



등록특허 10-2341667



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년12월22일
(11) 등록번호 10-2341667
(24) 등록일자 2021년12월16일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/66 (2006.01) *G01Q 90/00* (2010.01)
- (52) CPC특허분류
H01L 22/12 (2013.01)
G01Q 90/00 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2019-7037458
- (22) 출원일자(국제) 2018년05월18일
심사청구일자 2021년05월18일
- (85) 번역문제출일자 2019년12월18일
- (65) 공개번호 10-2019-0143456
- (43) 공개일자 2019년12월30일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2018/033480
- (87) 국제공개번호 WO 2018/213758
국제공개일자 2018년11월22일
- (30) 우선권주장
62/508,312 2017년05월18일 미국(US)
15/982,918 2018년05월17일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문현
US20120076393 A1
US20130012422 A1
US20160071688 A1

- (73) 특허권자
어플라이드 머티리얼즈 이스라엘 리미티드
이스라엘 레호보트 파크 래빈 오웬하이머 스트리트 9 (우: 76705)
- (72) 발명자
슈바츠반드, 이샤이
이스라엘 6040803 오아-예후다 바 레브 스트리트 6/11
아브니엘, 얀
이스라엘 7623605 레호보트 해존-이쉬 스트리트 26
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인
양영준, 백만기

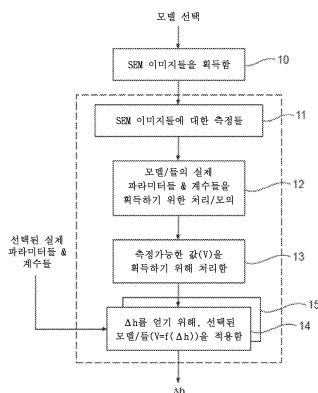
전체 청구항 수 : 총 20 항

심사관 : 홍종선

(54) 발명의 명칭 반도체 웨이퍼들 상의 패턴들의 높이 차이의 측정

(57) 요 약

반도체 웨이퍼들 상에 제공된 패턴들의 높이 차이를 결정하기 위한 개선된 기법은 실제 측정들(예를 들어, SEM 이미지들로부터의 측정들) 및 높이 차이 결정 모델을 사용한다. 모델의 일 버전에서, 모델의 측정가능한 변수는 음영의 깊이(즉, 상대 휙도)의 변화의 함수로 표현되고, 여기서 음영의 깊이는 높이 차이뿐만 아니라 반도체 웨이퍼 상의 2개의 피쳐들 사이의 폭 차이에도 의존한다. 모델의 다른 버전에서, 측정가능한 변수는, 주사 전자빔의 기울기 각도의 변화에 대한 주기적 구조의 실제 이미지 상의 2개의 특징적인 지점들 사이의 측정된 거리의 변화의 함수로 표현된다.

대 표 도 - 도2a

(52) CPC특허분류

H01L 22/20 (2013.01)

H01L 22/30 (2013.01)

(72) 발명자

크리스토, 서게이

이스라엘 7765751 애쉬도드 로쉬-파나 스트리트

8/28

바람, 모어

이스라엘 7402771 네스-지오나 캐шел트 스트리트 7

레비, 쉬몬

이스라엘 3608401 키르야트 - 티본 해맥 스트리트

1

기르몬스키, 도론

이스라엘 4353401 라나나 하라케펫 스트리트 1

크리스, 로만

이스라엘 9787608 예루살렘 마보 하-아사라 5/11

명세서

청구범위

청구항 1

반도체 웨이퍼 상의 패턴 내의 2개의 피쳐 사이의 높이 차이를 결정하기 위한 컴퓨터 구현 방법으로서,

높이 차이의 함수로서 표현된 변수를 갖는 모델을 식별하는 단계 – 상기 함수는 하나 이상의 물리적 파라미터 및 상기 하나 이상의 물리적 파라미터의 상호의존성을 특징짓는 하나 이상의 계수를 가짐 –;

상기 높이 차이의 함수의 상기 하나 이상의 물리적 파라미터의 값들을 획득하기 위해 상기 반도체 웨이퍼 상의 상기 패턴의 실제 이미지에 대해 측정들을 수행하는 단계; 및

컴퓨터 프로세서에 의해, 상기 하나 이상의 물리적 파라미터의 상기 획득된 값들 및 상기 하나 이상의 물리적 파라미터의 상기 상호의존성을 특징짓는 상기 하나 이상의 계수를 사용하여 상기 모델로부터 상기 높이 차이를 결정하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 높이 차이는 동일한 반도체 웨이퍼 상의 제1 피쳐와 제2 피쳐 사이의 것인, 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 높이 차이는 상이한 2개의 반도체 웨이퍼들 상에 제조된 피쳐의 특정 치수의 제1 값과 제2 값 사이의 것인, 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 측정들을 수행하는 단계는 상기 패턴의 실제 이미지를 획득하기 위해 주사 전자 현미경(SEM)을 사용하는 것을 포함하는, 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 모델의 변수는, 주사 전자 빔의 기울기 각도의 변화에 대한 상기 패턴의 실제 이미지 상의 2개의 특징적인 지점들 사이의 측정된 거리의 변화로 표현되고, 상기 측정된 거리는 코어 트렌치와 캡 트렌치 사이의 거리를 나타내며, 상기 거리는 상기 코어 트렌치와 상기 캡 트렌치 사이의 높이 차이에 의존적인, 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 하나 이상의 물리적 파라미터의 값들을 획득하는 것은: 상기 주사 전자 빔의 상기 기울기 각도의 변화를 나타내는 값을 획득하는 것을 포함하는, 방법.

청구항 7

주기적 구조의 코어 트렌치와 캡 트렌치 사이의 높이 차이를 결정하기 위한 컴퓨터 구현 방법으로서,

상기 주기적 구조는 반도체 웨이퍼 상에 형성된 복수의 코어 트렌치들 및 복수의 캡 트렌치들을 포함하고, 상기 방법은,

코어 트렌치와 캡 트렌치 사이의 높이 차이의 함수로서 표현된 변수를 갖는 모델을 식별하는 단계 – 상기 함수

는 하나 이상의 물리적 파라미터 및 상기 하나 이상의 물리적 파라미터의 상호의존성을 특징짓는 하나 이상의 계수를 가짐 –;

상기 높이 차이의 함수의 상기 하나 이상의 물리적 파라미터의 값들을 획득하기 위해 상기 주기적 구조의 실제 이미지에 대해 측정들을 수행하는 단계; 및

컴퓨터 프로세서에 의해, 상기 하나 이상의 물리적 파라미터의 상기 획득된 값들 및 상기 하나 이상의 물리적 파라미터의 상기 상호의존성을 특징짓는 상기 하나 이상의 계수를 사용하여 상기 모델로부터 상기 높이 차이를 결정하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 주기적 구조는 다중 패터닝을 포함하는 반도체 처리 기법을 사용하여 생성되는, 방법.

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 측정들을 수행하는 단계는:

상기 주기적 구조의 제1 실제 이미지를 획득하기 위해 주사 전자 빔의 제1 기울기 각도로 상기 주기적 구조를 주사하는 것;

상기 주기적 구조의 제2 실제 이미지를 획득하기 위해 상기 주사 전자 빔의 제2 기울기 각도로 상기 주기적 구조를 주사하는 것 – 상기 제2 기울기 각도는 상기 제1 기울기 각도와 상이함 –;

상기 제1 실제 이미지 상의 특징적인 지점들의 쌍을 식별하고 상기 쌍의 특징적인 지점들 사이의 거리를 측정하는 것;

상기 제2 실제 이미지 상의 동일한 특징적인 지점들을 식별하고 상기 쌍의 특징적인 지점들 사이의 거리를 측정하는 것; 및

상기 모델의 변수를 상기 주사 전자 빔의 기울기 각도의 변화에 대한 상기 측정된 거리의 변화로 표현하는 것을 더 포함하는, 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 특징적인 지점들의 각각의 쌍은, 특정 각도로 경사진 상기 주사 전자 빔에 의해 조명될 때 코어 트렌치 및 캡 트렌치의 각각의 바닥 코너들에 기초하여 상기 실제 이미지 상에 생성되는, 방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 방법은:

상기 제1 실제 이미지 및 상기 제2 실제 이미지 상의 특징적인 지점들의 다수의 쌍들을 식별하는 단계 – 상기 특징적인 지점들의 다수의 쌍들 각각은 상기 코어 트렌치 및 상기 캡 트렌치의 대응하는 쌍에 의해 생성됨 – 를 더 포함하는, 방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 변수를 상기 측정된 거리의 변화로 표현하는 것은:

상기 특징적인 지점들의 다수의 쌍들로부터 획득된 측정된 거리들의 평균을 계산하는 것; 및

상기 변수를 상기 평균 측정된 거리의 변화로 표현하는 것을 포함하는, 방법.

청구항 13

제7항에 있어서,

상기 변수는 음영의 깊이의 변화의 함수로 표현되고, 상기 음영의 깊이의 변화는 상기 높이 차이뿐만 아니라 상기 코어 트렌치와 상기 캡 트렌치 사이의 폭 차이에도 의존하는, 방법.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 음영의 깊이는 상기 코어 트렌치와 상기 캡 트렌치 사이의 상대 휘도의 차이를 나타내는, 방법.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 모델은 선형 함수:

$$\Delta\eta = \alpha \Delta w + \beta \Delta h$$

로부터 생성되고,

여기서, η 는 그레이 레벨 계산에 대한 휘도 비율을 나타내고, $\Delta\eta$ 는 코어 트렌치와 캡 트렌치 사이의 η 의 차이를 나타내고, α 및 β 는 계수들이고, Δw 는 폭 차이이고, Δh 는 코어 트렌치와 캡 트렌치 사이의 높이 차이인, 방법.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 그레이 레벨 계산은 상기 코어 트렌치 및 상기 캡 트렌치의 최상부 및 바닥에서 측정된 휘도를 수반하는, 방법.

청구항 17

제15항에 있어서,

상기 계수들(α 및 β)은 교정(calibration) 또는 모의(simulation)에 의해 획득되는, 방법.

청구항 18

제15항에 있어서,

실제 이미지에 대해 측정을 수행하는 것은 상기 코어 트렌치와 상기 캡 트렌치 사이의 폭 차이(Δw)에 대한 값을 획득하는 것을 포함하는, 방법.

청구항 19

주기적 구조의 코어 트렌치와 캡 트렌치 사이의 높이 차이를 결정하기 위한 시스템으로서,

상기 주기적 구조는 반도체 웨이퍼 상에 형성된 복수의 코어 트렌치들 및 복수의 캡 트렌치들을 포함하고, 상기 시스템은,

메모리;

상기 메모리와 작동적으로 결합된 처리 디바이스를 포함하고, 상기 처리 디바이스는,

코어 트렌치와 캡 트렌치 사이의 높이 차이의 함수로서 표현된 변수를 갖는 모델을 식별하고 – 상기 함수는 하나 이상의 물리적 파라미터 및 상기 하나 이상의 물리적 파라미터의 상호의존성을 특징짓는 하나 이상의 계수를 가짐 –;

상기 주기적 구조의 실제 이미지에 대해 수행된 측정들로부터 상기 높이 차이의 함수의 상기 하나 이상의 물리적 파라미터의 값들을 획득하고;

상기 하나 이상의 물리적 파라미터의 상기 획득된 값들 및 상기 하나 이상의 물리적 파라미터의 상기 상호의존

성을 특징짓는 상기 하나 이상의 계수를 사용하여 상기 모델로부터 상기 높이 차이를 결정하는, 시스템.

