



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2025년01월24일  
(11) 등록번호 10-2760552  
(24) 등록일자 2025년01월22일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G03F 7/20 (2006.01) G01B 9/02 (2022.01)  
G01M 11/00 (2006.01)
- (52) CPC특허분류  
G03F 7/706 (2023.05)  
G01B 9/02098 (2022.01)
- (21) 출원번호 10-2020-7025159
- (22) 출원일자(국제) 2019년01월04일  
심사청구일자 2022년01월04일
- (85) 번역문제출일자 2020년08월31일
- (65) 공개번호 10-2020-0116966
- (43) 공개일자 2020년10월13일
- (86) 국제출원번호 PCT/EP2019/050134
- (87) 국제공개번호 WO 2019/149468  
국제공개일자 2019년08월08일
- (30) 우선권주장  
18154481.8 2018년01월31일  
유럽특허청(EPO)(EP)
- (56) 선행기술조사문헌  
KR1020170141739 A  
JP2004273482 A  
WO2018007211 A1  
KR1020150024871 A

- (73) 특허권자  
에이에스엠엘 네델란즈 비.브이.  
네덜란드 5500 아하 벨트호벤 피.오.박스 324
- (72) 발명자  
청 데릭 윤 척  
네덜란드 5500 아하 벨트호벤 피.오.박스 324  
드 그루트 피터 크리스티안  
네덜란드 5500 아하 벨트호벤 피.오.박스 324  
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인  
유미특허법인

전체 청구항 수 : 총 20 항

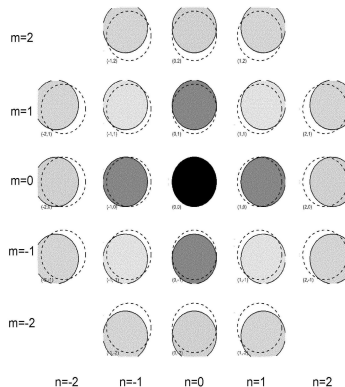
심사관 : 계원호

(54) 발명의 명칭 광학 수차를 결정하기 위한 방법 및 장치

(57) 요약

투영 시스템에 대한 수차 맵을 결정하기 위한 위상 스테핑 방법 및 상기 방법을 수행하기 위한 장치. 이러한 방법은, 투영 시스템의 대물 평면에 배치되는 제 1 패터닝 영역 및 투영 시스템의 이미지 평면에 배치되는 제 2 패터닝 영역을 사용한다. 제 1 패터닝 영역과 제 2 패터닝 영역 중 적어도 하나는 전단 방향으로 이동되어 발견 (뒷면에 계속)

대표도



위상 스테핑 신호를 생성한다. 투영 시스템의 수차 맵을 특징짓는 계수들의 세트는, 방사선 검출기 상의 복수 개의 위치 각각에서의 상기 발진 신호의 고조파의 위상을 상기 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 한 쌍의 위치들 사이의 상기 수차 맵에서의 복수 개의 차이의 조합으로 방정식화하고, 이러한 계수들의 세트를 찾기 위하여 풀이함으로써, 결정된다.

(52) CPC특허분류

*G01M 11/005* (2013.01)

(72) 발명자

**마셀덴스 요한스 제이코버스 마테우스**

네덜란드 5500 아하 벨트호벤 피.오.박스 324

**부그드 로버트 안**

네덜란드 5500 아하 벨트호벤 피.오.박스 324

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

투영 시스템에 대한 수차 맵을 결정하는 방법으로서,

패터닝 디바이스를 방사선으로 조명하는 단계 - 상기 패터닝 디바이스는 방사선의 적어도 일부를 수광하고 복수 개의 제 1 회절 빔들을 형성하도록 구성되는 제 1 패터닝 영역을 포함하고, 제 1 회절 빔들은 전단 방향으로 분리됨 -;

상기 투영 시스템으로, 복수 개의 제 1 회절 빔 중 적어도 일부의 제 1 회절 빔을 센서 장치 상에 투영하는 단계 - 상기 센서 장치는,

상기 제 1 회절 빔들을 상기 투영 시스템으로부터 수광하고 상기 제 1 회절 빔들 각각으로부터 복수 개의 제 2 회절 빔을 형성하도록 구성되는 제 2 패터닝 영역; 및

상기 제 2 회절 빔 중 적어도 일부를 수광하도록 구성되는 방사선 검출기를 포함하고,

상기 제 1 패터닝 영역과 상기 제 2 패터닝 영역은, 상기 제 1 회절 빔들 중 적어도 하나의 제 1 회절 빔으로부터 형성된 제 2 회절 빔들 중 적어도 일부가 적어도 하나의 다른 제 1 회절 빔으로부터 형성된 제 2 회절 빔과 공간적으로 가간섭성이 되도록 매칭됨 -;

발전 신호를 형성하기 위하여, 상기 방사선 검출기의 각각의 부분에 의해 수광된 방사선의 세기가 전단 방향으로의 이동의 함수로서 변하게 하도록, 상기 패터닝 디바이스 및 상기 센서 장치 중 적어도 하나를 전단 방향으로 이동시키는 단계;

상기 방사선 검출기로부터, 상기 방사선 검출기 상의 복수 개의 위치에서의 상기 발전 신호의 고조파의 위상을 결정하는 단계; 및

상기 방사선 검출기 상의 복수 개의 위치에서의 상기 발전 신호의 고조파의 위상으로부터, 상기 투영 시스템의 수차 맵을 특징짓는 계수들의 세트를 결정하는 단계를 포함하고,

상기 투영 시스템의 수차 맵을 특징짓는 계수들의 세트는, 상기 방사선 검출기 상의 복수 개의 위치 각각에서의 상기 발전 신호의 고조파의 위상을, 상기 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 한 쌍의 위치들 사이의 상기 수차 맵에서의 복수 개의 차이의 조합으로 방정식화하고(equating), 상기 계수들의 세트를 찾기 위하여 풀이함으로써, 결정되는, 수차 맵 결정 방법.

#### 청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 방사선 검출기 상의 복수 개의 위치 각각에서, 상기 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 한 쌍의 위치들 사이의 상기 수차 맵에서의 복수 개의 차이의 조합으로 방정식화되는 상기 발전 신호의 고조파는 제 1 고조파이고, 및/또는

상기 투영 시스템의 수차 맵을 특징짓는 계수들의 세트는,

상기 방사선 검출기 상의 복수 개의 위치 각각에서의 상기 발전 신호의 고조파의 위상을, 상기 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 한 쌍의 위치들 사이의 상기 수차 맵에서의 세 개 이상의 차이의 조합으로 방정식화하고, 상기 계수들의 세트를 찾기 위하여 풀이함으로써, 결정되는, 수차 맵 결정 방법.

#### 청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 위치들의 쌍들은, 전단(shearing) 방향으로, 인접한 두 개의 제 1 회절 빔들 사이의 상기 퓨필 평면에서의 거리에 대응하는 전단 거리만큼 분리되고, 및/또는

상기 방사선 검출기는 복수 개의 별개의 영역들을 포함하며,

상기 투영 시스템의 수차 맵을 특징짓는 계수들의 세트를 결정함에 있어서, 상기 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 두 개의 위치들 사이의 상기 수차 맵에서의 복수 개의 차이의 상이한 세트가 조합되어, 상기 방사선 검출기의 상이한 별개의 영역들 내에서의 상기 방사선 검출기 상의 위치들에 대한 상기 발진 신호의 고조파의 위상에 대해 방정식화되는, 수차 맵 결정 방법.

**청구항 4**

제 1 항에 있어서,

상기 방사선 검출기 상의 복수 개의 위치 중 적어도 하나에 대하여, 상기 발진 신호의 고조파의 위상은, 세 개 이상의 간섭 빔에 대응하는 상기 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 한 쌍의 위치들 사이의 상기 수차 맵에서의 차이들의 조합으로 방정식화되고, 및/또는

상기 방사선 검출기 상의 복수 개의 위치 중 적어도 하나에 대하여, 상기 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 한 쌍의 위치들 사이의 상기 수차 맵에서의 복수 개의 차이들 중 적어도 두 개의 차이는, 상이한 간섭 세기들과 조합되는, 수차 맵 결정 방법.

**청구항 5**

제 1 항에 있어서,

상기 방법은, 상기 방사선 검출기 상의 복수 개의 위치 각각에 대하여:

상기 방사선 검출기 상의 해당 위치와 중첩하고, 상기 발진 신호의 고조파에 기여하며, 임계 값보다 큰 간섭 세기를 가지는, 서로 간섭하는 제 2 회절 빔들의 모든 쌍을 결정하는 단계; 및/또는

동일한 방향으로 전파되고, 상기 방사선 검출기에서 상기 투영 시스템의 개구수를 나타내는 원(circle)과의 동일한 중첩을 가지며, 상기 방사선 검출기 상의 해당 위치와 중첩하고, 상기 발진 신호의 고조파에 기여하며, 임계 값보다 큰 간섭 세기를 가지는 복수 개의 간섭하는 제 2 간섭 빔에 의해 형성되는 모든 간섭 빔을 결정하는 단계를 더 포함하는, 수차 맵 결정 방법.

**청구항 6**

제 1 항에 있어서,

서로 조합되고 발진 신호의 고조파의 위상에 대해 방정식화되는, 상기 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 한 쌍의 위치들 사이의 상기 수차 맵에서의 복수 개의 차이 각각은, 서로 간섭하고 상기 방사선 검출기 상의 해당 위치와 중첩하는 제 2 회절 빔들의 쌍이 유래되는, 상기 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 한 쌍의 위치들 사이의 상기 수차 맵에서의 차이인, 수차 맵 결정 방법.

**청구항 7**

제 6 항에 있어서,

상기 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 한 쌍의 위치들 사이의 상기 수차 맵에서의 복수 개의 차이는, 서로 간섭하고 상기 방사선 검출기 상의 해당 위치와 중첩하는 제 2 회절 빔의 상기 쌍에 대한 간섭 세기에 의해 가중 조합(combined weighted)되는, 수차 맵 결정 방법.

**청구항 8**

제 7 항에 있어서,

상기 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 한 쌍의 위치들 사이의 상기 수차 맵에서의 복수 개의 차이는, 서로 간섭하고 상기 방사선 검출기 상의 해당 위치와 중첩하는 제 2 회절 빔의 대응하는 쌍에 대한 간섭 세기에 의해 가중되는 가중함으로서 조합되는, 수차 맵 결정 방법.

**청구항 9**

컴퓨터 판독가능 매체로서,

컴퓨터가 제 1 항 내지 제 8 항 중 어느 한 항에 따른 방법을 수행하게 하도록 구성되는 컴퓨터 판독가능 명령을 포함하는 컴퓨터 프로그램을 저장하는, 컴퓨터 판독가능 매체.

**청구항 10**

컴퓨터 장치로서,

프로세서 판독가능 명령을 저장하는 메모리; 및

상기 메모리에 저장된 실행 명령을 판독하고 실행하도록 구성되는 프로세서를 포함하고,

상기 프로세서 판독가능 명령은, 컴퓨터가 제 1 항 내지 제 8 항 중 어느 한 항에 따른 방법을 수행하도록 제어하게 구성되는 명령을 포함하는, 컴퓨터 장치.

**청구항 11**

투영 시스템에 대한 수차 맵을 결정하기 위한 측정 시스템으로서,

패터닝 디바이스;

상기 패터닝 디바이스를 방사선으로 조명하도록 구성되는 조명 시스템 - 상기 패터닝 디바이스는 방사선 빔을 수광하고 복수 개의 제 1 회절 빔들을 형성하도록 구성되는 제 1 패터닝 영역을 포함하고, 상기 제 1 회절 빔들은 진단 방향으로 분리됨 -;

제 2 패터닝 영역 및 방사선 검출기를 포함하는 센서 장치;

제 1 회절 빔들을 상기 센서 장치 상에 투영하도록 구성되는 투영 시스템 - 상기 제 2 패터닝 영역은 상기 제 1 회절 빔들을 상기 투영 시스템으로부터 수광하고 상기 제 1 회절 빔들 각각으로부터 복수 개의 제 2 회절 빔을 형성하도록 구성됨 -;

상기 패터닝 디바이스 및 상기 센서 장치 중 적어도 하나를 진단 방향으로 이동시키도록 구성되는 위치설정 장치; 및

제어기를 포함하고, 상기 제어기는,

발진 신호를 형성하기 위하여, 상기 방사선 검출기의 각각의 부분에 의해 수광된 방사선의 세기가 진단 방향으로의 이동의 함수로서 변하게 하도록, 상기 패터닝 디바이스 및 상기 센서 장치 중 적어도 하나를 진단 방향으로 이동시키도록 상기 위치설정 장치를 제어하고,

상기 방사선 검출기로부터, 상기 방사선 검출기 상의 복수 개의 위치에서의 상기 발진 신호의 고조파의 위상을 결정하며,

상기 방사선 검출기 상의 복수 개의 위치에서의 상기 발진 신호의 고조파의 위상으로부터, 상기 투영 시스템의 수차 맵을 특징짓는 계수들의 세트를 결정하도록 구성되며,

상기 투영 시스템의 수차 맵을 특징짓는 계수들의 세트는, 상기 방사선 검출기 상의 복수 개의 위치 각각에서의 상기 발진 신호의 고조파의 위상을, 상기 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 한 쌍의 위치들 사이의 상기 수차 맵에서의 복수 개의 차이의 조합으로 방정식화하고, 상기 계수들의 세트를 찾기 위하여 풀이함으로써, 결정되는, 측정 시스템.

**청구항 12**

제 11 항에 있어서,

상기 제어기는,

상기 방사선 검출기 상의 복수 개의 위치 각각에서, 상기 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 한 쌍의 위치들 사이의 상기 수차 맵에서의 복수 개의 차이의 조합으로 방정식화되는 상기 발진 신호의 고조파가 제 1 고조파가 되도록 구성되는, 측정 시스템.

**청구항 13**

제 11 항에 있어서,

상기 제어기는,

투영 시스템의 수차 맵을 특징짓는 계수들의 세트를, 상기 방사선 검출기 상의 복수 개의 위치 각각에서의 상기 발진 신호의 고조파의 위상을, 상기 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 한 쌍의 위치들 사이의 상기 수차 맵에서의 세 개 이상의 차이의 조합으로 방정식화하고, 상기 계수들의 세트를 찾기 위하여 풀이함으로써, 결정하도록 구성되는, 측정 시스템.

**청구항 14**

제 11 항에 있어서,

상기 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 위치들의 쌍들은, 전단 방향으로, 인접한 두 개의 제 1 회절 빔들 사이의 상기 퓨필 평면에서의 거리에 대응하는 전단 거리만큼 분리되고, 및/또는

상기 방사선 검출기는 복수 개의 별개의 영역들을 포함하며,

상기 제어기는, 상기 투영 시스템의 수차 맵을 특징짓는 계수들의 세트를 결정함에 있어서, 상기 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 두 개의 위치들 사이의 상기 수차 맵에서의 복수 개의 차이의 상이한 세트가 조합되어, 상기 방사선 검출기의 상이한 별개의 영역들 내에서의 상기 방사선 검출기 상의 위치들에 대한 상기 발진 신호의 고조파의 위상에 대해 방정식화되도록 동작가능한, 측정 시스템.

**청구항 15**

제 11 항에 있어서,

상기 제어기는, 상기 방사선 검출기 상의 복수 개의 위치 중 적어도 하나에 대하여, 상기 발진 신호의 고조파의 위상이, 세 개 이상의 간섭 빔에 대응하는 상기 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 한 쌍의 위치들 사이의 상기 수차 맵에서의 차이들의 조합으로 방정식화되도록 구성되고, 및/또는

상기 방사선 검출기 상의 복수 개의 위치 중 적어도 하나에 대하여, 상기 제어기는,

상기 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 한 쌍의 위치들 사이의 상기 수차 맵에서의 복수 개의 차이들 중 적어도 두 개의 차이가, 상이한 간섭 세기들과 조합되도록 동작가능한, 측정 시스템.

**청구항 16**

제 11 항에 있어서,

상기 제어기는, 상기 방사선 검출기 상의 복수 개의 위치 각각에 대하여:

상기 방사선 검출기 상의 해당 위치와 중첩하고, 상기 발진 신호의 고조파에 기여하며, 임계 값보다 큰 간섭 세기를 가지는, 서로 간섭하는 제 2 회절 빔들의 모든 쌍을 결정하고; 및/또는

동일한 방향으로 전파되고, 상기 방사선 검출기에서 상기 투영 시스템의 개구수를 나타내는 원과의 동일한 중첩을 가지며, 상기 방사선 검출기 상의 해당 위치와 중첩하고, 상기 발진 신호의 고조파에 기여하며, 임계 값보다 큰 간섭 세기를 가지는 복수 개의 간섭하는 제 2 간섭 빔에 의해 형성되는 모든 간섭 빔을 결정하도록 더 동작가능한, 측정 시스템.

**청구항 17**

제 11 항에 있어서,

서로 조합되고 발진 신호의 고조파의 위상에 대해 방정식화되는, 상기 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 한 쌍의 위치들 사이의 상기 수차 맵에서의 복수 개의 차이 각각은, 서로 간섭하고 상기 방사선 검출기 상의 해당 위치와 중첩하는 제 2 회절 빔들의 쌍이 유래되는, 상기 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 한 쌍의 위치들 사이의 상기 수차 맵에서의 차이인, 측정 시스템.

**청구항 18**

제 17 항에 있어서,

상기 제어기는,

상기 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 한 쌍의 위치들 사이의 상기 수차 맵에서의 복수 개의 차이가, 서로 간섭하고 상기 방사선 검출기 상의 해당 위치와 중첩하는 제 2 회절 빔의 상기 쌍에 대한 간섭 세기에 의해 가중 조합되도록 구성되는, 측정 시스템.

**청구항 19**

제 18 항에 있어서,

상기 제어기는,

상기 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 한 쌍의 위치들 사이의 상기 수차 맵에서의 복수 개의 차이가, 서로 간섭하고 상기 방사선 검출기 상의 해당 위치와 중첩하는 제 2 회절 빔의 대응하는 쌍에 대한 간섭 세기에 의해 가중되는 가중합으로서 조합되도록 구성되는, 측정 시스템.

**청구항 20**

제 11 항 내지 제 19 항 중 어느 한 항의 측정 시스템을 포함하는, 리소그래피 장치.

**청구항 21**

삭제

**청구항 22**

삭제

**청구항 23**

삭제

**청구항 24**

삭제

**청구항 25**

삭제

**청구항 26**

삭제

**청구항 27**

삭제

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 관련 출원에 대한 상호 참조

[0002] 본 출원은 2018 년 1 월 31 일에 출원되고 그 전체 내용이 원용되어 본원에 통합되는 EP 18154481.8의 우선권을 주장한다.

[0003] 본 발명은 투영 시스템에 대한 수차 맵을 결정하는 방법 및 이러한 방법을 수행하기 위한 연관된 장치에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0004] 리소그래피 장치는 원하는 패턴을 기판에 적용하도록 구성된 기계이다. 리소그래피 장치는 예컨대 집적회로(IC)의 제조 시에 사용될 수 있다. 리소그래피 장치는 예를 들어 패터닝 디바이스(예를 들어 마스크)에 있는

패턴을 기판 위에 제공된 방사선-감응 재료(레지스트)의 층에 투영시킬 수 있다.

[0005] 기판에 패턴을 투영하기 위하여, 리소그래피 장치는 전자기 방사선을 사용할 수 있다. 이러한 방사선의 파장이 기판 상에 형성될 수 있는 피처의 최소 크기를 결정한다. 4 - 20 nm의 범위, 예를 들어 6.7 nm 또는 13.5 nm에 속하는 파장을 가지는 극자외(EUV) 방사선을 사용하는 리소그래피 장치는, 예를 들어 193 nm의 파장을 가지는 전자기 방사선을 사용하는 리소그래피 장치보다 더 작은 피처를 기판 위에 형성하기 위해 사용될 수 있다.

[0006] 패턴링 디바이스에 의하여 패턴링된 방사선은 투영 시스템을 사용하여 기판에 포커싱된다. 투영 시스템은 광학 수차가 생기게 할 수도 있는데, 이것은 기판 상에 형성되는 이미지가 소망되는 이미지(예를 들어, 패턴링 디바이스의 회절 제한 이미지)로부터 벗어나게 한다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0007] 이러한 수차가 더 양호하게 제어될 수 있도록, 투영 시스템에 의해 초래되는 이러한 수차를 정확하게 결정하기 위한 방법 및 장치를 제공하는 것이 바람직할 것이다.

**과제의 해결 수단**

[0008] 본 발명의 제 1 양태에 따르면, 투영 시스템에 대한 수차 맵을 결정하는 방법으로서, 패턴링 디바이스를 방사선으로 조명하는 단계 - 상기 패턴링 디바이스는 방사선의 적어도 일부를 수광하고 복수 개의 제 1 회절 빔들을 형성하도록 구성되는 제 1 패턴링 영역을 포함하고, 제 1 회절 빔들은 전단 방향으로 분리됨 -; 상기 투영 시스템으로, 복수 개의 제 1 회절 빔 중 적어도 일부의 제 1 회절 빔을 센서 장치 상에 투영하는 단계 - 상기 센서 장치는, 상기 제 1 회절 빔들을 상기 투영 시스템으로부터 수광하고 상기 제 1 회절 빔들 각각으로부터 복수 개의 제 2 회절 빔을 형성하도록 구성되는 제 2 패턴링 영역; 및 상기 제 2 회절 빔 중 적어도 일부를 수광하도록 구성되는 방사선 검출기를 포함하고, 상기 제 1 패턴링 영역과 상기 제 2 패턴링 영역은, 상기 제 1 회절 빔들 중 적어도 하나의 제 1 회절 빔으로부터 형성된 제 2 회절 빔들 중 적어도 일부가 적어도 하나의 다른 제 1 회절 빔으로부터 형성된 제 2 회절 빔과 공간적으로 가간섭성이 되도록 매칭됨 -; 발진 신호를 형성하기 위하여, 상기 방사선 검출기의 각각의 부분에 의해 수광된 방사선의 세기가 전단 방향으로의 이동의 함수로서 변하게 하도록, 상기 패턴링 디바이스 및 상기 센서 장치 중 적어도 하나를 전단 방향으로 이동시키는 단계; 상기 방사선 검출기로부터, 상기 방사선 검출기 상의 복수 개의 위치에서의 상기 발진 신호의 고조파의 위상을 결정하는 단계; 및 상기 방사선 검출기 상의 복수 개의 위치에서의 상기 발진 신호의 고조파의 위상으로부터, 상기 투영 시스템의 수차 맵을 특징짓는 계수들의 세트를 결정하는 단계를 포함하고, 상기 투영 시스템의 수차 맵을 특징짓는 계수들의 세트는, 상기 방사선 검출기 상의 복수 개의 위치 각각에서의 상기 발진 신호의 고조파의 위상을, 상기 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 한 쌍의 위치들 사이의 상기 수차 맵에서의 복수 개의 차이의 조합으로 방정식화하고(equating), 상기 계수들의 세트를 찾기 위하여 풀이함으로써, 결정되는, 수차 맵 결정 방법이 제공된다.

[0009] 이것이 패턴링 디바이스 및 센서 장치 중 적어도 하나를 전단 방향으로 이동시키는 것을 수반하기 때문에, 제 1 양태에 따른 방법은 위상-스테핑 기법을 사용한다는 것이 이해될 것이다. 방사선 검출기의 각각의 부분에 의해 수광된 방사선의 세기의 발진 신호에 의해 형성된 발진 신호는 위상 스테핑 신호라고 불릴 수 있다.

[0010] 제 1 양태에 따른 방법은 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 두 개의 위치 사이의 수차 맵에서의 복수 개의 차이의 조합과, 계수들의 세트를 찾도록 풀어내는 것을 수반하기 때문에 유리하다. 그러면 발진 신호의 고조파에 대한 더 많은 기여분(즉, 제 2 회절 빔의 더 많은 수의 간섭 쌍)이 고려될 수 있게 된다. 이제, 그러면 이러한 방법이 제 2 패턴링 영역에 대한 더 넓은 범위의 격자의 기하학적 구조에 대해서 사용될 수 있게 된다. 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 두 개의 위치의 각각의 이러한 쌍이 전단 방향으로 분리된다는 것이 이해될 것이다.

[0011] 제 1 패턴링 영역과 상기 제 2 패턴링 영역의 매칭(상기 제 1 회절 빔들 중 적어도 하나의 제 1 회절 빔으로부터 형성된 제 2 회절 빔들 중 적어도 일부가 적어도 하나의 다른 제 1 회절 빔으로부터 형성된 제 2 회절 빔과 공간적으로 간섭하도록 함)이 제 1 패턴링 영역과 상기 제 2 패턴링 영역의 피치들을 매칭시킴으로써 달성될 수 있다는 것이 이해될 것이다. 제 1 패턴링 영역과 제 2 패턴링 영역의 피치들의 이러한 매칭이, 투영 시스템에 의해 적용되는 임의의 축소 인자를 고려한다는 것이 역시 이해될 것이다. 이것을 고려하면, 일반적으로, 제 2 패턴링 영역의 피치는 제 1 패턴링 영역의 피치의 정수 배일 수 있고 또는 제 1 패턴링 영역의 피치는 제 2 패

터닝 영역의 피치의 정수 배일 수 있다.

