



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년04월05일

(11) 등록번호 10-1608479

(24) 등록일자 2016년03월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01L 21/66 (2006.01) H01L 21/027 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2014-7035320(분할)

(22) 출원일자(국제) 2008년04월23일

심사청구일자 2015년01월15일

(85) 번역문제출일자 2014년12월16일

(65) 공개번호 10-2015-0006074

(43) 공개일자 2015년01월15일

(62) 원출원 특허 10-2014-7010643

원출원일자(국제) 2008년04월23일

심사청구일자 2014년04월21일

(86) 국제출원번호 PCT/US2008/061299

(87) 국제공개번호 WO 2008/131422

국제공개일자 2008년10월30일

(30) 우선권주장

60/913,435 2007년04월23일 미국(US)

12/107,346 2008년04월22일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

KR1020040098564 A

KR1020060034690 A

KR1020060116193 A

(73) 특허권자

케이엘에이-텐코어 코오폰레이션

미국 캘리포니아 밀피타스 원 테크놀로지 드라이브 (우: 95035)

(72) 발명자

이직슨, 파벨

이스라엘 120769 헤이파 테레 야드 르 바님 120/69

로빈슨, 존

미국 78731 텍사스 오스틴 노쓰 힐즈 드라이브 4000

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

김태홍, 김진희

전체 청구항 수 : 총 23 항

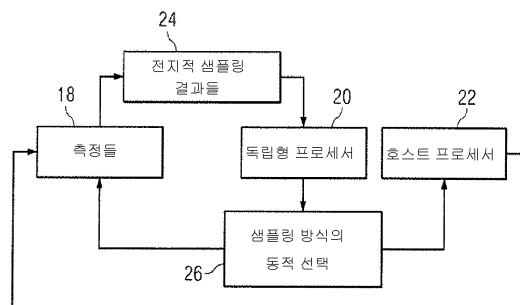
심사관 : 홍종선

(54) 발명의 명칭 웨이퍼들 상에서 측정들이 수행되는 프로세스에 대한 동적 샘플링 방식을 형성 또는 수행하기 위한 방법들 및 시스템들

### (57) 요약

웨이퍼들 상에서 측정들이 수행되는 프로세스에 대한 동적 샘플링 방식을 형성하거나 수행하기 위한 여러 다양한 방법들 및 시스템들이 제공된다. 웨이퍼들 상에서 측정들이 수행되는 프로세스에 대한 동적 샘플링 방식에 대한 한 가지 방법은 상기 웨이퍼들 상의 모든 측정 스팟들에서 적어도 하나의 로트 내 모든 웨이퍼들 상에서 측정들을 수행하는 단계를 포함한다. 상기 방법은 또한 상기 측정들의 결과들에 기초하여, 최적 샘플링 방식, 증강된 샘플링 방식, 감소된 샘플링 방식, 및 상기 프로세스에 대한 상기 동적 샘플링 방식에 대한 임계치들을 결정하는 단계를 포함한다. 상기 임계치들은 상기 최적 샘플링 방식, 상기 증강된 샘플링 방식 및 상기 감소된 샘플링 방식이 상기 프로세스에 대해 사용되어야 하는 상기 측정들의 값들에 대응한다.

대표도 - 도4



(72) 발명자

**아텔, 마이크**

이스라엘 30900 지크론 야'코브 이갈 얼론 스트리트 14

**위드만, 아미르**

미국 94087 캘리포니아 씨니베일 프랜체어 플레이스 1366

**최, 동섭**

경기 성남시 분당구 수내로46번길 4, 7층 (수내동, 경동빌딩)

**마르첼리, 아나트**

이스라엘 23100 미그달 해르네크 피.오. 박스 143 하틱쇼렛 스트리트

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

웨이퍼를 패터닝하기 위한 방법으로서,  
 상기 웨이퍼 상에서 측정들을 수행하는 단계;  
 상기 측정들의 결과들에 기초하여 상기 웨이퍼의 변형을 모델링하는 단계;  
 상기 웨이퍼의 변형에 기초하여 패터닝 툴의 하나 이상의 파라미터들을 변경하는 단계;  
 상기 변경하는 단계 이후에, 제1 패터닝된 웨이퍼를 생성하기 위해 상기 패터닝 툴을 이용하여 상기 웨이퍼를 패터닝하는 단계;  
 상기 제1 패터닝된 웨이퍼 상에서 추가적인 측정들을 수행하는 단계;  
 상기 추가적인 측정들의 결과들에 기초하여 상기 패터닝 툴의 하나 이상의 파라미터들을 변경하는 단계; 및  
 상기 추가적인 측정들의 결과들에 기초하여 상기 패터닝 툴의 하나 이상의 파라미터들을 변경하는 단계 이후에, 제2 패터닝된 웨이퍼를 생성하기 위해 상기 패터닝 툴을 이용하여 제2 웨이퍼를 패터닝하는 단계  
 를 포함하는,  
 웨이퍼를 패터닝하기 위한 방법.

#### 청구항 2

제 1 항에 있어서,  
 상기 측정들을 수행하는 단계는, 상기 웨이퍼 상의 모든 측정 스팟(spot)들에서 상기 측정들을 수행하는 단계를 포함하는,  
 웨이퍼를 패터닝하기 위한 방법.

#### 청구항 3

제 1 항에 있어서,  
 상기 측정들의 결과들은 형태 계측 데이터를 포함하는,  
 웨이퍼를 패터닝하기 위한 방법.

#### 청구항 4

제 1 항에 있어서,  
 상기 측정들의 결과들은 오버레이 계측 데이터를 포함하는,  
 웨이퍼를 패터닝하기 위한 방법.

#### 청구항 5

제 1 항에 있어서,  
 상기 모델링하는 단계는, 상기 웨이퍼가 상기 패터닝 툴의 스테이지(stage) 상에 위치될 때에 상기 웨이퍼가 가질 변형을 추정하는 단계를 포함하는,  
 웨이퍼를 패터닝하기 위한 방법.

#### 청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 모델링하는 단계는, 상기 웨이퍼 상의 설계 패턴의 패터닝에 대한 상기 변형의 영향을 시뮬레이션하는 단계를 포함하는,

웨이퍼를 패터닝하기 위한 방법.

#### 청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 부가적인 측정들의 결과들은 오버레이 측정 데이터를 포함하는,

웨이퍼를 패터닝하기 위한 방법.

#### 청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 부가적인 측정들의 결과들은 포커스 측정 데이터를 포함하는,

웨이퍼를 패터닝하기 위한 방법.

#### 청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 부가적인 측정들의 결과들은 주입량(dose) 측정 데이터를 포함하는,

웨이퍼를 패터닝하기 위한 방법.

#### 청구항 10

제 1 항에 있어서,

상기 제1 패터닝된 웨이퍼 및 상기 제2 패터닝된 웨이퍼는 동일한 로트(lot)에 있는,

웨이퍼를 패터닝하기 위한 방법.

#### 청구항 11

제 1 항에 있어서,

상기 제1 패터닝된 웨이퍼 및 상기 제2 패터닝된 웨이퍼는 상이한 로트들에 있는,

웨이퍼를 패터닝하기 위한 방법.

#### 청구항 12

웨이퍼를 패터닝하도록 동작가능한 시스템으로서,

상기 웨이퍼 상에서 측정들을 수행하도록 동작가능한 측정 툴;

상기 측정들의 결과들에 기초하여 상기 웨이퍼 상의 변형을 모델링하고, 그리고 상기 웨이퍼의 변형에 기초하여 패터닝 프로세스의 하나 이상의 파라미터들을 변경하도록 동작가능한 하나 이상의 프로세서들; 및

제1 패터닝된 웨이퍼를 생성하기 위해 상기 패터닝 프로세스의 하나 이상의 파라미터들이 변경된 이후에 상기 패터닝 프로세스를 이용하여 상기 웨이퍼를 패터닝하도록 동작가능한 패터닝 툴

을 포함하고,

상기 측정 툴은, 상기 제1 패터닝된 웨이퍼 상에서 부가적인 측정들을 수행하도록 추가로 동작가능하고,

상기 하나 이상의 프로세서들은, 상기 부가적인 측정들의 결과들에 기초하여 상기 패터닝 툴의 하나 이상의 파라미터들을 변경하도록 추가로 동작가능하며, 그리고

상기 패터닝 툴은, 상기 부가적인 측정들의 결과들에 기초하여 상기 패터닝 툴의 하나 이상의 파라미터들을 변

경한 이후에, 제2 패터닝된 웨이퍼를 생성하기 위해 상기 패터닝 툴을 이용하여 제2 웨이퍼를 패터닝하도록 추가로 동작가능한,

웨이퍼를 패터닝하도록 동작가능한 시스템.

#### 청구항 13

제 12 항에 있어서,

상기 측정들을 수행하는 것은, 상기 웨이퍼 상의 모든 측정 스팟들에서 상기 측정들을 수행하는 것을 포함하는, 웨이퍼를 패터닝하도록 동작가능한 시스템.

#### 청구항 14

제 12 항에 있어서,

상기 측정들의 결과들은 응력 계측 데이터를 포함하는,

웨이퍼를 패터닝하도록 동작가능한 시스템.

#### 청구항 15

제 12 항에 있어서,

상기 측정들의 결과들은 형태 계측 데이터를 포함하는,

웨이퍼를 패터닝하도록 동작가능한 시스템.

#### 청구항 16

제 12 항에 있어서,

상기 측정들의 결과들은 오버레이 계측 데이터를 포함하는,

웨이퍼를 패터닝하도록 동작가능한 시스템.

#### 청구항 17

제 12 항에 있어서,

상기 모델링하는 것은, 상기 웨이퍼가 상기 패터닝 툴의 스테이지 상에 위치될 때에 상기 웨이퍼가 가질 변형을 추정하는 것을 포함하는,

웨이퍼를 패터닝하도록 동작가능한 시스템.

#### 청구항 18

제 12 항에 있어서,

상기 모델링하는 것은, 상기 웨이퍼 상의 설계 패턴의 패터닝에 대한 상기 변형의 영향을 시뮬레이션하는 것을 포함하는,

웨이퍼를 패터닝하도록 동작가능한 시스템.

#### 청구항 19

제 12 항에 있어서,

상기 부가적인 측정들의 결과들은 오버레이 계측 데이터를 포함하는,

웨이퍼를 패터닝하도록 동작가능한 시스템.

#### 청구항 20

제 12 항에 있어서,

상기 부가적인 측정들의 결과들은 포커스 계측 데이터를 포함하는,  
웨이퍼를 패터닝하도록 동작가능한 시스템.

#### 청구항 21

제 12 항에 있어서,  
상기 부가적인 측정들의 결과들은 주입량 계측 데이터를 포함하는,  
웨이퍼를 패터닝하도록 동작가능한 시스템.

#### 청구항 22

제 12 항에 있어서,  
상기 제1 패터닝된 웨이퍼 및 상기 제2 패터닝된 웨이퍼는 동일한 로트에 있는,  
웨이퍼를 패터닝하도록 동작가능한 시스템.

#### 청구항 23

제 12 항에 있어서,  
상기 제1 패터닝된 웨이퍼 및 상기 제2 패터닝된 웨이퍼는 상이한 로트들에 있는,  
웨이퍼를 패터닝하도록 동작가능한 시스템.

### 발명의 설명

#### 기술 분야

[0001] 본원은 2007년 4월 23일자로 출원된 미국 가출원 제60/913,435호, "Methods and Systems for Creating or Performing a Dynamic Sampling Scheme for a Process During Which Measurements are Performed on Wafers"에 대한 우선권을 주장하는 바이며, 상기 미국 가출원은 전체가 참조에 의해 본 명세서에 편입된다.

[0002] 본 발명은 일반적으로 웨이퍼들 상에서 측정들이 수행되는 프로세스에 대한 동적 샘플링 방식을 형성 또는 수행하기 위한 방법들 및 시스템들에 관한 것이다. 특정 실시예들은 적어도 한 로트(lot)의 모든 웨이퍼들에 대해 웨이퍼들 상의 모든 측정 스팟(measurement spot)들에서 측정들을 수행하고 그러한 측정들의 결과들에 기초하여 상기 프로세스에 대한 동적 샘플링 방식에 대한 파라미터들을 결정하는 것에 관한 것이다.

#### 배경 기술

[0003] 이하의 설명 및 예시들은 본 섹션에 포함되었다 하여 선행기술인 것으로 인정되는 것은 아니다.

[0004] 로직 및 메모리 장치들에 같은 반도체 장치들을 제조하는 것은 전형적으로 반도체 장치들의 여러 피쳐(feature)들 및 다수 레벨들을 형성하기 위하여 다수의 반도체 제조 프로세스들을 사용하여 반도체 웨이퍼와 같은 표본(specimen)을 프로세싱하는 것을 포함한다. 예를 들어, 리소그래피는 전형적으로 패턴을 반도체 웨이퍼 상에 배열된 레지스트(resist)로 전사하는 것을 수반하는 반도체 제조 프로세스이다. 반도체 제조 프로세스들의 부가적인 예들은 화학적-기계적 연마, 에칭, 증착 및 이온 주입을 포함하고, 이에 제한되지 않는다. 다수의 반도체 장치들은 반도체 웨이퍼 상에서 하나의 어레이먼트로 제조된 다음, 개별적인 반도체 장치들로 분리될 수 있다.

[0005] 계측 프로세스(metrology process)들은 반도체 제조 프로세스 동안 그러한 프로세스를 모니터링하고 제어하기 위하여 여러 단계들에서 사용된다. 예를 들어, 계측 프로세스들은 하나의 프로세스 동안 웨이퍼 상에 형성된 피쳐들의 수치(예를 들어, 라인 폭, 두께 등)와 같은 웨이퍼의 하나 또는 둘 이상의 특성들을 측정하기 위하여 사용되어, 상기 프로세스의 성능은 상기 하나 또는 둘 이상의 특성들로부터 결정될 수 있다. 부가하여, 웨이퍼의 하나 또는 둘 이상의 특성들이 허용가능하지 않다면(예를 들어, 그러한 특성(들)에 대한 미리결정된 범위 밖에 있다면), 웨이퍼의 하나 또는 둘 이상의 특성들의 측정들은 상기 프로세스에 의해 제조된 부가적인 웨이퍼들

이 허용가능한 특성(들)을 갖도록 상기 프로세스의 하나 또는 둘 이상의 파라미터들을 변경하기 위해 사용될 수 있다.

[0006] 계측은 또한 반도체 웨이퍼들 상에 증착된 막들의 응력(stress)을 측정하기 위해 사용되어 왔다. 다이 수율(die yield)을 증가시키는 노력들은 각 프로세스 단계에서의 응력을 제어 한계 아래로 유지함으로써 웨이퍼들에서의 전체 응력을 최소화시키는 것에 포커스가 맞춰져 왔다. 전 범위 응력 측정(global stress measurement)들을 수반하는 여러 다양한 방법들은 전체 응력을 모니터링하기 위하여 개발되어 왔다. 한 가지 방법은 프로세스 단계 이전에 웨이퍼의 형태를 측정하고 그 다음 프로세스 단계 이후에 형태 측정을 반복하는 것을 포함한다. 만약 응력 및 막 두께가 웨이퍼에 걸쳐 상당히 균일하다면, 그리고 웨이퍼의 형태 변화가 웨이퍼의 두께에 비해 크지 않다면, 막 응력을 계산하기 위하여 스톤니 방정식(Stoney's equation)이 사용될 수 있다.

[0007] 프로세스 모니터링 및 제어 어플리케이션들에 대하여 웨이퍼의 하나 또는 둘 이상의 특성들을 측정하는 계측 프로세스들 및 툴들을 사용하는 것에는 다수의 단점들이 존재한다. 예를 들어, 대부분의 계측 툴들은 비교적 느리고, 특히 조사 시스템들에 비해 그러하다. 따라서 계측 프로세스들은 계측 결과들이 비교적 유리한 방식으로 획득될 수 있도록 종종 웨이퍼 상의 하나의 위치 또는 제한된 개수의 위치들에서 수행된다. 그와 같이, 제조 프로세스의 처리량(throughput)을 현저히 감소시키지 않으면서 충분한 계측 결과들을 제공하기 위하여, 측정되는 웨이퍼들 및 그러한 웨이퍼들 상에서 수행되는 측정들이 신중하게 선택되어야 한다. 측정되는 웨이퍼들 및 웨이퍼 당 수행되는 측정들의 횟수는 통상 계측 프로세스의 "샘플링"으로서 언급된다.

[0008] 표준 계측 프로세스들에서, 샘플링은 층(layer) 당 한 번 또는 심지어 제조 설비(또는 "팹(fab)") 당 한 번 선택될 수 있고 결코 변화되지 않는다. 그와 같이, 이러한 프로세스들은 제조 프로세스 변동들 및 변화들에 대한 샘플링의 둔감성으로 인하여 불리하다. 특히, 낮은 변동들을 가진 제조 프로세스 및 높은 변동들을 가진 제조 프로세스에 대하여 동일한 샘플링 레이트가 사용된다. 따라서, 제조 프로세스에서의 변동들에 대한 계측 프로세스의 샘플링의 감도를 증가시키기 위해 조정의 방법들 및 시스템들이 개발되어 왔다.

[0009] 계측 프로세스의 샘플링을 가변시키기 위한 방법들 및 시스템들의 예들은 Pasadyn 등에 의한 미국 특허 제 6,442,496호, Sonderman 등에 의한 미국 특허출원공개 제2004/0121495호, 및 Sonderman 등에 의한 국제 공개 WO 2004/061938호에 예시되고, 상기 문서들은 마치 전체가 본 명세서에 기술된 것처럼 참조에 의해 편입된다. 이러한 공개물들에 기재된 방법들 및 시스템들에서, 계측 프로세스의 현재 결과가 소정 모델에 의해 예측된 결과와 상이한 경우 샘플링 레이트를 변화시키라는 결정이 채택될 때 동적 샘플링이 수행된다. 특히, 이러한 방법들 및 시스템들은 제조 모델에 의해 결정된 예측된 결과들과 비교하여, 제조된 반도체 웨이퍼들 상에서의 측정들 간의 편차의 양을 결정한다. 편차의 양이 크면, 상기 방법들 및 시스템들은 제조 프로세스의 정확성이 낮다고 간주하고, 상기 샘플링 레이트는 제조 프로세스의 실제 결과들을 더 정확히 반영하는 생산 데이터(production data)를 획득하기 위해 증가된다. 샘플링 레이트는, 더 많은 생산 데이터를 획득하는 것이 상기 생산 데이터의 정확성을 증가시키고 생산 데이터의 정확성이 실제 제조 프로세스 결과들을 더 반영할 때, 제조 툴로의 제어 입력 파라미터들을 수정하기 위해 사용되는 모델 에러들의 계산들이 보다 정확해짐을 가정하면서, 이러한 방식으로 변화된다.

[0010] 그러나, 이러한 공개물들에 기재된 방법들 및 시스템들은 모델의 사용으로 인하여 불리하다. 특히, 샘플링 레이트를 변경하라는 결정들은 모델의 출력과 제조된 웨이퍼들 상에서의 측정 결과들 간의 차이들에 기초한다. 따라서, 모델에 에러들이 존재하면, 이러한 에러들은 제조된 웨이퍼들의 오버샘플링 또는 언더샘플링을 유도할 것이다. 오버샘플링 및 언더샘플링은 양자 모두 불리하다. 특히, 제조된 웨이퍼들의 불필요한 오버샘플링은 제조 프로세스의 더 낮은 처리량을 일으킬 수 있는 반면, 웨이퍼들의 언더샘플링은 제조 프로세스들의 상당히 부정확한 프로세스 모니터링 및 제어, 그리고 감소된 수율을 야기할 수 있다.

[0011] 따라서, 웨이퍼들 상에서 측정들이 수행되는 프로세스에 대한 동적 샘플링 방식을 형성 및/또는 수행하기 위한 방법들 및 시스템들을 개발하는 것이 유리할 것이고, 상기 방법들 및 시스템들은 웨이퍼들 상에서 수행된 제조 프로세스들의 처리량을 증가시키기 위해(또는 적어도 유지하기 위해), 그리고 제조 프로세스들의 프로세스 모니터링 및 제어의 정확성과 수율을 증가시키기 위해 사용될 수 있다.

## 발명의 내용

[0012] 방법들 및 시스템들의 여러 다양한 실시예들에 대한 이하 설명은 첨부된 청구항들의 청구 대상을 제한하는 어떠한 방식으로도 해석되지 않아야 한다.

[0013] 웨이퍼들 상에서 측정들이 수행되는 프로세스에 대한 동적 샘플링 방식을 형성하기 위한 방법들이 제공된다.

그러한 방법의 일 실시예는 적어도 한 로트 내 모든 웨이퍼들에 대해 웨이퍼들 상의 모든 측정 스팟들에서 측정들을 수행하는 단계를 포함한다. 상기 방법은 또한 최적 샘플링 방식, 증강된 샘플링 방식(enhanced sampling scheme), 감소된 샘플링 방식 및 측정들의 결과들에 기초하여 상기 프로세스에 대한 동적 샘플링 방식에 대한 임계치들을 결정하는 단계를 포함한다. 임계치들은 최적 샘플링 방식, 증강된 샘플링 방식, 및 감소된 샘플링 방식이 상기 프로세스를 위해 사용되어야 할 측정들의 값들에 대응한다.

[0014] 일 실시예에서, 모든 측정 스팟들은 웨이퍼들 상의 모든 필드(field)들, 웨이퍼들 상의 모든 타겟들, 또는 웨이퍼들 상의 모든 필드들 및 모든 타겟들을 포함한다. 또 다른 실시예에서, 상기 방법은 미리결정된 간격들로 상기 방법을 수행하는 단계를 포함한다. 추가적인 실시예에서, 측정들의 결과들은 측정들에서의 변동에 관한 정보를 포함한다. 추가 실시예에서, 최적 샘플링 방식, 증강된 샘플링 방식, 및 감소된 샘플링 방식은 웨이퍼들 상의 하나 또는 둘 이상의 다른 프로세스들을 수행했던 하나 또는 둘 이상의 톨들로부터의 정보와 결합하여 상기 측정들의 결과들에 기초하여 결정된다.

[0015] 일 실시예에서, 최적 샘플링 방식, 증강된 샘플링 방식, 및 감소된 샘플링 방식은 상기 프로세스에서 측정될 다른 로트들에서의 다른 웨이퍼들의 갯수(numbers)를 포함한다. 또 다른 실시예에서, 최적 샘플링 방식, 증강된 샘플링 방식, 및 감소된 샘플링 방식은 상기 프로세스에서 측정될 다른 로트들에서의 다른 웨이퍼들의 갯수 및 상기 프로세스 동안 상기 다른 웨이퍼들 각각에서 수행될 측정들의 하나 또는 둘 이상의 파라미터들을 포함한다.

[0016] 일 실시예에서, 상기 방법은 상기 프로세스 동안 다른 로트들에서의 다른 웨이퍼들 상에서 측정들을 수행함으로써 동적 샘플링 방식을 수행하는 단계, 상기 다른 웨이퍼들 상에서 수행된 측정들의 값들을 임계치들과 비교하는 단계, 및 샘플링 방식들 중 어떠한 것이 상기 프로세스를 위해 사용될 것인지를 결정하는 단계를 포함하고, 상기 결정 단계 동안 측정들이 상기 비교 단계의 결과들에 기초하여 추가적인 로트들에서의 추가적인 웨이퍼들 상에서 수행된다. 그러한 실시예에서, 상기 방법은 상기 추가적인 웨이퍼들 상에서 측정들을 수행하기에 앞서, 상기 프로세스를 수행하도록 구성된 톨의 하나 또는 둘 이상의 파라미터들을 변경하는 단계를 포함한다. 또 다른 실시예에서, 상기 프로세스는 계속 프로세스를 포함한다.

[0017] 또 다른 실시예는 측정들이 웨이퍼들 상에서 수행되는 프로세스에 대한 샘플링 방식을 동적으로 선택하기 위한 방법에 관한 것이다. 상기 방법은 최적 샘플링 방식을 사용하여 적어도 하나의 로트 내 적어도 하나의 웨이퍼 상에서 측정들을 수행하는 단계를 포함한다. 상기 방법은 또한 상기 측정들의 값들을 상기 측정들의 값들에 대응하는 임계치들과 비교하는 단계를 포함하고, 이 단계에서 증강된 샘플링 방식 또는 감소된 샘플링 방식이 최적 샘플링 방식 대신에 상기 프로세스를 위해 사용되어야 한다. 부가하여, 상기 방법은 상기 프로세스에 대하여 최적 샘플링 방식, 증강된 샘플링 방식, 또는 감소된 샘플링 방식을 선택하는 단계를 포함하고, 이 단계 동안 측정들이 상기 비교 단계의 결과들에 기초하여 적어도 하나의 추가적인 로트 내 적어도 하나의 추가적인 웨이퍼 상에서 수행되어야 한다.

[0018] 일 실시예에서, 상기 방법은 상기 적어도 하나의 추가적인 웨이퍼 상에서 측정들을 수행하는 단계에 앞서 상기 프로세스를 수행하도록 구성된 톨의 하나 또는 둘 이상의 파라미터들을 변경하는 단계를 포함한다.

[0019] 부가적인 실시예는 측정들이 웨이퍼들 상에서 수행되는 프로세스에 대해 동적 샘플링 방식을 형성하도록 구성된 시스템에 관한 것이다. 상기 시스템은 상기 웨이퍼들 상에서 측정들을 수행하도록 구성된 측정 톨을 포함한다. 상기 시스템은 또한 적어도 한 로트 내 모든 웨이퍼들에 대해 상기 웨이퍼들 상의 모든 측정 스팟들에서 측정들을 수행하도록 측정 톨을 제어하도록 구성된 하나 또는 둘 이상의 프로세서들을 포함한다. 상기 하나 또는 둘 이상의 프로세서들은 또한 최적 샘플링 방식, 증강된 샘플링 방식, 감소된 샘플링 방식, 및 상기 측정들의 결과들에 기초하여 상기 프로세스에 대한 동적 샘플링 방식에 대한 임계치들을 결정하도록 구성된다. 임계치들은 최적 샘플링 방식, 증강된 샘플링 방식, 및 감소된 샘플링 방식이 상기 프로세스를 위해 사용되어야 하는 측정들의 값들에 대응한다.

[0020] 일 실시예에서, 모든 측정 스팟들은 웨이퍼들 상의 모든 필드들, 웨이퍼들 상의 모든 타겟들, 또는 웨이퍼들 상의 모든 필드들 및 모든 타겟들을 포함한다. 또 다른 실시예에서, 상기 시스템은 미리결정된 간격들로 상기 동적 샘플링 방식을 형성하도록 구성된다. 추가적인 실시예에서, 측정들의 결과들은 측정들에서의 변동에 관한 정보를 포함한다. 추가 실시예에서, 상기 하나 또는 둘 이상의 프로세서들은 웨이퍼들 상에서 하나 또는 둘 이상의 다른 프로세스들을 수행했던 하나 또는 둘 이상의 톨들로부터의 정보와 결합하여 상기 측정들의 결과들에 기초하여 최적 샘플링 방식, 증강된 샘플링 방식, 및 감소된 샘플링 방식을 결정하도록 구성된다.



