



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년11월13일  
(11) 등록번호 10-1918251  
(24) 등록일자 2018년11월07일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G03F 7/20 (2006.01)
- (52) CPC특허분류  
G03F 7/70633 (2013.01)  
G03F 7/70125 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2017-7000018
- (22) 출원일자(국제) 2014년08월01일  
심사청구일자 2017년01월02일
- (85) 번역문제출일자 2017년01월02일
- (65) 공개번호 10-2017-0015453
- (43) 공개일자 2017년02월08일
- (86) 국제출원번호 PCT/EP2014/066616
- (87) 국제공개번호 WO 2015/185166  
국제공개일자 2015년12월10일
- (30) 우선권주장  
62/006,524 2014년06월02일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌  
US7061615 B1  
US20060117293 A1  
US20100175033 A1  
US20130035888A1

- (73) 특허권자  
에이에스엠엘 네델란즈 비.브이.  
네덜란드 5500 아하 벨트호벤 피.오.박스 324
- (72) 발명자  
덴 보에프, 아리에 예프레이  
네덜란드 엔엘-5500 아하 벨트호벤 피오 박스 324  
바타차리아, 카우스투브  
네덜란드 엔엘-5500 아하 벨트호벤 피오 박스 324
- (74) 대리인  
특허법인(유)화우

전체 청구항 수 : 총 23 항

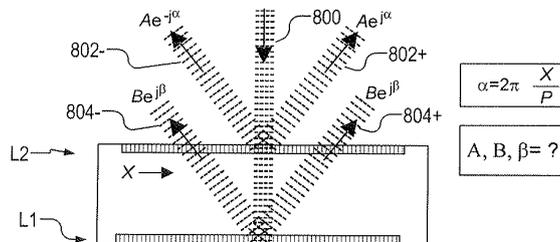
심사관 : 박종민

(54) 발명의 명칭 **메트롤로지 타겟들을 디자인하는 방법, 메트롤로지 타겟들을 갖는 기판들, 오버레이를 측정하는 방법, 및 디바이스 제조 방법**

**(57) 요약**

메트롤로지 타겟들이 리소그래피 공정에 의해 형성되고, 각각의 타겟은 저부 격자 및 최상부 격자를 포함한다. 리소그래피 공정의 오버레이 성능은 각각의 타겟을 방사선으로 조명하고 회절된 방사선에서 비대칭을 관찰함으로써 측정될 수 있다. 메트롤로지 레시피 및 타겟 디자인의 파라미터들이 재현정보다는 오버레이의 측정 정확성을 최대화하도록 선택된다. 상기 방법은 (i) 최상부 격자에 의해 회절된 방사선을 나타내는 제 1 방사선 성분과 (ii) 최상부 격자 및 중간 층들을 통해 이동한 후 저부 격자에 의해 회절된 방사선을 나타내는 제 2 방사선 성분 간의 상대 진폭 및 상대 위상 중 적어도 하나를 계산하는 단계를 포함한다. 최상부 격자 디자인은 상대 진폭이 1(unity)에 가까워지게 되도록 수정될 수 있다. 메트롤로지 레시피에서의 조명 방사선의 파장은 상대 위상이  $\pi/2$  또는  $3\pi/2$ 에 가까워지게 되도록 조정될 수 있다.

**대표도** - 도8



(52) CPC특허분류

*G03F 7/705* (2013.01)

*G03F 7/70616* (2013.01)

*G03F 7/70683* (2013.01)

---

**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

리소그래피 공정에 의해 형성될 메트롤로지 타겟들을 디자인하는 방법에 있어서,

각각의 타겟은 기판 상의 하부 층(lower layer)에 형성될 제 1 주기적 구조체 및 상기 기판 상의 상부 층(upper layer)에서 상기 제 1 주기적 구조체 위에 형성될 제 2 주기적 구조체를 포함하여, 각각의 타겟을 방사선으로 조명하고 결과적인 회절 스펙트럼의 일정(certain) 부분들에서 비대칭을 관찰함으로써 상기 리소그래피 공정의 오버레이 성능이 측정될 수 있도록 하고, 상기 방법은:

오버레이를 측정하는 데 사용될 조명 방사선의 특성들을 나타내는 1 이상의 메트롤로지 레시피 파라미터 (metrology recipe parameter)들을 정의하는 단계;

상기 타겟의 디자인을 나타내는 1 이상의 디자인 파라미터를 정의하는 단계;

(i) 상기 제 2 주기적 구조체에 의해 회절된 경우에 상기 조명 방사선을 나타내는 제 1 방사선 성분과 (ii) 제 2 층을 통해 제 1 층으로 이동하고 제 2 층으로 되돌아간 후 상기 제 1 주기적 구조체에 의해 회절된 경우에 상기 조명 방사선을 나타내는 제 2 방사선 성분 간의 상대 진폭 및 상대 위상 중 적어도 하나를 계산하는 단계; 및

선택된 값들에 따른 메트롤로지 타겟들이 리소그래피 공정에 의해 형성되고 측정되는 경우에 오버레이의 측정 정확성을 최대화하도록, 계산된 상대 진폭 및/또는 상대 위상에 기초하여 상기 메트롤로지 레시피 파라미터들 및 디자인 파라미터들에 대한 값들을 선택하는 단계

를 포함하는 방법.

**청구항 2**

제 1 항에 있어서,

상기 타겟의 디자인 파라미터들은 상기 제 1 및 제 2 성분들의 진폭들이 동일한 차수로(of the same order) 이루어지도록 선택되는 방법.

**청구항 3**

제 1 항에 있어서,

상기 제 2 방사선 성분의 진폭은 상기 제 1 방사선 성분의 진폭의 10 배를 넘지 않는 방법.

**청구항 4**

제 1 항에 있어서,

상기 제 2 주기적 구조체는 각각의 주기 내에서 일차 피처(primary feature)들 및 이차 피처(secondary feature)들을 포함하고, 상기 선택하는 단계는 상기 조명 방사선의 일부를 상기 회절 스펙트럼의 관찰되지 않는 부분(unobserved portion)들로 전환(divert)하도록 상기 일차 및 이차 피처들의 상대 치수들을 조정하는 단계를 포함하는 방법.

**청구항 5**

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 및 제 2 방사선 성분들은 상기 주기적 구조체들에 의해 1차로 회절된 방사선을 나타내고, 상기 회절 스펙트럼의 관찰되지 않는 부분들은 1차보다 높은 차수들을 포함하는 방법.

**청구항 6**

제 1 항에 있어서,

상기 메트롤로지 레시피 파라미터들 및 디자인 파라미터들의 값들은 상기 제 1 및 제 2 방사선 성분들 간의 상대 위상을 0 또는  $\pi$  보다는  $\pi/2$  또는  $3\pi/2$  라디안에 가깝게 하도록 선택되는 방법.

**청구항 7**

제 6 항에 있어서,

상기 조명 방사선의 파장은 상기 메트롤로지 레시피 파라미터들 중 하나이고, 상기 제 1 및 제 2 방사선 성분들 간의 상대 위상이 목표 값(desired value)을 갖게 하도록 조정되는 방법.

**청구항 8**

제 1 항에 있어서,

상기 상대 위상의 목표 값은  $\pi/2$  또는  $3\pi/2$  라디안인 방법.

**청구항 9**

제 1 항에 있어서,

상기 메트롤로지 레시피 파라미터들 및 디자인 파라미터들에 대한 값들을 선택하는 단계는:

상기 계산된 상대 진폭 및/또는 상대 위상에 기초하여 적어도 하나의 후보 디자인 및 복수의 후보 레시피들을 식별하는 단계;

각각의 레시피에 대해, 상기 타겟의 수학적 모델에서 시뮬레이션된 공정 변동들을 적용하면서 시뮬레이션된 오버레이 측정들을 계산하는 단계; 및

상기 시뮬레이션된 오버레이 측정들에서의 측정 오차에 기초하여 디자인 및 레시피의 최종 조합을 선택하는 단계

를 포함하는 방법.

**청구항 10**

제 1 항에 있어서,

상기 제 2 방사선 성분의 진폭은 상기 제 1 방사선 성분의 진폭의 5 배를 넘지 않는 방법.

**청구항 11**

제 1 항에 있어서,

상기 제 2 방사선 성분의 진폭은 상기 제 1 방사선 성분의 진폭의 2 배를 넘지 않는 방법.

**청구항 12**

제 1 항 내지 제 11 항 중 어느 한 항에 있어서,

리소그래피 공정에서 사용하기 위한 한 쌍의 패터닝 디바이스들을 형성하는 단계를 더 포함하고, 상기 패터닝 디바이스들은 기관에 순차적으로 적용되는 경우에 제품 피처(product feature)들 및 메트롤로지 타겟들을 생성할 패턴들을 정의하며, 상기 메트롤로지 타겟들은 제 1 항 내지 제 11 항 중 어느 한 항에 따른 방법에 의해 선택된 디자인 파라미터 값들에 따라 디자인된 주기적 구조체들을 갖는 방법.

**청구항 13**

리소그래피 공정에 의해 형성된 복수의 메트롤로지 타겟들이 제공된 기관에 있어서,

각각의 타겟은 적어도 기관 상의 하부 층에 형성되는 제 1 주기적 구조체 및 상부 층에서 상기 제 1 주기적 구조체 위에 형성되는 제 2 주기적 구조체를 포함하여, 각각의 타겟을 방사선으로 조명하고 결과적인 회절 스펙트럼의 일정 부분들에서 비대칭을 관찰함으로써 상기 제 1 및 제 2 주기적 구조체들 간의 정렬이 측정될 수 있도록 하고, 상기 제 2 주기적 구조체는 상기 회절 스펙트럼의 부분들에 대해 감소된 회절 효율을 갖도록 형성되는

수정된 격자(modified grating)이며, 일정 파장의 방사선에 대해 상기 제 2 주기적 구조체에 의해 회절된 방사선 성분의 진폭이 제 2 층 및 1 이상의 중간 층(intervening layer)들의 재료를 통해 이동함으로써 약화(weaken)되었던 상기 제 1 주기적 구조체에 의해 회절된 방사선 성분의 진폭과 동일한 차수로 약화되는 기관.

**청구항 14**

제 13 항에 있어서,

제 1 및 제 2 방사선 성분들은 상기 주기적 구조체들에 의해 1차로 회절된 방사선을 나타내는 기관.

**청구항 15**

제 13 항에 있어서,

제 2 방사선 성분의 진폭은 제 1 방사선 성분의 진폭의 10 배를 넘지 않는 기관.

**청구항 16**

제 13 항에 있어서,

상기 제 2 주기적 구조체는 각각의 주기 내에서 일차 피쳐들 및 이차 피쳐들을 포함하고, 상기 이차 피쳐들은 조명 방사선의 일부를 상기 회절 스펙트럼의 다른 부분들로 전환하도록 디자인되는 기관.

**청구항 17**

제 13 항에 있어서,

상기 복수의 타겟들은 적어도 상기 제 1 및 제 2 주기적 구조체들 간의 상이한 알려진 위치 오프셋들을 갖는 제 1 쌍의 타겟들을 포함하는 기관.

**청구항 18**

제 13 항에 있어서,

제 2 방사선 성분의 진폭은 제 1 방사선 성분의 진폭의 5 배를 넘지 않는 기관.

**청구항 19**

제 13 항에 있어서,

제 2 방사선 성분의 진폭은 제 1 방사선 성분의 진폭의 2 배를 넘지 않는 기관.

**청구항 20**

리소그래피 공정에서 사용하기 위한 한 쌍의 패터닝 디바이스들에 있어서,

상기 패터닝 디바이스들은 기관에 순차적으로 적용되는 경우에 제 13 항 내지 제 19 항 중 어느 한 항에 따른 기관을 생성할 패턴들을 정의하는 한 쌍의 패터닝 디바이스.

**청구항 21**

리소그래피 공정의 성능 파라미터(performance parameter)를 측정하는 방법에 있어서:

- (a) 제 1 항 내지 제 11 항 중 어느 한 항에 따른 방법에 의해 메트롤로지 타겟 및 메트롤로지 레시피를 디자인하는 단계;
- (b) 단계 (a)에서 생성된 디자인에 따라 기관 상에 복수의 메트롤로지 타겟들을 형성하는 구조체들을 생성하도록 상기 리소그래피 공정을 수행하는 단계;
- (c) 회절된 방사선을 관찰함으로써 상기 타겟들 중 2 이상에서의 비대칭을 측정하기 위해 상기 레시피에 따라 검사 장치를 이용하는 단계; 및
- (d) 단계 (c)에서 수행된 비대칭 측정들의 결과들을 이용하여, 상기 리소그래피 공정의 성능 파라미터로서 오버레이의 측정을 계산하는 단계

를 포함하는 방법.

**청구항 22**

프로세서가 제 1 항 내지 제 11 항 중 어느 한 항에 따른 디자인 방법을 수행하게 하는 기계-판독가능한 명령어들을 포함하는 프로그램을 기록한 기록 매체.

**청구항 23**

디바이스들을 제조하는 방법에 있어서,

제품 패턴들의 시퀀스가 리소그래피 공정을 이용하여 일련의 기관들에 적용되고, 상기 방법은 제 21 항에 따른 방법을 이용하여 상기 기관들 중 적어도 하나 상에 상기 제품 패턴들 옆에 또는 일부분으로서 복수의 메트롤로지 타겟들을 형성하고 검사하는 단계, 및 계산된 성능 파라미터에 따라 후속한 기관들에 대해 상기 리소그래피 공정을 제어하는 단계를 포함하는 방법.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 출원은 2014년 6월 2일에 출원된 미국 가출원 62/006,524의 이익을 주장하며, 이는 본 명세서에서 그 전문이 인용참조된다.

[0002] 본 발명은, 예를 들어 리소그래피 기술들에 의한 디바이스들의 제조 시에 이용가능한 메트롤로지 장치 및 방법들, 및 리소그래피 기술들을 이용하여 디바이스들을 제조하는 방법들에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0003] 리소그래피 장치는 기관 상에, 통상적으로는 기관의 타겟부 상에 원하는 패턴을 적용시키는 기계이다. 리소그래피 장치는, 예를 들어 집적 회로(IC)의 제조 시에 사용될 수 있다. 그 경우, 대안적으로 마스크 또는 레티클이라 칭하는 패턴링 디바이스가 IC의 개별층 상에 형성될 회로 패턴을 생성하기 위해 사용될 수 있다. 이 패턴은 기관(예컨대, 실리콘 웨이퍼) 상의 (예를 들어, 다이의 부분, 한 개 또는 수 개의 다이를 포함하는) 타겟부 상으로 전사(transfer)될 수 있다. 패턴의 전사는 통상적으로 기관 상에 제공된 방사선-감응재(레지스트)층 상으로의 이미징(imaging)을 통해 수행된다. 일반적으로, 단일 기관은 연속하여 패턴링되는 인접한 타겟부들의 네트워크를 포함할 것이다.

[0004] 리소그래피 공정들에서는, 예를 들어 공정 제어 및 검증(verification)을 위해, 흔히 생성된 구조체들의 측정들을 수행하는 것이 바람직하다. 이러한 측정들을 수행하는 다양한 툴들이 알려져 있으며, 임계 치수(CD)를 측정하는 데 흔히 사용되는 스캐닝 전자 현미경 및 오버레이, 즉 디바이스 내의 두 층들의 정렬 정확성을 측정하는 특수 툴들을 포함한다. 최근에는, 리소그래피 분야에서의 사용을 위해 다양한 형태의 스캐터로미터(scatterometer)들이 개발되었다. 이 디바이스들은 타겟 상으로 방사선 빔을 지향하고, 산란된 방사선의 1 이상의 특성 - 예를 들어, 파장의 함수로서 단일 반사 각도에서의 세기; 반사된 각도의 함수로서 1 이상의 파장에서의 세기; 또는 반사된 각도의 함수로서 편광(polarization) - 을 측정하여, 타겟의 관심 특성이 결정될 수 있는 회절 "스펙트럼"을 얻는다.

[0005] 알려진 메트롤로지 기술에서, -1차 및 +1차 회절 세기들을 개별적으로 얻기 위해 조명 모드 또는 이미징 모드를 변화시키거나, 타겟을 회전시키면서, 소정 조건들 하에 타겟을 두 번 측정함으로써 오버레이 측정 결과들이 얻어진다. 주어진 격자에 대한 이 세기들의 비교가 격자의 비대칭의 측정을 제공하며, 오버레이 격자에서의 비대칭이 오버레이 오차의 지표(indicator)로서 사용될 수 있다.

[0006] 알려진 바와 같이, 각각의 제품 및 공정은 오버레이 측정들이 수행될 적절한 메트롤로지 "레시피(recipe)"의 선택 및 메트롤로지 타겟들의 디자인에 있어서 주의를 요한다. 예를 들어, 알려진 작동 방식들은 예를 들어 "총 측정 불확도(total measurement uncertainty)" 또는 TMU에 의해 측정되는 측정 시 재현성을 개선하려고 노력한다. 발명자들은, 이 알려진 디자인 기술들이 소정 상황들에서는 충분히 성공적이지 않고, 이들 사이에 일관되지만 실제 제조 환경에서만 정교하지는 않은 측정들을 초래할 수 있다는 것을 발견하였다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0007] 공정-유도 변동들에 대해 견고하고, 정확성이 더 잘 정의되고 제어되는 메트롤로지 레시피들 및 오버레이 타겟들에 대한 디자인 방법을 제공하는 것이 바람직하다.