- [0012] 방사선 검출기는 감지 요소들의 2-차원 어레이를 포함할 수 있다. 각각의 감지 요소는 방사선 검출기의 픽셀이라고 불릴 수 있다. 발진 신호의 고조파의 위상이 결정되는 방사선 검출기 상의 복수 개의 위치가 각각 방사선 검출기의 상이한 감지 요소 또는 픽셀에 대응할 수 있다는 것이 이해될 것이다.
- [0013] 방사선 검출기 상의 복수 개의 위치 각각에서, 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 한 쌍의 위치들 사이의 상기 수차 맵에서의 복수 개의 차이의 조합으로 방정식화되는 상기 발진 신호의 고조파는 임의의 적합한 고조파일 수 있다.
- [0014] 방사선 검출기 상의 복수 개의 위치 각각에서, 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 한 쌍의 위치들 사이의 상기 수차 맵에서의 복수 개의 차이의 조합으로 방정식화되는 상기 발진 신호의 고조파는 제 1 고조파일 수 있다.
- [0015] 그러면, 제 1 고조파가 최대 신호(또는, 대안적으로, 최대의 신호대 배경)를 생성할 수 있기 때문에 유익할 수 있다. 그러나, 다른 고조파가 대안적으로 사용될 수도 있다는 것이 이해될 것이다.
- [0016] 투영 시스템의 수차 맵을 특징짓는 계수들의 세트는, 방사선 검출기 상의 복수 개의 위치 각각에서의 상기 발진 신호의 고조파의 위상을 상기 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 한 쌍의 위치들 사이의 상기 수차 맵에서의 세 개 이상의 차이의 조합으로 방정식화하고, 이러한 계수들의 세트를 찾기 위하여 풀이함으로써, 결정될 수 있다.
- [0017] 상기 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 위치들의 쌍들은, 전단 방향으로, 인접한 두 개의 제 1 회절 빔들 사이의 상기 퓨필 평면에서의 거리에 대응하는 전단 거리만큼 분리될 수 있다.
- [0018] 이에 반해, 선행 기술의 방법은, 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 위치들의 쌍들 사이의 상기 수차 맵에서의 차이가 이러한 전단 거리의 두 배만큼 전단 방향으로 분리되게 하는 것을 수반한다.
- [0019] 상기 방사선 검출기는 복수 개의 별개의 영역들을 포함할 수 있고, 상기 투영 시스템의 수차 맵을 특징짓는 계수들의 세트를 결정함에 있어서, 상기 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 두 개의 위치들 사이의 상기 수차 맵에서의 복수 개의 차이의 상이한 세트가 조합되어, 상기 방사선 검출기의 상이한 별개의 영역들 내에서의 상기 방사선 검출기 상의 위치들에 대한 상기 발진 신호의 고조파의 위상에 대해 방정식화될 수 있다.
- [0020] 방사선 검출기의 복수 개의 개별 영역이 투영 시스템의 퓨필 평면의 상이한 영역에 대응할 수 있다는 것이 이해될 것이다. 특히, 방사선 검출기의 복수 개의 개별 영역은 투영 시스템의 개구수 내에 있는 투영 시스템의 퓨필 평면의 영역에 대응할 수 있다.
- [0021] 일반적으로, 제 2 회절 빔은 복수 개의 방사선 빔을 형성하는 것으로 여겨질 수 있고, 이러한 각각의 방사선 빔은 간섭하는 제 2 회절 빔들의 세트에 의해 형성된다. 각각의 이러한 방사선 빔은 본 명세서에서 간섭 빔이라고 불릴 수 있다. 복수 개의 간섭하는 제 2 간섭 빔에 의해 형성되는 각각의 이러한 간섭 빔은 상이한 방향으로 전파되어, 방사선 검출기에서의 각각의 간섭 빔과 투영 시스템의 개구수를 나타내는 원과의 중첩이 달라지게 한다고 여겨질 수 있다. 비록 이들이 상이한 방향으로 전파되고, 투영 시스템의 개구수를 나타내는 원과의 상이한 중첩을 가진다고 여겨질 수 있지만, 방사선 검출기에서의 상이한 간섭 빔들 사이에는 큰 중첩이 존재한다. 방사선 검출기의 복수 개의 개별 영역들 각각이, 이러한 중첩하는 간섭 빔들의 상이한 조합을 포함하는 방사선 검출기의 영역에 대응할 수 있다는 것이 이해될 것이다.
- [0022] 방사선 검출기 상의 주어진 위치에 대하여, 각각의 간섭 빔으로부터의 발진 신호의 고조파에 대한 기여는, 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 위치들의 상이한 쌍 사이의 수차 맵에서의 차이에 대응한다는 것이 이해될 것이다.
- [0023] 상기 방사선 검출기 상의 복수 개의 위치 중 적어도 하나에 대하여, 상기 발진 신호의 고조파의 위상은, 세 개 이상의 간섭 빔에 대응하는 상기 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 위치들의 쌍들 사이의 상기 수차 맵에서의 차이들의 조합으로 방정식화될 수 있다.
- [0024] 상기 방사선 검출기 상의 복수 개의 위치 중 적어도 하나에 대하여, 상기 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 한 쌍의 위치들 사이의 상기 수차 맵에서의 복수 개의 차이들 중 적어도 두 개의 차이는, 상이한 간섭 세기들과 조합된다.
- [0025] 이러한 구성은 본 명세서에서 논의되는 것과 같이 유리하다. 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 한 쌍의 위치들 사이의 상기 수차 맵에서의 복수 개의 차이들 중 적어도 두 개의 차이(각각은 상이한 간섭 빔에 대응함)가 상이한 간섭 세기들과 조합되게 한다는 것은, 동일한 세기를 가지는 오직 두 개의 간섭 빔만이 고려되는 선행 기술의 기법을 일반화한다는 것을 나타낸다. 그러면, 본 명세서에서 논의되는 바와 같이 여러 효과들이 고려될 수

있게 된다.

- [0026] 첫째로, 간섭 빔에 대한 간섭 세기가 제 1 패터닝 영역과 제 2 패터닝 영역의 기하학적 구조에 의존할 수 있다는 것이 이해될 것이다. 간섭 빔이 상이한 세기와 결합될 수 있게 하면, 본 발명의 방법이 제 2 패터닝 영역에 대한 격자 구조의 더 넓은 범위에 대해서 사용될 수 있게 될 수 있다(예를 들어, 원형 애퍼처의 어레이를 포함하는 제 2 패터닝 영역이 큰 오차를 도입하지 않고 사용될 수 있게 됨).
- [0027] 둘째로, 발명자들은, 간섭 빔이 상이한 세기와 결합될 수 있게 하면, 본 발명의 방법이 투영 시스템의 pupils 평면에 걸친 임의의 불균일한 pupil 채움(pupil fill)(즉 제 1 패터닝 영역의 pupil 조명의 비-균일성) 및/또는 투과도의 임의의 비-균일성(아포디제이션)을 고려할 수 있게 될 수 있다는 것을 알아냈다. 투영 시스템의 pupils 평면에 걸친 불균일한 pupil 채움 및/또는 투과도의 임의의 비-균일성을 고려하는 것이, 제 2 패터닝 영역에 대한 복잡한 기하학적 구조(예를 들어 원형 애퍼처의 어레이를 포함하는 제 2 패터닝 영역)로부터 초래되는 간섭 세기들에서의 차이를 고려하는 것이 추가될 수 있다는 것이 이해될 것이다. 또는, 투영 시스템의 pupils 평면에 걸친 불균일한 pupil 채움 및/또는 투과도의 임의의 비-균일성을 고려하는 것이, 제 2 패터닝 영역에 대한 복잡한 기하학적 구조로부터 초래되는 간섭 세기들에서의 차이를 고려하는 것에 추가되지 않을 수도 있다는 것이 이해될 것이다(이것은 체커보드 격자 구조를 포함하는 제 2 패터닝 영역을 사용하는 구성에 대한 이러한 효과들을 고려하기 위해서 사용될 수 있기 때문임).
- [0028] 이러한 방법은, 상기 방사선 검출기 상의 복수 개의 위치 각각에 대하여: 상기 방사선 검출기 상의 해당 위치와 중첩하고, 상기 발진 신호의 고조파에 기여하며, 임계 값보다 큰 간섭 세기를 가지는, 서로 간섭하는 제 2 회절 빔들의 모든 쌍을 결정하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0029] 이러한 방법은, 상기 방사선 검출기 상의 복수 개의 위치 각각에 대하여: 동일한 방향으로 전파되고, 상기 방사선 검출기에서 상기 투영 시스템의 개구수를 나타내는 원과의 동일한 중첩을 가지며, 상기 방사선 검출기 상의 해당 위치와 중첩하고, 상기 발진 신호의 고조파에 기여하며, 임계 값보다 큰 간섭 세기를 가지는 복수 개의 간섭하는 제 2 간섭 빔에 의해 형성되는 모든 간섭 빔을 결정하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0030] (a) 제 2 회절 빔들의 모든 쌍 또는 (b) 각각의 포인트에서 발진 신호의 고조파에 기여하는 모든 간섭 빔을 이렇게 결정하는 것이 제 1 패터닝 영역과 제 2 패터닝 영역의 기하학적 구조에 의존할 것이라는 것이 이해될 것이다. 또한, (a) 제 2 회절 빔들의 모든 쌍 또는 (b) 각각의 포인트에서 발진 신호의 고조파에 기여하는 모든 간섭 빔을 이렇게 결정하는 것이 어떤 고조파가 사용되는지에 의존할 것이라는 것이 이해될 것이다.
- [0031] 예를 들어, 발진 신호(위상-스테핑 신호라고도 불림)의 제 1 고조파는,  $\pm 1$ 의 차수로 다른 제 1 패터닝 영역의 회절 빔들로부터 유래되는(제 2 패터닝 영역의) 공간적으로 가간섭성인 회절 빔들 사이의 간섭으로부터 초래되는 기여에만 의존한다.
- [0032] 일부 실시예들에서, 제 1 패터닝 영역은 50%의 듀티 사이클인 1-차원의 회절 격자를 포함할 수 있다. 이러한 제 1 패터닝 영역에서는, 우수 회절 차수(0차 회절 차수는 제외)의 효율은 제로이다. 그러므로,  $\pm 1$  차수만큼 다른 제 1 회절 빔의 오직 두 개의 쌍(및 따라서 이러한 발진하는 위상-스테핑 신호의 제 1 고조파에 대한 기여분)은  $\pm 1$ 차 빔들 중 하나가 있는 0차 빔이다. 더욱이, 제 1 패터닝 영역에 대한 기하학적 구조가 이러하면, 산란 효율들이 대칭적이 되어  $\pm 1$ 차 회절 빔의 효율들이 모두 같아지게 된다. 그러므로, 발진하는 위상-스테핑 신호의 제 1 고조파에 기여하는 제 2 회절 빔들의 모든 쌍들에 대한 간섭 세기가 다음과 같이 결정될 수 있다. 제 1 패터닝 영역의  $\pm 1$ 차 회절 빔에 대한 산란 효율만큼 가중된 제 2 패터닝 영역에 대한 산란 효율 플롯의 제 2 카피(copy)는 제 2 패터닝 영역에 대한 산란 효율 플롯으로 오버레이되지만, (제 1 회절 격자의) 하나의 회절 차수만큼 전단 방향으로 천이된다. 그러면 이러한 두 오버레이된 산란 효율 플롯들의 곱이 결정된다. 각각의 이러한 간섭 세기는 상이한 간섭 빔에 대응한다.
- [0033] 서로 조합되고 발진 신호의 고조파의 위상에 대해 방정식화되는, 상기 투영 시스템의 pupils 평면에서의 한 쌍의 위치들 사이의 상기 수차 맵에서의 복수 개의 차이 각각은, 서로 간섭하고 상기 방사선 검출기 상의 해당 위치와 중첩하는 제 2 회절 빔들의 쌍이 유래되는, 상기 투영 시스템의 pupils 평면에서의 한 쌍의 위치들 사이의 상기 수차 맵에서의 차이일 수 있다.
- [0034] 투영 시스템의 pupils 평면에서의 한 쌍의 위치들 사이의 상기 수차 맵에서의 복수 개의 차이는, 서로 간섭하고 상기 방사선 검출기 상의 해당 위치와 중첩하는 제 2 회절 빔의 상기 쌍에 대한 간섭 세기에 의해 가중 조합(combined weighted)될 수 있다.
- [0035] 일반적으로, 발진 신호의 고조파의 위상의 탄젠트가, (a) 수차 맵에서의 복수 개의 차이의 사인들의 가중합(간

섭 세기에 의해 가중됨)의 (b) 수차 맵에서의 복수 개의 차이의 코사인들의 가중합(간섭 세기에 의해 가중됨)에 대한 비율로서 제공될 수 있다.

- [0036] 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 한 쌍의 위치들 사이의 상기 수차 맵에서의 복수 개의 차이는, 서로 간섭하고 상기 방사선 검출기 상의 해당 위치와 중첩하는 제 2 회절 빔의 대응하는 쌍에 대한 간섭 세기에 의해 가중되는 가중합으로서 조합될 수 있다.
- [0037] 예를 들어, 발진 신호의 고조파의 위상은, (a) 수차 맵에서의 복수 개의 차이의 가중합(간섭 세기에 의해 가중됨)의 (b) 간섭 세기들의 합산에 대한 비율로서 근사화될 수 있다. 이것은 충분히 작은 전단 각도 또는 거리에 대해서 정확할 수 있는 선형 근사화인 것으로 여겨질 수 있다.
- [0038] 본 발명의 제 2 양태에 따르면, 컴퓨터가 본 발명의 제 1 양태에 따른 방법을 수행하게 하도록 구성되는 컴퓨터 판독가능 명령을 포함하는 컴퓨터 프로그램이 저장되는 컴퓨터 판독가능 매체가 제공된다.
- [0039] 본 발명의 제 3 양태에 따르면, 컴퓨터 장치로서, 프로세서 판독가능 명령을 저장하는 메모리, 및 상기 메모리에 저장된 실행 명령을 판독하고 실행하도록 구성되는 프로세서를 포함하는 컴퓨터 장치가 제공되고, 상기 프로세서 판독가능 명령은 컴퓨터가 본 발명의 제 1 양태에 따른 방법을 수행하도록 제어하게 구성되는 명령을 포함한다.
- [0040] 본 발명의 제 4 양태에 따르면, 투영 시스템에 대한 수차 맵을 결정하기 위한 측정 시스템으로서, 패터닝 디바이스; 상기 패터닝 디바이스를 방사선으로 조명하도록 구성되는 조명 시스템 - 상기 패터닝 디바이스는 방사선 빔을 수광하고 복수 개의 제 1 회절 빔들을 형성하도록 구성되는 제 1 패터닝 영역을 포함하고, 상기 제 1 회절 빔들은 전단 방향으로 분리됨 -; 제 2 패터닝 영역 및 방사선 검출기를 포함하는 센서 장치; 제 1 회절 빔들을 상기 센서 장치 상에 투영하도록 구성되는 투영 시스템 - 상기 제 2 패터닝 영역은 상기 제 1 회절 빔들을 상기 투영 시스템으로부터 수광하고 상기 제 1 회절 빔들 각각으로부터 복수 개의 제 2 회절 빔을 형성하도록 구성됨 -; 상기 패터닝 디바이스 및 상기 센서 장치 중 적어도 하나를 전단 방향으로 이동시키도록 구성되는 위치설정 장치; 및 제어기를 포함하고, 상기 제어기는, 발진 신호를 형성하기 위하여, 상기 방사선 검출기의 각각의 부분에 의해 수광된 방사선의 세기가 전단 방향으로의 이동의 함수로서 변하게 하도록, 상기 패터닝 디바이스 및 상기 센서 장치 중 적어도 하나를 전단 방향으로 이동시키도록 상기 위치설정 장치를 제어하고, 상기 방사선 검출기로부터, 상기 방사선 검출기 상의 복수 개의 위치에서의 상기 발진 신호의 고조파의 위상을 결정하며, 상기 방사선 검출기 상의 복수 개의 위치에서의 상기 발진 신호의 고조파의 위상으로부터, 상기 투영 시스템의 수차 맵을 특징짓는 계수들의 세트를 결정하도록 구성되며, 상기 투영 시스템의 수차 맵을 특징짓는 계수들의 세트는, 상기 방사선 검출기 상의 복수 개의 위치 각각에서의 상기 발진 신호의 고조파의 위상을, 상기 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 한 쌍의 위치들 사이의 상기 수차 맵에서의 복수 개의 차이의 조합으로 방정식화하고, 상기 계수들의 세트를 찾기 위하여 풀이함으로써, 결정되는, 측정 시스템이 제공된다.
- [0041] 본 발명의 제 4 양태에 따른 측정 시스템은 본 발명의 제 1 양태에 따른 방법의 단계들 중 임의의 단계를 구현하도록 동작가능할 수 있다.
- [0042] 제어기는, 상기 방사선 검출기 상의 복수 개의 위치 각각에서, 상기 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 한 쌍의 위치들 사이의 상기 수차 맵에서의 복수 개의 차이의 조합으로 방정식화되는 상기 발진 신호의 고조파가 제 1 고조파가 되도록 구성될 수 있다.
- [0043] 제어기는, 투영 시스템의 수차 맵을 특징짓는 계수들의 세트를, 방사선 검출기 상의 복수 개의 위치 각각에서의 상기 발진 신호의 고조파의 위상을 상기 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 한 쌍의 위치들 사이의 상기 수차 맵에서의 세 개 이상의 차이의 조합으로 방정식화하고, 이러한 계수들의 세트를 찾기 위하여 풀이함으로써, 결정하도록 구성될 수 있다.
- [0044] 상기 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 위치들의 쌍들은, 전단 방향으로, 인접한 두 개의 제 1 회절 빔들 사이의 상기 퓨필 평면에서의 거리에 대응하는 전단 거리만큼 분리될 수 있다.
- [0045] 상기 방사선 검출기는 복수 개의 별개의 영역들을 포함할 수 있고, 제어기는, 상기 투영 시스템의 수차 맵을 특징짓는 계수들의 세트를 결정함에 있어서, 상기 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 두 개의 위치들 사이의 상기 수차 맵에서의 복수 개의 차이의 상이한 세트가 조합되어, 상기 방사선 검출기의 상이한 별개의 영역들 내에서의 상기 방사선 검출기 상의 위치들에 대한 상기 발진 신호의 고조파의 위상에 대해 방정식화되도록 동작가능할 수 있다.

- [0046] 제어기는, 방사선 검출기 상의 복수 개의 위치 중 적어도 하나에 대하여, 상기 발진 신호의 고조파의 위상이, 세 개 이상의 간섭 빔에 대응하는 상기 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 위치들의 쌍들 사이의 상기 수차 맵에서의 차이들의 조합으로 방정식화되도록 구성될 수 있다.
- [0047] 상기 방사선 검출기 상의 복수 개의 위치 중 적어도 하나에 대하여, 제어기는, 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 한 쌍의 위치들 사이의 상기 수차 맵에서의 복수 개의 차이들 중 적어도 두 개의 차이를, 상이한 간섭 세기들과 조합하도록 동작가능할 수 있다.
- [0048] 제어기는, 방사선 검출기 상의 복수 개의 위치 각각에 대하여: 상기 방사선 검출기 상의 해당 위치와 중첩하고, 상기 발진 신호의 고조파에 기여하며, 임계 값보다 큰 간섭 세기를 가지는, 서로 간섭하는 제 2 회절 빔들의 모든 쌍을 결정하도록 더 동작가능할 수 있다.
- [0049] 제어기는, 상기 방사선 검출기 상의 복수 개의 위치 각각에 대하여: 동일한 방향으로 전파되고, 상기 방사선 검출기에서 상기 투영 시스템의 개구수를 나타내는 원과의 동일한 중첩을 가지며, 상기 방사선 검출기 상의 해당 위치와 중첩하고, 상기 발진 신호의 고조파에 기여하며, 임계 값보다 큰 간섭 세기를 가지는 복수 개의 간섭하는 제 2 간섭 빔에 의해 형성되는 모든 간섭 빔을 결정하도록 더 동작가능할 수 있다.
- [0050] 서로 조합되고 발진 신호의 고조파의 위상에 대해 방정식화되는, 상기 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 한 쌍의 위치들 사이의 상기 수차 맵에서의 복수 개의 차이 각각은, 서로 간섭하고 상기 방사선 검출기 상의 해당 위치와 중첩하는 제 2 회절 빔들의 쌍이 유래되는, 상기 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 한 쌍의 위치들 사이의 상기 수차 맵에서의 차이일 수 있다.
- [0051] 제어기는, 상기 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 한 쌍의 위치들 사이의 상기 수차 맵에서의 복수 개의 차이가, 서로 간섭하고 상기 방사선 검출기 상의 해당 위치와 중첩하는 제 2 회절 빔의 상기 쌍에 대한 간섭 세기에 의해 가중 조합되도록 구성될 수 있다.
- [0052] 제어기는, 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 한 쌍의 위치들 사이의 상기 수차 맵에서의 복수 개의 차이가, 서로 간섭하고 상기 방사선 검출기 상의 해당 위치와 중첩하는 제 2 회절 빔의 대응하는 쌍에 대한 간섭 세기에 의해 가중되는 가중합으로서 조합될 수 있도록 구성될 수 있다.
- [0053] 본 발명의 제 5 양태에 따르면, 본 발명의 제 4 양태에 따르는 측정 시스템을 포함하는 리소그래피 장치가 제공된다.

**도면의 간단한 설명**

- [0054] 본 발명의 실시예는 첨부된 개략적인 도면을 참조하여 이제 예시하는 방식으로만 설명될 것이다:
  - 도 1은 리소그래피 장치와 방사선 소스를 포함하는 리소그래피 시스템을 도시한다;
  - 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따르는 측정 시스템의 개략도이다;
  - 도 3a 및 도 3b는 도 2의 측정 시스템을 형성할 수 있는 패터닝 디바이스 및 센서 장치의 개략도이다;
  - 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 측정 시스템의 개략도인데, 측정 시스템은 1 패터닝 영역 및 제 2 패터닝 영역을 포함하고, 제 1 패터닝 영역은 방사선을 수광하고 복수 개의 제 1 회절 빔을 형성하도록 구성된다;
  - 도 5a 내지 도 5c는 도 4에 도시되는 측정 시스템의 제 2 패터닝 영역에 의해 형성되는 제 2 회절 빔의 상이한 세트를 각각 보여주는데, 제 2 회절 빔의 이러한 세트는 제 1 패터닝 영역에 의해 형성된 상이한 제 1 회절 빔에 의해 생성되었다;
  - 도 6a는 50% 듀티 사이클이고 도 4에 도시되는 측정 시스템의 제 1 패터닝 영역을 나타낼 수 있는 1 차원의 회절 격자에 대한 산란 효율을 보여준다;
  - 도 6b는 50% 듀티 사이클이고 도 4에 도시되는 측정 시스템의 제 2 패터닝 영역을 나타낼 수 있는, 체커보드 형태의 2 차원의 회절 격자에 대한 산란 효율을 보여준다;
  - 도 6c는 도 6a에 도시되는 제 1 패터닝 영역 및 도 6b에 도시되는 제 2 패터닝 영역을 채용할 때 도 4에 도시되는 측정 시스템에 대한 간섭 세기 맵을 보여주는데, 도시된 간섭 세기 각각은, 발진하는 위상-스테핑 신호의 제 1 고조파에 기여하고, 방사선 검출기에서 투영 시스템의 개구수를 나타내는 원과 상이한 중첩을 가지는 제 2 간섭 빔들을 나타낸다;

- 도 7a, 도 7b 및 도 7c는 도 4에 도시되는 세 개의 상이한 제 1 회절 빔에 의해 채워지는, 도 4에 도시되는 측정 시스템의 투영 시스템의 개구수의 일부를 보여준다;
- 도 8a 내지 도 8c는, 측정 시스템의 투영 시스템의 개구수에 대응하고, 도 7b에 표현된 제 1 회절 빔으로부터 유래한 세 개의 제 2 회절 빔에 의해 채워지는, 도 4에 도시되는 측정 시스템의 방사선 검출기의 일부를 보여준다;
- 도 9a 내지 도 9c는, 측정 시스템의 투영 시스템의 개구수에 대응하고, 도 7a에 표현된 제 1 회절 빔으로부터 유래한 세 개의 제 2 회절 빔에 의해 채워지는, 도 4에 도시되는 측정 시스템의 방사선 검출기의 일부를 보여준다;
- 도 10a 내지 도 10c는, 측정 시스템의 투영 시스템의 개구수에 대응하고, 도 7c에 표현된 제 1 회절 빔으로부터 유래한 세 개의 제 2 회절 빔에 의해 채워지는, 도 4에 도시되는 측정 시스템의 방사선 검출기의 일부를 보여준다;
- 도 11a는, 측정 시스템의 투영 시스템의 개구수에 대응하고 도 8b 및 도 9a에 도시되는 제 2 회절 빔들 사이의 중첩 및 도 8a 및 도 10b에 도시되는 제 2 회절 빔들 사이의 중첩을 나타내는, 도 4에 도시되는 측정 시스템의 방사선 검출기의 일부를 보여준다;
- 도 11b는, 측정 시스템의 투영 시스템의 개구수에 대응하고 도 8b 및 도 10c에 도시되는 제 2 회절 빔들 사이의 중첩 및 도 8c 및 도 9b에 도시되는 제 2 회절 빔들 사이의 중첩을 나타내는, 도 4에 도시되는 측정 시스템의 방사선 검출기의 일부를 보여준다;
- 도 12는 원형 핀홀의 어레이를 포함하고 50%(면적 상으로) 듀티 사이클을 가지는 격자의 단위 셀을 보여준다;
- 도 13a는 50% 듀티 사이클을 가지고 도 4에 도시되는 측정 시스템의 제 1 패터닝 영역을 나타낼 수 있는 1 차원의 회절 격자에 대한 산란 효율을 보여준다;
- 도 13b는 도 12의 단위 셀을 포함하고 도 4에 도시되는 측정 시스템의 제 2 패터닝 영역을 나타낼 수 있는 2 차원의 회절 격자에 대한 산란 효율을 보여준다;
- 도 13c는 도 13a에 도시되는 제 1 패터닝 영역 및 도 13b에 도시되는 제 2 패터닝 영역을 채용할 때 도 4에 도시되는 측정 시스템에 대한 간섭 세기 맵을 보여주는데, 도시된 간섭 세기 각각은, 발진하는 위상-스테핑 신호의 제 1 고조파에 기여하고, 방사선 검출기에서 투영 시스템의 개구수를 나타내는 원과 상이한 중첩을 가지는 제 2 간섭 빔들을 나타낸다;
- 도 14a는 도 12에 도시된 바와 같은 단위 셀을 가지는 제 2 패터닝 영역에 의해 생성되는 21 개의 제 2 회절 빔의 표현이고, 제 2 회절 빔은 도 13b의 흰색 점선 내에 포함되는 회절 효율에 대응한다;
- 도 14b는 도 14a에 도시되는 제 2 회절 빔의 쌍들의 간섭에 의해 각각 생성되는 16 개의 간섭 빔의 표현인데, 간섭 빔들 각각은 도 13c의 흰색 점선 내에 포함되는 간섭 세기에 대응한다;
- 도 15는 투영 시스템의 개구수에 대응하는 흰색 파선 원형 라인내의 방사선 검출기의 맵을 보여주는데, 이러한 맵은 20 개의 간섭 빔(도 13c의 흰색 점선 내에 있는 것들) 중 얼마나 많은 것이 방사선 검출기 상의 각각의 위치에 대해 중첩하는지를 표시한다;
- 도 16은 그 안에서 간섭 빔 20 개 모두가 중첩하는, 도 15의 맵 중에서 방사선 검출기의 단일 이산 영역을 보여준다;
- 도 17a는 그 안에서 20 개의 간섭 빔 중 19 개가 중첩하는, 도 15의 맵 중에서 방사선 검출기의 4 개의 이산 영역을 보여준다;
- 도 17b는 도 17a에 도시되는 4 개의 영역에 대응하는, 20 개의 간섭 빔의 치환(permutation)의 표현이다;
- 도 18a는 그 안에서 20 개의 간섭 빔 중 18 개가 중첩하는, 도 15의 맵 중에서 방사선 검출기의 18 개의 이산 영역을 보여준다;
- 도 18b는 도 18a에 도시되는 18 개의 영역에 대응하는, 20 개의 간섭 빔의 치환의 표현이다;
- 도 19a는 그 안에서 20 개의 간섭 빔 중 하나 이상이 중첩하는, 방사선 검출기의 영역들 모두를 보여준다; 그리고