- [0021] 일 실시예에서, 최적 샘플링 방식, 증강된 샘플링 방식, 및 감소된 샘플링 방식은 상기 프로세스에서 측정될 다른 로트들에서의 다른 웨이퍼들의 갯수를 포함한다. 또 다른 실시예에서, 최적 샘플링 방식, 증강된 샘플링 방식, 및 감소된 샘플링 방식은 상기 프로세스에서 측정될 다른 로트들에서의 다른 웨이퍼들의 갯수 및 상기 프로세스 동안 상기 다른 웨이퍼들 각각에서 수행될 측정들의 하나 또는 둘 이상의 파라미터들을 포함한다.
- [0022] 일 실시예에서, 상기 하나 또는 둘 이상의 프로세서들은 다른 로트들에서의 다른 웨이퍼들 상에서 수행된 측정들의 값들과 임계치들을 비교함으로써, 그리고 샘플링 방식들 중 어떠한 것이, 측정들이 상기 비교 단계의 결과들에 기초하여 부가적인 로트들에서의 부가적인 웨이퍼들 상에서 수행되는 프로세스를 위해 사용될 것인지를 결정함으로써 동적 샘플링 방식을 수행한다. 그러한 실시예에서, 상기 하나 또는 둘 이상의 프로세서들은 측정들이 상기 부가적인 웨이퍼들 상에서 측정들을 수행하기 이전에, 상기 측정들의 하나 또는 둘 이상의 파라미터들을 변경시키도록 구성된다. 또 다른 실시예에서, 상기 측정들은 계측 툴로서 구성된다. 전술한 시스템의 각각의 실시예는 본 명세서에서 기술된 바와 같이 더 구성될 수 있다.
- [0023] 추가 실시예는 측정 프로세스 동안 웨이퍼들을 샘플링하기 위한 방법에 관한 것이다. 상기 방법은 측정 프로세스에 대한 복수 개의 샘플링 방식들을 설계하는 단계를 포함한다. 상기 방법은 또한 웨이퍼들에 대하여 복수 개의 샘플링 방식들 중 하나를 트리거링하는 단계를 포함한다. 부가하여, 상기 방법은 측정들이 트리거링된 샘플링 방식을 사용하여 측정 프로세스 동안 웨이퍼들 상에서 수행되도록 트리거링된 샘플링 방식을 활성화하는 단계를 포함한다.
- [0024] 일 실시예에서, 복수 개의 샘플링 방식들을 설계하는 단계는 적어도 한 로트 내 모든 웨이퍼들에 대해 모든 웨이퍼들 상의 측정 스팟들에서 측정들을 수행하는 단계를 포함한다. 그러한 실시예에서, 상기 설계하는 단계는 모든 웨이퍼들 상에서 수행된 측정들에 기초하여, 최적 샘플링 방식, 증강된 샘플링 방식, 및 감소된 샘플링 방식을 결정하는 단계를 포함한다. 부가하여, 그러한 실시예는 측정들의 결과들에 기초하여, 최적 샘플링 방식, 증강된 샘플링 방식, 및 감소된 샘플링 방식을 트리거하기 위하여 사용될 임계치들을 결정하는 단계를 포함한다.
- [0025] 일 실시예에서, 복수 개의 샘플링 방식들을 설계하는 단계는 적어도 한 로트 내 모든 웨이퍼들에 대해 모든 웨이퍼들 상의 모든 측정 스팟들에서 수행된 측정들의 결과들에 기초하여 복수 개의 샘플링 방식들을 설계하는 단계를 포함한다. 그러한 실시예에서, 트리거링된 샘플링 방식이 활성화된 웨이퍼들은 상기 적어도 한 로트와 다른 로트에 있다. 그러한 또 다른 실시예에서, 상기 측정들의 결과들은 로(raw) 측정 데이터를 포함하고, 상기 방법은 로우 측정 데이터에 기초하여 상기 복수 개의 샘플링 방식들을 설계하는 단계 이전에 절대값 또는 회귀 필터(regression filter)를 로우 측정 데이터에 적용하는 단계를 포함한다.
- [0026] 소정의 실시예들에서, 상기 복수 개의 샘플링 방식들을 설계하는 단계는 적어도 한 로트 내 모든 웨이퍼들에 대해 모든 웨이퍼들 상의 모든 측정 스팟들에서 수행되는 측정들의 결과들에 기초하여, 그리고 모든 웨이퍼들 상에서 하나 또는 둘 이상의 프로세스들을 수행했던 하나 또는 둘 이상의 툴들로부터의 정보에 기초하여 상기 복수 개의 샘플링 방식들을 설계하는 단계를 포함한다. 또 다른 실시예에서, 상기 복수 개의 샘플링 방식들을 설계하는 단계는 적어도 한 로트 내 모든 웨이퍼들에 대해 모든 웨이퍼들 상의 모든 측정 스팟들에서 수행되는 측정들의 결과들에 기초하여, 그리고 모든 웨이퍼들 상에서 수행된 하나 또는 둘 이상의 프로세스들에 대한 이력 프로세스 제어 데이터(historical process control data)에 기초하여 상기 복수 개의 샘플링 방식들을 설계하는 단계를 포함한다. 부가적인 실시예에서, 상기 복수 개의 샘플링 방식들을 설계하는 단계는 최적 기준 및 측정 프로세스 외부의 하나 또는 둘 이상의 제약들에 기초하여 복수 개의 샘플링 방식들을 설계하는 단계를 포함한다.
- [0027] 일 실시예에서, 복수 개의 샘플링 방식들을 설계하는 단계는 트리거링 단계에 대해 사용될 직접 임계치(direct threshold)들을 결정하는 단계를 포함한다. 또 다른 실시예에서, 트리거링 단계는 적어도 한 로트 내 모든 웨이퍼들에 대해 모든 웨이퍼들 상의 모든 측정 스팟들에서 수행된 측정들의 결과들을 직접 임계치들과 비교함으로써 개시된다. 부가적인 실시예에서, 트리거링 단계는 적어도 한 로트 내 모든 웨이퍼들에 대해 모든 웨이퍼들 상의 모든 측정 스팟들에서 수행된 측정들의 결과들의 통계적 속성들을 직접 임계치들과 비교함으로써 개시된다. 추가의 실시예에서, 트리거링 단계는 이력 프로세스 제어 데이터를 직접 임계치들과 비교함으로써 개시된다. 소정의 실시예들에서, 트리거링 단계는 하나 또는 둘 이상의 계측 툴들 또는 하나 또는 둘 이상의 프로세스 툴들로부터의 데이터를 직접 임계치들과 비교함으로써 개시된다.
- [0028] 일 실시예에서, 복수 개의 샘플링 방식을 설계하는 단계는 트리거링 단계를 위해 사용될 비-직접 임계치(non-direct threshold)들을 결정하는 단계를 포함한다. 또 다른 실시예에서, 트리거링 단계는 시간 데이터를 비-직

접 임계치들과 비교함으로써 개시된다. 부가적인 실시예에서, 트리거링 단계는 프로세스 톨 품질 제어 데이터를 비-직접 임계치들과 비교함으로써 개시된다. 추가의 실시예에서, 트리거링 단계는 생산 현장(production floor) 또는 재료 플래닝 데이터를 비-직접 임계치들과 비교함으로써 개시된다.

[0029]

소정의 재료들 및 프로세스들이 웨이퍼에 매우 불균일한 응력을 야기할 수 있음이 발견되었다. 이러한 재료들 및 프로세스들에 대하여 전술한 전 범위 응력을 모니터링하기 위한 방법은 불균일한 응력을 정확히 결정하기에 적절하지 않다. 불균일한 응력의 정확한 규명의 결여는 하나의 패턴과 이전 패턴들과의 정렬이 불량한 웨이퍼의 소정 영역들에서 낮은 다이 수율들을 야기할 수 있다. 따라서, 웨이퍼들 상에서의 불균일한 응력을 규명하는 방법들 및 시스템들에 대한 필요성이 존재한다.

[0030]

웨이퍼들 상에 설계 패턴을 프린트하기 위해 사용되는 패턴링 프로세스에 수정(correction)들을 가하고, 그에 의해 상기 프로세스들에 대한 수율을 증가시키기 위하여 웨이퍼들에 대하여 높은-차수 응력 또는 토포그래피(topography) 계측 결과들을 이용하는 실시예들이 제공된다. 본 명세서에서 기술되는 실시예들은 현재의 실시되는 것보다 더 세부적인(공간 해상도) 임계 프로세스 단계들에서 웨이퍼 응력 및/또는 토포그래피를 측정하기 위하여 사용될 수 있다. 상기 측정들은 웨이퍼들의 변형이 어떻게 패턴링 단계에 영향을 미칠 것인지를 결정하기 위해 모델에 입력될 수 있다. 상기 모델은 또한 상기 프로세스에 대한 높은-차수 수정들을 결정하고, 상기 높은-차수 수정들은 피드 포워드 루프(feed forward loop)로 노출 또는 패턴링 시스템에 제공될 수 있고, 그 결과 노출 또는 패턴링 시스템은 패턴링 단계 이전에 또는 패턴링 단계 동안 실시간 조정들을 할 수 있다.

[0031]

여기서 기술된 실시예들은 앞서 기술한 방법들 및 시스템들과 상이한데, 그 이유는 노출 시스템들이 패턴링 단계의 준비로 웨이퍼들 상에서 계측을 수행하기 위해 이용가능한 시간 상의 비교적 심각한 제약들을 갖기 때문이다. 이러한 시간 제약들로 인하여, 인-시츄(in-situ) 계측 프로세스들은 현재, 후속의 패턴링 단계 동안 고차(high-order) 포커스 및 오버레이 수정들을 가능하게 하는 응력 및 변형 계측을 위한 비교적 높은 밀도의 샘플링을 포함하지 않는다. 본 명세서에서 기술된 실시예들은 다수의 이점들을 제공한다. 예를 들어, 리소그래피 노출 시스템들(예를 들어, 스캐너들)은 상당히 비쌀 수 있다. 193 nm 이머전 스캐너(immersion scanner)는 약 3000만 달러에 이를 수 있다. 본 명세서에 기재된 실시예들은 노출 시스템들의 효율을 개선하기 위하여 사용될 수 있기 때문에, 본 명세서에서 기술되는 실시예들은 노출 시스템들의 사용자들에게 비교적 높은 가치가 있을 수 있다.

[0032]

일 실시예는 웨이퍼를 패턴링하기 위한 방법에 관한 것이다. 상기 방법은 웨이퍼 상에서 측정들을 수행하는 단계를 포함한다. 상기 방법은 또한 측정들의 결과들에 기초하여 웨이퍼의 변형을 모델링하는 단계를 포함한다. 부가하여, 상기 방법은 웨이퍼의 변형에 기초하여 패턴링 톨의 하나 또는 둘 이상의 파라미터들을 변경하는 단계를 포함한다. 상기 방법은 상기 변경 단계 이후에, 제 1 패턴 웨이퍼를 생성하기 위하여 패턴링 톨을 사용하여 웨이퍼를 패턴링하는 단계를 더 포함한다.

[0033]

일 실시예에서, 상기 측정들을 수행하는 단계는 웨이퍼에 대해 모든 측정 스팟들에서 측정들을 수행하는 단계를 포함한다. 또 다른 실시예에서, 측정들의 결과들은 응력 계측 데이터를 포함한다. 부가적인 실시예에서, 측정들의 결과들은 형태 계측 데이터를 포함한다. 추가 실시예에서, 측정들의 결과들은 오버레이 계측 데이터를 포함한다.

[0034]

일 실시예에서, 웨이퍼의 변형을 모델링하는 단계는 웨이퍼가 패턴링 톨의 스테이지 상에 놓일 때 웨이퍼가 가질 변형을 추정하는 단계를 포함한다. 또 다른 실시예에서, 변형을 모델링하는 단계는 웨이퍼 상의 설계 패턴의 패턴링 상의 변형의 효과들을 시뮬레이팅하는 단계를 포함한다.

[0035]

일 실시예에서, 상기 방법은 제 1 패턴링된 웨이퍼 상에서 부가적인 측정들을 수행하는 단계, 상기 부가적인 측정들의 결과들에 기초하여 패턴링 톨의 하나 또는 둘 이상의 파라미터들을 변경하는 단계, 및 상기 부가적인 측정들의 결과들에 기초하여 패턴링 톨의 하나 또는 둘 이상의 파라미터들을 변경하는 단계 이후에, 제 2 패턴링된 웨이퍼를 생성하기 위하여 패턴링 톨을 사용하여 제 2 웨이퍼를 패턴링하는 단계를 포함한다. 그러한 실시예에서, 상기 부가적인 측정들의 결과들은 오버레이 계측 데이터를 포함한다. 그러한 또 다른 실시예에서, 상기 부가적인 측정들의 결과들은 포커스 계측 데이터를 포함한다. 그러한 부가적인 실시예에서, 상기 부가적인 측정들의 결과들은 도즈량(dose) 계측 데이터를 포함한다.

[0036]

일 실시예에서, 제 1 패턴링된 웨이퍼 및 제 2 패턴링된 웨이퍼는 동일한 로트에 있다. 또 다른 실시예에서, 제 1 패턴링된 웨이퍼 및 제 2 패턴링된 웨이퍼는 상이한 로트들에 있다.

[0037]

또 다른 실시예는 웨이퍼를 패턴링하도록 동작가능한 시스템에 관한 것이다. 상기 시스템은 웨이퍼 상에서 측

정들을 수행하도록 동작가능한 측정 툴을 포함한다. 상기 시스템은 또한 측정들의 결과들에 기초하여 웨이퍼의 변형을 모델링하도록 동작가능한 하나 또는 둘 이상의 프로세서들을 포함한다. 상기 하나 또는 둘 이상의 프로세서들은 또한 웨이퍼의 변형에 기초하여 패터닝 프로세스의 하나 또는 둘 이상의 파라미터들을 변경시키도록 동작가능하다. 부가하여, 상기 시스템은 상기 패터닝 프로세스의 하나 또는 둘 이상의 파라미터들이 제 1 패터닝된 웨이퍼를 생성하기 위하여 변경된 이후에 패터닝 프로세스를 사용하여 웨이퍼를 패터닝하도록 동작가능한 패터닝 툴을 포함한다. 전술한 시스템의 실시예는 본 명세서에서 기술된 바와 같이 더 구성될 수 있다.

[0038]

전술한 방법 실시예들의 각각의 단계들 각각은 본 명세서에서 더 기술되는 바와 같이 수행될 수 있다. 부가하여, 전술한 방법들의 실시예들 각각은 본 명세서에서 기술된 임의의 다른 방법(들)의 임의의 다른 단계(들)를 포함할 수 있다. 부가하여, 전술한 방법들의 실시예들 각각은 본 명세서에서 기술된 시스템들 중 임의의 것에 의해 수행될 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0039]

본 발명의 추가 이점들은 첨부된 도면들을 참조하여 바람직한 실시예들에 대한 이하의 상세한 설명으로부터 당업자들에게 명백해질 수 있다.

도 1은 웨이퍼 및 그 위에 형성된 필드들의 일 예시에 대한 상면도를 도시하는 개략적인 다이어그램이다.

도 2는 웨이퍼 상의 하나의 필드 및 그 내부에 형성된 타겟들의 일 예시에 대한 상면도를 도시하는 개략적인 다이어그램이다.

도 3은 본 명세서에서 기술된 동적 샘플링 방식에 대한 일 실시예를 도시하는 개략적인 다이어그램이다.

도 4는 측정들이 웨이퍼들 상에서 수행되는 프로세스에 대한 동적 샘플링 방식을 형성하도록 구성된 시스템에 대한 일 실시예를 도시하는 블록 다이어그램이다.

도 5는 웨이퍼들 상에서 측정들을 수행하도록 구성된 측정 툴의 일 실시예에 대한 측면도를 도시하는 개략적인 다이어그램이다.

도 6-도 7은 여러 방법 실시예들을 도시하는 흐름도이다.

도 8은 웨이퍼를 패터닝하도록 동작가능한 시스템에 대한 일 실시예를 도시하는 블록 다이어그램이다.

본 발명은 여러 다양한 변형예들 및 대안적인 형태들을 허용하지만, 본 발명의 특정 실시예들이 예의 방식으로 도면에 도시되고 본 명세서에서 상세히 기술될 수 있다. 도면들은 스케일링되지 않을 수 있다. 그러나 도면들 및 그에 대한 상세한 설명은 본 발명을 개시된 특정 형태로 제한하고자 하는 것이 아니라, 반대로 첨부된 청구범위에 의해 정의되는 바와 같이 본 발명의 사상 및 범위 내에 해당되는 모든 변형예들, 균등예들 및 대안예들을 커버하도록 의도됨이 이해되어야 한다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0040]

본 명세서에서 사용되는 바와 같이, "웨이퍼"는 일반적으로 반도체 또는 비-반도체 재료로 형성된 기판을 지칭한다. 그러한 반도체 또는 비-반도체 재료의 예들은 단결정 실리콘, 갈륨 비소(gallium arsenide) 및 인듐 인화물(indium phosphide)을 포함하나, 이에 제한되지 않는다. 그러한 기판들은 반도체 제조 설비들에서 통상적으로 발견 및/또는 프로세싱될 수 있다.

[0041]

웨이퍼는 기판 상에 형성된 하나 또는 둘 이상의 층들을 포함할 수 있다. 예를 들어, 그러한 층들은 레지스트, 절연 재료, 도전성 재료 및 반도체 재료를 포함하나, 이에 제한되는 것은 아니다. 다수의 상이한 타입들의 그러한 층들이 당업계에 공지되어 있고, 본 명세서에서 사용되는 용어 "웨이퍼"는 모든 타입들의 그러한 층들을 포함하는 웨이퍼를 망라하는 것으로 의도된다.

[0042]

웨이퍼 상에 형성된 하나 또는 둘 이상의 층들은 패터닝될 수 있다. 예를 들어, 웨이퍼는 복수 개의 다이들을 포함할 수 있고, 각각의 다이는 반복가능한 패터닝된 피쳐(feature)들을 갖는다. 그러한 재료의 층들의 형성 및 프로세싱은 궁극적으로 완성된 장치들을 야기할 수 있다. 다수의 상이한 타입들의 장치들은 웨이퍼 상에서 형성될 수 있고, 본 명세서에서 사용되는 용어 "웨이퍼"는 당업계에 공지된 임의의 타입의 장치가 제조되어 있는 웨이퍼를 포함하는 것으로 의도된다.

[0043]

이제 도면들을 살펴보면, 도면들은 스케일링되어 도시되지 않았다. 특히, 도면들의 소정 엘리먼트들의 스케일

은 그러한 엘리먼트들의 특성들을 강조하기 위하여 많이 과장된다. 또한 도면들은 동일한 스케일로 도시되지 않는다. 유사하게 구성될 수 있는, 하나보다 많은 도면들에 도시된 엘리먼트들은 동일한 참조 개수들을 사용하여 표시되었다.

[0044] \*일 실시예는 웨이퍼들 상에서 측정들이 수행되는 프로세스에 대한 동적 샘플링 방식을 형성하기 위한 방법에 관한 것이다. 일 실시예에서, 상기 프로세스는 계측 프로세스를 포함한다. 이러한 방식으로, 상기 방법은 계측 프로세스에 대한 동적 샘플링 방식을 형성하는 단계를 포함할 수 있다. 계측 프로세스는 본 명세서에서 더 기술된 임의의 측정들을 포함할 수 있다. 계측 프로세스는 또한 하나 또는 둘 이상의 상이한 측정들을 포함할 수 있다. 부가하여, 계측 프로세스는 당업계에 공지된 임의의 다른 적합한 계측 프로세스를 포함할 수 있다. 부가하여, 계측 프로세스는 계측 프로세스 이전에 웨이퍼들 상에서 수행되는 제조 프로세스에 따라 변화할 수 있다. 예를 들어, 상이한 계측 프로세스들은 상이한 제조 프로세스들을 모니터링 및 제어하기에 적합한 상이한 특성들을 측정하기에 적절할 수 있다. 이러한 방식으로, 동적 샘플링 방식을 형성하는 방법을 수행하기에 앞서, 웨이퍼들은 제조 프로세스를 사용하여 프로세싱될 수 있다. 웨이퍼들 상에서 수행되는 제조 프로세스는 당업계에 공지된 임의의 제조 프로세스를 포함할 수 있다. 그와 같이, 본 명세서에 기술된 상기 방법들은 임의의 제조 프로세스를 모니터링하고 제어하기 위해 사용된 임의의 계측 프로세스에 대한 동적 샘플링 방식을 형성하기 위해 사용될 수 있다.

[0045] 계측 프로세스를 위한 동적 샘플링 방식은 이하의 파라미터들 각각 또는 이들의 소정 조합을 포함할 수 있다: 샘플링 로트들에서의 빈도(frequency); 웨이퍼들의 개수; 웨이퍼들의 개수 지정(numeric designation); 필드들의 개수; 웨이퍼 상의 필드들의 위치들; 각 필드 내 사이트들의 개수; 필드 내 사이트들의 위치들; 계측 타겟의 타입; 또는 측정 알고리즘들. 동적 샘플링 방식에 따라 웨이퍼들을 샘플링하는 방법은 복수 개의 샘플링 방식들을 설계하는 단계, 샘플링 방식을 트리거링하는 단계, 및 트리거링된 샘플링 방식을 활성화하는 단계를 포함할 수 있다. 이러한 단계들 각각은 본 명세서에서 더 기술된 바와 같이 수행될 수 있다.

[0046] 본 방법은 웨이퍼들에 대해 모든 측정 스팟들에서 적어도 한 로트 내 모든 웨이퍼들 상에서 측정들을 수행하는 단계를 포함한다. 이러한 단계는 본 명세서에서 "전지적 샘플링(omniscient sampling)"으로서 지칭된다. 웨이퍼들의 한 "로트(lot)"는 본 명세서에서 일반적으로 제조 프로세스들에서 하나의 그룹으로서 집합적으로 또는 차례로 프로세싱되는 복수 개의 웨이퍼들로서 정의된다. 일 실시예에서, 모든 측정 스팟들은 웨이퍼들 상의 모든 필드들을 포함한다. 예를 들어, 도 1에 도시된 바와 같이, 웨이퍼(10)는 그 위에 형성된 필드들(12)을 갖는다. 비록 웨이퍼(10) 상의 특정 개수 및 배열의 필드들(12)이 도 1에 도시되어 있지만, 웨이퍼 상의 필드들의 개수 및 배열은 예를 들어, 웨이퍼들 상에 형성되어 있는 장치에 따라 가변될 수 있다. 측정들은 웨이퍼(10) 상에 형성된 모든 필드들(12) 및 적어도 한 로트 내 다른 웨이퍼들 상의 모든 필드들에서 수행될 수 있다. 예를 들어, 측정들은 적어도 하나의 로트 내 모든 웨이퍼들 상에서 형성된 필드 당 적어도 한 번 수행될 수 있다. 측정들은 필드들에 형성된 장치 구조들 상에서, 그리고/또는 필드들에 형성된 테스트 구조들 상에서 수행될 수 있다. 부가하여, 각각의 필드에서 수행된 측정들은 계측 프로세스 동안 수행된 모든 측정들(예를 들어, 하나 또는 둘 이상의 상이한 측정들)을 포함할 수 있다.

[0047] 또 다른 실시예에서, 모든 측정 스팟들은 적어도 하나의 로트 내 웨이퍼들 상의 모든 타겟들을 포함한다. 예를 들어, 도 2에 도시된 바와 같이, 웨이퍼(도 2에는 미도시) 상에 형성된 필드(14)는 타겟들(16)을 포함할 수 있다. 비록 필드(14)내의 특정 개수 및 배열의 타겟들(16)이 도 2에 도시되었지만, 필드들 내의 타겟들의 개수 및 배열은 예를 들어, 웨이퍼 상에 형성된 장치에 따라 가변될 수 있다. 타겟들(16)은 장치 구조들 및/또는 테스트 구조들을 포함할 수 있다. 따라서, 이러한 실시예에서, 측정들이 필드(14)에 형성된 모든 타겟들(16) 상에서 수행될 수 있다. 부가하여, 측정들은 필드(14) 내 형성된 타겟 당 적어도 한 번 수행될 수 있다. 측정들은 또한 계측 프로세스 동안 수행된 모든 측정들(예를 들어, 하나 또는 둘 이상의 상이한 측정들)을 포함할 수 있다.

[0048] 부가적인 실시예에서, 모든 측정 스팟들은 적어도 하나의 로트 내 웨이퍼들 상의 모든 필드들 및 모든 타겟들을 포함한다. 예를 들어, 도 1에서 웨이퍼(10) 상에 형성된 것으로 도시된 각각의 필드들(12)은 도 2에 도시된 타겟들(16)과 같은 하나 또는 둘 이상의 타겟들을 포함할 수 있다. 따라서, 측정들은 적어도 하나의 로트 내 웨이퍼들의 각각에 형성된 필드들 각각의 타겟들 각각 상에서 수행될 수 있다.

[0049] 일 실시예에서, 전지적 샘플링 단계에서 수행된 측정들의 결과들은 측정들의 변동에 관한 정보를 포함한다. 측정들의 변동은 당업계에 공지된 임의의 방식(예를 들어, 표준 편차, 변동의 양 등)으로 결정될 수 있다. 측정



들의 변동이 일반적으로 프로세스에서의 변동들 또는 프로세스 이탈(process excursion)들을 지시할 것이기 때문에, 전지적 샘플링 단계에서 측정된 웨이퍼들의 로트들의 개수는 프로세스 또는 프로세스 이탈들에 따라 가변될 수 있다. 그와 같이, 비록 적어도 하나의 로트가 전지적 샘플링 단계에서 측정되지만, 측정되는 로트들의 개수는 각각의 샘플링된 로트에 대한 측정들의 결과들에 따라 3 로트, 4 로트, 5 로트 등이 될 수 있다. 이러한 방식으로, 상기 방법은 모든 웨이퍼들 및 웨이퍼들 상의 모든 필드들 및/또는 모든 타겟들이 측정되는 다수의 로트들의 전지적 샘플링으로 시작되고, 변동의 원인들이 발견된다. 이러한 단계에서 식별되거나 결정된 변동의 원인들은 오버레이 변동, 임계 치수(critical dimension; CD) 변동, 웨이퍼들의 다른 특성들의 변동, 로트-대-로트(lot-to-lot) 변동, 웨이퍼-대-웨이퍼 변동, 필드-대-필드 변동, 측면-대-측면(side-to-side) 변동, 변동의 통계적 원인들 및 이와 유사한 것 또는 이들의 임의의 조합을 포함하는 임의의 변동 원인들을 포함할 수 있고, 앞서 열거된 변동 원인들에 제한되지 않는다.