**과제의 해결 수단**

[0008] 제 1 실시예는 리소그래피 공정에 의해 형성될 메트롤로지 타겟들을 디자인하는 방법을 제공한다. 각각의 타겟은 기관 상의 하부 층(lower layer)에 형성될 제 1 주기적 구조체 및 기관 상의 상부 층(upper layer)에서 제 1 주기적 구조체 위에 형성될 제 2 주기적 구조체를 포함하여, 각각의 타겟을 방사선으로 조명하고 결과적인 회절 스펙트럼의 소정 부분들에서 비대칭을 관찰함으로써 리소그래피 공정의 오버레이 성능이 측정될 수 있도록 한다. 재현성을 최대화하기보다는 선택된 값들에 따른 메트롤로지 타겟들이 리소그래피 공정에 의해 형성되고 측정되는 경우에 오버레이의 측정 정확성을 최대화하도록 메트롤로지 레시피 파라미터들 및 디자인 파라미터들에 대한 값들이 선택된다.

[0009] 또 다른 실시예에서, 리소그래피 공정에 의해 형성될 메트롤로지 타겟들을 디자인하는 방법이 제공된다. 각각의 타겟은 기관 상의 하부 층에 형성될 제 1 주기적 구조체 및 기관 상의 상부 층에서 제 1 주기적 구조체 위에 형성될 제 2 주기적 구조체를 포함하여, 각각의 타겟을 방사선으로 조명하고 결과적인 회절 스펙트럼의 소정 부분들에서 비대칭을 관찰함으로써 리소그래피 공정의 오버레이 성능이 측정될 수 있도록 한다. 상기 방법은 오버레이를 측정하는 데 사용될 조명 방사선의 특성들을 나타내는 1 이상의 메트롤로지 레시피 파라미터들을 정의하는 단계; 타겟의 디자인을 나타내는 1 이상의 디자인 파라미터들을 정의하는 단계; (i) 제 2 주기적 구조체에 의해 회절된 경우에 조명 방사선을 나타내는 제 1 방사선 성분과 (ii) 제 2 층을 통해 제 1 층으로 이동하고 제 2 층으로 되돌아간 후 제 1 주기적 구조체에 의해 회절된 경우에 조명 방사선을 나타내는 제 2 방사선 성분 간의 상대 진폭 및 상대 위상 중 적어도 하나를 계산하는 단계; 및 선택된 값들에 따른 메트롤로지 타겟들이 리소그래피 공정에 의해 형성되고 측정되는 경우에 오버레이의 측정 정확성을 최대화하도록 계산된 상대 진폭 및/또는 상대 위상에 기초하여 메트롤로지 레시피 파라미터들 및 디자인 파라미터들에 대한 값들을 선택하는 단계를 포함한다.

[0010] 상기 방법은 선택된 파라미터 값들에 따라 기관 상에 메트롤로지 타겟들을 형성하는 단계를 더 포함한다.

[0011] 또 다른 실시예는 리소그래피 공정에 의해 형성된 복수의 메트롤로지 타겟들이 제공된 기관을 제공한다. 각각의 타겟은 적어도 기관 상의 하부 층에 형성되는 제 1 주기적 구조체 및 상부 층에서 제 1 주기적 구조체 위에 형성되는 제 2 주기적 구조체를 포함하여, 각각의 타겟을 방사선으로 조명하고 결과적인 회절 스펙트럼의 소정 부분들에서 비대칭을 관찰함으로써 제 1 및 제 2 주기적 구조체들 간의 정렬이 측정될 수 있도록 한다. 제 2 주기적 구조체는, 회절 스펙트럼의 부분들에 대해 감소된 회절 효율을 갖도록 형성되어, 소정 파장의 방사선에 대해 제 2 주기적 구조체에 의해 회절된 방사선 성분의 진폭이 제 2 층 및 1 이상의 중간층(intervening layer)들의 재료를 통해 이동함으로써 약화되었던 제 1 주기적 구조체에 의해 회절된 방사선 성분의 진폭과 동일한 정도로 약화되도록 하는 수정된 격자(modified grating)이다.

[0012] 본 발명은 또 다른 실시형태들에서 리소그래피 공정에서 사용하기 위한 한 쌍의 패터닝 디바이스들; 컴퓨터 프로그램 제품; 및 첨부된 청구항들에서 모두 정의된 바와 같이 제품 패턴들의 시퀀스가 리소그래피 공정을 이용하여 일련의 기관들에 적용되는 디바이스들을 제조하는 방법을 제공한다.

[0013] 첨부된 도면들을 참조하여, 본 발명의 다양한 실시예들의 구조 및 작동뿐만 아니라, 본 발명의 또 다른 특징들 및 장점들이 아래에서 상세하게 설명된다. 본 발명은 본 명세서에서 설명되는 특정한 실시예들에 제한되지 않는다는 것을 유의한다. 본 명세서에서, 이러한 실시예들은 단지 예시적인 목적으로만 제시된다. 당업자라면, 본 명세서에 포함되는 교시에 기초하여 추가적인 실시예들을 명백히 알 것이다.

**도면의 간단한 설명**

[0014] 이제 첨부된 도면들을 참조하여, 단지 예시의 방식으로만 본 발명의 실시예들을 설명할 것이다:

도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 리소그래피 장치를 도시하는 도면;

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 리소그래피 셀(lithographic cell) 또는 클러스터(cluster)를 도시하는 도

면;

도 3a 내지 도 3d는: (3a) 제 1 쌍의 조명 어퍼처(illumination aperture)들을 이용하여 본 발명의 실시예들에 따른 타겟들을 측정하는 데 사용되는 다크 필드 스캐터로미터(dark field scatterometer)의 개략적인 다이어그램, (3b) 주어진 방향의 조명에 대한 타겟 격자의 상세한 회절 스펙트럼, (3c) 회절 기반 오버레이 측정들을 위해 스캐터로미터를 이용함에 있어서 또 다른 조명 모드들을 제공하는 제 2 쌍의 조명 어퍼처들, 및 (3d) 제 1 및 제 2 쌍의 어퍼처들을 조합한 제 3 쌍의 조명 어퍼처들을 포함하는 도면;

도 4는 알려진 형태의 다수 격자 타겟 및 기관 상의 측정 스폿의 윤곽(outline)을 도시하는 도면;

도 5는 도 3의 스캐터로미터에서 얻어진 도 4의 타겟의 이미지를 도시하는 도면;

도 6은 본 발명의 제 1 실시예에 따른 신규한 메트롤로지 타겟들 및 도 3의 스캐터로미터를 이용한 오버레이 측정 방법의 단계들을 나타내는 흐름도;

도 7은 한 쌍의 오버레이 메트롤로지 타겟들의 개략적인 단면도;

도 8은 도 7에 나타난 바와 같은 타겟들을 이용한 메트롤로지에서 회절 신호들에 기여하는 제 1 및 제 2 방사선 성분들을 예시하는 도면;

도 9는 이러한 타겟들에 대해 회절-기반 오버레이 메트롤로지를 수행하는 경우에 얻어지는 시뮬레이션된 세기 신호들을 나타내는 도면;

도 10은 실험에 의해 얻어지는 대응하는 세기 신호들을 나타내는 도면;

도 11은 회절-기반 오버레이 메트롤로지를 수행하는 경우에 제 1 방사선 성분과 제 2 방사선 성분 간의 상대 위상의 영향을 예시하는 도면;

도 12는 회절-기반 오버레이 메트롤로지의 분석 시 계수(K)에 대한 상대 위상의 영향을 예시하는 도면;

도 13은 오버레이 메트롤로지를 위한 신호 품질 지표(signal quality indicator)의 계산에 사용되는 값들을 예시하는 도면;

도 14a 내지 도 14d는 오버레이 메트롤로지 타겟의 디자인에서 최상부 격자를 수정함으로써 신호 콘트라스트(signal contrast)의 개선을 예시하는 도면;

도 15 및 도 16은 본 발명의 일 실시예에 따른 예시적인 디자인 방법의 흐름도들;

도 17은 3 개의 상이한 품질 지표들이 도 15의 방법에 의해 디자인된 오버레이 메트롤로지 타겟에서의 최상부 격자 강도의 변동에 의해 어떻게 영향을 받는지를 나타내는 그래프;

도 18은 도 15의 방법에서 사용되는 바와 같은 메트롤로지 타겟의 수학적 모델에서의 섭동(perturbation)의 도입을 예시하는 도면;

도 19a 내지 도 19f는 도 15 및 도 16의 방법에서 메트롤로지 레시피를 디자인하는 공정을 예시하는 조명 파장에 대한 6 개의 파라미터들의 그래프들; 및

도 20 및 도 21은 도 3의 스캐터로미터에서 퓨필 이미지 센서를 이용하고 큰 타겟들을 이용하는 본 발명의 대안적인 실시예를 나타내는 도면이다.

### **발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0015] 본 명세서는 본 발명의 특징들을 구체화하는 1 이상의 실시예들을 개시한다. 개시된 실시예(들)는 단지 본 발명을 예시한다. 개시된 실시예(들)에 본 발명의 범위가 제한되지는 않는다. 본 발명은 본 명세서에 첨부된 청구항들에 의해 정의된다.

[0016] 본 명세서에서, "하나의 실시예", "일 실시예", "예시적인 실시예" 등으로 설명된 실시예(들) 및 이러한 언급들은, 설명된 실시예(들)가 특정한 특징, 구조 또는 특성을 포함할 수 있지만, 모든 실시예가 특정한 특징, 구조 또는 특성을 반드시 포함하는 것은 아닐 수 있음을 나타낸다. 또한, 이러한 어구들이 반드시 동일한 실시예를 칭하고 있는 것은 아니다. 또한, 특정한 특징, 구조 또는 특성이 일 실시예와 관련하여 설명되는 경우, 다른 실시예들과 관련하여 이러한 특징, 구조 또는 특성을 초래하는 것은 명확하게 설명되든지 그렇지 않든지 당업자의 지식 내에 있음을 이해한다.

- [0017] 본 발명의 실시예들은 하드웨어, 펌웨어, 소프트웨어 또는 여하한의 그 조합으로 구현될 수 있다. 또한, 본 발명의 실시예들은 기계-판독가능한 매체 상에 저장된 명령어들로서 구현될 수 있으며, 이는 1 이상의 프로세서에 의해 판독되고 실행될 수 있다. 기계-판독가능한 매체는 기계[예를 들어, 연산 디바이스(computing device)]에 의해 판독가능한 형태로 정보를 저장하거나 전송하는 여하한의 메카니즘을 포함할 수 있다. 예를 들어, 기계-판독가능한 매체는 ROM(read only memory); RAM(random access memory); 자기 디스크 저장 매체; 광학 저장 매체; 플래시 메모리 디바이스들; 전기, 광학, 음향 또는 다른 형태의 전파 신호(propagated signal) 등을 포함할 수 있다. 또한, 펌웨어, 소프트웨어, 루틴(routine), 및 명령어들은 본 명세서에서 소정 동작을 수행하는 것으로서 설명될 수 있다. 하지만, 이러한 설명들은 단지 편의를 위한 것이며, 이러한 동작은 사실상 연산 디바이스, 프로세서, 제어기, 또는 펌웨어, 소프트웨어, 루틴, 명령어 등을 실행하는 다른 디바이스로부터 일어난다는 것을 이해하여야 한다.
- [0018] 본 발명의 실시예들을 상세히 설명하기에 앞서, 본 발명의 실시예들이 구현될 수 있는 예시적인 환경을 제시하는 것이 유익하다.
- [0019] 도 1은 리소그래피 장치(LA)를 개략적으로 도시한다. 상기 장치는: 방사선 빔(B)(예를 들어, UV 방사선 또는 DUV 방사선)을 컨디셔닝(condition)하도록 구성되는 조명 시스템(일루미네이터)(IL); 패터닝 디바이스(예를 들어, 마스크)(MA)를 지지하도록 구성되고, 소정 파라미터들에 따라 패터닝 디바이스를 정확히 위치시키도록 구성된 제 1 위치설정기(PM)에 연결되는 패터닝 디바이스 지지체 또는 지지 구조체(예를 들어, 마스크 테이블)(MT); 기판(예를 들어, 레지스트-코팅된 웨이퍼)(W)을 유지하도록 구성되고, 소정 파라미터들에 따라 기판을 정확히 위치시키도록 구성된 제 2 위치설정기(PW)에 연결되는 기판 테이블(예를 들어, 웨이퍼 테이블)(WT); 및 기판(W)의 (예를 들어, 1 이상의 다이를 포함하는) 타겟부(C) 상으로 패터닝 디바이스(MA)에 의해 방사선 빔(B)에 부여된 패턴을 투영하도록 구성되는 투영 시스템(예를 들어, 굴절 투영 렌즈 시스템)(PS)을 포함한다.
- [0020] 조명 시스템은 방사선을 지향, 성형, 또는 제어하기 위하여, 굴절, 반사, 자기, 전자기, 정전기 또는 다른 타입의 광학 구성요소들, 또는 여하한의 그 조합과 같은 다양한 타입들의 광학 구성요소들을 포함할 수 있다.
- [0021] 패터닝 디바이스 지지체는 패터닝 디바이스의 방위, 리소그래피 장치의 디자인, 및 예를 들어 패터닝 디바이스가 진공 환경에서 유지되는지의 여부와 같은 다른 조건들에 의존하는 방식으로 패터닝 디바이스를 유지한다. 패터닝 디바이스 지지체는 패터닝 디바이스를 유지하기 위해 기계적, 진공, 정전기, 또는 다른 클램핑 기술들을 이용할 수 있다. 패터닝 디바이스 지지체는, 예를 들어 필요에 따라 고정되거나 이동가능할 수 있는 프레임 또는 테이블일 수 있다. 패터닝 디바이스 지지체는, 패터닝 디바이스가 예를 들어 투영 시스템에 대해 원하는 위치에 있을 것을 보장할 수 있다. 본 명세서의 "레티클" 또는 "마스크"라는 용어의 어떠한 사용도 "패터닝 디바이스"라는 좀 더 일반적인 용어와 동의어로 간주될 수 있다.
- [0022] 본 명세서에서 사용되는 "패터닝 디바이스"라는 용어는, 기판의 타겟부에 패턴을 생성하기 위해서 방사선 빔의 단면에 패턴을 부여하는 데 사용될 수 있는 여하한의 디바이스를 언급하는 것으로 폭넓게 해석되어야 한다. 방사선 빔에 부여된 패턴은, 예를 들어 상기 패턴이 위상-시프팅 피쳐(phase-shifting feature)들 또는 소위 어시스트 피쳐(assist feature)들을 포함하는 경우, 기판의 타겟부 내의 원하는 패턴과 정확히 일치하지 않을 수도 있다는 것을 유의하여야 한다. 일반적으로, 방사선 빔에 부여된 패턴은 집적 회로와 같이 타겟부에 생성될 디바이스 내의 특정 기능 층에 해당할 것이다.
- [0023] 패터닝 디바이스는 투과형 또는 반사형일 수 있다. 패터닝 디바이스의 예로는 마스크, 프로그램가능한 거울 어레이, 및 프로그램가능한 LCD 패널들을 포함한다. 마스크는 리소그래피 분야에서 잘 알려져 있으며, 바이너리(binary)형, 교번 위상-시프팅형 및 감쇠 위상-시프팅형과 같은 마스크 타입, 및 다양한 하이브리드(hybrid) 마스크 타입들을 포함한다. 프로그램가능한 거울 어레이의 일 예시는 작은 거울들의 매트릭스 구성을 채택하며, 그 각각은 입사하는 방사선 빔을 상이한 방향으로 반사시키도록 개별적으로 기울어질 수 있다. 기울어진 거울들은 거울 매트릭스에 의해 반사되는 방사선 빔에 패턴을 부여한다.
- [0024] 본 명세서에서 사용되는 "투영 시스템"이라는 용어는, 사용되는 노광 방사선에 대하여, 또는 침지 액체의 사용 또는 진공의 사용과 같은 다른 인자들에 대하여 적절하다면, 굴절, 반사, 카타디옵트릭(catadioptric), 자기, 전자기 및 정전기 광학 시스템, 또는 여하한의 그 조합을 포함하는 여하한 타입의 투영 시스템을 내포하는 것으로 폭넓게 해석되어야 한다. 본 명세서의 "투영 렌즈"라는 용어의 어떠한 사용도 "투영 시스템"이라는 좀 더 일반적인 용어와 동의어로 간주될 수 있다.
- [0025] 본 명세서에 도시된 바와 같이, 상기 장치는 (예를 들어, 투과 마스크를 채택하는) 투과형으로 구성된다. 대안

적으로, 상기 장치는 (예를 들어, 앞서 언급된 바와 같은 타입의 프로그램가능한 거울 어레이를 채택하거나, 반사 마스크를 채택하는) 반사형으로 구성될 수 있다.