- 도 19b는 도 19a에 도시되는 영역들 모두에 대응하는, 20 개의 간섭 빔의 치환의 표현이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0055] 도 1은 방사선 소스(SO)와 리소그래피 장치(LA)를 포함하는 리소그래피 시스템을 도시한다. 방사선 소스(SO)는 EUV 방사선 빔(B)을 생성하고 EUV 방사선 빔(B)을 리소그래피 장치(LA)에 공급하도록 구성된다. 리소그래피 장치(LA)는 조명 시스템(IL), 패터닝 디바이스(MA)(예를 들어 마스크)를 지지하도록 구성되는 지지 구조체(MT), 투영 시스템(PS) 및 기판(W)을 지지하도록 구성되는 기판 테이블(WT)을 포함한다.
- [0056] 조명 시스템(IL)은 패터닝 디바이스(MA)에 입사하기 이전에 방사선 빔(B)을 조절하도록 구성된다. 또한, 조명 시스템(IL)은 다면형(faceted) 필드 미러 디바이스(10) 및 다면형 퓨필 미러 디바이스(11)를 포함할 수 있다. 다면형 필드 미러 디바이스(10)와 다면형 퓨필 미러 디바이스(11)는 함께 원하는 단면 형상 및 원하는 세기 분포를 가지는 EUV 방사선 빔(B)을 제공한다. 조명 시스템(IL)은 다면형 필드 미러 디바이스(10) 및 다면형 퓨필 미러 디바이스(11)에 더하여 또는 그 대신에 다른 미러 또는 디바이스를 포함할 수 있다.
- [0057] 이렇게 조절된 후에, EUV 방사선 빔(B)은 패터닝 디바이스(MA)와 상호작용한다. 이러한 상호작용의 결과, 패터닝된 EUV 방사선 빔(B')이 생성된다. 투영 시스템(PS)은 패터닝된 방사선 빔(B')을 기판(W) 상에 투영하도록 구성된다. 이를 위하여, 투영 시스템(PS)은 패터닝된 EUV 방사선 빔(B')을 기판 테이블(WT)에 의하여 홀딩되는 기판(W) 상에 투영하도록 구성되는 복수 개의 미러(13, 14)를 포함할 수 있다. 투영 시스템(PS)은 축소 인자를 패터닝된 EUV 방사선 빔(B')에 적용하여, 패터닝 디바이스(MA) 상의 대응하는 피쳐보다 더 작은 피쳐가 있는 이미지를 형성할 수 있다. 예를 들어, 4 또는 8의 축소 인자가 적용될 수 있다. 비록 투영 시스템(PS)이 도 1에서 두 개의 미러(13, 14)를 가지는 것으로 예시되지만, 투영 시스템은 임의의 상이한 개수의 미러(예를 들어 6 개 또는 8 개의 미러)를 포함할 수도 있다.
- [0058] 기판(W)은 이전에 형성된 패턴을 포함할 수도 있다. 이러한 경우에, 리소그래피 장치(LA)는 패터닝된 EUV 방사선 빔(B')에 의해 형성되는 이미지를 이전에 기판(W)에 형성된 패턴과 정렬한다.
- [0059] 상대 진공, 즉 대기압에 훨씬 못 미치는 압력의 적은 양의 가스(예를 들어 수소)가 방사선 소스(SO), 조명 시스템(IL) 및/또는 투영 시스템(PS) 내에 제공될 수 있다.
- [0060] 방사선 소스(SO)는 레이저 생성 플라즈마(LPP) 소스, 방전 생성 플라즈마(DPP) 소스, 자유 전자 레이저(FEL) 또는 EUV 방사선을 생성할 수 있는 임의의 다른 방사선 소스일 수 있다.
- [0061] 일반적으로, 투영 시스템(PS)은 불균일할 수도 있는 광학적 전달 함수를 가지고, 이것이 기판(W)에 이미징된 패턴에 영향을 줄 수 있다. 무편광 방사선에 대하여 이러한 효과는 두 개의 스칼라 맵에 의하여 매우 잘 기술될 수 있는데, 이러한 맵들은 투영 시스템(PS)을 벗어나는 방사선의 투과(아포디제이션(apodization)) 및 상대 위상(수차)을 그것의 퓨필 평면에서의 위치의 함수로서 기술한다. 투과 맵 및 상대 위상 맵이라고 지칭될 수도 있는 이러한 스칼라 맵은 완전한 세트의 기저 함수들의 선형 조합으로서 표현될 수도 있다. 특히 편리한 세트는 제르니케 다항식(Zernike polynomials)인데, 이것은 단위 원에서 정의된 직교 다항식의 세트를 형성한다. 각각의 스칼라 맵을 결정하는 것은 이러한 전개식(expansion)에서 계수를 결정하는 것을 수반할 수도 있다. 제르니케 다항식이 단위 원 상에서 직교하기 때문에, 제르니케 계수는 측정된 스칼라 맵과 각각의 제르니케 다항식의 순차적인 내적을 계산하고 이것을 해당 제르니케 다항식의 놈의 제곱으로 나눔으로써, 측정된 스칼라 맵으로부터 얻어질 수 있다. 후속하는 설명에서, 달리 진술되지 않는 한, 제르니케 계수라는 임의의 언급은 상대 위상 맵(본 명세서에서는 수차 맵이라고도 불림)의 제르니케 계수를 의미하는 것으로 이해될 것이다. 대안적인 실시예들에서는 기저 함수들의 다른 세트가 사용될 수도 있다는 것이 이해될 것이다. 예를 들어, 일부 실시예는, 예를 들어 차단된 에피쳐 시스템에 대하여 Tatian 제르니케 다항식을 사용할 수 있다.
- [0062] 파면 수차 맵은, 구형 파면으로부터 투영 시스템(PS)의 이미지 평면에 있는 한 지점에 접근하는 광의 파면의 왜곡을 나타낸다(퓨필 평면에서의 위치의 함수로서 또는, 대안적으로, 방사선이 투영 시스템(PS)의 이미지 평면에 접근하는 각도의 함수로서). 논의된 바와 같이, 이러한 파면 수차 맵은 제르니케 다항식들의 선형 조합으로서 표현될 수 있다:

수학식 1

$$W(x,y) = \sum_n c_n \cdot Z_n(x,y)$$

[0063]

[0064] 여기에서  $x$  및  $y$ 는 푸필 평면에서의 좌표이고,  $Z_n(x,y)$ 는 제  $N$  제르니케 다항식이며,  $c_n$ 은 계수이다. 후속하는 설명에서, 제르니케 다항식 및 계수는 일반적으로 놀 인덱스(NoII index)라고 불리는 인덱스로 라벨링된다. 그러므로,  $Z_n(x,y)$ 는  $n$ 의 놀 인덱스를 가지는 제르니케 다항식이고,  $c_n$ 은  $n$ 의 놀 인덱스를 가지는 계수이다. 그러면, 파면 수차 맵은 이러한 전개식에 있는, 제르니케 계수라고 불릴 수 있는 계수들  $c_n$ 의 세트로서 특징지어질 수 있다.

[0065] 제르니케 차수 중 유한한 개수만이 고려된다는 것이 이해될 것이다. 위상 맵의 상이한 제르니케 계수는 투영 시스템(PS)에 의해 야기되는 상이한 형태의 수차에 대한 정보를 제공할 수 있다. 1의 놀 인덱스를 가지는 제르니케 계수는 제 1 제르니케 계수라고 불릴 수 있고, 2의 놀 인덱스를 가지는 제르니케 계수는 제 2 제르니케 계수라고 불릴 수 있으며, 이러한 식으로 불릴 수 있다.

[0066] 제 1 제르니케 계수는 측정된 파면의 평균 값(피스톤이라고 불릴 수 있음)에 관련된다. 제 1 제르니케 계수는 투영 시스템(PS)의 성능과 관련성이 없을 수 있고, 따라서 명세서에서 설명되는 본을 사용해서 결정되지 않을 수 있다. 제 2 제르니케 계수는 측정된 파면의  $x$ -방향에서의 틸트에 관련된다.  $x$ -방향에서의 파면의 틸트는  $x$ -방향에서의 배치(placement)와 등가이다. 제 3 제르니케 계수는 측정된 파면의  $y$ -방향에서의 틸트에 관련된다.  $y$ -방향에서의 파면의 틸트는  $y$ -방향에서의 배치와 등가이다. 제 4 제르니케 계수는 측정된 파면의 디포커스(defocus)와 관련된다. 제 4 제르니케 계수는  $z$ -방향에서의 배치와 등가이다. 더 높은 차수의 제르니케 계수는 투영 시스템에 의해 야기되는 다른 형태의 수차(예를 들어 비점수차(astigmatism), 코마(coma), 구면 수차 및 다른 효과)에 관련된다.

[0067] 본 명세서 전체에서, "수차"라는 용어는 어떤 파면의 완벽한 구형 파면으로부터의 모든 형태의 편차를 포함하는 것으로 의도되어야 한다. 즉, "수차"라는 용어는 이미지의 배치(예를 들어 제 2, 제 3 및 제 4 제르니케 계수) 및/또는 5 이상의 놀 인덱스를 가지는 제르니케 계수에 관련되는 것과 같은 더 높은 차수의 수차에 관한 것이다. 더욱이, 투영 시스템에 대한 수차 맵이라는 임의의 언급은, 이미지 배치에 기인한 것들을 포함하여, 완벽한 구형 파면으로부터의 파면의 모든 형태의 편차를 포함할 수 있다.

[0068] 투과 맵 및 상대 위상 맵은 필드와 시스템에 의존적이다. 즉, 일반적으로, 각각의 투영 시스템(PS)은 각각의 필드 포인트에 대한(즉 이것의 이미지 평면에서의 각각의 공간적 위치에 대한) 상이한 제르니케 전개식을 가질 것이다.

[0069] 상세히 후술되는 바와 같이, 투영 시스템(PS)의 자신의 푸필 평면에서의 상대 위상은, 예를 들어 투영 시스템(PS)의 객체 평면(즉 패터닝 디바이스(MA)의 평면)으로부터, 투영 시스템(PS)을 통해 방사선을 투영하고, 파면(즉 동일한 위상을 가지는 점들의 궤적)을 측정하기 위하여 전단 간섭측정계(shearing interferometer)를 사용함으로써 결정될 수도 있다. 전단 간섭측정계는 투영 시스템(즉 기관 테이블(WT)의 이미지 평면에 있는 회절 격자, 예를 들어 2 차원의 회절 격자 및 투영 시스템(PS)의 푸필 평면에 대해 공액관계(conjugate)인 평면에 있는 간섭 패턴을 측정하도록 구성되는 검출기를 포함할 수도 있다.

[0070] 투영 시스템(PS)은 복수 개의 광학 요소(미러(13, 14)를 포함함)를 포함한다. 전술된 바와 같이, 비록 투영 시스템(PS)이 도 1에서 두 개의 미러(13, 14)를 가지는 것으로 예시되지만, 투영 시스템은 임의의 개수의 미러(예를 들어 6 개 또는 8 개의 미러)를 포함할 수도 있다. 리소그래피 장치(LA)는 수차(필드 전체에 걸쳐, 푸필 평면에 걸친 위상 변동의 임의의 타입)를 정정하기 위하여 이러한 광학 요소들을 조절하기 위한 조절 수단(PA)을 더 포함한다. 이를 위하여, 조절 수단(PA)은 투영 시스템(PS) 내의 광학 요소를 하나 이상의 상이한 방법으로 조작하도록 동작가능할 수도 있다. 투영 시스템은, 그 광축이  $z$  방향으로 연장되는 좌표계를 가질 수 있다(이러한  $z$  축의 방향이, 예를 들어 각각의 미러 또는 광학 요소에서 투영 시스템을 통과하는 광로를 따라 변한다는 것이 이해될 것이다). 조절 수단(PA)은 다음: 하나 이상의 광학 요소를 변위시키는 것; 하나 이상의 광학 요소

를 틸트; 및/또는 하나 이상의 광학 요소를 변형하는 것의 임의의 조합을 수행하도록 동작가능할 수도 있다. 광학 요소의 변위는 임의의 방향(x, y, z) 또는 이들의 조합에서 이루어질 수도 있다. 비록 회전적으로 대칭이 아닌(non-rotationally) 광학 요소에 대해서 z 축 주위의 회전이 사용될 수도 있지만, x 또는 y 방향의 축들 주위에서 회전함으로써 광학 요소는 통상적으로 광축에 수직인 평면을 벗어나서 틸팅된다. 광학 요소의 변형은, 예를 들어 광학 요소의 면에 힘을 작용시키도록 액츄에이터를 사용하여 및/또는 광학 요소의 선택된 영역을 가열하도록 가열 요소를 사용함으로써 수행될 수도 있다. 일반적으로, 아포디제이션(퓨필 평면에 걸친 투과 변동)을 정정하기 위하여 투영 시스템(PS)을 조절하는 것이 가능하지 않을 수도 있다. 투영 시스템(PS)의 투과 맵은 리소그래피 장치(LA)에 대한 마스크(MA)를 설계할 때 사용될 수도 있다.

[0071] 일부 실시예들에서, 조절 수단(PA)은 지지 구조체(MT) 및/또는 기관 테이블(WT)을 이동시키도록 동작가능할 수 있다. 조절 수단(PA)은 지지 구조체(MT) 및/또는 기관 테이블(WT)을 변위시키고(x, y, z 방향 또는 이들의 조합 중 임의의 방향으로) 및/또는 틸트시키도록(x 또는 y 방향으로의 축 중심의 회전에 의하여) 동작가능할 수 있다.

[0072] 리소그래피 장치의 일부를 형성하는 투영 시스템(PS)은 캘리브레이션 프로세스를 주기적으로 거칠 수 있다. 예를 들어, 리소그래피 장치가 공장에서 제조될 때, 투영 시스템(PS)을 형성하는 광학 요소(예를 들어 미러)는 초기 캘리브레이션 프로세스를 수행함으로써 셋업될 수 있다. 리소그래피 장치를 리소그래피 장치가 사용될 장소에 설치한 이후에, 투영 시스템(PS)은 다시 캘리브레이션될 수 있다. 투영 시스템(PS)의 추가적인 캘리브레이션이 정규 간격으로 수행될 수 있다. 예를 들어, 정상 사용 시에, 투영 시스템(PS)은 매 수 개월마다(예를 들어 매 3개월 마다) 캘리브레이션될 수 있다.

[0073] 투영 시스템(PS)을 캘리브레이션하는 것은 투영 시스템(PS)에 방사선을 통과시키고 결과적으로 얻어지는 투영된 방사선을 측정하는 것을 포함할 수 있다. 투영된 방사선의 측정은 투영 시스템(PS)에 의해 야기된, 투영된 방사선 내의 수차를 결정하기 위하여 사용될 수 있다. 투영 시스템(PS)에 의해 야기되는 수차는 측정 시스템을 사용하여 결정될 수 있다. 결정된 수차에 응답하여, 투영 시스템(PS)을 형성하는 광학 요소는 투영 시스템(PS)에 의해 야기되는 수차를 정정하기 위하여 조절될 수 있다.

[0074] 도 2는 투영 시스템(PS)에 의해 야기되는 수차를 결정하기 위하여 사용될 수 있는 측정 시스템(10)의 개략도이다. 측정 시스템(10)은 조명 시스템(IL), 측정 패터닝 디바이스(MA'), 센서 장치(21) 및 제어기(CN)를 포함한다. 측정 시스템(10)은 리소그래피 장치의 일부를 형성할 수도 있다. 예를 들어, 도 2에 도시되는 조명 시스템(IL) 및 투영 시스템(PS)은 도 1에 도시되는 리소그래피 장치의 조명 시스템(IL) 및 투영 시스템(PS)일 수 있다. 쉽게 설명하기 위하여, 리소그래피 장치의 추가적 컴포넌트는 도 2에는 도시되지 않는다.

[0075] 측정 패터닝 디바이스(MA')는 조명 시스템(IL)으로부터 방사선을 수광하도록 배치된다. 센서 장치(21)는 투영 시스템(PS)으로부터 방사선을 수광하도록 배치된다. 리소그래피 장치의 정상 사용시에, 도 2에 도시되는 측정 패터닝 디바이스(MA') 및 센서 장치(21)는 도 2에 도시되는 위치와 다른 위치에 위치될 수도 있다. 예를 들어, 리소그래피 장치의 정상 사용 시에, 기관(W)으로 전사될 패턴을 형성하도록 구성되는 패터닝 디바이스(MA)는 조명 시스템(IL)으로부터 방사선을 수광하도록 위치설정될 수 있고 기관(W)은 투영 시스템(PS)으로부터 방사선을 수광하도록 위치설정될 수 있다(예를 들어, 도 1에 도시된 바와 같음). 투영 시스템(PS)에 의해 야기되는 수차를 결정하기 위하여 측정 패터닝 디바이스(MA') 및 센서 장치(21)는 도 2에 도시되는 위치로 이동될 수 있다. 측정 패터닝 디바이스(MA')는 도 1에 도시되는 지지 구조체와 같은 지지 구조체(MT)에 의해 지지될 수 있다. 센서 장치(21)는 도 1에 도시되는 기관 테이블(WT)과 같은 기관 테이블에 의해 지지될 수 있다. 또는, 센서 장치(21)는 기관 테이블(WT)과 별개일 수 있는 측정 테이블(미도시)에 의해 지지될 수 있다.

[0076] 측정 패터닝 디바이스(MA') 및 센서 장치(21)는 도 3a 및 도 3b에 좀 더 상세하게 도시된다. 직교 좌표는 도 2, 도 3a 및 도 3b에서 일관적으로 사용된다. 도 3a는 x-y 평면에서의 측정 패터닝 디바이스(MA')의 개략도이고 도 3b는 x-y 평면에서의 센서 장치(21)의 개략도이다.

[0077] 측정 패터닝 디바이스(MA')는 복수 개의 패터닝 영역(15a 내지 15c)을 포함한다. 도 2 및 도 3a에 도시되는 실시예에서, 측정 패터닝 디바이스(MA')는 반사성 패터닝 디바이스(MA')이다. 터닝 영역(15a-15c)은 반사성 회절 격자를 각각 포함한다. 측정 패터닝 디바이스(MA')의 패터닝 영역(15a-15c)에 입사하는 방사선은 이에 의하여 적어도 부분적으로 산란되고, 투영 시스템(PS)에 의해 수광된다. 이에 반해, 측정 패터닝 디바이스(MA')의 나머지 영역에 입사하는 방사선은 투영 시스템(PS)을 향해 반사되거나 산란되지 않는다(예를 들어, 측정 패터닝 디바이스(MA')에 의해 흡수될 수 있다).

- [0078] 조명 시스템(IL)은 측정 패턴링 디바이스(MA')를 방사선으로 조명한다. 도 2에는 도시되지 않지만, 조명 시스템(IL)은 방사선 소스(SO)로부터 방사선을 수광하고, 측정 패턴링 디바이스(MA')를 조명하기 위하여 방사선을 조절할 수 있다. 예를 들어, 조명 시스템(IL)은 요구되는 공간적 및 각도 분포를 가지는 방사선을 제공하기 위하여 방사선을 조절할 수 있다. 도 2에 도시되는 실시예에서, 조명 시스템(IL)은 별개의 측정 빔(17a 내지 17c)을 형성하도록 구성된다. 각각의 측정 빔(17a 내지 17c)은 측정 패턴링 디바이스(MA')의 각각의 패턴링 영역(15a 내지 15c)을 조명한다.
- [0079] 투영 시스템(PL)에 의해 야기되는 수차를 결정하기 위하여, 측정 패턴링 디바이스(MA')를 별개의 측정 빔(17a 내지 17c)으로 조명하기 위하여 조명 시스템(IL)의 모드가 변경될 수 있다. 예를 들어, 리소그래피 장치의 정상 동작 시에, 조명 시스템(IL)은 패턴링 디바이스(MA)를 방사선의 슬릿으로 조명하도록 구성될 수 있다. 그러나, 투영 시스템(PL)에 의해 야기되는 수차를 결정하기 위하여 조명 시스템(IL)이 별개의 측정 빔(17a 내지 17c)을 형성하도록, 조명 시스템(IL)의 모드는 변경될 수 있다. 일부 실시예들에서, 상이한 패턴링 영역(15a 내지 15c)은 다른 시각에 조명될 수 있다. 예를 들어, 패턴링 영역(15a 내지 15c)의 제 1 서브세트는 제 1 시각에 조명되어 측정 빔(17a 내지 17c)의 제 1 서브세트를 형성할 수 있고, 패턴링 영역(15a 내지 15c)의 제 2 서브세트는 제 2 시각에 조명되어 측정 빔(17a 내지 17c)의 제 2 서브세트를 형성할 수 있다.
- [0080] 다른 실시예들에서, 조명 시스템(IL)의 모드는 투영 시스템(PL)에 의해 야기되는 수차를 결정하기 위하여 변경되지 않을 수도 있다. 예를 들어, 조명 시스템(IL)은 측정 패턴링 디바이스(MA')를 방사선의 슬릿(예를 들어 기관의 노광 중에 사용된 조명 영역과 실질적으로 대응함)으로 조명하도록 구성될 수 있다. 그러면, 패턴링 영역(15a 내지 15c)만이 방사선을 투영 시스템(PS)을 향해 반사하거나 투과하기 때문에, 개별 측정 빔(17a 내지 17c)이 측정 패턴링 디바이스(MA')에 의해 형성될 수 있다.
- [0081] 도면에서 직교 좌표계는 투영 시스템(PS) 전체에 걸쳐서 보존되는 것으로 도시된다. 그러나, 일부 실시예들에서, 투영 시스템(PS)의 속성은 좌표계의 변환을 유도할 수 있다. 예를 들어, 투영 시스템(PS)은 측정 패턴링 디바이스(MA')에 비하여 확대, 회전 및/또는 미러링된 측정 패턴링 디바이스(MA')의 이미지를 형성할 수 있다. 일부 실시예들에서, 투영 시스템(PS)은 측정 패턴링 디바이스(MA')의 이미지를 z-축 중심으로 거의 180° 회전시킬 수 있다. 이러한 실시예에서, 도 2에 도시되는 제 1 측정 빔(17a) 및 제 3 측정 빔(17c)의 상대 위치는 바뀔 수 있다. 다른 실시예들에서, 이미지는 x-y 평면에 놓여 있을 수 있는 축 중심으로 미러링될 수 있다. 예를 들어, 이미지는 x-축 또는 y-축 중심으로 미러링될 수 있다.
- [0082] 투영 시스템(PS)이 측정 패턴링 디바이스(MA')의 이미지를 회전시키고 및/또는 이미지가 투영 시스템(PS)에 의해 미러링되는 실시예들에서, 투영 시스템은 좌표계를 변환한다고 간주된다. 즉, 본 명세서에서 참조되는 좌표계는 투영 시스템(PS)에 의해 투영되는 이미지에 대해서 규정되며, 이미지의 임의의 회전 및/또는 미러링은 좌표계의 대응하는 회전 및/또는 미러링을 야기한다. 쉽게 설명하기 위하여, 좌표계는 도면에서 투영 시스템(PS)에 의해 보존되는 것으로 도시된다. 그러나, 일부 실시예들에서, 좌표계는 투영 시스템(PS)에 의해 변환될 수 있다.
- [0083] 패턴링 영역(15a 내지 15c)은 측정 빔(17a 내지 17c)을 수정한다. 특히, 패턴링 영역(15a 내지 15c)은 측정 빔(17a 내지 17c)의 공간적 변조를 야기하고, 측정 빔(17a 내지 17c)에 회절이 생기게 한다. 도 3b에 도시되는 실시예에서, 패턴링 영역(15a 내지 15c)은 두 개의 별개의 부분을 각각 포함한다. 예를 들어, 제 1 패턴링 영역(15a)은 제 1 부분(15a') 및 제 2 부분(15a'')을 포함한다. 제 1 부분(15a')은 u-방향과 평행하게 정렬된 회절 격자를 포함하고, 제 2 부분(15a'')은 v-방향과 평행하게 정렬된 회절 격자를 포함한다. u 및 v-방향은 도 3a에 표시된다. u 및 v-방향은 양자 모두 x 및 y-방향 양자 모두에 대해 약 45°로 정렬되고, 서로 수직으로 정렬된다. 도 3a에 도시되는 제 2 패턴링 영역(15b) 및 제 3 패턴링 영역(15c)은 제 1 패턴링 영역(15a)과 동일하고, 그 회절 격자들이 서로 수직으로 정렬되는 제 1 및 제 2 부분들을 각각 포함한다.
- [0084] 패턴링 영역(15a 내지 15c)의 제 1 및 제 2 부분은 상이한 시각에 측정 빔(17a 내지 17c)으로 조명될 수 있다. 예를 들어, 패턴링 영역(15a 내지 15c)의 각각의 제 1 부분은 제 1 시각에 측정 빔(17a 내지 17c)에 의해 조명될 수 있다. 제 2 시각에, 패턴링 영역(15a 내지 15c) 각각의 제 2 부분은 측정 빔(17a 내지 17c)에 의해 조명될 수 있다. 전술된 바와 같이, 일부 실시예들에서 상이한 패턴링 영역(15a 내지 15c)은 다른 시각에 조명될 수 있다. 예를 들어, 패턴링 영역(15a 내지 15c)의 제 1 서브세트의 제 1 부분은 제 1 시각에 조명될 수 있고 패턴링 영역(15a 내지 15c)의 제 2 서브세트의 제 1 부분은 제 2 시각에 조명될 수 있다. 패턴링 영역의 제 1 및 제 2 서브세트의 제 2 부분은 동일하거나 상이한 시각에 조명될 수 있다. 일반적으로, 패턴링 영역(15a 내지 15c)의 상이한 부분을 조명하는 임의의 스케줄이 사용될 수 있다.