[0050]

상기 방법은 또한 측정들의 결과들에 기초하여 최적 샘플링 방식, 증강된 샘플링 방식, 감소된 샘플링 방식, 및 프로세스에 대한 동적 샘플링 방식에 대한 임계치들을 결정하는 단계를 포함한다. 일반적으로, 증강된 샘플링 방식은 최적 샘플링 방식보다 더 높은 샘플링을 위한 것이고, 감소된 샘플링 방식은 최적 샘플링 방식보다 더 낮은 샘플링을 위한 것이다. 즉, 증강된 샘플링 방식은 최적 샘플링 방식보다 더 높은 샘플링 레이트를 갖는 반면, 감소된 샘플링 방식은 최적 샘플링 방식보다 더 낮은 샘플링 레이트를 갖는다. 이러한 방식으로, 최적 샘플링 방식이 결정될 수 있고, 그 다음 증강된 샘플링 방식 및 감소된 샘플링 방식이 최적 샘플링 방식으로부터 결정될 수 있다. 예를 들어, 측정들의 결과들이 제조 프로세스가 CD의 현저한 측면-대-측면 변동을 나타내거나 CD의 현저한 웨이퍼-대-웨이퍼 변동을 나타내지 않음을 지시한다면, 최적 샘플링 방식은 하나의 로트 내 단지 소수 개의 웨이퍼들의 양쪽 측면들 상에 현저한 개수의 CD의 측정들을 포함할 수 있다. 반대로, 측정들의 결과들이 제조 프로세스가 오버레이에서 현저한 웨이퍼-대-웨이퍼 변동을 나타내거나 오버레이에서 현저한 측면-대-측면 변동을 나타내지 않음을 지시한다면, 최적 샘플링 방식은 현저한 개수의 웨이퍼들의 측정들을 포함할 수 있으나, 각각의 웨이퍼에 걸쳐서는 단지 소수 번의 측정들을 포함할 수 있다. 전술한 위 예를 양쪽 모두에서, 증강된 샘플링 방식 및 감소된 샘플링 방식은 최적 샘플링 방식에 기초하여 결정될 수 있다.

[0051]

임계치들은 계측 프로세스를 위하여 최적 샘플링 방식, 증강된 샘플링 방식 및 감소된 샘플링 방식이 사용되어야 하는 측정들의 값들에 대응한다. 예를 들어, 도 3에 도시된 바와 같이, 임계치들은 임계치 1 및 임계치 2를 포함할 수 있다. 임계치 1은 그 아래에서 계측 프로세스를 위해 감소된 샘플링 방식이 사용되어야 하는 측정들의 값들에 대응한다. 임계치 2는 그 위에서 계측 프로세스를 위해 증강된 샘플링 방식이 사용되어야 하는 측정들의 값들에 대응한다. 도 3에 도시된 바와 같이, 임계치 1과 임계치 2 사이의 측정들의 값들은 계측 프로세스를 위해 최적 샘플링 방식이 사용되어야 하는 측정들의 값들에 대응한다.

[0052]

임계치들이 그에 대응하고 임계치들과 비교되는 측정들의 값들은 측정들의 변동을 포함할 수 있다. 측정들의 변동은 당업계에 공지된 임의의 방식(예를 들어, 표준 편차, 변동의 양, 등)으로 결정될 수 있다. 예를 들어, 임계치들의 값들은 CD, 오버레이 또는 웨이퍼들의 임의의 다른 측정가능한 특성에서의 변동들의 상이한 값들에 대응할 수 있고, 임계치들 위의 하나의 값에서 증강된 샘플링 방식이 최적 샘플링 방식 대신에 사용되고, 임계치들 아래의 또 다른 값에서 감소된 샘플링 방식이 최적 샘플링 방식 대신에 사용된다. 그러한 예에서, 하나의 임계치는 미리결정된 변동의 퍼센티지에 대응할 수 있고, 상기 미리결정된 변동의 퍼센티지 위에서 증강된 샘플링이 사용되어야 한다. 이러한 방식으로, 최적 샘플링 방식을 사용하여 한 로트의 웨이퍼들 상에서 수행된 측정들이 그러한 로트에 걸쳐 미리결정된 변동의 퍼센티지(예를 들어, 10% 변동, 20% 변동 등)보다 더 높은 변동의 퍼센티지를 나타낸다면, 증강된 샘플링 방식이 부가적인 로트들의 웨이퍼들 상에서 수행된 측정 프로세스에 대하여 선택될 수 있다. 그러나, 임계치들이 대응하는, 그리고 임계치들과 비교될 수 있는 측정들의 값들은 측정들의 값들 그 자체를 포함할 수 있다. 예를 들어, 임계치들의 값들은 웨이퍼들의 CD, 오버레이 또는 임의의 다른 측정가능한 특성의 상이한 값들에 대응할 수 있고, 하나의 값은 그 값을 초과하여 최적 샘플링 방식 대신에 증강된 샘플링 방식이 사용되고 또 다른 값은 그 값 미만에서 최적 샘플링 방식 대신에 감소된 샘플링 방식이 사용된다.

[0053]

측정들의 변동의 값들은 일반적으로 프로세스의 변동들 또는 프로세스 이탈들을 나타내기 때문에, 동적 샘플링 방식은 제조 프로세스가 어떻게 "거동하고 있는지"에 기초하여 샘플링 방식을 조정할 수 있다. 특히, 높은 변동들을 갖는 프로세스들에 대하여, 높은 샘플링 레이트 또는 증강된 샘플링 방식이 선택된다. 이러한 방식으로, 높은 변동들을 갖는 프로세스들에 대하여, 로트 당 더 많은 웨이퍼들, 웨이퍼 당 더 많은 측정들 등이 증강된 샘플링 방식을 선택함으로써 수행될 수 있다. 반대로, 낮은 변동들을 갖는 프로세스들에 대하여, 낮은 샘플링 레이트 또는 감소된 샘플링 방식이 선택된다. 그와 같이, 낮은 변동들을 가진 프로세스들에 대하여,

로트 당 더 적은 개수의 웨이퍼들, 웨이퍼 당 더 적은 개수의 측정들 등이 감소된 샘플링 방식을 선택함으로써 수행될 수 있다. 이러한 방식으로, 본 명세서에서 기술된 실시예들은 유리한데, 그 이유는 상기 실시예들이 불량한 성능(예를 들어, 높은 변동들)을 나타내고 있는 프로세스들에 대한 증가된 정보를 제공하기 위해 사용될 수 있고, 이것은 더 정확한 프로세스 제어 및 모니터링을 위해 사용되어, 수율을 증가시킬 수 있으며, 상기 실시예들은 우수한 성능(예를 들어, 낮은 변동들)을 나타내고 있는 프로세스들에 대한 더 정보를 제공하기 위해 사용될 수 있고, 이것은 이러한 프로세스들에 대해 수행되는 측정들의 횟수를 감소시킴으로써 처리량을 증가시킬 수 있기 때문이다.

[0054]

따라서 본 명세서에 기술된 실시예들은 본 명세서에서 기술된 대로 형성된 동적 샘플링 방식들이 제조 프로세스 변동들 또는 이탈들에 더 민감하다는 점에서 다른 샘플링을 위한 방법들 및 시스템들에 비해 유리하다. 특히, 프로세스 이탈들이 발생하면, 샘플링 방식(또는 샘플링 레이트)이 조정된다. 부가하여, 전술한 바와 같이, 동적 샘플링 방식은 전지적 샘플링 단계에서 수행된 측정들의 결과들에 기초하여 형성된다. 따라서, 본 명세서에서 기술된 전지적 샘플링은 이전에 사용된 모델들보다 동적 샘플링 방식을 형성하기 위하여 더 많은 결정 기준들을 제공하기 때문에, 본 명세서에서 기술된 실시예들은 또한 모델을 이용하는 현재 사용되는 동적 샘플링을 위한 방법들 및 시스템들보다 더 유리하다.

[0055]

전술한 바와 같이, 상이한 샘플링 방식들 및 임계치들이 전지적 샘플링의 결과들로부터 결정될 수 있다. 그러나, 프로세싱(즉, 제조) 툴들로부터의 정보가 전지적 샘플링의 결과들에 부가될 수 있고, 임계치들에 부가하여 최적 샘플링 방식, 증강된 샘플링 방식 및 감소된 샘플링 방식을 선택하기 위하여 사용될 수 있다. 예를 들어, 일 실시예에서, 최적 샘플링 방식, 증강된 샘플링 방식 및 감소된 샘플링 방식은 웨이퍼들 상에서 하나 또는 둘 이상의 다른 프로세스들을 수행했던 하나 또는 둘 이상의 툴들로부터의 정보와 결합하여 측정들의 결과들에 기초하여 결정될 수 있다. 상기 하나 또는 둘 이상의 툴들은 당업계에 공지된 임의의 제조 툴들(예를 들어, 리소그래피 툴들, 에칭 툴들, 증착 툴들, 이온 주입 툴들, 화학적-기계적 연마(CMP) 툴들 등)를 포함할 수 있다. 상기 하나 또는 둘 이상의 툴들로부터 나온 정보는 제조 툴(들)의 소정의 품질 계측치 또는 제조 툴(들)로부터 획득될 수 있거나 제조 툴(들)에 의해 생성되는 임의의 다른 정보를 포함할 수 있다. 따라서, 상기 하나 또는 둘 이상의 툴들로부터 나온 정보는 전지적 샘플링 단계 동안 측정된 웨이퍼들의 제조 프로세스 이력을 포함할 수 있다. 상기 하나 또는 둘 이상의 툴들로부터 나온 정보는 당업계에서 임의의 공지된 방식으로 획득될 수 있다. 예를 들어, 상기 정보는 상기 하나 또는 둘 이상의 툴들에 결합된 저장 매체 또는 프로세스로부터 직접 획득될 수 있다. 대안적으로, 상기 정보는 상기 하나 또는 둘 이상의 툴들로부터 간접적으로 획득될 수 있다. 예를 들어, 상기 하나 또는 둘 이상의 툴들은 웹 데이터베이스와 같은 데이터베이스로 정보를 전송할 수 있고, 상기 정보는 그러한 데이터베이스 또는 임의의 다른 적합한 저장 매체로부터 획득될 수 있다. 상기 하나 또는 둘 이상의 툴들로부터 나온 정보는 당업계에 공지된 임의의 적합한 포맷을 가질 수 있다.

[0056]

동적 샘플링 방식을 형성하기 위하여 전지적 샘플링에 의해 수행된 측정들의 결과들과 결합하여 웨이퍼들 상에서 하나 또는 둘 이상의 제조 프로세스들을 수행했던 하나 또는 둘 이상의 툴들로부터의 정보를 사용하는 것은 다수의 이유들로 유리할 수 있다. 예를 들어, 상기 하나 또는 둘 이상의 툴들로부터 나온 정보는 웨이퍼들을 제조하기 위해 사용된 프로세스(들)가 상기 프로세스(들)에 대한 프로세스 윈도우(들) 내에서 동작하고 있는지 여부 및/또는 프로세스 윈도우(들) 내의 어디에서 상기 프로세스(들)가 동작하고 있는지를 결정하기 위해 사용될 수 있다. 이러한 방식으로, 상기 하나 또는 둘 이상의 툴들로부터 나온 정보는 전지적 샘플링에 의해 수행된 측정들의 결과들이 공칭 프로세스 변동들을 나타내고 있는 프로세스에 대해 예상될 수 있는 결과들을 나타내는지, 공칭 프로세스 변동들보다 더 낮은 변동들을 나타내고 있는 프로세스에 대해 예상될 수 있는 결과들을 나타내는지, 또는 공칭 프로세스 변동들보다 더 높은 변동들을 나타내고 있는 프로세스에 대해 예상될 수 있는 결과들을 나타내는지 결정하기 위해 사용될 수 있다. 따라서, 상기 정보는 전지적 샘플링에 의해 수행된 측정들의 결과들이 최적 샘플링 방식(공칭 또는 "표준" 프로세스 변동들), 감소된 샘플링 방식(공칭 프로세스 변동들보다 더 낮음), 또는 증강된 샘플링 방식(공칭 프로세스 변동들보다 더 높음)에 대응하는지를 결정하고, 임계치들을 적절히 설정하기 위해 사용될 수 있다.

[0057]

전지적 샘플링 동안 측정된 웨이퍼들은 또한 제조 툴(들)의 의도적으로 상이한 파라미터들에서 제조 툴(들)에 의해 프로세싱된 웨이퍼들을 포함할 수 있다. 따라서, 전지적 샘플링 동안 수행된 측정들의 결과들의 변동들 및 웨이퍼들이 프로세싱된 제조 툴(들)의 파라미터들은 임계치들을 결정하기 위해 사용될 수 있다. 예를 들어, 증강된 샘플링 방식과 최적 샘플링 방식 사이의 임계치는 프로세스 윈도우의 에지들에서 또는 그 근처에서 프로세싱된 웨이퍼들 상에서 수행된 측정들의 결과들에 기초하여 결정될 수 있다. 또 다른 예에서, 감소된 샘플링 방식과 최적 샘플링 방식 사이의 임계치는 프로세스 윈도우의 중심에서 또는 그 근처에서 프로세싱된 웨이퍼들

상에서 수행된 측정들의 결과들에 기초하여 결정될 수 있다.

[0058]

일 실시예에서, 최적 샘플링 방식, 증강된 샘플링 방식 및 감소된 샘플링 방식은 상기 프로세스에서 측정될 다른 로트들의 다른 웨이퍼들의 개수를 포함한다. 상기 웨이퍼들의 개수들은 하나의 로트 내 웨이퍼들의 임의의 개수를 포함할 수 있다(예를 들어, 하나의 로트에서의 1 웨이퍼 내지 모든 웨이퍼들). 부가하여, 웨이퍼들의 개수들은 단순히 상기 로트들에서의 어떤 웨이퍼들이 측정되어야 하는지에 관한 다른 정보없이 측정되어야 할 웨이퍼들의 개수를 포함할 수 있다. 대안적으로, 웨이퍼들의 개수들은 상기 로트에서 어떠한 웨이퍼들이 프로세스되어야(샘플링되어야) 하는지(예를 들어, 웨이퍼들이 포함되어 있는 포드(pod)와 같은 컨테이너의 슬롯들 1, 3, 5, 7, 9 등의 웨이퍼들)에 부가하여 웨이퍼들의 개수를 포함할 수 있다. 측정된 웨이퍼들의 개수들에 포함되기 위해 선택된 웨이퍼들은 측정 프로세스 이전에 웨이퍼들 상에서 수행된 제조 프로세스에 따라 가변될 수 있다. 예를 들어, 하나의 단일 로트에서의 웨이퍼들이 제조 툴의 하나보다 많은 수의 프로세스 챔버(예를 들어, 리소그래피 트랙의 하나보다 많은 수의 현상 모듈(develop module))에서 프로세스된다면, 측정된 웨이퍼들의 개수들에 포함되기 위해 선택된 웨이퍼들은 모든 프로세스 챔버들에서 프로세스되는 적어도 소정의 웨이퍼들을 포함할 수 있다.

[0059]

또 다른 실시예에서, 최적 샘플링 방식, 증강된 샘플링 방식 및 감소된 샘플링 방식은 상기 프로세스에서 측정될 다른 로트들에서의 다른 웨이퍼들의 개수 및 상기 프로세스 동안 상기 다른 웨이퍼들 각각에서 수행될 측정들의 하나 또는 둘 이상의 파라미터들을 포함한다. 상기 측정들의 하나 또는 둘 이상의 파라미터들은 예를 들어, 상기 다른 웨이퍼들 각각 상에서 수행될 측정들의 횟수를 포함할 수 있다. 부가하여, 상기 측정들의 하나 또는 둘 이상의 파라미터들은 상기 다른 웨이퍼들의 각각 상에서 수행될 측정들위 위치들을 포함할 수 있다. 부가하여, 상기 측정들의 하나 또는 둘 이상의 파라미터들은 상기 측정들을 위해 사용되어야 하는 측정 툴의 임의의 다른 조정가능한 파라미터(들)의 값들을 포함할 수 있다. 그러한 조정가능한 파라미터들은 예를 들어, 감도, 확대도(magnification), 측정들이 수행되는 파장들의 개수, 측정들의 수행되는 파장(들), 측정들이 수행되는 입사각들, 측정들을 수행하기 위해 사용되는 광의 편광(polarization) 등을 포함할 수 있다. 더욱이, 상기 프로세스 동안 상기 다른 웨이퍼들 각각에서 수행될 상기 측정들의 하나 또는 둘 이상의 파라미터들은 하나의 로트 내에서 웨이퍼마다, 또는 웨이퍼에 걸쳐 측정 스팟마다 변화하도록 선택될 수 있다.

[0060]

일 실시예에서, 상기 방법은 프로세스 동안 다른 로트들에서의 다른 웨이퍼들 상에서 측정들을 수행함으로써 동적 샘플링 방식을 수행하는 단계, 상기 다른 웨이퍼들 상에서 수행된 측정들의 값들을 임계치들과 비교하는 단계, 및 어떠한 샘플링 방식들이 상기 비교 단계의 결과들에 기초하여 측정들이 부가적인 로트들에서의 부가적인 웨이퍼들 상에서 수행되는 프로세스에 대해 사용되어야 하는지를 결정하는 단계를 포함한다. 이러한 방식으로, 일단 동적 샘플링 방식이 본 명세서에서 기술된 바와 같이 형성되었다면, 다음 로트의 측정들이 수행될 수 있고, 이러한 측정들의 결과들이 임계치들과 비교될 수 있다. 이러한 비교에 기초하여, 대응하는 샘플링이 다음의 로트의 측정들에 대하여 선택된다.

[0061]

예를 들어, 일단 도 3에 도시된 바와 같은 동적 샘플링 방식이 상기 방법에 의해 형성된다면, 상기 측정들은 최적 샘플링 방식을 사용하여 다른 로트들에서의 다른 웨이퍼들 상에서 수행될 수 있다. 이러한 측정들의 값들은 임계치들과 비교될 수 있다. 이러한 측정들의 값들이 임계치 1과 임계치 2 사이에 있다면, 최적 샘플링 방식이 다음의 웨이퍼들 상에서 수행된 측정 프로세스에 대해 사용될 수 있다. 만약 이러한 측정들의 값들이 임계치 1 아래에 있다면, 감소된 샘플링 방식이 다음의 웨이퍼들 상에서 수행된 측정 프로세스에 대해 선택될 수 있다. 반면, 만약 이러한 측정들의 값들이 임계치 2 위에 있다면, 증강된 샘플링 방식이 다음의 웨이퍼들 상에서 수행된 측정 프로세스에 대해 선택될 수 있다.

[0062]

이러한 방식으로, 측정 프로세스의 샘플링 방식이 피드백 제어 기술을 사용하여 변경될 수 있다. 예를 들어, 일 실시예에서, 상기 방법은 부가적인 웨이퍼들 상에서 측정들을 수행하기에 앞서 상기 프로세스를 수행하도록 구성된 툴의 하나 또는 둘 이상의 파라미터들을 변경하는 단계를 포함한다. 상기 툴은 본 명세서에서 더 기술되는 바와 같이 구성될 수 있다. 상기 툴의 하나 또는 둘 이상의 파라미터들은 당업계에 공지된 임의의 방식으로 변경될 수 있다. 부가하여, 상기 하나 또는 둘 이상의 파라미터들은 상기 툴의 임의의 조정가능한 파라미터(들)를 포함할 수 있다.

[0063]

상기 프로세스에 대하여 동적 샘플링 방식을 형성하기 위한 방법은 또한 미리결정된 간격들에서 수행될 수 있다. 예를 들어, 미리결정된 간격(시간, 웨이퍼들, 로트들 등의 관점에서 나타낼 수 있음) 이후에, 전지적 샘플링 단계가 다시 수행될 수 있고, 최적 샘플링 방식, 증강된 샘플링 방식, 감소된 샘플링 방식 및 임계치들이 재결정될 수 있다. 이러한 각각의 단계들은 본 명세서에서 기술된 바와 같이 수행될 수 있다. 이러한 방식으

로, 주기적으로 전지적 샘플링이 다시 적용되고, 샘플링들 및 임계치들이 조정된다. 그와 같이, 동적 샘플링 방식이 주기적으로 재형성 또는 업데이트될 수 있다.

[0064]

적합한 미리결정된 간격들의 예들은 일주일에 한 번, 2주일에 한 번 등일 수 있고, 이것은 사용자에 의해 결정되거나 선택될 수 있다. 대안적으로, 미리결정된 간격들은 전지적 샘플링의 결과들에 따라 가변될 수 있다. 예를 들어, 상이한 전지적 샘플링 단계들의 결과들에서의 비교적 큰 변동들은 프로세스가 비교적 불안정하다는 것을 지시할 수 있다. 따라서, 전지적 샘플링 단계는 상이한 전지적 샘플링 단계들의 결과들의 비교적 작은 변동들을 나타내는 프로세스에 대한 것보다 더 자주 수행될 수 있다. 미리결정된 간격들은 본 명세서에서 기술된 실시예들에 의해 이러한 방식으로 가변될 수 있다(예를 들어, 전지적 샘플링의 결과들에 기초하여 자동으로(또는 사용자 개입없이)).

[0065]

부가하여, 전지적 샘플링 결과들에 기초하여 비교적 짧게(예를 들어, 하루에 한 번 또는 하루에 두 번) 결정된, 미리결정된 간격들은 오퍼레이터 또는 엔지니어에 의한 조정, 교정, 유지 또는 소정의 다른 작동들을 요구할 수 있는, 매우 불안정한 프로세스를 나타낼 수 있다. 이러한 방식으로, 상이한 미리결정된 간격으로 전지적 샘플링을 구현하기에 앞서, 상이한 미리결정된 간격은 임계치에 비교될 수 있다. 미리결정된 간격이 임계치보다 더 짧다면, 본 명세서에서 기술된 실시예들은 조정, 교정, 관리 및/또는 소정의 다른 작동이 적절한지 여부를 결정하기 위하여 상기 프로세스가 오퍼레이터 또는 엔지니어에 의해 평가되어야 함을 지시하는 출력을 생성할 수 있다. 상기 출력은 오퍼레이터 또는 엔지니어에 의해 검출가능한 알람과 같은 임의의 적절한 출력을 포함할 수 있다.

[0066]

전술한 동적 샘플링 방식을 형성하기 위한 방법의 실시예들은 본 명세서에서 기술된 임의의 다른 단계(들)를 포함할 수 있다. 부가하여, 전술한 동적 샘플링 방식을 형성하기 위한 방법의 실시예들은 본 명세서에서 기술된 시스템 실시예들 중 임의의 것에 의해 수행될 수 있다.

[0067]

전술한 바와 같이, 소정의 실시예들은 동적 샘플링 방식을 형성하는 것을 포함한다. 그러나, 다른 실시예들은 동적 샘플링 방식을 형성하는 것을 반드시 포함하지 않을 수도 있다. 예를 들어, 동적 샘플링 방식을 형성하기 위해, 그리고 동적 샘플링 방식을 구현하기 위해 상이한 방법들이 사용될 수도 있다. 그러한 실시예에서, 측정들이 웨이퍼들 상에서 수행되는 프로세스에 대하여 샘플링 방식을 동적으로 선택하기 위한 방법은 최적 샘플링 방식을 사용하여 적어도 하나의 로트 내 적어도 하나의 웨이퍼 상에서 측정들을 수행하는 단계를 포함한다. 최적 샘플링 방식은 전술한 바와 같이 결정될 수 있다. 따라서, 동적 샘플링 방식이 전술한 바와 같이 형성된 이후에, 계측 프로세스는 우선 최적 샘플링 방식을 사용하여 수행된다. 측정들은 본 명세서에서 기술된 측정들 중 임의의 것을 포함할 수 있다.

[0068]

이러한 실시예에는 또한 측정들의 값들을, 최적 샘플링 방식 대신에 증강된 샘플링 방식 또는 감소된 샘플링 방식이 상기 프로세스를 위해 사용되어야 하는 측정들의 값들에 대응하는 임계치들과 비교하는 단계를 포함한다. 이러한 단계에서 상기 값들을 비교하는 것은 본 명세서에서 기술된 바와 같이 수행될 수 있다. 부가하여, 이러한 실시예는 상기 비교 단계의 결과들에 기초하여 측정들이 적어도 하나의 부가적인 로트 내 적어도 하나의 부가적인 웨이퍼 상에서 수행되어야 하는 프로세스에 대하여 최적 샘플링 방식, 증강된 샘플링 방식 또는 감소된 샘플링 방식을 선택하는 단계를 포함한다. 이러한 선택 단계는 본 명세서에서 기술된 바와 같이 수행될 수 있다. 소정의 실시예들에서, 이러한 실시예는 상기 적어도 하나의 부가적인 웨이퍼 상에서 측정들을 수행하기에 앞서, 상기 프로세스를 수행하도록 구성된 툴의 하나 또는 둘 이상의 파라미터들을 변경하는 단계를 포함한다. 상기 툴의 하나 또는 둘 이상의 파라미터를 변경하는 단계는 본 명세서에서 기술된 바와 같이 수행될 수 있다.

[0069]

전술한 샘플링 방식을 동적으로 선택하기 위한 방법의 실시예들은 본 명세서에서 기술된 임의의 다른 단계(들)를 포함할 수 있다. 부가하여, 전술한 샘플링 방식을 동적으로 선택하기 위한 방법의 실시예들은 본 명세서에서 기술된 시스템 실시예들 중 임의의 것에 의해 수행될 수 있다. 부가하여, 이러한 방법 실시예들은 본 명세서에서 기술된 다른 실시예들의 이점들 모두를 가질 수 있다.

[0070]

\*또 다른 실시예는 측정 프로세스 동안 웨이퍼들을 샘플링하는 방법에 관한 것이다. 측정 프로세스는 본 명세서에서 기술된 임의의 측정 프로세스를 포함할 수 있다. 상기 방법은 상기 측정 프로세스를 위하여 복수 개의 샘플링 방식들을 설계하는 단계를 포함한다. 일 실시예에서, 복수 개의 샘플링 방식들을 설계하는 단계는 적어도 하나의 로트 내 모든 웨이퍼들에 대해 모든 웨이퍼들 상의 모든 측정 스팟들에서 측정들을 수행하는 단계를 포함한다. 그러한 측정들은 본 명세서에서 기술된 바와 같이 수행될 수 있다. 본 명세서에서 더 기술된 실시



예들에서 사용된 그러한 측정들의 결과들은 본 명세서에서 기술된 임의의 그러한 측정들의 임의의 결과들을 포함할 수 있다. 모든 웨이퍼들 상의 모든 측정 스팟들은 본 명세서에서 기술된 측정 스팟들 중 임의의 것을 포함할 수 있다.