[0026] 리소그래피 장치는 2 개(듀얼 스테이지) 이상의 기관 테이블(및/또는 2 이상의 마스크 테이블)을 갖는 형태로 구성될 수 있다. 이러한 "다수 스테이지" 기계에서는 추가 테이블이 병행하여 사용될 수 있으며, 또는 1 이상의 테이블이 노광에 사용되고 있는 동안 1 이상의 다른 테이블에서는 준비작업 단계들이 수행될 수 있다.

[0027] 또한, 리소그래피 장치는 투영 시스템과 기관 사이의 공간을 채우기 위해서, 기관의 전체 또는 일부분이 비교적 높은 굴절률을 갖는 액체, 예컨대 물로 덮일 수 있는 형태로도 구성될 수 있다. 또한, 침지 액체는 리소그래피 장치 내의 다른 공간들, 예를 들어 마스크와 투영 시스템 사이에도 적용될 수 있다. 침지 기술은 투영 시스템의 개구수(numerical aperture)를 증가시키는 기술로 당업계에 잘 알려져 있다. 본 명세서에서 사용되는 "침지"라는 용어는 기관과 같은 구조체가 액체 내에 담겨야 함을 의미하는 것이라기보다는, 노광 시 액체가 투영 시스템과 기관 사이에 놓이기만 하면 된다는 것을 의미한다.

[0028] 도 1을 참조하면, 일루미네이터(IL)는 방사선 소스(SO)로부터 방사선 빔을 수용한다. 예를 들어, 소스가 엑시머 레이저(excimer laser)인 경우, 상기 소스 및 리소그래피 장치는 별도의 개체일 수 있다. 이러한 경우, 소스는 리소그래피 장치의 일부분을 형성하는 것으로 간주되지 않으며, 방사선 빔을 예를 들어 적절한 지향 거울 및/또는 빔 익스팬더(beam expander)를 포함하는 빔 전달 시스템(BD)의 도움으로, 소스(SO)로부터 일루미네이터(IL)로 통과된다. 다른 경우, 예를 들어 소스가 수은 램프인 경우, 상기 소스는 리소그래피 장치의 통합부일 수 있다. 상기 소스(SO) 및 일루미네이터(IL)는, 필요에 따라 빔 전달 시스템(BD)과 함께 방사선 시스템이라고도 칭해질 수 있다.

[0029] 일루미네이터(IL)는 방사선 빔의 각도 세기 분포를 조정하는 조정기(AD)를 포함할 수 있다. 일반적으로, 일루미네이터의 필드 평면 내의 세기 분포의 적어도 외반경 및/또는 내반경 크기(통상적으로, 각각 외측- $\sigma$  및 내측- $\sigma$ 라 함)가 조정될 수 있다. 또한, 일루미네이터(IL)는 인티그레이터(IN) 및 콘덴서(CO)와 같이, 다양한 다른 구성요소들을 포함할 수도 있다. 일루미네이터는 방사선 빔의 단면에 원하는 균일성(uniformity) 및 세기 분포를 갖기 위해, 방사선 빔을 컨디셔닝하는 데 사용될 수 있다.

[0030] 방사선 빔(B)은 패터닝 디바이스 지지체(예를 들어, 마스크 테이블)(MT) 상에 유지되어 있는 패터닝 디바이스(예를 들어, 마스크)(MA) 상에 입사되며, 패터닝 디바이스에 의해 패터닝된다. 상기 패터닝 디바이스(예를 들어, 마스크)(MA)를 가로질렀으면, 상기 방사선 빔(B)은 투영 시스템(PS)을 통과하며, 이는 기관(W)의 타겟부(C) 상에 상기 빔을 포커스한다. 제 2 위치설정기(PW) 및 위치 센서(IF)(예를 들어, 간섭계 디바이스, 리니어 인코더, 2-D 인코더 또는 용량성 센서)의 도움으로, 기관 테이블(WT)은 예를 들어 방사선 빔(B)의 경로 내에 상이한 타겟부(C)들을 위치시키도록 정확하게 이동될 수 있다. 이와 유사하게, 제 1 위치설정기(PM) 및 (도 1에 명확히 도시되지 않은) 또 다른 위치 센서는, 예를 들어 마스크 라이브러리(mask library)로부터의 기계적인 회수 후에, 또는 스캔하는 동안, 방사선 빔(B)의 경로에 대해 패터닝 디바이스(예를 들어, 마스크)(MA)를 정확히 위치시키는 데 사용될 수 있다. 일반적으로, 패터닝 디바이스 지지체(예를 들어, 마스크 테이블)(MT)의 이동은 장-행정 모듈(long-stroke module: 개략 위치설정) 및 단-행정 모듈(short-stroke module: 미세 위치설정)의 도움으로 실현될 수 있으며, 이는 제 1 위치설정기(PM)의 일부분을 형성한다. 이와 유사하게, 기관 테이블(WT)의 이동은 장-행정 모듈 및 단-행정 모듈을 이용하여 실현될 수 있으며, 이는 제 2 위치설정기(PW)의 일부분을 형성한다. (스캐너와는 대조적으로) 스테퍼의 경우, 패터닝 디바이스 지지체(예를 들어, 마스크 테이블)(MT)는 단-행정 액추에이터에만 연결되거나 고정될 수 있다.

[0031] 패터닝 디바이스(예를 들어, 마스크)(MA) 및 기관(W)은 마스크 정렬 마크들(M1, M2) 및 기관 정렬 마크들(P1, P2)을 이용하여 정렬될 수 있다. 비록, 예시된 기관 정렬 마크들은 지정된(dedicated) 타겟부들을 차지하고 있지만, 그들은 타겟부들 사이의 공간들 내에 위치될 수도 있다[이들은 스크라이브-레인 정렬 마크(scribe-lane alignment mark)들로 알려져 있음]. 이와 유사하게, 패터닝 디바이스(예를 들어, 마스크)(MA) 상에 1 이상의 다이가 제공되는 상황들에서, 마스크 정렬 마크들은 다이들 사이에 위치될 수 있다. 또한, 디바이스 피쳐들 사이에서 다이들 내에 작은 정렬 마크들이 포함될 수도 있으며, 이 경우 마크들은 인접한 피쳐들과 상이한 여하한 이미징 또는 공정 조건들을 필요로 하지 않고, 가능한 한 작은 것이 바람직하다.

[0032] 도시된 장치는 다양한 모드들에서 사용될 수 있다. 스캔 모드에서, 패터닝 디바이스 지지체(예를 들어, 마스크 테이블)(MT) 및 기관 테이블(WT)은 방사선 빔에 부여된 패턴이 타겟부(C) 상에 투영되는 동안에 동기적으로 스캐닝된다[즉, 단일 동적 노광(single dynamic exposure)]. 패터닝 디바이스 지지체(예를 들어, 마스크 테이블)(MT)에 대한 기관 테이블(WT)의 속도 및 방향은 투영 시스템(PS)의 확대(축소) 및 이미지 반전 특성에 의하

여 결정될 수 있다. 스캔 모드에서, 노광 필드의 최대 크기는 단일 동적 노광 시 타겟부의 (스캐닝 되지 않는 방향으로의) 폭을 제한하는 반면, 스캐닝 동작의 길이는 타겟부의 (스캐닝 방향으로의) 높이를 결정한다. 당업계에 잘 알려져 있는 바와 같이, 다른 타입들의 리소그래피 장치 및 작동 모드들이 가능하다. 예를 들어, 스텝 모드가 알려져 있다. 소위 "마스크없는(maskless)" 리소그래피에서는, 프로그램가능한 패터닝 디바이스가 정지된 상태로 유지되지만 변화하는 패턴을 가지며, 기판 테이블(WT)은 이동되거나 스캐닝된다.

[0033] 또한, 상술된 사용 모드들의 조합 및/또는 변형, 또는 완전히 다른 사용 모드들이 채택될 수도 있다.

[0034] 리소그래피 장치(LA)는 2 개의 기판 테이블들(WTa 및 WTb), 및 기판 테이블들이 교환될 수 있는 2 개의 스테이션들 - 노광 스테이션 및 측정 스테이션 - 을 갖는 소위 듀얼 스테이지 타입으로 이루어진다. 하나의 기판 테이블 상의 하나의 기판이 노광 스테이션에서 노광되고 있는 동안, 또 다른 기판이 측정 스테이션에서 다른 기판 테이블 상으로 로딩(load)되고 다양한 준비작업 단계들이 수행될 수 있다. 준비작업 단계들은 레벨 센서(LS)를 이용하여 기판의 표면 제어를 매핑(map)하는 단계, 및 정렬 센서(AS)를 이용하여 기판 상의 정렬 마커들의 위치를 측정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0035] 도 2에 나타낸 바와 같이, 리소그래피 장치(LA)는 때때로 리소셀(lithocell) 또는 클러스터라고도 칭하는 리소그래피 셀(LC)의 일부분을 형성하며, 이는 기판 상에 전-노광(pre-exposure) 및 후-노광(post-exposure) 공정들을 수행하는 장치를 포함한다. 통상적으로, 이들은 레지스트 층을 증착시키는 스핀 코터(spin coater: SC), 노광된 레지스트를 현상하는 디벨로퍼(developer: DE), 칠 플레이트(chill plate: CH) 및 베이킹 플레이트(bake plate: BK)를 포함한다. 기판 핸들러 또는 로봇(RO)이 입력/출력 포트들(I/O1, I/O2)로부터 기판들을 집어올리고, 이들을 상이한 공정 장치 사이에서 이동시킨 후, 리소그래피 장치의 로딩 베이(load bay: LB)로 전달한다. 흔히 집합적으로 트랙이라고도 하는 이러한 디바이스들은, 리소그래피 제어 유닛(LACU)을 통해 리소그래피 장치를 제어하는 감독 제어 시스템(supervisory control system: SCS)에 의해 자체 제어되는 트랙 제어 유닛(TCU)의 제어를 받는다. 따라서, 스루풋과 처리 효율성을 최대화하기 위해 상이한 장치가 작동될 수 있다.

[0036] 알려진 스캐터로미터들의 예시들은 US2006033921A1 및 US2010201963A1에서 설명된 타입의 각도-분해 스캐터로미터(angle-resolved scatterometer)들을 포함한다. 이러한 스캐터로미터들에 의해 사용되는 타겟들은 비교적 큰, 예를 들어  $40\mu\text{m} \times 40\mu\text{m}$  격자들이며, 측정 빔은 격자보다 작은 스폿을 발생시킨다[즉, 격자가 언더필링(underfill)됨]. 회절 차수들의 다크-필드 검출을 이용한 회절-기반 오버레이 메트롤로지는 더 작은 타겟들에 대한 오버레이 측정들을 가능하게 한다. 다크 필드 메트롤로지의 예시들은 국제 특허 출원 WO 2009/078708 및 WO 2009/106279에서 찾아볼 수 있으며, 이 문서들은 본 명세서에서 그 전문이 인용참조된다. 기술의 추가 개발들이 특허 공개공보 US20110027704A, US20110043791A, US20120044470A, US20120123581A, US20130258310A 및 US20130271740A; 및 US 특허 출원 61/652,552 및 61/803,673에서 설명되었다. 이 타겟들은 조명 스폿보다 작을 수 있고, 웨이퍼 상의 제품 구조체(product structure)들에 의해 둘러싸일 수 있다. 다수 격자들이 복합(composite) 격자 타겟을 이용하여 하나의 이미지에서 측정될 수 있다. 또한, 이 모든 출원들의 내용들은 본 명세서에서 인용참조된다. 본 발명의 실시예들에서 사용하기에 적절한 메트롤로지 장치(스캐터로미터)가 도 3(a)에 도시된다. 도 3(b)에는 격자 타겟(T) 및 회절된 광선(diffracted ray)들이 더 상세히 예시된다. 장치의 더 많은 세부사항, 및 그 형태 및 사용의 변형예들이 US2011027704 및 앞서 언급된 다른 종래 특허 출원들에서 제공된다. 그러한 종래 특허, 공개공보 및 출원들의 전체 내용들은 본 명세서에서 인용참조된다. 스캐터로미터는 독립형 디바이스이거나, 예를 들어 측정 스테이션에서의 리소그래피 장치(LA) 또는 리소그래피 셀(LC)에 통합될 수 있다. 장치 전체에 걸쳐 수 개의 브랜치들을 갖는 광학 축선이 점선(O)으로 나타내어진다. 이 장치에서, 소스(11)(예를 들어, 제논 램프)에 의해 방출된 광이 렌즈들(12, 14) 및 대물 렌즈(16)를 포함한 광학 시스템에 의하여 빔 스플리터(15)를 통해 기판(W) 상으로 지향된다. 이 렌즈들은 4F 구성의 이중 시퀀스(double sequence)로 배치된다. 상이한 렌즈 구성이 여전히 검출기 상에 기판 이미지를 제공하는 것을 전제로 사용될 수 있으며, 동시에 공간-주파수 필터링을 위해 중간 퓨필-평면의 접근을 허용한다. 그러므로, 방사선이 기판 상에 입사하는 각도 범위는, 본 명세서에서 (컬레) 퓨필 평면이라고 칭하는 기판 평면의 공간 스펙트럼을 나타내는 평면 내의 공간 세기 분포를 정의함으로써 선택될 수 있다. 특히, 이는 대물 렌즈 퓨필 평면의 배면-투영된 이미지(back-projected image)인 평면에서 렌즈들(12 및 14) 사이에 적절한 형태의 어퍼처 플레이트(aperture plate: 13)를 삽입함으로써 행해질 수 있다. 나타낸 예시에서, 어퍼처 플레이트(13)는 13N 및 13S로 표시된 상이한 형태들을 가지며, 상이한 조명 모드들이 선택되게 한다. 나타낸 예시들에서의 어퍼처 플레이트들은 다양한 오프-엑시스(off-axis) 조명 모드들을 형성한다. 제 1 조명 모드에서는, 어퍼처 플레이트 13N이 단지 설명을 위해 '북'으로 지정된 방향으로부터 오프-엑시스 조명을 제공한다. 제 2 조명 모드에서는, 어퍼처 플레이트 13S가 유사하지만 '남'으로 표시된 반대 방향으로부터의 조명을 제공하는 데 사용된다. 상이한 어퍼

처들을 이용함으로써 다른 조명 모드들이 가능하다. 퓨필 평면의 나머지는 바람직하게는 어두운데(dark), 이는 바람직한 조명 모드 외의 여하한 불필요한 광이 바람직한 측정 신호들과 간섭할 것이기 때문이다.