- [0085] 수정된 측정 빔(17a 내지 17c)은 투영 시스템(PS)에 의해 수광된다. 투영 시스템(PS)은 센서 장치(21) 상에 패턴닝 영역(15a-15c)의 이미지를 형성한다. 센서 장치(21)는 복수 개의 회절 격자(19a 내지 19c) 및 방사선 검출기(23)를 포함한다. 회절 격자(19a 내지 19c)는, 각각의 회절 격자(19a 내지 19c)가 투영 시스템(PL)으로부터 출력되는 각각의 수정된 측정 빔(17a 내지 17c)을 수광하도록 배치된다. 회절 격자(19a 내지 19c)에 입사되는 변경된 측정 빔(17a 내지 17c)은 회절 격자(19a 내지 19c)에 의해서 더 변경된다. 회절 격자(19a 내지 19c)에서 투과되는 변경된 측정 빔은 방사선 검출기(23)에 입사한다.
- [0086] 방사선 검출기(23)는 방사선 검출기(23)에 입사하는 방사선의 공간적 세기 프로파일을 검출하도록 구성된다. 방사선 검출기(23)는, 예를 들어 개개의 검출기 요소 또는 감지 요소의 어레이를 포함할 수 있다. 예를 들어, 방사선 검출기(23)는, 예를 들어 CMOS(상보적 금속-산화물-반도체) 센서 어레이와 같은 능동 픽셀 센서를 포함할 수 있다. 대안적으로, 방사선 검출기(23)는 CCD(전하-결합 디바이스) 센서 어레이를 포함할 수도 있다. 회절 격자(19a 내지 19c) 및 변경된 측정 빔(17a 내지 17c)이 수광되는 방사선 센서(23)의 부분이 검출기 영역(25a 내지 25c)을 형성한다. 예를 들어, 제 1 회절 격자(19a) 및 제 1 측정 빔(17a)이 수광되는 방사선 센서(23)의 제 1 부분이 함께 제 1 검출기 영역(25a)을 형성한다. 주어진 측정 빔(17a 내지 17c)의 측정은 각각의 검출기 영역(25a 내지 25c)(도시된 바와 같음)에서 이루어질 수 있다. 전술된 바와 같이, 일부 실시예들에서, 변경된 측정 빔(17a 내지 17c) 및 좌표계의 상대적인 위치설정(PS)에 의해 변환될 수 있다.
- [0087] 패턴닝 영역(15a 내지 15c) 및 검출기 영역(25a 내지 25c)의 회절 격자(19a 내지 19c)에서 발생하는 측정 빔(17a 내지 17c)을 변경하면 결과적으로 방사선 검출기(23) 상에 간섭 패턴이 형성되게 된다. 간섭 패턴은 측정 빔의 위상의 도함수에 관련되며, 투영 시스템에 의해 초래된 수차에 따라 달라진다. 그러므로, 간섭 패턴은 투영 시스템(PS)에 의해 야기되는 수차를 결정하기 위하여 사용될 수 있다.
- [0088] 일반적으로, 검출기 영역(25a-25c) 각각의 회절 격자(19a-19c)는 2-차원의 투과성 회절 격자를 포함한다. 도 3b에 도시되는 실시예에서, 검출기 지역(25a 내지 25c)은 체커보드의 형태로 구성된 회절 격자(19a 내지 19c)를 각각 포함한다. 상세히 후술되는 바와 같이, 본 발명의 실시예는, 검출기 영역(25a-25c)이 체커보드의 형태로 구성되지 않은 2-차원의 투과성 회절 격자(19a-19c)를 각각 포함하는 구성에 특히 적용된다.
- [0089] 패턴닝 영역(15a 내지 15c)의 제 1 부분을 조명하면 제 1 방향에서의 수차에 관련된 정보가 제공될 수 있고, 패턴닝 영역(15a 내지 15c)의 제 2 부분을 조명하면 제 2 방향에서의 수차에 관련된 정보가 제공될 수 있다.
- [0090] 일부 실시예들에서, 측정 패턴닝 디바이스(MA') 및/또는 센서 장치(21)는 두 수직 방향에서 순차적으로 스캐닝 및/또는 스테핑된다. 예를 들어, 측정 패턴닝 디바이스(MA') 및/또는 센서 장치(21)는 u 및 v-방향에서 서로에 대해서 스테핑될 수 있다. 측정 패턴닝 디바이스(MA') 및/또는 센서 장치(21)는 패턴닝 영역(15a 내지 15c)의 제 2 부분(15a"-15c")이 조명되는 동안에 u-방향에서 스테핑될 수 있고, 측정 패턴닝 디바이스(MA') 및/또는 센서 장치(21)는 패턴닝 영역(15a 내지 15c)의 제 1 부분(15a'-15c')이 조명되는 동안에 v-방향에서 스테핑될 수 있다. 즉, 측정 패턴닝 디바이스(MA') 및/또는 센서 장치(21)는 조명되고 있는 회절 격자의 정렬에 대해 수직인 방향으로 스테핑될 수 있다.
- [0091] 측정 패턴닝 디바이스(MA') 및/또는 센서 장치(21)는 회절 격자의 격자 주기의 일부에 대응하는 거리만큼 스테핑될 수 있다. 상이한 스테핑 위치에서 수행된 측정은 스테핑 방향에서의 파면에 대한 정보를 유도하기 위하여 분석될 수 있다. 예를 들어, 측정된 신호(위상 스테핑 신호라고 불릴 수 있음)의 제 1 고조파의 위상은 스테핑 방향에서의 파면의 도함수에 대한 정보를 보유할 수 있다. 그러므로, 측정 패턴닝 디바이스(MA') 및/또는 센서 장치(21)를 u 및 v-방향(서로 수직임) 양자 모두에서 스테핑하면, 파면에 대한 정보가 두 수직 방향에서 유도될 수 있고(특히, 두 수직하는 방향 각각에서의 파면의 도함수에 대한 정보를 제공함), 따라서 풀 파면이 재구성될 수 있다.
- [0092] 측정 패턴닝 디바이스(MA') 및/또는 센서 장치(21)를 조명되고 있는 회절 격자(전술된 바와 같음)의 정렬에 수직인 방향에서 스테핑하는 것에 추가하여, 측정 패턴닝 디바이스(MA') 및/또는 센서 장치(21)는 서로에 대해 상대적으로 스캐닝될 수도 있다. 측정 패턴닝 디바이스(MA') 및/또는 센서 장치(21)의 스캐닝은 조명되고 있는 회절 격자의 정렬에 대해 평행한 방향으로 수행될 수 있다. 예를 들어, 측정 패턴닝 디바이스(MA') 및/또는 센서 장치(21)는 패턴닝 영역(15a 내지 15c)의 제 1 부분(15a'-15c')이 조명되는 동안에 u-방향에서 스캐닝될 수 있고, 측정 패턴닝 디바이스(MA') 및/또는 센서 장치(21)는 패턴닝 영역(15a 내지 15c)의 제 2 부분(15a"-15c")이 조명되는 동안에 v-방향에서 스캐닝될 수 있다. 측정 패턴닝 디바이스(MA') 및/또는 센서 장치(21)를 조명되고 있는 회절 격자의 정렬에 평행한 방향에서 스캐닝하면, 회절 격자에 걸친 측정들이 평균화될 수 있고, 따라서 스캐닝 방향에서의 회절 격자의 임의의 변동을 고려할 수 있다. 측정 패턴닝 디바이스(MA') 및/또는 센

서 장치(21)의 스캐닝은, 전술된 바와 같은 측정 패터닝 디바이스(MA') 및/또는 센서 장치(21)의 스테핑과 다른 시간에 수행될 수 있다.

- [0093] 패터닝 영역(15a 내지 15c) 및 검출기 영역(25a 내지 25c)의 다양한 상이한 배치가 투영 시스템(PS)에 의해 야기되는 수차를 결정하기 위해서 사용될 수 있다는 것이 이해될 것이다. 패터닝 영역(15a 내지 15c) 및/또는 검출기 영역(25a 내지 25c)은 회절 격자를 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 패터닝 영역(15a 내지 15c) 및/또는 검출기 영역(25a 내지 25c)은 회절 격자가 아닌 컴포넌트를 포함할 수 있다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 패터닝 영역(15a 내지 15c) 및/또는 검출기 영역은 측정 빔(17a 내지 17c)의 적어도 일부가 통과하여 전파될 수 있는 단일 슬릿 또는 핀홀 개구를 포함할 수 있다. 일반적으로, 패터닝 영역 및/또는 검출기 영역은 측정 빔을 변경하는 역할을 하는 임의의 구성을 포함할 수 있다.
- [0094] 제어기(CN)는 센서 장치(21)에서 이루어진 측정을 수신하고, 이러한 측정으로부터, 투영 시스템(PS)에 의해 야기되는 수차를 결정한다. 제어기는 측정 시스템(10)의 하나 이상의 컴포넌트를 제어하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 제어기(CN)는 센서 장치(21) 및/또는 측정 패터닝 디바이스(MA')를 서로 상대적으로 이동시키도록 동작가능한 위치설정 장치(PW)를 제어할 수 있다. 제어기는 투영 시스템(PS)의 컴포넌트를 조절하기 위한 조절 수단(PA)을 제어할 수 있다. 예를 들어, 조절 수단(PA)은, 투영 시스템(PS)에 의해 야기되고 제어기(CN)에 의해 결정되는 수차를 정정하기 위하여 투영 시스템(PS)의 광학 요소를 조절할 수 있다.
- [0095] 일부 실시예들에서, 제어기(CN)는 지지 구조체(MT) 및/또는 기관 테이블(WT)을 조절하기 위하여 조절 수단(PA)을 제어하도록 동작가능할 수 있다. 예를 들어, 조절 수단(PA)은, 패터닝 디바이스(MA) 및/또는 기관(W)의 배치 오차에 의해 초래되는(그리고 제어기(CN)에 의해 결정되는) 수차를 정정하기 위하여, 지지 구조체(MT) 및/또는 기관 테이블(WT)을 조절할 수 있다.
- [0096] 수차(투영 시스템(PS)에 의해 또는 패터닝 디바이스(MA) 또는 기관(W)의 배치 오차에 의해 야기될 수 있음)를 결정하는 것은, 센서 장치(21)에 의해 이루어진 측정들을 제르니케 계수를 얻기 위하여 제르니케 다항식에 근사화하는 것을 포함할 수 있다. 상이한 제르니케 계수는 투영 시스템(PS)에 의해 야기되는 상이한 형태의 수차에 대한 정보를 제공할 수 있다. 제르니케 계수는 x 및/또는 y-방향의 상이한 위치에서 독립적으로 결정될 수 있다. 예를 들어, 도 2, 도 3a 및 도 3b에 도시되는 실시예에서, 제르니케 계수는 각각의 측정 빔(17a 내지 17c)에 대해 결정될 수 있다.
- [0097] 일부 실시예들에서, 측정 패터닝 디바이스(MA')는 4 개 이상의 패터닝 영역을 포함할 수 있고, 센서 장치(21)는 4 개 이상의 검출기 영역을 포함할 수 있으며, 4 개 이상의 측정 빔이 형성될 수 있다. 그러면 제르니케 계수가 더 많은 위치에서 결정될 수 있게 될 수 있다. 일부 실시예들에서, 패터닝 영역 및 검출기 영역은 x 및 y-방향 양자 모두의 상이한 위치에 분포될 수 있다. 그러면 제르니케 계수가 x 및 y-방향 양자 모두에서 분리된 위치들에서 결정되게 될 수 있다.
- [0098] 비록 도 2, 도 3a 및 도 3b에 도시되는 실시예에서 측정 패터닝 디바이스(MA')가 3 개의 패터닝 영역(15a 내지 15c)을 포함하고 센서 장치(21)는 3 개의 검출기 영역(25a 내지 25c)을 포함하지만, 다른 실시예들에서 측정 패터닝 디바이스(MA')는 3 개보다 많거나 적은 패터닝 영역(15a 내지 15c)을 포함할 수 있고 및/또는 센서 장치(21)는 3 개보다 많거나 적은 검출기 영역(25a 내지 25c)을 포함할 수 있다.
- [0099] 투영 시스템(PS)에 의해 초래된 수차를 결정하기 위한 방법이 이제 도 4를 참조하여 설명된다.
- [0100] 일반적으로, 측정 패터닝 디바이스(MA')는 적어도 하나의 제 1 패터닝 영역(15a-15c)을 포함하고, 센서 장치(21)는 적어도 하나의 제 2 패터닝 영역(19a-19c)을 포함한다.
- [0101] 도 4는 투영 시스템(PS)에 의해 야기되는 수차를 결정하기 위하여 사용될 수 있는 측정 시스템(30)의 개략도이다. 측정 시스템(30)은 도 2에 도시되는 측정 시스템(10)과 같을 수 있지만, 상이한 개수의 제 1 패터닝 영역(측정 패터닝 디바이스(MA') 상의) 및 제 2 패터닝 영역(센서 장치(21) 내의)을 포함할 수 있다. 그러므로, 도 4에 도시되는 측정 시스템(30)은 도 2에 도시되고 전술되는 측정 시스템(10)의 임의의 피처를 포함할 수 있고, 이러한 피처는 더 상세히 후술되지 않을 것이다.
- [0102] 도 4에서, 단일 제 1 패터닝 영역(31)만이 측정 패터닝 디바이스(MA') 상에 제공되고, 단일 제 2 패터닝 영역(32)이 센서 장치(21) 내에 제공된다.
- [0103] 측정 패터닝 디바이스(MA')는 조명 시스템(IL)으로부터의 방사선(33)으로 조사된다. 쉽게 이해하기 위하여, 단일 라인(예를 들어 단일 광선, 예를 들어 입사 방사선 빔의 치프 광선(chief ray))만이 도 4에 도시된다. 그러

나, 방사선(33)이 측정 패턴링 디바이스(MA')의 제 1 패턴링 영역(31) 상의 입사각의 소정 범위를 포함할 것이라는 것이 이해될 것이다. 즉, 측정 패턴링 디바이스(MA')의 제 1 패턴링 영역(31) 상의 각각의 포인트는 광의 콘(cone)으로 조명될 수 있다. 일반적으로, 각각의 포인트는 실질적으로 동일한 각도 범위에 의해 조명되고, 이것은 조명 시스템(IL)의 퓨필 평면(미도시)에서의 방사선의 세기에 의해 특징지어진다.

[0104] 제 1 패턴링 영역(31)은 방사선(33)을 수광하고 복수 개의 제 1 회절 빔(34, 35, 36)을 형성하도록 구성된다. 중앙 제 1 회절 빔(35)은 제 1 패턴링 영역(31)의 0차 회절 빔에 대응하고, 다른 두 개의 제 1 회절 빔(34, 36)은 제 1 패턴링 영역(31)의  $\pm 1$ 차 회절 빔에 대응한다. 일반적으로, 더 많은 수의 더 높은 차수의 회절 빔도 존재할 것이라는 것이 이해될 것이다. 역시 쉽게 이해하기 위하여, 세 개의 제 1 회절 빔(34, 35, 36)만이 도 4에 도시된다.

[0105] 인입하는 방사선(33)이 제 1 패턴링 영역(31) 상의 한 포인트 상에 수렴하는 방사선의 콘을 포함하기 때문에, 제 1 회절 빔(34, 35, 36) 각각도 제 1 패턴링 영역(31) 상의 해당 포인트로부터 발산하는 방사선의 콘을 포함한다는 것이 역시 이해될 것이다.

[0106] 제 1 회절 빔(34, 35, 36)이 생성되게 하기 위하여, 제 1 패턴링 영역(31)은 회절 격자의 형태일 수 있다. 예를 들어, 제 1 패턴링 영역(31)은 일반적으로 도 3a에 도시되는 패턴링 영역(15a)의 형태일 수 있다. 특히, 제 1 패턴링 영역(31)의 적어도 일부는 도 3a에 도시되는 패턴링 영역(15a)의 제 1 부분(15a'), 즉 u-방향에 평행하게 정렬된 회절 격자의 형태일 수 있다(도 4가 z-v 평면에서 도시된다는 것에 주의한다). 그러므로, 제 1 회절 빔(34-36)은 v-방향인 전단 방향으로 분리된다.

[0107] 제 1 회절 빔(34-36)은 지금부터 설명되는 바와 같이 투영 시스템(PS)에 의해 적어도 부분적으로 캡처된다. 제 1 회절 빔(34-36) 중 얼마나 많은 것이 투영 시스템(PS)에 의해 캡처되는지는: 조명 시스템(IL)에서 온 입사 방사선(33)의 퓨필 채움; 제 1 회절 빔(34-36)의 각도 분리(이것은 이제 제 1 패턴링 영역(31)의 피치 및 방사선(33)의 파장에 의존함); 및 투영 시스템(PS)의 개구수에 의존할 것이다.

[0108] 측정 시스템(30)은, 0차 회절 빔에 대응하는 제 1 회절 빔(35)이 투영 시스템(PS)의 퓨필 평면(37)에 의해 표현될 수 있는 투영 시스템(PS)의 개구수를 실질적으로 채우고,  $\pm 1$ 차 회절 빔에 대응하는 제 1 회절 빔(34, 36)이 0차 회절 빔에 대응하는 제 1 회절 빔(35)과 실질적으로 중첩하도록, 구성될 수 있다. 이러한 구성에서, 0차 회절 빔에 대응하는 제 1 회절 빔(35) 중 실질적으로 전부 및  $\pm 1$ 차 회절 빔에 대응하는 대부분의 제 1 회절 빔(34, 36)이 투영 시스템(PS)에 의해 캡처되고 센서 장치(21) 상에 투영된다. (더욱이, 이러한 구성에서, 제 1 패턴링 영역(31)에 의해 생성되는 많은 수의 회절 빔은 센서 장치(21) 상에 적어도 부분적으로 투영된다.

[0109] 제 1 패턴링 영역(31)의 역할은 본 명세서에서 논의되는 바와 같이, 공간적 가간섭성을 도입하는 것이다.

[0110] 일반적으로, 상이한 입사각에서 측정 패턴링 디바이스(MA')의 동일한 포인트 상에 입사하는, 조명 시스템(IL)으로부터의 방사선(33)의 두 개의 광선들은 가간섭성이 아니다. 방사선(33)을 수광하고 복수 개의 제 1 회절 빔(34, 35, 36)을 형성함으로써, 제 1 패턴링 영역(31)은 입사 방사선 콘(33)의 복수 개의 카피를 형성하는 것으로 여겨질 수 있다(이러한 카피들은 일반적으로 상이한 위상 및 세기를 가짐). 이러한 카피들 중 임의의 하나, 또는 제 1 회절 빔(34, 35, 36) 내에서, 측정 패턴링 디바이스(MA') 상의 동일한 포인트에서 상이한 산란 각도로 유래하는 방사선의 두 개의 광선은 가간섭성이 아니다(조명 시스템(IL)의 속성 때문임). 그러나, 제 1 회절 빔(34, 35, 36) 중 임의의 하나 내의 주어진 방사선에 대하여, 주어진 해당 광선과 공간적으로 가간섭성인 대응하는 방사선이 그 외의 제 1 회절 빔들(34, 35, 36) 각각 내에 존재한다. 예를 들어, 제 1 회절 빔들(34, 35, 36) 각각의 치프 광선(입사 방사선(33)의 치프 광선에 대응함)은 가간섭성이고, 결합되면 진폭 레벨에서 간섭을 일으킨다.

[0111] 이러한 가간섭성이 투영 시스템(PS)의 수차 맵을 결정하기 위하여 측정 시스템(30)에 의해 활용된다.

[0112] 투영 시스템(PS)은 제 1 회절 빔(34, 35, 36)의 일부(투영 시스템의 개구수에 의해 캡처됨)를 센서 장치(21) 상에 투영한다.

[0113] 도 4에서, 센서 장치(21)는 하나의 제 2 패턴링 영역(32)을 포함한다. 상세히 후술되는 바와 같이(도 5a 내지 도 5c 참조), 제 2 패턴링 영역(32)은 이러한 제 1 회절 빔(34-36)을 투영 시스템(PS)으로부터 수광하고, 제 1 회절 빔들 각각으로부터 복수 개의 제 2 회절 빔을 형성하도록 구성된다. 이를 위하여, 제 2 패턴링 영역(32)은 2-차원의 투과성 회절 격자를 포함한다. 도 4에서, 제 2 패턴링 영역(32)에 의해 투과되는 모든 방사선은 단일 화살표(38)로 표현된다. 이러한 방사선(38)은 방사선 검출기(23)의 검출기 영역(39)에 의해 수광되고, 수

차 맵을 결정하기 위하여 사용된다.

- [0114] 패턴닝 영역(32) 상에 입사하는 제 1 회절 빔들(34-36) 각각은 복수 개의 제 2 회절 빔을 형성하도록 회절될 것이다. 제 2 패턴닝 영역(32)이 각각의 입사하는 제 1 회절 빔으로부터 2-차원의 회절 격자를 포함하기 때문에, 이차 회절 빔의 2 차원의 어레이가 생성된다(이러한 이차 회절 빔의 칩프 광선들은 전단 방향(v-방향) 및 이에 수직인 방향(u-방향) 양자 모두에서 분리됨). 후속하는 설명에서, 전단 방향(v-방향)으로 n차이고 비-전단 방향(u-방향)으로 m차인 회절 차수는 제 2 패턴닝 영역(32)의 (n, m)차 회절 차수라고 불릴 것이다. 후속하는 설명에서, 제 2 회절 빔이 비-전단 방향(u-방향)으로 몇 차인지가 중요하지 않은 경우에, 제 2 패턴닝 영역(32)의 (n, m)차 회절 차수는 간단히 n차 제 2 회절 빔이라고 불릴 수도 있다.
- [0115] 도 5a 내지 도 5c는 제 1 회절 빔들(34-36) 각각에 의해 생성되는 제 2 회절 빔의 세트를 보여준다. 도 5a는 제 1 패턴닝 영역(31)의 0차 회절 빔에 대응하는 제 1 회절 빔(35)에 의해 생성되는 제 2 회절 빔(35a-35e)의 세트를 보여준다. 도 5b는 제 1 패턴닝 영역(31)의 -1차 회절 빔에 대응하는 제 1 회절 빔(36)에 의해 생성되는 제 2 회절 빔(36a-36e)의 세트를 보여준다. 도 5c는 제 1 패턴닝 영역(31)의 +1차 회절 빔에 대응하는 제 1 회절 빔(34)에 의해 생성되는 제 2 회절 빔(34a-34e)의 세트를 보여준다.
- [0116] 도 5a에서, 제 2 회절 빔(35a)은 (제 2 패턴닝 영역(32)의, 그리고 전단 방향으로의) 0차 회절 빔에 대응하는 반면에, 제 2 회절 빔(35b, 35c)은  $\pm 1$ 차 회절 빔에 대응하고 제 2 회절 빔(35d, 35e)은  $\pm 2$ 차 회절 빔에 대응한다. 도 5a 내지 도 5c가 v-z 평면에서 도시되고, 도시된 제 2 회절 빔이, 예를 들어 비-전단 방향(즉 u-방향)으로의 제 2 패턴닝 영역(32)의 0차 회절 빔에 대응한다는 것이 이해될 것이다. 도 5a 내지 도 5c의 지면에 들어가거나 나오는 비-전단 방향으로의 더 높은 차수의 회절 빔을 나타내는, 이러한 제 2 회절 빔의 복수 개의 카피들이 존재할 것이라는 것이 역시 이해될 것이다.
- [0117] 도 5b에서, 제 2 회절 빔(36a)은 (제 2 패턴닝 영역(32)의, 그리고 전단 방향으로의) 0차 회절 빔에 대응하는 반면에, 제 2 회절 빔(36b, 36c)은  $\pm 1$ 차 회절 빔에 대응하고 제 2 회절 빔(36d, 36e)은  $\pm 2$ 차 회절 빔에 대응한다.
- [0118] 도 5c에서, 제 2 회절 빔(34a)은 (제 2 패턴닝 영역(32)의, 그리고 전단 방향으로의) 0차 회절 빔에 대응하는 반면에, 제 2 회절 빔(34b, 34c)은  $\pm 1$ 차 회절 빔에 대응하고 제 2 회절 빔(34d, 34e)은  $\pm 2$ 차 회절 빔에 대응한다.
- [0119] 도 5a 내지 도 5c로부터, 수 개의 제 2 회절 빔들이 공간적으로 서로 중첩한다는 것을 알 수 있다. 예를 들어, 제 1 패턴닝 영역(31)의 0차 회절 빔(35)으로부터 유래하는 제 2 패턴닝 영역(32)의 -1차 회절 빔에 대응하는 제 2 회절 빔(35b)은, 제 1 패턴닝 영역(31)의 -1차 회절 빔(36)으로부터 유래하는 제 2 패턴닝 영역(32)의 0차 회절 빔에 대응하는 제 2 회절 빔(36a)과 중첩한다. 도 4 및 도 5a 내지 도 5c의 선들 모두는 조명 시스템(IL)으로부터의 단일 입력 광선(33)으로부터 유래하는 단일 방사선을 나타내는 것으로 여겨질 수 있다. 그러므로, 전술된 바와 같이, 이러한 선은, 방사선 검출기(23)에서 단일 공간적으로 중첩하면 간섭 패턴을 생성할 공간적 가간섭성 광선을 나타낸다. 더욱이, 간섭은 투영 시스템(PS)의 퓨필 평면(37)의 상이한 부분(전단 방향으로 분리됨)을 통과한 광선들 사이에서 일어난다. 그러므로, 단일 입력 광선(33)으로부터 유래하는 방사선의 간섭은 퓨필 평면의 두 상이한 부분 사이의 위상차에 의존한다.
- [0120] 제 2 회절 빔의 방사선 검출기(23)에서의 이러한 공간적 중첩 및 공간적 가간섭성은 상기 제 1 패턴닝 영역과 제 2 패턴닝 영역(31, 32)의 피치들을 매칭함으로써 달성된다. 제 1 패턴닝 영역과 제 2 패턴닝 영역(31, 32)의 피치들의 이러한 매칭이, 투영 시스템(PS)에 의해 적용되는 임의의 축소 인자를 고려한다는 것이 이해될 것이다. 이것을 고려하면, 제 2 패턴닝 영역(32)의 피치가 제 1 패턴닝 영역(31)의 피치의 정수 배이어야 하거나, 제 1 패턴닝 영역(31)의 피치가 제 2 패턴닝 영역(32)의 피치의 정수 배가 되어야 한다. 도 5a 내지 도 5c에 도시된 예에서, 제 1 패턴닝 영역과 제 2 패턴닝 영역(31, 32)의 피치들은 실질적으로 같다(임의의 축소 인자를 고려함).
- [0121] 도 5a 내지 도 5c로부터 알 수 있는 바와 같이, 방사선 검출기(23)의 검출기 영역(39) 상의 각각의 포인트는, 일반적으로, 가간섭성 합산되는 여러 기여분을 수광할 것이다. 예를 들어, 제 1 패턴닝 영역(31)의 0차 회절 빔(35)으로부터 유래하는 제 2 패턴닝 영역(32)의 -1차 회절 빔에 대응하는 제 2 회절 빔(35b)을 수광하는 검출기 영역(39) 상의 포인트는 다음 두 개 모두와 중첩한다: (a) 제 1 패턴닝 영역(31)의 -1차 회절 빔(36)으로부터 유래하는 제 2 패턴닝 영역(32)의 0차 회절 빔에 대응하는 제 2 회절 빔(36a); 및 (b) 제 1 패턴닝 영역(31)의 +1차 회절 빔(34)으로부터 유래하는 제 2 패턴닝 영역(32)의 -2차 회절 빔에 대응하는 제 2 회절 빔(34d).

제 1 패터닝 영역(31)의 더 높은 차수의 회절 빔이 고려되면, 검출기 영역(39)의 각각의 포인트에 의해 측정되는 방사선의 세기를 결정하기 위하여, 검출기 영역(39) 상의 해당 부분(예를 들어 감지 요소의 2 차원의 어레이 내의 대응하는 픽셀)에서 가간섭성 합산되어야 할 더 많은 빔들이 존재한다는 것이 이해될 것이다.