청구항 20

제19항에 있어서,

상기 실제 이미지는 주사 전자 현미경에 의해 생성되는, 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 개시내용은 일반적으로, 반도체 웨이퍼들 상의 패턴들의 치수들을 측정하는 것에 관한 것으로, 구체적으로, 패턴들의 높이 및/또는 폭 차이를 측정하는 것에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 주사 전자 현미경(SEM) 이미지들은, 예컨대 반도체 웨이퍼들의 검사를 위한, 다양한 맵핑 및 이미지화 응용들에 사용된다. SEM 이미지들을 사용하는 웨이퍼들의 3차원(3D) 맵핑을 위한 여러 기법들이 관련 기술분야에 알려져 있다. 예를 들어, 반도체 디바이스들을 검사하기 위한 종래의 기법은 반도체 디바이스의 치수 파라미터들을 결정하기 위해, SEM에 의해 획득된 측정 데이터의 다수의 세트들을 활용한다. SEM은 디바이스에 대한 상이한 각도 배향으로부터 데이터의 각각의 세트를 수집한다. 반도체 디바이스의 치수 파라미터들은 SEM 검사 각도와 수집된 데이터 세트들 사이의 관계를 분석함으로써 결정된다.

발명의 내용

[0003] 다음은, 본 개시내용의 일부 양상들의 기본적인 이해를 제공하기 위해 본 개시내용의 간략화된 요약이다. 이 요약은 본 개시내용의 광범위한 개요가 아니다. 이는 본 개시내용의 핵심적이거나 중요한 요소들을 식별하기 위해 의도된 것도 아니고, 본 개시내용의 특정 구현들의 임의의 범위 또는 청구항들의 임의의 범위를 기술하기 위해 의도된 것도 아니다. 그의 유일한 목적은, 이후에 제시되는 더 상세한 설명에 대한 서두로서 본 개시내용의 일부 개념들을 간략화된 형태로 제시하는 것이다.

[0004] 실제 측정들(예를 들어, SEM 이미지들로부터의 측정들)을 사용하고 높이 차이 결정 모델을 사용함으로써, 반도체 웨이퍼들 상에 제공된 패턴들의 높이 차이를 결정하기 위한 개선된 기법이 본원에 개시된다. 본 출원에서, "패턴"이라는 용어는 반도체 웨이퍼 상에 생성된 임의의 3D 구조를 포괄한다.

[0005] 모델의 일 버전에서, 모델의 측정가능한 변수는 음영의 깊이(즉, 상대 휙도)의 변화의 함수로 표현되고, 여기서 음영의 깊이는 높이 차이뿐만 아니라 2개의 피쳐들 사이의 폭 차이에도 의존한다.

[0006] 모델의 다른 버전에서, 측정가능한 변수는, 주사 전자 범의 기울기 각도의 변화에 대한 주기적 구조의 실제 이미지 상의 2개의 특징적인 지점을 사이의 측정된 거리의 변화의 함수로 표현된다.

[0007] 모델의 양쪽 버전들 모두에서, 높이 차이는 실제 측정 데이터를 모델에 제공함으로써 모델로부터 계산된다.

[0008] 일부 구현들에서, 시스템은 컴퓨터 프로세서를 사용하여 모델의 하나의 버전 또는 양쪽 모두의 버전들을 사용해 높이 차이를 추출할 수 있는 모듈을 포함한다. 시스템은 웨이퍼를 주사하기 위한 SEM 및 하나 이상의 SEM 이미지를 생성하기 위한 검출기를 포함할 수 있다.

[0009] 일부 구현들에서, 비일시적 컴퓨터 판독가능 매체는, 처리 디바이스에 의해 실행될 때 처리 디바이스로 하여금, 코어 트렌치와 캡 트렌치 사이의 높이 차이의 함수로서 표현되는 변수를 갖는 모델을 식별하고 – 함수는 하나 이상의 파라미터를 가짐 –; 높이 차이의 함수의 하나 이상의 파라미터의 값들을 획득하기 위해 주기적 구조의 실제 이미지에 대한 측정들을 수행하고; 컴퓨터 프로세서에 의해, 모델, 및 획득된 하나 이상의 파라미터를 사용하여 높이 차이를 결정하는 방법을 수행하게 하는 명령어들을 포함할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0010] 본 개시내용은 아래에 주어진 상세한 설명으로부터 그리고 본 개시내용의 다양한 구현들의 첨부 도면들로부터 더 완전히 이해될 것이다.

도 1a는 본 개시내용의 일부 실시예들에 따른, 패턴의 높이 차이를 결정하기 위해 모델을 사용하도록 구성된 컴

퓨터 시스템 및 SEM을 포함하는 시스템의 개략적인 블록도를 예시한다.

도 1b는 본 개시내용의 일부 실시예들에 따른, 높이 차이 결정 모듈(HDDM)을 포함하는 개략적인 기능 블록도이다.

도 1c는, 본 개시내용의 실시예에 따른, 다중 패터닝으로 인한 코어-캡 함몰부를 갖는 패턴을 도시한다.

도 1d(a)-(b)는 본 개시내용의 다른 실시예에 따른, 프로세스 변동으로 인해, 2개의 상이한 웨이퍼들 상의, 상이한 높이 및 폭을 갖는 패턴을 도시한다.

도 2a는 일부 실시예들에 따른, 모델 및 실제 측정들을 사용하여 패턴의 높이 차이를 결정하기 위한 예시적인 방법의 흐름도이다.

도 2b는 본원에 개시된 실시예에 따른, 국부 채널 및 기준 채널의 그레이 레벨 윤곽들을 포함하는 예시적인 SEM 이미지의 일부를 개략적으로 도시한다.

도 2c는 본원에 개시된 실시예에 따른, 주기적 구조의 코어 트렌치들 및 캡 트렌치들의 그레이 레벨 윤곽들을 포함하는 예시적인 SEM 이미지의 일부를 개략적으로 도시한다.

도 3은 일 실시예에 따른, 높이 차이를 결정하기 위해 모델의 일 버전을 수행하기 위해서 측정될 값들을 표시하는, 예시적인 패턴의 개략도를 예시한다.

도 4는 일 실시예에 따른, 모델의 일 버전에 따라 높이를 결정하기 위한 예시적인 방법의 흐름도이다.

도 5는 일 실시예에 따른, 높이 차이를 결정하기 위해 모델의 다른 버전을 수행하기 위해서 측정될 값들을 표시하는, 예시적인 패턴의 개략도를 예시한다.

도 6은 도 5에 참조된 모델의 버전을 예시하기 위해 간략화된 SEM 이미지의 일부이다.

도 7은, 본 개시내용의 다른 실시예에 따른, 도 5에 참조된 모델의 버전에 따라 높이를 결정하기 위한 예시적인 방법의 흐름도이다.

도 8은 본 개시내용의 구현들이 작동할 수 있는 예시적인 컴퓨터 시스템의 블록도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0011]

본 개시내용의 양상들은 동일한 반도체 웨이퍼 상의 2개의 피쳐들 사이의 높이 차이 및/또는 높이 및 폭 둘 모두의 차이, 또는 프로세스 변동으로 인한, 2개의 상이한 반도체 웨이퍼들 상의, 동일한 패턴 피쳐들 사이의 높이 및/또는 폭 변동을 결정하는 것에 관한 것이다.

[0012]

반도체 웨이퍼들 상에 형성된 패턴들은 일반적으로, 다양한 형상을 및 치수들을 갖는 피쳐들/물체들을 포함한다. 패턴들은 주기적 구조 또는 불규칙 구조를 포함할 수 있다. 그러한 물체들 사이의 높이 차이(및/또는 높이 및 폭 둘 모두의 차이)의 추정이 많은 목적들을 위해, 예컨대, 반도체 웨이퍼들의 제조 동안 그리고/또는 이후 반도체 웨이퍼들의 검사를 위해 종종 요구된다.

[0013]

기준의 기법들에서, 높이 차이는 개별 피쳐들의 절대 높이들을 개별적으로 측정하고 2개의 측정들을 비교함으로써 계산된다. 본 개시내용은 2개의 피쳐들 중 각각의 피쳐의 각각의 절대 높이를 개별적으로 측정할 필요 없이 2개의 피쳐들 사이의 높이 차이를 측정하기 위한 신규하고 더 효과적인 방법을 설명한다.

[0014]

본 개시내용의 접근법의 장점은, 2개의 피쳐들 사이에 상대적인 높이 차이가 존재하는 한, 2개의 피쳐들이 물리적으로 서로 인접할 수 있거나 인접하지 않을 수 있다는 점이다. 추가적으로, 2개의 피쳐들 사이의 폭 차이는 추가적인 프로세스 제어 파라미터로서 결정될 수 있다. 2개의 피쳐들은 동일한 패턴의 부분이거나 상이한 패턴들의 부분들일 수 있다. 또한, 2개의 피쳐들은 2개의 상이한 웨이퍼들 상의 동일한 피쳐일 수 있다. "동일한 피쳐"라는 용어는, 예를 들어, 피쳐들의 제조에 사용되는 설계 의도 파일에 의해 정의된 바와 같은, 또는 측정 데이터(예를 들어, SEM 이미지들로부터의 데이터) 상에 실질적으로 유사한 것으로 보이는 동일한 유형의 피쳐들을 광범위하게 의미한다. "동일한 피쳐"라는 용어는 단일 웨이퍼 상에 또는 상이한 웨이퍼들 상에 제조된 동일한 유형의 피쳐들에 관한 것일 수 있다.

[0015]

높이 차이가 관심사일 수 있는 패턴의 일 예는 물질 함몰부 또는 코어-캡 함몰부이며, 이는 반도체 웨이퍼 상에 형성된 주기적 구조의 인접한 트렌치들 사이에 보일 수 있다. 물질 함몰부는 주기적 구조의 이웃하는 트렌치들(즉, 코어 트렌치 및 캡 트렌치)의 깊이들/높이들 사이의 평균 차이로 이해될 수 있다. 물질 함몰부는 반도체

제조에 사용되는 다중 패터닝(예컨대, 이중 패터닝) 프로세스의 결과일 수 있다.

[0016] 트렌치들 중 일부는 측벽들을 갖는 채널의 형태일 수 있고, 여기서 채널은 폐쇄 윤곽 또는 개방 윤곽을 가질 수 있다. 높이 차이(Δh)를 결정하는 것은, 채널들의 임의의 쌍에 대한(예를 들어, 패턴의 특정 코어-캡 쌍에 대한) Δh 의 절대 값을 결정하는 것으로 그리고/또는 주기적 패턴의 관심 영역의 유사한 채널들에 대한 기준의 Δh 의 평균 값을 결정하는 것으로 이해될 수 있다.