- [0037] 도 3(b)에 나타낸 바와 같이, 격자 타겟(T)이 대물 렌즈(16)의 광학 축선(O)에 수직인 기관(W)과 배치된다. 축선(O)을 벗어난 각도로부터 타겟(T)에 입사하는 조명 광선(I)은 0차 광선[직선(O)] 및 2 개의 1차 광선들[1점쇄선(+1) 및 2점쇄선(-1)]을 발생시킨다. 오버필링되는 작은 타겟 격자를 이용하면, 이 광선들은 메트로로지 타겟(T) 및 다른 피처들을 포함한 기관의 영역을 덮는 많은 평행 광선들 중 하나에 불과하다는 것을 기억하여야 한다. 복합 격자 타겟이 제공되는 경우, 타겟 내의 각각의 개별적인 격자가 그 자신의 회절 스펙트럼을 초래할 것이다. 플레이트(13) 내의 어퍼처가 (유용한 양의 광을 수용하는 데 필요한) 유한 폭을 갖기 때문에, 입사 광선들(I)은 사실상 다양한 각도들을 차지할 것이고, 회절된 광선들(0 및 +1/-1)은 어느 정도 확산(spread out)될 것이다. 작은 타겟의 점확산 함수(point spread function)에 따르면, 각각의 차수 +1 및 -1은 나타낸 바와 같은 단일의 이상적인 광선이 아니라, 다양한 각도들에 걸쳐 더 확산될 것이다. 격자 피처들 및 조명 각도들은, 대물 렌즈에 들어가는 1차 광선들이 중심 광학 축선과 밀접하게 정렬되도록 디자인되거나 조정될 수 있다는 것을 유의한다. 도 3(a) 및 도 3(b)에 예시된 광선들은 순전히 다이어그램에서 이들이 더 쉽게 구별될 수 있도록 어느 정도 축선을 벗어나 도시된다.
- [0038] 적어도 기관(W) 상의 타겟에 의해 회절된 0차 및 +1차가 대물 렌즈(16)에 의해 수집되고, 빔 스플리터(15)를 통해 다시 지향된다. 도 3(a)로 되돌아가면, 제 1 및 제 2 조명 모드들은 북(N) 및 남(S)으로 표시된 정반대의 어퍼처들을 지정함으로써 예시된다. 입사 광선(I)이 광학 축선의 북쪽으로부터인 경우, 즉 제 1 조명 모드가 어퍼처 플레이트 13N을 이용하여 적용되는 경우, +1(N)으로 표시되는 +1 회절 광선들이 대물 렌즈(16)에 들어간다. 대조적으로, 제 2 조명 모드가 어퍼처 플레이트 13S를 이용하여 적용되는 경우, [-1(S)로 표시된] -1 회절 광선들이 렌즈(16)에 들어가는 광선들이다.
- [0039] 제 2 빔 스플리터(17)가 회절된 빔들을 2 개의 측정 브랜치들로 분할한다. 제 1 측정 브랜치에서는, 광학 시스템(18)이 0차 및 1차 회절 빔들을 이용하여 제 1 센서(19)(예를 들어, CCD 또는 CMOS 센서) 상에 타겟의 회절 스펙트럼(퓨필 평면 이미지)을 형성한다. 각각의 회절 차수가 센서 상의 상이한 지점을 타격하여, 이미지 처리가 차수들을 비교하고 대조하도록 할 수 있다. 센서(19)에 의해 포착된 퓨필 평면 이미지는 메트로로지 장치를 포커싱하고, 및/또는 1차 빔의 세기 측정들을 정규화하는 데 사용될 수 있다. 또한, 퓨필 평면 이미지는 본 발명의 대상이 아닌, 재구성과 같은 많은 측정을 위해서뿐 아니라 비대칭 측정을 위해서도 사용될 수 있다.
- [0040] 제 2 측정 브랜치에서는, 광학 시스템(20, 22)이 센서(23)(예를 들어, CCD 또는 CMOS 센서) 상에 기관(W) 상의 타겟의 이미지를 형성한다. 제 2 측정 브랜치에서, 퓨필-평면에 대해 켈레인 평면에 어퍼처 스톱(aperture stop: 21)이 제공된다. 어퍼처 스톱(21)은, 센서(23) 상에 형성된 타겟의 이미지가 -1차 또는 +1차 빔으로부터만 형성되도록 0차 회절 빔을 차단하는 기능을 한다. 센서들(19 및 23)에 의해 포착된 이미지들은 이미지 프로세서 및 제어기(PU)로 출력되며, 이들의 기능은 수행되는 측정들의 특정 타입에 의존할 것이다. 본 명세서에서, '이미지'라는 용어는 넓은 의미로 사용된다는 것을 유의한다. 이러한 것으로서 격자 라인들의 이미지는 -1차 및 +1차 중 하나만이 존재하는 경우, 센서(23) 상에 형성되지 않을 것이다.
- [0041] 도 3에 나타낸 어퍼처 플레이트(13) 및 필드 스톱(field stop: 21)의 특정 형태들은 순전히 예시들이다. 본 발명의 또 다른 실시예에서, 타겟들의 온-엑시스(on-axis) 조명이 사용되고, 오프-엑시스 어퍼처를 갖는 어퍼처 스톱이 사용되어, 실질적으로 회절된 광의 단 하나의 1차를 센서로 통과시킨다(13 및 21에 나타낸 어퍼처들은 그 경우에 효과적으로 바뀐). 다른 실시예들에서, 1차 빔 대신에, 또는 이에 추가하여 2차, 3차 및 고차 빔들(도 3에 도시되지 않음)이 측정에 사용될 수 있다.
- [0042] 조명을 이 상이한 타입들의 측정에 적응가능하게 만들기 위해, 어퍼처 플레이트(13)는 디스크 주위에 형성되는 다수의 어퍼처 패턴들을 포함할 수 있으며, 이는 회전되어 제 자리에 원하는 패턴을 야기한다. 대안적으로 또는 추가적으로, 플레이트(13)들의 일 세트가 제공되고 교환(swap)되어 동일한 효과를 달성할 수 있다. 변형가능한 거울 어레이 또는 투과형 공간 광 변조기와 같은 프로그램가능한 조명 디바이스가 사용될 수도 있다. 조명 모드를 조정하는 또 다른 방식으로서 이동 거울들 또는 프리즘들이 사용될 수 있다.
- [0043] 단지 어퍼처 플레이트(13)에 관하여 설명된 바와 같이, 이미징을 위한 회절 차수들의 선택은 대안적으로 퓨필 스톱(21)을 변경함으로써, 또는 상이한 패턴을 갖는 퓨필 스톱으로 대신함으로써, 또는 고정된 필드 스톱을 프로그램가능한 공간 광 변조기로 대체함으로써 달성될 수 있다. 그 경우에, 측정 광학 시스템의 조명 측은 일정하게 유지될 수 있는 한편, 제 1 및 제 2 모드들을 갖는 것은 이미징 측이다. 실제로, 많은 가능한 타입들의 측정 방법이 존재하며, 각각 그 자신의 장점들 및 단점들을 갖는다. 한 가지 방법에서, 조명 모드는 상이한 차

수들을 측정하도록 변화된다. 또 다른 방법에서는, 이미징 모드가 변화된다. 세번째 방법에서는, 조명 및 이미징 모드들은 변화되지 않은 채로 유지되며, 타겟이 180 도 회전된다. 각각의 경우, 원하는 효과는 동일하며, 즉 타겟의 회절 스펙트럼에서 서로 대칭적으로 반대인 비-0차 회절 방사선의 제 1 및 제 2 부분들을 선택하는 것이다.

[0044] 본 예시들에서 이미징을 위해 사용되는 광학 시스템은 필드 스톱(21)에 의해 제한되는 넓은 입구 pupils(entrance pupil)를 갖지만, 다른 실시예들 또는 적용예들에서는 이미징 시스템 자체의 입구 pupils 크기가 원하는 차수로 제한하도록 충분히 작을 수 있고, 이에 따라 필드 스톱의 역할도 한다. 상이한 어퍼처 플레이트들이 도 3(c) 및 도 3(d)에 도시되며, 이는 아래에서 더 설명되는 바와 같이 사용될 수 있다.

[0045] 통상적으로, 타겟 격자는 북-남 또는 동-서로 진행되는 격자 라인들로 정렬될 것이다. 다시 말해서, 격자는 기관(W)의 X 방향 또는 Y 방향으로 정렬될 것이다. 어퍼처 플레이트 13N 또는 13S는 한 방향으로(셋업에 의존하여 X 또는 Y) 방위되는 격자들을 측정하기 위해서만 사용될 수 있다는 것을 유의한다. 직교 격자의 측정을 위해서는, 90° 및 270° 에 걸친 타겟의 회전이 시행될 수 있다. 하지만, 더 편리하게는, 동 또는 서로부터의 조명이 조명 광학기에 제공되며, 이는 도 3(c)에 나타난 어퍼처 플레이트 13E 또는 13W를 이용한다. 어퍼처 플레이트들(13N 내지 13W)은 개별적으로 형성되고 상호교환될 수 있으며, 또는 이들은 90, 180, 또는 270 도만큼 회전될 수 있는 단일 어퍼처 플레이트일 수 있다. 앞서 언급된 바와 같이, 도 3(c)에 예시된 오프-엑시스 어퍼처들은 조명 어퍼처 플레이트(13) 대신에 필드 스톱(21)에 제공될 수 있다. 그 경우, 조명은 온-엑시스일 것이다.

[0046] 도 3(d)는 제 1 및 제 2 쌍들의 조명 모드들을 조합하는 데 사용될 수 있는 제 3 쌍의 어퍼처 플레이트들을 나타낸다. 어퍼처 플레이트 13NW는 북쪽 및 동쪽에 어퍼처들을 갖는 한편, 어퍼처 플레이트 13SE는 남쪽 및 서쪽에 어퍼처들을 갖는다. 이 상이한 회절 신호들 간의 크로스토크(cross-talk)가 너무 크지 않다면, X 및 Y 격자들 모두의 측정들이 조명 모드를 변화시키지 않고 수행될 수 있다. 또 다른 다양한 어퍼처 플레이트(13Q)가 도 20 및 도 21의 예시에서 설명될 것이다.

[0047] 도 4는 알려진 실행에 따라 기관(W) 상에 형성된 복합 메트롤로지 타겟을 도시한다. 복합 타겟은 메트롤로지 장치의 조명 빔에 의해 형성된 측정 스폿(31) 내에 모두 있도록 함께 밀접하게 위치되는 4 개의 개별적인 오버레이 격자들(32 내지 35)을 포함한다. 이 격자들 각각이 메트롤로지 타겟이다. 따라서, 4 개의 타겟들은 모두 동시에 조명되고, 동시에 센서들(19 및 23) 상에 이미징된다. 오버레이 측정에 관련된 예시에서, 격자들(32 내지 35)은 자체로 기관(W) 상에 형성된 반도체 디바이스의 상이한 층들에 패터닝되는 오버라이딩 격자(overlying grating)들에 의해 형성된 복합 격자들이다. 격자들(32 내지 35)은 상이하게 편향(bias)된 오버레이 오프셋들을 가져, 복합 격자들의 상이한 부분들이 형성되는 층들 간의 오버레이의 측정을 용이하게 할 수 있다. 또한, 격자들(32 내지 35)은 나타난 바와 같이 입사 방사선을 X 및 Y 방향으로 회절시키도록 그 방위가 상이할 수 있다. 일 예시에서, 격자들 32 및 34가 X-방향 격자들이며, 각각 +d, -d의 편향들을 갖는다. 이는 격자 32가 오버라이딩 구성요소들을 갖고, 이들은 둘 다 이들의 공칭 위치들에 정확히 프린트되는 경우, 구성요소들 중 하나가 다른 하나에 대해 거리 d만큼 오프셋되도록 배치된다는 것을 의미한다. 격자 34는 완벽히 프린트되는 경우에 제 1 격자 등과 반대 방향으로 d의 오프셋이 존재하도록 배치되는 구성요소들을 갖는다. 격자들 33 및 35는 Y-방향 격자들이며, 각각 오프셋들 +d 및 -d를 갖는다. 4 개의 격자들이 예시되지만, 또 다른 실시예는 원하는 정확성을 얻기 위해 더 큰 매트릭스를 필요로 할 수 있다. 예를 들어, 3 x 3 어레이의 9 개의 복합 격자들이 -4d, -3d, -2d, -d, 0, +d, +2d, +3d, +4d 편향들을 가질 수 있다. 이 격자들의 개별 이미지들이 센서(23)에 의해 포착되는 이미지에서 식별될 수 있다.

[0048] 각각의 타겟을 생성하기 위해, 적어도 2 개의 층들에 격자 패턴들(주기적 구조체)이 형성되고, 각각의 층의 패턴은 레티클과 같은 패터닝 디바이스에 의해 정의된다는 것을 이해할 것이다. 도 4의 예시에서는, 모든 4 개의 격자들이 동일한 쌍의 층들에 형성된다고 가정되지만, 이는 단지 하나의 선택사항이다. 필요에 따라, 격자들(32 및 34)이 층 1과 층 2 간의 오버레이를 측정할 수 있는 한편, 격자들(33 및 35)이 상이한 층들, 예를 들어 층 3과 층 4 간의 오버레이를 측정할 수 있다.

[0049] 도 5는 도 3(d)로부터의 어퍼처 플레이트들(13NW 또는 13SE)을 이용하는 도 3의 장치에서 도 4의 타겟을 이용하여 센서(23) 상에 형성되고 센서(23)에 의해 검출될 수 있는 이미지의 일 예시를 나타낸다. pupils 평면 이미지 센서(19)는 상이한 개별적 격자들(32 내지 35)을 분해할 수 없지만, 이미지 센서(23)는 그렇게 할 수 있다. 크로스-해치드(cross-hatched) 직사각형(40)은 센서 상의 이미지의 필드를 나타내며, 이 안에서 기관 상의 조명된 스폿(31)은 대응하는 원형 영역(41)으로 이미징된다. 이상적으로, 필드는 어둡다. 이 다크 필드 이미지 내에

서, 직사각형 영역들(42 내지 45)은 개별적인 격자들(32 내지 35)의 이미지들을 나타낸다. 격자들이 제품 영역들 내에 위치되는 경우, 제품 피쳐들도 이 이미지 필드의 주변에서 보일 수 있다. 도 5의 다크 필드 이미지에는 단지 단일 복합 격자 타겟만이 나타나지만, 실제로는 반도체 디바이스 또는 리소그래피에 의해 구성되는 다른 제품이 많은 층들을 가질 수 있고, 상이한 쌍들의 층들 사이에서 오버레이 측정들이 수행되도록 요구된다. 층들의 쌍 사이의 각각의 오버레이 측정을 위해, 1 이상의 복합 격자 타겟들이 필요하고, 이에 따라 이미지 필드 내에 다른 복합 격자 타겟들이 존재할 수 있다. 이미지 프로세서 및 제어기(PU)가 격자들(32 내지 35)의 개별 이미지들(42 내지 45)을 식별하기 위해 패턴 인식을 이용하여 이 이미지들을 처리한다.

[0050] 일단 격자들의 개별 이미지들이 식별되면, 그 개별적인 이미지들의 세기들은 예를 들어 식별된 영역들 내의 선택된 픽셀 세기 값들을 합산하거나 평균함으로써 측정될 수 있다. 이미지들의 세기들 및/또는 다른 특성들이 서로 비교될 수 있다. 이 결과들은 리소그래피 공정의 상이한 파라미터들을 측정하도록 조합될 수 있다. 오버레이 성능은 이러한 파라미터의 중요한 예시이며, 세기들을 비교하는 것이 오버레이의 측정으로서 사용될 수 있는 비대칭들을 드러낸다. 비대칭 및 이에 따른 오버레이를 측정하는 또 다른 기술에서, 퓨필 평면 이미지 센서(19)가 사용된다. 이 센서를 이용하는 일 예시는 이후 도 20 및 도 21을 참조하여 설명될 것이다.

[0051] 회절 기반 오버레이에서의 신호 형성

[0052] 도입부에서 언급된 타입의 오차들의 근원(source)을 이해하기 위해, 먼저 오버레이 측정의 원점(origin)을 고려하고, 추가로 계산에 사용되는 신호들이 회절-기반 오버레이 메트롤로지에서 어떻게 형성되는지를 상세히 고려하는 것이 유용할 것이다. 앞서 설명된 바와 같이, 오버레이의 측정은 적절한 조명 하에 타겟에 의해 형성된 회절 스펙트럼의 맞은편 부분(opposite portion)들 간의 비대칭을 관찰하는 것에 기초한다. 상기 부분들은 0차를 의미하지 않는 고차 회절 방사선을 포함한다. 이 예시들에서 선택되는 부분들은 실질적으로 1차를 포함하지만, 필요에 따라 고차들이 포함될 수 있다.

[0053] 도 7은 한 쌍의 오버레이 격자 타겟들의 단면을 예시한다. 이들은, 예를 들어 도 4에 나타난 형태의 복합 타겟 내의 타겟들(32 및 34)일 수 있다. 저부 격자는 기판(W) 상의 층(L1)에 형성된 피쳐들을 갖는 주기적 구조체를 포함한다. 동일한 피치(P)를 갖는 최상부 격자는 상부 층(L2)에 형성된다. 상부 및 하부 격자들 간의 변위(X)가 측정될 오버레이(OV) 및 프로그램된 오프셋(이 예시에서는 +d 또는 -d)의 조합이다. 도 6의 방법의 단계 S5에서 각각의 격자에 대해, +1 및 -1 회절 신호들의 세기들을 감산(subtract)함으로써 비대칭( $\Delta I$ )이 계산된다. 이 회절 신호들은 다음 공식에 나타낸 바와 같이 계수(K)를 곱한 변위(X)와 관련될 수 있다:

[0054] +d 오프셋에 대해  $\Delta I_+ = K(OV+d)$ , 및

[0055] -d 오프셋에 대해  $\Delta I_- = K(OV-d)$

[0056] 이때, OV 및 d는 피치(P)보다 훨씬 더 작다고 가정된다. 오버레이(OV)는 다음 공식에 의해 나타낸 바와 같이 상이한 오프셋들에 대한 비대칭 측정들의 조합으로부터 계산된다:

[0057] 
$$OV = d \frac{\Delta I_+ + \Delta I_-}{\Delta I_+ - \Delta I_-}$$

[0058] 앞선 수학적식은 잘 알려져 있고 실제로 적용되지만, 성능이 예를 들어 조명 방사선의 파장 및 편광을 정의하는 최적 메트롤로지 "레시피"의 선택에도 의존한다. 일반적으로, 최적 레시피는 실험에 의해 결정된다. 발명자들은 제 1 원리들로부터 재고함으로써 비대칭 회절 신호들, 측정된 오버레이에서의 오차 원인들이 설명될 타겟 디자인 및 레시피 선택 방법들에 의해 어떻게 드러나고 설명될 수 있는지를 인지하였다. 특히, 통상적으로 측정 품질을 결정하는 데 사용되는 기준이 몇몇 경우들에 가장 정확한 측정을 제공하지 않을 수 있음이 나타내어질 수 있다.