[0122] 일반적으로, 복수 개의 상이한 제 2 회절 빔은 검출기 영역(39)의 각각의 부분에 의해 수광되는 방사선에 기여한다. 이러한 가간섭성 합산으로부터 얻어지는 방사선 세기는 다음으로 주어진다:

**수학식 2**

[0123] 
$$I = DC + \sum_{pairs\ (i)} \gamma_i \cos(\Delta\phi_i)$$

[0124] 여기에서  $DC$  는 상수 항이고(상이한 회절 빔들의 비간섭성 합산과 같음), 합산은 상이한 제 2 회절 빔들의 모든 쌍들에 걸쳐 이루어지며,  $\gamma_i$  는 제 2 회절 빔의 해당 쌍에 대한 간섭 세기이고,  $\Delta\phi_i$  는 해당 쌍의 제 2 회절 빔들 사이의 위상차이다.

[0125] 한 쌍의 제 2 회절 빔들 사이의 위상차  $\Delta\phi_i$  는 두 가지 기여분에 의존한다: (a) 제 1 기여분은 그들이 유래하는 퓨필 평면(37)의 상이한 부분에 관련된다; 및 (b) 제 2 기여분은 그들이 유래한 제 1 패터닝 영역과 2 패터닝 영역(31, 32) 각각의 단위 셀 내의 위치에 관련된다.

[0126] 이러한 기여분 중 제 1 기여분은, 상이한 가간섭성 방사선 빔들이 투영 시스템(PS)의 상이한 부분들을 통과했고, 따라서 결정하려 하는 수차에 관련된다는 사실로부터 발생하는 것으로 이해될 수 있다(사실상, 이들은 전단 방향으로 분리된 수차 맵 내의 두 포인트들 사이의 차이에 관련된다).

[0127] 이러한 기여분 중 제 2 기여분은, 회절 격자 상에 입사하는 하나의 광선으로부터 생기는 다수의 방사선의 상대적인 위상이 해당 격자의 단위 셀 중 어느 부분에 광선이 입사했는지에 의존할 것이라는 사실로부터 발생하는 것으로 이해될 수 있다. 그러므로 이것은 수차에 관련된 정보를 포함하지 않는다. 일부 실시예들에서, 측정 패터닝 디바이스(MA') 및/또는 센서 장치(21)는 전단 방향으로 순차적으로 스캐닝 및/또는 스테핑된다. 그러면 방사선 검출기(23)에 의해 수광되는 간섭하는 방사선 빔들의 쌍들 모두 사이의 위상차가 변하게 된다. 측정 패터닝 디바이스(MA') 및/또는 센서 장치(21)가 제 1 패터닝 영역과 제 2 패터닝 영역(31, 32)의 피치들의 비율(fraction)과 같은 양만큼 전단 방향으로 순차적으로 스테핑되기 때문에, 일반적으로, 제 2 회절 빔의 쌍들 사이의 위상차도 모두 변할 것이다. 측정 패터닝 디바이스(MA') 및/또는 센서 장치(21)가 제 1 패터닝 영역과 제 2 패터닝 영역(31, 32)의 피치들의 정수 배와 같은 양만큼 전단 방향으로 스테핑된다면, 일반적으로, 제 2 회절 빔의 쌍들 사이의 위상차는 일정하게 유지될 것이다. 그러므로, 측정 패터닝 디바이스(MA') 및/또는 센서 장치(21)가 전단 방향으로 순차적으로 스캐닝되고/또는 스테핑됨에 따라, 방사선 검출기(23)의 각각의 부분에 의해 수광되는 세기는 발전할 것이다. 방사선 검출기(23)에 의해 측정되는, 이러한 발전 신호(위상-스테핑 신호라고 불릴 수 있음)의 제 1 고조파는 인접한 제 1 회절 빔(34-36), 즉  $\pm 1$  차수만큼 다른 제 1 회절 빔으로부터 초래되는, 수학식 1에 대한 기여분에 의존한다. 그 외의 양만큼 차수가 다른 제 1 회절 빔들로부터 초래되는 기여분은 이러한 위상 스테핑 기법에 기인하여 방사선 검출기(23)에 의해 결정되는 신호의 더 높은 차수의 고조파에 기여할 것이다.

[0128] 예를 들어, 전술된 세 개의 중첩하는 제 2 회절 빔(35b, 36a 및 34d) 중에서, 이러한 회절 빔들의 세 개의 가능한 쌍들 중 두 개만이 위상 스테핑 신호의 제 1 고조파에 기여할 것이다: (a) 제 2 회절 빔(35b 및 36a)(제 1 패터닝 영역(31)의 0차 회절 빔(35) 및 -1차 회절 빔(36) 각각으로부터 유래됨); 및 (b) 제 2 회절 빔(35a 및 34d)(제 1 패터닝 영역(31)의 0차 회절 빔(35) 및 +1차 회절 빔(34) 각각으로부터 유래됨).

[0129] 제 2 회절 빔의 각각의 쌍에 의하여, 수학식 2에 표시된 형태의 간섭 항이 생길 것이고, 이것이 위상 스테핑 신호의 제 1 고조파에 기여하며, 즉 다음 형태의 간섭 항이 된다:

수학식 3

$$y \cos\left(\frac{2\pi}{p} \cdot v + \Delta W\right)$$

[0130]

[0131] 여기에서  $y$  는 간섭 항의 진폭이고,  $p$  는 제 1 패터닝 영역과 제 2 패터닝 영역(31, 32)의 피치이며,  $v$  는 제 1 패터닝 영역과 제 2 패터닝 영역(31, 32)의 전단 방향으로의 상대적인 위치를 파라미터화하고,  $\Delta W$  는 투영 시스템(PS)의 퓨필 평면에서의 두 개의 위치에서의 수차 맵의 값들 사이의 차이이며, 두 위치는 두 개의 제 2 회절 빔들이 유래하는 위치에 대응한다. 간섭 항의 진폭  $y$  은, 후술되는 바와 같이 두 제 2 회절 빔들의 복합 산란 효율들(compound scattering efficiencies)의 곱에 비례한다. 위상 스테핑 신호의 제 1 고조파의 주파수는 제 1 패터닝 영역과 제 2 패터닝 영역(31, 32)의 전단 방향으로의 피치  $p$  의 역에 의해 주어진다. 위상 스테핑 신호의 위상은  $\Delta W$  에 의해 주어진다(투영 시스템(PS)의 퓨필 평면에서의 두 개의 위치에서의 수차 맵의 값들 사이의 차이이고, 두 위치는 두 개의 제 2 회절 빔들이 유래하는 위치에 대응함).

[0132] 한 쌍의 제 2 회절 빔의 간섭 세기  $y_i$  는, 본 명세서에서 논의되는 바와 같이 두 개의 제 2 회절 빔의 복합 산란 효율들의 곱에 비례한다.

[0133] 일반적으로, 회절 격자에 의해 생성되는 회절 빔의 산란 효율은 격자의 기하학적 구조에 의존할 것이다. 0차 회절 빔의 효율로 정규화될 수 있는 이러한 회절 효율이 회절 빔의 상대적인 세기를 기술한다. 본 명세서에서 사용될 때, 제 2 회절 빔의 복합 산란 효율은, 제 2 회절 빔이 유래한 제 1 회절 빔의 산란 효율과 제 2 회절 빔이 대응하는 제 2 패터닝 영역(32)의 회절 차수에 대한 산란 효율의 곱에 의해 주어진다.

[0134] 도 3a에 도시되는 패터닝 영역(15a)의 제 1 부분(15a')이 조명되는, 도 3a 내지 도 5c에 도시되는 실시예에 대한 위의 설명에서, 전단 방향은 v-방향에 대응하고 비-전단 방향은 u-방향에 대응한다. 도 3a에 도시되는 패터닝 영역(15a)의 제 2 부분(15a'')이 조명되면, 전단 방향이 u-방향에 대응하고 비-전단 방향이 v-방향에 대응하는 것이 이해될 것이다. 비록 전술된 이러한 실시예에서, u 및 v-방향(두 개의 전단 방향을 규정함) 양자 모두가 리소그래피 장치(LA)의 x 및 y-방향 양자 모두에 대해 약 45° 로 정렬되지만, 대안적인 실시예들에서는 두 개의 전단 방향이 리소그래피 장치(LA)의 x 및 y-방향(리소그래피 장치(LA)의 비-스캐닝 및 스캐닝 방향에 대응할 수 있음)에 임의의 각도로 정렬될 수도 있다는 것이 이해될 것이다. 일반적으로, 두 개의 전단 방향은 서로 수직일 것이다. 후속하는 설명에서, 두 개의 전단 방향은 x-방향 및 y-방향이라고 불릴 것이다. 그러나, 이러한 전단 방향이 리소그래피 장치(LA)의 x 및 y-방향 양자 모두에 대해 임의의 각도로 정렬될 수 있다는 것이 이해될 것이다.

[0135] 도 6a는 도 3a에 도시되는 패터닝 영역(15a)의 제 1 부분(15a')의 형태이고 50% 듀티 사이클을 가지는 제 1 패터닝 영역(31)에 대한 산란 효율을 보여준다. 가로축은 전단 방향으로의 회절 차수를 나타낸다. 도 6a에 도시되는 회절 효율은, 0차 회절 빔의 효율이 100%가 되도록 0차 회절 빔의 효율에 정규화된다. 기하학적 구조가 이와 같으면(50% 듀티 사이클), 우수 회절 차수(0차 회절 차수 제외)의 효율은 0이다. ±1차 회절 빔의 효율은 63.7%이다.

[0136] 도 6b는 도 3b에 도시된 회절 격자(19a)의 형태인, 즉 50% 듀티 사이클의 체커보드의 형태인 제 2 패터닝 영역(32)에 대한 산란 효율을 보여준다. 가로축은 전단 방향으로의 회절 차수를 나타낸다. 세로축은 비-전단 방향으로의 회절 차수를 나타낸다. 도 6b에 도시되는 회절 효율은, (0, 0)차 회절 빔의 효율이 100%가 되도록 (0, 0)차 회절 빔의 효율에 정규화된다.

[0137] 전술된 바와 같이, 발전하는 위상-스테핑 신호의 제 1 고조파는 ±1의 차수만큼 다른 제 1 회절 빔으로부터의, 수학식 1에 대한 기여분에만 의존한다. 도 6a로부터 알 수 있는 바와 같이, 측정 패터닝 디바이스(MA') 상에 50% 듀티 사이클 격자가 있으면, ±1의 차수만큼 다른 제 1 회절 빔들의 두 개의 쌍만이 ±1차 빔 중 어느 하나가 있는 0차 빔이다. 더욱이, 제 1 패터닝 영역(31)에 대한 기하학적 구조가 이러하면, 산란 효율들이 대칭적

이 되어  $\pm 1$ 차 회절 빔의 효율들이 모두 같아지게 된다(63.7%). 그러므로, 발진하는 위상-스테핑 신호의 제 1 고조파에 기여하는 제 2 회절 빔들의 모든 쌍들에 대한 간섭 세기  $Y_i$ 가 다음과 같이 결정될 수 있다. 도 6b에 도시된 제 2 패터닝 영역(32)에 대한 산란 효율 플롯의 제 2 카피는 제 1 패터닝 영역(31)의  $\pm 1$ 차 회절 빔에 대한 산란 효율만큼 가중된 후, 도 6b에 도시된 제 2 패터닝 영역(32)에 대한 산란 효율 플롯으로 오버레이되지만, (제 1 회절 격자의) 회절 차수들의 한 쌍의 분리거리만큼 전단 방향으로 천이된다. 여기에서, 제 1 패터닝 영역과 제 2 패터닝 영역(31, 32)의 피치는 동일하고(투영 시스템(PS)에 의해 적용된 임의의 축소 인자를 고려함), 따라서 이러한 예에서, 제 2 패터닝 영역(32)에 대한 산란 효율 플롯의 제 2 카피는 전단 방향으로 제 2 패터닝 영역(31)의 하나의 회절 차수만큼 천이된다. 그러면 이러한 두 오버레이된 산란 효율 플롯들의 곱이 결정된다. 발진하는 위상-스테핑 신호의 제 1 고조파에 기여하는 제 2 회절 빔들의 모든 쌍에 대한 간섭 세기  $Y_i$ 의 이러한 플롯이 도 6c에 도시된다.

[0138] 도 6c에 도시되는 간섭 세기  $Y_i$  각각이 제 2 회절 빔들의 두 개의 상이한 쌍을 실제로 나타내는 점에 주의한다. 예를 들어, 도 6c에 도시되는 좌측 픽셀은 다음 양자 모두를 나타낸다: (a) 제 2 회절 빔(35a 및 34b) 사이의 간섭 및 (b) 제 2 회절 빔(35b 및 36a). 이와 유사하게, 도 6c에 도시되는 우측 픽셀은 다음 양자 모두를 나타낸다: (a) 제 2 회절 빔(35a 및 36c) 사이의 간섭 및 (b) 제 2 회절 빔(35c 및 34a). 일반적으로, 이러한 맵의 각각의 픽셀은 제 2 회절 빔의 두 개의 쌍을 나타낸다: (a) 제 1 패터닝 디바이스(31)의 0차 회절 차수에 대응하는 제 1 회절 빔(35)으로부터 유래한 하나의 제 2 회절 빔 및 제 1 패터닝 영역(31)의 +1차 회절 차수에 대응하는 제 1 회절 빔(34)으로부터 유래한 다른 제 2 회절 빔을 포함하는 제 2 회절 빔들의 제 1 쌍; 및 (b) 제 1 패터닝 디바이스(31)의 0차 회절 차수에 대응하는 제 1 회절 빔(35)으로부터 유래한 하나의 제 2 회절 빔 및 제 1 패터닝 영역(31)의 -1차 회절 차수에 대응하는 제 1 회절 빔(36)으로부터 유래한 다른 제 2 회절 빔을 포함하는 제 2 회절 빔들의 제 2 쌍.

[0139] 일반적으로, 도 6c에 도시되는 간섭 세기  $Y_i$  각각은 제 2 회절 빔들의 두 개의 상이한 쌍을 나타낸다: (a) 제 1 회절 빔(35)(제 1 패터닝 영역(31)의 0차 회절 빔에 대응함)에 의해 생성된 n차 제 2 회절 빔을 포함하는 하나의 쌍; 및 (b) 제 1 회절 빔(35)에 의해 생성된 (n+1)차 제 2 회절 빔을 포함하는 다른 쌍. 그러므로, 각각의 간섭 세기  $Y_i$ 는 기여하는 제 1 회절 빔(35)의 두 개의 회절 차수((n, m)차 및 (n+1, m)차)에 의해 특징지어질 수 있고,  $Y_{n,n+1,m}$ 으로 표시될 수 있다. 후속하는 설명에서, m=0인 것이 명백하거나 m의 값이 중요하지 않으면, 이러한 간섭 세기는  $Y_{n,n+1}$ 이라고 표시될 수 있다.

[0140] 비록 도 6c에 도시되는 간섭 세기  $Y_i$  (또는  $Y_{n,n+1,m}$ )가 제 2 회절 빔의 두 개의 상이한 쌍을 각각 나타내지만, 도 6c에 도시되는 간섭 세기  $Y_i$  각각은 발진하는 위상-스테핑 신호의 제 1 고조파에 기여하고, 방사선 검출기(23)에서 지금부터 설명될 투영 시스템(PS)의 개구수를 나타내는 원과 상이한 중첩을 가지는 제 2 회절 빔을 나타낸다.

[0141] 도 7a, 도 7b 및 도 7c는, 제 1 회절 빔(34, 35, 36) 각각에 의해 채워지는 투영 시스템(PS)의 개구수에 대응하는, 투영 시스템(PS)의 퓨필 평면(37)의 일부를 보여준다. 도 7a, 도 7b 및 도 7c 각각에서, 투영 시스템(PS)의 개구수는 원(40)으로 표시되고, 제 1 회절 빔(34, 35, 36)에 의해 채워지는 투영 시스템(PS)의 퓨필 평면(37)은 도 7a, 도 7b 및 도 7c 각각에서 이러한 원(40)의 음영 영역으로 표현된다. 도 7b로부터 알 수 있는 바와 같이, 도시된 예에서, 0차 회절 빔에 대응하는 중앙의 제 1 회절 빔(35)은 투영 시스템(PS)의 개구수를 실질적으로 채운다. 도 7a 및 도 7c로부터 알 수 있는 바와 같이, 제 1 패터닝 영역(31)의  $\pm 1$ 차 회절 빔에 대응하는 두 개의 제 1 회절 빔들(34, 36) 각각은 개구수를 부분적으로만 채우도록 천이되었다. 실제로 개구수에 대한 제 1 차수 제 1 회절 빔(34, 36)의 이러한 천이는 매우 작고, 도면에서는 쉽게 이해하기 위하여 과장되었다는 것이 이해될 것이다.

[0142] 도 8a 내지 도 10c는 다양한 제 2 회절 빔에 의해 채워지는 방사선 검출기(23)의 일부를 보여준다. 도 8a 내지 도 10c 각각에서, 투영 시스템(PS)의 개구수는 원(40)으로 표시되고, 제 2 회절 빔에 의해 채워지는 이러한 원

의 부분이 이러한 원(40)의 음영 영역으로 표시된다. 도 8a 내지 도 8c는 제 1 패터닝 영역(31)의 0차 회절 빔에 대응하는 제 1 회절 빔(35)으로부터 유래한 (-1, 0)차, (0, 0)차 및 (1, 0)차 회절 빔(35b, 35a, 35c)에 의해 채워지는 원(40)의 부분을 보여준다. 도 9a 내지 도 9c는 제 1 패터닝 영역(31)의 1차 회절 빔에 대응하는 제 1 회절 빔(34)으로부터 유래한 (-1, 0)차, (0, 0)차 및 (1, 0)차 회절 빔(34b, 34a, 34c)에 의해 채워지는 원(40)의 부분을 보여준다. 도 10a 내지 도 10c는 제 1 패터닝 영역(31)의 -1차 회절 빔에 대응하는 제 1 회절 빔(36)으로부터 유래한 (-1, 0)차, (0, 0)차 및 (1, 0)차 회절 빔(36b, 36a, 36c)에 의해 채워지는 원(40)의 부분을 보여준다.

[0143] 도 8b, 도 9a, 도 8a 및 도 10b로부터, (a) 제 2 회절 빔(35a 및 34b) 사이의 회절 및 (b) 제 2 회절 빔(35b 및 36a) 양자 모두로부터의 기여분을 수광하는 방사선 검출기의 영역이, 도 11a에 도시되는 영역(41)이라는 것을 알 수 있다. 이와 유사하게, 도 8b, 도 10c, 도 8c 및 도 9b로부터, (a) 제 2 회절 빔(35a 및 36c) 사이의 회절 및 (b) 제 2 회절 빔(35c 및 34a) 양자 모두로부터의 기여분을 수광하는 방사선 검출기의 영역이, 도 11b에 도시되는 영역(42)이라는 것을 알 수 있다.

[0144] 일반적으로, 도 6c에 도시되는 간섭 세기  $Y_i$  각각은, 복수 개의 간섭하는 제 2 간섭 빔에 의해 형성되는 방사선 빔을 나타내는 것으로 여겨질 수 있는데, 복수 개의 간섭하는 제 2 간섭 빔에 의해 형성되는 이러한 각각의 방사선 빔은 상이한 방향으로 전파함으로써, 방사선 검출기(23)에서의 각각의 이러한 방사선 빔 투영 시스템(PS)의 개구수를 나타내는 원과의 중첩이 달라지게 된다.

[0145] 일반적으로, 제 2 회절 빔은 복수 개의 방사선 빔을 형성하는 것으로 여겨질 수 있고, 이러한 각각의 방사선 빔은 간섭하는 제 2 회절 빔들의 세트에 의해 형성된다. 각각의 이러한 방사선 빔은 본 명세서에서 간섭 빔이라고 불릴 수 있다. 복수 개의 간섭하는 제 2 간섭 빔에 의해 형성되는 각각의 이러한 간섭 빔은 상이한 방향으로 전파되어, 방사선 검출기(23)에서의 각각의 간섭 빔과 투영 시스템(PS)의 개구수를 나타내는 원과의 중첩이 달라지게 한다고 여겨질 수 있다. 비록 이들이 상이한 방향으로 전파되고, 투영 시스템(PS)의 개구수를 나타내는 원과의 상이한 중첩을 가진다고 여겨질 수 있지만, 방사선 검출기(23)에서의 상이한 간섭 빔들 사이에는 큰 중첩이 존재한다. 도 6c에 도시되는 간섭 세기  $Y_i$  각각은 상이한 간섭 빔(복수 개의 간섭하는 제 2 간섭 빔에 의해 형성됨)을 나타내는 것으로 여겨질 수 있다.

[0146] 전술된 바와 같이, 도 6c에 도시되는 간섭 세기  $Y_i$  (또는  $Y_{n,n+1;m}$ ) 각각은 제 2 회절 빔의 두 개의 상이한 쌍을 나타낸다. 그러나, 방사선 검출기 상의 주어진 위치에 대하여, 기여하는 제 2 회절 빔들의 이러한 쌍들 양자 모두는 투영 시스템(PS)의 퓨필 평면(37)에 있는 동일한 두 개의 포인트로부터 유래된 두 개의 간섭하는 광선을 포함한다. 특히, 방사선 검출기 상의 위치(x, y)에 대하여(이러한 좌표는 투영 시스템(PS)의 퓨필 평면(37)의 좌표에 대응하고, x 방향은 전단 방향에 대응함), 기여하고 간섭 세기  $Y_{n,n+1;m}$  를 가지는 간섭하는 제 2 회절 빔의 두 개의 쌍은, 퓨필 평면(37)의 위치 (x-ns, y-ms)로부터 유래된 제 2 회절 빔의 광선 및 퓨필 평면(37)의 위치 (x-(n+1)s, y-ms)로부터 유래되는 제 2 회절 빔의 광선을 각각 포함하는데, s는 전단 거리이다. 전단 거리 s는 인접한 제 1 회절 빔들(34-36) 중 두 개의 가간섭성 광선들 사이의 퓨필 평면(37)에서의 거리에 대응한다. 그러므로, 기여하는 제 2 회절 빔들의 양자 모두 쌍이 수학식 3의 형태인 간섭 항이 되게 하는데, 여기에서  $\Delta W$  는 퓨필 평면(37)의 이러한 두 개의 위치에서의 수차 맵의 값 사이의 차이이다.

[0147] 도 6c로부터, 제 2 패터닝 영역(32)이 50% 듀티 사이클 체커보드의 형태이면, 위상 스테핑 신호의 제 1 고조파에 기여하는 제 2 회절 빔들의 두 개의 세트만이 존재하고, 양자 모두는 25.8%의 간섭 세기( $Y_{-1,0}$ ,  $Y_{0,+1}$ )라는 것을 알 수 있다. 이것은 체커보드의 기하학적 구조에 기인하는 것이고, 그러면, 도 6a로부터 알 수 있는 바와 같이, (-1, 0)차, (0, 0)차 및 (1, 0)차 회절 빔을 제외하고는 전단 방향으로 이동하고, 그 외의 모든 회절 빔은 0%의 회절 효율을 가지는 회절 효율 플롯이 생긴다. 즉, (n, m)차 회절 차수의 격자 효율인데, 여기에서 n+1m은 우수이고 (0, 0)차 회절 차수를 제외하고는 모두 0이다. 이러한 격자 효율이 0이 되는 결과, 위상 스테핑 신호의 제 1 고조파에 기여하는 간섭 세기들 모두는 간섭 세기  $Y_{-1,0}$  및  $Y_{0,+1}$  을 제외하고는 0이다.

[0148] 도 11a 및 도 11b에 도시되는 두 개의 영역들(41, 42) 사이의 중첩에 대하여(이러한 중첩 영역이 작은 전단 각

도에 대해 원(40)의 대부분을 형성할 것임), 발진하는 위상-스테핑 신호의 제 1 고조파는 두 개의 코사인의 합에 비례할 것이다(수학식 2 및 3을 참조함):

**수학식 4**

$$I = DC + \gamma_{-1,0} \cos(W_{-1} - W_0) + \gamma_{0,+1} \cos(W_0 - W_{+1})$$

[0149]

[0150]

여기에서 제 1 코사인은 퓨필 평면의 두 개의 제 1 포인트 사이의 수차 맵에서의 차이에 대한 것이고, 제 2 코사인은 퓨필 평면의 두 개의 제 2 포인트 사이의 수차 맵에서의 차이에 대한 것이다(여기에서, 위상 스테핑 항은 명백하게 이해되도록 생략되었음). 특히, 방사선 검출기 상의 주어진 위치 (x, y)에 대하여(x는 전단 방향을 나타냄), 두 개의 제 1 포인트는 퓨필 평면(x, y)에 있는 대응하는 포인트(수학식 4에서  $W_0$ 로 표현됨) 및 전단 거리 (x-s, y)만큼 전단 방향을 따르는 제 1 방향으로 천이되는 다른 포인트(수학식 4에서  $W_{-1}$ 로 표현됨)를 포함한다. 이와 유사하게, 두 개의 제 2 포인트는, 퓨필 평면(x, y)에 있는 대응하는 포인트(수학식 4에서  $W_0$ 로 표현됨) 및 전단 거리 (x+s, y)만큼 전단 방향을 따르는 제 2 방향으로 천이되는 다른 포인트(수학식 4에서  $W_{+1}$ 로 표현됨)를 포함한다.

[0151]

현존하는 파면 재구성 기법은, 수학식 4에서 두 개의 간섭 세기가 동일하여, 두 개의 코사인의 이러한 합산이 코사인 항등식을 사용하여 전단 방향으로 전단 거리의 두 배만큼 분리된 두 개의 위치 사이의 수차 맵에서의 차이의 코사인으로서, 즉  $\cos(W_{-1} - W_{+1})$  이 작은 전단 거리에 대해서 거의 1인 인자로 승산된 것으로 다시 쓰여질 수 있게 된다는 사실을 활용한다. 그러므로, 이러한 공지된 기법은 위상 스테핑 신호의 제 1 고조파의 위상을 전단 방향으로 전단 거리의 두 배만큼 분리된, 퓨필 평면내의 위치 사이의 수차 맵에서의 차이에 대해 방정식화함으로써(equate), 제르니케 계수의 세트를 결정하는 것을 수반한다. 수차 맵이 제르니케 계수에 의존한다는 것을 상기한다(수학식 1 참조). 이것이 처음에는 제 1 전단 방향으로, 그리고 그 후에는 제 2의 직교하는 방향으로 방사선 센서 상의 복수 개의 위치에서(예를 들어 어레이 내의 복수 개의 픽셀 또는 개별 감지 요소에서) 수행된다. 두 전단 직교 방향에 대한 이러한 제약은 제르니케 계수의 세트를 찾기 위해서 동시에 풀이된다.

