함한다.
- [0021] 제어되는 패터닝 공정은 예를 들어,
- [0022] (a) 기관 상에 제공된 다수의 위치 측정 마크의 위치를 측정하는 단계;
- [0023] (b) 측정된 위치를 사용하여 기관 보정치를 정의하는 단계;
- [0024] (c) 기관에 패턴을 인가하기 위해 패터닝 공정을 제어할 때 기관 보정치를 사용하는 단계;
- [0025] (d) 인가된 패턴에 포함된 다수의 성능 측정 타겟을 사용하여, 패터닝 공정의 성능 파라미터를 측정하는 단계; 및
- [0026] (e) 다수의 기관을 처리한 후, 측정된 성능 파라미터를 사용하여 공정 보정치를 계산하고, 단계 (c)의 기관 보정치와 함께 공정 보정치를 사용하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0027] 본 발명은 리소그래피 장치용 제어 시스템을 더 제공하며, 이 제어 시스템은,

- [0028] 복수의 이전 기관에 패턴을 인가할 때 패턴링 공정의 성능을 나타내는 이력 성능 측정치를 저장하기 위한 저장 장치; 및
- [0029] 패턴링 공정을 제어하기 위해 현재의 기관에 대해 행해진 위치 측정치와 함께 상기 이력 성능 측정치를 사용하기 위한 프로세서를 포함하며,
- [0030] 상기 제어 시스템은, 최적화 시스템에서,
- [0031] 상기 패턴링 공정의 예상 파라미터들을 참조하여 복수의 후보 마크 유형 중에서 패턴링 공정을 위한 위치 측정 마크의 유형을 선택하는 모듈;
- [0032] 상이한 유형의 성능 측정 타겟을 사용하여 측정된 패턴링 공정의 성능과, 다른 수단에 의해 측정된 패턴링 공정의 실제 성능을 비교함으로써 하나 이상의 기관에 적용된 복수의 후보 유형의 성능 측정 타겟 중에서 바람직한 후보 유형의 성능 측정 타겟을 선택하는 모듈; 및
- [0033] 패턴링 공정의 실제 수행 후 위치 측정 마크 및 성능 측정 타겟의 측정에 기초하여 기관에 걸쳐 위치 편차를 측정하는 데 사용되는 위치 측정 마크 유형의 선택을 수정하기 위한 모듈을 더 포함한다.
- [0034] 제어 시스템의 다양한 저장 장치, 제어기 및 프로세서는 상기 개요에서 그 기능에 의해 식별되며, 이들 기능 중 둘 이상은 공통 하드웨어를 사용하여 구현될 수 있다. 이들은 특히 리소그래피 장치, 고급 공정 제어 시스템 및/또는 계측 시스템 내에 이미 존재하는 하나 이상의 프로세서 및 제어기를 프로그래밍함으로써 구현될 수 있다.
- [0035] 제2 양상에 있어서의 본 발명은 패턴링 공정 제어 방법을 제공하며, 여기서, 다수의 기관을 처리한 후에 공정 보정치를 계산하는 데 측정된 성능 파라미터가 사용되고, 상기 공정 보정치는 일련의 새로운 기관에 패턴을 인가할 때 사용되며, 상기 공정 보정치는 선택된 성능 피드백 전략에 따라 새로 처리된 기관으로부터 측정된 성능 파라미터에 응답하여 점진적으로 갱신되며, 상기 방법은,
- [0036] (i) 선택된 성능 피드백 전략을 사용하여 패턴링 공정의 성능을 제어하는 것과 병행하여, 하나 이상의 대안적인 성능 피드백 전략에 따라 대안의 공정 보정치를 계산하는 단계, 및
- [0037] (ii) 선택된 성능 피드백 전략을 사용하여 달성된 패턴링 공정의 성능과, 상기 대안의 성능 피드백 전략을 사용하여 시뮬레이션된 패턴링 공정의 성능을 비교하여 시뮬레이션된 성능이 상기 달성된 성능보다 양호한 대안의 성능 피드백 전략으로 스위칭하는 단계를 더 포함한다.
- [0038] 본 발명은 또한 패턴링 공정에 의해 일련의 기관 상에 디바이스 피처 및 계측 타겟이 형성되는 디바이스 제조 방법을 더 제공하며, 여기서 하나 이상의 처리된 기관 상의 계측 타겟의 특성은 전술한 바와 같은 본 발명의 제 1 양상 및/또는 제2 양상에 따른 방법에 의해 측정되며, 상기 측정된 특성은 추가 기관의 처리를 위해 패턴링 공정의 파라미터를 조정하는 데 사용된다.
- [0039] 본 발명은 또한 전술한 바와 같은 본 발명의 제2 양상에 따른 제어 시스템을 포함하는 리소그래피 장치를 제공한다.
- [0040] 본 발명은 또한 전술한 바와 같은 본 발명에 따른 방법에서 계산 단계를 구현하기 위한 하나 이상의 시퀀스의 머신 관독 가능 명령어를 포함하는 컴퓨터 프로그램 제품을 제공한다.
- [0041] 본 명세서에 개시된 장치 및 방법의 이들 및 다른 양상 및 이점은 예시적인 실시예의 다음의 설명 및 도면을 고려하면 이해될 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0042] 이제, 본 발명의 실시예는 대응하는 참조 부호가 상응하는 부분을 나타내는 첨부된 개략적인 도면을 참조하여 단지 예로서 기술될 것이다.
- 도 1은 본 발명의 일 실시예에 사용하기에 적합한 리소그래피 장치를 도시한다.
- 도 2는 본 발명에 따른 검사 장치가 사용될 수 있는 리소그래피 셀 또는 클러스터를 도시한다.
- 도 3은 공지된 방법에 따라 도 1의 장치에서의 측정 및 노광 공정을 개략적으로 도시한다.
- 도 4는 공지된 방법에 따라 도 1의 장치를 제어하기 위한 고급 공정 제어 방법의 개략도이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 방법에서 사용되는 기관에서 다수의 대안적인 정렬 마크 및 대안적인 계측 타겟을 제공하는 것을 도시한다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따라 정렬 마크 유형, 정렬 레시피, 계측 타겟 유형, 계측 레시피, 정렬 트리 및 런-투-런 제어 전략을 공동 최적화하는 방법의 흐름도이다.

도 7은 리소그래피 제조 설비의 다양한 장치에서 도 6의 방법의 구현예를 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

예시적인 실시예의 상세한 설명

- [0043] 본 발명의 실시예를 상세하게 기술하기 전에, 본 발명의 실시예가 구현될 수 있는 예시적인 환경을 제시하는 것이 유익하다.
- [0044] 도 1은 리소그래피 장치(LA)를 개략적으로 도시한다. 이 장치는 방사선 빔(B)(예를 들어, UV 방사선 또는 DUV 방사선)을 컨디셔닝하도록 구성된 조명 시스템(일루미네이터)(IL)과, 패터닝 디바이스(예를 들어, 마스크)(MA)를 지지하도록 구성되고, 소정 파라미터들에 따라 패터닝 디바이스를 정확히 위치시키도록 구성된 제1 위치 설정기(PM)에 접속된 패터닝 디바이스 지지부 또는 지지 구조물(예를 들어, 마스크 테이블)(MT)과, 기관(예를 들어, 레지스트 코팅된 웨이퍼)(W)을 유지하도록 각각 구성되고, 소정 파라미터들에 따라 기관을 정확히 위치시키도록 구성된 제2 위치 설정기(PW)에 각각 접속된 2개의 기관 테이블(예를 들어, 웨이퍼 테이블)(WTa 및 WTb)과, 기관(W)의 타겟 부분(C)(예를 들어, 하나 이상의 다이를 포함) 상에 패터닝 디바이스(MA)에 의해 방사선 빔(B)에 부여된 패턴을 투영하도록 구성된 투영 시스템(예를 들어, 굴절 투영 렌즈 시스템)(PS)을 포함한다. 기준 프레임(RF)은 다양한 구성 요소를 접속하고, 패터닝 디바이스 및 기관의 위치 및 패터닝 디바이스 및 기관 상의 피쳐들의 위치를 설정하고 측정하기 위한 기준으로 작용한다.
- [0045] 조명 시스템은 방사선을 지향, 성형 또는 제어하기 위해 굴절, 반사, 자기, 전자기, 정전기 또는 다른 유형의 광학 구성 요소 또는 이들의 조합과 같은 다양한 유형의 광학 구성 요소를 포함할 수 있다. 예를 들어, 극 자외선(EUV) 방사선을 사용하는 장치에서, 반사 광학 구성 요소가 일반적으로 사용될 것이다.
- [0046] 패터닝 디바이스 지지부는 패터닝 디바이스의 방향, 리소그래피 장치의 설계, 및 다른 조건, 예를 들어 패터닝 디바이스가 진공 환경 내에 유지되는지의 여부와 같은 조건에 의존하는 방식으로 패터닝 디바이스를 유지한다. 패터닝 디바이스 지지부는 기계, 진공, 정전기 또는 다른 클램핑 기술을 사용하여 패터닝 디바이스를 유지할 수 있다. 패터닝 디바이스 지지부(MT)는, 예를 들어 필요에 따라 고정되거나 이동될 수 있는 프레임 또는 테이블일 수 있다. 패터닝 디바이스 지지부는 패터닝 디바이스가 예를 들어 투영 시스템에 대해 원하는 위치에 있도록 보장할 수 있다.
- [0047] 본 명세서에서 사용되는 "패터닝 디바이스"라는 용어는 가령 기관의 타겟 부분에 패턴을 생성하기 위해 방사선 빔의 단면에 패턴을 부여하는 데 사용될 수 있는 임의의 디바이스를 지칭하는 것으로 폭넓게 해석되어야 한다. 방사선 빔에 부여된 패턴은, 예를 들어 패턴이 위상-시프팅된 피쳐 또는 소위 어시스트 피쳐(assist features)를 포함하는 경우, 기관의 타겟 부분의 원하는 패턴에 정확하게 대응하지 않을 수 있음에 주목해야 한다. 일반적으로, 방사선 빔에 부여된 패턴은 집적 회로와 같이 타겟 부분에 생성되는 디바이스의 특정 기능 층에 대응할 것이다.
- [0048] 본 명세서에 도시된 바와 같이, 상기 장치는 (예를 들어, 투과성 패터닝 디바이스를 사용하는) 투과성 유형이다. 대안적으로, 상기 장치는 (예를 들어, 위에서 언급된 바와 같은 유형의 프로그램 가능한 미러 어레이를 이용하거나, 반사성 마스크를 이용하는) 반사성 유형일 수 있다. 패터닝 디바이스의 예는 마스크, 프로그램 가능한 미러 어레이 및 프로그램 가능한 LCD 패널을 포함한다. 본 명세서의 "레티클" 또는 "마스크"라는 용어의 임의의 사용은 보다 일반적인 용어인 "패터닝 디바이스"와 동의어로 간주될 수 있다. "패터닝 디바이스"라는 용어는 또한 그러한 프로그램 가능한 패터닝 디바이스를 제어하는 데 사용하기 위한 패턴 정보를 디지털 형태로 저장하는 디바이스를 지칭하는 것으로 해석될 수 있다.
- [0049] 본 명세서에서 사용되는 "투영 시스템"이라는 용어는 사용되는 노광 방사선용으로 또는 침지 액체의 사용 또는 진공의 사용과 같은 다른 요인들에 적합한 굴절, 반사, 카타디옵트릭(catadioptric), 자기, 전자기 및 정전기 광학 시스템, 또는 이들의 임의의 조합을 포함하는 임의의 유형의 투영 시스템을 포함하는 것으로 폭넓게 해석되어야 한다. 본 명세서의 "투영 렌즈"라는 용어의 임의의 사용은 "투영 시스템"이라는 좀 더 일반적인 용어와

동의로 간주될 수 있다.