[0059] 도 8은 층들(L1, L2) 내의 저부 및 최상부 격자와의 입사 방사선(중심) 빔(800)의 상호작용을 개략적으로 나타낸다. 각각의 층은, 예를 들어 최상부 격자에 의해 회절된 +1차 및 -1차 빔들(802- 및 802+) 및 저부 격자에 의해 회절된 빔들(804- 및 804+)을 포함하는 그 자신의 회절 스펙트럼을 생성한다. 이 방사선 성분들은 원거리장(far field)에서 서로 간섭하여, 검사 장치에 의해 측정되는 회절 신호를 산출한다. 이 예시에 따르면, 최상부 격자 회절 방사선(802+)은 진폭 A 및 위상  $\alpha$ 를 갖는 한편, 회절 스펙트럼의 맞은편 부분을 나타내는 최상부 격자 회절 방사선(802-)은 진폭 A 및 위상  $-\alpha$ 를 갖는다. 저부 격자 회절 방사선(804- 및 804+)은 둘 다 진폭 B 및 위상  $\beta$ 에 의해 정의된다. 이 형태의 표현에서, 위상  $\alpha$ 는 측정될 격자 시프트인 비례적(proportional) X/P이다. 파라미터들(A, B 및  $\beta$ )은 층들의 개재 "스택", 적용되는 측정 레시피, 및 격자들의 특성들에 완전히

의존한다. 간단히 말하면, 위상  $\beta$ 는 방사선이 저부 격자 자체와의 상호작용 이전 및 이후에 최상부 격자 및 여하한의 개재 층들을 통과해야 하는 것에 기인하는 위상 지연을 나타낸다.

[0060] 이 2 개의 방사선 성분들 간의 간섭에 관하여 검출된 세기들을 표현하면, 다음 수학적식들이 기록될 수 있다:

$$I_+ = |Ae^{j\alpha} + Be^{j\beta}|^2 = A^2 + B^2 + 2AB \times \cos[\beta + \alpha]$$

$$I_- = |Ae^{-j\alpha} + Be^{j\beta}|^2 = A^2 + B^2 + 2AB \times \cos[\beta - \alpha]$$

[0062] 도 9는 예시적인 타겟에 대하여,  $\alpha$ 에 대한 세기들  $I_{+1}$  및  $I_{-1}$ 의 계산된 값들을 나타낸다. 두 신호들이 대략 0 이 아닌 평균 값에 기초하여 어떻게 사인곡선의 형태를 갖는지에 유의한다. 이 예시에서의  $\beta$ 의 값은 시프트 X 에 대해, 나타낸 바와 같이 1.14 라디안(radian)이다.  $\beta$ 의 유의성(significance)은 아래에서 더 설명될 것이다.

[0063] 도 10은 실제 제품으로부터 측정되는 세기들  $I_{+1}$  및  $I_{-1}$ 의 측정된 값들을 나타낸다. 계산된 값들과의 우수한 일치 존재한다는 것을 알 수 있다. 도 9와 도 10 및 그래프들을 보면, 신호들은 우수한 콘트라스트를 나타낸다. 즉, 이들은 변위(X)에 대한 강한 의존성을 나타내고, 정확한 오버레이 측정들을 산출할 것으로 기대 될 수 있다. 불행하게도, 이러한 우수한 콘트라스트가 모든 실제 측정들에서 명백하지는 않다. 이러한 신호 ( $I_{+1}$  또는  $I_{-1}$ )에 대한 콘트라스트 값(CT)이 다음 공식에 의해 정의될 수 있다:

$$CT = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

[0065] 이때,  $I_{\max}$  및  $I_{\min}$ 은 사인곡선 변동에 걸친 관련 세기 신호의 최대 및 최소 값들이다. CT의 범위는 0으로부터 이론적 최대인 1까지이다. 최상부 및 저부 격자 신호들 간의 간섭의 결과를 모델링한 앞선 수학적식들에서, 항  $\cos(\beta + \alpha)$  또는  $\cos(\beta - \alpha)$ 는  $\alpha$ 가 전체 사이클에 걸쳐 변화함에 따라 범위가 +1로부터 -1까지이다. 발명자들은 측정된 세기 신호들에서의 최고 콘트라스트가  $A = B$ 인 경우에 얻어진다는 것을 관찰하였다. 간단히 설명되 지만, 이 의존성은 반드시 종래 기술에서 명쾌하게 인지되거나, 타겟 디자인을 개선하도록 적용되지는 않았다. 이는 흥미로운 관찰을 초래한다. 값 B는 실제 타겟들에서 A와 비교하여 일반적으로 매우 작는데, 이는 저부 격 자의 방사선 성분이 개재 재료 층들을 통해 두 번 통과해야 하는 한편, 여하한의 다른 재료로 덮이지 않은 새로 현상된 레지스트 재료에서 형성된 최상부 격자가 매우 강한 A 값을 제공하기 때문이다. 또한, 본 명세서에 설 명된 방법들은 "에칭후(after-etch)" 오버레이 메트롤로지에 적용될 수도 있으며, 이때 최상부 격자는 제품 층 에 형성된다.

[0066] 발명자들은 최고 콘트라스트( $CT = 1.0$ )가  $A = B$ 인 경우에만 얻어질 수 있다는 것을 주목하였다. 도입부 및 청 구항들의 말을 빌면, 다시 말해서 제 1 및 제 2 방사선 성분들의 상대 진폭  $RA = A \div B$ 는 1이다. 신호의 상대 진폭이 2(또는  $\frac{1}{2}$ )인 경우, CT는 0.8로 감소될 것이다. RA가 4인 경우, CT는 0.5 바로 아래이고, RA가 10인 경 우, CT는 겨우 0.2이다.

[0067] 결과적으로, 관찰된 회절 신호에 대한 가장 강한 가능한 기여를 갖는 각각의 격자를 구성하는 것이 아니라, 내 재된(buried) 저부 격자의 기여와 더 동일한 기여를 갖는 격자를 구성하는 것이 목적인 오버레이 메트롤로지 타 겟들에 대한 디자인 방법이 제안된다. 이는 아래에서 설명되는 바와 같이 격자들 중 상당히 "약화시키는 (weakening)" 격자(통상적으로 최상부 격자)를 수반할 수 있다.

[0068] 상대 진폭(RA)에 의해 매우 강하게 영향을 받는 각각의 세기 신호들에서의 콘트라스트에 추가하여, 앞선 수학적 식 들은 이제 설명되는 바와 같이 상대 위상( $\beta$ )의 강한 영향을 드러낸다. 본 명세서에 개시된 타겟 디자인 방법 (더 정확하게는, 타겟 및 레시피 디자인 방법)은  $\beta$ 의 값을 최적화하려고 노력한다.

[0069] 도 11은 상대 위상의 고정된 성분( $\beta$ )이 절반의 사이클에 걸쳐 변화함에 따라, 시프트(X)에 대한 세기 신호들 ( $I_{+1}$  및  $I_{-1}$ ) 간의 위상 관계(위상  $\alpha$ 에 관하여 편리하게 표현됨)를 나타낸다. 우수한 품질 측정들을 위해, 세 기들은 X가 변화함에 따른 대조적 거동(contrasting behavior)을 나타내어야 한다. 하지만, 그래프들이 나타낸 바와 같이, 대조적 거동은  $\beta$ 가 대략  $\pi/2$ 인 경우에 존재할 수 있지만,  $\beta$ 가 대략 0인 경우에는 완전히 존재하 지 않는다. 그러므로, 각각의 신호에서의 콘트라스트(CT)가 매우 높은 경우에도, 오버레이 측정이 의존하는 대 조적 거동은 상대 위상( $\beta$ )에 매우 의존한다. 발명자들은 소정 생산 경우들에서  $\beta$ 의 값으로 인해 메트롤로지

에 대한 어려움이 존재한다는 것을 인지하였다.

[0070]  $\beta$ 와 측정 품질 간의 이 관계는 분석적으로도 도출될 수 있다. 앞선 내용으로부터, 세기 값들에서의 관찰된 비대칭( $\Delta I$ )으로부터의 오버레이 측정(OV)의 계산이 계수(K)에 의존한다는 것을 상기한다. 다음 수학적식은 앞서 정의된 파라미터들(A, B 및  $\beta$ )에 관하여 K의 값을 도출한다. 표현들을 간소화하기 위해,  $X \ll P$ 라고 가정하여,  $\sin(\alpha)$ 가  $2\pi X/P$ 에 의해 근사되도록 할 수 있다.

$$\Delta I = I_1 - I_{-1} = 4AB \sin(\beta) \sin(\alpha) \approx \frac{8\pi}{P} AB \sin(\beta) X$$

$$= K \cdot X$$

[0071] 
$$K = \frac{8\pi}{P} AB \sin(\beta) \text{ [W/(m}^2 \cdot \text{nm)]}$$

[0072] 도 12는 도출된 공식에 의해 계산된,  $\beta$ 에 대한 K의 값의 플롯을 나타낸다.  $\beta$ 가 대략 0 또는  $\pi$ 인 경우, K는 거의 0이고  $\beta$ 에 매우 민감하다는 것이 관찰된다. 이로부터 오버레이의 측정들이 공정 변동들에 대해 높은 의존성을 갖고 열악한 감도(poor sensitivity)를 가질 것을 예측할 수 있다. 반면에,  $\beta$ 가 거의  $\pi/2$  또는  $3\pi/2$ 인 경우, K는 높고 공정 변동들로 인한  $\beta$ 의 작은 변동들에 대해 비교적 안정적이다.

[0073] 이제, 상대 위상( $\beta$ )은 2 개의 항: 즉, 제 2 방사선 성분(에 대한 유효 광로차(effective optical path difference) 및 측정에 사용되는 방사선의 파장( $\lambda$ )의 함수이다. 유효 광로차는 제품 디자인 및 공정 요건들에 의해 결정되고, 통상적으로 타겟 디자인 공정의 일부분으로서 영향을 받을 수 없다. 파장( $\lambda$ )은 디자인 공정의 일부분으로서 선택가능하고, 메트롤로지 레시피에서 명시되는 파라미터이다. 결과적으로, 개시된 디자인 방법은  $\beta$ 가 가능한 한  $\pi/2$  또는  $3\pi/2$ 에 가까워지게 하려고 노력한다. 공정 변동들은  $\beta$ 가 완벽히 제어가능하지 않다는 것을 의미하지만, 이 이상적인 값들 중 하나를 갖도록 이를 디자인하는 것은 오버레이 측정들의 품질이 공정 변동들에 더 관대하다는 것을 의미할 것이다.

[0074] 실제 디자인 문제에서, 타겟 디자인 및/또는 메트롤로지 레시피 디자인은 수 개의 변수 파라미터들을 가질 수 있다. 최적의 디자인 해결책은 실제 상황에서 달성가능한 것과 원하는 것 사이의 타협일 것이다. 간단한 예시로서, 기존 메트롤로지 장치가 무한히 조정가능한 파장을 갖는 것이 아니라, 선택될 몇몇 파장들만을 가질 수 있다. 편광의 선택이 영향을 미칠 수 있다. 최적 해결책의 탐색을 간소화하기 위해, 메트롤로지 레시피와 타겟 디자인의 후보 조합들의 성공을 평가하는 1 이상의 품질 측정들이 정의될 수 있다. 특히, 실험적인 타겟들에 적용될 수 있는 품질의 측정이 유용할 수 있다.

[0075] 도 13은 콘트라스트 기준(1에 가까운 상대 진폭 RA) 및 상대 위상 기준( $\pi/2$  또는  $3\pi/2$ 에 가까운 상대 위상  $\beta$ )을 요약(encapsulate)하는 신호 품질 지표(S)의 도출을 예시한다. 스택 민감도 지표(stack sensitivity indicator)라고도 할 수 있는 이 지표가 실제 타겟들에 대한 실험적 측정들, 및/또는 시뮬레이션된 측정들에서 사용될 수 있다. 그래프에서, 수평축은 주기(P)의 비율로서 시프트(X)를 나타낸다. (OV = 0인 이상적인 경우에 대해) 세기 신호들( $I_{+1}$  및  $I_{-1}$ )이 플롯 구성된다. 곡선들의 실선 부분(solid portion)들이 전형적인 편향된 격자들의 쌍에 의해 포함되는 범위를 나타낸다. 일 예시로서, 각각의 층에서의 격자 피치는  $P = 700 \text{ nm}$ 일 수 있고, 편향  $\pm d = \pm 20 \text{ nm}$ 가 적용될 수 있다. 평균 세기( $I_m$ ) 및 세기 변동( $\Delta I$ )이 (실제 샘플로부터 또는 시뮬레이션에서) 측정될 수 있다. 사실상  $\Delta I$ 는 2 개의 편향 값들 +d와 -d 간의 세기 신호들 중 하나의 차이 또는 편향 값들 중 하나에 대한 2 개의 세기 신호들 간의 차이로서 정의될 수 있다. 그래프에 예시된 것은  $\Delta I$ 의 이후 정의지만, 여하한 알려지지 않은 오버레이의 영향이 상쇄될 것이기 때문에, 앞선 정의가 실험들에서 사용하기에 편리할 수 있다. 평균 세기( $I_m$ )는 간단히  $(I_{+1} + I_{-1})/2$ 이다.  $\Delta I/I_m$ 으로서 신호 품질 지표(S)를 정의하면, 다음이 설명될 수 있다:

[0076] 
$$S = 2 \frac{\Delta I}{I_1 + I_{-1}}$$

[0077] 파라미터들(A, B,  $\alpha$  및  $\beta$ )에 관하여 세기들에 대한 앞서 도출된 표현들을 치환하면, 다음과 같이 나타낼 수 있다:

[0078] 
$$S \approx \frac{8\pi AB \sin(\beta)}{A^2 + B^2 + 2AB \cos(\beta)} \times \left( \frac{d}{P} \right)$$

- [0079] 이 단일 측정(S)은 단일 측정에서 RA 및  $\beta$ 의 영향을 통합한다는 것을 유의한다. 최대 신호 품질(최대 오버레이 측정 정확성)은 값  $S = 0.5$ 로 표현될 것이지만, 여하한 스케일도 물론 채택될 수 있다. 가이드라인으로서, 예를 들어  $S > 0.2$ 를 적절한 신호 품질을 위한 테스트로서 선택할 수 있다. 또한, 도 13의 그래프는  $\beta = \pi/2$  또는  $3\pi/2$ 가 달성되었는지를 실험적으로 검증하기 위해 가능한 실험적 방법을 예시한다. 각각의 신호( $I_{+1}$  및  $I_{-1}$ )의 세기는  $\alpha = 0$ 에서  $\alpha = \pi$ 에 있을 때와 동일하여야 한다. 실험적 타겟들이 "라인 오버 라인(line over line)" 및 "라인 오버 트렌치(line over trench)" 버전들에서 제공되는 경우, 이 균등(equality)이 직접 테스트될 수 있다.
- [0080] 실용적인 디자인 방법에 관하여, 제 1 요건은 오버레이 메트롤로지 타겟을 형성하는 주기적 구조체들 중 하나 또는 둘 모두의 강도를 조정할 수 있는 것이다. 전형적으로, 저부 격자 기여가 이미 더 약하기 때문에, 조정되어야 하는 것은 최상부 격자이다.
- [0081] 도 14는 (a)에서 최상부 격자(900)가 주기(P) 내에서 일차 피쳐들(902)만을 갖는 예시적인 오버레이 메트롤로지 타겟의 단면도를 나타낸다. 이는 50 % 마크-공간 비를 갖는 종래 격자이다. 도 14(b)는 수정된 타겟을 나타내며, 최상부 격자가 각각의 주기(P) 내에서 일차 피쳐들(902) 및 이차 피쳐들(904)을 갖도록 수정된다. 이차 피쳐들은 최상부 격자의 주기성에 고조파(harmonics)를 효과적으로 도입한다. 이 수정에 의해, 방사선이 검사 장치에 의해 검출되는 회절 스펙트럼의 부분들 밖에서 고차 회절 스펙트럼으로 전환(divert)될 것이다.
- [0082] 일차 및 이차 피쳐들의 상대 치수들은 디자인의 파라미터로서 조정될 수 있다. 예시적인 구현에서 파라미터  $\Delta CD$ 가 정의된다.  $\Delta CD = 0$ 에서, 이차 피쳐들 및 일차 피쳐들은 동일한 크기로 이루어진다.  $\Delta CD$ 가 증가함에 따라, 이차 피쳐들의 치수들은 일차 피쳐들만이 남을 때까지[도 14(a) 상황], 일차 피쳐들이 증가하는 동안에 줄어든다. 도 14(b) 상황은 중간 값의  $\Delta CD$ 에 의해 달성된다. 물론, 최상부 격자를 약화시키는 다른 형태들의 수정이 가능하다. 일 예시는 주기성의 방향에 직교인 방향으로 격자 라인들을 서브-분할(sub-segment)하는 것이다. 예를 들어, X-방향 격자에서, 각각의 라인이 Y 방향으로 진행되는 라인들의 분할된 세트로서 형성될 수 있다.
- [0083] 도 14(c) 및 (d)는 오버레이 측정을 위한 신호 품질에 대한 이 디자인 수정의 영향을 도표로 나타낸다. 다시, 예시를 위해,  $P = 700 \text{ nm}$  및  $d = 20 \text{ nm}$ 를 갖는 타겟이 디자인된다. 또한, 이 예시를 위해  $\beta = \pi/2$  또는  $3\pi/2$ 가 달성되었다고 가정된다. (c) 및 (d)의 그래프들은 상이한 수직 스케일들을 갖는다는 것을 유의한다. 종래 타겟 (a)에 대응하는 그래프 (c)는 (b)에서의 수정된 디자인에 대응하는 그래프 (d)보다 훨씬 더 큰 신호 세기를 나타낸다. 하지만, 이것이 더 우수한 측정을 나타내지는 않는다. 종래의 타겟에 대해, 콘트라스트(CT)는 겨우 0.55이고, 신호 품질 지표(S)는 겨우 0.23인 것으로 나타내어질 수 있다. 대조적으로, 수정된 디자인 (b)에 대해, 그래프 (d)는 0.92의 콘트라스트(CT) 및 0.35의 신호 품질 지표(S)를 드러낸다. 이 값들은 종래의 타겟을 이용한 것보다 훨씬 더 우수하다.
- [0084] 타겟 및 메트롤로지 레시피에 대한 예시적인 디자인 방법
- [0085] 도 15는 앞서 확인된 원리들을 구현하는 디자인 방법의 일 예시를 나타낸다. 이 예시에서, 저부 격자 및 스택은 디자인에 의해 변경될 수 없다고 가정된다. 최상부 격자는 레지스트 층에 적용되어야 하고  $\Delta CD$ 와 같은 디자인 파라미터들에 의해 변화될 수 있다고 가정된다. 또한, 메트롤로지 레시피는 디자인에 의해 변화될 수 있는 파라미터들을 갖는다. 이러한 파라미터들의 주요 예시들은 파장 및 편광이지만, 실제 검사 장치는 수 개의 추가 파라미터들의 제어를 제공할 수 있다. 당업자라면, 다른 방법들을 쉽게 예상할 수 있고, 본 발명은 이 특정 예시에 제한되지 않는다. 다음 단계들이 정의된다:
- [0086] 메트롤로지 타겟의 수학적 모델에서 저부 격자 & 스택의 최상부에 조정가능한-강도의 레지스트 격자를 놓는다.
- [0087] 모든 이용가능한 측정 레시피들에 대해  $\beta$ 를 계산한다(더 상세하게는 도 16 참조).
- [0088]  $\pi/2$  또는  $3\pi/2$ 에 가까운  $\beta$ 를 갖는 레시피들을 선택한다.
- [0089] 각각의 선택된 레시피에 대해: 관찰된 회절 차수들의 "콘트라스트"가 최대화될 때까지 레지스트 격자의 강도를 조정한다.
- [0090] 처리된 저부 격자에 섭동들(예를 들어, 저부 격자 비대칭 BGA)을 적용하고, 모든 선택된 레시피들에 대해 유도된 OV 오차를 계산한다.
- [0091] 최저 OV 오차를 갖고 센서에 의해 검출되기에 충분한 신호를 갖는 레시피를 선택한다.