[0152]

위에서 논의된 바와 같이, 선형 격자를 포함하는 제 1 패터닝 영역(31) 및 2-차원의 체커보드를 포함하는 제 2 패터닝 영역(32)의 조합이 유리하다(두 개의 간섭 빔만이 위상 스테핑 신호의 제 1 고조파에 기여하기 때문임). 체커보드의 기하학적 구조 때문에, 체커보드 격자는 광투과성 캐리어 또는 지지 층을 통상적으로 포함한다. 그러나, EUV 방사선은 거의 모든 재료에 의해 많이 흡수되고, 따라서 EUV 방사선에 대해서는 양호한 투과성 재료가 존재하지 않는다. 더욱이, 이러한 투과성 캐리어는 EUV 리소그래피 시스템의 웨이퍼 생산 환경에서는 바람직하지 않는데, 그 이유는 투과성 캐리어가 이러한 환경에서는 빨리 오염될 것이기 때문이다. 그러면 EUV에 대해서 비투과성인 투과성 캐리어가 제공될 것이다. 이러한 오염 문제는, 시스템 이용가능성에 영향을 주고, 따라서 리소그래피 시스템의 쓰루풋에 영향을 주는 정기적인 세정 동작에 의해서만 다뤄질 수 있다. 전술된 이유로, 체커보드 격자 구성은 EUV 방사선을 사용하는 리소그래피 시스템에 대해서는 구현하기가 어렵다.

[0153]

이러한 이유로, EUV 방사선에 대한 현존하는 수차 측정 시스템은, 제 2 패터닝된 디바이스(32)로서, 원형 핀홀 어레이를 사용하는 기하학적 구조를 사용한다. 도 12는 50%(면적 상으로) 듀티 사이클을 가지는, 이러한 격자의 단위 셀(50)을 보여준다. 단위 셀(50)은 EUV 흡수막(52)에 제공되는 원형 애퍼처(51)를 포함한다. 원형 애퍼처(51)는, EUV 방사선이 통과해서 투과되는, EUV 흡수막(52) 내의 보이드를 나타내는 관통형 애퍼처이다. 그러나, 이러한 핀홀 어레이 기하학적 구조(도 12에 도시된 바와 같음)는, 도 13a 내지 도 13b를 참조하여 본 명세서에서 논의되는 바와 같이, 위상 스테핑 신호의 제 1 고조파에 기여하는 원치않는 간섭 빔들을 생성한다.

[0154]

도 13a는 도 3a에 도시되는 패터닝 영역(15a)(도 6a에 도시된 것과 같은 기하학적 구조임)의 제 1 부분(15a')의 형태이고 50% 듀티 사이클을 가지는 제 1 패터닝 영역(31)에 대한 산란 효율을 보여준다. 다시 말하건대, 회절 효율은, 0차 회절 빔의 효율이 100%가 되도록 0차 회절 빔의 0차 회절 빔에 정규화된다. 도 13b는 도 12에 도시되는 단위 셀(50)을 가지는 핀홀 어레이의 형태인 제 2 패터닝 영역(32)에 대한 산란 효율을 보여준다. 도

13b에 도시되는 회절 효율은, (0, 0)차 회절 빔의 효율이 100%가 되도록 (0, 0)차 회절 빔의 효율에 정규화된다.

[0155] 도 13c는 발진하는 위상-스테핑 신호의 제 1 고조파에 기여하는 간섭 빔에 대한 간섭 세기  $\gamma_{n,n+1}$ 의 그래프이다 (이것은 도 6a 및 도 6b의 산란 효율로부터의 도 6c의 구조에 유사한 방식으로 도 13a 및 도 13b의 산란 효율로부터 구성됨).

[0156] 도 13c로부터, 제 2 패터닝 영역(32)이 도 12에 도시되는 단위 셀(50)을 가지면, 두 개의 메인 간섭 빔(25.2%의 간섭 세기  $\gamma_{-1,0}$ ,  $\gamma_{0,+1}$ 을 가짐), 작지만 0이 아닌 간섭 세기  $\gamma_{n,n+1}$ 을 가지는 여러 추가적 간섭 빔이 존재한다는 것을 알 수 있다. 이러한 추가적 간섭 빔에 대한 간섭 세기가 같지 않기 때문에, 다수의 간섭 빔들이 중첩하는 방사선 검출기(23)의 영역의 경우, 발진하는 위상-스테핑 신호의 제 1 고조파는 복수 개의 코사인의 가중합에 비례할 것이며(수학식 4 참조), 코사인들은 상이한 가중치를 가진다. 결과적으로, 이들은 삼각함수 항등식을 사용해서 쉽게 결합될 수 없다. 그러나, 추가적 간섭 빔에 대한 간섭 세기  $\gamma_{n,n+1}$ 이 작기 때문에(간섭 세기  $\gamma_{-1,0}$ ,  $\gamma_{0,+1}$ 에 비교할 때), EUV 방사선에 대한 이러한 공지된 현존 수차 측정 시스템은 제르니케 계수의 세트를 찾기 위해서 파면을 재구성할 때 이러한 항을 무시한다(즉 이들이 0이라고 가정함).

[0157] 이러한 가정은 파면 측정의 정확도에 영향을 준다. 결국, 이것은 시스템 이미징, 오버레이 및 초점 성능에 부정적인 영향을 준다. 본 발명의 실시예들은 EUV 방사선을 위한 수차 측정 시스템에 대한 기술된 문제점을 적어도 부분적으로 해결하도록 고안되었다.

[0158] 본 발명의 실시예는 지금 설명되는 바와 같이 파면 또는 수차 맵을 재구성하기 위한 새로운 방법에 관련된다.

[0159] 본 발명의 일부 실시예에 따르면, 파면 또는 수차 맵을 재구성하기 위한 새로운 방법은, 방사선 검출기 상의 복수 개의 위치 각각에서의 상기 발진 신호의 제 1 고조파의 위상을 투영 시스템의 퓨필 평면에 있는 위치들의 쌍들(전단 방향으로 분리됨) 사이의 수차 맵에서의 복수 개의 차이의 조합으로 방정식화시키는 것을 수반한다. 이러한 제약들이 제르니케 계수들의 세트를 찾기 위해서 동시에 풀이된다. 이러한 새롭고 일반적인 기법이 이제 설명된 도 14a 내지 도 19b를 참조하여 설명될 것이다.

[0160] 일반적으로, 방사선 검출기(23)의 주어진 영역에 대하여, 다수의 간섭 빔들이 중첩하고, 따라서 발진하는 위상-스테핑 신호의 제 1 고조파는 복수 개의 코사인의 가중합에 비례할 것이며(수학식 4 참조), 코사인들은 상이한 가중치를 가진다. 본 발명의 발명자들은, 이러한 코사인 각각이 제 1 패터닝 영역과 제 2 패터닝 영역(31, 32)의 전단 방향으로의 상대 위치에 대해 동일한 의존성을 가지고(수학식 3 참조, 여기에서  $v$ 는 제 1 패터닝 영역과 제 2 패터닝 영역(31, 32)의 전단 방향으로의 상대 위치를 파라미터화함), 그러므로 이제 설명되는 바와 같이 복수 개의 페이지의 합으로서 조합될 수 있다는 것을 깨달았다.

[0161] 특히, 방사선 검출기(23) 상의 주어진 위치(예를 들어 주어진 감지 요소 또는 픽셀)에 대한 위상 스테핑 신호의 제 1 고조파는 다음과 같이 쓰여질 수 있다:

**수학식 5**

$$M \cos\left(\frac{2\pi}{p} \cdot v + \Delta W\right) = \sum_i \gamma_i \cos\left(\frac{2\pi}{p} \cdot v + \Delta W_i\right)$$

[0162]

[0163] 여기에서  $M$  및  $\Delta W$ 는 각각, 위상 스테핑 신호의 제 1 고조파의 진폭 및 위상이고, 합은 방사선 검출기(23) 상의 이러한 위치와 중첩하고 발진 위상-스테핑 신호의 제 1 고조파에 기여하는 모든 간섭 빔에 걸쳐서 이루어지고,  $\gamma_i$ 는  $i$ 번째 간섭 빔의 간섭 세기이며,  $\Delta W_i$ 는 투영 시스템(PS)의 퓨필 평면의 두 개의 위치에서의 수차 맵의 값 사이의 차이이며, 두 위치는  $i$ 번째 간섭 빔에 기여하는 두 개의 제 2 회절 빔이 유래하는 위치에 대응한다.

비록  $M$  이 위상 스테핑 신호의 제 1 고조파의 진폭이지만, 이것은 대안적으로 변조라고 불릴 수도 있다.

[0164] 본 발명의 발명자들은, 수학식 5의 합에서의 코사인들 각각이 제 1 패터닝 영역과 제 2 패터닝 영역(31, 32)의 전단 방향으로의 상대 위치에 대해 동일한 의존성을 가지기 때문에, 이들이 다음과 같이 복수 개의 페이지의 합으로서 결합될 수 있다는 것을 깨달았다:

**수학식 6**

$$\tan(\Delta W) = \frac{\sum_i \gamma_i \sin(\Delta W_i)}{\sum_i \gamma_i \cos(\Delta W_i)}$$

[0165]

[0166] 더욱이,  $\Delta W_i$  는 투영 시스템(PS)의 퓨필 평면의 두 개의 위치에서의 수차 맵의 값 사이의 차이이고, 두 위치는  $i$  번째 간섭 빔에 기여하는 두 개의 제 2 회절 빔이 유래하는 위치에 대응한다.  $X$ 가 전단 방향을 나타내는 경우, 방사선 검출기 상의 위치  $(x, y)$ 에 대하여, 기여하고 간섭 세기  $\gamma_{n,n+1;m}$  을 가지는 간섭하는 제 2 회절 빔의 두 개의 쌍은, 퓨필 평면(37)의 위치  $(x-ns, y-ms)$ 로부터 유래된 제 2 회절 빔의 광선 및 퓨필 평면(37)의 위치  $(x-(n+1)s, y-ms)$ 로부터 유래되는 제 2 회절 빔의 광선을 각각 포함하는데,  $s$ 는 전단 거리라는 것을 상기한다. 그러므로, 전단 방향인  $x$ 에 대하여, 수학식 6에서의 수차 맵에서의 차이  $\Delta W_i^x$  는 다음과 같이 제르니케 다항식에 관하여 표현될 수 있다(수학식 1 참조):

**수학식 7**

$$\Delta W_i^x(x, y) = \sum_n c_n \cdot [Z_n(x - (n + 1)s, y - ms) - Z_n(x - ns, y - ms)]$$

[0167]

[0168] 여기에서  $x$  및  $y$  는 방사선 검출기의 좌표이다(투영 시스템(PS)의 퓨필 평면(37)의 좌표에 대응함). 이와 유사하게, 전단 방향인  $y$ 에 대하여, 수학식 6에서의 수차 맵에서의 차이  $\Delta W_i^y$  는 다음과 같이 제르니케 다항식에 관하여 표현될 수 있다(수학식 1 참조):

**수학식 8**

$$\Delta W_i^y(x, y) = \sum_n c_n \cdot [Z_n(x - ms, y - (n + 1)s) - Z_n(x - ms, y - ns)]$$

[0169]

[0170] 여기서도 역시  $x$  및  $y$  는 방사선 검출기의 좌표이다(투영 시스템(PS)의 퓨필 평면(37)의 좌표에 대응함).

[0171] 작은 전단 각도(또는, 등가적으로, 작은 전단 거리)의 경우, 수학식 6은 다음과 같이 다시 쓰여질 수 있다(삼각함수의 테일러 전개식 또는 작은 각도 전개식을 사용함):

**수학식 9**

$$\Delta W = \frac{\sum_i \gamma_i \Delta W_i}{\sum_i \gamma_i}$$

[0172]

[0173] 본 발명의 실시예는, 방사선 검출기(23)에 의해 측정되는 발전하는 위상-스테핑 신호의 제 1 고조파의 위상  $\Delta W$  ( )을 투영 시스템(PS)의 퓨필 평면(37)의 위치들의 쌍들 사이의 상기 수차 맵에서의 복수 개의 차이(  $\Delta W_i^x$  또는  $\Delta W_i^y$  )는 현재 어떤 진단 방향이 사용되고 있는지에 의존함)의 조합으로 방정식화시키는 것을 수반한다. 이러한 조합은 수학식 6의 정확한 관계식을 사용하거나(양측에 탄젠트 역함수를 취함으로써) 또는 수학식 9의 선형 근사화를 사용할 수 있다. 투영 시스템(PS)의 퓨필 평면(37)의 위치의 쌍 사이의 수차 맵에서의 차이(  $\Delta W_i^x$  또는  $\Delta W_i^y$  ) 각각은, 수학식 7 또는 수학식 8을 사용하여 제르니케 계수  $C_n$ 의 선형 조합으로 표현될 수 있다. 그러므로, 발전하는 위상-스테핑 신호의 제 1 고조파의 하나의 측정된 위상  $\Delta W$  는 N 개의 미지수가 있는 하나의 수학식을 나타내는 것으로 여겨질 수 있는데, N은 제르니케 계수  $C_n$ 의 개수이다.

[0174] 이러한 프로시저(측정된 위상  $\Delta W$  를 복수 개의 차이  $\Delta W_i^x$  또는  $\Delta W_i^y$  의 조합으로 방정식화시키는 것)가 방사선 검출기(23) 상의 복수 개의 위치에 대하여, 예를 들어 방사선 검출기(23)의 각각의 감지 요소 또는 픽셀에서, 두 직교하는 진단 방향들 각각으로 수행된다. 그러면 N 개의 미지수가 있는 2M 개의 수학식이 얻어지는데, M은 방사선 검출기(23) 상의 위치의 개수이고, N은 제르니케 계수  $C_n$ 의 개수이다. 그러면, 이러한 수학식이 제르니케 계수  $C_n$ 의 세트를 찾기 위해서 풀이된다. 두 개의 직교하는 진단 방향으로부터의 수학식들이 제르니케 계수  $C_n$ 의 세트를 찾기 위해서 동시에 풀이된다는 것에 주의한다. 이러한 수학식이, 당업자에게 알려진 하나 이상의 기법을 사용하여 수치적으로 풀이될 수 있다는 것이 이해될 것이다.

[0175] 이러한 새로운 방법은 투영 시스템(PS)의 퓨필 평면에서의 두 개의 위치 사이의 수차 맵에서의 복수 개의 차이의 조합과, 계수들  $C_n$ 의 세트를 찾도록 풀어내는 것을 수반하기 때문에 유리하다. 그러면 발전 신호의 제 1 고조파에 대한 더 많은 기여분(즉, 제 2 회절 빔의 더 많은 수의 간섭 쌍)이 고려될 수 있게 된다. 결국, 그러면 이러한 방법이 제 2 패터닝 영역(32)에 대한 더 넓은 범위 격자 구조에 대해서 사용될 수 있게 된다. 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 두 개의 위치의 각각의 이러한 쌍이 진단 방향으로 분리된다는 것이 이해될 것이다.

[0176] 더욱이, 이러한 새로운 방법은 복수 개의 간섭 빔들로부터의 기여분이 상이한 간섭 세기로 조합될 수 있게 한다. 이것은, 제 2 패터닝 영역(32)에 대한 격자 구조로부터 초래될 수 있는 이러한 상이한 간섭 세기가 고려될 수 있기 때문에 유리하다. 그러나, 바람직하게는, 추가적으로, 이것은 임의의 불균일한 퓨필 채움(즉 제 1 패터닝 영역(31)의 퓨필 조명의 비-균일성) 및/또는 투영 시스템(PS)의 퓨필 평면(37)에 걸친 투과도의 임의의 비-균일성(아포디제이션)도 고려될 수 있게 할 수 있다. 이것은, 퓨필 채움 및/또는 아포디제이션에 의존하여 간섭 세기를 수정함으로써 달성될 수 있는데, 이들 모두는, 예를 들어 리소그래피 장치(LA) 내에서 측정될 수 있다.

[0177] 이러한 새로운 방법을 사용함으로써, 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 위치들의 쌍들은, 진단 방향으로, 진단 거리(인접한 두 개의 제 1 회절 빔들(34-36) 사이의 퓨필 평면(37)에서의 거리에 대응함)만큼 분리된다는 것에 주의한다. 이것은, 이러한 진단 거리의 두 배만큼 진단 방향으로 분리되는 투영 시스템의 퓨필 평면에서의 위치들의 쌍들 사이의 상기 수차 맵에서의 차이를 수반하는 공지된 재구성 방법과 반대이다.

[0178] 위의 논의로부터, 수차 맵에서의 각각의 차이(  $\Delta W_i$  )는 퓨필 평면(37)에 있는 두 개의 위치들 사이라는 것이 이해될 것이고, 이러한 두 개의 위치가 i번째 간섭 빔에 기여하는 간섭하는 제 2 회절 빔의 쌍들이 유래하는 퓨필 평면(37)에서의 위치에 대응한다. 방사선 검출기(23) 상의 임의의 주어진 위치에서 조합되는, 수차 맵에 있는 복수 개의 차이(  $\Delta W_i$  )가 방사선 검출기(23) 상의 이러한 위치에서 중첩하며 발전하는 위상-스테핑 신호의 제 1 고조파에 기여하는 간섭 빔에 대응한다는 것도 역시 이해될 것이다. 더욱이, 일반적으로 방사선 검출기(23) 상의 상이한 위치에서는, 간섭 빔의 상이한 조합이 본 명세서에서 도 14a 및 도 14b를 참조하여 논의되는 바와 같

이 기여하게 된다.

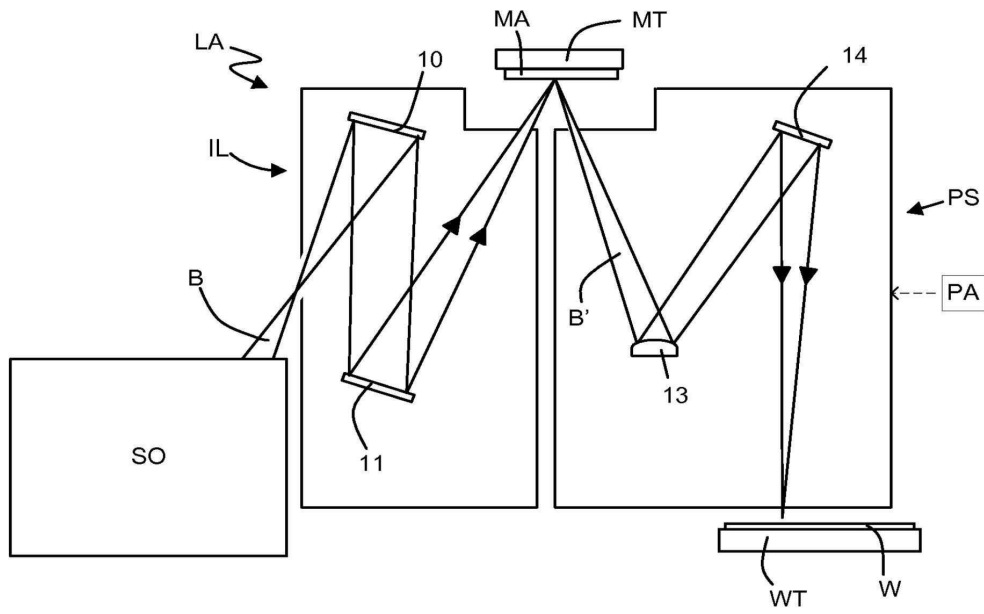
- [0179] 도 14a는 도 12에 도시된 바와 같은 단위 셀(50)을 가지는 제 2 패터닝 영역(32)에 의해 생성된 21 개의 제 2 회절 빔의 표현이다. 특히, 이들은 이러한 제 2 패터닝 영역(32)에 의해 생성되고 0차 제 1 회절 빔(35)으로부터 유래하는 제 2 회절 빔이라고 여겨질 수 있다. 도 14a는 이러한 제 2 회절 빔의 회절 효율을 보여주고, 이들은 도 13b의 흰색 점선 내에 포함된 회절 효율에 대응한다. 실제로, 도 13b의 흰색 점선은 25 개의 제 2 회절 빔에 대응하지만, 이들 중 4 개에 대한 회절 효율을 무시될 수 있고, 따라서 도 14a에는 포함되지 않았다. 또한, 도 14a에서, 흰색 파선 원형 라인은 투영 시스템(PS)의 개구수에 대응하는 방사선 검출기(23) 상의 영역을 표시한다.
- [0180] 도 14b는, 도 14a에 도시되는 제 2 회절 빔과 이러한 제 2 패터닝 영역(32)에 의해 생성되고  $\pm 1$ 차 제 1 회절 빔(34, 36)으로부터 유래하는 제 2 회절 빔의 쌍들의 간섭에 의해 각각 생성되는 16 개의 간섭 빔의 표현이다. 도 14b는 이러한 간섭 빔의 간섭 세기를 보여주고, 이들은 도 13c의 흰색 점선 내에 포함된 간섭 세기에 대응한다. 다시 말하건대, 도 13c의 흰색 점선은 실제로는 20 개의 제 2 회절 빔에 대응하지만, 이들 중 4 개에 대한 간섭 세기는 무시될 수 있고, 따라서 도 14b에는 포함되지 않았다. 또한, 도 14b에서, 흰색 파선 원형 라인은 투영 시스템(PS)의 개구수에 대응하는 방사선 검출기(23) 상의 영역을 표시한다.
- [0181] 도 14b로부터, 방사선 센서(23)에서 이러한 간섭 빔들 각각 사이에 큰 중첩이 있다는 것이 명백하다. 도 15는, 투영 시스템(PS)의 개구수에 대응하는 흰색 파선 원형 라인 내에서의 방사선 검출기(23)의 맵을 보여준다. 도 15의 맵은 20 개의 간섭 빔(도 13c의 흰색 점선 내에 있음) 중 얼마나 많은 것이 방사선 검출기(23) 상의 각각의 위치에 대하여 중첩하는지를 보여준다.
- [0182] 본 발명의 방법의 일부 실시예들에서, 방사선 검출기(23)는 복수 개의 별개의 영역들을 포함하는 것으로 여겨진다. 투영 시스템(PS)의 수차 맵을 특징짓는 제르니케 계수  $C_n$ 의 세트를 결정할 때, 수차 맵에서의 복수 개의 차이  $\Delta W_i$ 의 상이한 세트가 방사선 검출기의 상이한 개별 영역에 있는 방사선 검출기 상의 위치에 대해 조합된다. 방사선 검출기의 복수 개의 개별 영역들 각각이, 이러한 중첩하는 간섭 빔들의 상이한 조합을 포함하는 방사선 검출기(23)의 영역에 대응할 수 있다는 것이 이해될 것이다.
- [0183] 20 개의 간섭 빔 모두가 그 안에서 중첩하는 방사선 검출기의 하나의 이산 영역(55)이 존재한다. 이것은 방사선 검출기(23)의 중앙 부분이고 도 16에 재현된다.
- [0184] 20 개의 간섭 빔 중 19 개가 그 안에서 중첩하는 방사선 검출기(23)의 4 개의 이산 영역(56)이 존재한다. 이러한 4 개의 영역(56)은 도 17a에 재현된다. 이러한 영역(56) 각각에 대해서 20 개의 간섭 빔을 치환(permutation)한 것이 도 17b에 표현된다. 도 17b에서, 각각의 열은 간섭 빔 중 상이한 하나를 나타내고, 각각의 행은 간섭 빔의 상이한 치환을 나타낸다. 임의의 주어진 행에서, 흑색인 픽셀은 해당 열에 대응하는 간섭 빔이 이러한 치환으로부터 존재하지 않는다는 것을 나타낸다. 이와 유사하게, 20 개의 간섭 빔 중 18 개가 그 안에서 중첩하는 방사선 검출기(23)의 18 개의 이산 영역(57)이 존재한다. 이러한 18 개의 영역(57)은 도 18a에 재현된다. 이러한 영역(56) 각각에 대해서 20 개의 간섭 빔을 치환(permutation)한 것이 도 18b에 표현된다. 도 19a는 그 안에서 20 개의 간섭 빔 중 하나 이상이 중첩하는, 방사선 검출기의 이산 영역들 모두를 보여준다. 방사선 검출기의 이러한 이산 영역 모두에 대한 20 개의 간섭 빔의 치환이 도 19b에 도시된다.
- [0185] 일부 실시예들에서, 투영 시스템(PS)의 수차 맵을 결정하기 위한 방법이, 방사선 검출기(23) 상의 복수 개의 위치 각각(예를 들어 각각의 감지 요소 또는 픽셀)에서, 방사선 검출기(23) 상의 해당 위치와 중첩하고 발견하는 위상 스테핑 신호의 제 1 고조파에 기여하는 모든 간섭 빔을 결정하는 것을 포함할 수 있다는 것이 이해될 것이다. 대안적으로(및 등가적으로), 간섭하고 방사선 검출기(23) 상의 해당 위치와 중첩하며 발견 신호의 제 1 고조파에 기여하는 제 2 회절 빔들의 모든 쌍이 결정될 수 있다. 도 12에 도시되는 단위 셀(50)을 가지는 편홀 어레이의 형태인 제 2 패터닝 영역(32)이 있는 전술된 예에서, 무한 개의 개수의 간섭 빔이 존재한다는 것이 이해될 것이다. 그러나, 이들 대부분은 무시될 수 있는 간섭 세기를 가진다(간섭 세기는 간섭 빔에 기여하는 제 2 회절 빔의 회절 차수가 증가함에 따라 감소함). 그러므로, 실용적인 구현을 위해서는 임계 값보다 큰 간섭 세기를 가지는 간섭 빔만이 고려될 수 있다. 또는, 기여할 수 있는 제 2 간섭 빔의 회절 차수에 임계가 부과될 수 있다(20 개의 간섭 빔만이 고려되었던 전술된 예에서 부과되었던 것처럼). 비록 도 14a 내지 도 19b를 참조하여 전술된 예에서 25 개의 회절 차수(특히, 도 13b의 흰색 점선 내에 포함된 회절 효율에 대응하는 25 개의 제 2 회절 빔)만이 고려되었지만, 이것은 본 발명의 방법이 어떻게 동작하는지를 일 예로서 든 것일 뿐이라는

것이 이해될 것이다. 대안적인 실시예들에서, 더 많거나 더 적은 회절 차수가 고려될 수 있다는 것이 역시 이해될 것이다. 고려된 회절 차수의 개수가 제 1 패터닝 영역과 제 2 패터닝 영역(31, 32)의 기하학적 구조에 따라서 선택될 수 있다는 것이 역시 이해될 것이다.