- [0051] 리소그래피 장치는 또한 투영 시스템과 기관 사이의 공간을 채우도록 기관의 적어도 일부가 상대적으로 높은 굴절률을 갖는 액체, 예를 들어 물로 덮여져 있는 유형일 수 있다. 또한, 침지 액체는 리소그래피 장치의 다른 공간, 예를 들어, 마스크와 투영 시스템 사이에 인가될 수 있다. 침지 기술은 투영 시스템의 개구수(numerical aperture)를 증가시키기 위한 것으로 본 기술 분야에 잘 알려져 있다.
- [0052] 동작시에, 일루미네이터(IL)는 방사선원(SO)으로부터 방사선 빔을 수용한다. 예를 들어, 방사선원이 엑시머 레이저인 경우, 방사선원 및 리소그래피 장치는 별개의 개체일 수 있다. 그러한 경우에, 방사선원은 리소그래피 장치의 일부를 형성하는 것으로 간주되지 않으며, 상기 방사선 빔은 예를 들어 적절한 지향 미러 및/또는 빔 확장기를 포함하는 빔 전달 시스템(BD)의 도움으로 방사선원(SO)으로부터 일루미네이터(IL)로 전달된다. 다른 경우들에서, 방사선원은 예를 들어 방사선원이 수은 램프인 경우, 리소그래피 장치의 통합부일 수 있다. 방사선원(SO) 및 일루미네이터(IL)는 필요에 따라 빔 전달 시스템(BD)과 함께 방사선 시스템으로 지칭될 수 있다.
- [0053] 일루미네이터(IL)는 예를 들어, 방사선 빔의 각도 세기 분포를 조정하는 조정기(AD), 적분기(IN) 및 컨덴서(condenser)(CO)를 포함할 수 있다. 일루미네이터는 방사선 빔을 컨디셔닝하여 방사선 빔의 단면에서 원하는 균일성 및 세기 분포를 갖도록 하는데 사용될 수 있다.
- [0054] 방사선 빔(B)은 패터닝 디바이스 지지부(MT) 상에 유지되는 패터닝 디바이스(MA) 상에 입사되고, 패터닝 디바이스에 의해 패터닝된다. 패터닝 디바이스(예를 들어, 마스크)(MA)를 통과한 후, 방사선 빔(B)은 기관(W)의 타겟 부분(C) 상에 빔을 포커싱하는 투영 시스템(PS)을 통과한다. 제2 위치 설정기(PW) 및 위치 센서(IF)(예를 들어, 간섭측정 디바이스, 선형 인코더, 2-D 인코더 또는 용량성 센서)의 도움으로, 기관 테이블(WTa 또는 WTb)은 예를 들어, 방사선 빔(B)의 경로에 상이한 타겟 부분(C)을 위치시키도록 정확하게 이동될 수 있다. 유사하게, 제1 위치 설정기(PM) 및 다른 위치 센서(도 1에 명시적으로 도시되지 않음)는 예를 들어, 마스크 라이브러리로부터의 기계적 인출 후에, 또는 스캔 동안에, 방사선 빔(B)의 경로에 대해 패터닝 디바이스(예를 들어, 마스크)(MA)를 정확히 위치시키는 데 사용될 수 있다.
- [0055] 패터닝 디바이스(예를 들어, 마스크)(MA) 및 기관(W)은 마스크 정렬 마크(M1, M2) 및 기관 정렬 마크(P1, P2)를 사용하여 정렬될 수 있다. 도시된 바와 같은 기관 정렬 마크가 전용 타겟 부분을 차지하지만, 이들은 타겟 부분들 사이의 공간에 위치할 수 있다(이들은 스크라이브-라인 정렬 마크(scribe-lane alignment mark)로 알려져 있다). 유사하게, 하나 초과와 다이가 패터닝 디바이스(예를 들어, 마스크)(MA) 상에 제공되는 상황에서, 마스크 정렬 마크는 다이들 사이에 위치될 수 있다. 디바이스 피처들 사이에서, 다이 내에도 작은 정렬 마크가 포함될 수도 있는데, 이 경우 그 마크는 가능한 작아야 하며, 인접한 피처와는 다른 임의의 결상 또는 공정 조건을 필요로 하지 않는 것이 바람직하다. 정렬 마크를 검출하는 정렬 시스템은 이하에서 더 기술된다.
- [0056] 도시된 장치는 다양한 모드로 사용될 수 있다. 스캔 모드에서, 방사선 빔에 부여된 패턴이 타겟 부분(C) 상에 투영되는 동안(즉, 단일 동적 노광), 패터닝 디바이스 지지부(예를 들어, 마스크 테이블)(MT) 및 기관 테이블(WT)이 동기적으로 스캐닝된다. 패터닝 디바이스 지지부(예를 들어, 마스크 테이블)(MT)에 대한 기관 테이블(WT)의 속도 및 방향은 투영 시스템(PS)의 배율 및 이미지 반전 특성에 의해 결정될 수 있다. 스캔 모드에서, 노광 필드의 최대 크기는 단일 동적 노광에서 타겟 부분의 (비-스캐닝 방향에서의) 폭을 제한하는 반면, 스캐닝 동작의 길이는 타겟 부분의 (스캐닝 방향에서의) 높이를 결정한다. 당해 기술 분야에 잘 알려진 바와 같이, 다른 유형의 리소그래피 장치 및 작동 모드가 가능하다. 예를 들어, 단계 모드(step mode)가 알려져 있다. 소위 "마스크가 없는(maskless)" 리소그래피에서, 프로그램 가능한 패터닝 디바이스는 고정적이지만 변화하는 패턴으로 유지되고, 기관 테이블(WT)은 이동되거나 스캐닝된다.
- [0057] 상술된 사용 모드들 또는 완전히 다른 사용 모드들에 대한 조합 및/또는 변형도 이용될 수 있다.
- [0058] 리소그래피 장치(LA)는 2개의 기관 테이블(WTa, WTb)과 2개의 스테이션 - 노광 스테이션(EXP) 및 측정 스테이션(MEA) - 을 가지며, 이들 스테이션 사이에서 기관 테이블이 교환될 수 있는 소위 이중 스테이지 유형으로 이루어진다. 하나의 기관 테이블상의 하나의 기관이 노광 스테이션에서 노광되는 동안, 다른 기관은 측정 스테이션에서 다른 기관 테이블 상에 로딩되어 다양한 예비 단계가 수행될 수 있다. 이는 장치의 처리량을 실질적으로 증가시킬 수 있게 한다. 예비 단계는 레벨 센서(LS)를 사용하여 기관의 표면 높이 윤곽을 매핑하고 정렬 센서(AS)를 사용하여 기관 상의 정렬 마크의 위치를 측정하는 단계를 포함할 수 있다. 위치 센서(IF)가 노광 스테이션뿐만 아니라 측정 스테이션에 있는 동안 기관 테이블의 위치를 측정할 수 없다면, 기관 테이블의 위치를 기준 프레임(reference frame)(RF)에 대해 양 스테이션에서 추적할 수 있도록 제2 위치 센서가 제공될 수 있다.

도시된 이중-스테이지 장치 대신에 다른 장치가 공지되고 사용될 수 있다. 예를 들어, 기관 테이블 및 측정 테이블이 제공되는 다른 리소그래피 장치가 공지되어 있다. 이들은 예비 측정을 수행할 때 함께 도킹된 다음, 기관 테이블이 노출되는 동안 도킹 해제된다.

[0059] 도 2에 도시된 바와 같이, 리소그래피 장치(LA)는 때로는 리소셀(lithocell) 또는 클러스터로도 지칭되는 리소그래피 셀(lithographic cell)(LC)의 일부분을 형성하며, 또한 기관 상에 사전 및 사후 노광 공정을 수행하는 장치도 포함한다. 통상적으로 이들은 레지스트 층을 증착하는 스핀 코팅기(SC), 노광된 레지스트를 현상하는 현상기(DE), 칠 플레이트(chill plates)(CH) 및 베이킹 플레이트(bake plates)(BK)를 포함한다. 기관 핸들러 또는 로봇(RO)은 입출력 포트(I/O1, I/O2)로부터 기관을 픽업(pick up)하고, 상이한 공정 장치 사이에서 이들을 이동시키고, 그 후 리소그래피 장치의 로딩 베이(loading bay)(LB)로 전달한다. 트랙으로서 종종 집합적으로 지칭되는 이들 장치는 리소그래피 제어 유닛(LACU)을 통해 리소그래피 장치를 또한 제어하는 감시 제어 시스템(SCS)에 의해 자체 제어되는 트랙 제어 유닛(TCU)의 제어 하에 있다. 따라서, 상이한 장치가 처리량 및 처리 효율을 최대화하도록 동작될 수 있다.

[0060] 리소그래피 장치에 의해 노광되는 기관이 정확하고 일관되게 노광되도록, 노광된 기관을 검사하여 후속하는 층간의 오버레이 오차, 라인 두께, 임계 치수(CD) 등의 특성을 측정하는 것이 바람직하다. 따라서, 리소셀(lithocell)이 위치하는 제조 설비는 또한 리소셀에서 처리된 기관(W)의 일부 또는 전부를 수용하는 계측 시스템(MET)도 포함한다. 계측 결과는 직접 또는 간접적으로 감시 제어 시스템(SCS)에 제공된다. 오차가 검출되면 후속 기관의 노광에 대한 조정이 행해질 수 있다.

[0061] 계측 시스템(MET) 내에서, 검사 장치는 기관의 특성, 특히 상이한 기관의 특성 또는 동일한 기관의 상이한 층의 특성이 층마다 어떻게 달라지는지를 결정하는 데 사용된다. 검사 장치는 리소그래피 장치(LA) 또는 리소셀(lithocell)(LC)에 통합될 수 있거나 독립형 장치일 수 있다. 가장 신속한 측정을 가능하게 하기 위해서는, 검사 장치가, 노광 직후의 노광된 레지스트 층의 특성을 측정하는 것이 바람직할 수 있다. 그러나, 모든 검사 장치가 잠상(latent image)의 유용한 측정을 하기에 충분한 감도를 갖는 것은 아니다. 따라서 통상 노광된 기관에서 수행되는 첫 번째 단계로서 레지스트의 노광된 부분과 노광되지 않은 부분 사이의 콘트라스트를 증가시키는 노광 후 베이킹 단계(pre-exposure bake step)(PEB) 후에 측정이 수행될 수 있다. 이 단계에서, 레지스트 내의 이미지는 세미-잠복(semi-latent)으로 지칭될 수 있다. 또한, 현상된 레지스트 이미지를 측정할 수 있는데, 이 시점에서 레지스트의 노광된 부분 또는 노광되지 않은 부분이 제거된다. 또한, 이미 노광된 기관은 스트립되고 재 작업되어 수율을 향상시키거나 폐기됨으로써, 결함이 있는 것으로 알려진 기관 상에서의 추가 처리를 피할 수 있다. 기관의 일부 타겟 부분에만 결함이 있는 경우에는, 양호한 타겟 부분에 대해서만 추가적인 노광이 수행될 수 있다.

[0062] 계측 시스템(MET)을 이용한 계측 단계는 또한 레지스트 패턴이 제품 층 내로 에칭된 후에 수행될 수 있다. 후자의 가능성은 결함이 있는 기관의 재 작업 가능성을 제한하지만 전체적으로는 제조 공정의 성능에 대한 추가 정보를 제공할 수 있다.

[0063] 정렬 공정 배경

[0064] 도 3은 도 1의 이중 스테이지 장치 내의 기관(W) 상의 타겟 부분(예를 들어, 다이)를 노광하는 단계를 도시한다. 먼저, 종래 기술에 따른 공정이 기술될 것이다. 본 개시는 기술된 유형의 이중 스테이지 장치에 결코 한정되지 않는다. 당업자는 유사한 동작이 예를 들어 단일 기관 스테이지 및 도킹 계측 스테이지를 갖는 다른 유형의 리소그래피 장치들에서 수행된다는 것을 인식할 것이다.

[0065] 점선 박스 내의 좌측은 측정 스테이션(MEA)에서 수행되는 단계들인 반면, 우측은 노광 스테이션(EXP)에서 수행되는 단계들을 도시한다. 때때로, 전술한 바와 같이, 기관 테이블(WTa, WTb) 중 하나는 노광 스테이션에 있는 반면, 다른 하나는 측정 스테이션에 있을 것이다. 이 설명의 목적을 위해, 기관(W)은 이미 노광 스테이션으로 로딩되었다고 가정한다. 단계 200에서, 도시되지 않은 메커니즘에 의해 새로운 기관(W')이 장치에 로딩된다. 이들 2개의 기관은 리소그래피 장치의 처리량을 증가시키기 위해 병렬로 프로세싱된다.

[0066] 처음에 새로 로딩된 기관(W')을 참조하면, 이는 장치에서의 최초 노광을 위해 새로운 포토 레지스트와 함께 준비된 이전에 처리되지 않은 기관일 수 있다. 그러나, 일반적으로, 기술된 리소그래피 공정은 일련의 노광 및 처리 단계들 내의 단지 하나의 단계일 뿐이며, 그에 따라 기관(W')은 장치 및/또는 다른 리소그래피 장치를 몇 차례 이미 통과했으며, 또한 후속 공정을 거칠 수도 있다. 특히, 오버레이 성능을 개선시키는 문제에 있어서, 과제에는 이미 하나 이상의 패터닝 및 처리 사이클을 거친 기관 상의 정확한 위치에 새로운 패턴이 정확히 인가되

도록 보장하는 것이다. 각각의 패터닝 단계는 인가된 패턴에 위치 편차를 도입할 수 있지만, 후속 공정 단계는 기관 및/또는 기관에 인가된 패턴에 왜곡을 점진적으로 도입하며, 이는 만족스러운 오버레이 성능을 달성하기 위해 측정 및 보정되어야 한다.