[0092] 섭동들의 적용은 선택된 디자인이 이상적인 조건들 하에서만이 아니고, 다양한 실제 조건들 하에서 높은 측정 품질을 허용할 것을 보장하는 데 효과적이다. 앞선 단계들은 오버레이 타겟이 요구되는 제품 격자들 모두에 대해 반복될 수 있다. 이미 명시된 바와 같이, 도 15 및 도 16의 특정 방법 단계들은 본 명세서에 개시된 원리들로부터 벗어나지 않고 변화될 수 있다. 예를 들어, 암시적으로 예시된 방법의 단계들이 우수한 값의 신호 품질 지표(S)를 초래하지만, 대안적인 방법은 S를 명확히 계산하고 이를 후보 디자인들 및 레시피들을 평가하는 기초로서 이용하는 것일 수 있다.

[0093] 도 16은  $\beta$ 를 계산하는 단계를 수행하는 한가지 방식을 더 상세히 예시한다. 다시, 이는 단지 하나의 예시이다. (수학적 모델을 이용한 연산에 의해 수행되는) 단계들은 다음과 같다:

[0094]  $X = -P/2$ 에 레지스트 격자를 놓고, 회절 스펙트럼의 관찰된 부분들(예를 들어, 1차)의 제 1 회절 효율(DEA)을 계산한다.

[0095]  $X = -P/4$ 에 레지스트 격자를 놓고, 제 2 회절 효율(DEB)을 계산한다.

[0096]  $X = 0$ 에 레지스트 격자를 놓고, 제 3 회절 효율(DEC)을 계산한다.

[0097]  $X = +P/4$ 에 레지스트 격자를 놓고, 제 4 회절 효율(DEE)을 계산한다.

[0098] 계산된 회절 효율들(DEA 내지 DEE)로부터 상대 위상( $\beta$ )을 계산한다.

[0099] 4 개의 회절 효율들로부터 상대 위상( $\beta$ )을 계산하는 공식은 다음과 같다:

$$\beta = \text{atan}\left(\frac{DE_B - DE_D}{DE_A - DE_C}\right)$$

[0100] 도 17은 현재 메트롤로지 타겟들 및 레시피들의 디자인에 적용된 품질 측정들 및 앞선 디자인 방법에서 활용된 품질 지표들 간의 차이를 예시한다. 다시, 예시를 위해,  $P = 700 \text{ nm}$  및  $d = 20 \text{ nm}$ 를 갖는 타겟이 디자인된다. 그래프들은 최상부 격자 강도 파라미터( $\Delta CD$ )에 대한 3 개의 품질 파라미터들의 플롯들을 나타낸다. 격자 강도는 왼쪽의 최소로부터 오른쪽의 전강도(full strength)까지 변화한다(전강도는 이 예시에서  $\Delta CD = 100 \text{ nm}$ 로 표현됨). 타겟은 (섭동 없이) 완벽한 것으로 가정되고,  $\beta$ 는 대략  $\pi/2$ 이다.

[0101] 그래프 상에 플롯 구성된 품질 지표들은 다음과 같다:

[0102] 광자 산탄 잡음(photon shot noise: PN)(임의 단위).

[0103] 백분율로의 전체 타겟의 회절 효율(DE)(임의 스케일). 여기에서, DE는 메트롤로지 방법에서 관찰되는 1차로 회절되는 입사 조명 파워의 비율로서 정의된다.

[0104] 앞서 정의된 바와 같은 콘트라스트(CT)로 0 내지 1의 스케일이다.

[0105] 제 1 지표는 당업계에서 잘 인지되며, 특히 광자 산탄 잡음이 증가될 품질 지표로서 흔히 사용된다. PN을 최소화하는 것은 결과적인 측정들이 일관되고 랜덤 오차에 덜 민감하다는 이점을 가져온다. 이 일관성은 흔히 낮은 "총 측정 불확도" 또는 TMU로서 표현된다. 하지만, 본 발명자들은 낮은 TMU가 측정 일관성을 나타내지만, 항상 우수한 측정 정확성의 우수한 지표는 아니라는 것을 인지하였다. 한편, 종래 작동 방식이 PN을 최소화하고 및/또는 DE를 최대화하도록  $\Delta CD$  파라미터 세트를 갖는 디자인을 선호할 수 있다. 이는  $\Delta CD$  축선 상에서 흰 원(open circle)으로 나타낸  $\Delta CD$  값을 선택하는 것을 암시할 것이다. 콘트라스트(CT)를 최대화하는 것에 기초한 새로운 디자인 방법은 검은 원(solid circle)으로 나타낸 값에서 더 우수한 결과가 얻어질 수 있다고 제안한다. 광자 산탄 잡음의 약간의 증가는 TMU를 증가시킬 것이지만, 측정들은 더 정확하고 공정에 견고(process robust)할 것이다.

[0106] 적용 예시 및 결과들

[0107] 도 18은  $\Delta CD$ 가 콘트라스트를 최대화하도록 최적화된 약화된 최상부 격자 및  $P = 700 \text{ nm}$ 를 갖는 예시적인 타겟을 나타낸다. 소정의 저부 격자 비대칭(BGA) =  $1 \text{ nm}$ 가 실제 제조 공정에서 발생하기 쉬운 섭동의 일 예시로서 도입되었다. 메트롤로지 타겟 및 메트롤로지 레시피의 설계자의 의문은 이러한 섭동들에 대해 비교적 견고한 오버레이의 정확한 측정을 얻는 방식이다. 이제, 어떻게 상대 위상( $\beta$ )의 제어가 이 목적을 달성하기 위한 효과적인 기술인지를 나타낼 것이다.  $\beta$ 가 메트롤로지에서 사용되는 방사선의 파장( $\lambda$ )의 선택에 의해 효과적으로 제어될 수 있음을 상기한다.

- [0109] 도 19는 다양한 파장( $\lambda$ )들에 대해 플롯 구성된, 디자인 및 측정 방법의 4 개의 파라미터들의 그래프들 (a) 내지 (d)를 나타낸다. 그래프들 (e) 및 (f)는 결과들을 나타낸다. 이 측정들은 모두 유도된 저부 격자 비대칭을 갖는 도 18의 타겟에 기초한다. 측정들은 TE 또는 TM 편광으로 수행될 수 있고, 이들은 개별적으로 플롯 구성된다. 레시피는 TE 및 TM 방사선 중 어느 하나 또는 둘 모두를 사용하도록 디자인될 수 있다. 처음 4 개의 그래프들을 고려하면, 다음 파라미터들은 앞서 이미 설명되었고, 여기에서 플롯 구성된다:
- [0110] (a)는 앞서 정의된 바와 같은 평균 세기( $I_m$ )= $(I_{+1}+I_{-1})/2$ 를 나타낸다. (b)는 앞서 정의된 바와 같은 계수(K)를 나타낸다.
- [0111] (c)는 앞서 정의된 바와 같은 스택 민감도(S)를 나타낸다.
- [0112] (d)는 앞서 정의된 바와 같은 상대 위상( $\beta$ )(도)을 나타낸다.
- [0113] 그래프들은 앞서 설명에서 이루어진 관찰들을 확인한다. 예를 들어: 측정된 신호들의 높은 평균 세기가 높은 스택 민감도(S)의 우수한 지표는 아니다(오히려, 반대가 적용됨);  $\lambda$ 의 변동들에도 비교적 민감하지 않은 높은 K 값은  $\beta$ 가 약 90 도( $\pi/2$  라디안)인  $\lambda$ 의 값들에 대응한다.
- [0114] 결과들로 돌아가면, 그래프 (e)는 측정들의 "repro" 또는 재현성을 나타낸다. 흰 점은 TMU를 최소화하는 것이 목표인 종래의 디자인 공정이 770 nm 이상의 어느 파장에서의 TE 방사선의 사용을 제한할 것임을 나타낸다. 하지만, 그래프 (f)는 저부 격자 비대칭에서 섭동으로부터 발생하는 오버레이 측정에서의 오차를 나타낸다. 검은 점은 최소 오차를 유도하는 레시피가 TM 방사선을 이용하는 것임을 나타낸다. 또한, 그래프는 760 nm 정도의 파장을 선택함으로써, 디자인된 작동 지점이 파장에 대한 오버레이 오차의 그래프에서 매우 폭넓은 최소값의 중간에 배치될 수 있다. 이는 검사 장치가 이용가능한 파장들을 제한한 경우, 적절한 파장의 선택을 용이하게 할 뿐 아니라, 실제 제조 상황에서의 공정-유도된 섭동들의 고도의 공차를 나타낸다.
- [0115] 퓨필 평면에서의 회절 기반 오버레이
- [0116] 도 20 및 도 21을 참조하면, 신규한 방법은 다크 필드 스캐터로메트리를 이용한 작은 타겟들뿐 아니라, 퓨필 평면 이미지 센서(19)를 이용하여 큰 타겟들 및 각도-분해 스캐터로메트리와도 적용될 수 있다. 이 예시를 위해, 13Q에 예시된 대칭적인 분할된 조명 프로파일(13Q)이 사용된다. a 및 b로 표시된 2 개의 정반대 사분면이 이 어퍼처 패턴(투명함)에서 밝은 한편, 다른 2 개의 사분면들은 어둡다(불투명함). 이 타입의 어퍼처는 공개된 특허 출원 US 20100201963으로부터 스캐터로메트리 장치에서 알려져 있다. 도 20의 중심에서 보이는 바와 같이, 조명 스폿(31)에 의해 언더필링되는 타겟 격자(732)가 사용된다. 도면에는 나타나지 않지만, 이 격자(732)는 복합 타겟의 성분 격자(component grating)들을 형성하는 더 큰 세트의 격자들의 일부분이다. 도 8의 예시에서 유추하여, 성분 오버레이 격자들(732 내지 735) 및 보조 성분 격자들(732' 내지 735' 및 732" 내지 735")이 존재할 수 있다.
- [0117] 도 4 내지 도 6의 예시에서는 검출기(23)가 기관(W)의 평면에 대응하는 이미지 평면에서 사용되는 반면, 도 12 및 도 13의 방법은 대물렌즈(16)의 퓨필 평면과 컬레인 평면에 위치되는 검출기(19)를 사용한다. 검출기(19)는 이미지 센서, 예를 들어 CCD 카메라 센서일 수 있다. 대안적으로, 개별적인 점 검출기(point detector)들이 이미지 센서들 대신에 배치될 수 있다. 어퍼처 플레이트(13Q)에 의해 제공되는 조명 패턴은 도 12의 왼쪽에 a 및 b로 표시된 밝은 사분면들을 갖는 한편, 센서(19)에 의해 보이는 회절 패턴은 오른쪽에 나타내어진다. 이 패턴에서는,  $a_0$  및  $b_0$ 으로 표시된 0차 반사들에 추가하여,  $a_{-1}$ ,  $a_{+1}$ ,  $b_{-1}$  및  $b_{+1}$ 로 표시된 1차 회절 신호들이 보일 수 있다. 조명 어퍼처의 다른 사분면들이 어둡기 때문에, 더 일반적으로는 조명 패턴이 180° 회전 대칭을 갖기 때문에, 회절 차수들( $a_{-1}$  및  $b_{+1}$ )은 "자유롭고(free)" 이들이 조명 어퍼처의 다른 부분들로부터 0차 또는 고차 신호들과 오버랩되지 않음을 의미한다. 분할된 조명 패턴의 이 특성은 종래의 원형-대칭 조명 어퍼처가 사용된 경우에 이미징될 수 있는 최소 피치의 절반인 피치를 갖는 회절 격자(오버레이 타겟)로부터 분명한 1차 신호들을 얻도록 활용될 수 있다. 이 회절 패턴 및 스캐터로메트리에 대해 이것이 활용될 수 있는 방식이 알려진 출원 US 20100201963에서 설명된다.
- [0118] 도 21은 분해능 미스매치(at-resolution mismatch)에 대해 보정되는 오버레이 측정들을 얻기 위해 타겟들(732 등)로부터의 도 20의 회절 스펙트럼들을 이용하는 방법의 흐름도이다. 단계들(S11 내지 S15)은 도 6의 방법의 단계들(S1 내지 S6)에 밀접하게 대응하고, 상세히 설명되지 않을 것이다. 주요한 차이는 다음과 같다. 도 6의 방법은 (예를 들어) 센서(23)로 포착된 제 1 및 제 2 이미지들에서 보이는 바와 같은 격자 이미지(42)의 세기들을 비교함으로써 격자(32)에 대한 비대칭 신호를 얻는다는 것을 상기한다. 대조적으로, 도 21의 방법은 (예를

들어) 퓨필 이미지 센서(19) 상의 동일한 회절 스펙트럼 내에서 추출된 +1차 및 -1차 회절의 세기들을 비교함으로써 격자(732)에 대한 비대칭 신호를 얻는다.