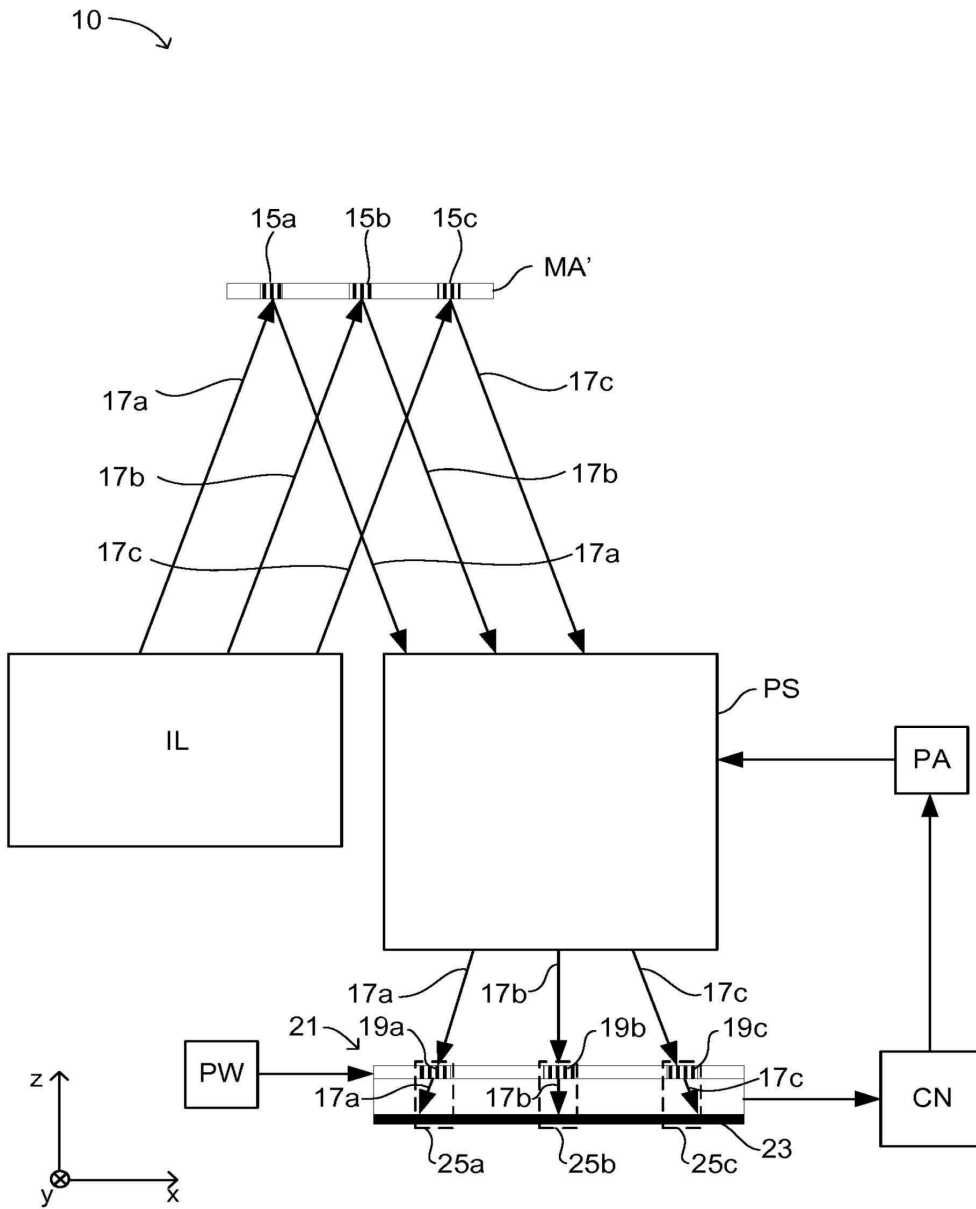
- [0186] (a) 제 2 회절 빔들의 모든 쌍 또는 (b) 방사선 검출기(23) 상의 각각의 포인트에서 발진 신호의 제 1 고조파에 기여하는 모든 간섭 빔을 이렇게 결정하는 것이 제 1 패터닝 영역과 제 2 패터닝 영역(31, 32)의 기하학적 구조에 의존할 것이라는 것이 이해될 것이다.
- [0187] 전술된 방법의 단계들 중 일부 또는 전부가 제어기(CN)(도 2를 참조한다)에 의해 수행될 수 있다는 것이 이해될 것이다. 예를 들어, 이러한 방법은, 컴퓨터(예를 들어 제어기(CN))가 전술된 방법을 수행하게 하도록 구성되는 컴퓨터 판독가능 명령을 포함하는 컴퓨터 프로그램을 저장하는 컴퓨터 판독가능 매체에 저장될 수 있다. 전술된 방법을 구현하기 위한 컴퓨터 장치는, 프로세서 판독가능 명령을 저장하는 메모리, 및 상기 메모리에 저장된 명령을 판독하고 실행하도록 구성되는 프로세서(예를 들어 제어기(CN))를 포함할 수 있다. 상기 프로세서 판독가능 명령은 컴퓨터가 전술된 방법을 수행하도록 제어하게끔 구성되는 명령을 포함할 수 있다.
- [0188] 비록 전술된 실시예가 위상 스테핑 신호의 제 1 고조파를 사용하지만, 대안적인 실시예들에서 위상 스테핑 신호의 더 높은 차수의 고조파가 대안적으로 사용될 수 있다는 것이 이해될 것이다.
- [0189] 비록 전술된 실시예가 50% 듀티 사이클인 1-차원의 회절 격자(31)를 포함하는 제 1 패터닝 영역(31)을 사용하지만, 대안적인 실시예들에서 다른 제 1 패터닝 영역(31)이 상이한 기하학적 구조를 사용할 수도 있다는 것이 이해될 것이다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 제 1 패터닝 영역(31)은 50%의 듀티 사이클인 2-차원 체커보드를 포함할 수 있다.
- [0190] 본 명세서에서 IC를 제조하는 분야에 리소그래피 장치를 이용하는 것에 대해 특히 언급될 수 있지만, 본원에서 기술된 리소그래피 장치는 다른 응용예를 가질 수 있음이 이해되어야 한다. 가능한 다른 적용예는 집적 광학 시스템, 자기 도메인 메모리(magnetic domain memory)용 가이드 및 검출 패턴(guidance and detection pattern), 평판 디스플레이, LCD(Liquid Crystal Display), 박막 자기 헤드 등의 제조를 포함한다.
- [0191] 비록 본 명세서에서 리소그래피 장치의 맥락에서 본 발명의 실시예가 특정하게 참조되었지만, 본 발명의 실시예는 다른 장치에서도 사용될 수 있다. 본 발명의 실시예는 마스크 검사 장치, 계측 장치, 또는 웨이퍼(또는 다른 기판) 또는 마스크(또는 다른 패터닝 디바이스)와 같은 대상물을 측정하거나 처리하는 임의의 장치의 일부가 될 수 있다. 이러한 장치는 일반적으로 리소그래피 툴이라고 지칭될 수 있다. 이러한 리소그래피 툴은 진공 조건 또는 주변(비-진공) 조건을 사용할 수 있다.
- [0192] 콘택스트가 허용하는 경우, 본 발명의 실시예들은 하드웨어, 펌웨어, 소프트웨어, 또는 이것들의 임의의 조합으로 구현될 수도 있다. 본 발명의 실시예는 또한 머신-판독가능 매체 상에 저장되는 명령으로서 구현될 수도 있고, 이들은 하나 이상의 프로세서에 의하여 판독되고 실행될 수도 있다. 머신-판독가능 매체는 머신(예컨대, 컴퓨팅 디바이스)에 의해 판독가능한 형태로 정보를 저장하거나 송신하기 위한 임의의 메커니즘을 포함할 수도 있다. 예를 들어, 머신-판독가능 매체는 판독 전용 메모리(ROM); 랜덤 액세스 메모리(RAM); 자기적 스토리지 미디어; 광학적 스토리지 미디어; 플래시 메모리 디바이스; 전기적, 광학적, 음향학적이거나 다른 형태의 전파된 신호(예를 들어, 반송파, 적외선 신호, 디지털 신호, 등), 및 다른 것들을 포함할 수도 있다. 더 나아가, 펌웨어, 소프트웨어, 루틴, 명령은 본 명세서에서 특정 동작들을 수행하고 있는 것으로 설명될 수도 있다. 그러나, 이러한 설명들이 단지 편의를 위한 것이라는 것과 이러한 동작들이 사실상 펌웨어, 소프트웨어, 루틴, 명령 등을 실행하는 컴퓨팅 디바이스, 프로세서, 제어기, 또는 다른 디바이스로부터 초래된다는 것, 그리고 그렇게 함으로써 액츄에이터 또는 다른 디바이스가 실제계와 상호작용하게 될 수 있다는 것이 이해되어야 한다.
- [0193] 비록 본 발명의 특정한 실시예가 위에서 설명되었지만, 본 발명은 설명된 것과 다르게 실시될 수 있다는 것이 이해될 것이다. 위의 설명은 한정적인 것이 아니라 예시적인 의도로 제공된다. 따라서, 다음 진술되는 청구항의 범위로부터 벗어나지 않으면서, 설명된 바와 같은 본 발명에 변경이 이루어질 수 있다는 것이 당업자에게는 명백할 것이다.

도면

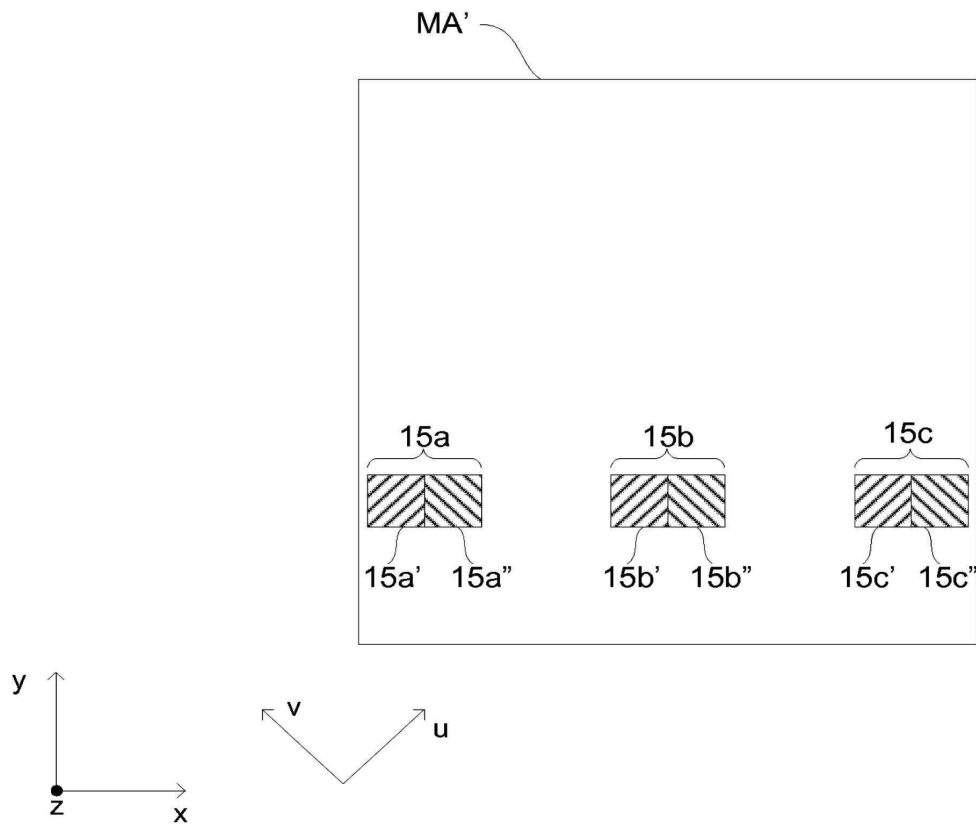
도면1



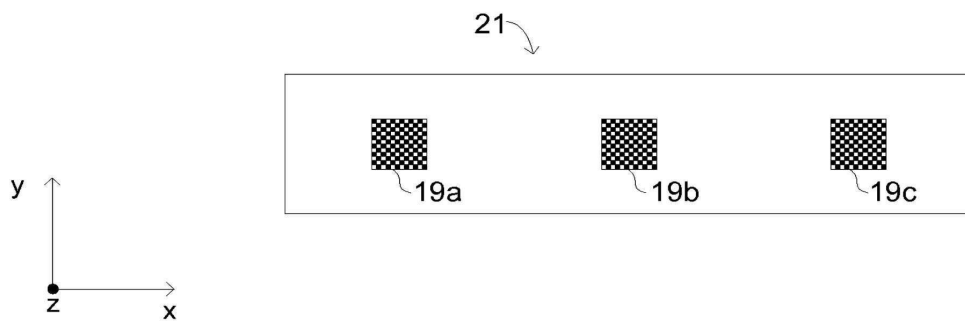
도면2



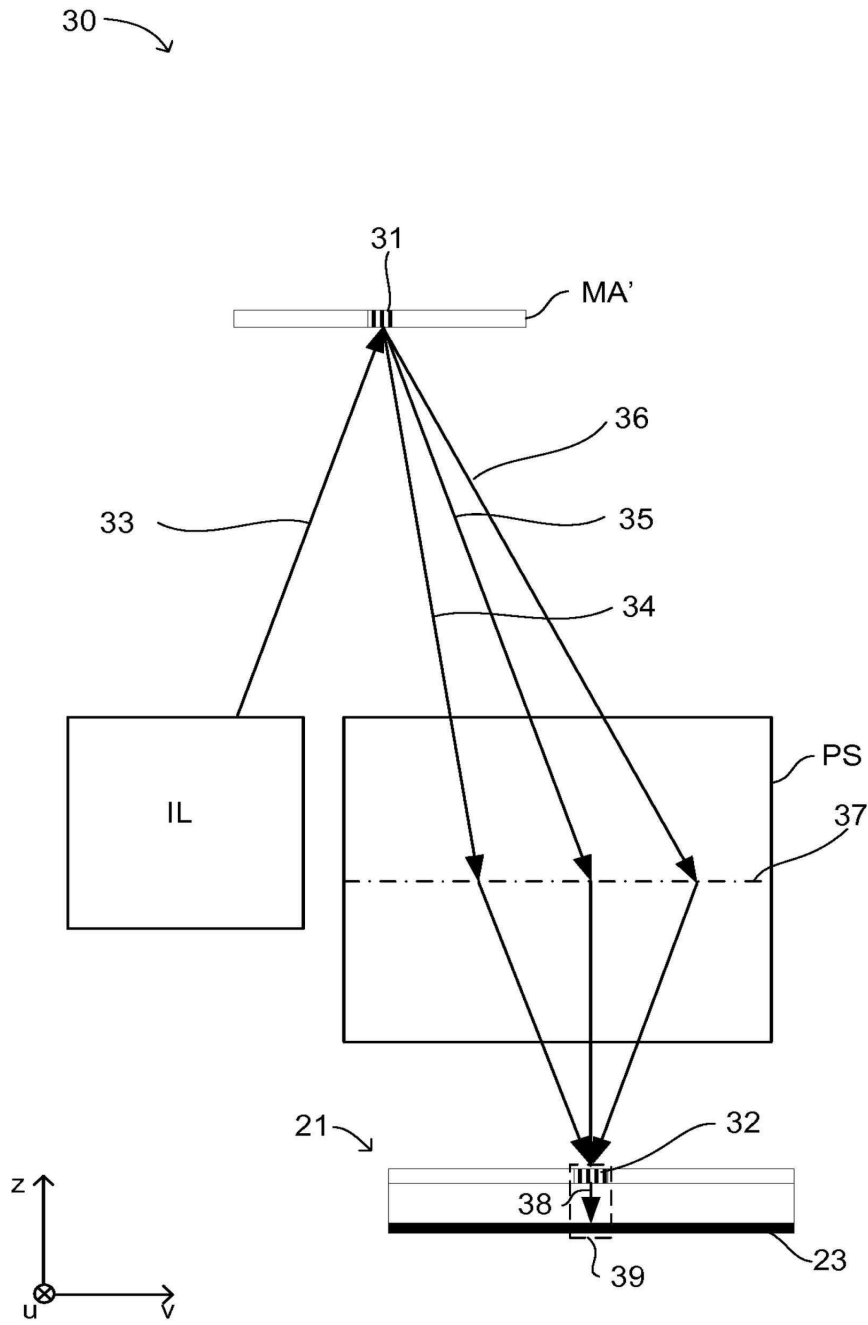
도면3a



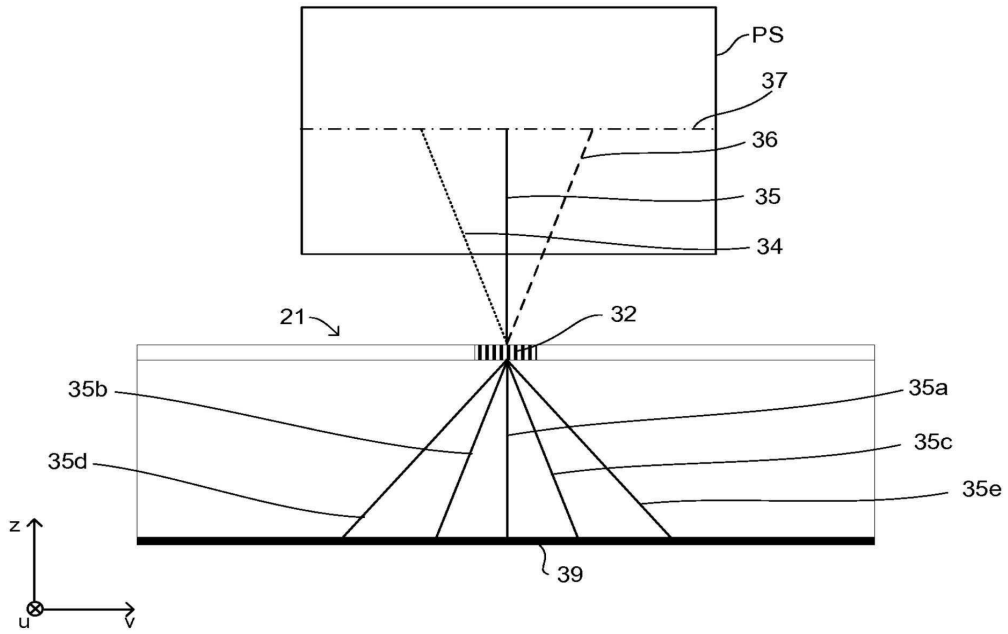
도면3b



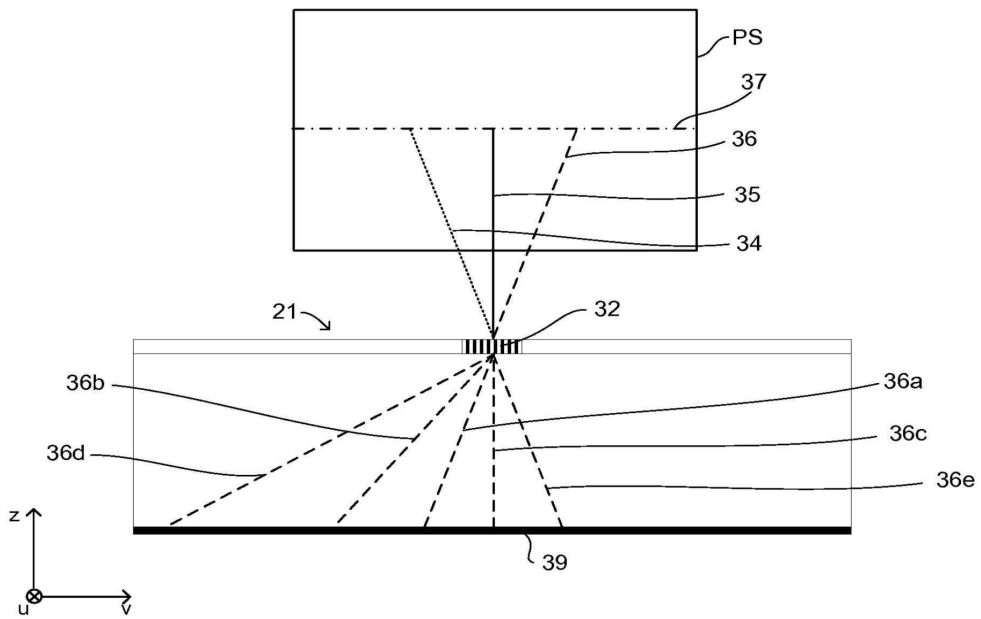
도면4



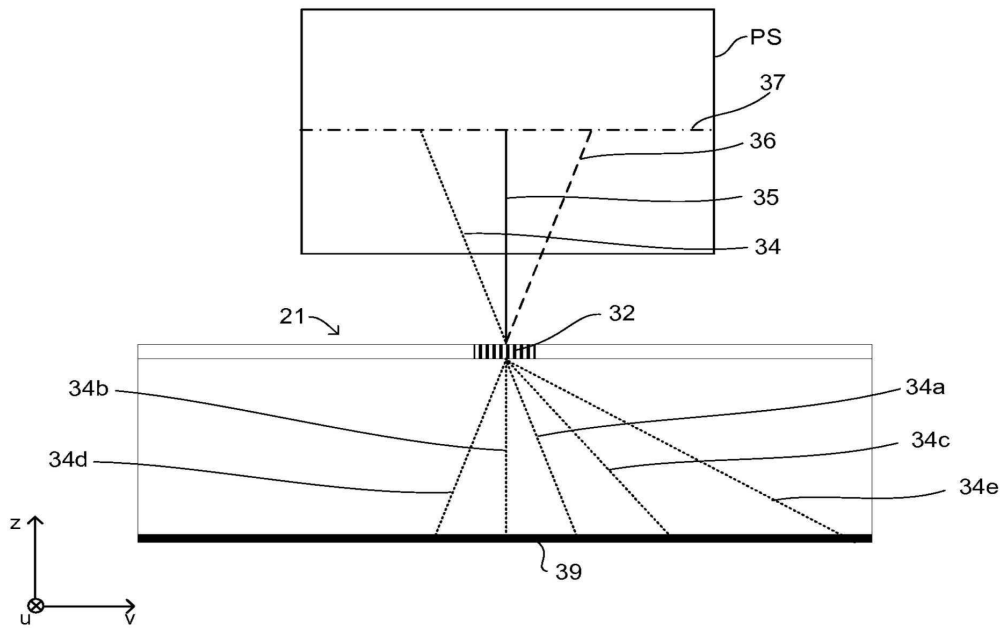
도면5a



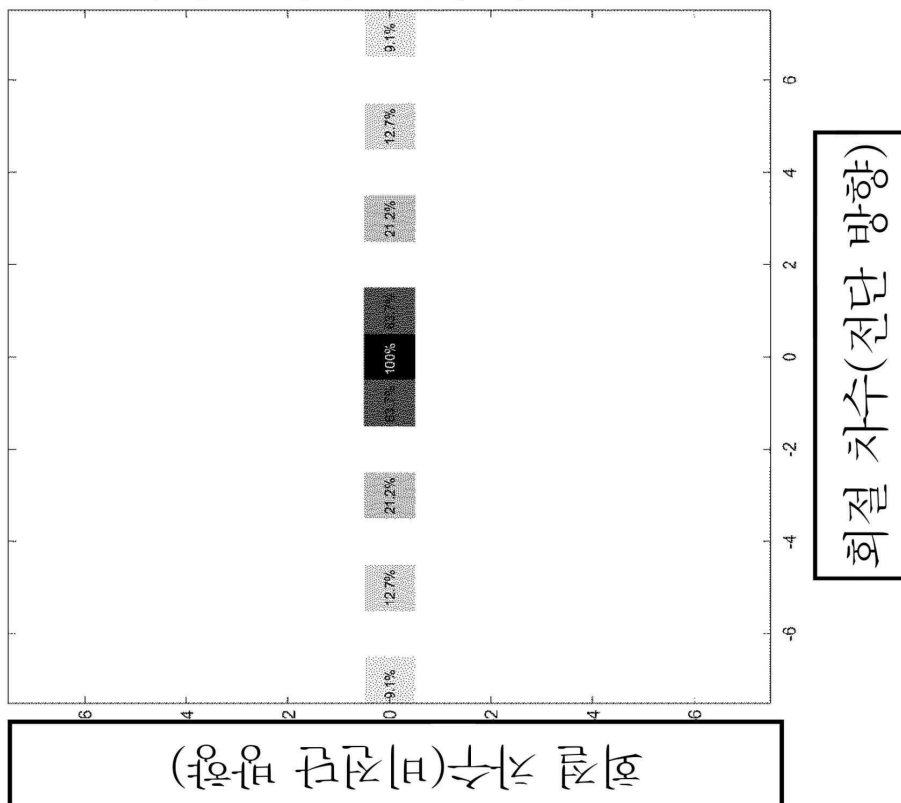
도면5b



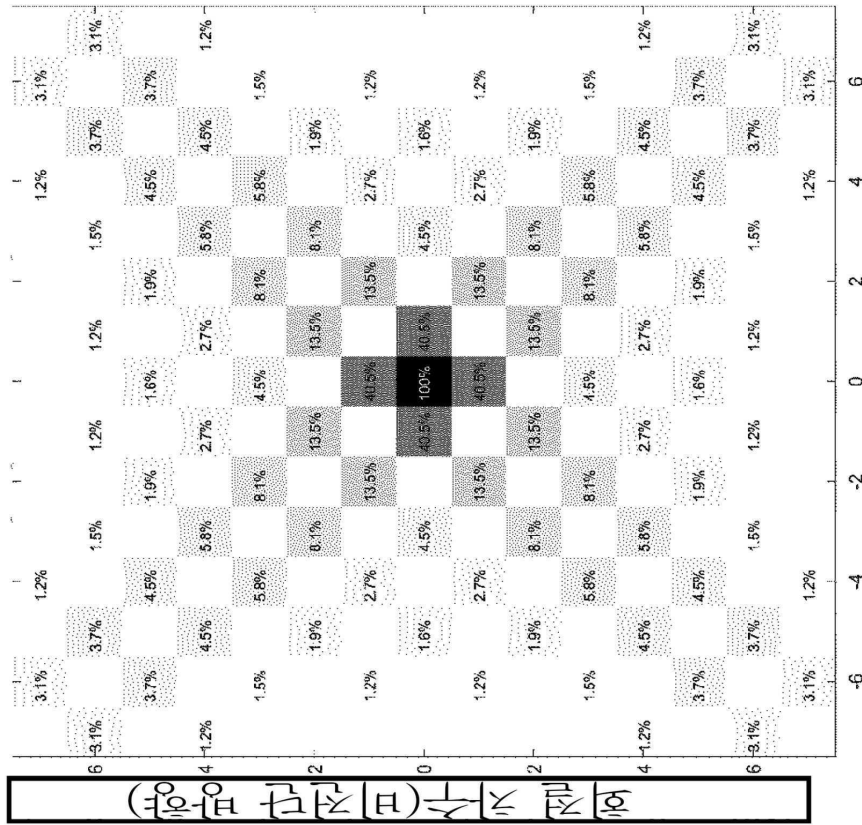
도면5c



도면6a

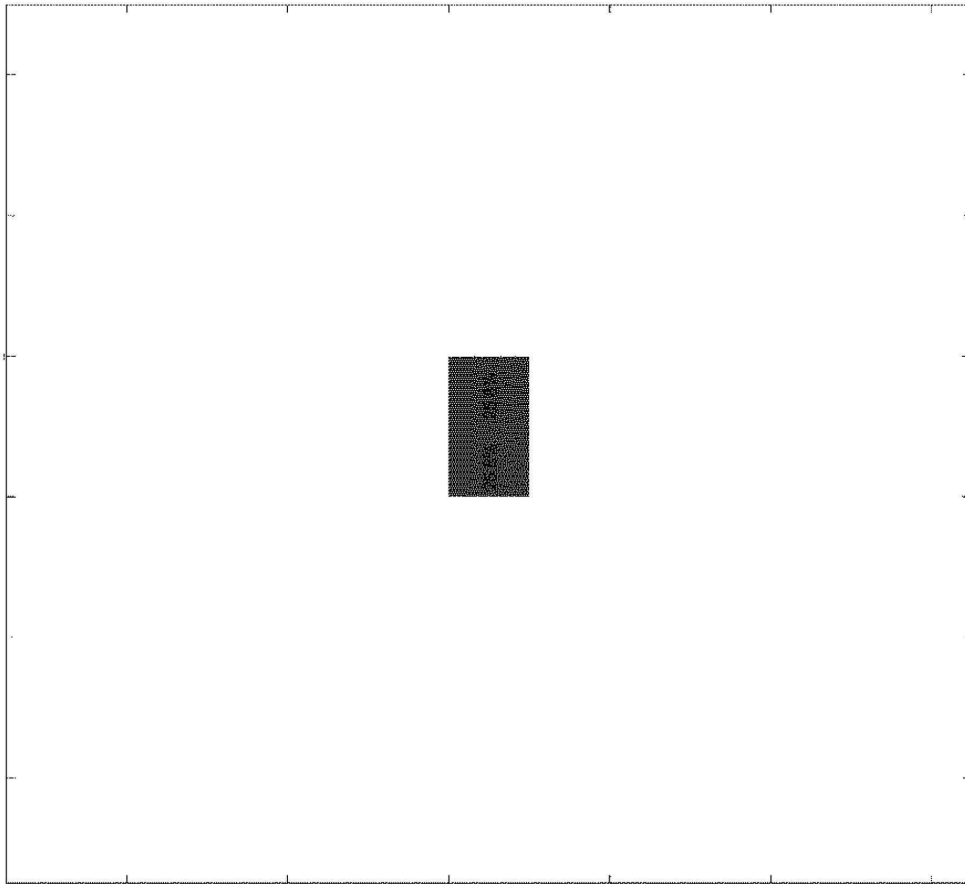


도면 6b

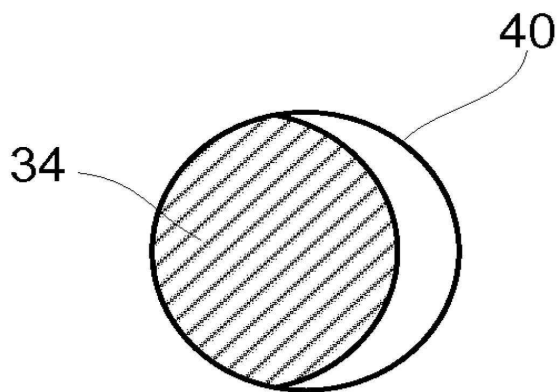


회절 차수(진단 방향)