[0067] 이전 및/또는 후속 패터닝 단계는 앞서 언급한 바와 같이 다른 리소그래피 장치에서 수행될 수 있으며, 심지어는 상이한 유형의 리소그래피 장치에서 수행될 수도 있다. 예를 들어, 해상도 및 오버레이와 같은 파라미터에서 요구가 매우 많은 장치 제조 공정에서의 일부 층은 요구가 덜한 다른 층보다 더 진보된 리소그래피 도구로 수행될 수 있다. 따라서 일부 층은 침지형 리소그래피 도구로 노광될 수 있지만, 다른 층은 '건식' 톨로 노광될 수 있다. 일부 층은 DUV 파장에서 작동하는 도구로 노광될 수 있지만 다른 층은 EUV 파장 방식을 사용하여 노광된다. 일부 층은 도시된 리소그래피 장치에서 노광을 위한 대안적인 또는 보완적인 단계들에 의해 패터닝될 수 있다. 이러한 대안 및 보완 기술은 예를 들어 임프린트 리소그래피, 자체 정렬 다중 패터닝 및 직접 자체 어셈블리(direct self-assembly)를 포함한다.

[0068] 202에서, 기관 테이블(WTa/WTb)에 대한 기관의 정렬을 측정하고 기록하기 위해 기관 마크(P1) 등과 이미지 센서(도시되지 않음)를 사용하는 정렬 측정이 사용된다. 또한, 기관(W')에 걸친 몇몇 정렬 마크는 정렬 센서(AS)를 사용하여 측정될 것이다. 이러한 측정은 일 실시예에서 공칭 직사각형 그리드에 대한 임의의 왜곡을 포함하고, 기관에 걸친 마크들의 분포를 매우 정확하게 맵핑하는 기관 모델(때때로 "웨이퍼 그리드"로 지칭됨)을 수립하기 위해 사용된다.

[0069] 단계 204에서, 레벨 센서(LS)를 사용하여 X-Y 위치에 대한 웨이퍼 높이(Z)의 맵이 또한 측정된다. 주로, 높이 맵은 노광되는 패턴의 정확한 초점을 맞추기 위해서만 사용된다. 이는 또한 다른 용도로 사용될 수도 있다.

[0070] 기관(W')이 로딩될 때, 수행될 노광을 정의하는 레시피(recipe) 데이터(206)가 수신되고, 웨이퍼의 특성 및 그 웨이퍼 상에서 이전에 만들어진 패턴 및 만들어질 패턴의 특성도 또한 수신된다. 기관 상에서 정렬 마크의 선택이 있고, 정렬 센서의 설정치의 선택이 있는 경우, 이들 선택은 레시피 데이터(206) 내의 정렬 레시피에서 정의된다. 따라서, 정렬 레시피는 어떠한 정렬 마크가 측정되는지와 정렬 마크의 위치가 어떻게 측정되는지를 정의한다. 위에 언급된 것처럼, 모든 층에 대한 정렬 레시피의 세트는 정렬 트리(alignment tree)를 형성한다. 이들 레시피 데이터에는 레시피 및 측정 데이터(208)의 완전한 세트가 노광 스테이션(EXP)으로 전달될 수 있도록 202, 204에서 만들어진 웨이퍼 위치, 웨이퍼 그리드 및 높이 맵의 측정치가 추가된다. 정렬 데이터의 측정치는, 예를 들어, 리소그래피 공정의 산물인 제품 패턴에 고정되거나 명목상으로 고정된 관계로 형성된 정렬 타겟의 X 및 Y 위치를 포함한다. 노광 직전에 획득한 정렬 데이터는 정렬 모델과 그 모델을 그 정렬 데이터에 맞추는 파라미터로 생성하는 데 사용된다. 이들 파라미터 및 정렬 모델은 현재 리소그래피 단계에서 인가된 패턴들의 위치들을 정정하기 위해 노광 동작 동안 사용될 것이다. 사용중인 모델은 측정된 위치들 간의 위치 편차를 보간한다. 종래의 정렬 모델은 서로 다른 차원에서 '이상적인' 그리드의 변환, 회전 및 스케일링을 함께 정의하는 4, 5 또는 6개의 파라미터를 포함할 수 있다. US 2013230797A1에서 더 기술된 바와 같이, 더 많은 파라미터를 사용하는 진보된 모델이 알려져 있다.

[0071] 210에서, 웨이퍼들(W' 및 W)이 교환되어, 측정된 기관(W')은 노광 스테이션(EXP)에 들어가는 기관(W)이 된다. 도 1의 예시적인 장치에서, 이러한 교환은 장치 내에서 지지부(WTa 및 WTb)를 교환함으로써 수행되어, 기관들(W, W')은 기관 테이블과 기관 자체 사이의 상대적인 정렬을 보존하기 위해 이들 지지부들 상에 정확히 클램프되고 위치되어 유지된다. 따라서, 일단 테이블이 교환되면, 투영 시스템(PS)과 기관 테이블(WTb)(이전의 WTa) 사이의 상대 위치를 결정하는 것이 노광 단계의 제어에서 기관(W)(이전의 W')에 대한 측정 정보(202, 204)를 이용하는 데 필요한 모든 것이 된다. 단계 212에서, 레티클 정렬은 마스크 정렬 마크(M1, M2)를 사용하여 수행된다. 단계 214, 216, 218에서, 다수의 패턴의 노광을 완료하기 위해, 주사 운동 및 방사선 펄스가 기관(W)을 가로지르는 연속적인 타겟 위치에 인가된다. 노광 단계의 수행에서 측정 스테이션에서 얻어진 정렬 데이터 및 높이 맵을 사용함으로써, 이들 패턴은 원하는 위치에 대하여, 특히 동일한 기관 상에 미리 놓여있는 피처들에 대해 정확하게 정렬된다. 노광된 기관(W'로 표시됨)은 단계 220에서 노광된 패턴에 따라 에칭 또는 다른 공정을 거치기 위해 장치로부터 언로딩된다.

[0072] 성능 데이터를 사용한 고급 공정 제어

[0073] 최상의 성능을 위해, 현재의 기관이 리소그래피 장치에 로딩될 때 이루어지는 측정치에 부가하여, 리소그래피 공정과 관련된 이력 성능 데이터가 일반적으로 사용된다. 이를 위해, 계측 시스템(MET)(도 2)를 사용하여 성능 측정을 수행한다. 다양한 형태의 고급 공정 제어가 구현될 수 있다. 도 4는 공지된 안정성 제어 방법을 구현하는 단지 하나의 예를 도시한다.

- [0074] 도 4는 안정성 모듈(300)을 도시한다. 이 모듈은, 예를 들어 도 2의 제어 유닛(LACU) 또는 감시 제어 시스템(SCS) 내의 프로세서 상에서 실행되는 애플리케이션이다. 1, 2, 3으로 표시되는 세 개의 주요 공정 제어 루프가 도시된다. 제1 루프는 안정성 모듈(300) 및 모니터 웨이퍼를 사용하여 리소그래피 장치의 로컬 제어(local control)를 제공한다. 모니터 웨이퍼(302)는 예를 들어 도 2의 리소셀(lithocell: LC)일 수 있는 리소그래피 셀(304)로부터 통과하는 것으로 도시된다. 모니터 웨이퍼(304)는 초점 및 오버레이를 위한 '베이스라인(baseline)' 파라미터를 설정하기 위해 캘리브레이션 패턴으로 노광되었다. 나중에, 측정 도구(metrology tool)(306)는 이 베이스라인 파라미터를 판독하며, 이후 이 베이스라인 파라미터는 리소셀에 특정된 안정성 보정치(308)를 계산하기 위해 안정성 모듈(300)에 의해 해석된다. 이 성능 데이터는 리소그래피 셀(304)로 피드백될 수 있고, 추가 노광을 수행할 때 사용될 수 있다. 모니터 웨이퍼의 노광은 기준 마크 상부에 마크 패턴을 프린팅하는 것을 포함할 수 있다. 상부 마크와 하부 마크 사이의 오버레이 오차를 측정함으로써, 웨이퍼가 장치로부터 제거되어 측정 도구 내에 배치되는 경우에도, 리소그래피 장치의 성능의 편차가 측정될 수 있다.
- [0075] 제2 (APC) 제어 루프는 실제 제품 웨이퍼의 초점, 도즈량 및 오버레이와 같은 성능 파라미터의 측정치를 기반으로 한다. 노광된 제품 웨이퍼(320)는 제1 제어 루프의 측정 도구(306)와 동일하거나 상이할 수도 있는 측정 도구(322)로 전달된다. 단계 322에서, 예를 들어, 임계 치수, 측벽 각도 및 오버레이와 같은 파라미터에 관한 정보가 결정되어 고급 공정 제어(APC) 모듈(324)로 전달된다. 이 데이터는 또한 안정성 모듈(300)에 전달된다. 공정 보정치(326)는 안정성 모듈(300)과 통신하는 리소셀(304)의 제어를 제공하는 감시 제어 시스템(SCS)(328)에 의해 계산되고 사용된다.
- [0076] 제3 제어 루프는 예를 들어 이중 패턴링 애플리케이션에서 제2 (APC) 제어 루프 내로의 측정 통합을 허용하는 것이다. 에칭된 웨이퍼(330)는 제1 및/또는 제2 제어 루프에 사용된 측정 도구(306, 322)와 동일하거나 상이할 수도 있는 측정 유닛(332)으로 전달된다. 측정 도구(332)는 웨이퍼로부터 판독된 임계 치수, 측벽 각도 및 오버레이와 같은 성능 파라미터를 측정한다. 이들 파라미터는 APC 모듈(324)에 전달된다. 루프는 제2 루프에서와 동일한 것을 지속한다.
- [0077] 각각의 경우, 행해질 측정이 존재하는 경우, 제어되는 제조 공정의 개발시에 측정 타겟 유형의 선택이 행해질 것이다. 또한, 측정 타겟 설계 및 측정 레시피의 상세한 최적화는 위에 열거된 이전의 특허 출원들에서 기술된 유형의 시뮬레이션을 사용하여 수행될 수 있다. APC 공정 또는 제조 공정과 관련된 측정 레시피는 일반적으로 어떤 파라미터가 어떤 타겟에 대해 측정되는지, 그리고 각각의 타겟에 대해 스캐터로미터 또는 다른 센서의 어떠한 설정치가 사용될지를 정의하도록 제공될 수 있다. 스캐터로미터는 예를 들어, 조명 프로파일, 파장, 편광 등의 선택을 제공할 수 있다. 임의의 캡처된 산란 회절 패턴을 분석하는 방식뿐만 아니라 이러한 모든 파라미터는 측정 레시피에 지정될 수 있다.
- [0078] 통합 최적화 방법
- [0079] 도 5는 기판 상의 다중 측정 타겟 및 다중 정렬 마크의 배열을 개략적으로 도시한다. 기판은 3개의 층 L0, L1, L2를 형성하도록 처리되었다. 이들은 기판상의 유일한 층이 아닐 수 있으며, 특히 이들 사이에는 마크 위치 및 성능의 측정에 대한 문제점을 제시하는 개재된 층이 존재할 수 있다. 정렬 마크 및 측정 타겟만이 도시되지만 실제 생산 제품 피처 또는 시험 제품 피처 중 하나인 제품 피처는 기판 상의 다른 위치에서 패턴으로 정의될 것이다. 정렬 마크(A1 내지 A6)는 기판에 걸친 위치 편차를 측정할 때 리소그래피 장치에 의한 사용을 위해 하나 이상의 층에 제공되어 후속하는 층의 패턴이 정확한 위치에 인가될 수 있다. 도시된 예에서, 정렬 마크(A1 내지 A4)는 최하위 층(L0)에 있는 한편, 정렬 마크(A5 내지 A6)는 층(L1)에 있다. 각각의 층 내에서, 서로 다른 정렬 마크가 상이한 설계로 형성될 수 있으므로, 후속 층에 패턴을 인가하기 위한 위치를 측정하는 데 최상의 설계가 선택 및 사용될 수 있다.
- [0080] 하위 층 내에서 마크를 사용하여 어떠한 위치를 결정할 수 있는 정확도는 마크를 매립한 개재된 층 재료에 따라 달라진다. 매립된 마크는 또한 그러한 개재된 층을 형성하는 공정 단계들에 의해 변형되어 신뢰할 수 없는 위치 판독값을 제공할 수 있다. 마크 유형과 정렬 레시피의 선택은 그 상황에서 가능한 최상의 측정치를 얻기 위해 행해질 것이며, 따라서 다른 상황에서는 달라질 수 있다.
- [0081] 정렬 트리는 최상의 성능 제어를 위해 최적화되어야 하는 전체 정렬 및 측정 시스템의 또 다른 차원 또는 차원이다. 곡선 화살표로 나타낸 바와 같이, 층(L2)에 패턴을 인가할 때, 기준으로서 층(L0)의 정렬 마크를 사용할지 또는 층(L1)의 마크를 사용할지에 대한 선택이 존재한다. 이러한 마크의 조합이 사용될 수도 있다. 제품을 제조하는 과정에서 상이한 층들에 대해 사용된 마크들의 시퀀스는 정렬 트리로서 알려져 있다. 정렬 트리는 완전하게 개발된 공정에서 정렬 레시피의 한 부분을 형성한다. 실제 제품에는 30개 또는 40개의 패턴링 단계가

수행될 수 있다는 것을 염두에 두면, 정렬 트리를 정의하는 데 필요한 자유도가 매우 높아서 현재의 방법으로는 최적화 공정을 오히려 신뢰할 수 없게 만들 수 있다.