- [0119] 본 명세서에 개시된 기술들은 메트롤로지 타겟들 및 레시피들의 디자인 및 사용이 오버레이 측정들의 높은 정확성을 달성할 수 있게 한다. 상기 방법은, 예를 들어 측정들을 공정 변동들에 대해 가능한 한 견고하게 하기 위해, 및 현재 작용 방식들에 의해 해결하기 쉽지 않은 특정 스택들의 경우에도 이들을 효과적이게 하기 위해 적용될 수 있다.
- [0120] 앞선 예시들에서 사용된 특정 파라미터들이 정의될 수 있는 유일한 것들은 아니라는 것을 이해하여야 한다. 메트롤로지를 위해 사용될 리소그래피 장치 및 검사 장치의 제약들에 따라, 추가적인 및/또는 대안적인 파라미터들이 실제 디자인 공정에서 사용될 수 있다. 검사 장치는 기존의 장치일 수 있고, 이때 조명 모드들 및 파장들의 선택이 제한될 수 있다. 예를 들어, 레이저-펌핑 플라즈마 광 소스(laser-pumped plasma light source)를 갖는 장래의 장치들의 경우, 파장들의 더 폭넓은 선택이 가능할 수 있고, 이 유연성은 본 명세서에 개시된 디자인 방법들에 의해 충분히 활용될 수 있다. 앞서 설명된 타겟 구조체들은 구체적으로 측정을 위해 설계되고 형성된 메트롤로지 타겟들이지만, 다른 실시예들에서는 특성들이 기관 상에 형성된 디바이스들의 기능부들인 타겟들 상에서 측정될 수 있다. 많은 디바이스들은 규칙적인, 격자-형 구조체들을 갖는다. 본 명세서에서 사용된 바와 같은 '타겟 격자' 및 '타겟 구조체'라는 용어들은 구조체가 구체적으로 수행되는 측정을 위해 제공될 것을 요구하지 않는다.
- [0121] 기관들 및 패터닝 디바이스들 상에 실현된 바와 같은 타겟들의 물리적 격자 구조체들과 관련하여, 일 실시예는 연계된 레시피들과 함께 기관 상의 타겟들을 디자인하고 생성하는 방법들을 설명하는 기계-판독가능한 명령어들의 1 이상의 시퀀스를 포함한 컴퓨터 프로그램을 포함할 수 있다. 이 컴퓨터 프로그램은, 예를 들어 디자인 공정을 위해 채택된 별도의 컴퓨터 시스템에서 실행될 수 있다. 대안적으로, 디자인 공정은 도 2의 제어 유닛(LACU) 및/또는 도 3의 장치 내의 유닛(PU) 내에서 전체적으로 또는 부분적으로 수행될 수 있다. 또한, 이러한 컴퓨터 프로그램이 저장되어 있는 데이터 저장 매체(예를 들어, 반도체 메모리, 자기 또는 광학 디스크)가 제공될 수 있다.
- [0122] 이상, 광학 리소그래피와 관련하여 본 발명의 실시예들의 특정 사용예를 언급하였지만, 본 발명은 다른 적용예들, 예를 들어 임프린트 리소그래피에 사용될 수 있으며, 본 명세서가 허용한다면 광학 리소그래피로 제한되지 않는다는 것을 이해할 것이다. 임프린트 리소그래피에서, 패터닝 디바이스 내의 토포그래피(topography)는 기관 상에 생성된 패턴을 정의한다. 패터닝 디바이스의 토포그래피는 전자기 방사선, 열, 압력 또는 그 조합을 인가함으로써 레지스트가 경화되는 기관에 공급된 레지스트 층으로 가압될 수 있다. 패터닝 디바이스는 레지스트가 경화된 후에 그 안에 패턴을 남기는 레지스트로부터 이동된다.
- [0123] 본 명세서에서 사용된 "방사선" 및 "빔"이라는 용어는 이온 빔 또는 전자 빔과 같은 입자 빔뿐만 아니라, (예를 들어, 365, 355, 248, 193, 157 또는 126 nm, 또는 그 정도의 파장을 갖는) 자외(UV) 방사선 및 (예를 들어, 5 내지 20 nm 범위 내의 파장을 갖는) 극자외(EUV) 방사선을 포함하는 모든 형태의 전자기 방사선을 포괄한다.
- [0124] 본 명세서가 허용하는 "렌즈"라는 용어는, 굴절, 반사, 자기, 전자기 및 정전기 광학 구성요소들을 포함하는 다양한 형태의 광학 구성요소들 중 어느 하나 또는 그 조합으로 언급될 수 있다.
- [0125] 특정 실시예들의 앞선 설명은, 당업계의 지식을 적용함으로써, 다양한 적용들에 대해 본 발명의 일반적인 개념을 벗어나지 않고 지나친 실험 없이 이러한 특정 실시예들을 쉽게 변형하고, 및/또는 응용할 수 있도록 본 발명의 일반적인 성질을 전부 드러낼 것이다. 그러므로, 이러한 응용예 및 변형예들은 본 명세서에 나타낸 교시 및 안내에 기초하여, 기재된 실시예들의 균등물의 의미 및 범위 내에 있도록 의도된다. 본 명세서에서, 어구 또는 전문 용어는 예시에 의한 설명을 위한 것이며 제한하려는 것이 아니므로, 당업자라면 본 명세서의 전문 용어 또는 어구가 교시 및 안내를 고려하여 해석되어야 한다는 것을 이해하여야 한다.
- [0126] 본 발명의 범위와 폭은 상술된 예시적인 실시예들 중 어느 것에 의해서도 제한되지 않아야 하며, 다음의 청구항 및 그 균등물에 따라서만 정의되어야 한다.
- [0127] 본 명세서의 요약 및 초록 부분(Summary and Abstract sections)이 아닌, 발명의 상세한 설명 부분(Detailed Description section)이 청구항을 해석하는 데 사용되도록 의도된다는 것을 이해하여야 한다. 요약 및 초록 부분은 1 이상을 설명할 수 있지만, 발명자(들)에 의해 의도(contemplate)된 본 발명의 모든 예시적인 실시예를 설명하지는 않으므로, 어떠한 방식으로든 본 발명 및 첨부된 청구항을 제한하지는 않는다.
- [0128] 이상, 본 발명은 명시된 기능들 및 그 관계들의 구현을 예시하는 기능 구성 블록(functional building block)들

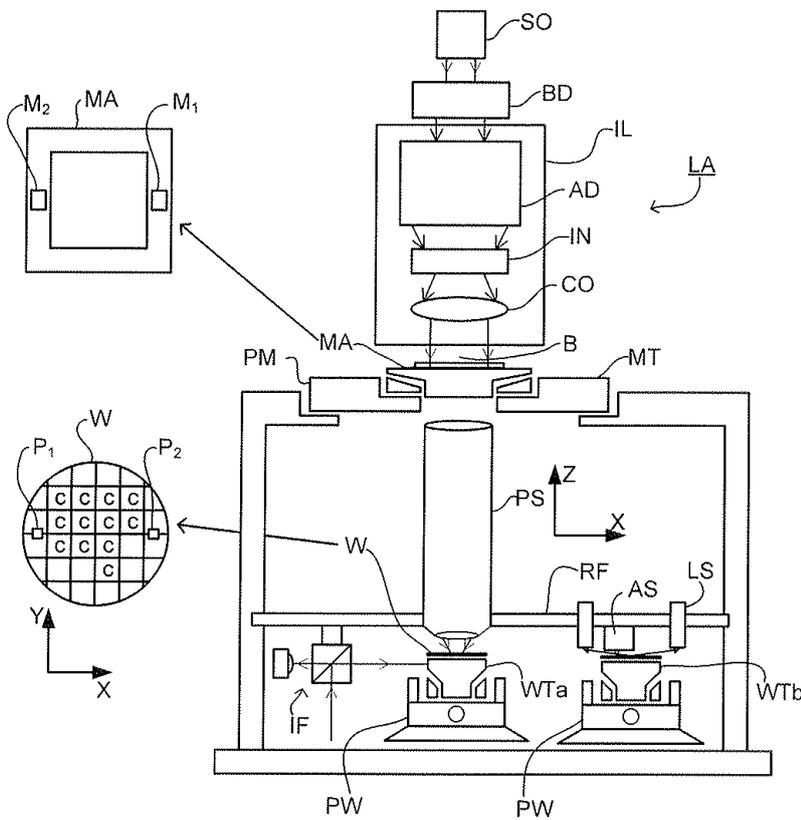
의 도움으로 설명되었다. 본 명세서에서, 이 기능 구성 블록들의 경계들은 설명의 편의를 위해 임의로 정의되었다. 명시된 기능들 및 그 관계들이 적절히 수행되는 한, 대안적인 경계들이 정의될 수 있다.

[0129] 특정 실시예들의 앞선 설명은, 당업계의 지식을 적용함으로써, 다양한 적용들에 대해 본 발명의 일반적인 개념을 벗어나지 않고 지나친 실험 없이 이러한 특정 실시예들을 쉽게 변형하고, 및/또는 응용할 수 있도록 본 발명의 일반적인 성질을 전부 드러낼 것이다. 그러므로, 이러한 응용에 및 변형예들은 본 명세서에 나타난 교시 및 안내에 기초하여, 기재된 실시예들의 균등물의 의미 및 범위 내에 있도록 의도된다. 본 명세서에서, 어구 또는 전문 용어는 설명을 위한 것이며 제한하려는 것이 아니므로, 당업자라면 본 명세서의 전문 용어 또는 어구가 교시 및 안내를 고려하여 해석되어야 한다는 것을 이해하여야 한다.

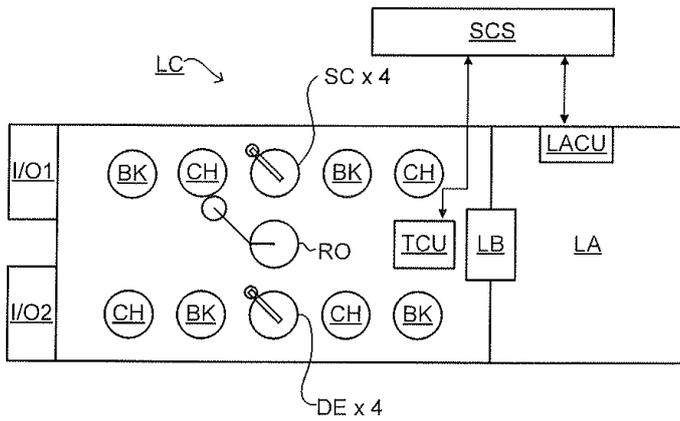
[0130] 본 발명의 범위와 폭은 상술된 예시적인 실시예들 중 어느 것에 의해서도 제한되지 않아야 하며, 다음의 청구항 및 그 균등물에 따라서만 정의되어야 한다.