[0017] 개시된 기법은 또한, 동일한 웨이퍼의 상이한 부분들 상의 또는 프로세스-유도된 변동으로 인한, 2개의 상이한 웨이퍼들 상의 동일한 피쳐의 치수 차이를 평가하는 데에 사용될 수 있다. 반도체 디바이스의 제조에서, 변동들에 대한 제조 프로세스들의 정확도, 반복성 및 안정성은 매우 중요하다. 프로세스 제어 기법들은 프로세스 부정확도들 및 불안정성을 제어하기 위해, 예를 들어, 다양한 제조 단계들 동안 패턴의 높이 및 폭을 측정함으로써 구현된다.

[0018] 특정 시나리오들에서, 프로세스 제어 측정들 및 특히 인라인 SEM 프로세스 제어 측정들은, 음영 정보를 분석하는 것에 기초하여, 기준으로부터 높이 및 폭과 같은 패턴 측정들의 편차에 관한 정보를 제공할 수 있다.

[0019] 도 1a는 본 발명의 하위 시스템들(S1 및 S2)을 포함하는 예시적인 시스템(S3)을 예시한다. 하위 시스템(S1)은 하나 이상의 모델링 프로세서(SP1)(및 SP2, 하나 초과의 프로세서가 사용되는 경우)를 포함하는 제안된 본 발명의 높이 차이 결정 모듈(HDDM)을 포함한다. HDDM은 컴퓨터(C)에 위치되고, 본 출원에 설명되는 모델의 2개의 버전들 중 적어도 하나를 사용하는 것에 의해 반도체 패턴의 피쳐들 사이의 높이 차이(Δh)를 결정하도록 구성된다. S1은 컴퓨터 메모리(M)에 결합된다.

[0020] 컴퓨터(C)는 통신선(L)을 통해 SEM으로부터 데이터를 수신할 수 있다. SEM은 반도체 웨이퍼(W) 상에 제조된 패턴의 SEM 이미지들을 생성한다. SEM 또는 임의의 개별 측정 모듈이 SEM 이미지들을 사용하여 측정들을 수행하도록 적응되는 경우, 측정 결과들은 하위 시스템(S1)으로 송신될 것이다. 하위 시스템(S1)은, 사용자로부터 명령어들을 획득할 수 있는 제어 프로세서(P)에 의해 제어될 수 있다.

[0021] 제2 하위 시스템(S2)은 (모델링 프로세서들(SP1 및/또는 SP2)을 포함하는) HDDM, 측정 모듈(MM) 및 제어 프로세서(P)를 포함한다.

[0022] 측정 모듈(MM)은 SEM으로부터 이미지들을 수신하고, 패턴의 다양한 길이들/폭들의 휘도의 정확한 측정들을 수행하며, 측정들을 부분적으로 처리할 수 있고, 프로세서(P)에 의해 제어가능할 수 있다.

[0023] 하위 시스템들(S1 및 S2)은 디스플레이(D) 및 키보드(K)가 제공되는 독립된 컴퓨터(C)에 배치될 수 있고; 컴퓨터는 통신선(L)을 통해 직접적으로 또는 간접적으로 SEM에 연결된다.

[0024] 확장된 시스템(S3)은, 휘도 데이터(즉, SEM 이미지 상의 그레이 레벨을 나타내는 데이터)를 수집하기 위해, SEM에 삽입될 때, 반도체 웨이퍼(W)를 모니터링하도록 위치된 하나 이상의 검출기 및 전자 빔의 공급원을 포함하는 SEM을 더 포함할 수 있다. SEM은 다수의 검출기들로부터 수집된 데이터를 조합된 SEM 이미지로 처리할 수 있거나, 조합된 이미지를 모듈(MM) 내부에서 형성하고 측정들을 수행하고 측정들을 부분적으로 처리하기 위해, 수집된 데이터를 모듈(MM)에 공급할 수 있다.

[0025] 도 1b는 도 1a에 기초하여 블록도를 예시하고, 여기서 모듈들 및 블록들에 대한 기능 및 제어 입력들이 도시된다. 기능 입력들/연결들은 두꺼운 화살표들로 도시되는 반면, 제어 입력들/연결들은 얇은 화살표들로 표시된다. 제어 프로세서(P)가 MM 및 HDDM(S1의 일부임) 둘 모두를 제어한다는 것에 주목해야 한다. 이 블록도에서, 측정 모듈(MM)은 파선 윤곽에 의해 S2로 표기된 본 발명의 실시예의 일부로서 도시된다. 시스템(S2)은 L을 통해 SEM에 연결된 컴퓨터에 설치가능하다. 메모리(M) 및 메모리의 연결은 여기에 도시되지 않는다.

[0026] 도 1c는 HDDM이 코어-캡 함몰부 시나리오에서 Δh 를 계산할 수 있는 것을 도시하며, 이는 도 2b-도 7에 관하여 더 상세히 설명된다. 이는 다중 패터닝과 전형적으로 연관된 문제이다.

[0027] 도 1d(a) 및 1d(b)는, 다중 패터닝으로 인한 물질 함몰부가 없는 경우에도, 프로세스 변동으로 인한, 웨이퍼의 상이한 부분들에 제조된 동일한 피쳐 또는 2개의 상이한 웨이퍼들 상의 동일한 피쳐 사이의 높이 차이(즉, 도 1d(a)의 h_1 과 도 1d(b)의 h_2 사이의 차이)가 존재할 수 있다는 것을 도시한다. 또한, 프로세스 변동으로 인한 폭 차이(즉, 도 1d(a)의 w_1 과 도 1d(b)의 w_2 사이의 차이)가 존재할 수 있다. 제2 웨이퍼는 동일한 제조 틀에 의해 제조된 동일한 설계의 다른 웨이퍼일 수 있다. 제2 웨이퍼는 동일한 유형의 상이한 제조 틀에 의해 제조된 동일한 설계의 다른 웨이퍼일 수 있다. 제1 웨이퍼와 제2 웨이퍼 사이의 높이 및/또는 폭의 차이들은 프로

세스 변동, 툴 오작동 등으로부터 초래될 수 있다.

[0028] 도 2a는 (도 1b에서 파선 직사각형 내에 도시된) 시스템(S2)의 작동들을 포함하는, 시스템(S3)에서의 작동들의 개략적인 흐름도를 도시한다. 시스템(S2)의 작동들은 시스템(S1)으로서의 HDDM의 작동들을 포함한다. 측정 모듈(MM)은 측정 결과들을 추가로 처리하기 위해 프로세서의 제어 하에서 측정들의 하나의 세트 및/또는 2개의 세트들을 수행하기 위한 2개의 실시예들 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 처리는 MM에서 시작되고 HDDM에서 종료될 수 있다. 그러나, 처리는 HDDM에서 완전히 수행될 수 있고, 이로써 실제로 MM은 HDDM의 일부를 형성할 수 있다. 예를 들어, MM은, 아래에 상술되는 바와 같이, 모델의 어느 버전이 선택되는지에 따라, 또는 모델의 양쪽 버전들 모두가 선택되는 경우, SEM 이미지를 상의 채널들/트렌치들의 그레이 레벨(휘도)을 측정하고 처리하기 위한 하드웨어 및/또는 소프트웨어 블록들, 및 a) 채널들의 폭 "w"; 및/또는 b) 채널들 사이의 거리(ΔX)를 측정하고 처리하기 위한 하드웨어 및/또는 소프트웨어 블록들을 포함할 수 있다. 모델은 사용자에 의해 선택될 수 있거나 프로세서에 의해 선택될 수 있다.

[0029] 특정 높이의 패턴의 SEM 이미지들은 패턴 높이를 나타내는 음영들을 보여주며, 따라서 높이 의존적이다. 전자 검출기에 관하여, 음영된 위치들로부터 유래되는 전자들은 패턴에 의해 흡수될 수 있고 전자 검출기에 도달하지 않을 것이다. 결과적으로, 음영된 위치들과 연관된 전자 신호 손실은 패턴 기하형상 및 형상 – 높이 및 폭을 나타낸다.

[0030] 본 개시내용의 실시예에 따르면, 패턴의 SEM 이미지들은, 패턴과 연관된 높이 의존적 음영을 반영하는 모델을 적용함으로써 처리되며, 이로써, 기준과 비교하여 SEM 이미지에서의 패턴의 높이 및/또는 폭의 차이를 결정한다.

[0031] 도 1c에 도시된 코어-캡 예에서, 코어 트렌치들의 SEM 이미지/들은 캡 트렌치들의 SEM 이미지들에 대한 기준으로서 역할을 한다. 도 1d(a) 및 1d(b)에 도시된 예에서, 제1 웨이퍼의 패턴 SEM 이미지/들은 제2 웨이퍼의 패턴 SEM 이미지들에 대한 기준으로서 역할을 한다. 두 예를 모두에서, 높이 차이에 대한 정보가 결정된다. 도 1d(a)-(b)에 도시된 패턴들이 다중 패터닝으로 제한되지 않는다는 것에 주목한다.

[0032] 본 개시내용의 실시예에 따르면, 기준은 절대 차수 값 – 예를 들어, 도 1d(a)의 높이(h1) 또는 폭(w1)과 연관될 수 있다. 절대 높이 값은, 예를 들어, 예비 프로세스 제어 단계, 예컨대, SEM 레시피 설정 단계, 또는 비-인라인 측정 기법들, 예컨대, OCD(광학 CD 측정들) 또는 TEM(투과 전자 현미경)을 채용하는 상보적 측정 단계 동안 획득될 수 있다. 기준과 연관된 절대 높이 값, 및 결정된 바와 같은 높이 차이를 사용함으로써, 패턴의 절대 높이 값이 획득될 수 있다.

[0033] 위에서 언급된 바와 같이, 높이 결정은 높이 차이(Δh)의 함수로서 표현된 변수(V), 즉, $V=f(\Delta h)$ 를 갖는 모델을 식별하는 것을 수반한다. V 는 측정가능한 값을 갖고, 하나 이상의 실제 파라미터의 함수이며, 실제 파라미터들 중 일부는 측정될 수 있다. 모델의 일 버전에서, 변수(V)는 음영 깊이의 함수로 표현되고, 여기서 음영 깊이는 높이 차이뿐만 아니라 인접한 피쳐들 사이의 폭 차이에도 의존한다. 모델의 다른 버전에서, 변수는, SEM 이미지를 획득하는 데에 사용되는 전자 빔의 기울기 각도의 변화에 대한 SEM 이미지 상의 2개의 특징적인 지점들 사이의 측정된 거리의 변화로 표현된다. 사용자는 높이 차이를 결정하기 위해 모델의 어느 하나의 버전을 선택할 수 있다. 또한, 모델의 다수의 버전들을 사용하여 높이 차이를 결정하고 더 양호한 정확도를 위해 결과들을 비교하는 것이 가능하다. 관련 기술분야의 통상의 기술자는, 도 2a에 도시된 흐름도의 블록들(10-15)이 모델의 선택된 버전에 따라 작동한다는 것을 쉽게 이해할 것이다.

[0034] 모델($V=f(\Delta h)$)의 적어도 하나의 버전을 선택하면, 하나 이상의 SEM 이미지가 획득된다(블록(10)). SEM 이미지들은 전자 빔으로 웨이퍼를 주사하는 것(및, 모델의 어느 버전이 선택되었는지에 따라, 선택적으로 전자 빔의 기울기 각도를 변경하는 것)에 의해 획득될 수 있다. 하나 이상의 전자 검출기로부터의 데이터는 조합된 SEM 이미지들을 획득하는 데에 사용될 수 있다. 대안적으로, 사전선택된 알려진 SEM 이미지 데이터가 사용될 수 있다.