[0082] 또한 도 5에는 3개의 계측 타겟(R1, R2, R3)이 도시되어 있다. 이 예에서, 이 계측 타겟 모두는 두 개 이상의 층 간의 패턴의 정렬 정확도를 측정하도록 설계된 오버레이 타겟이다. 제조 공정의 다른 성능 파라미터를 측정하기 위해 다른 유형의 계측 타겟이 또한 제공될 수 있다. 이 예에서, 오버레이 타겟(R1)은 층(L0)의 하부 격자(R1.0) 및 층(L1)의 상부 격자(R1.1)를 포함한다. 따라서, 오버레이 타겟(R1)은 층(L1 및 L0) 간의 오버레이 오차를 측정하기 위해 적용된다. 오버레이 타겟(R2)은 층(L0)의 하부 격자 및 층(L2)의 상부 격자를 포함한다. 오버레이 타겟(R3)은 층(L1)의 하부 격자 및 층(L2)의 상부 격자를 포함한다. 층(L2)의 오버레이를 측정하려면 오버레이 타겟(R3)을 사용하여 층(L1)에 대한 오버레이를 측정하거나 오버레이 타겟(R2)을 사용하여 층(L0)에 대한 오버레이를 측정하는 것을 선택할 수 있다. 따라서 주어진 층에 패턴을 인가하기 전에 정렬 측정을 정의하는 정렬 트리가 존재한 경우와 동일한 방식으로, 그 층이 패턴닝된 후 공정의 성능을 측정할 때 행해질 오버레이 측정을 정의하는 오버레이 트리가 존재한다. 적어도 실험 기관에서, 이들 각각의 타겟은 다양한 유형으로 제공되고, 그 중 하나는 한 세트의 환경에서 최적일 수 있고 다른 하나는 다른 세트의 환경에서 최적일 수 있다는 것이 가정될 수 있다. 따라서 이 예에서는 두 층 사이의 오버레이를 측정하기 위해 두 개의 오버레이 타겟 중에서의 선택이 존재한다. 이 타겟은 다른 유형으로 만들어질 수 있으며 실제 공정에서 어떤 것이 더 나은 측정치를 제공하는지를 결정하기 위해 실험이 수행될 수 있다.

[0083] 이러한 유형의 정렬 마크 및 계측 타겟이 이 간단한 예에 도시된 것보다 훨씬 더 다양하게 제공될 수 있으며, 기관에 걸친 다수의 지점 및 실험 기관 또는 제품 기관 상의 각각의 타겟 부분(필드)에 걸친 다수의 지점에 제공될 것이라는 것이 이해될 것이다. 정렬 마크 및 계측 타겟이 이 예에서 별개로 도시되어 있지만, 오버레이 타겟의 하부 격자(또는 상부 격자)가 또한 주어진 노광 단계에서 정렬 마크로서 사용될 수 있다는 것을 이해할 것이다. 결과적으로, 정렬 마크로서의 특정 구조물의 지정은 그것들이 계측 타겟의 일부임을 배제하지 않으며 그 반대도 마찬가지이다.

[0084] 수십 개의 층이 있을 수 있고, 수십 개의 상이한 마크 유형의 정렬 마크 및 정렬 레시피와, 수십 개의 상이한 계측 타겟 설계와, 수십 개의 상이한 계측 레시피가 있을 수 있다고 가정하면, 이들 모든 변형의 최적의 조합이 발견되어야 하는 계측 공간은 방대한 다차원 공간이 된다는 것을 인식하게 될 것이다. 정렬 레시피의 경우, 공지된 정렬 센서(AS)는 다중 신호를 동시에 캡처할 수 있으므로, 하나의 캡처 동작으로부터 다수의 레시피들이 비교될 수 있다. 오버레이 측정 등을 위한 스캐터미터의 경우, 일반적으로 계측 레시피는 파장, 편광 및 각도 프로파일의 관점에서 다양한 조명 조건을 지정한다. 따라서 다양한 계측 타겟에 대한 다양한 계측 레시피를 탐색하는 것은 매우 시간 소모적인 것이다.

[0085] 도 6은 하나의 실험에서 공지된 방법에 의한 100 초과의 시간으로부터 다음의 자동화된 방법에 의한 단지 2시간 만으로 최적화 시간을 감소시킨 공동 최적화(co-optimization) 방법을 설명할 것이다. 더욱이, 새로운 공정의 개발 단계에서 그러한 감소를 얻은 후에, 도 6의 방법은 생산 단계 전반에 걸쳐 제어 시스템의 파라미터를 계속해서 최적화한다. 공지된 방법은 생산 중에 최적화를 수정할 수 있는 기회가 매우 제한적이다.

[0086] 본 발명의 일 실시예에서, 개발 단계는 다음의 단계들을 포함한다. 단계들은 하나 이상의 데이터 처리 장치에서 실행되는 적합한 프로그램의 제어 하에서 수행된다. 최적화 흐름이 단계 602에서 시작된다. 604에서, n개의 상이한 정렬 마크들의 예비 최적화된 세트가, 의도된 공정의 정보에 기초하여 설계된다. 본원의 도입 부분에서 인용된 특허 출원에 설명된 것과 같은 도구는 이 단계를 수행하여 다양한 레시피 하에서 정렬 센서의 성능을 시뮬레이션할 수 있다.

[0087] 단계 604에서의 최적화 공정은 다수의 층들로부터의 타겟들의 성능을 비교하고, 관심 층들에서 최상의 위치 측정을 초래하는 마크 유형 및 층을 선택한다. 의도된 제조 공정에 대한 지식에 기초하여, 정렬 마크 최적화는 다음 기준으로 수행된다:

[0088] ● "프린팅 가능성": 이는 리소그래피 도구가 자신의 모든 특정 결상 설정치를 사용하여 기관 상의 후보 정렬 마크를 재현할 수 있는 능력을 의미한다.

[0089] ● 정확성: 이는 정렬 마크의 패턴닝 및 처리가 품질에 긍정적인 관심을 갖는 실제 제품 구조의 프린팅 및 패턴닝에 근접하는 정도를 의미한다.

[0090] ● 견고성: 이는 웨이퍼들 간의 그리고 하나의 웨이퍼에 걸친 생산 공정에서 예상되는 변화에 대한 측정된 위치의 무감각성을 의미한다.

- [0091] 이러한 기준에 기초하여, 단계 606에서, 초기 마크 유형 $M=1$ 이 선택된다. 실제로 여러 개의 후보 마크가 실험용 웨이퍼에서 생산되도록 선택된다. 이는 원하는 경우 2, 3, 10 또는 그를 초과하는 개수의 마크일 수 있다. 프린팅 가능성 및 정확도 측면에서 정렬 마크의 최적화는 특정 층에 따라 다르다. 다른 측면에서 정렬 마크의 최적화는 정렬 트리(아래에 정의됨)에 따라 정렬 층에 정렬될 여러 대체 층에 대해 수행될 수 있다. 또한 이 단계에서 정렬 레시피의 초기 선택이 선택될 수 있다. 레시피의 선택은 보통 이 방법의 나중 단계에서 변경(최적화)될 것이다.
- [0092] 608에서, 런-투-런 전략 설정의 초기 설정 $S=1$ 이 결정된다. 이는 도 4에 도시된 APC 제어 루프에 의해 생성되는 소위 공정 보정치를 결정하기 위한 전략 설정이다. 전략 설정은 새로운 보정치에 도달하기 위해 다양한 이력 성능 측정치를 결합할 때 적용될 알고리즘을 결정한다. 전략의 선택은 제어 루프의 정확성과 안정성에 영향을 미친다. 성능의 모든 개별 변동에 응답하는 제어 루프는 시스템의 노이즈를 바람직하지 않게 과장하게 만들 것이다. 변경하기 전에 너무 많은 과거 측정치를 평균화하는 제어 루프는 시스템적인 오차를 보정하는 데 너무 느릴 수 있다. 병렬로 계산된 다수의 공정 보정치가 존재할 수 있다. 예를 들어, 3차 또는 5차 다항식 모델과 같은 고차 고정 보정치를 필드 간 및 필드 내에 기반하여 적용하는 것이 알려져 있다. 공정 보정치의 필드 간 및 필드 내 성분은 각각 자체 제어 전략을 가질 수 있다. 공정 모델의 개별 파라미터는 자체 제어 전략을 가질 수 있는데, 예를 들어 X 방향의 배율은 Y 방향의 배율 등과는 다른 제어 전략을 가질 수 있다.
- [0093] 단계 608에서 고려될 수 있는 후보 런-투-런 전략은 예를 들면 다음과 같다:
- [0094] ● 특정 개수의 과거의 로트들의 이동 평균.
 - [0095] ● 가장 최근의 로트에 더 많은 가중치를 부여하는 강화된 가중 이동 평균.
 - [0096] ● 명령으로만 적용되는 정적 보정치.
- [0097] 이러한 유형의 전략 각각은 이동 평균에 얼마나 많은 로트가 포함되는지, 그리고 어떤 가중 프로파일이 적용되는지와 같은 파라미터에 따라 더 가변적이라는 것을 이해할 수 있을 것이다. 공지된 시스템에 존재하지 않는 것은 최적의 런-투-런 전략을 미리 결정하기 위한 자동화된 방법이다. 새로운 공정의 개발 단계에서는 어떠한 것이 임의의 보다 많은 런-투-런 전략의 체계적인 최적화를 기반으로 하는 것인지에 관한 이력 성능 정보가 없다. 따라서 후보 전략은 느슨하게는 과거의 경험을 바탕으로 인간 운영자에 의해 선택될 가능성이 높다.
- [0098] 610에서, 계측 타겟 최적화가 수행된다. m 개의 상이한 오버레이 타겟들의 예비 최적화된 세트는 의도된 공정의 정보에 기초하여 설계된다.
- [0099] 본원의 도입부에서 인용된 특허 출원에 기술된 것과 같은 도구는 단계 610을 수행하는 데 사용될 수 있으며, 상이한 레시피 하에서 계측 도구 성능을 시뮬레이션할 수 있다. 이 예비 단계에서, 설계는 후속 단계에서 공동 최적화될 정렬 마크 및 정렬 레시피의 특정 선택에 관계없이 종래의 방식으로 수행된다.
- [0100] 의도된 제조 공정에 대한 지식에 기초하여, 계측 타겟 최적화는 정렬 마크와 관련하여 이미 위에서 정의된 다음의 기준으로 수행된다:
- [0101] ● 프린팅 가능성.
 - [0102] ● 정확성.
 - [0103] ● 견고성.
- [0104] 이러한 기준에 기반하여, 단계 610에서 관련 계측 레시피를 갖는 초기 계측 타겟 유형(R)이 선택되고 단계 612에서 출력된다. 여러 층과 관련하여, 각 층마다의 마크 유형 및 레시피를 갖는 전체 정렬 트리가 지정될 수 있다. 실제로 여러 개의 후보 마크가 실험용 웨이퍼에서 생산되도록 선택된다. 이는 원하는 경우 몇 가지 또는 다수의 상이한 타겟 유형 및 레시피일 수 있다. 그러나, 전술한 바와 같이, 각각의 계측 타겟을 측정하는 데 드는 시간 비용은 여분의 정렬 마크를 측정하는 시간 비용보다 훨씬 클 수 있다.
- [0105] 단계 614에서, 다수의 웨이퍼는 도 1 및 2의 리소그래피 장치 및 리소셀을 사용하여 2개 이상의 층의 패턴으로 프린팅된다. 특히, 단계 606에서 결정된 정렬 마크 유형 또는 유형들은 단계 612에서 결정된 다양한 유형 또는 유형들의 계측 타겟을 프린팅하는 데 사용된다. 제품 테스트 패턴은 정렬 마크 및 계측 타겟을 따라 프린팅될 수 있다. 고려중인 상이한 정렬 마크 유형 및 잠재적으로 상이한 레시피와 관련하여, 정렬 마크 유형 및 정렬 레시피의 상이한 조합으로 동일한 패턴이 여러 번 프린팅될 수 있다. 이는 비교적 많은 수의 샘플 웨이퍼를 필요로 할 수 있다. 그러나 설계된 패턴의 유형에 따라, 동일한 웨이퍼 상에서 매번 패턴을 시프팅시키면서 다중

노광에 의해 패턴을 인가하는 것이 알려져 있다.