[0071]

그러한 일 실시예에서, 복수 개의 샘플링 방식들을 설계하는 단계는 모든 웨이퍼들 상에서 수행된 측정들의 결과들에 기초하여, 최적 샘플링 방식, 증강된 샘플링 방식 및 감소된 샘플링 방식을 결정하는 단계를 포함한다. 최적 샘플링 방식, 증강된 샘플링 방식 및 감소된 샘플링 방식을 결정하는 단계는 본 명세서에서 기술된 바와 같이 수행될 수 있다. 부가하여, 그러한 실시예에서, 복수 개의 샘플링 방식들을 설계하는 단계는 측정들의 결과들에 기초하여, 최적 샘플링 방식, 증강된 샘플링 방식 및 감소된 샘플링 방식을 트리거링하기 위하여 사용될 임계치들을 결정하는 단계를 포함할 수 있다. 이러한 방식으로 임계치들을 결정하는 단계는 본 명세서에서 기술된 실시예들 중 임의의 것에 따라 수행될 수 있다. 본 명세서에서 더 기술되는 바와 같이, 임계치들은 웨이퍼들에 대하여 최적 샘플링 방식, 증강된 샘플링 방식 및 감소된 샘플링 방식을 트리거링하기 위해 사용될 수 있다.

[0072]

소정의 실시예들에서, 복수 개의 샘플링 방식들을 설계하는 단계는 적어도 하나의 로트 내 모든 웨이퍼들에 대해 모든 웨이퍼들 상의 모든 측정 스팟들에서 수행된 측정들의 결과들에 기초하여 복수 개의 샘플링 방식들을 설계하는 단계를 포함하고, 상기 측정들의 결과들은 로우 측정 데이터에 포함하고, 상기 방법은 로우 측정 데이터에 기초하여 복수 개의 샘플링 방식들을 설계하기 이전에 로우 측정 데이터에 절대값 또는 회귀 필터를 적용하는 단계를 포함한다. 이러한 방식으로, 복수 개의 샘플링 방식들을 설계하는 단계는 웨이퍼들 상에서 측정들을 수행함으로써 획득된 로우 측정 데이터에 기초할 수 있다. 상기 측정들은 본 명세서에서 기술된 바와 같이 이러한 실시예에서 수행될 수 있다. 측정들이 수행되는 모든 측정 스팟들은 본 명세서에서 기술된 측정 스팟들 중 임의의 것을 포함할 수 있다. 부가하여, 로우 측정 데이터는 상기 측정들을 수행하기 위해 사용된 측정 툴의 임의의 검출기(들), 센서(들), 및 이와 유사한 것에 의해 생성된 출력을 포함할 수 있다. 로우 측정 데이터는 본 명세서에서 기술된 측정들을 수행하기 위해 사용될 수 있는 임의의 측정 툴에 의해 생성될 수 있는 임의의 출력을 포함할 수 있다. 이러한 방식으로, 복수 개의 샘플링 방식들을 설계하기 위하여 로우 측정 데이터를 분석한 때, 필터가 데이터에 적용될 수 있다(예를 들어, 로우 측정 데이터의 분리물(outlier)들을 제거함으로써, 데이터의 명백한 에러들을 제거하거나/제거하고 데이터를 스무딩(smooth)하기 위하여). 필터는 절대값 필터, 회귀 필터 또는 당업계에 공지된 임의의 적합한 통계적 필터일 수 있다. 필터는 임의의 적합한 방식으로 로우 측정 데이터에 적용될 수 있다.

[0073]

본 명세서에서 기술된 바와 같이, 복수 개의 샘플링 방식들을 설계하는 단계는 측정들의 결과들에 기초할 수 있다. 그러나, 복수 개의 샘플링 방식들을 설계하는 단계는 측정들의 결과들 외의 정보, 또는 측정들의 결과에 부가한 정보에 기초할 수 있다. 예를 들어, 일 실시예에서, 복수 개의 샘플링 방식들을 설계하는 단계는 적어도 하나의 로트에서의 모든 웨이퍼들에 대해 모든 웨이퍼들 상의 모든 측정 스팟들에서 수행된 측정들의 결과들에 기초하여, 그리고 모든 웨이퍼들 상에서 하나 또는 둘 이상의 프로세스들을 수행했던 하나 또는 둘 이상의 툴들로부터의 정보에 기초하여 복수 개의 샘플링 방식들을 설계하는 단계를 포함한다. 웨이퍼들 상의 하나 또는 둘 이상의 프로세스들을 수행한 상기 하나 또는 둘 이상의 툴들은 본 명세서에서 기술된 임의의 툴들(예를 들어, 제조 또는 프로세스 툴들)을 포함할 수 있다. 복수 개의 샘플링 방식들은 본 명세서에서 기술된 바와 같이 이러한 방식으로 설계될 수 있다. 유사한 방식으로, 복수 개의 샘플링 방식들은 웨이퍼들 상에서 수행된 하나 또는 둘 이상의 다른 측정들로부터의 정보(예를 들어, 결과들)에 부가하여, 상기 측정들의 결과들에 기초하여 설계될 수 있다. 샘플링 방식들을 설계하는 단계는 또한 이러한 타입들의 데이터 중 임의의 것의 통계적 분석을 수행하는 단계를 포함할 수 있다.

[0074]

또 다른 실시예에서, 복수 개의 샘플링 방식들을 설계하는 단계는 적어도 하나의 로트 내 모든 웨이퍼들에 대해 모든 웨이퍼들 상의 모든 측정 스팟들에서 수행된 측정들의 결과들에 기초하여, 그리고 모든 웨이퍼들 상에서 수행된 하나 또는 둘 이상의 프로세스들에 대한 이력 프로세스 제어 데이터에 기초하여 복수 개의 샘플링 방식들을 설계하는 단계를 포함한다. 이력 프로세스 제어 데이터는 계측 툴 또는 특정 프로세스를 위한 임의의 다른 측정 툴 상에서 측정된 이력 프로세스 제어 데이터를 포함할 수 있다. 이러한 방식으로, 복수 개의 샘플링 방식들은 유사한 프로세스를 사용하여 프로세싱된 유사한 웨이퍼들에 대한 다른 모든 이용가능한 계측 결과들에 부가하여 웨이퍼들의 특정 로트에 대한 전지적 샘플링의 결과들에 기초하여 설계될 수 있다. 부가하여, 이력 프로세스 제어 데이터는 웨이퍼들 상에서 하나 또는 둘 이상의 프로세스들을 수행했던 하나 또는 둘 이상의 프로세스 툴들의 이력 프로세스 제어에 관한 임의의 다른 데이터를 포함할 수 있다. 그러한 이력 프로세스 제어 데이터는 예를 들어, 상기 프로세스 툴의 하나 또는 둘 이상의 파라미터들이 언제 그리고 어떻게 프로세스 제어

목적들을 위해 변경되었는지에 관한 정보를 포함할 수 있다. 샘플링 방식들을 설계하는 단계는 또한 임의의 이러한 타입들의 데이터의 통계적 분석을 수행하는 단계를 포함할 수 있다. 샘플링 방식들은 본 명세서에서 기술된 바와 같이 이러한 방식으로 설계될 수 있다.

[0075]

부가적인 실시예에서, 복수 개의 샘플링 방식들을 설계하는 단계는 최적화 기준 및 측정 프로세스 외부의 하나 또는 둘 이상의 제약들에 기초하여 복수 개의 샘플링 방식들을 설계하는 단계를 포함한다. 예를 들어, 복수 개의 샘플링 방식들을 설계하는 단계는 통계적 최적화 방법을 포함할 수 있다. 최적화 방법은 설계 웨이퍼 레이아웃(즉, 설계가 웨이퍼 상에서 프린트되거나 프린트될 레이아웃 또는 공간 배열), 필드-내 타겟들 레이아웃(즉, 타겟들이 웨이퍼 상에서 프린트되거나 프린트될 레이아웃 또는 공간 배열), 톨들 및 프로세스들에서의 제약들과 같은, 외부 제약들을 모델링하고 분석하는 단계를 포함할 수 있다. 예를 들어, 스캐너의 제약들이 모델링되고 분석될 수 있다. 통계적인 최적화 방법은 또한 외부 제약들을 만족시키면서 웨이퍼의 샘플링을 최적화하는 샘플링 방식들을 결정하기 위하여 최적화 기준을 적용하는 단계를 포함할 수 있다. 그러한 예에서, 측정 프로세스가 리소그래피 프로세스와 같은 제조 프로세스(즉, 인 시츄) 동안 수행될 것이라면, 그 사이에 측정 프로세스가 수행될 프로세스 단계들 간의 최대 허용가능한 지연은 허용가능한 시간에서 수행될 수 있는 웨이퍼들의 최적 샘플링을 결정하기 위하여 사용될 수 있다. 유사한 방식으로, 측정 프로세스가 제조 프로세스의 프로세스 단계 동안 수행될 것이라면, 프로세스 단계가 수행될 시간은 측정들에 대해 허용가능한 최대 시간으로서 사용될 수 있고, 최적 샘플링이 최대 허용가능한 시간에 기초하여 결정될 수 있다.

[0076]

\*복수 개의 샘플링 방식들을 설계하는 단계는 샘플링 방식들을 트리거링하기 위하여 동작가능한 직접 임계치나 비-직접 임계치를 결정하는 단계를 포함할 수 있다. 예를 들어, 소정의 실시예들에서, 복수 개의 샘플링 방식들을 설계하는 단계는 트리거링 단계를 위하여 사용될 직접 임계치들을 결정하는 단계를 포함한다. 직접 임계치들은 프로세싱된 웨이퍼들, 웨이퍼들 상에서 수행된 하나 또는 둘 이상의 프로세스들 또는 프로세싱된 웨이퍼들을 측정한 하나 또는 둘 이상의 계측 톨들과 관련된 데이터를 위한 값들에 대응하는 임계치들이다. 예를 들어, 직접 임계치들은 특정 로트에 대한 측정 데이터 또는 그러한 로트의 모집단 측정 데이터(population measurement data)로부터 결정된 값들에 대응하는 임계치들일 수 있다. 직접 임계치들은 또한 프로세싱된 웨이퍼에 대한 로우 측정 데이터, 측정 모집단의 통계적 속성들 또는 이력 데이터 상에 구현된 통계적 규칙들의 값들에 대응하는 임계치들을 포함할 수 있다. 부가하여, 직접 임계치들은 측정된 로트를 프로세싱하거나 측정된 프로세스 또는 계측 톨로부터의 데이터의 값들에 대응하는 임계치들을 포함할 수 있다. 부가하여, 본 명세서에서 열거되고 기술된 직접 임계치들의 타입들은 총망라한 것은 아니고, 상기 방법의 실시예들에 사용된 임계치들은 본 명세서에서 기술된 임계치들의 임의의 조합일 수 있다.

[0077]

또 다른 실시예에서, 복수 개의 샘플링 방식들을 설계하는 단계는 트리거링 단계를 위해 사용될 비-직접 임계치들을 결정하는 단계를 포함한다. 비-직접 임계치들은 제조 및 계측 프로세스들의 관리와 관련된 데이터의 값들에 대응하는 임계치들이다. 예를 들어, 비-직접 임계치는 시간, 프로세스 톨 품질 제어 데이터, 생산 현장 데이터 또는 재료 플래닝 데이터에 기초할 수 있다. 시간-기반 임계치들은 달력 시간 또는 시간의 특정 이벤트로부터의 카운터와 같은 시간 데이터를 포함할 수 있다. 그러한 예에서, 시간-기반 임계치는 각 달의 첫 번째 월요일이다. 또 다른 예에서, 시간-기반 임계치는 10일이고, 10일로부터 특정 샘플링 방식이 이전에 트리거된다. 플래닝 데이터-기반 임계치들은 톨들 및 로트들의 이용가능성, 로트들의 전달 스케줄 상태 또는 임의의 다른 플래닝 데이터와 같은 정보와 관련된 임계치들을 포함할 수 있다. 부가하여, 그러한 데이터는 제조 성능을 개선하기 위한 상이한 측정 모드들의 우선 순위를 결정하기 위하여 상이한 측정 모드들의 처리량과 교잡(crossbred)될 수 있다. 예를 들어, 특정한 측정 모드를 사용하여 측정들이 수행될 수 있는 시간은 웨이퍼들의 가장 효율적인 샘플링이 임의의 특정 측정 프로세스에 대하여 무엇인지를 결정하기 위하여 측정 톨들 및 프로세스 톨들의 플래닝 데이터 및 이용가능성에 대한 정보와 결합될 수 있다. 부가하여, 본 명세서에서 열거되고 기술된 비-직접 임계치들의 타입들은 총망라한 것이 아니고, 상기 방법의 실시예들에 사용된 임계치들은 본 명세서에 기술된 임계치들의 임의의 조합일 수 있다.

[0078]

상기 방법은 또한 웨이퍼들에 대한 복수 개의 샘플링 방식들 중 하나를 트리거링하는 단계를 포함한다. 복수 개의 샘플링 방식들 중 하나를 트리거링하는 단계는 관련 데이터의 값들을 샘플링 방식들에 대응하는 임계치들과 비교하는 단계 및 상기 비교의 결과들에 기초하여 샘플링 방식을 트리거링하는 단계를 포함할 수 있다. 그러한 관련 데이터 및 임계치들의 실시예들은 본 명세서에서 더 기술되고, 관련 데이터는 임의의 적합한 방식으로 임계치들과 비교될 수 있다. 적절한 관련 데이터 및 적절한 임계치들은 측정될 웨이퍼들의 하나 또는 둘 이상의 특성들, 웨이퍼들 상에서 수행된 하나 또는 둘 이상의 프로세스들의 하나 또는 둘 이상의 특성들, 측정 프

로세스의 하나 또는 둘 이상의 특성들 또는 이들의 소정 조합에 기초하여 선택될 수 있다.

[0079] 또 다른 실시예에서, 복수 개의 샘플링 방식들을 설계하는 단계는 적어도 하나의 로트 내 모든 웨이퍼들에 대해 모든 웨이퍼들 상의 모든 측정 스팟들에서 수행된 측정들의 결과들에 기초하여 복수 개의 샘플링 방식들을 설계하는 단계를 포함한다. 그러한 측정들의 결과들에 기초하여 복수 개의 샘플링 방식들을 설계하는 단계는 본 명세서에서 기술된 임의의 실시예들에 따라 수행될 수 있다. 측정들의 결과들은 본 명세서에서 기술된 측정들의 결과들 중 임의의 것을 포함할 수 있다. 모든 웨이퍼들 상의 모든 측정 스팟들은 본 명세서에서 기술된 측정 스팟들 중 임의의 것을 포함할 수 있다. 그러한 실시예에서, 트리거링된 샘플링 방식이 활성화되는 웨이퍼들은 상기 적어도 하나의 로트가 아닌 로트에 있다. 이러한 방식으로, 샘플링 방식들은 웨이퍼들의 하나의 로트에 기초하여 설계될 수 있고, 웨이퍼들의 이러한 로트를 사용하여 설계된 샘플링 방식들이 다른 로트들의 웨이퍼들에 적용될 수 있다.

[0080] 일 실시예에서, 샘플링 방식들 중 하나를 트리거링하는 단계는 적어도 하나의 로트 내 모든 웨이퍼들에 대해 모든 웨이퍼들 상의 모든 측정 스팟들에서 수행된 측정들의 결과들을 직접 임계치들과 비교함으로써 개시된다. 직접 임계치들은 전술한 직접 임계치들 중 임의의 것을 포함할 수 있고 본 명세서에서 기술된 바와 같이 결정될 수 있다. 그러한 측정들의 결과들을 직접 임계치들과 비교하는 것은 임의의 적합한 방식으로 수행될 수 있다. 샘플링 방식이 그러한 비교의 결과들에 기초하여 트리거링되는지 여부는 임계치에 따라 가변될 수 있다. 예를 들어, 일반적으로, 그러한 측정들의 결과들이 임계치를 초과하면, 샘플링 방식은 트리거링될 수 있으나, 항상 그러한 것은 아니다. 부가하여, 샘플링 방식은 그러한 측정들의 결과들의 소정 변동의 비교에 기초하여 트리거링될 수 있다. 예를 들어, 또 다른 실시예에서, 복수 개의 샘플링 방식들 중 하나를 트리거링하는 단계는 적어도 하나의 로트 내 모든 웨이퍼들에 대해 모든 웨이퍼들 상의 모든 측정 스팟들에서 수행된 측정들의 결과들의 통계적 속성들을 직접 임계치들과 비교함으로써 개시된다. 직접 임계치들과 비교되는 측정들의 결과들의 통계적 속성들은 본 명세서에서 기술된 통계적 속성들 중 임의의 것을 포함할 수 있다.

[0081] 부가하여, 샘플링 방식이 트리거링되어야 하는지 여부를 결정하기 위하여 직접 임계치들과 비교되는 데이터는 임계치들 자신에 따라 가변될 수 있다. 예를 들어, 부가적인 실시예에서, 복수 개의 샘플링 방식들 중 하나를 트리거링하는 단계는 이력 프로세스 제어 데이터를 직접 임계치들과 비교함으로써 개시된다. 이력 프로세스 제어 데이터는 본 명세서에서 기술된 이력 프로세스 제어 데이터 중 임의의 것을 포함할 수 있다. 그러한 비교들은 임의의 적합한 방식으로 수행될 수 있고, 그러한 비교들의 결과들은 본 명세서에서 기술된 바와 같이 복수 개의 샘플링 방식들 중 하나를 트리거링하는 단계를 개시하기 위하여 사용될 수 있다. 추가의 실시예에서, 복수 개의 샘플링 방식들 중 하나를 트리거링하는 단계는 하나 또는 둘 이상의 계측 툴들 또는 하나 또는 둘 이상의 프로세스 툴들로부터의 데이터를 직접 임계치들과 비교함으로써 개시된다. 하나 또는 둘 이상의 계측 툴들 또는 하나 또는 둘 이상의 프로세스 툴들로부터의 데이터는 본 명세서에서 기재된 계측 툴들(예를 들어, 계측 툴들에 의해 수행된 측정들의 결과들, 시간의 함수로서 계측 툴들에 의해 수행된 측정들의 결과들 등) 및 프로세스 툴들(예를 들어, 프로세스 툴들에 의해 수행된 하나 또는 둘 이상의 프로세스들에 관한 정보)로부터의 데이터 중 임의의 것을 포함할 수 있다. 그러한 비교들은 임의의 적합한 방식으로 수행될 수 있고, 그러한 비교들의 결과들은 본 명세서에서 기술된 바와 같이 복수 개의 샘플링 방식들 중 하나를 트리거링하는 단계를 개시하기 위하여 사용될 수 있다.

[0082] 소정의 실시예들에서, 복수 개의 샘플링 방식들 중 하나를 트리거링하는 단계는 시간 데이터를 비-직접 임계치들과 비교함으로써 개시된다. 비-직접 임계치들은 전술한 비-직접 임계치들 중 임의의 것을 포함할 수 있고 본 명세서에서 기술된 바와 같이 결정될 수 있다. 시간 데이터는 본 명세서에서 기술된 시간 데이터 중 임의의 것을 포함할 수 있다. 그러한 비교들은 임의의 적합한 방식으로 수행될 수 있고, 그러한 비교들의 결과들은 본 명세서에서 기술된 바와 같이 복수 개의 샘플링 방식들 중 하나를 트리거링하는 단계를 개시하기 위하여 사용될 수 있다.

[0083] 또 다른 실시예에서, 복수 개의 샘플링 방식들 중 하나를 트리거링하는 단계는 프로세스 툴 품질 제어 데이터를 비-직접 임계치들과 비교함으로써 개시된다. 프로세스 툴 품질 제어 데이터는 본 명세서에서 기술된 프로세스 툴 품질 제어 데이터 중 임의의 것을 포함할 수 있다. 그러한 비교들은 임의의 적합한 방식으로 수행될 수 있고, 그러한 비교의 결과들은 본 명세서에서 기술된 바와 같이 복수 개의 샘플링 방식들 중 하나를 트리거링하는 단계를 개시하기 위하여 사용될 수 있다.

[0084] 부가적인 실시예에서, 복수 개의 샘플링 방식들 중 하나를 트리거링하는 단계는 생산 현장 또는 재료 플래닝 데이터를 비-직접 임계치들과 비교함으로써 개시된다. 생산 현장 또는 재료 플래닝 데이터는 본 명세서에서 기술

된 생산 현장 및 재료 플래닝 데이터 중 임의의 것을 포함할 수 있다. 그러한 비교들은 임의의 적합한 방식으로 수행될 수 있고, 그러한 비교들의 결과들은 본 명세서에서 기술된 바와 같이 복수 개의 샘플링 방식들 중 하나를 트리거링하는 단계를 개시하기 위하여 사용될 수 있다.

[0085] 일 실시예에서, 트리거링 단계는 이하의 단계들을 포함한다. 미리 정의된 샘플링을 사용하여 오버레이/CD/막들을 측정한다. 결과들을 모델링하고 측정되지 않은 지점들에서의 측정들을 예상한다. 임의의 측정되지 않은 예측이 스펙을 초과하면(즉, 웨이퍼가 재가공되어야 한다면), 이러한 지점에서 측정들을 수행한다. 예측과 비교한다. 상기 단계들은 본 명세서에서 더 기술된 바와 같이 수행될 수 있고, 상기 실시예는 본 명세서에서 기술된 임의의 다른 단계(들)를 포함할 수 있다.

[0086] 상기 방법은 측정들이 트리거링된 샘플링 방식을 사용하여 측정 프로세스 동안 웨이퍼들 상에서 수행되도록 트리거링된 샘플 방식을 활성화하는 단계를 더 포함한다. 트리거링된 샘플링 방식을 활성화하는 단계는 한 로트의 웨이퍼들 상에서 트리거링된 샘플링 방식을 구현하는 단계(예를 들어, 트리거링된 샘플링 방식이 측정 프로세스 동안 웨이퍼들을 샘플링하기 위해 사용되도록)를 포함할 수 있다. 트리거링되고 활성화된 샘플링 방식은 본 명세서에서 기술된 샘플링 방식들 중 임의의 것을 포함할 수 있다.

[0087] 트리거링된 샘플링 방식은 샘플링 방식을 트리거링한 동일한 로트 상에서, 또는 이하의 로트들 상에서 구현될 수 있다. 예를 들어, 하나의 로트에 관한 정보에 의해 트리거링된 샘플링 방식은 동일한 로트에 대하여 활성화될 수 있다. 부가하여, 또는 대안적으로, 하나의 로트에 관한 정보에 의해 트리거링된 샘플링 방식은 상기 샘플링 방식을 트리거링한 상기 로트 이후에 측정 프로세스에서 측정될 웨이퍼들의 상이한 로트 내 하나 또는 둘 이상의 웨이퍼들에 대하여 활성화될 수 있다. 더욱이, 트리거링된 샘플링 방식은 샘플링 방식을 트리거링한 동일한 웨이퍼들 상에서, 또는 동일한 로트 또는 이후의 로트들에서의 다른 웨이퍼들 상에서 수행될 수 있다. 예를 들어, 하나의 로트 내 웨이퍼들에 관한 정보에 의해 트리거링된 샘플링 방식은 그러한 로트에서의 동일한 웨이퍼들에 대하여 활성화될 수 있다. 부가적으로 또는 대안적으로, 하나의 로트에서의 웨이퍼들에 관한 정보에 의해 트리거링되는 샘플링 방식은 상기 샘플링 방식을 트리거링한 상기 웨이퍼들 이후에 측정 프로세스에서 측정될 웨이퍼들의 상이한 로트 내 하나 또는 둘 이상의 웨이퍼들에 대하여 활성화될 수 있다. 트리거링된 샘플링 방식의 자동 구현이 바람직하고, 그러한 경우에, 상기 방법은 계측 툴 레시피(recipe), 측정 타겟들 또는 측정 모드의 온라인 변경을 포함할 수 있다.

[0088] 전술한 상기 방법의 실시예들은 본 명세서에서 기술된 임의의 다른 단계(들)를 포함할 수 있다. 부가하여, 전술한 상기 방법의 실시예들은 본 명세서에서 기술된 시스템 실시예들 중 임의의 것에 의해 수행될 수 있다. 부가하여, 이러한 방법 실시예들은 본 명세서에서 기술된 다른 실시예들의 모든 이점들을 갖는다.

[0089] 전술한 여러 다양한 단계들은 단독으로 또는 서로 결합하여 수행될 수 있다. 예를 들어, 샘플링 방식들을 설계하는 단계는 독립형 방법들 또는 이들의 소정 결합들로서 이하의 옵션들을 포함할 수 있다: 미리결정된 주파수에서 적어도 하나의 로트 내 모든 웨이퍼들에 대해 웨이퍼들 상의 모든 측정 스팟들에서 측정들을 수행하고 상기 측정들의 결과들에 기초하여 프로세스에 대한 최적 샘플링 방식, 증강된 샘플링 방식, 감소된 샘플링 방식 및 한 동적 샘플링 방식에 대한 임계치들을 결정하는 단계; 설계 웨이퍼 레이아웃 상에서 또는 필드-내 타겟들 레이아웃 상에서, 그리고 툴/프로세스 모델(예를 들어, 스캐너 모델) 상에서, 선택된 최적화 기준, 적당할 모델, 프로세스/툴/장치 이슈들로부터 나오는 특정 제약들에 기초한 통계적 최적화 방법을 구현하고, 최적 샘플링 방식, 증강된 샘플링 방식 및 감소된 샘플링 방식을 결정하는 단계; 선택적으로 측정들의 결과들과 결합하여 웨이퍼들 상에서의 하나 또는 둘 이상의 다른 프로세스들 또는 측정들을 수행했던 하나 또는 둘 이상의 툴들로부터의 정보에 기초하여 최적 샘플링 방식, 증강된 샘플링 방식 및 감소된 샘플링 방식을 결정하는 단계; 통계적 방법을 사용하고, 특정 프로세스에 대하여 계측 툴 상에서 측정된 이력 프로세스 제어 데이터를 분석하며, 프로세스를 위한 최적 샘플링 및 동적 샘플링을 위한 임계치들을 정의하는 단계; 그리고 로우 측정 데이터를 분석하는 단계를 수반하는 전술한 방법들 각각에서, 절대값 또는 회귀의 타입으로부터의 필터는 샘플링 설계 분석 이전에 데이터 상에서 구현될 수 있다.

[0090] 또 다른 실시예에서, 샘플링을 트리거링하는 단계는 이하를 포함할 수 있다: 임계치를 사용하는 단계; 임계치에 대한 예들은 측정들의 절대값들, 측정 모집단의 통계적 속성들, 이력 데이터 상에서 구현된 통계 규칙들 또는 이전 것의 조합임; 상기 트리거링은 논의된 계측 단계 이전에, 측정된 로트가 프로세싱되거나 측정된 프로세스 또는 계측 툴로부터의 데이터에 기초할 수 있고, 임계치의 타입들은 2개의 전술한 단계들에서 사용된 직접 임계치이고, 이러한 로트 또는 그것의 모집단의 측정된 데이터를 의미하는 특정 로트 측정 데이터 또는 하나의 로트에 대한 모집단 측정 데이터는 임계치와 비교되고, 임의의 위반은 동적 샘플링을 트리거링하고, 이하의 2개 단



계들에서 기술된 임계치의 또 다른 타입은 비-직접 임계치이며, 시간이 달력 시간으로서 또는 시간의 특정 이벤트로부터의 카운터로서 측정될 수 있는 시간-기반 임계치; 프로세스 톨 품질 제어 데이터에 기초한 임계치; 톨들의 이용가능성, 로트들의 이용가능성, 로트들의 전달 스케줄 상태 등과 같은 생산 현장 및/또는 재료 플래닝 데이터에 기초한 임계치. 하나의 옵션은 위 데이터를 상이한 측정 모드 처리량과 교잡하고 랩 성능을 개선하기 위한 상이한 측정 모드의 우선순위를 결정하는 것이다.