[0035] 다음으로, SEM 이미지(들)에 대한 측정들이 수행된다(블록(11)). 이 작업은, 도 1b에 도시된, 측정 모듈(MM) 또는 HDDM에서 수행될 수 있다. 측정은 선택된 모델의 실제 파라미터들 및/또는 계수들이 사전에 제공되지 않은 경우에, 즉, 이들이 사전선택되지 않은 경우에 이를 획득하기 위해 통계적 측정들 또는 모의들을 수행하는 것(블록(12)), 및 선택된 모델의 측정가능한 값(V)을 계산하는 것(블록(13))을 포함할 수 있다.

[0036] 모델의 선택된 버전을 측정 결과들에 적용하는 최종 작동(블록들(14 및/또는 15))은 HDDM에 의해 수행된다. 일부 실제 파라미터들 또는 계수들이 사전선택된 경우, 이들은 14 및/또는 15에 공급될 수 있다. 아래에서, 모델

의 2개의 버전들이 더 상세히 설명된다.

[0037] 모델의 버전(1): 상대 휘도(음영의 깊이)로부터 높이 차이 결정

[0038] 먼저, 피쳐의 최상부와 바닥 사이의 휘도의 변동(그레이 레벨 차이)을 활용하는 "음영의 깊이" 방법을 사용하여 높이 차이가 계산되는, 모델의 제1 버전의 작동이 설명된다. 본 출원의 목적을 위해, "음영의 깊이"는 상대 휘도 또는 상대 그레이 레벨을 지칭한다. 휘도 차이는 높이 차이와 관련되는데, 즉, 그레이 레벨 차이는 높이 차이의 결과이다. 그레이 레벨 차이는 상이한 높이들의 피쳐들에 의해 생성된 "음영"으로 인한 (SEM에서 검출된 2차 전자들의) 산출물의 손실을 나타낸다.

[0039] 도 2b는, 패턴의 최상부 부분들은 밝은 회색인 반면 바닥 부분들은 어두운 회색인, 그레이 레벨 SEM 이미지의 예시적인 부분을 예시한다. 패턴의 밝은 최상부 부분들은, 주사 전자 빔에 의해 생성된 2차 및 후방산란된 전자들에 의해 더 많이 "조명"되고 적어도 하나의 SEM 검출기(도시되지 않음)에 의해 검출된다. 패턴의 어두운 바닥 부분들은 더 적은 전자들을 생성하고, 그러므로 동일한 검출기/들에 의해 SEM 이미지의 더 어두운 구역들로서 검출된다.

[0040] 패턴은, 폐쇄 타원형 윤곽으로 형성된, "기준" 채널(16)로 지칭되는 제1 채널을 포함한다. "국부" 채널로 지칭되는 제2 채널은 타원형 윤곽과 직선 바형 윤곽 사이에 형성된다.

[0041] 모델의 제1 버전, $V = \Delta \eta_{LR} = f(\Delta h, \Delta w_{LR})$ 은 다음의 2개의 식들:

[0042] $\eta_L = \eta(h_L, w_L)$; 및

[0043] $\eta_R = \eta(h_R, w_R)$ 에 기초하며,

[0044] 여기서, 각각, 상대 그레이 레벨의 값들(h_L 및 h_R)은 국부 물체에 대해 그리고 기준 물체에 대해 측정되고, 바닥 채널들의 폭들의 값들(w_L 및 w_R)은 국부 물체에 대해 그리고 기준 물체에 대해 측정된다.

[0045] 측정가능한 값($\Delta \eta_{LR}$) 및 실제 파라미터(Δw_{LR})가 계산된 다음, Δh 는 함수 "f"를 사용하여 얻어진다. 함수 "f"는 단조 함수로 고려될 수 있고, 교정 프로세스를 사용하여 구축될 수 있다. 임의의 알려진 근사치를 함수 "f"에 적용할 때, 그의 제1 근사치는 선형일 수 있고 단지 2개의 계수들/파라미터들만 요구할 것이며 이는 α 및 β 로 불릴 것이다. 그러한 계수들은 교정에 의해 얻어질 수 있거나, 모의될 수 있거나, 사전에 선택될 수 있다.

[0046] 이에 따라, 모델의 제1 버전은 다음:

[0047] $\Delta \eta_{LR} = \beta(\Delta h) + \alpha(\Delta w_{LR})$ 에 실질적으로 가까울 수 있고,

[0048] 여기서, 계수들(α 및 β)은 각각, 채널 폭 "w" 및 높이 "h"로부터의 상대 그레이 레벨(η)의 의존성을 특징짓는다.

[0049] 특히, $\Delta \eta_{LR} = \eta_{\text{국부}} - \eta_{\text{기준}}$ 이고,

[0050] 여기서, $\eta_{\text{국부}} = Y_{\text{국부(바닥)}} / Y_{\text{국부(최상부)}}$ 이고,

[0051] $\eta_{\text{기준}} = Y_{\text{기준(바닥)}} / Y_{\text{기준(최상부)}}$ 이다.

[0052] Y 는 패턴의 최상부 또는 바닥에서의 산출물(휘도)을 나타낸다.

[0053] 특정 측정을 위해 선택된 국부 채널 및 기준 채널이 SEM 이미지 상에서 서로 매우 멀리 떨어져 위치될 수 있고, 각각의 채널은 각각의 채널의 대응하는 벽 부분과 연관되어 채널의 최상부 및 바닥을 형성한다는 것을 이해해야 한다. 게다가, 제안된 기법의 경우, 채널들 중 하나(말하자면, 기준 채널)는 그의 실제 측정에 의해 반드시 표현될 필요는 없다. 예를 들어, 이는 측정들의 프로세스에서 획득된 평균 값에 의해 표현될 수 있다.

[0054] 국부 채널-기준 채널 방법론은, 코어 트렌치들에 캡 트렌치들이 개재된 코어-캡 쌍의 높이 차이를 측정하는 데에 사용될 수 있다. 도 2c는, 반도체 웨이퍼 상의 일부 주기적 구조에 속하는 코어 및 캡 트렌치들의 그레이 레벨 윤곽들을 포함하는 패턴으로부터 SEM 이미지의 예시적인 부분을 예시한다. 이 도면에서, 인접한 트렌치들

의 각각의 쌍은 하나의 코어 트렌치(18) 및 하나의 캡 트렌치(19)를 포함한다. 위에서 논의된 일반적인 기준 채널-국부 채널 모델과 유사하게, 코어 트렌치는 기준 채널로서 사용될 수 있고 캡 트렌치는 국부 채널로서 사용될 수 있거나, 그 반대의 경우도 마찬가지이다. 본 양수인이 소유한 미국 특히 8,538,130은, 반도체 웨이퍼 상에 제조된 주기적 구조의 코어-캡 쌍들을 포함하는 유사한 구조적 요소들을 분류하는 CD 계측 시스템 및 방법을 설명한다.

[0055] 도 3은, 도 2c에 도시된 주기적 구조의 개략적인 예시적인 측면도(또는 단면도)이고, 여기서 캡 트렌치들(19)이 코어 트렌치들(18)보다 더 깊으며 코어 트렌치들과 캡 트렌치들 사이에 전형적인 물질 함몰부(Δh 또는 높이 차이)가 존재한다는 것에 주목할 수 있다. 물질 함몰부는 일반적으로, 다중 패터닝 기법들(예컨대, 이중 패터닝)의 결과이다. 캡 트렌치는 코어 트렌치의 높이(H_c)보다 더 큰 높이(H_g)를 갖는다. 각각의 캡 트렌치 및 코어 트렌치의 폭들(W_g 및 W_c)이 또한 상이할 수 있다.

[0056] 바닥에서의 그레이 레벨 휘도($y_{바닥}$)와 최상부에서의 휘도($y_{최상부}$) 사이의 비율(η)이, 인접한 캡 및 코어 트렌치들의 쌍(예를 들어, 예시적인 쌍(1))에 대해 2번 측정된다. 측정된 비율들은 인접한 캡 및 코어 트렌치들의 상이한 높이들로 인해 상이하다.

[0057] 이 경우에 모델의 제안된 제1 버전의 선형 함수는 다음:

$$\Delta \eta_{cg} = \beta(\Delta h) + \alpha(\Delta w_{cg}) \text{ 과 같이 표현되고,}$$

[0059] 여기서, $\Delta \eta_{cg}$ 는 코어-캡 쌍에 대한 휘도 비율(즉, 최상부에서의 휘도($y_{최상부}$)와 바닥에서의 휘도($y_{바닥}$) 사이의 비율)의 차이이고, Δh 는 코어-캡 쌍에 대한 높이 차이이고, Δw_{cg} 는 코어-캡 쌍에 대한 폭 차이이다. α 및 β 는 측정들/교정으로부터 통계적으로 계산되거나 사전선택된 계수들이다. 위의 식에서 보여진 선형 관계는, 사전에 수신되거나 모의 및/또는 교정에 의해 유도된 계수들(α 및 β)을 고려하면서, SEM 이미지를 사용한 폭들(W_g 및 W_c) 및 휘도($y_{최상부(c)}$, $y_{바닥(c)}$, $y_{최상부(g)}$, 및 $y_{바닥(g)}$)의 측정들에 기초하여 Δh 를 계산하는 것을 허용한다. 계수(α)는 트렌치의 폭으로부터 η 의 의존성($d\eta/dw$)을 표현한다. 계수(β)는 트렌치의 높이로부터 η 의 의존성($d\eta/dh$)을 표현한다.

[0060] 도 4는 위에서 설명된 모델의 버전을 사용하여 인접한 코어 트렌치와 캡 트렌치 사이의 높이 차이를 결정하기 위한 예시적인 방법의 흐름도이다. 본 출원은 주기적 패턴의 인접한 코어 트렌치 및 캡 트렌치를 반복적으로 언급한다. 그러나, 방법은 규칙적이지 않은 패턴의 2개의 채널들 – 2개의 채널들은 캡-코어의 "쌍"으로 고려됨 – 의 Δh 를 측정하기 위해 본 개시내용의 범위 내에서 수정될 수 있다. 도 4의 방법은 하드웨어(예를 들어, 처리 디바이스, 회로, 전용 로직, 프로그램가능 로직, 마이크로코드, 디바이스의 하드웨어, 집적 회로 등), 소프트웨어(예를 들어, 처리 디바이스 상에서 작동 또는 실행되는 명령어들), 또는 이들의 조합을 포함할 수 있는 처리 로직에 의해 수행될 수 있다. 일부 실시예들에서, 도 4의 방법은 도 1a 및 1b에 도시된 시스템에 의해 수행될 수 있다.