- [0106] 웨이퍼를 현상하고 노광된 패턴을 선택적으로 에칭한 후, 단계 616에서, 리소그래피 공정의 성능 파라미터로서 오버레이를 측정하기 위해 계측 장치, 예를 들어 각도 분해 스캐터로미터(angle-resolved scatterometer)가 사용된다. 이 측정은 도 4의 대용량 APC 제어 루프에서와 동일한 방식으로 수행되지만, 제외되는 것은 이 현상 단계에서 다수의 상이한 오버레이 타겟 유형이 측정될 수 있으며 각각은 다수의 상이한 레시피를 사용하여 측정될 것이라는 것이다. 한 유형의 스캐터로미터에서, 예를 들어, 7개의 상이한 파장의 방사선 및 각 파장에 대한 2개의 상이한 편광을 사용하여 회절 패턴을 측정하는 것이 가능할 수 있다. 따라서 7개의 파장, 2개의 편광 및 m개의 상이한 타겟 유형이 존재한다면, 이러한 측정에 소요되는 시간은 측정 지점 당 한 번의 측정에 소요되는 시간의 $7 \times 2 \times m$ 배가 될 것이다. 측정 지점은 웨이퍼에 걸쳐 분포되며, 횡수는 APC 시스템에 구현된 피드백 모델에 의해 결정된다. 예를 들어, 위에서 언급한 유형의 3차 다항식 모델을 사용하면 웨이퍼에 걸쳐 약 100개의 지점은 충분할 수 있거나, 여분의 노이즈 내성을 위해 200개일 수도 있다.
- [0107] 단계 614에서 프린팅된 웨이퍼는 공정의 개발에 전용된 시험 패턴을 갖는 웨이퍼일 수 있지만, 이 웨이퍼는 개발 중인 완성된 생산 공정에 가능한 동일하게 최근접하는 공정 단계를 사용하여 프린팅되어야 하며 제품과 유사한 구조를 가져야 한다. 단계 614에서 프린팅된 웨이퍼는 이미 실제 생산 레티클을 사용하는 제품 패턴일 수 있다. 그러한 웨이퍼에 장착될 수 있는 이용 가능한 정렬 마크 유형 및 계측 마크 유형의 수는 전용 시험 웨이퍼의 경우보다 더 작을 수 있지만, 최적화가 여전히 수행될 수 있어서 자유도가 얼마이든 간에 최대로 활용할 수 있다. 또한, 최적화가 생산 레티클 상에 존재하지 않는 정렬 마크 및/또는 오버레이 타겟의 설계를 필요로 하는 것으로 밝혀지더라도, 다음 수정시에 최적화된 구조를 구현하는 계획을 세울 수 있다.
- [0108] 단계 618에서, 후보 오버레이 타겟 및 레시피(계측 데이터)를 사용하여 획득된 오버레이 측정치는 참고 기술에 의해 측정된 "실제" 오버레이 값(기준 데이터)과 비교된다. 이러한 목적을 위한 참고 기술은 예를 들어 SEM(scanning electron microscopy) 및/또는 TEM(transmission electron microscopy) 및/또는 AFM(atomic force microscopy)을 포함할 수 있으며, 이들은 모두 당업계에 공지되어 있다. 참고 기술로서 (단독으로 또는 방금 언급된 것과 조합하여) 사용될 수 있는 또 다른 기술은 공개된 국제 특허 출원 WO 2015018625 A1에 개시되어 있다. 여기에 개시된 것은 고의적인 비대칭성이 두 개의 반대 방향으로 타겟 또는 마크에 도입되는 기술이다. 알려진 비대칭성이 주어지면, 제어를 위해 가상의 "비대칭성 없음" 상황을 재구성 및 사용할 수 있다. 어느 참고 기술을 선택하든간에 오버레이를 직접 측정할 수는 있지만 생산 공정에서 요구되는 많은 대량의 측정을 수행하는 데는 적합하지 않다. 오버레이 타겟을 사용하여 획득되는 오버레이 측정은 대량으로 수행될 수 있지만, 관심있는 파라미터(오버레이)를 간접적으로 나타낼 뿐이다. 통계 방법들이 두 세트의 측정에 적용되며, 그 후 이들은 계측 타겟과 계측 레시피의 최적 조합을 식별하기 위해 비교된다.
- [0109] 일 실시예에서, 단계 618에서의 통계 분석은, 계측 타겟들의 다수의 상이한 오버레이 측정치들에 의해 형성되고, 각각의 웨이퍼에 걸쳐 있고 그리고 다수의 웨이퍼들에 걸쳐 있는 다수의 지점들에서 만들어지고, 계측 타겟 유형과 계측 레시피의 상이한 조합을 사용하여 만들어진, 다차원 데이터 세트의 제1 다변수 분석을 생성한다. 제2 다변수 분석은 최적화 공정을 위한 설정값(setpoints)으로 간주되는 "실제" 또는 참고 측정치에 대해 수행된다. 제1 다변수 분석을 구현하기 위해, 예를 들어, 주 성분 분석(PCA)이 계측 데이터 세트에 대해 수행될 수 있다. PCA 분석은 계측 데이터 세트를 다수의 다차원 성분 벡터로 분해한다. 마찬가지로 제2 다변수 분석을 수행하기 위해, PCA를 기준 데이터(설정값 데이터)에 적용하여 해당 다차원 데이터 세트를 성분 벡터로 분해할 수 있다.
- [0110] 단계 620에서, 2가지 다변수 분석의 결과가 비교되어, 계측 데이터에서 보고된 오버레이와 참고 기술 이외의 것으로 측정된 오버레이 간의 최상의 상관 관계를 갖는 계측 타겟 및 레시피의 조합을 식별한다. 이러한 비교의 가능한 구현에 중 하나로서, 계측 데이터의 변화를 정렬 데이터의 변화와 상관시킬 수 있다. 변화가 최소화되도록 하려면, 오프셋(또는 PCA 측면의 거리)이 일정해야 한다. 이 방법의 예에서, 계측 타겟 유형 및 계측 레시피의 최상의 조합은 그 오버레이 값과 참고 기술에 의해 보고된 것 사이의 변화가 가장 적은 것으로 식별된다. PCA는 실제로 데이터 세트에서 가장 많은 변화가 있는 곳을 보여주는 좌표 변환이다. 오버레이 측정 오차에서 웨이퍼 대 웨이퍼 변화는 공정 모델 또는 다른 교정에서 보정될 수 있는 보다 시스템적인 오차보다 더 중요하다. 이 "거리"를 최소화하면 실제 세계에서 관찰되는 변화가 감소된다. 실제 세계에서 동일한 파라미터에 의해 기술되는 모든 유형의 데이터를 동일한 PCA 공간에 추가할 수 있다. 따라서 다수의 정렬 마크 유형 및 측정 결과는 상이한 레시피를 사용하여 시뮬레이션된 또는 실제의 측정치이든 간에 추가될 수 있다.
- [0111] 620에서, 단계 618에서 식별된 최소 거리가 너무 커서 최종 최적화된 조합을 나타낼 수 없는지 여부가

결정된다. 종래의 상황에서, 오버레이 성능이 특정 레벨에 도달하지 않으면, 제품 마스크의 새로운 인스턴스가 만들어질 필요가 있다. 이는 개발 시간의 중대한 손실을 야기한다. 따라서, 개시된 방법은 먼저 마스크 상에 이미 존재하는 백업 마크 유형으로 스위칭하는 것 및/또는 레시피를 변경하는 것과 같은 실행 가능한 대안을 탐색한다. 보다 구체적으로, 발견된 오버레이 타겟 유형 및 계측 레시피가 주어지면, 단계 620은 오버레이의 변화가 최소화되도록 최적의 정렬 마크 유형, 정렬 모델 및 정렬 레시피를 결정한다. 계측 타겟마다 다수의 결과가 존재하거나 또는 심지어는 다수의 계측 타겟이 측정된다고 가정하면, 이 단계는 정렬 전략 및 오버레이 측정 전략의 공동 최적화를 효과적으로 구현할 수 있다.

- [0112] 발견된 최소 거리가 여전히 너무 크다면, 흐름은 단계 622로 진행하며, 여기서 정렬 타겟 최적화기가 단계 604와 유사한 방식으로 다시 실행된다. 처리가 단계 604에서 행해지는 것과 유사하지만, 그 처리가 기반하고 있는 데이터는 이제 단계 614에서 프린팅된 실제 웨이퍼 상에서 행해진 측정을 포함한다. 따라서, 단계 624에서, 새로운 최적의 마크 유형(M + 1)이 결정될 수 있다.
- [0113] 정렬 마크 유형을 변경한 후, 흐름은 단계 625로 진행하여, 단계 610과 유사한 방식으로 새로운 정렬 마크 유형으로 계측 타겟 최적화가 다시 수행된다. 626에서, 최적화 단계 625의 결과로서, 최적의 레시피 및 정렬 트리 와 결합하여, 새로운 계측 타겟 설계가 수립된다.
- [0114] 계측 장치에 의해 측정된 오버레이 데이터에 대해 상이한 정렬 마크 및 레시피를 평가하여 정렬 마크 및 레시피를 최적화하는 것이 통상적인 관행임에 주목할 수 있다. 그러나, 이 경우, 계측 장치에 의해 보고된 오버레이는 설정값으로 간주된다. 대조적으로, 위의 방법에서는 독립적인 참고 기술에 의해 측정된 "실제" 오버레이 값이 설정값으로 사용된다. 계측 타겟 및 계측 레시피와 정렬 마크 및 정렬 레시피 모두는 위의 방법으로 함께 최적화될 수 있다. 하나 이상의 후속 층에 대한 정렬 마크 및 레시피의 선택이 존재하는 경우, 단계 612는 완전한 최적화된 정렬 트리를 얻기 위한 정렬 마크 유형 및 정렬 레시피의 단계별 최적화를 포함할 수 있다.
- [0115] 공동 최적화는 도 6에 도시된 반복 루프에서 정렬 마크 및 계측 타겟을 순차적으로 수정함으로써 수행되지만, 이 순차적 접근법이 가능한 유일한 접근법은 아니다. 순차적 접근법은 의사 결정이 필요할 때 모든 데이터를 이용할 수 없는 시스템에서 적합하다. 미래의 시스템에서, 정렬 센서와 계측 센서는 보다 복잡하고/하거나 서로 유사해지거나, 또는 심지어는 동일한 기기가 될 수 있다. 이러한 경우, 정렬 마크 유형 및 계측 마크 유형의 수정은 단일의 공동 최적화 계산 내로 결합될 수 있다.
- [0116] 마크 유형과 레시피의 변화에 부가적으로, 정렬 마크 및 계측 타겟의 위치 또한 변화되어 공정의 일부로서 공동 최적화될 수 있다. 오버레이 성능 제어를 위한 공동 최적화 공정은 다른 파라미터, 예를 들어, 초점에서의 성능 제어의 최적화와 결합될 수 있다. 예를 들어, 초점 계측을 위한 타겟은 오버레이를 위한 계측 타겟 및/또는 정렬 마크와 공간을 두고 경쟁할 수 있다. 향상된 오버레이 성능이 초점 성능의 저하를 초래하지 않도록 보장하기 위해 이러한 모든 변수의 공동 최적화가 구현될 수 있다.
- [0117] 만족스러운 거리가 단계 620에서 발견된다고 가정하면, 개발 단계의 방법이 종료된다. 제어는 단계 630으로 진행하며, 여기서 생산 단계에서의 최적화가 계속된다. 생산 단계에서, 대량의 웨이퍼들은 로트로(in lots) 처리된다. 예를 들어, 하나의 로트는 25 개의 웨이퍼를 포함할 수 있다. 각 로트는, 각 웨이퍼마다 도 3에 도시된 전체 주기를 포함하여 몇 분 내에 고성능 리소그래피 장치에 의해 처리될 것이다.
- [0118] 도 6에 도시된 외부 루프에서, 런-투-런 제어 전략의 최적화가 구현된다. 데이터 처리 장치는 다수의 가능한 후보들 중 어떤 피드백 전략이 관심있는 제품 및 층에 대해 가능한 최상의 오버레이를 초래하는지를 결정하도록 프로그램된다. 본 실시예에서 실행되는 런-투-런(run-to-run)(R2R) 최적화 시스템에는 몇 가지 구성 요소가 있다:
- [0119] ● 제1 모듈은 현재 운영중인 것과는 상이한 R2R 전략이 적용되었다면 어떤 오버레이가 달성되었을 것인지를 계산하기 위해 제공된다.
- [0120] ● 제2 모듈은 도 4의 APC 제어 시스템과 병행적으로 실행되며 몇 가지 대안의 R2R 피드백 전략을 사용하여 새로운 공정 보정치를 계산한다. 이러한 공정 보정치는 계산되지만 생산 공정을 제어하는 데에 적용되지 않는다. 그러나, 여러 로트가 리소그래피 장치를 통해 처리되고 계측 시스템(MET)에 의해 측정된 후에, 이 모듈은 대안의 전략을 현재 운영중인 것과 비교하고, 이들 중 어느 것이 최상의 오버레이 성능을 달성하였을 것인지를 보고한다.
- [0121] 상기 모듈들은 설정 단계 및/또는 생산 단계를 위해 생산 설비의 상이한 컴퓨터 시스템들에서 구현될 수 있다. 생산 단계에서, 특히 외부 피드백 루프는 도 7을 참조하여 이하에서 설명되는 바와 같이, 런-투-런 제어 전략