[0091] 부가적인 실시예에서, 새로운 샘플링을 활성화하는 단계는 동적 샘플링을 트리거링한 동일한 로트 상에서 또는 다음의 로트들 상에서 구현될 수 있거나; 동적 샘플링을 트리거하는 동일한 웨이퍼들 상에서 또는 현재의 로트 또는 다른 로트들에서의 다른 웨이퍼들 상에서 구현될 수 있거나; 자동으로 구현될 수 있다(예를 들어, 계속 톨 레시피의 온라인 변경 및/또는 측정 타겟들 또는 모드의 변경).

[0092] 또 다른 실시예는 측정들이 웨이퍼들 상에서 수행되는 프로세스에 대하여 동적 샘플링 방식을 형성하도록 구성된 시스템에 관한 것이다. 그러한 시스템의 일 실시예는 도 4에 도시된다. 도 4에 도시된 바와 같이, 상기 시스템은 웨이퍼들(도 4에서는 미도시) 상에서 측정들을 수행하도록 구성된 측정 톨(18)을 포함한다. 측정 톨은 본 명세서에서 더 기술된 바와 같이 구성될 수 있다. 예를 들어, 일 실시예에서, 측정 톨은 계속 톨로서 구성될 수 있다. 부가하여, 측정 톨(18)은 당업계에 공지된 임의의 다른 적합한 측정 톨을 포함할 수 있다.

[0093] 상기 시스템은 또한 적어도 하나의 로트 내 모든 웨이퍼들에 대해 웨이퍼들 상의 모든 측정 스팟들에서 측정들을 수행하게 측정 톨을 제어하도록 구성된 하나 또는 둘 이상의 프로세서들을 포함한다. 앞서 더 기술된 바와 같이, 모든 측정 스팟들은 웨이퍼들 상의 모든 필드들, 웨이퍼들 상의 모든 타겟들 또는 웨이퍼들 상의 모든 필드와 모든 타겟들을 포함할 수 있다. 이러한 방식으로, 상기 하나 또는 둘 이상의 프로세서들은 측정 톨이 전지적 샘플링을 수행하도록 측정 톨을 제어하도록 구성된다. 전지적 샘플링은 본 명세서에서 기술된 바와 같이 측정 톨에 의해 수행될 수 있다.

[0094] 상기 하나 또는 둘 이상의 프로세서들은 당업계에 공지된 임의의 방식으로 측정 톨을 제어하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 상기 하나 또는 둘 이상의 프로세서들은 레시피를 수행할 명령과 함께 측정 톨의 프로세서(미도시) 또는 측정 톨의 제어 서브시스템(미도시)으로 레시피(또는 한 세트의 명령들)를 전송할 수 있다. 이러한 방식으로, 상기 시스템은 적어도 하나의 로트에 대한 모든 웨이퍼들 및 웨이퍼들 상의 모든 필드들 및/또는 모든 타겟들을 측정하기 위하여 주기(미리결정된 간격) 당 한 번 전지적 샘플링을 수행하도록 측정 톨을 제어하기 위하여 레시피를 사용할 수 있다. 상기 레시피 및 상기 명령들은 당업계에 공지된 임의의 적합한 포맷을 가질 수 있다.

[0095] 측정 톨이 전지적 샘플링을 수행하도록 측정 톨을 제어하도록 구성된 상기 하나 또는 둘 이상의 프로세서들은 측정 톨의 프로세서를 포함할 수 있다. 그러한 프로세서는 본 명세서에서 기술된 바와 같이 구성될 수 있다. 또 다른 예에서, 이러한 단계를 수행하도록 구성된 상기 하나 또는 둘 이상의 프로세서들은 독립형 프로세서(20)를 포함할 수 있다. 독립형 프로세서(20)는 측정 톨의 일부가 아닌 컴퓨터 시스템의 프로세서일 수 있다. 특히, 독립형 프로세서(20)는 측정 톨에 결합될 수 있으나(예를 들어, "유선" 및/또는 "무선" 부분들을 포함할 수 있는 하나 또는 둘 이상의 전송 매체를 통하여 측정 톨의 프로세서 또는 저장 매체에 결합될 수 있음), 측정 톨의 메인 프로세서를 구성하지 않는다. 즉, 독립형 프로세서는 하나 또는 둘 이상의 기능들을 "오프-라인"으로 수행하도록 구성될 수 있다. 추가의 예에서, 이러한 단계를 수행하도록 구성된 상기 하나 또는 둘 이상의 프로세서들은 호스트 프로세서(22)를 포함할 수 있다. 호스트 프로세서(22)는 독립형 프로세서(20)에 대하여 전술한 바와 같이 구성될 수 있다.

[0096] 전술한 프로세서들 중 임의의 것을 포함할 수 있는 상기 하나 또는 둘 이상의 프로세서들 각각은 개인용 컴퓨터 시스템, 메인프레임 컴퓨터 시스템, 워크스테이션, 이미지 컴퓨터, 병렬 프로세서 또는 당업계에 공지된 임의의 다른 장치를 포함하여 여러 다양한 형태들을 취할 수 있다. 일반적으로, 용어 "컴퓨터 시스템"은 메모리 매체로부터의 명령들을 실행하는 하나 또는 둘 이상의 프로세서들을 구비한 임의의 장치를 망라하도록 광범위로 정의될 수 있다.

[0097] 도 4에 도시된 바와 같이, 측정 톨(18)은 전지적 샘플링 결과들(24)을 생성한다. 상기 하나 또는 둘 이상의 프로세서들은 또한 측정들의 결과들에 기초하여 프로세서를 위한 최적 샘플링 방식, 증강된 샘플링 방식, 감소된 샘플링 방식, 및 동적 샘플링 방식에 대한 임계치들을 결정하도록 구성된다. 임계치들은 최적 샘플링 방식, 증강된 샘플링 방식, 감소된 샘플링 방식이 프로세스를 위해 사용되어야 하는 측정들의 값들에 대응한다. 최적 샘플링 방식, 증강된 샘플링 방식, 감소된 샘플링 방식 및 임계치들은 전지적 샘플링 결과들(24)을 사용하여 전술한 바와 같이 결정될 수 있다. 예를 들어, 일 실시예에서, 상기 하나 또는 둘 이상의 프로세서들은 웨이퍼들

상에서 하나 또는 둘 이상의 다른 프로세스들을 수행했던 하나 또는 둘 이상의 톨들로부터의 정보와 결합하여 측정들의 결과들에 기초하여 최적 샘플링 방식, 증강된 샘플링 방식, 및 감소된 샘플링 방식을 결정하도록 구성된다. 이러한 결정 단계는 본 명세서에서 더 기술되는 바와 같이 수행될 수 있다. 부가하여, 상기 측정들의 결과들은 본 명세서에서 기술되는 결과들 중 임의의 것을 포함할 수 있다. 예를 들어, 일 실시예에서, 측정들의 결과들은 측정들의 변동에 관한 정보를 포함한다.

[0098]

이러한 단계를 수행하도록 구성된 상기 하나 또는 둘 이상의 프로세서들은 측정 톨의 프로세서를 포함할 수 있다. 대안적으로, 이러한 단계를 수행하도록 구성된 상기 하나 또는 둘 이상의 프로세서들은 독립형 프로세서(20)를 포함할 수 있다. 예를 들어, 전지적 샘플링 결과들(24)은 측정 톨(18)로부터 독립형 프로세서(20)로 전송될 수 있다. 상기 시스템은 전지적 샘플링으로부터의 데이터를 분석하고 최적 샘플링 방식 및 대안적 샘플링 방식들 및 임계치들을 선택하기 위하여 독립형 프로세서(20) 상에서 실행가능한 분석 소프트웨어 또는 프로그램 명령들(미도시)을 포함할 수 있다. 이러한 방식으로, 상기 톨로부터의 전지적 데이터는 독립형 프로세서(20)를 포함하는 컴퓨터 상에서 분석 소프트웨어로 전송될 수 있다. 따라서, 일 실시예에서, 독립형 프로세서(20)는 전지적 샘플링을 수행하게 측정 톨을 제어하고 동적 샘플링 방식의 파라미터들을 결정하도록 구성될 수 있다.

[0099]

본 명세서에서 기술된 바와 같은 방법들을 수행하는 프로그램 명령들 또는 본 명세서에서 기술된 방법들의 단계들은 컴퓨터-판독가능한 매체(미도시)로 전송되거나 컴퓨터-판독가능한 매체 상에 저장될 수 있다. 컴퓨터-판독가능한 매체는 유선, 케이블 또는 무선 전송 링크와 같은 전송 매체일 수 있다. 컴퓨터-판독가능한 매체는 또한 판독-전용 메모리, 랜덤 액세스 메모리, 자기 또는 광학 디스크, 또는 자기 테이프와 같은 저장 매체일 수 있다.

[0100]

프로그램 명령들은 다른 것들 가운데 절차-기반 기술들, 컴포넌트-기반 기술들 및/또는 객체-지향 기술들을 포함하는 여러 다양한 방식들 중 임의의 것으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 프로그램 명령들은 Matlab, Visual Basic, ActiveX controls, C, C++ 객체들, C#, JavaBeans, Microsoft Foundation Classes("MFC") 또는 다른 기술들 또는 방법들을 사용하여 원하는 대로 구현될 수 있다.

[0101]

동적 샘플링 방식은 본 명세서에서 기술되는 바와 같이 더 구성될 수 있다. 예를 들어, 일 실시예에서, 최적 샘플링 방식, 증강된 샘플링 방식, 및 감소된 샘플링 방식은 상기 프로세스에서 측정될 다른 로트들에서의 다른 웨이퍼들의 갯수를 포함한다. 또 다른 실시예에서, 최적 샘플링 방식, 증강된 샘플링 방식, 및 감소된 샘플링 방식은 상기 프로세스에서 측정될 다른 로트들에서의 다른 웨이퍼들의 개수 및 상기 프로세스 동안 상기 다른 웨이퍼들 각각 상에서 수행될 측정들의 하나 또는 둘 이상의 파라미터들을 포함한다.

[0102]

일 실시예에서, 상기 하나 또는 둘 이상의 프로세서들은 다른 로트들에서의 다른 웨이퍼들 상에서 수행된 측정들의 값들을 임계치들과 비교하고, 비교 단계의 결과들에 기초하여 부가적인 로트들에서의 부가적인 웨이퍼들 상에서 측정들이 수행되는 프로세스에 대하여 샘플링 방식들 중 어떠한 샘플링 방식이 사용되어야 하는지를 결정함으로써 동적 샘플링 방식을 수행하도록 구성된다. 예를 들어, 측정 톨(18)에 의해 다른 로트들에서의 다른 웨이퍼들 상에 수행된 측정들의 값들은 독립형 프로세서(20)에 의해 획득될 수 있다. 독립형 프로세서(20)는 측정 톨로부터 획득된 값들을 임계치들과 비교할 수 있다. 부가하여, 독립형 프로세서(20)는 이러한 비교의 결과들에 기초하여 부가적인 로트들에서의 부가적인 웨이퍼들 상에서 수행된 프로세스에 대하여 샘플링 방식들 중 어떠한 샘플링 방식이 사용되어야 하는지를 결정할 수 있다. 이러한 방식으로, 독립형 프로세서(20)는 로트(들)로부터의 분석된 데이터를 임계치들과 비교하여 어떠한 샘플링 방식이 다음의 로트(들)에 대해 사용되어야 하는지를 결정하는 결정 엔진으로서 구성될 수 있다. 독립형 프로세서에 의해 생성된 이러한 단계들의 결과들은 도 4에 도시된 바와 같이, 샘플링 방식(26)의 동적 선택을 포함할 수 있다. 이러한 단계들의 결과들은 독립형 프로세서로부터 측정 톨(18) 및/또는 호스트 프로세서(22)로 전송될 수 있다.

[0103]

또 다른 실시예에서, 측정 톨로부터의 전지적 샘플링 결과들은 독립형 프로세서(20) 상에서 실행가능한 분석 소프트웨어로 전송된다. 분석 소프트웨어는 상기 결과들을 분석하고 측정 톨로 최적 샘플링 방식을 전송한다. 대안적인 샘플링 방식들이 호스트 프로세서로 전송된다. 다음의 로트는 최적 샘플링 방식을 사용하여 측정 톨에 의해 측정된다. 이러한 로트에 대한 결과들은 분석 소프트웨어로 전송된다. 분석 소프트웨어는 상기 결과들을 분석하고 이러한 결과들을 임계치들과 비교한다. 만약 샘플링의 조정이 비교의 결과들에 기초하여 선택된다면, 대안적인 샘플링 방식이 호스트 프로세서로부터 톨로 전송될 수 있다.

[0104]

그러한 실시예에서, 상기 하나 또는 둘 이상의 프로세서들은 측정 톨이 부가적인 웨이퍼들 상에서 프로세서를 수행하기 이전에, 측정 톨의 하나 또는 둘 이상의 파라미터들을 변경시키도록 구성된다. 예를 들어, 독립형 프로세서(20)는 측정 톨에 의해 수행되는 임의의 부가적인 측정들이 동적으로 선택된 샘플링 방식으로 수행되도록

측정 톨의 하나 또는 둘 이상의 파라미터들을 변경하라는 명령들과 함께 샘플링 방식(26)의 동적 선택을 측정 톨(18)로 전송함으로써 이러한 방식으로 측정 톨의 하나 또는 둘 이상의 파라미터들을 변경시키도록 구성된다. 대안적으로, 호스트 프로세서(22)는 전술한 바와 같이 측정 톨의 하나 또는 둘 이상의 파라미터들을 변경시키도록 구성될 수 있다. 이러한 방식으로, 호스트 프로세서는 조정된 샘플링 방식을 측정 톨로 전송할 수 있다. 측정 톨의 하나 또는 둘 이상의 파라미터들은 또한 본 명세서에서 더 기술되는 바와 같이 변경될 수 있다.

[0105] 도 4에 도시된 시스템의 실시예들 각각은 본 명세서에서 기술된 임의의 다른 단계(들)를 수행하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 일 실시예에서, 상기 시스템은 미리결정된 간격들에서 동적 샘플링 방식을 형성하도록 구성된다. 이러한 방식으로, 상기 시스템은 동적 샘플링 방식을 주기적으로 업데이트하도록 구성될 수 있다. 전술한 시스템의 실시예들 각각은 또한 본 명세서에서 기술되는 바와 같이 더 구성될 수 있고, 본 명세서에서 기술된 다른 실시예들의 모든 이점들을 갖는다.

[0106] 도 5는 본 명세서에서 기술된 시스템에 포함될 수 있는 측정 톨의 일 실시예를 예시한다. 측정 톨은 웨이퍼들 상에서 측정들을 수행하도록 구성된다. 도 5는 여기에서 본 명세서에서 기술된 시스템 실시예들에 포함될 수 있는 측정 톨의 일 구성을 일반적으로 예시하기 위해 제공된다. 명백히, 본 명세서에서 기술된 측정 톨 구성은 상업적인 측정 톨을 설계할 때 통상적으로 수행되는 바와 같이 측정 톨의 성능을 최적화시키도록 변경될 수 있다. 부가하여, 본 명세서에서 기술된 시스템들은 기존의 측정 톨을 사용하여(예를 들어, 기존의 측정 톨에 본 명세서에서 설명된 기능을 부가함으로써) 구현될 수 있다. 그러한 소정의 시스템들에 대하여, 본 명세서에 기술된 방법들은 측정 톨의 선택적인 기능으로서(예를 들어, 측정 톨의 다른 기능에 부가하여) 제공될 수 있다. 대안적으로, 본 명세서에서 기술된 측정 톨은 완전히 새로운 시스템을 제공하기 위하여 "무에서부터" 설계될 수 있다.

[0107] 도 5에 도시된 측정 톨은 광원(28)을 포함한다. 광원(28)은 레이저와 같은 단파장 광원을 포함할 수 있다. 그러나, 많은 경우들에서, 상기 톨이 하나보다 많은 수의 파장에서 측정들을 수행하도록 구성되는 것을 유리할 수 있다. 그러한 예에서, 상기 톨이 하나보다 많은 수의 파장에서 측정들을 수행하도록 구성된다면, 광원(28)은 다파장 레이저와 같은 다색 광원을 포함할 수 있다. 또 다른 대안예에서, 상기 톨이 파장들의 스펙트럼에 걸쳐 측정들을 수행하도록 구성된다면, 광원(28)은 아크 램프(arc lamp)와 같은 광대역 광원을 포함할 수 있다. 광원(28)은 당업계에 공지된 임의의 다른 적합한 광원을 포함할 수 있다.

[0108] 광원(28)으로부터의 광은 비스듬한 입사각으로 웨이퍼(30)로 지향될 수 있다. 소정의 실시예들에서, 광원(28)으로부터의 광은 또한 또는 대안적으로 수직 입사각으로 웨이퍼(30)로 지향될 수 있다. 예를 들어, 상기 톨은 빔 스플리터(32)를 포함할 수 있다. 빔 스플리터(32)는 당업계에 공지된 임의의 적합한 빔 스플리터를 포함할 수 있다. 빔 스플리터(32)는 광원(28)으로부터의 광의 일 부분을 편광학 컴포넌트(34)로 전달할 수 있다. 편광학 컴포넌트(34)는 당업계에 공지된 임의의 적합한 편광학 컴포넌트를 포함할 수 있다. 편광학 컴포넌트(34)에 의해 전달된 광은 비스듬한 입사각으로 웨이퍼(30)로 지향된다. 비스듬한 입사각은 당업계에 공지된 임의의 적합한 비스듬한 입사각일 수 있다.

[0109] 빔 스플리터(32)는 광원(28)으로부터의 광의 나머지 부분을 반사성 광학 컴포넌트(36)로 반사할 수 있다. 반사성 광학 컴포넌트(36)는 평평한 미러(mirror)와 같은 당업계에 공지된 임의의 적합한 반사성 광학 컴포넌트를 포함할 수 있다. 반사성 광학 컴포넌트(36)는 광을 편광학 컴포넌트(38)를 통해 빔 스플리터(40)로 지향시키도록 구성된다. 편광학 컴포넌트(38)는 당업계에 공지된 임의의 적합한 편광학 컴포넌트를 포함할 수 있다. 빔 스플리터(40)는 당업계에 공지된 임의의 적합한 빔 스플리터를 포함할 수 있다. 빔 스플리터(40)는 입사각에 거의 수직인 각도로 광의 일 부분을 웨이퍼(30)로 반사할 수 있다. 빔 스플리터(40)는 또한 광의 일 부분을 반사성 광학 컴포넌트(42)로 전달할 수 있다. 반사성 광학 컴포넌트(42)는 굴곡이 있는 미러와 같은 당업계에 공지된 임의의 적합한 반사성 광학 컴포넌트를 포함할 수 있다.

[0110] 웨이퍼(30)로부터 반사된 수직 입사 조명은 빔 스플리터(40)에 의해 검출기(44)로 전달될 수 있다. 반사성 광학 컴포넌트(42)로부터 반사된 광은 빔 스플리터(40)에 의해 검출기(44)로 반사될 수 있다. 상기 톨은 또한 편광 컴포넌트(46)를 포함할 수 있고, 상기 편광 컴포넌트(46)를 통해 웨이퍼(30)로부터 반사되거나 산란(scatter)된 비스듬한 입사 조명이 통과할 수 있다. 편광 컴포넌트(46)는 당업계에 공지된 임의의 적합한 편광 컴포넌트를 포함할 수 있다. 편광 컴포넌트(46)를 통과하는 광은 검출기(48)에 의해 검출된다.

[0111] 검출기들(44 및 48)은 상기 측정들을 위해 사용된 파장(들)에 기초하여 선택될 수 있다. 부가하여, 검출기들은 측정 톨에 의해 수행될 측정들의 타입에 기초하여 선택될 수 있다. 예를 들어, 상기 톨이 웨이퍼의 이미지를 광학적으로 형성하도록 구성된다면, 검출기들은 이미징 검출기들을 포함할 수 있다.

- [0112] 검출기들(44 및 48)은 도 5의 점선에 의해 도시된 전송 매체를 통해 프로세서(50)에 결합된다. 상기 전송 매체는 당업계에 공지된 임의의 적합한 전송 매체를 포함할 수 있다. 이러한 방식으로 프로세서는 검출기들(44 및 48)에 의해 생성된 출력을 수신할 수 있다. 프로세서(50)는 또한 웨이퍼의 하나 또는 둘 이상의 특성들을 결정하기 위하여 상기 출력을 사용하도록 구성될 수 있다. 프로세서(50)는 본 명세서에서 기술된 바와 같이 더 구성될 수 있다. 측정들 동안에, 웨이퍼(30)는 측정 툴의 스테이지(52) 상에 배치된다. 스테이지(52)는 당업계에 공지된 임의의 적절한 기계적 및/또는 로봇 어셈블리를 포함할 수 있다.
- [0113] 상기 툴의 특정 실시예에 포함되거나 특정 측정을 위하여 사용되는 도 5에 도시된 툴의 컴포넌트들은 선택된 측정 기술 또는 기술들에 따라 변화할 수 있다. 예를 들어, 상기 툴은 산란측정법(scatterometry), 타원편광분석(ellipsometry), 반사측정법(reflectometry), 편광된 반사측정법, 간섭측정법(inteferometry) 또는 이들의 소정 조합을 사용하여 웨이퍼(30)의 측정들을 수행하도록 구성될 수 있다.
- [0114] 그러한 실시예에서, 만약 상기 툴이 산란측정식 측정들을 수행하도록 구성된다면, 상기 툴은 광원(28)으로부터의 광을 비스듬한 입사각으로 웨이퍼(30)로 지향하도록 구성될 수 있다. 이러한 실시예에서, 빔 스플리터(32) 및 편광 컴포넌트(34)는 상기 툴에 포함되지 않을 수 있거나, 이러한 측정들 동안에 상기 툴의 조명 경로로부터 이동될 수 있다. 부가하여, 이러한 실시예에서, 편광 컴포넌트(46)는 상기 툴에 포함되지 않을 수 있거나, 이러한 측정들 동안에 상기 툴의 집광 경로로부터 이동될 수 있다. 웨이퍼로부터 산란된 광은 검출기(48)에 의해 검출된다. 특히, 웨이퍼의 피쳐들에 의해 하나 또는 둘 이상의 회절 차수들로 산란된 광은 검출기(48)에 의해 검출될 수 있다. 이러한 방식으로, 검출기(48)에 의해 생성된 출력은 웨이퍼의 산란측정식 측정들을 포함한다. 상기 툴은 단파장에서, 하나보다 많은 수의 파장에서, 또는 파장들의 스펙트럼에 걸쳐(즉, 분광 산란측정법(spectroscopic scatterometry)) 산란측정식 측정들을 수행하도록 구성될 수 있다.
- [0115] 그러한 또 다른 실시예에서, 만약 상기 툴이 타원편광분석 측정들을 수행하도록 구성된다면, 상기 툴은 광원(28)으로부터의 광을 편광 컴포넌트(34)를 통해 웨이퍼(30)로 비스듬한 입사각으로 지향하도록 구성될 수 있다. 따라서, 편광 컴포넌트(34)는 이러한 실시예에서 편광기로서 기능하도록 구성될 수 있다. 이러한 실시예에서, 빔 스플리터(32)는 상기 툴에 포함되지 않을 수 있거나 이러한 측정들 동안에 조명 경로로부터 이동될 수 있다. 웨이퍼로부터 반사된 광은 편광 컴포넌트(46)를 통과하며 검출기(48)에 의해 검출된다. 따라서, 편광 컴포넌트(46)는 이러한 실시예에서 분석기로서 기능하도록 구성될 수 있고, 검출기(48)에 의해 생성된 출력은 타원편광분석 측정들을 포함한다. 상기 툴은 편광 컴포넌트(34) 또는 편광 컴포넌트(46)가 이러한 측정들 동안 회전하도록 구성될 수 있다. 따라서, 상기 툴은 회전 편광기 타원계(ellipsometer) 또는 회전 분석기 타원계로서 구성될 수 있다. 부가하여, 상기 툴은 단파장에서, 하나보다 많은 수의 파장에서, 또는 파장들의 스펙트럼에 걸쳐(즉, 분광 타원편광분석) 타원편광분석 측정들을 수행하도록 구성될 수 있다.
- [0116] 추가의 실시예에서, 만약 상기 툴이 반사측정식 측정들을 수행하도록 구성된다면, 상기 툴은 광원(28)으로부터의 광을 빔 스플리터(32)로 지향하도록 구성될 수 있다. 빔 스플리터(32)에 의해 반사된 광은 반사성 광학 컴포넌트(36)로 지향된다. 반사성 광학 컴포넌트(36)는 광을 빔 스플리터(40)로 지향한다. 이러한 실시예에서, 편광 컴포넌트(38)는 상기 툴에 포함되지 않을 수 있거나, 반사측정식 측정들 동안 조명 경로로부터 이동될 수 있다. 빔 스플리터(40)에 의해 반사된 광은 실질적으로 수직인 입사각으로 웨이퍼(30)로 지향된다. 이러한 실시예에서, 빔 스플리터(40)는 조명의 일 부분을 반사성 광학 컴포넌트(42)로 전달하도록 구성되지 않을 수 있거나, 반사성 광학 컴포넌트(42)는 상기 툴에 포함되지 않을 수 있다. 웨이퍼(30)에 의해 거울 반사된 수직 입사 조명은 빔 스플리터(40)를 통과하여 검출기(44)에 의해 검출된다. 이러한 방식으로, 검출기(44)에 의해 생성된 출력은 웨이퍼의 반사측정식 측정들을 포함한다. 상기 툴은 단파장에서, 하나보다 많은 수의 파장에서, 또는 파장들의 스펙트럼에 걸쳐(즉, 분광 반사측정법) 반사측정식 측정들을 수행하도록 구성될 수 있다.
- [0117] 또 다른 실시예에서, 만약 사이 툴이 편광된 반사측정법을 수행하도록 구성된다면, 상기 툴은 반사측정식 측정들에 대하여 전술한 바와 같이 구성될 수 있다. 그러나, 편광된 반사측정식 측정들에 대하여, 편광 컴포넌트(38)는 도 5에 도시된 바와 같이 조명 경로에 배치될 수 있다. 이러한 실시예에서, 편광 컴포넌트(38)는 광이 선택된 편광으로 또는 여러 다양한 편광들로 웨이퍼(30)로 지향될 수 있도록 구성될 수 있다. 이러한 방식으로, 검출기(44)에 의해 생성된 출력은 웨이퍼의 편광된 반사측정식 측정들을 포함한다. 상기 툴은 단파장에서, 하나보다 많은 수의 파장에서, 또는 파장들의 스펙트럼에 걸쳐(즉, 분광 편광된 반사측정법) 편광된 반사측정식 측정들을 수행하도록 구성될 수 있다.
- [0118] 소정의 실시예들에서, 만약 상기 툴이 웨이퍼의 간섭측정식 측정들을 수행하도록 구성된다면, 상기 툴은 광원(28)으로부터의 광을 빔 스플리터(32)로 지향하도록 구성될 수 있다. 빔 스플리터(32)에 의해 반사된 광은 반



사성 광학 컴포넌트(36)로 지향된다. 반사성 광학 컴포넌트(36)는 광을 빔 스플리터(40)로 지향한다. 이러한 실시예에서, 편광 컴포넌트(38)는 상기 튜에 포함되지 않을 수 있거나, 간섭측정식 측정들 동안 조명 경로로부터 이동될 수 있다. 빔 스플리터(40)에 의해 반사된 광은 실질적으로 수직인 입사각으로 웨이퍼(30)로 지향된다. 빔 스플리터(40)에 의해 반사된 광은 반사성 광학 컴포넌트(42)로 지향된다. 웨이퍼에 의해 반사된 광은 빔 스플리터(40)를 통해 전달된다. 부가하여, 반사성 광학 컴포넌트(42)로부터 반사된 광은 빔 스플리터(40)에 의해 반사된다. 따라서, 웨이퍼에 의해 반사된 광 및 광학 컴포넌트(42)에 의해 반사된 광은 간섭할 수 있고, 광의 상기 두 빔들 간의 간섭은 검출기(44)에 의해 검출된다. 이러한 방식으로, 검출기(44)에 의해 생성된 출력은 웨이퍼의 간섭측정식 측정들을 포함할 수 있다. 상기 튜은 단파장에서, 하나보다 많은 수의 파장에서, 또는 파장들의 스펙트럼에 걸쳐 간섭측정식 측정들을 수행하도록 구성될 수 있다.