[0061] 도 4에 도시된 바와 같이, 방법은, 블록(20)에서, 웨이퍼(W) 상의 패턴을 갖는 샘플을 1차 전자들의 빔으로 주사하는 것으로 시작할 수 있다. 블록(22)에서, SEM의 하나 이상의 검출기는 후방산란된 및 2차 전자들을 검출한다. 검출기 데이터에 기초하여, 웨이퍼의 하나 이상의 SEM 이미지가 SEM에 의해 생성된다. 블록(24)에서, 하나 이상의 SEM 이미지는 조합된 SEM 이미지를 생성하기 위해 조합된다. 블록(26)에서, 각각의 코어-캡 쌍의 폭이 측정되고, 이들의 폭 차이가 계산된다. 이러한 기능은 측정 모듈(MM)에서 수행될 수 있다. 각각의 코어-캡 쌍에 대해, 블록(28)에서, 바닥에서 그리고 최상부에서 그레이 레벨이 측정되고, 캡 및 코어에 대해 η 를 계산한 다음에 $\Delta \eta$ 를 계산한다. 각각의 코어-캡 쌍에 대해 η 및 $\Delta \eta$ 를 계산할 때, 그레이 레벨의 수행된 측정에 기초하여, 관심 영역에 대해 평균화가 이루어질 수 있다. 최종적으로, 블록(30)에서, $V=f(\Delta h)$ 에 대한 모델의 제1 버전을 사용하여 높이 차이(Δh)가 유도되고, 여기서 함수(f)는, $\Delta \eta_{cg} = \beta(\Delta h) + \alpha(\Delta w_{cg})$ 로 표현된다. 특히, $\Delta h = (\Delta \eta_{cg} - \alpha \Delta w_{cg})/\beta$ 이다.

[0062] 위에서 언급된 측정가능한 값들 및 실제 파라미터들은 절대적이거나 평균화될 수 있다는 점에 주목해야 한다. 이들은 특정한 2개의 채널들에 대해 절대적이고, 패턴의 특정 영역에 대해 평균화될 수 있다. 상대 그레이 레벨(또는 휘도)(η)은 절대적이거나 평균화될 수 있다. 절대 η 는 특정 코어-캡 쌍의 특정 캡/코어에 대해 측정될(계산될) 수 있는 반면, 평균 η 는 주기적 구조의 관심 영역의 캡들/코어들/쌍들의 군에 대해 측정될(계산될)

수 있다.

[0063] 유사하게, 실제 파라미터 " Δw_{cg} "는 SEM 이미지 상의 (하나의 코어-캡 쌍의) 코어 트렌치의 폭 " w_c " 및 인접한 캡 트렌치의 폭 " w_g "의 측정에 의해 획득될 때에는 절대적인 반면, " Δw_{cg} "는 관심 영역에 대해 계산되는 경우에는 다수의 절대 파라미터들 " Δw_{cg} "에 기초하여 평균화될 것이다. 물질 함몰부 " Δh "는 특정 코어-캡 쌍에 대해 측정될 때 절대적이고, 관심 영역에 대해 계산될 때 평균화될 것이다(다수의 절대 " Δh "에 기초하거나 평균화된 " Δw_{cg} "에 기초함). 추가로, "통계적 측정들"이라는 용어는, 예를 들어, 실제 측정들에 의해 획득된 경험적 데이터를 사용하는 교정으로서, 또는 단지 평균화된 실제 측정들로서 이해될 수 있다.

[0064] 모델의 버전(2): 다양한 전자 빔 기울기 각도에 의한 높이 차이 결정

[0065] 모델의 제2 버전은, 주사 전자 빔의 기울기 각도가 변화될 때 SEM 이미지 상의 2개의 특징적인 지점들 사이의 측정된 거리의 변화로 표현될 수 있는 변수로부터 높이 차이를 계산한다. 관련 기술분야의 통상의 기술자는, 패턴의 측면도 상의 "특징적인 지점"이, 동일한 패턴의 상면도 상의 "특징적인 선"에 대응할 수 있고, 2개의 특징적인 지점들 사이의 거리는 2개의 평행한 특징적인 선들 사이의 거리에 대응한다는 것을 이해할 것이다.

[0066] 특징적인 선은 주기적 구조의 바닥 에지를 따라 위치된 띠의 형태의 밝은 점으로 이해되어야 한다. 실제로, 그러한 특징적인 선은 구조의 바닥과 벽 사이의 바닥 코너를 따라 발견되는데, 코너는 경사진 주사 전자 빔에 의해 도달되고 따라서, 코너의 바닥 부분과 벽 부분 양쪽 모두로부터의 전자들의 방출로 인해 SEM 이미지에서 상대적으로 밝은(특징적인) 점을 생성한다.

[0067] 도 5는, 도 2c 및 도 3에 도시된, 단지 더 현실적인 둥근 윤곽들을 갖는 동일한 패턴의 측면도를 도시한다. 패턴은 먼저, 웨이퍼의 표면에 수직인 축(점선들)에 대해 기울기 각도($\gamma 1$)를 갖는 전자 빔(40)으로 주사된다. 그 다음에, 패턴은 $\gamma 1$ 과 상이한 $\gamma 2$ 로 경사진 전자 빔(42)에 의해 주사될 수 있다. 전체 조건은, 각도들 양쪽 모두에 대해, 적어도 하나의 검출기(D1)가, 캡 트렌치의 바닥 코너(Cg)에서, 그리고 그의 인접한 코어 트렌치의 바닥 코너(Cc)에서, 특징적인 선을 기록할 것이라는 점이고, 캡 및 코어 트렌치들은, 여기서 쌍(1)으로 표시된 동일한 코어-캡 쌍에 속한다. Cg 및 Cc에서의 특징적인 선들은 D1에 의해 수집된 데이터로부터 획득된 SEM 이미지 상에서 밝은 점들로 보일 것이다. 기울기 각도가 변화될 때 선들은 그들의 위치들이 변화될 것이다. 이는 도 6에서 더 상세히 도시된다. 추가적인 조건은, 검출기들의 SEM 이미지들을 비교하고 그 이미지들 상의 거리들($\Delta X1$ 및 $\Delta X2$)을 측정하기 위해 적어도 하나의 검출기가, 기울기 각도들($\gamma 1$ 및 $\gamma 2$) 양쪽 모두에 대해 특징적인 선들을 기록할 수 있어야 한다는 점이다.

[0068] 그 다음, 동일한 코어-캡 쌍에 대해 상이한 기울기 각도들로 획득된, Cc 및 Cg에서의 특징적인 선들 사이에 측정된 거리들($\Delta X1$ 및 $\Delta X2$)은 그 코어-캡 쌍의 물질 함몰부(Δh)를 계산하기 위해 사용된다.

[0069] 도 6은 도 2c 및 도 5에 도시된 패턴의 SEM 이미지의 개략적인 간략화된 부분을 도시하는데, 여기서, 상이한 기울기 각도들로 생성된 특징적인 선들은 규칙적인 구조의 밝은 회색 최상부들과 어두운 회색 바닥부들 사이의 흰 부분들로서 개략적으로 도시된다. 기울기 각도($\gamma 1$)에서의 특징적인 선들은 더 협소하게 보이는 반면, 기울기 각도($\gamma 2$)에서의 특징적인 선들은 더 넓게 보이는데, 이는 $\gamma 1 < \gamma 2$ 이기 때문이다. 기울기 방향이 두꺼운 화살표들에 의해 개략적으로 도시된다. 거리들(ΔX)이 특정 코어-캡 쌍에 대해, 특징적인 선들의 우측 단부들 사이에서 측정된다(우측 단부들은 검은 파선들로 표기됨). 얇은 코어들에서의 특징적인 선들이, 더 깊은 캡들에서의 특징적인 선들보다 더 넓다는 것에 주목해야 한다.

[0070] 예를 들어, 기울기 각도($\gamma 1$)에서 획득된 SEM 이미지 상에 보이는 특징적인 선들 사이의 코어-캡 쌍(1)(코어(1) 및 캡(1))에 대해 거리($\Delta X1$)가 측정된다. 거리($\Delta X2$)는 기울기 각도($\gamma 2$)에서 획득된 SEM 이미지 상에 보이는 특징적인 선들 사이의 동일한 코어-캡 쌍(1)에 대해 측정된다. 유사한 거리들이, 다른 코어-캡 쌍에 대해 측정될 수 있다(예를 들어, 쌍(2)은 캡(1) 및 코어(2)를 포함함). 볼 수 있듯이, 기울기 각도를 변경하면 거리(ΔX)가 변한다. 변화는 코어-캡 쌍 사이의 높이 차이의 함수이기 때문에, 높이 차이는 모델의 적절한 버전을 사용하여 ΔX 로부터 유도될 수 있다.

[0071] 위에서 언급된 측정가능한 값($\Delta(\Delta X)$)이, 주사 전자 빔의 2개의 상이한 기울기 각도들(γ)에 대해 획득된 2개의 각각의 SEM 이미지들을 사용하여 측정된 거리(ΔX)의 2개의 값들로부터 계산될 수 있다는 것을 이해해야 한다. 예를 들어, 2개의 기울기 각도들이 선택될 수 있고, 값($\Delta(\Delta X)$)이 특정 "코어-캡" 쌍에 대해 획득될 수 있다.

[0072] 도 7은 모드의 버전(2)에 따른 방법을 수행하기 위한 예시적인 흐름도이다. 도 7의 방법은 하드웨어(예를

들어, 처리 디바이스, 회로, 전용 로직, 프로그램가능 로직, 마이크로코드, 디바이스의 하드웨어, 집적 회로 등), 소프트웨어(예를 들어, 처리 디바이스 상에서 작동 또는 실행되는 명령어들), 또는 이들의 조합을 포함할 수 있는 처리 로직에 의해 수행될 수 있다. 또한, 패턴은 물질 함몰부를 갖는 불규칙 구조 또는 주기적 구조일 수 있다. 일부 실시예들에서, 도 4의 방법은 도 1a 및 1b에 도시된 시스템에 의해 수행될 수 있다. 이 모델을 구현하기 위해 적어도 하나의 검출기가 필수적이라는 점에 주목해야 한다.

[0073] 도 7의 방법은, 2개의 기울기 각도들(γ_1 및 γ_2)의 1차 전자들의 범으로 패턴을 주사하는 것으로 블록(50)에서 시작한다. 다음으로, 블록(52)에서, 2차 및 후방산란된 전자들이 하나 이상의 검출기에 의해 검출되고, 이로써, 각각의 기울기 각도에 대한 대응하는 SEM 이미지를 생성한다. SEM 이미지는 다수의 검출기들로부터의 데이터를 사용한 조합된 이미지일 수 있다는 것에 주목한다. 블록(54)에서, 특정 기울기 각도에 대해 획득된 각각의 SEM 이미지에 대해서, 각각의 코어-캡 쌍에 대해 그 특정 기울기 각도에서 생성된 특징적인 선들이 식별된다. 블록(56)에서, 각각의 특정 코어-캡 쌍에 대해, 2개의 상이한 기울기 각도들에서의 특징적인 선들 사이의 거리(ΔX_1 및 ΔX_2)가 측정된다. 그 이후에, 그러한 거리들 사이의 차이, 즉, $\Delta(\Delta X)$ 가 계산된다. 블록(58)에서, 모델의 버전(2)의 함수를 사용하여 Δh 가 계산되고, 여기서, 변수($\Delta(\Delta X)$)는 다음의 식: $\Delta(\Delta X) = (\Delta(\tan \gamma)) * \Delta h$ 에서 보이는 바와 같이, Δh 의 함수이며, 여기서 ($\Delta(\tan \gamma)$)는 $V=f(\Delta h)$ 에서의 함수 "f"이고, 이는 기울기 각도의 변화를 반영한다.