**도면**

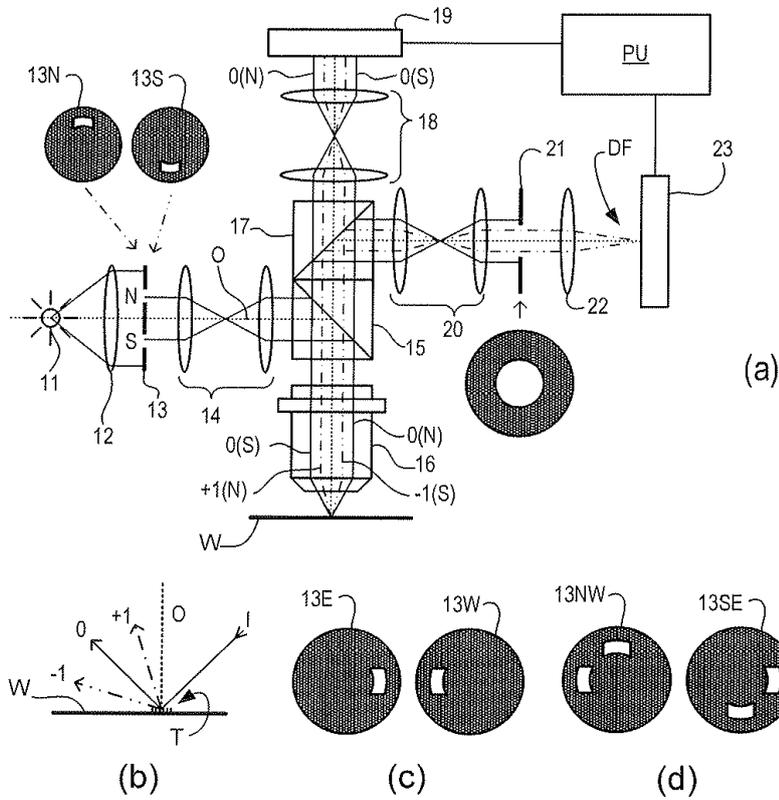
**도면1**



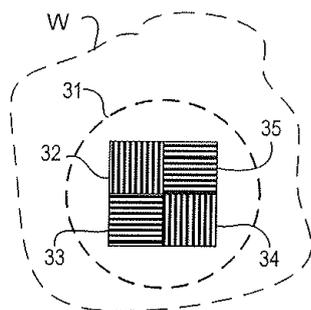
도면2



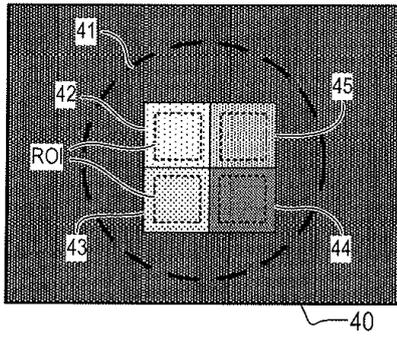
도면3



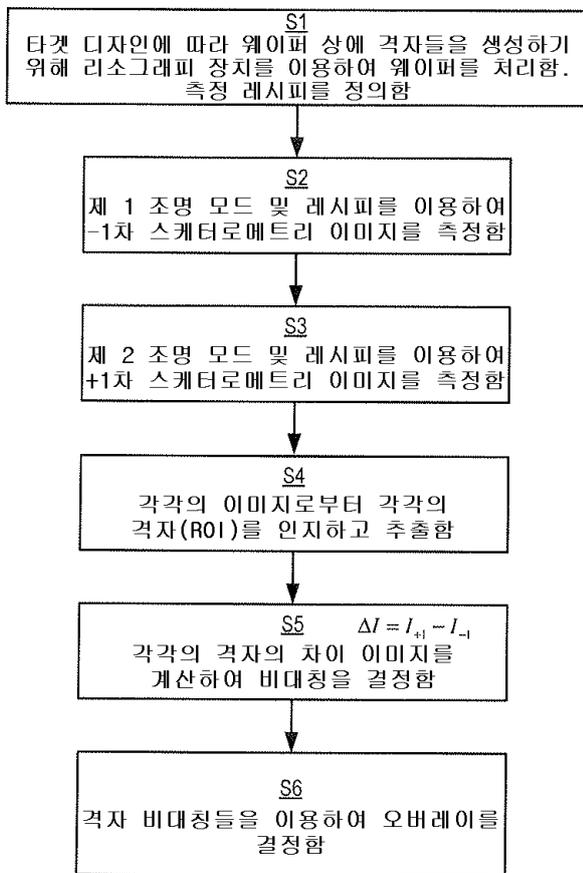
도면4



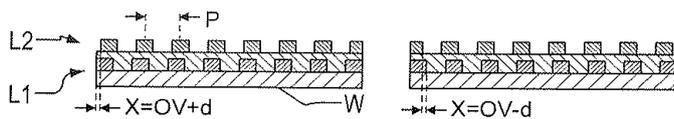
도면5



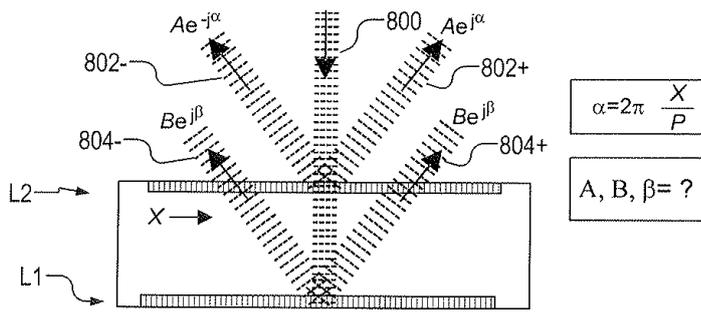
도면6



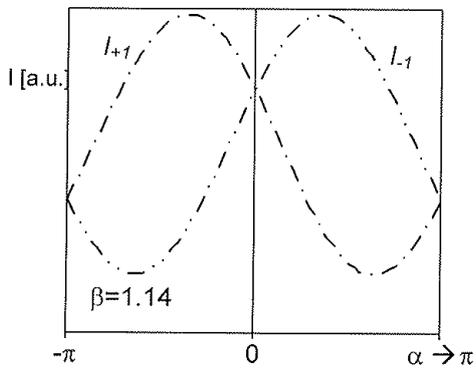
도면7



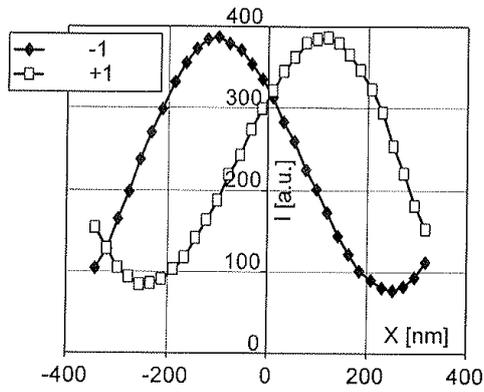
도면8



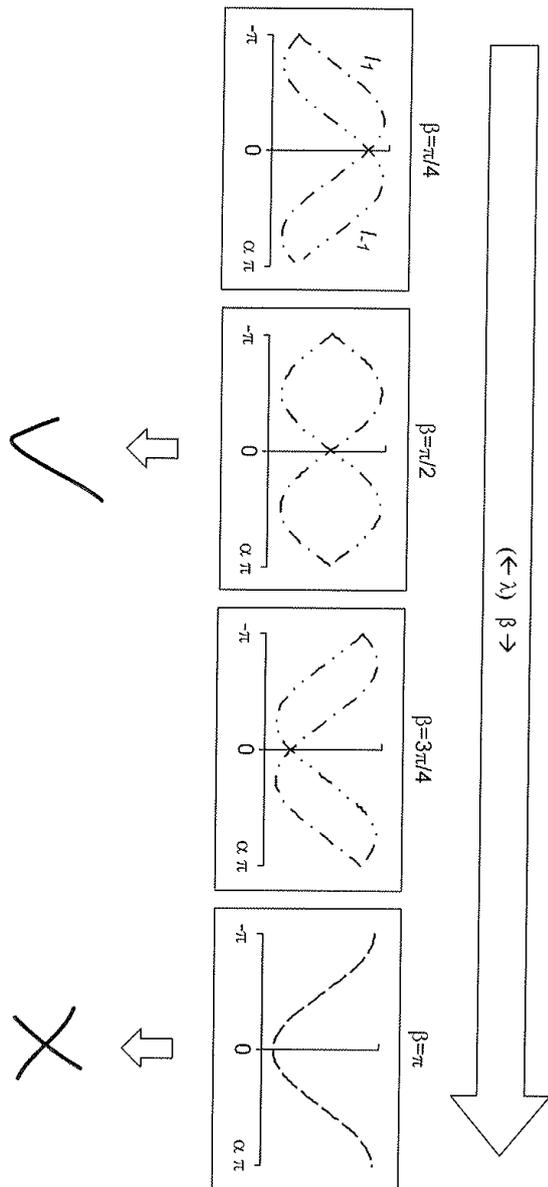
도면9



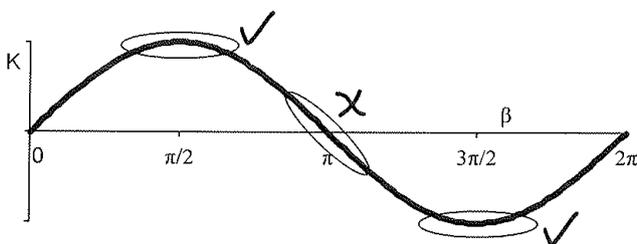
도면10



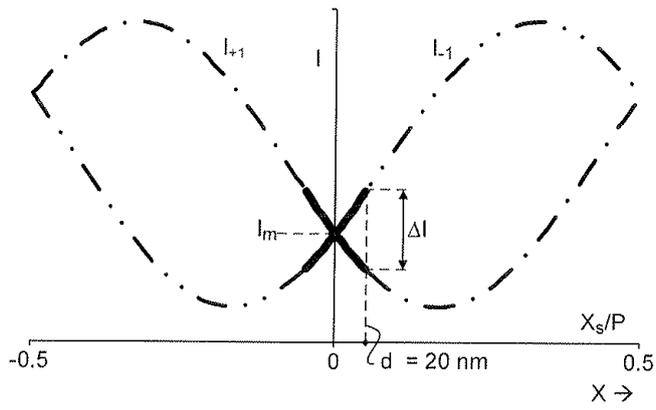
도면11



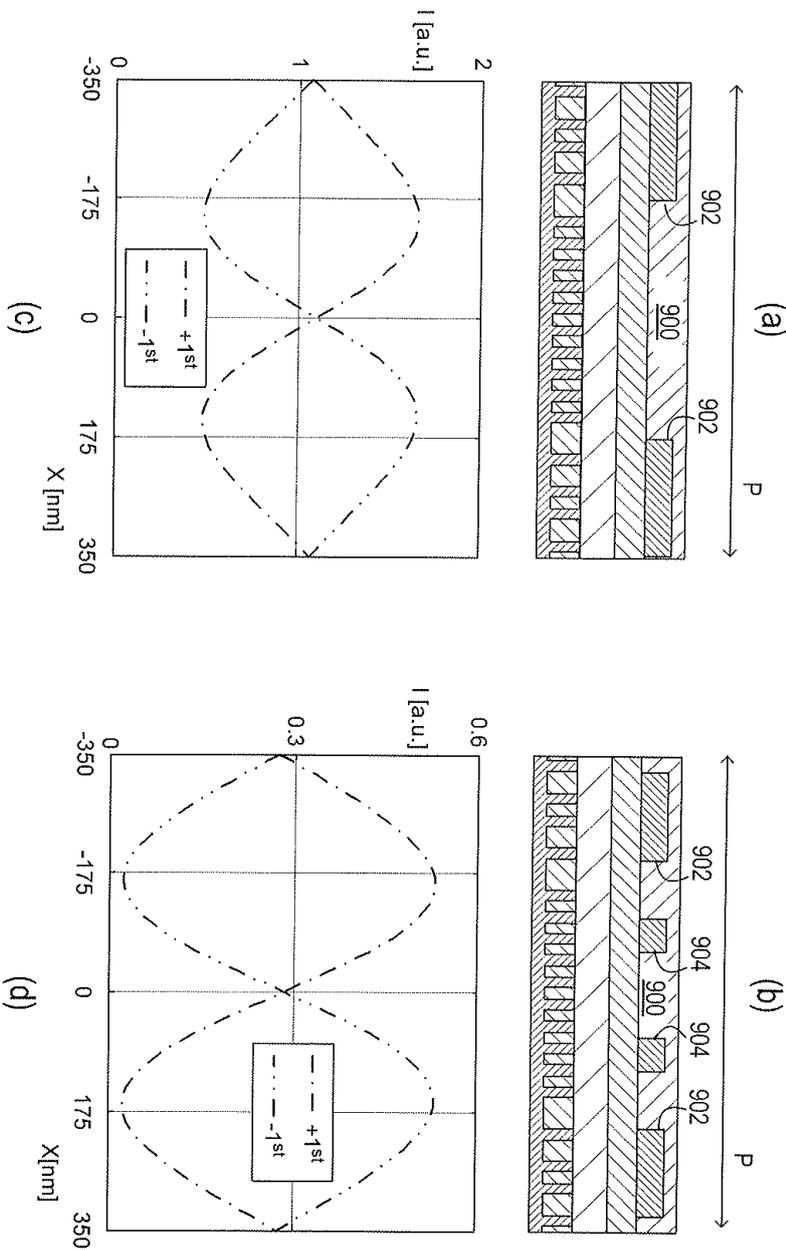
도면12



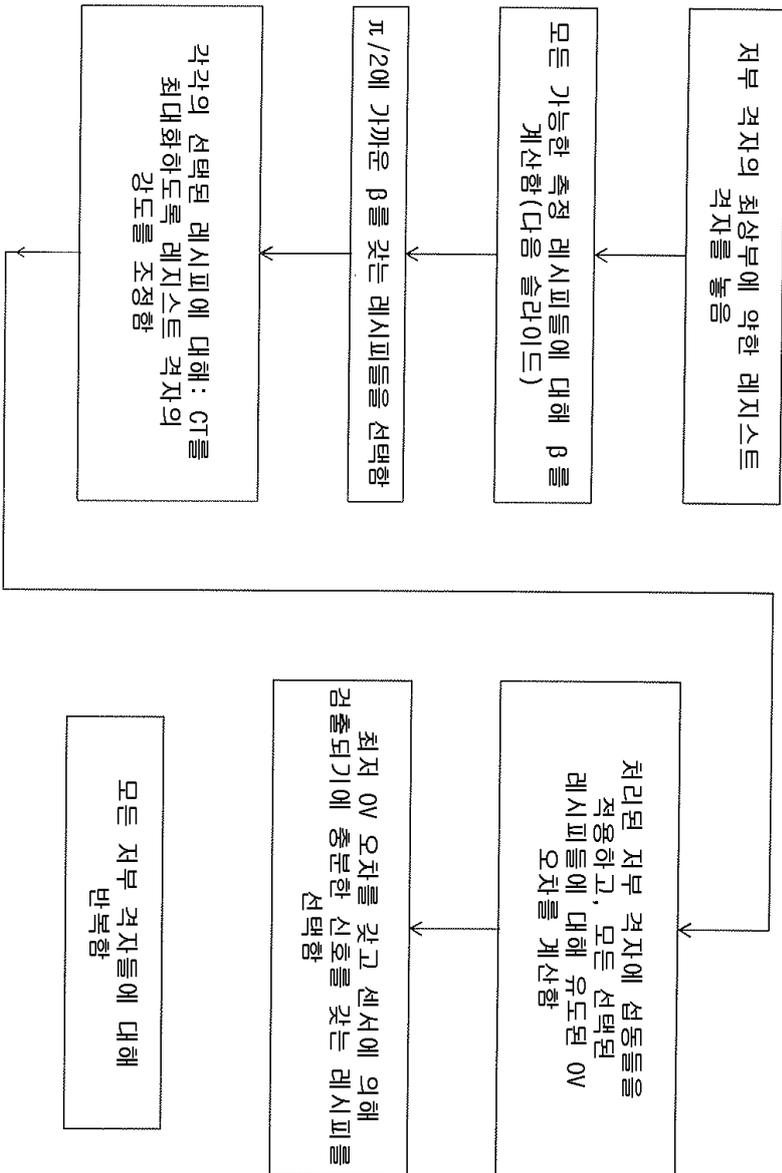
도면13



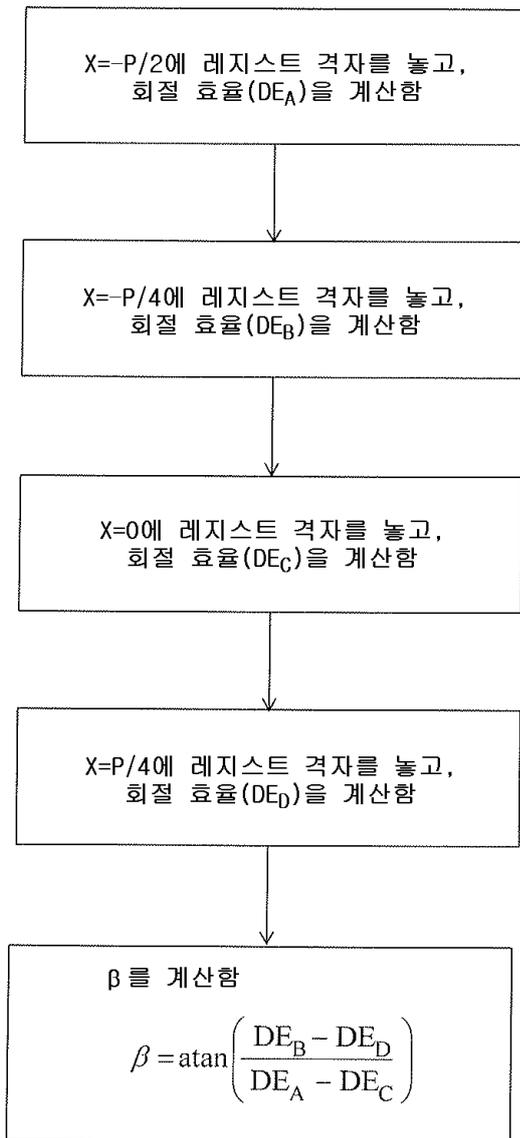
도면14



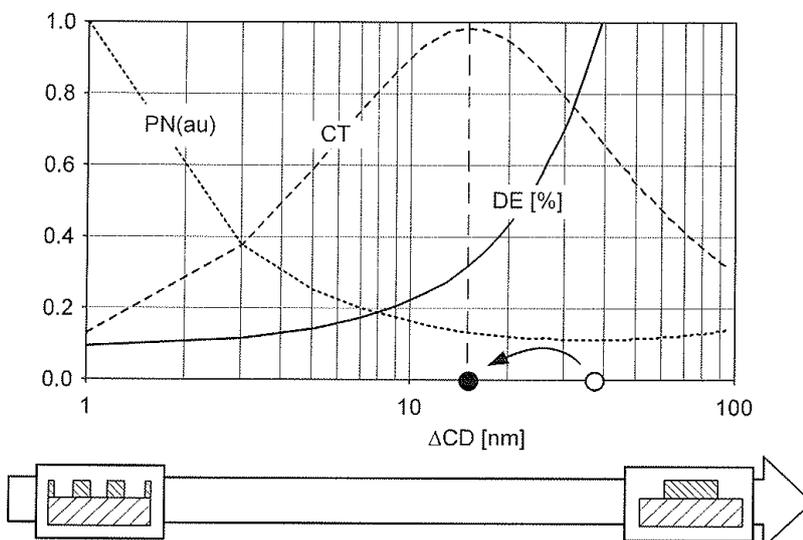
도면15



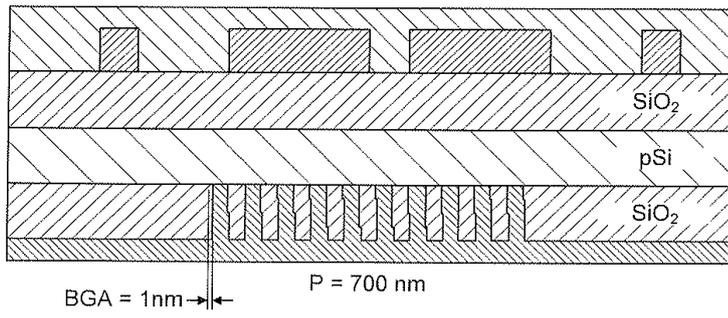
도면16



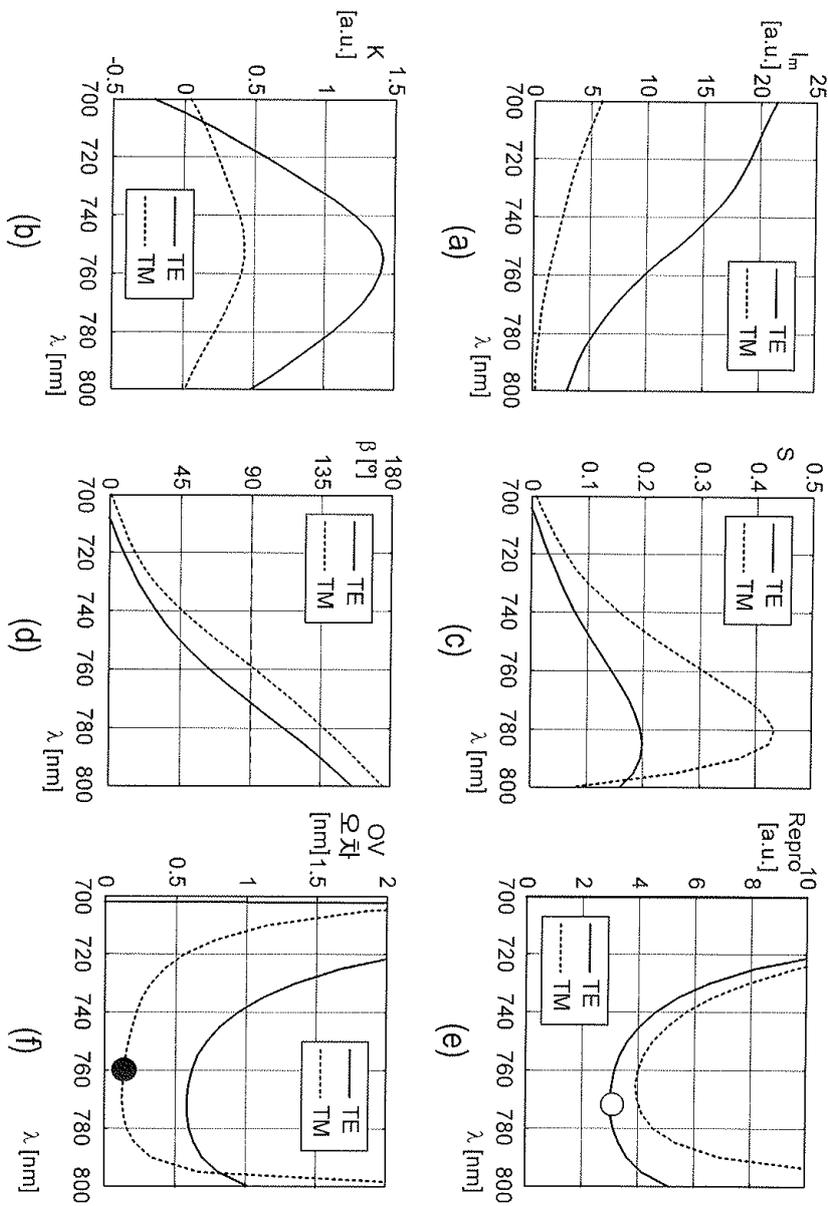
도면17



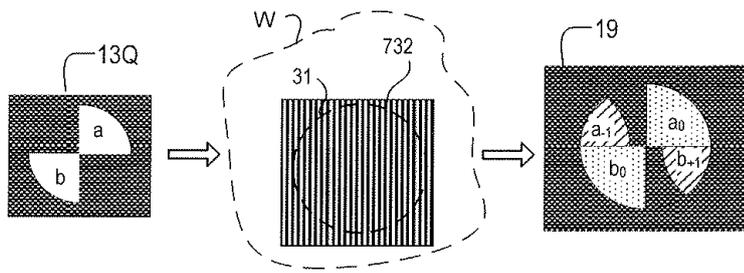
도면18



도면19



도면20



도면21