[0119] 따라서 도 5에 도시된 튜은 도 5에 도시된 튜의 컴포넌트들 중 하나 또는 둘 이상의 위치를 변경함으로써, 산란 측정식, 타원편광분석, 반사측정식, 편광된 반사측정식, 그리고 간섭측정식 측정들을 포함하는 상이한 타입들의 웨이퍼(30) 측정들을 수행하도록 유리하게 구성된다. 그러한 구성은 유리한데, 그 이유는 다수 타입들의 측정들이 웨이퍼의 더 많은 특성들 또는 더 정확한 특성들을 결정하기 위해 조합되어 사용될 수 있기 때문이다. 물론, 상기 튜은 이러한 측정 기술들의 단지 하위세트만을 수행하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 상기 튜은 웨이퍼의 산란측정식 그리고 타원편광분석 측정들을 위하여 구성될 수 있다. 또 다른 예에서, 상기 튜은 웨이퍼의 반사측정식 그리고 간섭측정식 측정들을 위하여 구성될 수 있다. 부가하여, 상기 튜은 웨이퍼(30) 상에서 본 명세서에서 기술된 측정 기술들 중 임의의 2가지 이상을 수행하도록 구성될 수 있다.

[0120] 부가하여, 비록 상기 튜의 일 구성이 도 5에 도시되었지만, 여러 다양한 변화들이 상기 튜에 이루어질 수 있음이 이해되어야 하고, 상기 튜은 여전히 본 명세서에서 기술된 발명의 범위 내에서 구성될 것이다. 예를 들어, 하나 또는 둘 이상의 렌즈들(미도시)이 상기 튜의 조명 경로들 및 집광 경로들에 배치될 수 있다. 부가하여, 광학 컴포넌트들 간의 각도들 및 간격들은 예를 들어, 상기 튜의 성능을 최적화하기 위하여 도 5에 도시된 것과 달라질 수 있다. 도 5에 도시된 단일 광원은 또한 다수 개의 광원들(미도시)(예를 들어, 수직 입사 조명을 위한 광원 및 비스듬한 입사 조명을 위한 광원)에 의해 대체될 수 있다. 다수의 광원들은 동일하거나 상이한 타입들의 광원들일 수 있다. 도 5에 도시된 측정 튜은 본 명세서에서 기술된 임의의 실시예들에 따라 더 구성될 수 있다.

[0121] 반도체 제조 분야의 현재의 최첨단 기술은 패터닝, 증가 및 열적 프로세싱 튜들을 제어하기 위하여 고차 웨이퍼-및 필드-레벨 응력 또는 토포그래피 계측 결과들의 직접 피드백 또는 피드포워드를 이용하지 않는다. 현재, 사용자들은 전체 응력 레벨을 유지하기 위하여 각각의 프로세서 단계에서 웨이퍼들에 도입된 응력이 소정의(프로세스-특정) 미리결정된 제어 한계치 아래로 유지되는 것에 의존한다. 반도체 웨이퍼들 상에 증착된 막들의 응력을 측정하는 것에 관한 여러 다양한 방법들이 당업계에 공지되어 있다. 가장 통상적으로, 상기 측정은 프로세스 단계 이전에 웨이퍼의 형태를 측정하고 그 다음 프로세스 단계 이후에 형태 측정을 반복함으로써 수행된다. 프로세스 단계 동안 증착된(또는 제거된) 막의 응력은 웨이퍼의 형태, 웨이퍼와 막의 두께(둘 중 하나 또는 둘 다 형태 측정 이전에 알고 있거나 형태 측정을 수행하는 동일한 시스템에 의해 측정될 수 있음), 그리고 웨이퍼의 벌크를 구성하는 반도체 재료의 알려진 탄성 계수(elastic modulus)의 변화로부터 결정된다. 만약 응력 및 막 두께가 웨이퍼에 걸쳐 적당히 균일하다면, 그리고 웨이퍼의 형태 변화가 웨이퍼의 두께에 비해 크지 않다면(상기 모든 조건들은 통상적으로 대부분의 반도체 제조 프로세스 단계들에 의해 충족됨), 스톤니 방정식(G.G. Stoney(1909), Proc. Roy. Soc. A82, 172)이 웨이퍼 형태의 변화로부터 도출된 웨이퍼 곡률의 변화로부터 막 응력을 계산하기 위해 사용될 수 있다.

[0122] Blech 등의 미국 특허 제5,134,303호 및 Blech 등의 미국 특허 제5,248,889호는 웨이퍼의 경사도를 측정하여 웨이퍼의 곡률을 측정하기 위하여 웨이퍼의 직경을 따라 레이저 빔들을 스캐닝하기 위한 기술을 개시하고, 상기 미국 특허들은 전체가 본 명세서에 기술된 것처럼 참조에 의해 본 명세서에 편입된다. 상기 측정을 수행하기 위하여 빔이 웨이퍼에 걸쳐 스캐닝되거나 웨이퍼가 빔 아래에서 이동된다. 만약 막의 응력이 균일하다면, 단일 직경의 측정이 보통 충분하다. 만약 막의 응력이 불균일하다면, 다수 직경들의 측정들이 웨이퍼 곡률의 보다 완전한 묘사(picture)를 구성하기 위해 필요할 것이다.

[0123] \*Chason 등의 미국 특허 제5,912,738호는 웨이퍼 상의 다수 위치들에서 경사도의 동시 측정들을 하기 위하여 다수의 레이저 빔들을 이용하고, 그리하여, 빔 및 웨이퍼의 상대적 스캐닝(relative scanning)에 대한 필요성을 감소시키거나 제거함으로써 측정의 속도를 높이는 기술을 기술하고, 상기 미국 특허는 전체가 본 명세서에 기술

된 것처럼 참조에 의해 본 명세서에 편입된다.

- [0124] Rosakis 등의 미국 특허 제6,031,611호는 웨이퍼의 전체 표면에 걸쳐 다수의 지점들에서 동시에 경사도를 측정 (한 방향으로)할 수 있는 기술을 개시하고, 상기 미국 특허는 전체가 본 명세서에 기술된 것처럼 참조에 의해 본 명세서에 편입된다. 또한 바람직하다면 나머지 기울기 성분을 측정하기 위하여 제 2 측정이 90° 회전된 웨이퍼들에서 이루어질 수 있다.
- [0125] 웨이퍼의 기울기를 측정하는 것에 대한 대안으로서, 웨이퍼에 걸친 포지션의 함수로서 웨이퍼의 변위를 측정하는 것이 또한 가능하다. Jude11 등의 미국 특허 제4,750,141호는 그러한 기술을 개시하고, 상기 미국 특허는 전체가 본 명세서에 기술된 것처럼 참조에 의해 본 명세서에 편입된다. 변위 측정은 용량성 센서들로(Jude11 등에 의해 개시된 바와 같이) 또는 광학 또는 다른 수단에 의해 수행될 수 있다. Muller의 미국 특허 제 6,100,977호 및 Freischlad 등의 미국 특허 제6,847,458호는 광학 간섭계들을 사용하여 웨이퍼의 양쪽 측면들의 변위를 본질적으로 동시에 측정할 수 있는 기술들을 개시하고, 상기 미국 특허들은 전체가 본 명세서에 기술된 것처럼 참조에 의해 본 명세서에 편입된다.
- [0126] 응력을 측정하는 다른 방법들이 당업계에 공지되어 있다. 이러한 다른 방법들은 앞서 서술한 웨이퍼 형태 계측의 변화보다 생산 환경에의 사용에 일반적으로 덜 편리한데, 그 이유는 이러한 다른 기술들이 일반적으로 더 느리거나 더 비싼 하드웨어를 요구하기 때문이다.
- [0127] 고-해상도 X-레이 회절은 웨이퍼의 벌크를 구성하는 반도체의 격자의 변형률(strain)을 측정할 수 있다(예를 들어, "High Resolution X-ray Diffractometry and Topography" D.K. Bowen, B.K. Tanner (1998), CRC Press, ISBN 0-8506-6758-5 참조, 상기 문헌은 전체가 본 명세서에 기술된 것처럼 참조에 의해 본 명세서에 편입됨). 통상적인 반도체 재료들의 탄성 속성들이 널리 공지되어 있기 때문에, 변형률의 측정은 응력을 계산하기 위해 사용될 수 있다. 격자 상수들의 측정은 단지 X-레이들의 파장 및 X-레이들의 입사각과 반사각의 지식에만 의존하기 때문에, 실질적으로 정확한 변형률의 측정들이 X-레이 회전에 의해 이루어질 수 있다. 이러한 기술은 측정의 느린 속도와 상기 장치의 복잡성 때문에 하루 당 수십 개 또는 수백 개의 웨이퍼들을 측정하기 위해 사용되는 정형적인 생산 계측 기술로서보다 참조 기술로서 사용에 더 적합하다.
- [0128] 라만 분광법(Raman spectroscopy)은 반도체 격자 변형률을 측정할 수 있는데, 그 이유는 라만 선(Raman line)이 반도체의 응력에 의존하기 때문이다(예를 들어, "Raman Microscopy", G. Turrell 및 J. Corset(Eds.), pp. 27-277, (1996), Academic Press, ISBN 0-12-189690-0 참고, 상기 문헌은 전체가 본 명세서에 기술된 것처럼 참조에 의해 본 명세서에 편입됨). 이러한 기술은 웨이퍼 상에 놓인 막들이 아래 놓은 재료로부터의 라만 선들과 간섭하지 않는 경우에만 작용할 것이다. 라만 분광법을 위한 장치는 형태 측정을 위한 장치에 비해 복잡하고, 감도 및 신호-대-잡음은 불량한데, 그 이유는 반도체들의 라만 선들이 입사하는 레이저 선에 비해 상당히 약하기 때문이다. 이러한 모든 이유로, 라만 분광법은 정형적인 생산 측정들에 대해 적합하지 않다.
- [0129] 오버레이 계측에 대하여, 광범위한 작업이 다수의 상이한 광학 효과, 알고리즘, 및 이러한 목적을 위해 의존되는 마크 구조들을 사용하여 수행되어 왔다. 현재의 최첨단 기술은 예를 들어, 캘리포니아 산호세에 있는 KLA-Tencor로부터 상업적으로 구입가능한 Archer 100 오버레이 계측 툴이고, 이것은 박스 내 어느 한 쪽 박스(either box in box) 및 주기적(AIM) 2층 계측 구조들의 고 해상도 명시야 이미징(high resolution bright field imaging)의 원리 상에서 동작한다. 이러한 시스템에서, 다수의 패터닝 단계들로 순차적으로 생성된 2 이상의 피쳐들의 대칭 중심들 간의 변위는 현미경을 통해 획득된 이미지들의 이미지 프로세싱에 의해 결정되고, 디지털로 저장된다. 이러한 기술에 대한 대안에는 주기적인 오버레이 마크로부터 반사된 광의 강도로부터 정보가 추출되는 산란측정식 오버레이로서 알려진 기술이고, 상기 주기적인 오버레이 마크는 후속적인 패터닝 단계들의 그레이팅들 위해 프린트된 그레이팅들을 포함한다. 이러한 접근법에서, 각각의 셀의 2개의 그레이팅들 사이의 상이한 의도적인 오프셋들을 가진 여러 오버레이 셀들이 근접하게 형성된다. 이러한 오버레이 마크들로부터 산란된 광의 강도들 간의 차이는 오버레이 에러의 무-모델링(model-free) 결정을 허용한다.
- [0130] 소정의 임계치 아래로 전 범위 웨이퍼 응력을 간단히 제어하는 것은 웨이퍼 수축(wafer shrink) 상에 프린트된 최소 수치들에 요구되는 포커스(focus)의 깊이 및 오버레이 제어로서 더 이상 충분하지 않다. 진보된 열적 그리고 증착 프로세스 툴들에 의해 유도된 웨이퍼 토포그래피 및/또는 응력의 점진적인 수정들에 부가하여, 고유의(intrinsic) 웨이퍼 토포그래피 및 응력은 최첨단 패터닝 툴 제어 루프들이 단지 웨이퍼에 걸친 그리고 노출 툴 필드에 걸친 오버레이의 선형 변형들만을 다룬다는 사실로 인하여 오버레이 및 포커스 제어 버짓에 무시할 수 없는 양을 기여한다.

- [0131] 부가하여, 소정의 새로운 재료들 및 새로운 프로세스들은 웨이퍼 내에 매우 불균일한 응력을 생성하는 경향이 있고, 그래서 전 범위 응력 측정들은 응력을 추적하기에 충분하지 않다. 특히, 특정 주입 프로세스 단계들 이후에 반도체 웨이퍼들을 어닐링하기 위하여 사용되는 급속 열적 어닐링(rapid thermal annealing)(때때로 "스파이크 어닐링(spike anneal)"으로도 지칭됨)은 웨이퍼가 웨이퍼 내 주입된 원자들의 확산을 제한하도록 높은 온도들에서 소비하는 시간을 최소화하기 위하여 상당히 급속으로 웨이퍼를 가열 및 냉각하여야 한다. 그러한 가열 및 냉각은 웨이퍼의 상이한 부분들이 상이한 레이트로 가열 및 냉각되기 때문에 웨이퍼가 현저한 응력들을 받음을 의미한다. 그러한 소정의 응력들은 웨이퍼가 냉각된 이후에 "동결된(frozen in)" 상태로 남아있다. 레이저-기반 스파이크 어닐링은 상당히 짧은 시간 내에 상당히 높은 표면 온도들을 달성할 것으로 시도하여 웨이퍼를 급속으로 가열하기 위하여 레이저를 사용한다. 그러나 레이저는 전체 웨이퍼 표면을 동시에 가열하기에 충분히 강력하지 않다. 따라서, 웨이퍼에 걸친 섹션들 또는 스트립들이 한 번에 하나씩 어닐링되어 결국에는 전체 웨이퍼 표면을 커버한다. 단지 웨이퍼의 일 부분만이 임의의 한 번에 고온에 있기 때문에, 상당히 높은 응력들이 생성될 수 있고 소정의 이러한 응력들은 프로세싱 이후에도 남아있다. 웨이퍼의 불균일 응력들은 복잡한 방식으로 웨이퍼의 국부적인 형태를 뒤틀리게 할 것이다. 평면 내 뒤틀림뿐만 아니라, 웨이퍼는 평면 외 부로 구부러질 것이다.
- [0132] 현재의 집적회로 칩의 제조는 다수의 상이한 패턴들이 서로 적층될 것을 요한다. 각각의 새로운 패턴은 칩 상에 이미 존재하는 패턴들과 거의 정확히 맞추어져야(register) 한다. 웨이퍼 상에 패턴을 프린트하는 노출 시스템(스캐너 또는 스테퍼)은 웨이퍼 상에 형성된 기존의 패턴(들)의 위치, 높이 및 기울기를 측정하는 서브시스템들을 포함한다. 이전의 웨이퍼가 노출되고 있는 동안 이러한 측정들이 수행되어야 하기 때문에 이러한 측정들을 하도록 이용가능한 시간은 제한된다. 따라서, 이루어질 수 있는 측정들의 횟수는 제한된다.
- [0133] 응력이 하나의 패턴링 단계와 다음 단계 사이에서 변화한다면, X, Y 및 Z 방향으로의 웨이퍼의 형태가 변화할 수 있다. 응력의 변화가 거의 균일하다면, 형태 변화들은 일반적으로 형태의 선형 변형들로서 충분히 정확히 표현될 수 있다. 그러한 경우에, 노출 시스템에 의해 이루어진 측정들은 종종 변형들을 교정하기에 충분히 정확하다. 그러나 응력의 변화들이 불균일하다면, 형태 변화들은 복잡하고, 선형 모델들은 충분히 정확하지 않을 수 있다. 노출 시스템은 거의 정확히 가공된 평평한 척(chuck) 상으로 웨이퍼를 밀거나 "석킹(suck)"하기 위해 진공을 사용함으로써 웨이퍼를 가능한 평평하게 만들려고 시도한다. 전형적으로, 접촉 영역을 최소화하기 위하여, 작은 웨이퍼를 지지하는데 비교적 많은 수의 핀들을 사용한다. 진공 때문에, 대기압 플러스 중력이 웨이퍼가 핀들 상으로 하강하게 강제하고 또한 핀들 사이에서 웨이퍼의 소정 휘어짐(sag)을 야기한다(핀들은 휘어짐을 최소화하기 위하여 설계에 의해 가까이 이격됨). 웨이퍼의 응력들, 웨이퍼 상의 대기압과 중력, 및 웨이퍼가 핀들과 접촉하는 곳에서의 웨이퍼 상의 핀들의 힘들은 모두 웨이퍼의 형태를 결정하도록 상호작용한다.
- [0134] Zhang 등에 의한 "Across Wafer Focus Mapping and Its Application in Advanced Technology Nodes", SPIE의 Proc., Vol. 6154, pp. 61540N-1 - 61540N-10은 전체가 본 명세서에 기술된 것처럼 참조에 의해 본 명세서에 편입되고, 상기 문헌은 50 nm의 웨이퍼 디포커스(defocus)는 대략 10 nm의 오버레이 시프트들을 야기하는 예들을 보여준다. 32 nm 노드에서, 임계적인 층들 상의 오버레이 정확성을 위한 전체 버짓은 대략 5.7 nm 3 $\sigma$  (2005 ITRS 로드맵)인 것으로 예상된다. 이러한 양의 일 부분(아마도 약 50%)은 디포커스에 의해 야기된 오버레이에 할당될 수 있다. 이러한 수들에 기초하여, 약 15 nm 이하의 디포커스가 32 nm 노드에서 용인될 수 있다. 포커스 및/또는 오버레이의 동적 조정없이, 웨이퍼는 요구되는 제한들 내에서 오버레이 정합(overlay registration)을 유지하기 위하여 다이의 영역 내에서 약  $\pm 15$  nm로 평평할 것이 요구될 것이다. 노출 시스템들은 프린팅 이전에 각각의 개별적인 다이의 레벨링을 조정하나, 레벨링은 단지 X 및 Y 방향으로 평균적인 경사들(즉, 기울어진 평면)을 교정하고 다이보다 더 짧은 스케일 길이들 상에서의 수직 변형들은 교정하지 않는다.
- [0135] 응력의 불균일한 변화들로 인한 척 상의 X, Y, 그리고 가능하게는 Z 방향의 웨이퍼의 형태에 대한 복잡한 변형들은 노출 시스템에 의해 적절히 규명되지 않고, 그리하여 웨이퍼의 영역들 내 칩들 상에서 하나의 패턴과 초기 패턴들과의 비교적 불량한 정렬로 인하여 수율이 상대적으로 낮은 웨이퍼의 영역들을 야기한다.
- [0136] 본 명세서에서 기술된 실시예들은 일반적으로 제어 루프를 제공하고, 상기 제어 루프에서 웨이퍼에 걸쳐 비교적 높은 공간 밀도로 획득된, 응력 및/또는 형태 및/또는 오버레이 계측 데이터가 여러 다양한 모델링 방법들에 의한 교정들을 결정하기 위해 사용되고, 후속적으로 패턴링 프로세스로의 고차 오버레이 및 포커스 교정들을 구현하기 위해 사용된다. 이러한 방식으로, 패턴링 프로세스는 패턴링 이전의 프로세스 단계들에서 웨이퍼들에 유도된 변형들을 보상하는 단계들을 포함할 수 있다. 본 명세서에서 기술된 실시예들은 오버레이 및 포커스를 교정하기 위한 현재 사용되는 방법들 및 시스템들과 상이한데, 그 이유는 현재 사용되는 노출 시스템들에는, 패턴링 단계를 준비하여 웨이퍼 상에서 계측을 수행하기 위해 이용가능한 시간에 대한 비교적 가혹한 제약들이 존재하

기 때문이다. 이러한 시간 제약들로 인하여, 인-시츄 계측 프로세스들은 현재 후속적인 패터닝 단계 동안 고차 포커스 및 오버레이 보상을 가능하게 하기 위하여 응력 및 변형 계측을 위한 비교적 고밀도 샘플링을 포함하지 않는다.

[0137] 또 다른 실시예는 웨이퍼를 패터닝하기 위한 방법에 관한 것이다. 상기 방법은 웨이퍼 변형을 보상하는 교정들로 패터닝 프로세스를 수정하기 위하여 사용될 수 있다. 패터닝 프로세스는 임의의 프로세스를 포함할 수 있고, 웨이퍼 제조 프로세스 동안 웨이퍼를 패터닝하는 단계를 포함한다. 상기 웨이퍼는 패터닝되기 이전에 변형되었다. 본 명세서에서 더 기술되는 바와 같이, 웨이퍼 패터닝 방법은 웨이퍼의 변형을 보상하고 반도체 장치 제조 프로세스의 다이 수율을 향상시키기 위하여, 패터닝, 증착 및 열적 프로세싱 툴들과 같은 프로세스 툴들에 의해 수행된 제조 프로세스의 하나 또는 둘 이상의 파라미터들을 수정하도록 일반적으로 피드포워드 및/또는 피드백 제어 루프들로 응력, 토포그래피(형태), 및 오버레이 계측의 여러 결과들을 이용하는 것에 관한 것이다.

[0138] 상기 방법은 웨이퍼 상에서 측정들을 수행하는 단계를 포함한다. 일 실시예에서, 측정들을 수행하는 단계는 웨이퍼에 대해 모든 측정 스팟들에서 측정들을 수행하는 단계를 포함한다. 이러한 방식으로, 측정들은 상당히 높은 샘플링 밀도로 수행될 수 있다. 측정들은 본 명세서에 개시된 동적 샘플링 방법들을 사용하여 수행될 수 있다. 이러한 방식으로, 측정들의 결과들(예를 들어, 계측 데이터)은 본 명세서에서 기술된 동적 샘플링 방법들을 사용하여 획득될 수 있다. 그러나, 패터닝 방법이 본 명세서에서 개시된 동적 샘플링 방법을 통합할 수 있는 반면, 패터닝 방법 및 동적 샘플링 방법 각각이 독립적으로 구현될 수도 있다.

[0139] 소정의 실시예들에서, 측정들의 결과들은 응력 계측 데이터를 포함한다. 또 다른 실시예에서, 측정들의 결과들은 형태 계측 데이터를 포함한다. 부가적인 실시예에서, 측정들의 결과들은 오버레이 계측 데이터를 포함한다. 응력, 형태 또는 오버레이 계측 데이터는 웨이퍼에 걸쳐 비교적 높은 공간 밀도로 획득될 수 있다(예를 들어, 웨이퍼 상의 필드들의 모든 또는 상당한 부분 및/또는 웨이퍼 상의 타겟들의 모든 또는 상당한 부분). 부가하여, 측정들의 결과들은 응력, 형태 또는 오버레이 계측 데이터 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다. 그러한 측정들은 본 명세서에서 기술된 측정 툴(예를 들어, 도 5에 도시된 측정 툴)을 사용하여 수행될 수 있다.

[0140] 상기 방법은 또한 측정들의 결과들에 기초하여 웨이퍼의 변형을 모델링하는 단계를 포함한다. 당업계에 공지된 여러 다양한 모델링 방법들이 측정들의 결과들(예를 들어, 계측 데이터)을 분석하기 위해 사용될 수 있다. 일 실시예에서, 변형을 모델링하는 단계는 웨이퍼가 패터닝 툴의 스테이지(또는 척) 상에 배치될 때 웨이퍼가 가질 변형을 추정하는 단계를 포함한다. 또 다른 실시예에서, 변형을 모델링하는 단계는 웨이퍼 상의 설계 패턴의 패터닝 상의 변형의 효과들을 시뮬레이션하는 단계를 포함한다.

[0141] 부가하여, 상기 방법은 웨이퍼의 변형에 기초하여 패터닝 툴의 하나 또는 둘 이상의 파라미터들을 변경하는 단계를 포함한다. 예를 들어, 하나 또는 둘 이상의 파라미터들을 변경하는 단계는 웨이퍼의 변형을 보상하기 위해 파라미터들에 대한 교정들을 생성하는 단계 및 상기 파라미터들을 상기 교정들로 수정하는 단계를 포함한다. 부가하여, 패터닝 툴의 하나 또는 둘 이상의 파라미터들을 변경하는 단계는 피드포워드 제어 루프를 사용하여 수행될 수 있고, 상기 피드포워드 제어 루프에서, 웨이퍼에 걸쳐 비교적 높은 공간 밀도로 획득된 응력, 형태 또는 오버레이 계측 데이터와 같은 측정들의 결과들이 패터닝 프로세스를 수정하기 위해 사용된다. 패터닝 프로세스의 하나 또는 둘 이상의 파라미터들을 변경하는 단계는 웨이퍼의 변형을 보상하기 위해 고차 오버레이 교정들을 결정하는 단계를 포함할 수 있다. 예를 들어, 고차 오버레이 교정들은 웨이퍼의 변형에도 불구하고 패터닝 프로세스 동안 웨이퍼 상에 프린트된 설계 패턴이 웨이퍼 상에 프린트된 다른 패턴들(예를 들어, 웨이퍼의 또 다른 층 또는 다른 층들 상에 프린트된 패턴들)에 대하여 정확한(또는 거의 정확한) 위치들로 프린트되도록 결정될 수 있다. 이러한 방식으로, 패터닝 프로세스의 하나 또는 둘 이상의 파라미터들을 변경하는 단계는 웨이퍼의 변형에 의해 야기될 수 있는 오버레이 오정합(misregistration)(즉, 웨이퍼 상의 설계 패턴의 하나의 층의 웨이퍼 상의 설계 패턴의 또 다른 층에 대한 오정합)을 감소시킬 수 있다. 패터닝 툴의 하나 또는 둘 이상의 파라미터들은 패터닝 툴에 의해 수행되는 패터닝 프로세스 이전에 임의의 적합한 방식으로 변경될 수 있다(즉, 웨이퍼의 패터닝을 수행하기 위해 패터닝 툴에 의해 사용될 레시피 또는 명령들의 세트의 하나 또는 둘 이상의 파라미터들을 변경함으로써).