[0074] 요약하면, 모델의 제2 버전에서 측정가능한 값(V)을 측정하는 방법은, 예를 들어, 다음의 하위 단계들:

[0075] 전자 범에 대한 2개의 상이한 각도들을 선택함으로써, 함수 "f"의 2개의 실제 파라미터들을 각도들(γ_1 및 γ_2)로서 선택하고, 제3 실제 파라미터($\Delta \tan \gamma$)를 ($\tan(\gamma_1) - \tan(\gamma_2)$)로서 계산하는 단계;

[0076] 각도(γ_1)로 경사진, 그리고 그 다음에 각도(γ_2)로 경사진 전자 범으로 규칙적인 구조를 주사하는 단계,

[0077] 2개의 각각의 상이한 각도들(γ_1 및 γ_2)에 대해 패턴의 2개의 SEM 이미지들(I_{γ_1} 및 I_{γ_2})을 획득하는 단계,

[0078] 2개의 이미지들(I_{γ_1} 및 I_{γ_2}) 각각에 대해 채널들(말하자면, 인접한 코어 및 캡 트렌치들)의 쌍의 2개의 특징적인 선들을 결정하는 단계(여기서, 2개의 특징적인 선들은 경사진 전자 범에 의해 조명될 때 인접한 코어 및 캡 트렌치들의 쌍의 바닥 코너들(C_c 및 C_g)에 의해 상기 이미지들 상에 생성된 것들임);

[0079] 2개의 이미지들(I_{γ_1} 및 I_{γ_2}) 각각에 대해 채널들의 쌍의 2개의 특징적인 선들 사이의 거리(ΔX)를 결정하는 단계,

[0080] 이미지(I_{γ_1})에서 결정된 거리(ΔX)와 이미지(I_{γ_2})에서 결정된 거리(ΔX) 사이의 차이($\Delta(\Delta X)$)로서 값(V)을 측정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0081] 그 다음, 높이 차이(Δh)는 $\Delta h = \Delta(\Delta X) / (\Delta(\tan \gamma))$ 로서 결정되고, 여기서, $\Delta \tan \gamma = \tan(\gamma_1) - \tan(\gamma_2)$ 이다.

[0082] 관심 영역은 웨이퍼의 주기적 구조 상에 선택될 수 있고, 절대 측정들(및/또는 절대 측정들에 기초하여 이루어진 절대 계산들)은 관심 영역에서 사전선택된 하나 이상의 축/방향을 따라 평균화될 수 있다. 이는 측정들의 정확도와 웨이퍼의 특정 영역 또는 전체 웨이퍼에서의 높이 차이의 적절한 추정 사이의 절충을 유도한다.

[0083] 도 8은, 기계로 하여금 본원에 논의된 방법론들 중 임의의 하나 이상을 수행하게 하기 위한 명령어들의 세트가 내부에서 실행될 수 있는 컴퓨터 시스템(600)의 예시적인 기계를 예시한다. 대안적인 구현들에서, 기계는 LAN, 인트라넷, 엑스트라넷 및/또는 인터넷으로 다른 기계들에 연결(예를 들어, 네트워킹)될 수 있다. 기계는 클라이언트-서버 네트워크 환경에서의 서버 또는 클라이언트 기계로서, 또는 피어-투-피어(또는 분산형) 네트워크 환경에서의 피어 기계로서, 또는 클라우드 컴퓨팅 기반구조 또는 환경에서의 서버 또는 클라이언트 기계로서 작동할 수 있다.

[0084] 기계는 개인용 컴퓨터(PC), 태블릿 PC, 셋톱 박스(STB), 휴대 정보 단말기(PDA), 셀룰러 전화기, 웹 기기, 서버, 네트워크 라우터, 스위치 또는 브리지, 또는 기계에 의해 취해질 동작들을 명시하는 (순차적 또는 다른 방식의) 명령어들의 세트를 실행할 수 있는 임의의 기계일 수 있다. 또한, 단일 기계가 예시되어 있지만, "기계"라는 용어는 또한, 본원에 논의된 방법론들 중 임의의 하나 이상을 수행하도록 명령어들의 세트(또는 복수의 세트들)를 개별적으로 또는 공동으로 실행하는 기계들의 임의의 집합을 포함하는 것으로 간주되어야 한다.

[0085] 예시적인 컴퓨터 시스템(600)은, 버스(608)를 통해 서로 통신하는, 처리 디바이스(602), 주 메모리(604)(예를 들어, 판독 전용 메모리(ROM), 플래시 메모리, 동적 랜덤 액세스 메모리(DRAM), 예컨대, 동기식 DRAM(SDRAM) 등), 정적 메모리(606)(예를 들어, 플래시 메모리, 정적 랜덤 액세스 메모리(SRAM) 등), 및 데이터 저장 디바이

스(616)를 포함한다.

- [0086] 처리 디바이스(602)는 하나 이상의 범용 처리 디바이스, 예컨대, 마이크로프로세서, 중앙 처리 유닛 등을 나타낸다. 더 구체적으로, 처리 디바이스는 복합 명령어 세트 컴퓨팅(CISC) 마이크로프로세서, 축소 명령어 세트 컴퓨팅(RISC) 마이크로프로세서, 매우 긴 명령어(VLIW) 마이크로프로세서, 또는 다른 명령어 세트들을 구현하는 프로세서, 또는 명령어 세트들의 조합을 구현하는 프로세서일 수 있다. 처리 디바이스(602)는 또한, 하나 이상의 특수 목적 처리 디바이스, 예컨대, 주문형 집적 회로(ASIC), 필드 프로그래밍 가능 게이트 어레이(FPGA), 디지털 신호 프로세서(DSP), 네트워크 프로세서 등일 수 있다. 처리 디바이스(602)는 본원에 논의된 작동들 및 단계들을 수행하기 위한 명령어들을 실행하도록 구성된다.
- [0087] 컴퓨터 시스템(600)은 네트워크(618)를 통해 통신하기 위해 네트워크 인터페이스 디바이스(622)를 더 포함할 수 있다. 컴퓨터 시스템(600)은 또한, 비디오 디스플레이 유닛(610)(예를 들어, 액정 디스플레이(LCD) 또는 음극 선관(CRT)), 문자숫자식 입력 디바이스(612)(예를 들어, 키보드), 커서 제어 디바이스(614)(예를 들어, 마우스 또는 터치 패드), 신호 발생 디바이스(620)(예를 들어, 스피커), 그래픽 처리 유닛(도시되지 않음), 비디오 처리 유닛(도시되지 않음), 및 오디오 처리 유닛(도시되지 않음)을 포함할 수 있다.
- [0088] 데이터 저장 디바이스(616)는, 본원에 설명된 방법론들 또는 기능들 중 임의의 하나 이상을 실현하는 소프트웨어 또는 명령어들의 하나 이상의 세트가 저장되어 있는 기계 판독가능 저장 매체(624)(또한, 컴퓨터 판독가능 매체로 알려짐)를 포함할 수 있다. 명령어들은 또한, 컴퓨터 시스템(600)에 의한 명령어들의 실행 동안 완전하게 또는 적어도 부분적으로 주 메모리(604) 내에 그리고/또는 처리 디바이스(602) 내에 상주할 수 있으며, 주 메모리(604) 및 처리 디바이스(602)는 또한, 기계 판독가능 저장 매체를 구성한다.
- [0089] 일 구현에서, 명령어들은, 높이 차이 결정에 대응하는 기능성을 구현하기 위한 명령어들을 포함한다. 예시적인 구현에서 기계 판독가능 저장 매체(624)가 단일 매체인 것으로 도시되어 있지만, "기계 판독가능 저장 매체"라는 용어는 명령어들의 하나 이상의 세트를 저장하는 단일 매체 또는 복수 매체들(예를 들어, 중앙집중형 또는 분산형 데이터베이스 및/또는 연관된 캐시들 및 서버들)을 포함하는 것으로 간주되어야 한다. "기계 판독가능 저장 매체"라는 용어는 또한, 기계에 의한 실행을 위해 명령어들의 세트를 저장하거나 인코딩할 수 있으며 기계로 하여금 본 개시내용의 방법론들 중 임의의 하나 이상을 수행하게 하는 임의의 매체를 포함하는 것으로 간주되어야 한다. 이에 따라, "기계 판독가능 저장 매체"라는 용어는, 솔리드 스테이트 메모리들, 광학 매체들 및 자기 매체들(그러나 이에 제한되지는 않음)을 포함하는 것으로 간주되어야 한다.
- [0090] 전술한 상세한 설명의 일부 부분들은 컴퓨터 메모리 내의 데이터 비트들에 대한 연산들의 상징적 표현들 및 알고리즘들의 측면에서 제시되었다. 이러한 알고리즘 설명들 및 표현들은, 데이터 처리 기술분야의 통상의 기술자가, 그들의 작업의 본질을 관련 기술분야의 다른 통상의 기술자에게 가장 효과적으로 전달하기 위해 사용하는 방식들이다. 알고리즘은 본원에서 그리고 일반적으로, 원하는 결과로 이어지는 자기 부합적인 일련의 작동들인 것으로 생각된다. 이 작동들은 물리적 양들의 물리적 조작들을 요구하는 작동들이다. 꼭 그럴 필요는 없지만 보통, 이러한 양들은 저장, 결합, 비교, 그리고 다른 방식으로 조작될 수 있는 전기 또는 자기 신호들의 형태를 취한다. 이러한 신호들을 비트들, 값들, 요소들, 심볼들, 문자들, 용어들, 숫자들 등으로 지칭하는 것이, 주로, 공통 사용이라는 이유로, 때때로 편리하다는 것이 증명되었다.
- [0091] 그러나, 이러한 용어들 및 유사한 용어들 전부는 적절한 물리적 양들과 연관되어야 하며 단지 이러한 양들에 적용되는 편리한 표시들이라는 점을 염두에 두어야 한다. 위의 논의로부터 명백한 것으로서 다른 방식으로 구체적으로 언급되지 않는 한, 설명 전반에 걸쳐, "식별" 또는 "결정" 또는 "실행" 또는 "수행" 또는 "수집" 또는 "생성" 또는 "전송" 등과 같은 용어들을 활용한 논의들이, 컴퓨터 시스템의 레지스터들 및 메모리를 내에서 물리적 (전기적) 양들로서 표현되는 데이터를 컴퓨터 시스템 메모리들 또는 레지스터들 또는 다른 그러한 정보 저장 디바이스들 내에서 물리적 양들로서 유사하게 표현되는 다른 데이터로 조작하고 변환시키는 컴퓨터 시스템 또는 유사한 전자 컴퓨팅 디바이스의 작동 및 프로세스들을 지칭한다는 것이 이해된다.
- [0092] 본 개시내용은 또한, 본원의 작동들을 수행하기 위한 장치에 관한 것이다. 이러한 장치는 의도된 목적들을 위해 특별히 구성될 수 있거나, 이는 컴퓨터에 저장된 컴퓨터 프로그램에 의해 선택적으로 활성화되거나 재구성되는 범용 컴퓨터를 포함할 수 있다. 그러한 컴퓨터 프로그램은 컴퓨터 판독가능 저장 매체, 예컨대, 각각이 컴퓨터 시스템 버스에 결합된, 플로피 디스크들, 광학 디스크들, CD-ROM들, 및 광자기 디스크들을 포함한 임의의 유형의 디스크, 판독 전용 메모리들(ROM들), 랜덤 액세스 메모리들(RAM들), EPROM들, EEPROM들, 자기 또는 광학 카드들, 또는 전자적 명령어들을 저장하기에 적합한 임의의 유형의 매체들(그러나 이에 제한되지 않음)에 저장될 수 있다.