최적화를 수행하도록 기능할 것이다. 제1 모듈 및/또는 제2 모듈은 또한 일부 로트가 공정 보정치의 계산에 포함되지 않았다면 오버레이 성능이 더 좋았을 것인지를 계산할 수 있다. 이 로트는 이후 "이상치 로트(outlier lots)"로 태깅된다. 이 이상치 로트의 결정에 기초하여, 시스템은 기관을 패터닝하기 전에 정렬 데이터 상에서 동작하는 이상치(outlier) 검출 알고리즘에 의해 각각의 특정 이상치 로트가 검출되었는지를 결정할 것이다.

[0122] 고급 공정 제어를 위해 구현된 피드백 시스템은 천천히 변하는 데이터에서만 잘 작동하기 때문에 이상치(outliers)는 중요하다. 노이즈가 많은 데이터를 R2R 제어 시스템에 넣는 것을 피하는 것이 중요하다. 이상치 로트를 검출하기 위해, 모듈은 상이한 방식으로 작동할 수 있다. 이상치를 식별하는 한 가지 방법은 계측 시스템으로부터의 오버레이 측정치를 분석하고 그 오버레이가 정규 분포 임계치 밖에 있는 것을 표시하는 것이다. 이상치를 식별하는 다른 방법은 기관 상에 패턴을 인가하기 전에 리소그래피 장치의 정렬 센서에 의해 측정된 정렬 데이터를 이용하는 것이다. 높은 위치 편차를 나타내는 웨이퍼, 특히 예를 들어 정렬 모델에 의해 보정되지 않은 큰 잔류물을 나타내는 웨이퍼는 이상치로 표시될 수 있다. 정렬과 오버레이는 동일하지 않지만 정렬은 통계적으로 오버레이의 예측자이다. 또한 제2 방법은 모든 웨이퍼에 대해 정렬 데이터를 사용할 수 있다는 장점이 있지만 반면에 오버레이 계측 데이터는 로트 당 몇 개의 샘플 웨이퍼에만 사용될 수 있다. 어떤 방법을 선택하든 이상치 검출의 임계치는 그 자체로 본원에서 설명된 방법으로 최적화될 수 있는 R2R 제어 전략의 파라미터이다.

[0123] 도 6의 흐름도로 돌아가서, R2R 최적화 방법의 일 실시예는 단계 630에서 시작하는 외부 피드백 루프에 의해 구현된다. 630에서, 현재 사용되는 정렬 마크, 계측 타겟, 정렬 레시피 및 계측 레시피의 조합이 주어지면, 현재 선택된 R2R 제어 전략이 최적인지의 여부가 테스트된다.

[0124] 단계 630에서의 테스트가 현재 사용된 조합이 R2R 제어에 최적이라고 판별하면, 흐름은 단계 604 및 단계 622와 유사하게 정렬 마크 최적화기가 다시 실행되는 단계 632로 진행한다. 단계 634에서, 정렬 마크 유형 Q는 최적화 단계 632의 결과로서 식별된다. 전술한 내부 피드백 루프에서, 최적화된 정렬 및 계측 성능을 초래하지 않는 정렬 마크 유형이 고려되어 고려 대상에서 제외된다. 대조적으로, 외부 루프에서는, 유효한 조합을 시도하여 찾기 위해 사용 가능한 모든 유형의 마크를 고려한다. 단계 636에서, 새로운 R2R 제어 전략 (S+1)은 위에서 식별된 모듈들 중 하나에 의해 발견되고, 제어는 단계 625로 되돌아 간다. 새로운 정렬 마크 유형과 런-투-런 제어 전략이 주어지면, 최적의 계측 타겟 및 최적의 계측 레시피가 다시 결정된다.

[0125] 설정 단계(원래 단계 610)에서의 선택 기준이 프린팅 가능성, 정확성 및 견고성이었다는 것이 상기된다. 생산 단계에서, 다수의 로트에 걸쳐 방법의 성능에 대한 추가 정보가 이제 이용될 수 있다. 따라서, 단계 625에서 최적의 계측 타겟 유형을 수정함에 있어서, 추가적인 기준인 안정성이 적용될 수 있다. 다시 말해, 최적의 계측 타겟 및/또는 계측 레시피는 성능 측정치가 상이한 피드백 전략에 사용될 것이라는 점을 고려할 때 이전에 선택한 것과 약간 다를 수 있다.

[0126] 흐름은 단계 630에서 테스트를 통과하는 데 필요한 만큼의 반복으로 최적화 공정을 지속한다. 640에서, 생산 공정 또는 출력을 제어하기 위한 완전한 최적화된 파라미터 세트는 정렬 마크, 정렬 트리, 정렬 레시피, 계측 타겟, 계측 레시피 및 런-투-런 제어 설정치의 최적 조합을 포함한다. 최적화 흐름도는 단계 650에서 종료하지만, 처리량 증가의 경험으로부터 이익을 얻기 위해 원하는 간격으로 처리가 반복된다. 상이한 R2R 제어 전략을 평가하는 모듈은 원하는 대로 지속적으로 실행될 수 있다.

[0127] 생산 단계 동안 R2R 제어 전략을 최적화하는 것 외에도, 원칙적으로 시스템은 정렬 마크 유형 및 레시피 및/또는 계측 타겟 유형 및 레시피의 선택을 다시 검토할 수도 있다. 원칙적으로, 리소그래피 장치 내의 센서는 인라인(inline)으로 실험할 수 있다. 예를 들어, 정렬 센서는 이미 정렬 마크용 다중 색상 데이터를 수집할 수 있으므로 상이한 레시피들이 별도의 측정 오버헤드 없이 평가될 수 있다. 다른 유형의 측정은 생산 처리량에 영향을 줄 수 있으므로, 한다고 하더라도 아마도 가끔 수행될 수 있을 것이다.

[0128] 도 7은 상술한 제어 시스템을 구현하는, 리소그래피 제조 설비의 다양한 하드웨어 및 처리 구성 요소의 상호 작용을 개략적으로 도시한다. 좌측 및 우측면에서, 리소그래피 장치(LA) 및 계측 시스템(MET)이 보여질 수 있다. 리소셀의 감시 제어 시스템(SCS)에 커맨드(702)를 발행하여 웨이퍼의 주어진 로트(벡치)의 처리를 개시하는 제조 실행 시스템(MES)이 제공된다. 도면에는 단일 리소그래피 장치(LA)만이 도시되어 있지만, 실제로는 동일한 감시 제어 시스템이 대량 제조 환경에서 동시 작동하는 적어도 하나의 리소그래피 장치들의 클러스터와 함께 작동할 것이다. 위의 도 3과 관련하여 설명된 다양한 제어 루프를 사용하게 되면, 모든 개별 도구에 특정된 보정치 외에도 공정 보정치가 모든 장치에 적용될 수 있다.

- [0129] 도 7에서, 고급 공정 제어 모듈(APC)은 제조 실행 시스템(MES) 및 리소그래피 정보 시스템(LIS)과는 별도로 도시되어 있다. 이러한 시스템은 도 1에 도시된 감시 제어 시스템(SCS) 내의 구성 요소로 간주될 수 있다. 이러한 시스템은 공통의 컴퓨팅 시스템에서 구현될 수 있거나, 실제로는 별도의 시스템이 될 수 있다. APC 시스템은 예를 들어, 생산 설비 운영자 및/또는 계측 장치 공급자에 의해 제공되어 실행될 수 있는 반면, SCS의 다른 요소들은 리소그래피 장치와 보다 밀접하게 통합되어 리소그래피 장치와 함께 공급된다. 도 7에서, 고급 공정 제어 시스템(APC)은 활성 R2R 제어 전략에 따라 공정 보정치(714)을 계산하기 위해 현재의 로트에 대한 이력 성능 데이터(704) 및 컨텍스트 데이터를 사용한다. 이러한 공정 보정치(714)은 리소그래피 장치에 공급된다. 웨이퍼가 리소셀을 통해 처리된 후, LIS 내의 최적화 모듈(706)은 계측 시스템(MET)으로부터 오버레이 데이터(708)를 수신한다. 최적화 모듈(706)은 리소그래피 장치로부터 동일한 웨이퍼의 처리 동안 수집된 상응하는 정렬 데이터의 보고서(710)를 요청함으로써 오버레이 데이터에 응답한다. 이러한 정렬 데이터는 정렬 센서로부터 도출된 위치 측정치뿐만 아니라 정렬 마크가 측정된 후 특정 시간 동안 유지되는 상이한 색상, 편광 등에 대한 원시 신호 데이터를 포함한다. APC 모듈로부터 수신된 컨텍스트 정보(714)와 함께, 최적화 모듈(706)은 런-투-런 피드백 제어의 인라인 공정을 포함하여 도 6의 방법을 수행하는 데 필요한 정보를 갖는다. 컨텍스트 정보는 예를 들어 APC 리셋 신호 및 유사한 특성을 갖는 상이한 "스레드"에 상이한 로트를 할당하는 정보를 포함할 수 있다. 이러한 방식으로 여러 개의 병렬 제품 유형 및 공정은 각 스레드에 특정된 피드백 루프와 함께 인터리빙될 수 있다. 모듈 APC는 언제든지 새로운 노광 보정 데이터의 계산을 트리거할 수 있다.
- [0130] 도 6의 최적화 방법을 수행한 후에, 최적화 모듈은 한 로트의 웨이퍼를 패터닝하는 데 사용하기 위해 리소그래피 장치에 노광 보정 데이터(716)를 전달한다. 모듈(APC)은 과거의 웨이퍼에 대해 수행된 성능 측정치에 따라 그리고 현재의 런-투-런 전략에 따라 공정 보정 데이터(718)를 제공한다. 유사하게, 최적화 모듈(706)은 계측 레시피 데이터(720)를 계측 시스템(MET)에 제공하여 패터닝 후에 오버레이가 웨이퍼 상에서 측정되도록 한다. 이러한 측정의 결과는 모듈(APC)에 의한 사용을 위해 새로운 이력 성능 데이터(704)를 형성한다.
- [0131] 일단 생산이 진행되면, 도 6의 외부 피드백 루프에 의해 런-투-런(R2R) 최적화가 또한 수행된다. 도시된 예에서, 인라인 R2R 최적화 모듈(740)이 제공되며, 이것은 도 6과 관련하여 위에서 언급된 제2 모듈에 대응한다. 이 모듈은 리소그래피 정보 시스템(LIS)으로부터 제공된 실시간 컨텍스트 데이터(752)를 사용하여 생산 공정과 병행적으로 실행된다. 컨텍스트 및 성능 데이터(752)는 예를 들어 로트 보고서, 노광 보정치가 사용된 정렬 데이터, 측정된 오버레이 데이터, 및 모듈(APC)로부터의 컨텍스트 데이터를 포함할 수 있다. 원래, 컨텍스트 데이터 및 성능 데이터는 이미 처리된 웨이퍼를 지칭하지만, 유사한 조건 하에서 유사한 로트의 웨이퍼의 처리가 진행 중이며 그리고 짧은 시간 내에, 예를 들어 1시간 미만에 R2R 최적화기에 의해 영향을 받을 수 있다는 의미에서 "실시간"이라고 언급된다.
- [0132] 전술한 방법에 의해, 인라인 R2R 모듈(740)은 소정의 성능 파라미터가 상이한 런-투-런 제어 전략의 사용에 의해 개선되었는지 여부를 분석한다. 대안의 R2R 제어 전략이 식별되는 경우, 보고서(744)가 생성되어 APC 모듈로 전달될 수 있다. 이 보고서는 향후의 로트에 대한 개선된 전략을 구현하기 위해 자동으로 사용될 수 있다. 자동화된 구현은 완전히 자동적이거나, 또는 전략의 변경을 확인하고/하거나 다수의 대안의 전략 중에서 선택하기 위한 프롬프트를 인간 운영자에게 제시할 수 있다.
- [0133] 도시된 예에서, 오프라인 R2R 최적화 모듈(750)이 도시되고, 이는 위에서 기술된 제1 모듈에 대응한다. 이는 언제든지 실행될 수 있으며, 그때 이 모듈은 예를 들어 로트 보고서, 노광 보정치가 사용된 정렬 데이터, 측정된 오버레이 데이터, 및 모듈(APC)로부터의 컨텍스트 데이터를 포함하는 이력 컨텍스트 및 성능 데이터를 전달하도록 LIS를 트리거할 것이다. 대안의 R2R 제어 전략을 평가하는 보고서(754)가 생성된다.
- [0134] 이들 모듈(740, 750) 중 어느 하나에 의해 모든 전략이 불안정한 것으로 판명되면, 시스템은 대안의 위치 측정 마크 유형 및 레시피 및/또는 대안의 계측 타겟 유형 및 레시피를 찾기 위해, 생산 데이터 및 아마도 여분의 측정치를 사용하여 단계 622 및 단계 625를 포함하는 내부 루프의 재실행을 트리거링(또는 프롬프팅)할 수 있다.
- [0135] 결론
- [0136] 본 명세서에 개시된 기술에 의하면, 정렬 마크 및 계측 타겟의 설계 및 사용을 최적화하기 위한 현재 존재하는 방법이 개선될 수 있다. 보다 최적화된 마크 및 설정치의 조합을 얻기 위한 공동 최적화가 수행된다. 최적의 조합이 보다 신뢰성있게 획득될 뿐만 아니라 공지된 기술보다 훨씬 빨리 획득될 수 있다. 최적의 조합은 예를 들어 오버레이 및/또는 초점과 같은 관심있는 성능 파라미터의 임의의 조합에 기초하여 결정될 수 있다.
- [0137] 공동 최적화는 도 6의 예시적인 방법에서 정렬 마크 및 계측 타겟을 순차적으로 수정함으로써 수행되지만, 이러