[0142] 패터닝 툴의 하나 또는 둘 이상의 파라미터들을 변경한 이후에, 상기 방법은 제 1 패터닝된 웨이퍼를 생성하기 위하여 패터닝 툴을 이용하여 웨이퍼를 패터닝하는 단계를 더 포함한다. 이러한 방식으로, 파라미터들에 대한 교정들이 이루어진 이후에, 교정된 파라미터들이 패터닝 프로세스 동안 구현될 수 있다. 웨이퍼를 패터닝하는 단계는 제 1 패터닝된 웨이퍼를 생성하기 위하여 웨이퍼 상에 설계 패턴을 패터닝하는 단계를 포함할 수 있다.



- [0143] 일 실시예에서, 상기 방법은 제 1 패터닝된 웨이퍼 상에서 부가적인 측정들을 수행하는 단계를 포함한다. 그러한 실시예에서, 상기 방법은 또한 부가적인 측정들의 결과들에 기초하여 패터닝 툴의 하나 또는 둘 이상의 파라미터들을 변경하는 단계를 포함한다. 그러한 실시예에서, 부가적인 측정들의 결과들에 기초하여 패터닝 툴의 하나 또는 둘 이상의 파라미터들을 변경한 이후에, 상기 방법은 제 2 패터닝된 웨이퍼를 생성하기 위하여 패터닝 툴을 사용하여 제 2 웨이퍼를 패터닝하는 단계를 포함한다. 이러한 방식으로, 제 1 패터닝된 웨이퍼가 생산된 이후에, 상기 방법은 제 1 패터닝된 웨이퍼 상에서 부가적인 측정들을 수행하는 단계, 제 1 패터닝된 웨이퍼 상의 부가적인 측정들의 결과들에 기초하여 상기 파라미터들에 대한 새로운 교정들을 생성하는 단계, 상기 파라미터들을 새로운 교정들로 수정하는 단계, 및 제 2 패터닝된 웨이퍼를 생성하기 위하여 제 2 웨이퍼 상에 설계 패턴을 패터닝하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0144] 일 실시예에서, 부가적인 측정들의 결과들은 오버레이 계측 데이터를 포함한다. 또 다른 실시예에서, 부가적인 측정들의 결과들은 포커스 계측 데이터를 포함한다. 포커스 계측 데이터는 필드 당 다수 위치들의 포커스 데이터(필드 당 얼마나 많은 포커스 지점들이 노출 시스템의 구성에 의존하는지에 관한) 및 웨이퍼 상의 모든 필드들에 대한 다수 위치들의 포커스 데이터와 같은 노출 시스템(예를 들어, 스캐너) 데이터를 포함할 수 있다. 부가적인 실시예에서, 부가적인 측정들의 결과들은 도즈량 계측 데이터를 포함한다. 부가하여, 부가적인 측정들의 결과들은 오버레이 계측 데이터, 도즈량 계측 데이터, 포커스 계측 데이터 또는 이들의 소정 조합을 포함할 수 있다. 부가적인 측정들은 본 명세서에서 기술된 임의의 실시예들에 따라, 그리고 본 명세서에서 기술된 시스템 실시예들 중 임의의 것을 사용하여 수행될 수 있다.
- [0145] 일 실시예에서, 제 1 및 제 2 패터닝된 웨이퍼들은 동일한 로트 내에 있다. 상이한 실시예에서, 제 1 및 제 2 패터닝된 웨이퍼들은 상이한 로트들에 있다. 이러한 방식으로, 제 1 및 제 2 패터닝된 웨이퍼들은 하나의 로트 또는 상이한 로트들에 있을 수 있다. 부가하여, 제 1 패터닝된 웨이퍼의 측정들의 결과들은 피드백 루프와 같은 제어 루프에 입력될 수 있다. 예를 들어, 피드백 루프는 다음의 웨이퍼 또는 로트를 위하여 제조 프로세스의 파라미터들을 수정하기 위하여 웨이퍼를 다시 패터닝한 이후에 획득된 계측 데이터를 공급하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0146] 전술한 상기 방법의 실시예들 각각의 단계들의 각각은 본 명세서에서 더 기술되는 바와 같이 수행될 수 있다.
- [0147] 상기 패터닝 방법 및 웨이퍼를 패터닝하도록 동작가능한 시스템의 전형적인 실시예들이 도 6에 도시된다. 상기 시스템은 웨이퍼 상에서 측정들을 수행하도록 동작가능한 측정 툴을 포함한다. 예를 들어, 상기 시스템은 도 6에 도시된 계측 시스템(68)을 포함할 수 있다. 상기 방법은 웨이퍼들을 웨이퍼들 내의 응력 또는 변형을 유도할 수 있는 프로세싱 툴로부터 계측 시스템으로 전달하는 단계를 포함할 수 있다. 예를 들어, 도 6에 도시된 바와 같이, 웨이퍼들은 금속 열적 프로세싱 툴(66)로부터 계측 툴(68)로 전달될 수 있다. 금속 열적 프로세싱 툴(66)은 당업계에 공지된 임의의 적합한 프로세싱 툴을 포함할 수 있다. 계측 시스템(68)은 웨이퍼들 상에서 응력 측정들, 형태 측정들, 토포그래피 측정들 또는 이들의 소정 결합을 수행하도록 동작가능하고 당업계에 공지된 임의의 적합한 계측 시스템을 포함할 수 있다. 계측 시스템은 본 명세서에서 기술된 바와 같이 더 구성될 수 있고, 계측 시스템(68)에 의해 수행된 측정들은 본 명세서에서 기술된 측정들 중 임의의 것을 포함할 수 있다. 상기 방법은 본 명세서에서 더 기술되는 바와 같이 계측 결과들은 포워드 제어 루프로 공급하는 단계를 더 포함한다.
- [0148] 상기 시스템은 또한 측정들의 결과들에 기초하여 웨이퍼의 변형을 모델링하고 웨이퍼의 변형에 기초하여 패터닝 프로세스의 하나 또는 둘 이상의 파라미터들을 변경시키도록 동작가능한 하나 또는 둘 이상의 프로세서들을 포함한다. 상기 하나 또는 둘 이상의 프로세서들은 도 6에 도시된 모델링 모듈(70) 및 고차 교정 생성 엔진(high-order correction generation engine)(78)을 포함할 수 있다. 측정 툴에 의해 생성된 계측 데이터는 모델링 모듈(70)에 대한 입력으로서 사용된다. 모델링 모듈(70)은 웨이퍼가 패터닝 툴의 스테이지 상에 배치될 때 웨이퍼가 가질, 예측된 형태 변형(3차원으로)을 결정하기 위하여 유한 엘리먼트 처킹 변형 분석(finite element chucking deformation analysis)(72)을 수행할 수 있다. 모델링 모듈(70)은 또한 관통 포커스 패턴 배치 예측(through focus pattern placement prediction)(74)을 수행할 수 있고, 상기 관통 포커스 패턴 배치 예측(74)은 다음의 패터닝 단계 동안 웨이퍼 상에서 생성되는 패턴의 배치에 대한 웨이퍼 변형의 영향의 시뮬레이션 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 상기 시뮬레이션은 리소그래피 시스템 필드 종속 난-텔레센트릭 이미징(lithography system field dependent non-telecentric imaging)과 같은 패터닝 프로세스의 알려진 특성들(즉, 웨이퍼 상에서 필드의 함수로서 리소그래피 시스템의 난-텔레센트릭 이미징에 대한 정보)에 기초한다.
- [0149] 입력들로서 모델링 모듈(70)로부터의 모델링 데이터 및 관련 콘텍스트 데이터(76)를 사용하여, 교정 생성 엔진

(예를 들어, 고차 교정 생성 엔진(78))은 고차 웨이퍼- 및 필드-레벨 교정들을 계산하여 출력한다. 관련 콘텍스트 데이터(76)의 예들은 실시간으로 획득될 수 있는, 로트, 웨이퍼, 층, 톨 및 챔버에 대한 ID들을 포함한다. 교정 생성 엔진에 대한 입력들은 또한 오버레이, 도즈량 또는 포커스 데이터, 이전의 로트들로부터의 피드백 또는 이들의 소정 조합을 포함할 수 있다.

[0150]

상기 시스템은 또한 패터닝 프로세스의 하나 또는 둘 이상의 파라미터들이 제 1 패터닝된 웨이퍼를 생성하기 위해 변경된 이후에 패터닝 프로세스를 사용하여 웨이퍼를 패터닝하도록 동작가능한 패터닝 톨(80)을 포함한다. 예를 들어, 웨이퍼는 임의의 적합한 방식으로 계측 시스템(68)으로부터 패터닝 톨(80)로 전달될 수 있다. 웨이퍼는 그 다음 고차 웨이퍼- 및 필드-레벨 교정들이 패터닝 톨의 오버레이 및 포커스 패터닝 시스템 제어들(미도시) 양자 모두에 이루어진 이후에 패터닝 톨(80)에 의해 패터닝된다. 패터닝 단계 이후에, 웨이퍼는 패터닝 톨(80)로부터 계측 시스템(82)으로 전달될 수 있다. 계측 시스템(82)은 웨이퍼 상에 오버레이 계측, 포커스 계측, 도즈량 계측, 또는 이들의 소정 조합을 수행할 수 있고, 이것은 다음 웨이퍼 또는 로트를 위한 패터닝 프로세스의 피드백 제어를 위해 사용될 수 있다. 오버레이, 도즈량 및 포커스 계측의 결과들은 모델링 모듈(84)로 제공될 수 있고, 모델링 모듈(84)은 웨이퍼-레벨 오버레이 분석(86) 및 필드-레벨 오버레이 분석(88)을 수행하도록 구성된다. 이러한 분석들의 결과들은 교정 생성 엔진이 다음 웨이퍼를 위한 교정들을 생성하기 위해 상기 결과들을 사용할 수 있도록 교정 생성 엔진에 제공된다.

[0151]

본 명세서에 기술된 실시예들은 현재의 실무보다 더 세부적으로(공간 해상도) 임계적인 프로세스 단계들에서 웨이퍼 응력 및/또는 토포그래피를 측정하기 위해 사용될 수 있다. 그러한 더 세부적인 측정들은 그러한 응력들 또는 형태 변화들이 노출 시스템으로 고차 교정가능자(correctible)들을 공급하기 위하여 노출 시스템 웨이퍼 척과 어떻게 상호작용하는지에 관한 모델들과 결합되어, 노출 시스템은 웨이퍼 상의 프린트된 패턴과 이전 패턴들 간의 더 양호한 정합을 생성하기 위하여 스캐닝 동안 실시간 조정들을 할 수 있다. 그러한 어떤 모델 또는 피드포워드 방식도 현재의 산업에서 사용되지 않는다.

[0152]

웨이퍼 응력 또는 웨이퍼 형태를 측정하기 위해 현재 사용되는 임의의 기술들은 그러한 기술들이 충분히 높은 공간 해상도를 제공하도록 적응되는 한 본 명세서에서 기술된 실시예들에 사용될 수 있다(예를 들어, 측정들이 패터닝 프로세스를 적절히 교정하기 위해 사용될 수 있고, 그 결과 설계 패턴이 전체 웨이퍼에 걸쳐 정확한 또는 거의 정확한 위치들에 프린트될 수 있도록). 소정의 실시예들에서, 상기 방법은 웨이퍼에 대해 모든 측정 스팟들에서 측정들을 수행하는 단계를 포함한다. 그러나, 상기 방법은 웨이퍼에 대해 모든 측정 스팟들에서 측정들을 수행하는 단계를 포함하지 않을 수도 있다. 예를 들어, 측정 스팟들의 단지 약 80%만을 측정하는 것은 설계 패턴이 웨이퍼 상의 거의 정확한 위치들에 프린트될 수 있도록 프로세서의 하나 또는 둘 이상의 파라미터들을 변경하기 위한 충분한 데이터를 생성할 수 있다. 변형을 모델링하고 변형에 기초하여 패터닝 톨의 하나 또는 둘 이상의 파라미터들을 변경하기에 충분한 데이터를 제공하기 위하여 측정들이 수행될 수 있는 해상도들은 동일한 프로세스 및 동일한 타입의 프로세스 톨에서 프로세싱되는 다른 웨이퍼들의 변형에 대한 정보에 기초하여 결정될 수 있다(예를 들어, 유사하게 프로세싱된 웨이퍼들에 걸친 변형의 변환에 대한 하나 또는 둘 이상의 특성들을 조사함으로써). 오버레이 에러를 측정하기 위한 당업계에 공지된 임의의 기술이 본 명세서에서 기술된 실시예들에 사용될 수 있다. CD 측정들은 포커스 계측 데이터를 제공하기 위하여 포커스가 얼마나 변화하였는지를 측정하기 위하여 오버레이 측정들과 함께 사용될 수 있다.

[0153]

상기 교정(들)은 웨이퍼 응력 및/또는 형태가 척과 어떻게 상호작용하는지에 기초하여 이론적인 모델을 사용하여 생성될 수 있다. 상기 모델은 또한 오버레이, 응력, 형태 또는 이들의 임의의 조합의 측정들 간의 실험적인 상관관계들에 기초할 수 있다. 상기 모델은 특정 노출 시스템에 대해 한 번 형성될 수 있거나, 상기 방법은 포스트-패터닝 오버레이 측정 결과들이 축적됨에 따라 상기 모델을 끊임없이 그리고 자동으로 업데이트할 수 있다. 예를 들어, 일단 상기 방법이 특정 노출 시스템에 대해 형성되었으면, 그것은 어떠한 조정도 요구하지 않거나 포스트-패터닝 오버레이 측정 결과들이 획득됨에 따라 끊임없이 그리고 자동으로 업데이트될 수 있다. 별개의 모델들이 각각의 노출 시스템(왜냐하면 각각의 노출 시스템이 자신 고유의 광학 수차(optics aberration)들을 갖기 때문에) 및/또는 조명 모드(왜냐하면 각각의 조명 모드가 난-텔레센트리시티의 고유한 시그니처(signature)를 생성하기 위하여 광학 수차들과 상호작용하기 때문에)를 위해 사용될 수 있다.

[0154]

본 명세서에 기술된 실시예들은 임계적인 프로세싱 단계 이후의 응력 및/또는 형태에 대하여, 그리고 패터닝 이후의 오버레이 에러들에 대하여 모든 웨이퍼들을 측정하는 단계를 수반할 수 있다. 대안적으로, 상기 방법은 하나 또는 양자 모두의 계측 단계들에 대하여 상기 웨이퍼들 중 단지 서브세트들만을 측정하는 단계를 수반할 수 있다. 만약 단일 프로세스 톨(또는 특정 톨 상의 단일 프로세스 챔버)이 웨이퍼 변형의 반복가능한 시그니처를 갖는다면, 하나 또는 양자 모두의 계측 단계들에 대하여 상기 톨(또는 챔버)로부터 로트 당 하나의 웨이퍼

또는 여러 로트들 당 하나의 웨이퍼를 측정하는 것이 충분할 수 있다.

- [0155] 교정 방법의 또 다른 실시예가 도 7에 도시된다. 이러한 방법은 이전의 리소그래피 프로세스(90)를 포함하고, 이전의 리소그래피 프로세스(90)는 당업계에 공지된 임의의 적합한 리소그래피 프로세스를 포함할 수 있다. 상기 방법은 이전의 리소그래피 프로세스가 그 위에 수행된 웨이퍼들을 측정 시스템(도 7에는 미도시)으로 전달하는 단계를 포함할 수 있다. 상기 방법은 또한 본 명세서에서 기술된 바와 같이 웨이퍼들 상에서 수행될 수 있는 응력 및/또는 토포그래피 계측(92)을 포함한다. 응력 및/또는 토포그래피 계측의 결과들은 정보 수집 모듈(94)로 피드포워드될 수 있고, 상기 정보 수집 모듈(94)은 당업계에 공지된 임의의 적합한 하드웨어 및/또는 소프트웨어를 포함할 수 있다.
- [0156] 수집된 정보는 피드포워드 루프를 통해 교정 생성(96)으로 제공될 수 있고, 상기 교정 생성(96)은 본 명세서에서 기술된 바와 같이 수행될 수 있다. 교정 생성은 스캐너 교정가능자들을 생성하는 단계를 포함할 수 있다(예를 들어, 패터닝 툴 또는 스캐너의 하나 또는 둘 이상의 파라미터들이 어떻게 변경되어야 하는지에 관하여). 교정 생성(96)으로의 입력(98)은 콘텍스트 키를 포함할 수 있고, 상기 콘텍스트 키는 로트 ID, 웨이퍼 ID, 층 ID, 툴 ID, 기준 툴 ID, 챔버 ID, 십자선(reticle) ID, 프리-툴(pre-tool) ID 등을 포함할 수 있다. 교정 생성(96)에 의해 생성된 교정들은 피드포워드 및/또는 피드백 루프에 의해 노출 시스템(100)으로 제공될 수 있다. 웨이퍼들은 응력 및/또는 토포그래피 계측을 수행한 측정 시스템으로부터 노출 시스템(100)으로 전달될 수 있다. 노출 시스템(100)은 웨이퍼들 상에서 리소그래피 프로세스를 수행할 수 있다. 오버레이/CD/포커스 계측(102)은 본 명세서에서 더 기술되는 바와 같이 웨이퍼들 상에서 수행될 수 있다. 오버레이/CD/포커스 계측(102)의 결과들은 피드백 루프를 통해 정보 수집 모듈(104)로 제공될 수 있고, 상기 정보 수집 모듈(104)은 당업계에 공지된 임의의 적합한 하드웨어 및/또는 소프트웨어를 포함할 수 있다.
- [0157] 교정 생성은 여러 다양한 방식으로 수행될 수 있다. 예를 들어, 피드포워드 정보는 고차 그리드 교정, 개별적인 필드-레벨 교정(선형 및 고차), 포커스 교정 또는 이들의 소정 조합을 생성하기 위하여 사용될 수 있다. 또 다른 예에서, 피드포워드 정보는 통상적으로 열적 프로세스, 에칭 프로세스, CMP 프로세스 등과 같은 프로세스 관련된, 웨이퍼 형태-관련 오버레이 에러를 포함할 수 있다. 부가적인 예에서, 피드백 정보는 고차 그리드 교정, 필드들의 평균 교정(선형 및 고차), 개별적인 필드-레벨 교정(선형 및 고차) 또는 이들의 소정 조합을 생성하기 위하여 사용될 수 있다. 추가의 예에서, 피드백 정보는 노출 시스템 시그너처(스테이지, 스캐닝, 십자선 스테이지, 렌즈 시그너처, 조명 시그너처), 십자선 시그너처, 노출 시스템 매칭 시그너처, 나머지 프로세스-관련 시그너처, 또는 이들의 소정 조합을 포함할 수 있다. 도 7에 도시된 상기 방법은 본 명세서에서 기술된 임의의 다른 방법(들)의 임의의 다른 단계(들)를 포함할 수 있다.
- [0158] 본 명세서에서 기술된 실시예들은 다수의 이점들을 갖는다. 예를 들어, 리소그래피 노출 시스템들(예를 들어, 스캐너들)은 상당히 비싸다(예를 들어, 193 nm 이머전 스캐너에 대하여 약 3천만 달러). 본 명세서에서 기술된 실시예들은 노출 시스템들의 효율성을 개선하기 위해 사용되기 때문에, 본 명세서에서 기술된 실시예들은 노출 시스템들의 사용자들에게 비교적 높은 가치를 가질 수 있다. 특히, 본 명세서에서 더 기술되는 바와 같이, 고차 교정들은 피드포워드 제어를 위해 사용될 수 있다. 부가하여, 응력/형태 측정이 리소그래피(패터닝) 프로세스 이전에 수행되기 때문에, 본 명세서에서 기술된 실시예들은 고차 교정 및 필드-레벨 교정 양자 모두를 포함할 수 있다. 부가하여, 집중적인(intensive) 계측이 각각의 웨이퍼에 대한 교정들을 생성하기 위해 사용될 수 있고, 이것은 본 명세서에 기술된 실시예들에 의해 적시에 그리고 비용 효율적인 방식으로 제공될 수 있다. 더욱이, 본 명세서에서 기술된 실시예들은 계측 툴들을 이러한 교정들을 생성하고 추적하기 위한 소프트웨어와 보다 효율적으로 연결하도록 사용될 수 있고, 그에 의해, 계측 툴들의 보다 효율적인 사용 및 프로세스들의 보다 효율적인 제어를 가능하게 한다.
- [0159] 본 명세서에 기술된 실시예들은 샘플링 최적화기(optimizer), AL/OL 데이터 분석, AL/OL 데이터에 기초한 플렉서블(flexible) 오버레이 샘플링, 및 다른 프리(pre)-리소그래피 툴에 기초한 플렉서블 오버레이 샘플링을 포함하는 여러 다양한 기능을 가질 수 있으나, 상기 열거된 기능들에 제한되지는 않는다. 예를 들어, 본 명세서에서 기술된 실시예들은 오버레이 이탈들을 검출(또는 호스트로부터 관련 정보를 수신)하기 위해 정렬 데이터 분석 능력을 포함하는 기능을 가질 수 있다. 정렬 데이터는 일반적으로 로 데이터, 모델링된 파라미터들(동시에 모델의 쌍(couple)일 수 있음), 잔여분로서 호칭되는 모델링되지 않은 데이터를 의미한다. 부가하여, 본 명세서에서 기술된 실시예들의 기능은 사용자에게 의해 정의될 수 있는 스크립(scrip)에 의한 동적(플렉서블) 샘플링을 포함할 수 있다. 샘플링 최적화기는 공간 변동 모델링에 기초한 오버레이 샘플 플랜 최적화를 위한 자동화된 방법을 포함할 수 있다.

- [0160] 오버레이 이탈을 검출하는 AL 데이터 분석은 뒤틀림 및/또는 구부러짐과 같은 웨이퍼 변형의 검출을 위한 제 1 입력(AL 잔여분)을 사용할 수 있다. 소스 파일은 예를 들어, awe 파일, EGAM 파일 또는 당업계에 공지된 임의의 다른 적합한 표준 파일을 포함할 수 있다. 수행된 동작은 변형의 시그니처를 검출할 필드들의 개수를 증가시키는 것을 포함할 수 있다. 진보된 애플리케이션은 비교적 높은 잔여 웨이퍼에 대한 적절한 교정(SMM 함수) 및 상이한 모델링의 쌍을 포함한다. 예를 들어, 상이한 모델링 및 적절한 교정은 선형, 와동(vortex)(쌍극자(dipole)), 솜브레로(sombrero)(반경에 의한 팽창), 3차 다항식을 포함할 수 있고: 이것은 정렬 모델을 변화시키라는 트리거일 수 있고, 이것은 생산 모드에서는 실용적이지 않을 수 있지만, 리서치와 개발 또는 고장 검사(troubleshooting) 목적에는 실용적일 수 있다. 그러한 고장 검사 분석은 동적 샘플링에 의해 자동으로 종결될 수 있다. 사용자(예를 들어, 엔지니어)는 단지 결정을 할 수 있다. 그리고 일단 사용자가 특정 시그니처에 대한 소정의 경험을 갖는다면, 관련 프로세스에 대한 직접적인 피드백이 또한 솜브레로 시그니처와 같이 증착 챔버 이슈에 가능하다. 제 2 입력은 웨이퍼 팽창의 범위 및 웨이퍼-대-웨이퍼 변동의 검출에 대한 직교성 및 고차 항들을 포함할 수 있다. 소스 파일은 로트\_리포트 파일, EGAM(OLVE에 대한 EGAM, SIG, SGL 입력), 또는 당업계에 공지된 임의의 적합한 표준 파일을 포함할 수 있다. 동작은 웨이퍼들의 개수를 증가시키는 것을 포함할 수 있다. 진보된 애플리케이션은 정렬 및 오버레이 데이터 양자 모두에 대한 교정가능한 파라미터들의 트렌드를 보여주는 것을 포함할 수 있다. 이것은 척-대-척 변동, 교정가능한 표류(drift), 렌즈 가열 등과 같은 고장 이유 및/또는 유도된 또는 유도되지 않은 정렬과 같은 고장의 근원을 결정하기 위해 수행될 수 있다. AL 데이터 분석은 특정 시스템들(예를 들어, KLA-Tencor로부터 상업적으로 구입가능한 Archer 시스템들)에 대한 로트 ID를 포함할 수 있고, 조합(AL 잔여분 및 범위)이 이용가능하다.
- [0161] 플렉서블 샘플링은 AL 데이터에 의한 OVL 이탈 검출(OVL excursion detection)을 포함할 수 있다. OVL 이탈 검출은 AL 잔여 값이 임계치를 초과하는 웨이퍼들을 검출하기 위하여 OL 잔여 임계치를 사용하는 것을 포함할 수 있고, 이것에 의한 샘플링은 사용자에 의해 미리 정의될 수 있다. OVL 이탈 검출은 또한 또는 대안적으로 교정가능한 값(AVG-임계치의 교정가능한 값)이 임계치를 초과하는 웨이퍼들을 검출하기 위하여 그리고/또는 교정가능한 "n" 시그마가 허용오차를 초과하는 웨이퍼들을 검출하기 위하여 웨이퍼-대-웨이퍼 변동 임계치를 사용할 수 있다.
- [0162] 플렉서블 샘플링은 또한 OL 데이터에 의한 OVL 이탈 검출을 포함할 수 있다. 예를 들어, OL 잔여 임계치는 OL 잔여 값이 임계치를 초과하는 웨이퍼들을 검출하기 위하여 사용될 수 있다. 이것에 의한 샘플링은 샘플링 필드를 증가시키기 위하여 그리고/또는 샘플링 웨이퍼들을 증가시키기 위하여 사용자에 의해 미리 정의될 수 있다. OL 데이터에 의한 OVL 이탈 검출은 또한 또는 대안적으로 교정가능한 값(AVG-임계치의 교정가능한 값)이 임계치를 초과하는 웨이퍼들을 검출하기 위하여 또는 교정가능한 "n" 시그마가 허용오차를 초과하는 웨이퍼들을 검출하기 위하여 웨이퍼-대-웨이퍼 변동 임계치를 사용할 수 있고, 이것은 샘플링 필드를 증가시키는 것 및/또는 샘플링 웨이퍼들을 증가시키는 것을 포함할 수 있다. 부가하여, 모든 검출 함수들은 전환가능(인에이블/디스에이블)하다.
- [0163] 도 8은 본 명세서에서 기술된 하나 또는 둘 이상의 방법들을 수행하도록 동작가능한 동적 샘플링 및 교정 시스템의 일 실시예를 도시한다. 상기 시스템은 노출 시스템(106)을 포함하고, 상기 노출 시스템(106)은 웨이퍼(114)를 광의 패턴에 노출시키도록 동작가능한 당업계에 공지된 임의의 적합한 노출 시스템일 수 있다. 적합한 노출 시스템의 예들은 스테퍼(stepper) 및 스캐너를 포함한다. 노출 시스템(106)은 정렬(AL) 데이터, 로트 ID, 척 ID 및 십자선 ID와 같은 정보를 생성하고, 그러한 정보를 호스트(108)로 전송하도록 동작가능하다. 호스트(108)는 동적 샘플링(DS) 모듈(110)로 AL 데이터, 로트 ID, 척 ID 및 십자선 ID를 제공하도록 동작가능한 하나 또는 둘 이상의 프로세서들(미도시)을 포함할 수 있다. DS 모듈(110)은 호스트(108)로부터 AL 데이터, 로트 ID, 척 ID 및 십자선 ID를 수신하고 수신된 AL 데이터, 로트 ID, 척 ID 및 십자선 ID를 저장하기 위한 하나 또는 둘 이상의 저장 매체(미도시)를 포함할 수 있다. DS 모듈(110)은 또한 샘플링 방식 또는 플랜(즉, 특정 레시피)을 트리거링하고 트리거링된 샘플링 방식을 계측 시스템(112)으로 제공하도록 동작가능한 하나 또는 둘 이상의 프로세서들(미도시)을 포함할 수 있다. 계측 시스템은 KLA-Tencor로부터 상업적으로 구입가능한 Archer 10 시스템과 같은 상업적으로 구입가능한 계측 시스템을 포함할 수 있다. 노출된 웨이퍼(116)는 컨테이너(미도시)에서의 측정들을 위하여 노출 시스템(106)으로부터 계측 시스템(112)으로 전달될 수 있고, 컨테이너는 카세트 또는 포드와 같은 당업계에 공지된 임의의 적합한 컨테이너일 수 있다. 계측 시스템(112)은 DS 모듈(110)에 의해 제공된 샘플링 방식을 사용하여 노출된 웨이퍼(116) 상에서 측정들을 수행하도록 구성된다. 노출된 웨이퍼(116) 상에서 수행된 측정들은 본 명세서에서 기술된 측정들 중 임의의 것을 포함할 수 있다. 예를 들어, 일 실시예에서, 계측 시스템(112)은 응력 및 토포그래피 측정들을 수행할 수 있다. 또 다른 실시예에서, 오버레이



(OL), 도즈량 또는 포커스 측정들이 수행될 수 있다. 예를 들어, 계측 시스템(112)은 하나 또는 둘 이상의 웨이퍼들의 오버레이를 측정하도록 구성될 수 있고 오버레이 측정들을 수행하기 위하여 DS 모듈(110)로부터의 샘플링 플랜을 사용할 수 있다. 계측 시스템(112)은 DS 모듈(110)로 계측 데이터(예를 들어, 오버레이 결과들)를 제공하도록 구성되고, DS 모듈(110)은 본 명세서에서 기술된 방법들에 따라 동일한 로트 또는 다음의 로트 내 다른 웨이퍼들에 대한 샘플링 방식을 조정할 수 있다. 예를 들어, DS 모듈(110)은 선택적으로 사용자 정의에 의존하는 부가적인 샘플링 플랜(특정 레시피)을 생성할 수 있다.