[0093]

본원에서 제공된 알고리즘들 및 디스플레이들은 임의의 특정한 컴퓨터 또는 다른 장치와 본질적으로 관련되지 않는다. 다양한 범용 시스템들이, 본원의 교시들에 따라 프로그램들과 함께 사용될 수 있거나, 방법을 수행하기 위해 더 특화된 장치를 구성하기에 편리하다는 것이 증명될 수 있다. 다양한 이러한 시스템들에 대한 구조가 아래의 설명에 설명되는 바와 같이 나타날 것이다. 추가적으로, 본 개시내용은 임의의 특정 프로그래밍 언어와 관련하여 설명되지 않는다. 다양한 프로그래밍 언어들이, 본원에 설명된 바와 같은 본 개시내용의 교시들을 구현하는 데에 사용될 수 있다는 것이 이해될 것이다.

[0094]

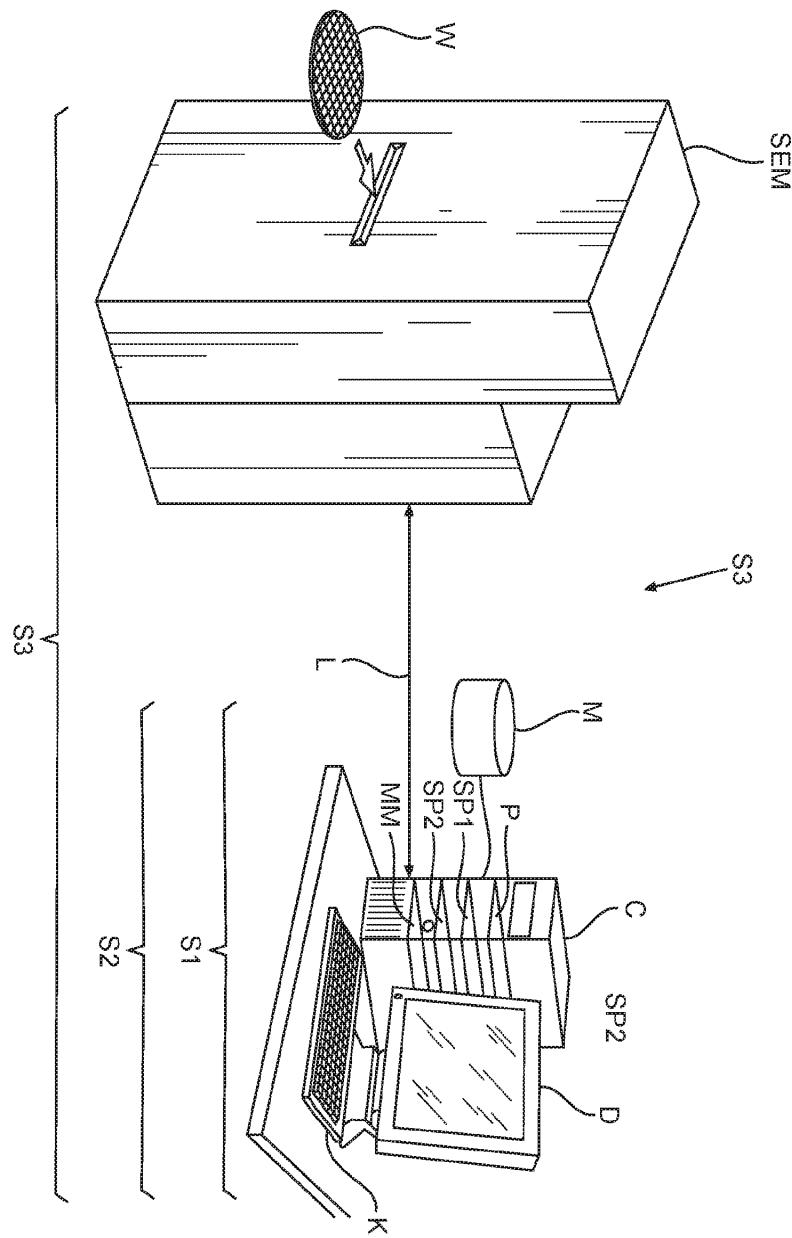
본 개시내용은, 본 개시내용에 따른 프로세스를 수행하도록 컴퓨터 시스템(또는 다른 전자 디바이스들)을 프로그래밍하는 데에 사용될 수 있는 명령어들이 저장되어 있는 기계 판독가능 매체를 포함할 수 있는 컴퓨터 프로그램 제품 또는 소프트웨어로서 제공될 수 있다. 기계 판독가능 매체는 기계(예를 들어, 컴퓨터)에 의해 판독 가능한 형태로 정보를 저장하기 위한 임의의 메커니즘을 포함한다. 예를 들어, 기계 판독가능(예를 들어, 컴퓨터 판독가능) 매체는 기계(예를 들어, 컴퓨터) 판독가능 저장 매체, 예컨대, 판독 전용 메모리("ROM"), 랜덤 액세스 메모리("RAM"), 자기 디스크 저장 매체, 광학 저장 매체, 플래시 메모리 디바이스 등을 포함한다.

[0095]

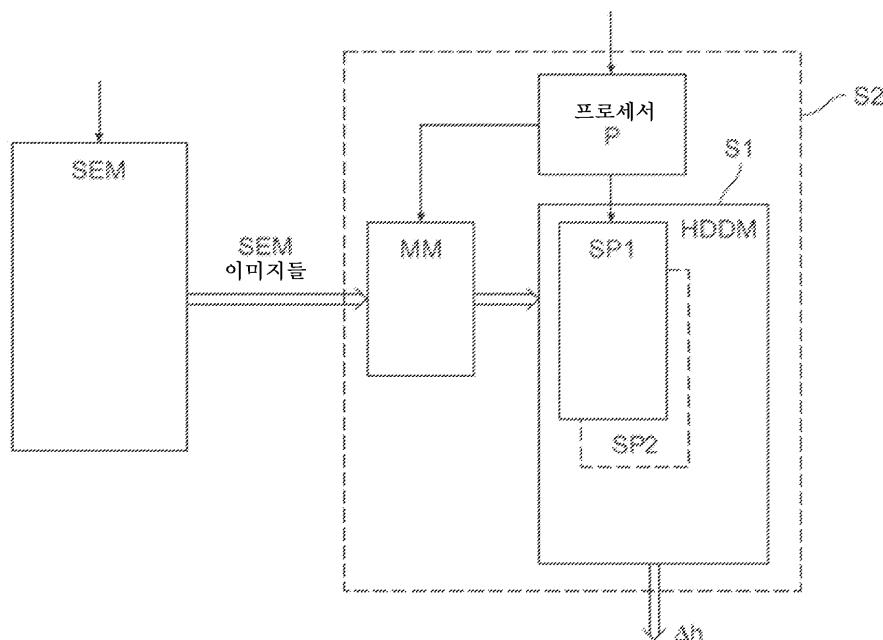
전술한 명세서에서, 본 개시내용의 구현들은 그의 특정한 예시적인 구현들을 참조하여 설명되었다. 다음의 청구항들에 열거된 바와 같이 본 개시내용의 구현들의 더 넓은 사상 및 범위로부터 벗어나지 않고 그에 대해 다양한 수정들이 이루어질 수 있다는 것이 명백할 것이다. 이에 따라, 본 명세서 및 도면들은 제한적인 의미보다는 예시적인 의미로 간주되어야 한다.

도면

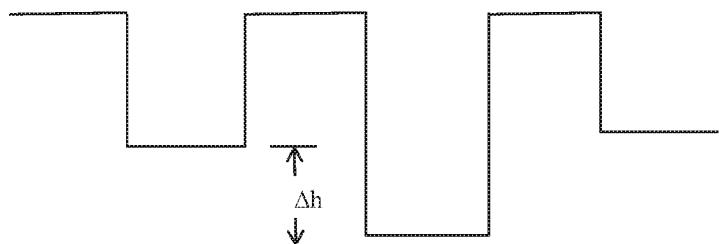
도면 1a



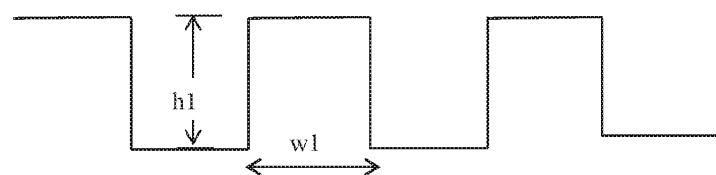
도면 1b



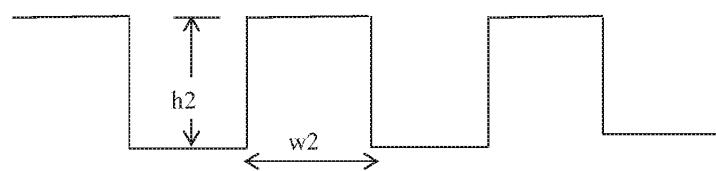
도면 1c



도면 1d

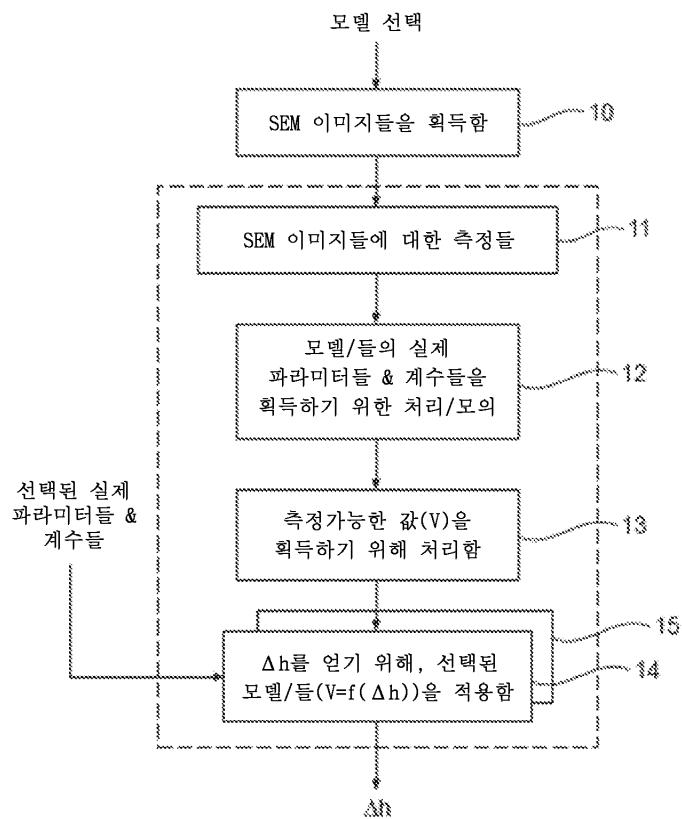


(a)