한 순차적인 접근법은 필수적인 것은 아니다. 다른 실시예들에서, 정렬 마크 유형 및 계측 마크 유형의 수정은 단일의 공동 최적화 계산 내에 결합될 수 있다. 따라서 청구범위는 엄격하게 순차적인 접근법을 요구하는 것으로 해석되어서는 안된다.

- [0138] 본 방법은 기존 개발 공정 및 진행중인 고급 공정 제어 루프 내에 쉽게 통합될 수 있다. 향상된 성능을 얻기 위해 새로운 하드웨어가 요구되는 것이 아니다.
- [0139] 리소그래피 장치의 하드웨어 및 리소셀(LC)과 관련하여, 일 실시예는 리소그래피 제조 시스템의 프로세서가 전술된 바와 같은 모델 맵핑 및 제어 방법을 구현하게 하는 하나 이상의 시퀀스의 머신 판독 가능한 명령어를 포함하는 컴퓨터 프로그램을 포함할 수 있다. 이 컴퓨터 프로그램은 예를 들어 이미지 계산/제어 프로세스를 위해 사용되는 별도의 컴퓨터 시스템에서 실행될 수 있다. 대안적으로, 계산 단계는 프로세서 내의 계측 도구, 및/또는 도 1 및 도 2의 제어 유닛(LACU) 및/또는 감시 제어 시스템(SCS)에서 전체적으로 또는 부분적으로 수행될 수 있다. 비 일시적인 형태로 저장된 상기 컴퓨터 프로그램을 갖는 데이터 저장 매체(예를 들어, 반도체 메모리, 자기 또는 광학 디스크)가 또한 제공될 수 있다.
- [0140] 본 발명은 다음의 항목을 사용하여 더 기술될 수 있다:
- [0141] 항목 1. 패터닝 공정을 제어하는 방법은,
- [0142] (a) 기판 상에 제공된 다수의 위치 측정 마크의 위치를 측정하는 단계;
- [0143] (b) 상기 측정된 위치를 사용하여 기판 보정치를 정의하는 단계;
- [0144] (c) 상기 기판에 패턴을 인가하기 위해 상기 패터닝 공정을 제어할 때 상기 기판 보정치를 사용하는 단계;
- [0145] (d) 상기 인가되는 패턴에 포함된 다수의 성능 측정 타겟을 사용하여, 상기 패터닝 공정의 성능 파라미터를 측정하는 단계; 및
- [0146] (e) 다수의 기판을 처리한 후, 상기 측정된 성능 파라미터를 사용하여 공정 보정치를 계산하고, 단계 (c)에서의 기판 보정치와 함께 상기 공정 보정치를 사용하는 단계를 포함하고,
- [0147] 상기 방법은 설정 단계에서,
- [0148] (i) 상기 패터닝 공정의 예상 파라미터들을 참조하여 복수의 후보 마크 유형들 중에서 상기 패터닝 공정을 위한 위치 측정 마크의 유형을 선택하는 단계;
- [0149] (ii) 상기 패터닝 공정을 사용하여 복수의 후보 유형의 성능 측정 타겟을 포함하는 테스트 패턴을 다수의 기판에 인가하는 단계; 및
- [0150] (iii) 상이한 유형의 성능 측정 타겟을 사용하여 측정된 패터닝 공정의 성능을 다른 수단에 의해 측정된 패터닝 공정의 성능과 비교함으로써 바람직한 후보 유형의 성능 측정 타겟을 선택하는 단계를 더 포함하고,
- [0151] 상기 방법은 상기 설정 단계에서,
- [0152] (iv) 단계 (ii)에서 패터닝 공정의 실제 수행 이후에 위치 측정 마크 및 성능 측정 타겟의 측정에 기초하여, 단계 (c)에서 상기 패터닝 공정을 제어하는데 사용되는 위치 측정 마크 유형의 선택을 수정하는 단계를 더 포함한다.
- [0153] 항목 2는 항목 1에 있어서, 상기 복수의 후보 마크 유형은 적어도 상기 설정 단계 동안 각 기판 상에 제공된다.
- [0154] 항목 3은 항목 1 또는 항목 2에 있어서, 상기 단계 (i) 및/또는 (iv)는 상이한 유형의 위치 측정 마크 사이에서 선택하는 것 이외에도, 위치 측정 방법을 위한 상이한 레시피 중에서 선택하는 단계를 더 포함한다.
- [0155] 항목 4는 항목 1 내지 항목 3에 있어서, 상기 단계 (ii)는 상기 패터닝 공정의 예상 파라미터를 참조하여 복수의 유형 중에서 패터닝 공정을 위한 하나 이상의 후보 유형의 성능 측정 타겟을 선택하는 단계를 포함한다.
- [0156] 항목 5는 항목 1 내지 4 중 어느 한 항목에 있어서, 상기 방법이 상기 설정 단계에서,
- [0157] (v) 단계 (ii)의 패터닝 공정의 실제 수행 이후에 위치 측정 마크 및 성능 측정 타겟의 측정에 기초하여, 단계 (c)에서 패터닝 공정을 제어하는데 사용되는 성능 측정 타겟 유형의 선택을 수정하는 단계를 더 포함한다.
- [0158] 항목 6은 항목 1 내지 5 중 어느 한 항목에 있어서, 상기 단계 (ii) 및/또는 (v)는 상이한 유형의 성능 측정 타

겟 중에서 선택하는 것 이외에도, 성능 측정 방법을 위한 상이한 레시피 중에서 선택하는 단계를 더 포함한다.

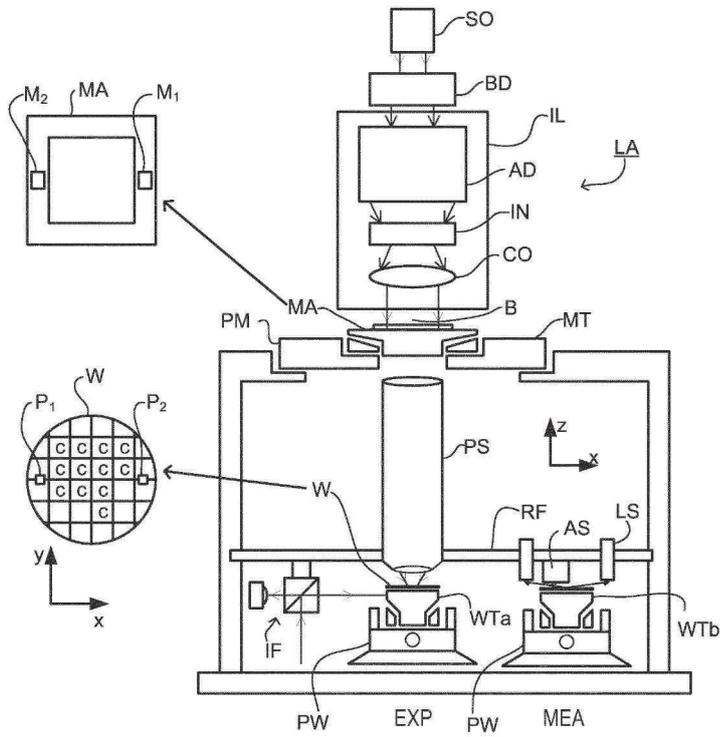
- [0159] 항목 7은 항목 1 내지 6 중 어느 한 항목에 있어서, 생산 단계의 단계 (e)에서, 상기 공정 보정치는 선택된 성능 피드백 전략에 따라 새로 처리된 기관으로부터의 측정된 성능 파라미터에 응답하여 점진적으로 갱신된다.
- [0160] 항목 8은 항목 7에 있어서,
- [0161] (vi) 상기 선택된 성능 피드백 전략을 사용하여 상기 패터닝 공정의 성능을 제어하는 것과 병행하여, 하나 이상의 대안적인 성능 피드백 전략에 따라 대안적인 공정 보정치를 계산하는 단계, 및
- [0162] (vii) 상기 선택된 성능 피드백 전략을 사용하여 달성된 패터닝 공정의 성능과 상기 대안적인 성능 피드백 전략을 사용하여 시뮬레이션된 패터닝 공정의 성능을 비교하여 상기 시뮬레이션된 성능이 상기 달성된 성능보다 더 우수한 대안적인 성능 피드백 전략으로 스위칭하는 단계를 더 포함한다.
- [0163] 항목 9는 항목 8에 있어서,
- [0164] (viii) 대안적인 성능 피드백 전략으로 스위칭한 후, 상이한 유형의 성능 측정 마크를 사용하여 측정된 새로운 성능 피드백 전략 패터닝 공정의 안정성을 비교함으로써 바람직한 후보 유형의 성능 측정 타겟의 선택을 수정하는 단계를 더 포함한다.
- [0165] 항목 10은 다수의 기관들을 처리한 후에 패터닝 공정의 성능을 측정하는 데 성능 측정 타겟들을 사용하는 패터닝 공정 제어 방법으로서,
- [0166] 상기 패터닝 공정 제어 방법은 설정 단계에서,
- [0167] (i) 상기 패터닝 공정의 예상 파라미터들을 참조하여 복수의 후보 마크 유형 중에서 상기 패터닝 공정을 위한 위치 측정 마크의 유형을 선택하는 단계;
- [0168] (ii) 상기 패터닝 공정을 사용하여 복수의 후보 유형의 성능 측정 타겟을 포함하는 테스트 패턴을 다수의 기관에 인가하는 단계; 및
- [0169] (iii) 상이한 유형의 성능 측정 타겟을 사용하여 측정된 패터닝 공정의 성능과 다른 수단에 의해 측정된 패터닝 공정의 성능을 비교함으로써 바람직한 후보 유형의 성능 측정 타겟을 선택하는 단계를 더 포함하고,
- [0170] 상기 패터닝 공정 제어 방법은 상기 설정 단계에서,
- [0171] (iv) 단계 (ii)의 패터닝 공정의 실제 수행 후에 위치 측정 마크 및 성능 측정 타겟의 측정에 기초하여, 상기 기관에 걸쳐 위치 편차를 측정하기 위해 상기 패터닝 공정에서 사용되는 위치 측정 마크 유형의 선택을 수정하는 단계를 더 포함한다.
- [0172] 항목 11은, 다수의 기관을 처리 한 후에, 공정 보정치를 계산하는 데 측정된 성능 파라미터를 사용하며, 상기 공정 보정치는 일련의 새로운 기관에 패턴을 인가하는 데 사용되며, 그리고 상기 공정 보정치는 선택된 성능 피드백 전략에 따라 새로 처리된 기관으로부터 측정된 성능 파라미터에 응답하여 점진적으로 업데이트되는 패터닝 공정 제어 방법이며, 이 패터닝 공정 제어 방법은,
- [0173] (i) 상기 선택된 성능 피드백 전략을 사용하여 상기 패터닝 공정의 성능을 제어하는 것과 병행하여, 하나 이상의 대안적인 성능 피드백 전략에 따라 대안적인 공정 보정치를 계산하는 단계, 및
- [0174] (ii) 상기 선택된 성능 피드백 전략을 사용하여 달성된 패터닝 공정의 성능과 상기 대안적인 성능 피드백 전략을 사용하여 시뮬레이션된 패터닝 공정의 성능을 비교하여, 시뮬레이션된 성능이 상기 달성된 성능보다 우수한 대안적인 성능 피드백 전략으로 스위칭하는 단계를 더 포함한다.
- [0175] 항목 12는 리소그래피 장치용 제어 시스템으로서,
- [0176] 복수의 이전 기관에 패턴을 인가할 때 패터닝 공정의 성능을 나타내는 이력 성능 측정치를 저장하는 저장 장치; 및
- [0177] 패터닝 공정을 제어하기 위해 현재의 기관 상에 행해진 위치 측정치와 함께 상기 이력 성능 측정치를 사용하기 위한 프로세서를 포함하고,
- [0178] 상기 제어 시스템은 최적화 시스템 내에서,
- [0179] 상기 패터닝 공정의 예상 파라미터들을 참조하여 복수의 후보 마크 유형들 중에서 상기 패터닝 공정을 위한 위