[0164]

\*DS 모듈(110)은 포워드 제어 루프로 고급 프로세스 제어(advanced process control; APC) 시스템(118)으로 계측 데이터를 공급하도록 구성될 수 있다. 이러한 방식으로, DS 모듈(110)은 APC 시스템(118)을 업데이트하도록 구성될 수 있다. APC 시스템(118)은 노출된 웨이퍼(116)의 변형을 보상하기 위해 패터닝 시스템(120)을 제어하도록 동작가능하다. APC 시스템(118)은 당업계에 공지된 임의의 적합한 구성을 가질 수 있다. 일 실시예에서, APC 시스템(118)은 DS 모듈(110)로부터 포워드된 계측 데이터를 사용하여 모델링을 수행하도록 구성된다. 예를 들어, APC 시스템(118)은 전술한 바와 같이 계측 데이터에 기초하여 유한 엘리먼트 처킹 패턴 배치 예측들을 수행하거나, 관통-포커스 패턴 배치 예측들을 하도록 동작가능할 수 있다. 또 다른 실시예에서, APC 시스템(118)은 전술한 바와 같이 교정들을 생성하도록 동작가능하다. 모델링의 결과들에 기초하여, APC 시스템(118)은 고차 웨이퍼 및 필드-레벨 교정들로 패터닝 시스템(120)의 오버레이 및 포커스 패터닝 제어들(미도시)을 업데이트한다. 패터닝 시스템(120)의 제어들은 패터닝 시스템에 대한 교정들을 수행하도록 동작가능하다. 패터닝 시스템(120)의 제어들은 당업계에 공지된 임의의 적합한 제어들일 수 있다. 노출된 웨이퍼(116)는 계측 시스템(112)으로부터 패터닝 시스템(120)으로 전달되고, 패터닝 시스템(120)에서 APC 시스템(118)에 의해 생성된 교정들이 수행되고 노출된 웨이퍼(116)가 패터닝된다. 그 결과, 노출된 웨이퍼(116)는 패터닝된 웨이퍼(122)가 된다.

[0165]

일 실시예에서, APC 시스템(118)은 패터닝된 웨이퍼(122)의 계측 데이터에 기초하여 부분적으로 또는 전체적으로 교정들을 생성하도록 구성된다. 예를 들어, 패터닝 이후에, 패터닝된 웨이퍼(122)는 다시 측정되도록 계측 시스템(112)에 재전달될 수 있다. DS 모듈(110)은 부가적인 샘플링 플랜(예를 들어, 특정 레시피)을 제공하도록 구성될 수 있고, 상기 부가적인 샘플링 플랜은 사용자 정의에 따라 선택적으로 가변될 수 있다. 계측 시스템(112)은 OL, 도즈량 및 패터닝된 웨이퍼(122)의 포커스 데이터를 획득하고, 추가 모델링을 위하여 이러한 데이터를 피드백 루프로 DS 모듈(110) 및 APC 시스템(118)으로 제공하도록 구성될 수 있다. 그리하여 패터닝된 웨이퍼(122)의 계측 데이터의 모델링은 동일한 로트들 또는 다음의 로트들에서의 또 다른 웨이퍼의 패터닝을 위한 교정들을 생성하는데 사용될 수 있다.

[0166]

본 명세서에 개시된 실시예들은 여러 다양한 외부 프로세서 요구사항들을 충족시키도록 변형될 수 있다. 예를 들어, 전술한 정보 흐름은 호스트(108)를 통해 라우팅되는 대신에 노출 시스템(106)으로부터 계측 시스템(112)으로 직접 라우팅될 수 있다. 또 다른 예로서, 소정의 프로세스들에서, 패터닝된 웨이퍼(122)가 동일한 계측 시스템(112) 대신에 제 2 계측 시스템(미도시)에 의해 측정되는 것이 더 바람직하거나 효율적일 수 있다. 또 다른 예에서, 패터닝 시스템(120)은 노출 시스템(106)과 유사한 또 다른 노출 시스템일 수 있다. 이러한 방식으로, 본 명세서에서 기술된 실시예들은 다수의 노출 시스템들(예를 들어, 스캐너들)과 함께 사용될 수 있다.

[0167]

전술한 시스템은 여러 다양한 작업 흐름들에 적응될 수 있다. 일 예시에서, 정렬 데이터(예를 들어, x 방향으로의 정렬 잔여분 및 y 방향으로의 정렬 잔여분)는 웨이퍼들의 하나의 로트 내 특정 웨이퍼(예를 들어, 웨이퍼 #05)가 동적 샘플링 스크립트에서의 웨이퍼-대-웨이퍼 허용오차 세팅을 벗어남을 보여줄 수 있다. 웨이퍼-대-웨이퍼 허용오차는 이하와 같이 정의될 수 있다: 만약 그 범위가 임계치 세팅을 초과하면 소정의 웨이퍼들은 1) 평균 마이너스 허용오차 세팅에 의해 선택되거나 그리고/또는 2)  $\pm 10\%$ 의 분포(소정의 시그마 세팅에 대하여)를 선택할 것이다. 표준 측정들은 상기 로트 내 다수의 웨이퍼들(예를 들어, 웨이퍼들 #02, 03, 21 및 22) 상에서 수행될 수 있다. 예를 들어, 표준 측정들은 표준 샘플링 카테고리, 표준 샘플링 모델 및 표준 분석을 사용하여 수행될 수 있다. 부가적인 측정(표준 샘플링 또는 웨이퍼-대-웨이퍼 샘플링 카테고리) 및 스펙 아웃(spec out)은 웨이퍼 #05 상에서 수행될 수 있다. 만약 오버레이 데이터가 스펙을 벗어나면, 웨이퍼 #05는 재가공될 수 있다. 만약 오버레이 데이터가 스펙들 내에 있다면, 어떠한 동작도 취하지 않을 수 있다. 작업 흐름은 재가공하기 위해 웨이퍼 #05만을 전달하는 단계를 포함할 수 있다. APC 시스템은 웨이퍼 #05에 대한 이상적인 교정을 결정할 수 있고, 웨이퍼 #05는 이상적인 교정으로 노출될 수 있다. 단지 웨이퍼들 #02, 03, 21 및 22만이 APC 피드백을 위해 사용된다. 필요하다면, A.A.는 2개의 결과 파일들을 생성한다. 전술한 작업 흐름의 이점들은

자동 오버레이 문제 검출, 수율 손실의 위험성 회피, 엔지니어 시간 절약, 및 무 APC 충격을 포함한다.

[0168] 또 다른 예에서, 전술한 작업 흐름은 SMM와 함께 사용될 수 있다. 예를 들어, 정렬 데이터(예를 들어, x 방향으로의 정렬 잔여분 및 y 방향으로의 정렬 잔여분)는 웨이퍼 #25가 DS 스크립트의 정렬 잔여분 허용오차 세팅을 벗어남을 보여줄 수 있다. 또는 특정 웨이퍼의 오버레이 데이터가 스펙을 벗어나는 것은 동일한 경우이다. 표준 측정들이 다수의 웨이퍼들(예를 들어, 웨이퍼들 #02, 03, 21, 22) 상에서 수행될 수 있다. 표준 측정들은 표준 샘플링 카테고리, 표준 샘플링 모델 및 표준 분석을 사용하여 수행될 수 있다. 추가적인 측정들(증가된 샘플링)이 AL 잔여분 샘플링 카테고리를 사용하여 웨이퍼 #25 상에서 수행될 수 있다. 예를 들어, 측정들은 웨이퍼 상에서 각각의 필드에 대하여 수행될 수 있다. 웨이퍼 #25는 너무 높은 잔여분을 보여줄 수 있다. 따라서, 웨이퍼는 오버레이 스펙을 만족시키지 못한다. SMM은 웨이퍼 #25의 오버레이 데이터를 시뮬레이팅하고 필드 당 이상적인 그리드-교정에 의해 가능한 개선을 보여줄 수 있다. APC는 오버레이 데이터를 시뮬레이팅하여 잔여 값을 감소시킬 수 있는 새로운 모델을 추천할 수 있다. 이러한 정보는 상이한 정렬 모델을 사용하라는 트리거일 수 있다. 그러나, 정렬 모델을 바꾸는 것은 고장 수리에 고려되지 않을 수 있는데, 그 이유는 그것이 스캐너에서 새로운 레시피를 요구하기 때문이다. SMM은 필수적인 정보를 생성할 수 있다. 스캐너 허용가능 포맷은 gcmr 파일들 및 서브-레시피 및 secs 메시지처럼 중요할 수 있다. 단지 웨이퍼들 #02, 03, 21 및 22만이 APC 피드백을 위해 사용된다. 전술한 작업 흐름은 자동 오버레이 문제 검출, 웨이퍼 스크랩 또는 수율 손실의 회피, 엔지니어 시간 절약, 무 APC 충격 및 심지어 고차 모델과 같은 상이한 모델 파라미터들에 대한 적절한 프로세스 교정을 포함하는 다수의 이점들을 갖는다.

[0169] 다수의 옵션들은 APC 충격을 제어하기 위하여 사용될 수 있다. 예를 들어, APC 제어에 대한 손상을 회피하기 위하여, 하나의 옵션은 추가적인 샘플링이 사용되었을 때마다 2개의 분석 파일들을 생성하는 것을 포함한다. 표준 샘플링에 기초한 분석은 APC를 업데이트하기 위해 사용될 것이다. 이러한 방법은 APC에 대한 어떠한 변화도 존재하지 않는다는 점에서 유리하다. 그러나, AA에 대한 추가적인 분석이 존재할 수도 있다. APC 제어에 대한 손상을 회피하기 위한 또 다른 옵션은 추가적인 샘플링을 사용한 APC에 대한 어떠한 로트도 사용하지 않는 것을 포함한다. 이러한 방식으로, AA에 대한 어떠한 추가적인 분석도 존재하지 않는다. 그러나, 추가적인 샘플링이 APC 로트 콘텍스트에 부가될 수 있다.

[0170] 본 명세서에서 기술된 실시예들은 다수의 이점들을 갖는다. 예를 들어, 상기 실시예들은 이탈들에 대하여 모든 웨이퍼들을 모니터링하는 것을 포함할 수 있고, 이것은 수율 손실의 위험을 최소화할 수 있다. 이러한 방식으로, 단일 웨이퍼조차도 오버레이 모니터링을 피할 수 없다. 부가하여, 본 명세서에서 기술된 실시예들은 자동 고장 수리 시작을 포함할 수 있다. 본 명세서에서 기술된 실시예들은 또한 사용자 정의에 의한 플렉서블 샘플링을 위해 사용될 수 있고, 그에 의하여 샘플링 효율을 개선한다. 예를 들어, 본 명세서에서 기술된 실시예들은 사용자-정의에 의한 자동 샘플링 선택을 위해 사용될 수 있다. 부가하여, 샘플링 효율은 최소 오버레이 측정 증가로 개선될 수 있다.

[0171] 본 명세서에서 기술된 실시예들은 또한 APC에 대한 어떠한 충격도 갖지 않는다. 부가하여, 본 명세서에서 기술된 실시예들은 적절한 추가적인 샘플링에 의해 상당한 양의 엔지니어 시간이 절약되기 때문에 엔지니어링에 유리하다. 부가하여, 본 명세서에서 기술된 실시예들은 사이클 시간의 관점에서 유리하다. 예를 들어, 적절한 오버레이 측정 샘플링이 수행되고 있을 때, 적절한 교정을 위한 필수적인 정보가 생성되고, 그에 의해 사이클 시간이 개선된다.

[0172] 본 명세서에서 기술된 실시예들은 정렬 데이터를 사용하여 동적 오버레이 샘플링을 위해 사용될 수 있다. 본 명세서에서 기술된 실시예들은 노출 시스템으로부터의 정렬 데이터를 사용함으로써 오버레이 샘플링을 보다 효율적이고 적절하게 구성하도록 사용될 수 있다. 특정 로트에 대한 정렬 데이터는 동일한 로트의 오버레이 측정 샘플링을 조정하기 위해 사용될 수 있다.

[0173] 현재, 오버레이 샘플링은 사용자-사전 정의된 샘플링에 의해 결정되고 있다. 그러나, 오버레이 측정 시스템들의 제한된 처리량 때문에, 오버레이 샘플링은 램덤하게 수행되어 왔고, 이것은 만약 문제성(이탈) 웨이퍼가 오버레이에 대해 측정되지 않는다면, 상기 방법이 오버레이 문제를 검출할 수 없고 이것이 검출되지 않기 때문에 웨이퍼(로트)가 단순히 그냥 다음의 프로세스로 전달될 것이라는 것을 의미한다.

[0174] 그러나, 본 명세서에서 기술된 실시예들에서, 정렬은 모든 단일 웨이퍼에 대하여 수행될 수 있기 때문에, 오버레이 샘플링을 결정할 하나의 트리거로서 정렬 데이터를 사용하는 것은 오버레이 이탈들을 보다 효율적이고 적절하게 검출할 수 있다. 부가하여, 정렬이 매 단일 웨이퍼에 대하여 수행되기 때문에, 오버레이 샘플링을 결정할 하나의 트리거로서 정렬 데이터를 사용하는 것은 오버레이 스펙-아웃에 의해 잠재적인 수율 손실의 위험성을

감소시킬 수 있다. 부가하여, 부가적인 측정들이 존재하지 않을 지라도 APC에 대한 어떠한 충격도 존재하지 않는다.

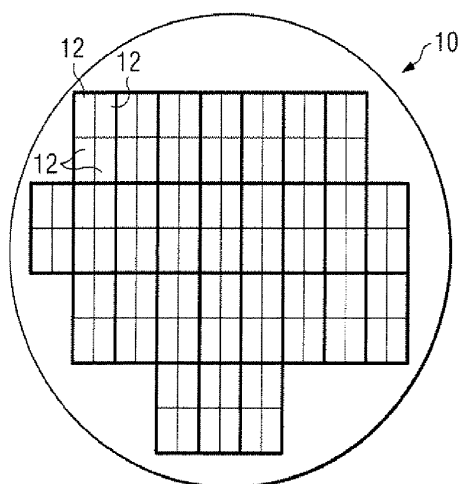
[0175] 본 명세서에서 기술된 실시예들은 다수의 상이한 용도의 경우들에 사용될 수 있다. 예를 들어, 본 명세서에서 기술된 실시예들이 특히 유용한 하나의 용도의 경우는 이중(double) 패터닝 리소그래피이다. 그러한 예에서, 만약 어떠한 정렬도 이중 패터닝(즉, 제 2 층이 제 1 층과 동일한 층으로 정렬됨)에 사용된다면, 제 1 층의 잔여분들은 제 2 층의 샘플 크기를 결정하기 위하여 본 명세서에서 더 기술되는 바와 같이 사용될 수 있다. 또 다른 예에서, 만약 비-직접 정렬이 이중 패터닝(즉, 제 2 층이 제 1 층과 동일한 층으로 정렬됨)에 사용된다면, 제 2 층의 스펙은 본 명세서에서 기술된 결과들에 따라, 예를 들어, 제 1 층의 오버레이 결과들에 따라, 업데이트될 수 있다. 부가적인 예에서, 비-직접 정렬이 사용된다면, 제 1 층의 모델은 제 2 층에 대한 예측 모델로서 사용될 수 있다. 그 다음, 최소 요구된 샘플링은 제 2 층 상에서 측정될 수 있고, 상기 결과는 미리결정된 모델과 비교될 수 있다. 만약 차이들이 임계치를 초과한다면, 부가적인 측정들이 수행될 수 있다. 부가적인 예에서, 만약 단지 2개의 타겟들이 측정되고(예를 들어, 층 1/층 0 및 층 2/층 0) 및 제 3 타겟의 결과들이 예측되면(예를 들어, 층 2/층 1), 그리고 예측이 스펙을 벗어나면, 이러한 타겟들의 완전한(full) 샘플링 측정이 수행될 수 있다.

[0176] 전술한 방법들 각각의 실시예들 각각은 본 명세서에서 기술된 임의의 다른 방법(들)의 임의의 다른 단계(들)를 포함할 수 있다. 부가하여, 전술한 각각의 실시예들 각각은 본 명세서에서 기술된 시스템들 중 임의의 것에 의해 수행될 수 있다.

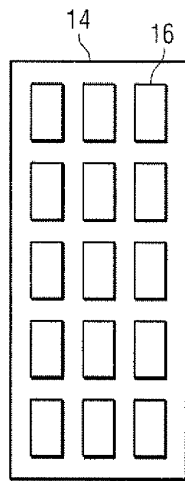
[0177] 본 발명의 여러 다양한 양상들에 대한 추가 변형예들 및 대안적인 실시예들은 이러한 기재의 관점에서 당업자들에게 자명할 수 있다. 예를 들어, 웨이퍼들 상에서 측정들이 수행되는 프로세스에 대한 동적 샘플링 방식을 형성하거나 수행하기 위한 방법들 및 시스템들이 제공된다. 따라서, 이러한 설명은 단지 예시적인 것으로 해석되어야 하고, 당업자들에게 본 발명을 수행하는 일반적인 방식을 제시하고자 한다. 본 명세서에서 제시되고 기술된 본 발명의 형태들은 현 시점에 바람직한 실시예들로서 간주되어야 한다. 본 명세서에서 예시되고 기술된 것에 대하여 엘리먼트들 및 재료들이 치환될 수 있고, 부품들 및 프로세스들이 역전될 수 있으며, 본 발명의 특정 특징들은 독립적으로 이용될 수 있고, 이 모든 것이 본 발명의 이러한 설명의 이점을 숙지한 당업자에게 자명할 것이다. 이하의 청구범위에서 기술된 본 발명의 사상 및 범위로부터 벗어나지 않으면서 본 명세서에서 기술된 엘리먼트들에서의 변화들이 이루어질 수 있다.

## 도면

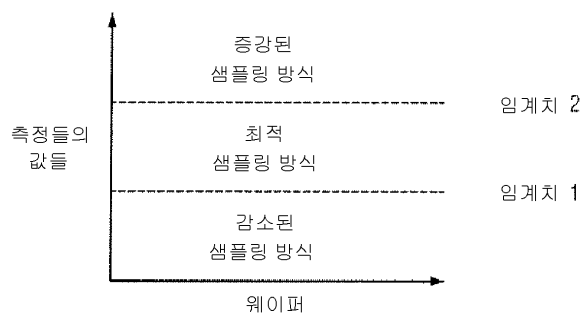
### 도면1



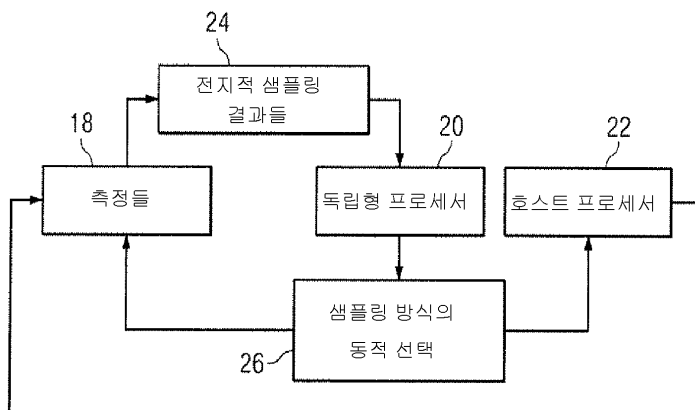
도면2



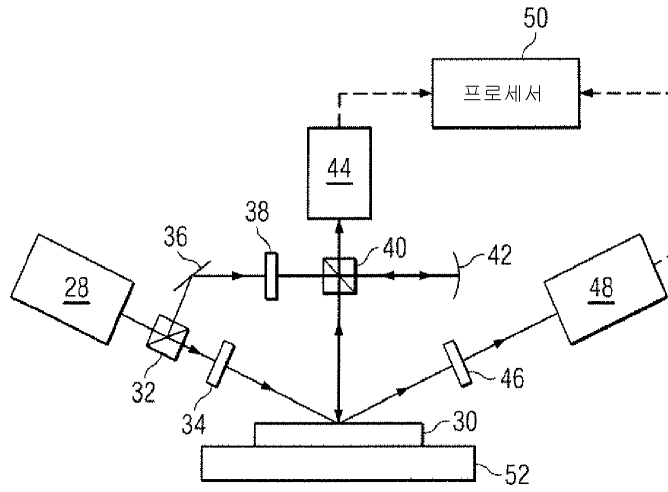
도면3



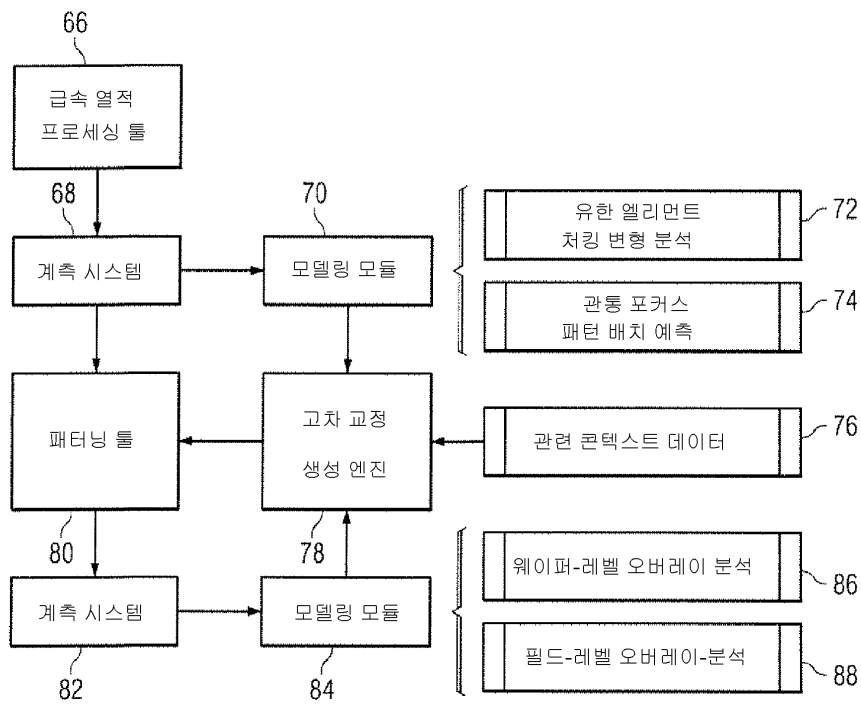
도면4



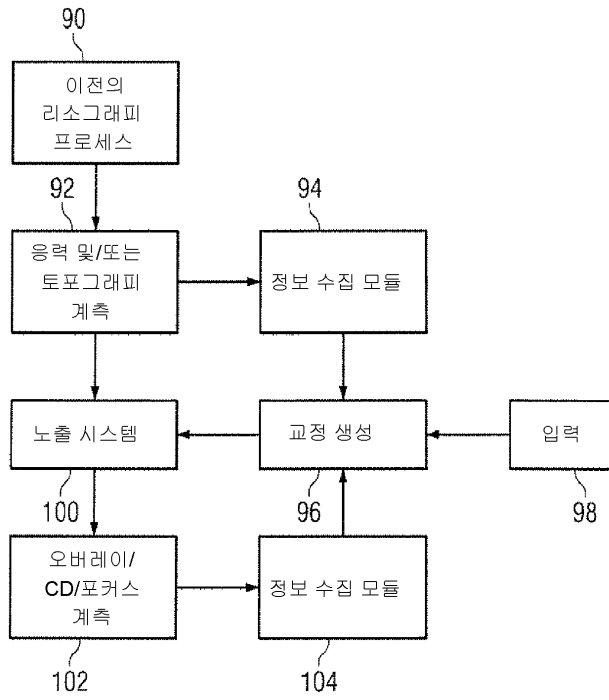
도면5



도면6



도면7



도면8