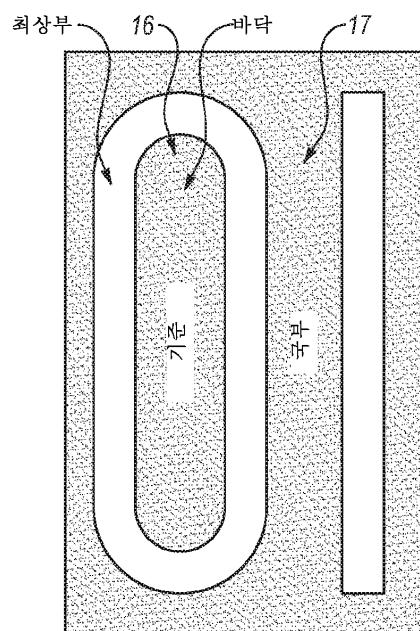


(b)

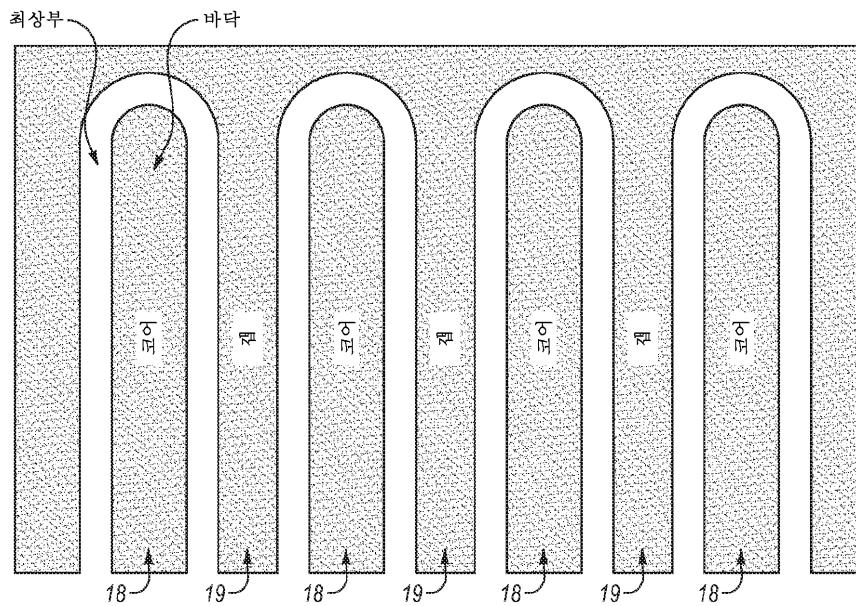
도면2a



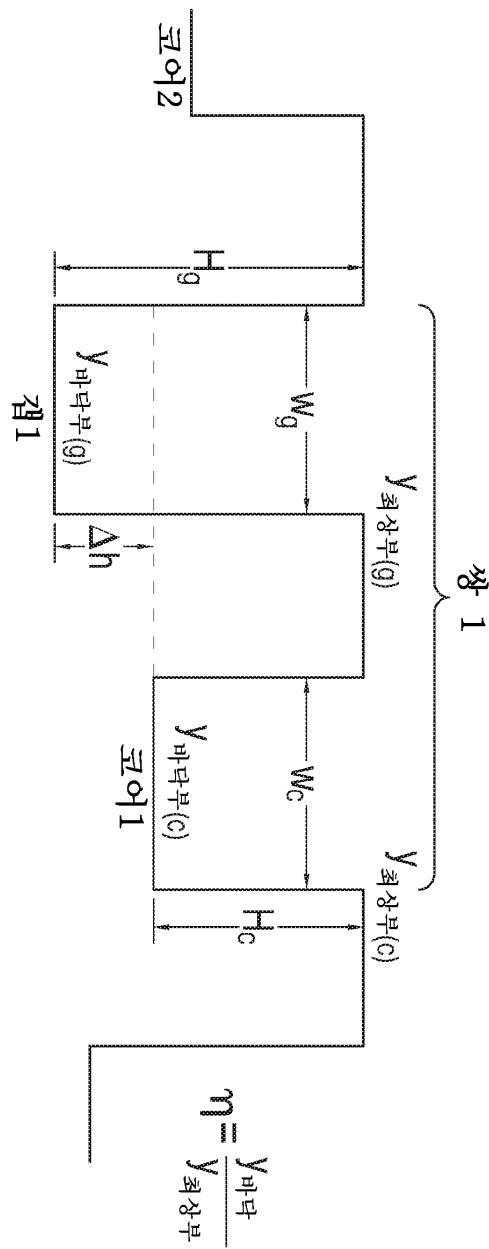
도면2b



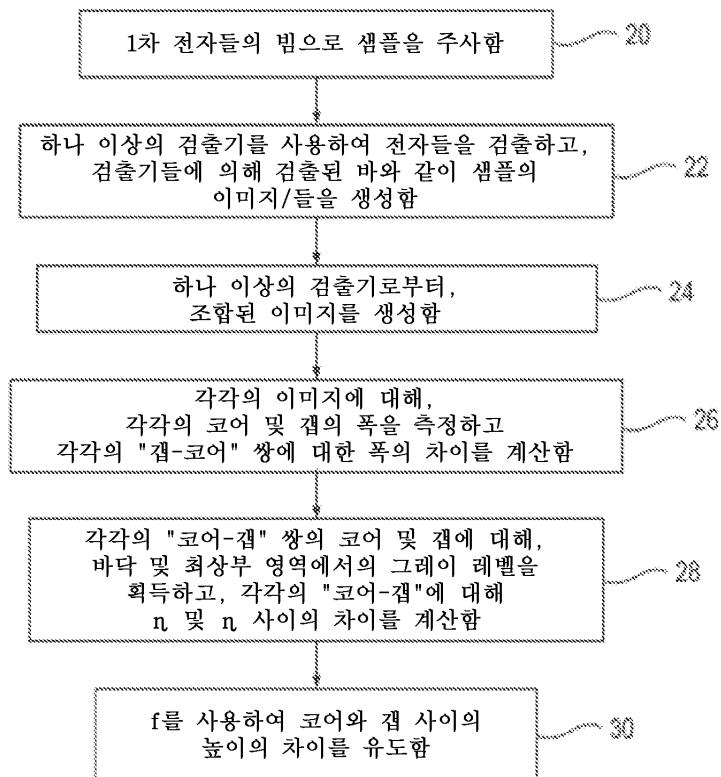
도면2c



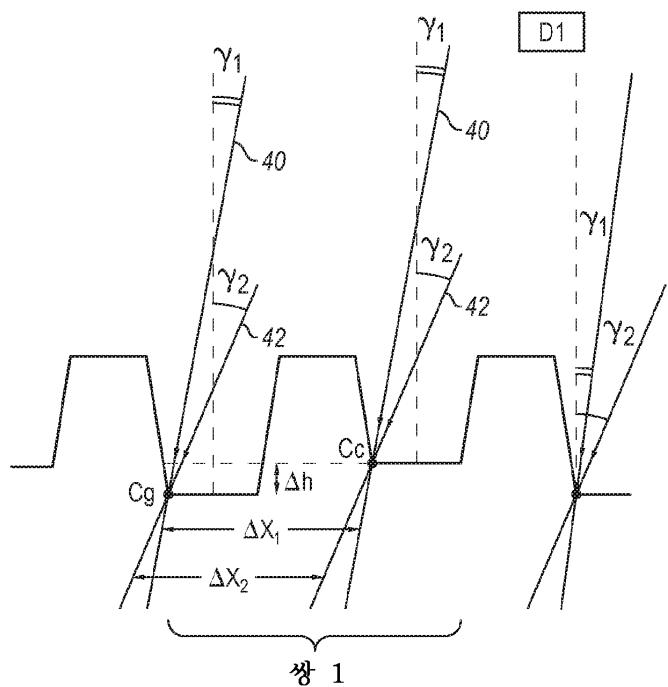
도면3



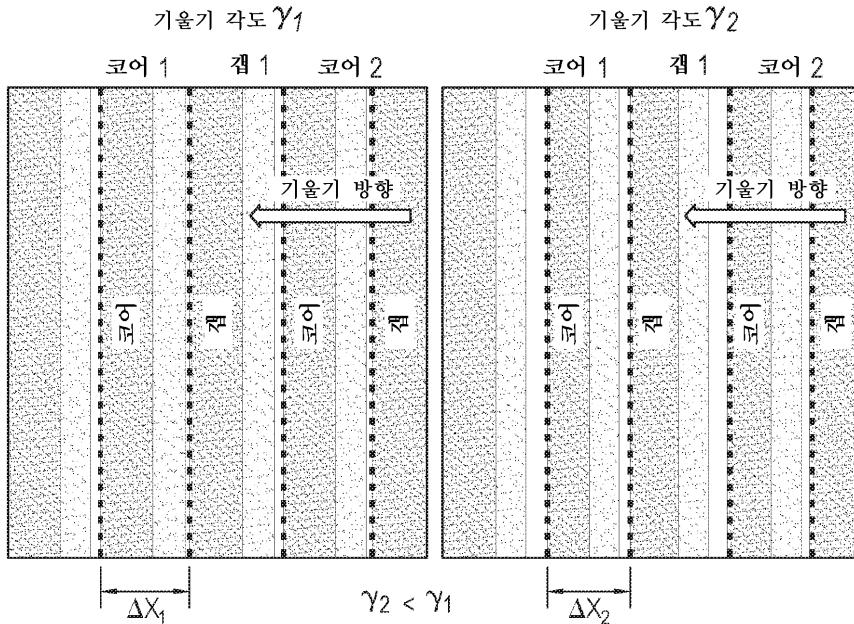
도면4



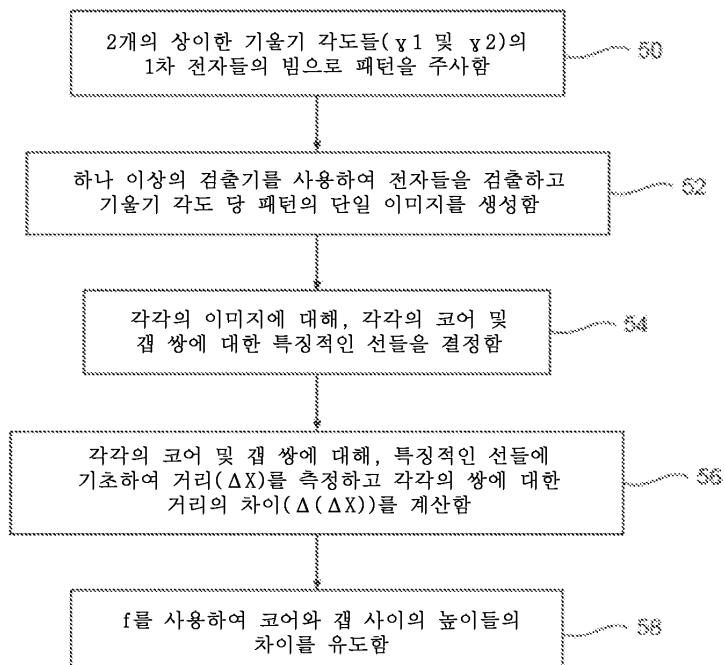
도면5



도면6



도면7



도면8