치 측정 마크의 유형을 선택하는 모듈;

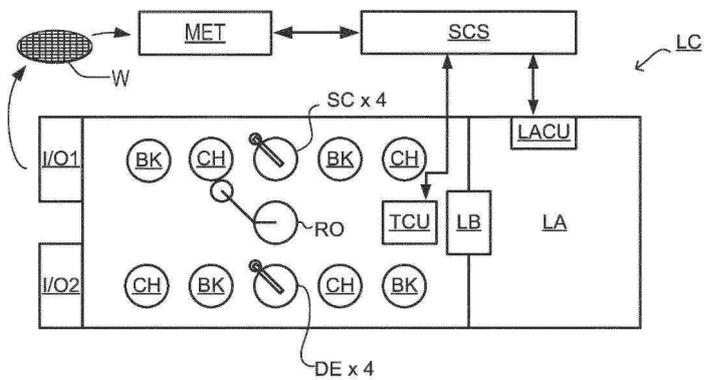
- [0180] 상이한 유형의 성능 측정 타겟을 사용하여 측정된 패터닝 공정의 성능과 다른 수단에 의해 측정된 패터닝 공정의 실제 성능을 비교함으로써 하나 이상의 기관에 적용되는 복수의 후보 유형의 성능 측정 타겟 중에서 바람직한 후보 유형의 성능 측정 타겟을 선택하는 모듈, 및
- [0181] 상기 패터닝 공정의 실제 수행 후에 위치 측정 마크 및 성능 측정 타겟의 측정에 기초하여 상기 기관에 걸쳐 위치 편차를 측정하는 데 사용되는 위치 측정 마크 유형의 선택을 수정하는 모듈을 더 포함한다.
- [0182] 항목 13은 디바이스 제조 방법으로서, 디바이스 피처 및 계측 타겟은 패터닝 고정에 의해 일련의 기관 상에 형성되며, 하나 이상의 처리된 기관 상의 계측 타겟의 특성은 항목 1 내지 12 중 어느 한 항목에 따른 방법에 의해 측정되며, 측정된 특성은 추가 기관의 처리를 위해 패터닝 공정의 파라미터를 조정하는 데 사용된다.
- [0183] 항목 14는 리소그래피 장치로서, 측정 시스템, 패터닝 시스템 및 제어 시스템을 포함하고, 상기 제어 시스템은 항목 12에 청구된 것이다.
- [0184] 항목 15는 항목 1 내지 11 중 어느 한 항목의 방법의 단계들을 구현하기 위한 하나 이상의 시퀀스의 머신 판독 가능한 명령어를 포함하는 컴퓨터 프로그램 제품이다.
- [0185] 항목 16은 처리 디바이스 또는 처리 디바이스들의 시스템이 항목 12의 제어 시스템을 구현하게 하는 하나 이상의 시퀀스의 머신 판독 가능한 명령어를 포함하는 컴퓨터 프로그램 제품이다.
- [0186] 위에서 본 발명의 실시예의 사용에 대해 광학 리소그래피의 문맥에서 특징의 참조가 행해졌지만, 본 발명은 예를 들어 임프린트 리소그래피(imprint lithography)와 같은 다른 패터닝 용도에도 사용될 수 있음이 이해될 것이다. 임프린트 리소그래피에서, 패터닝 디바이스 내의 토포그래피(topography)는 기관 상에 생성된 패턴을 정의한다. 패터닝 디바이스의 토포그래피는 기관에 공급된 레지스트 층 내로 가압될 수 있으며, 기관 상에서의 레지스트는 전자기 방사선, 열, 압력 또는 이들의 조합을 인가함으로써 경화된다. 패터닝 디바이스는 레지스트가 경화된 후에 레지스트로부터 외부로 이동되어 레지스트 내에 패턴을 남기게 된다.
- [0187] 특정 실시예에 대한 전술한 설명은 다른 사람들이 당업자의 지식을 적용하게 되면, 과도한 실험없이, 본 발명의 일반적인 개념으로부터 벗어나지 않고도, 이러한 특정 실시예와 같은 다양한 애플리케이션을 용이하게 수정 및/또는 적응시킬 수 있는 본 발명의 일반적인 특성을 완전히 밝힐 것이다. 그러므로, 그러한 적응 및 수정은 본 명세서에 제시된 교시 및 지침에 기초하여 개시된 실시예들의 등가물의 의미 및 범위 내에 있는 것으로 의도된다. 본 명세서의 어구 또는 용어는 본 명세서의 용어 또는 표현이 본 발명의 교시 및 지침에 비추어 숙련된 당업자에 의해 해석되도록 예시에 의해 설명하기 위한 것이며, 제한을 위한 것이 아님을 이해해야 한다.
- [0188] 본 발명의 범위 및 영역은 상술한 예시적인 실시예들 중 어느 것에 의해서도 제한되어서는 안되며, 다음의 청구 범위 및 그 등가물에 따라서만 정의되어야 한다.

도면

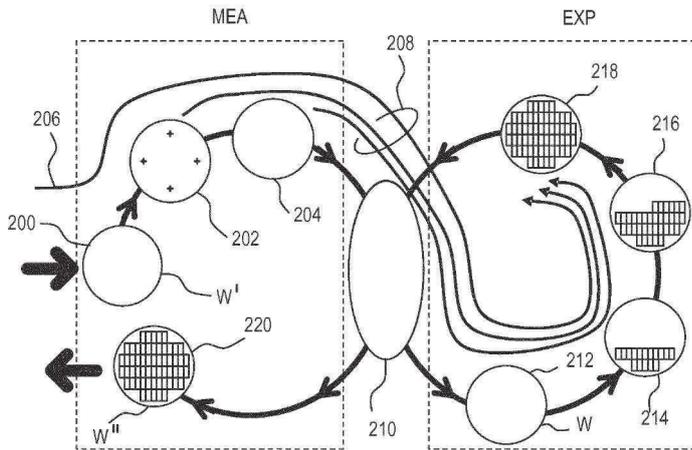
도면1



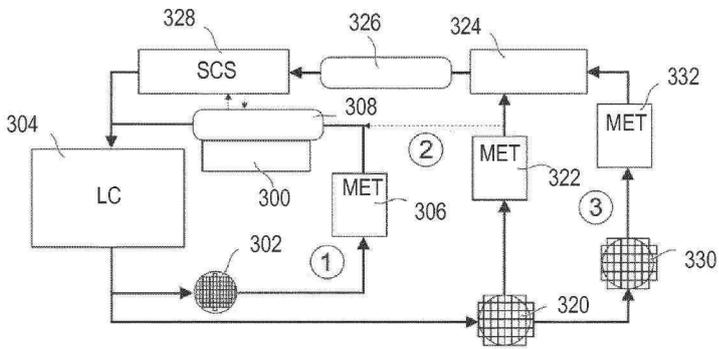
도면2



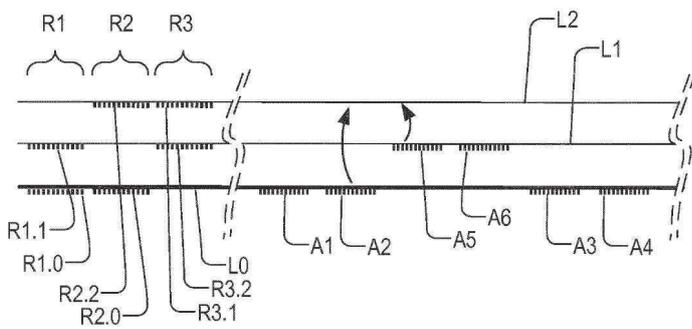
도면3



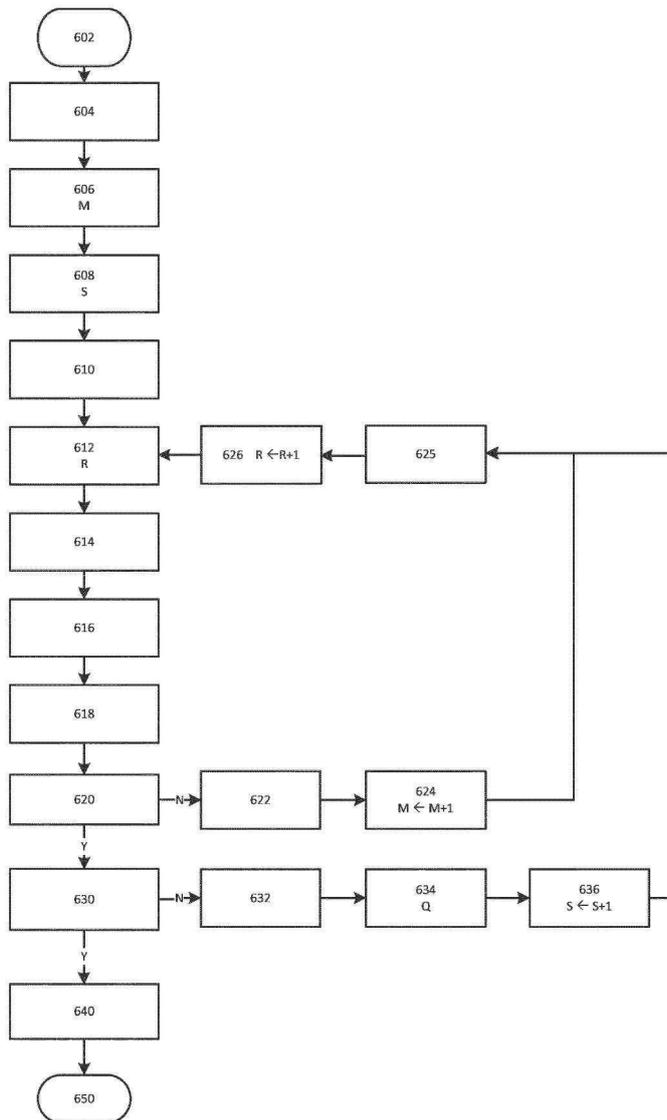
도면4



도면5



도면6



도면7