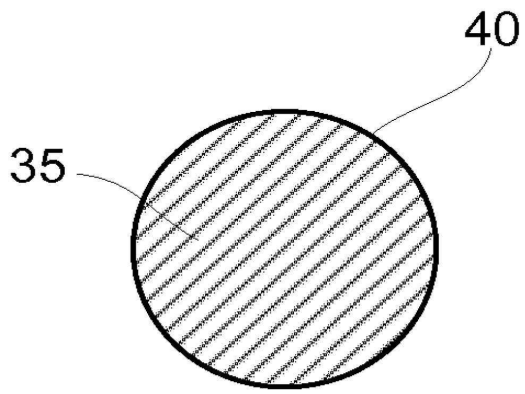
도면6c



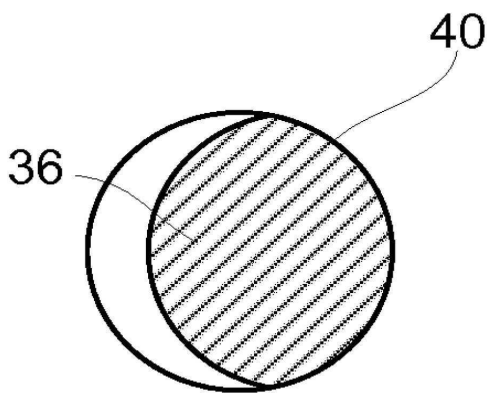
도면7a



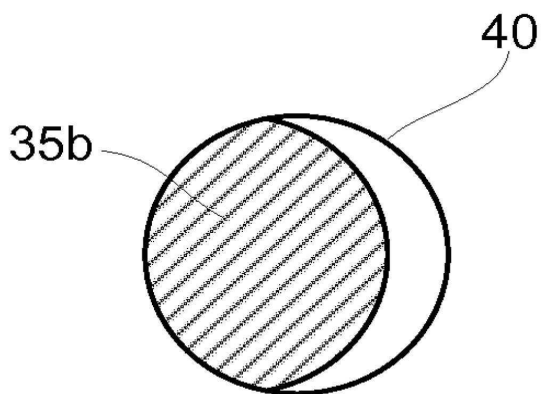
도면7b



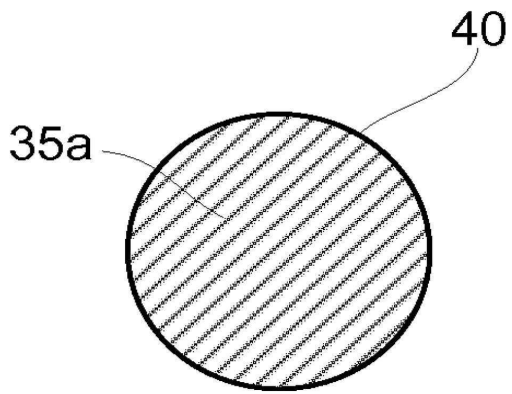
도면7c



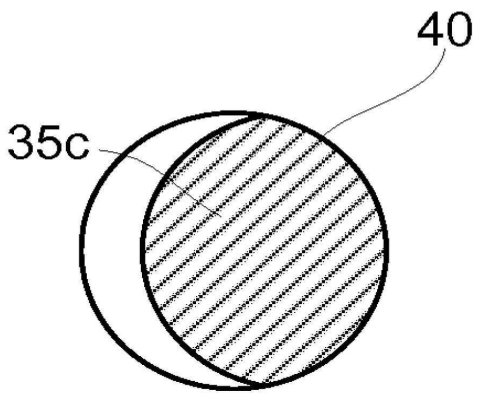
도면8a



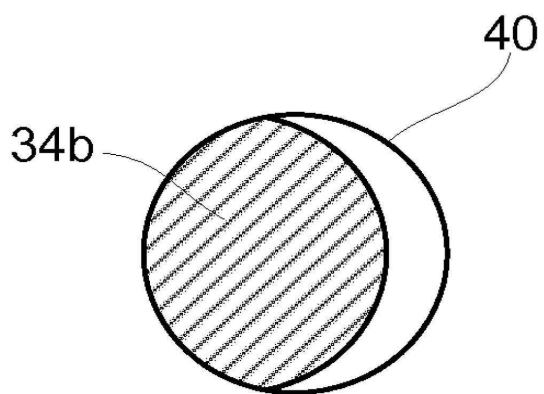
도면8b



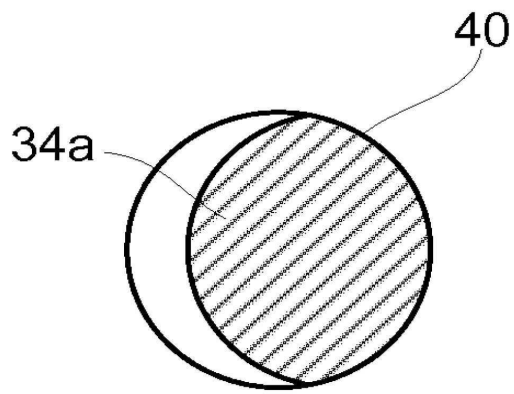
도면8c



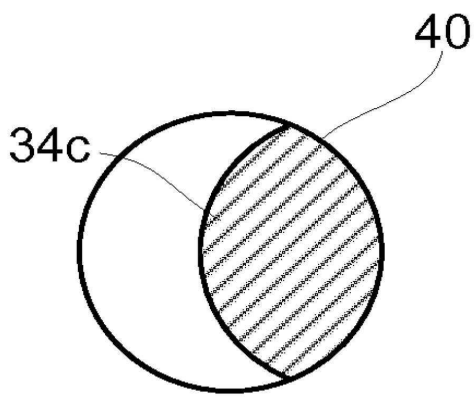
도면9a



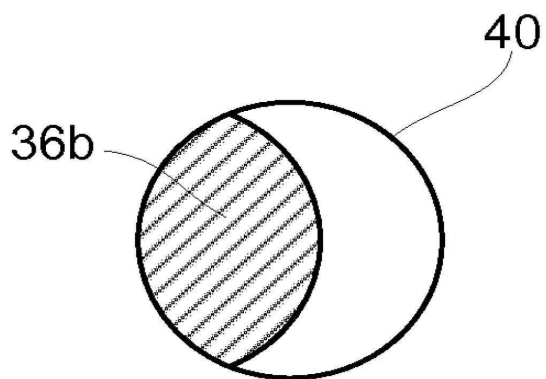
도면9b



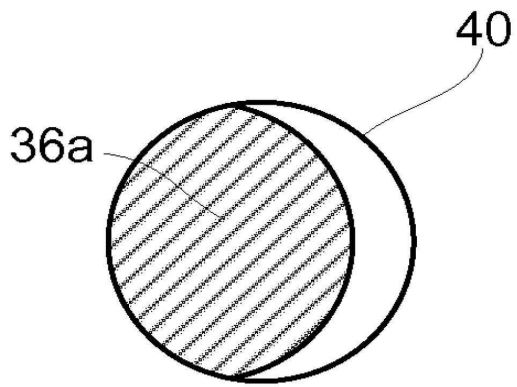
도면9c



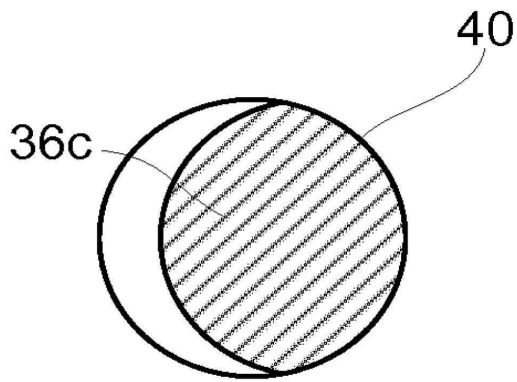
도면10a



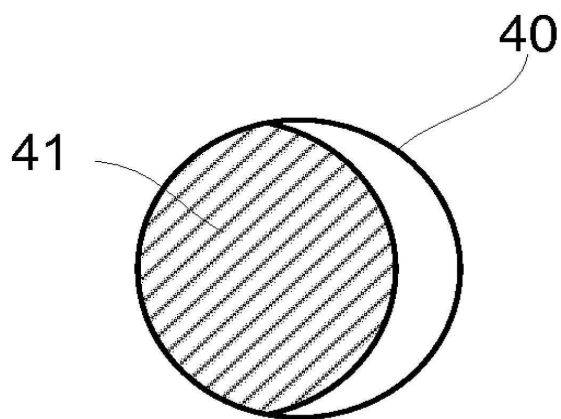
도면10b



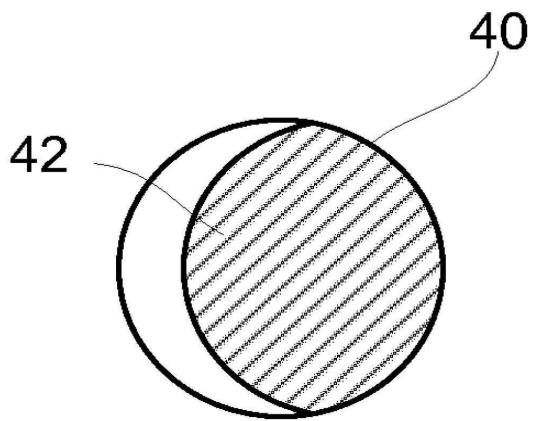
도면10c



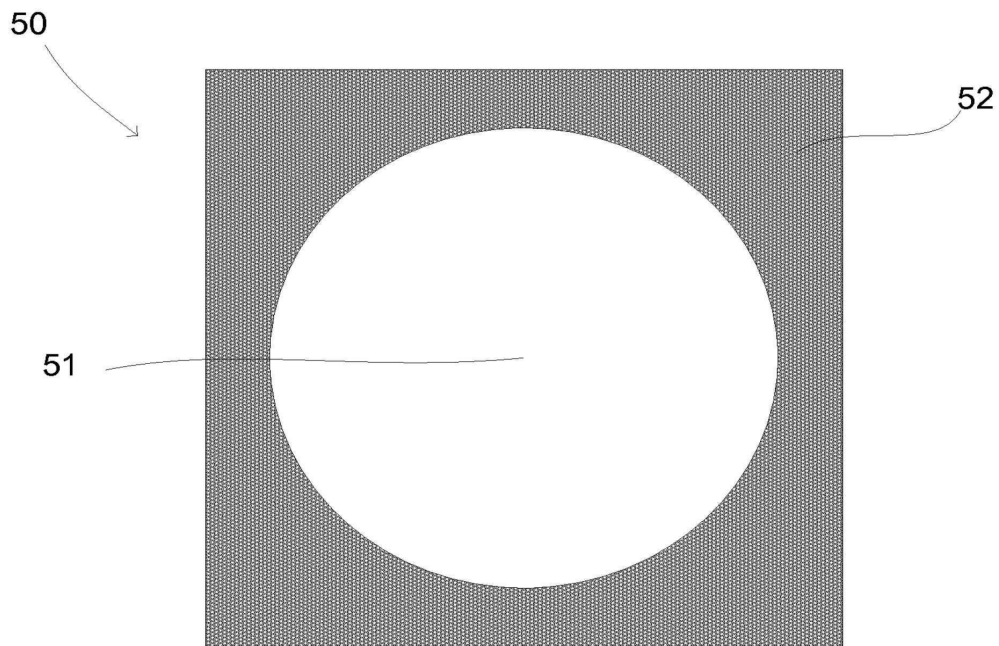
도면11a



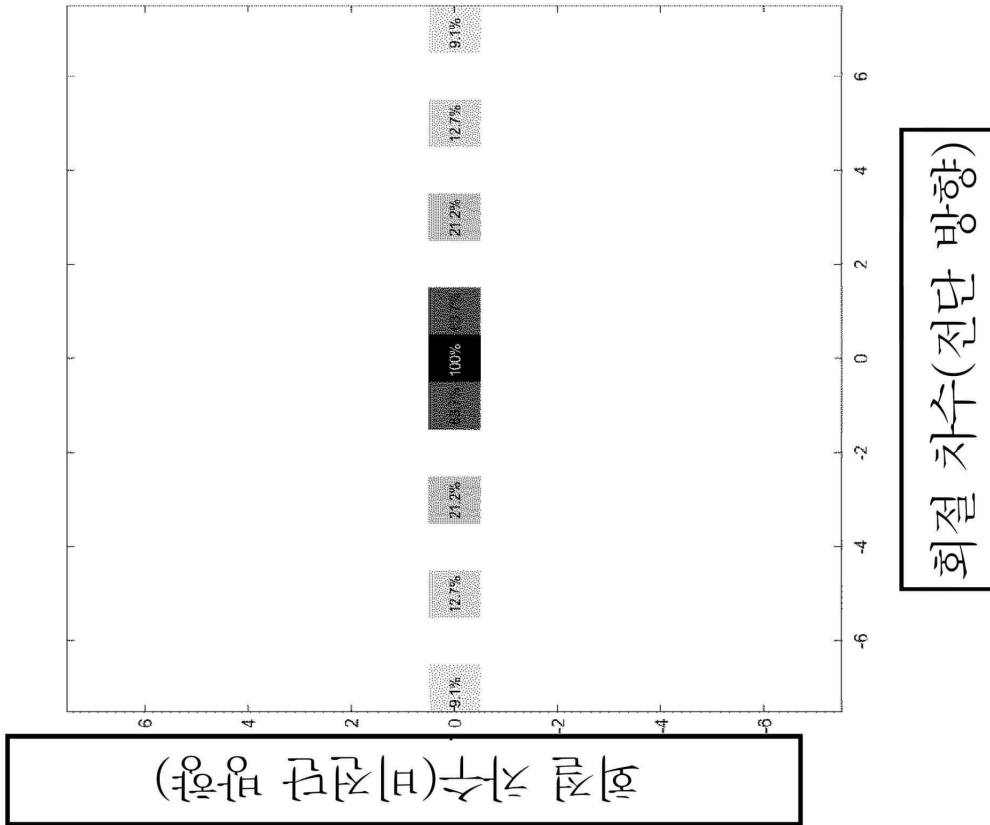
도면11b



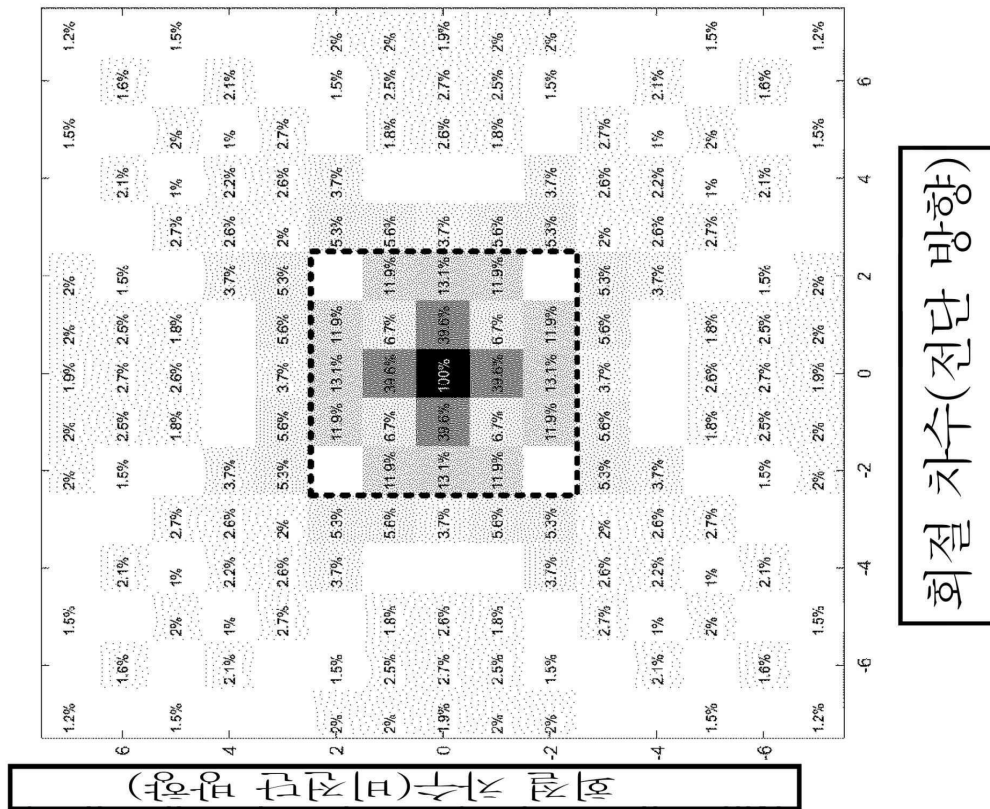
도면12



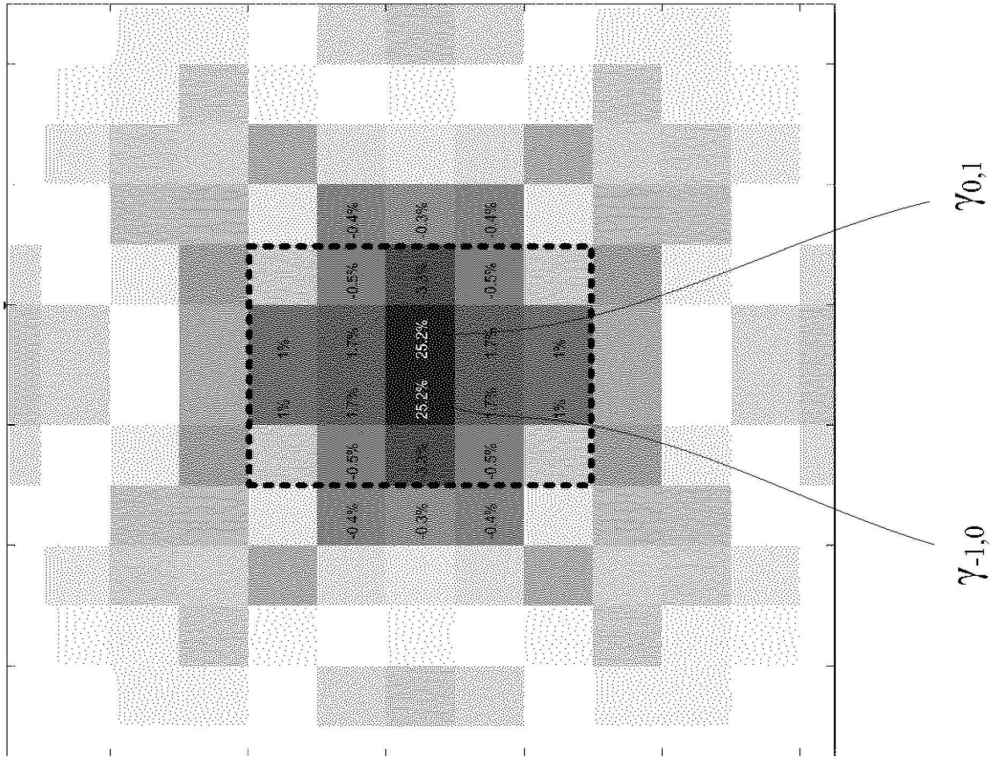
도면13a



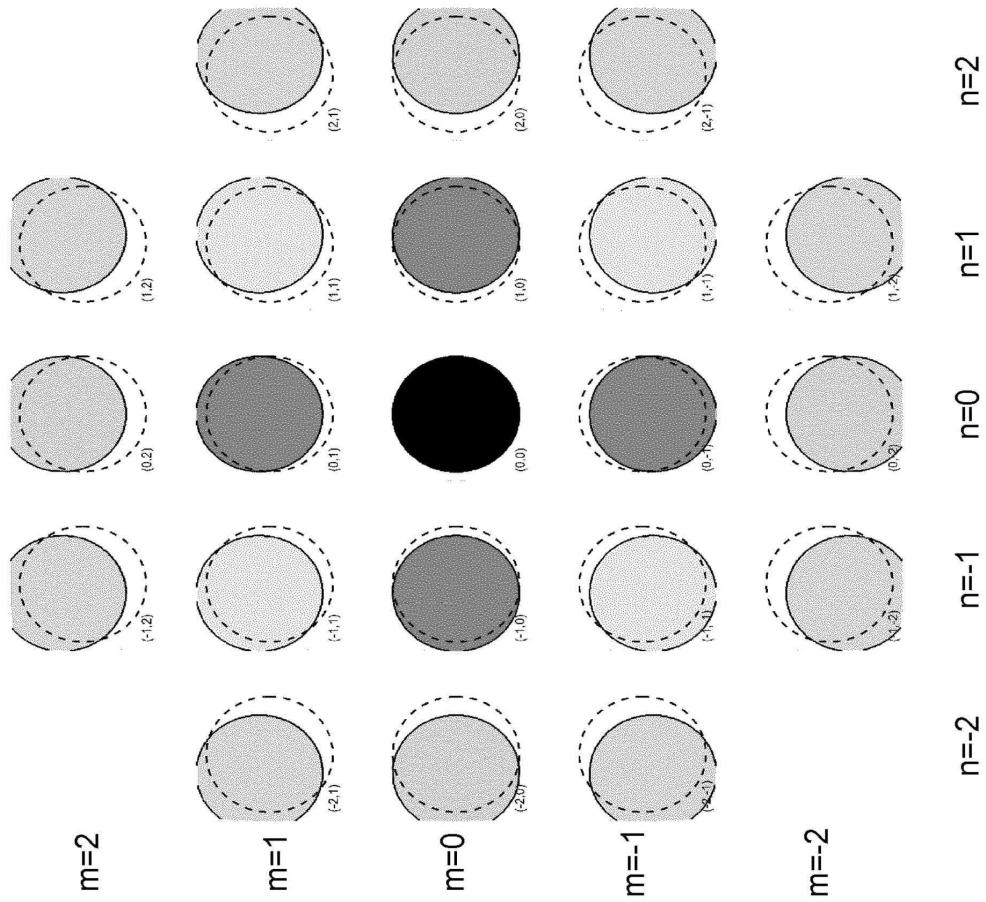
도면13b



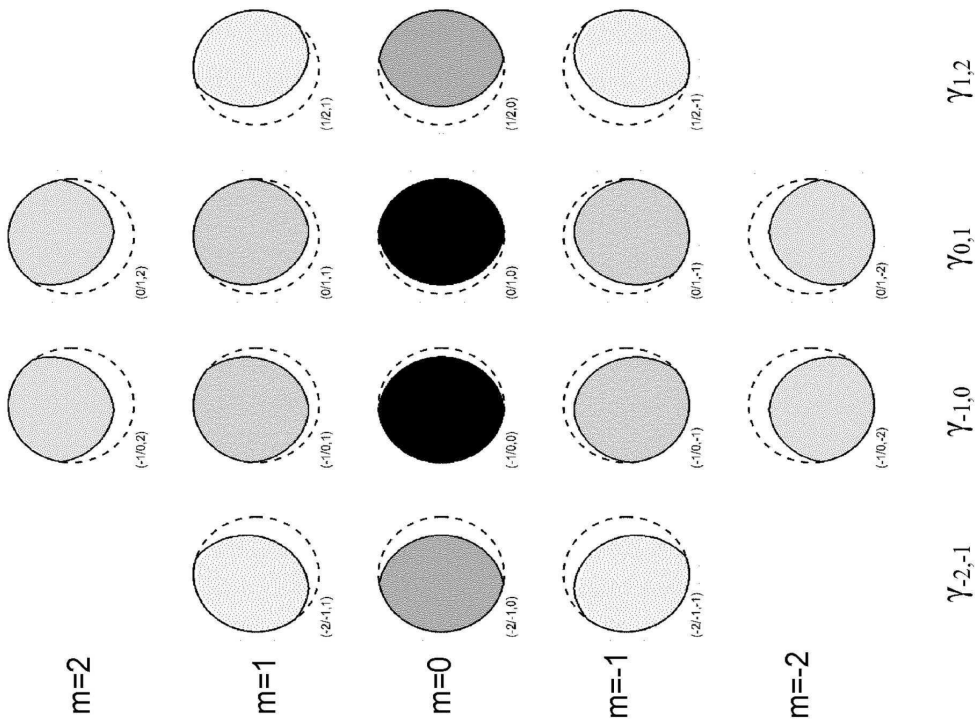
도면13c



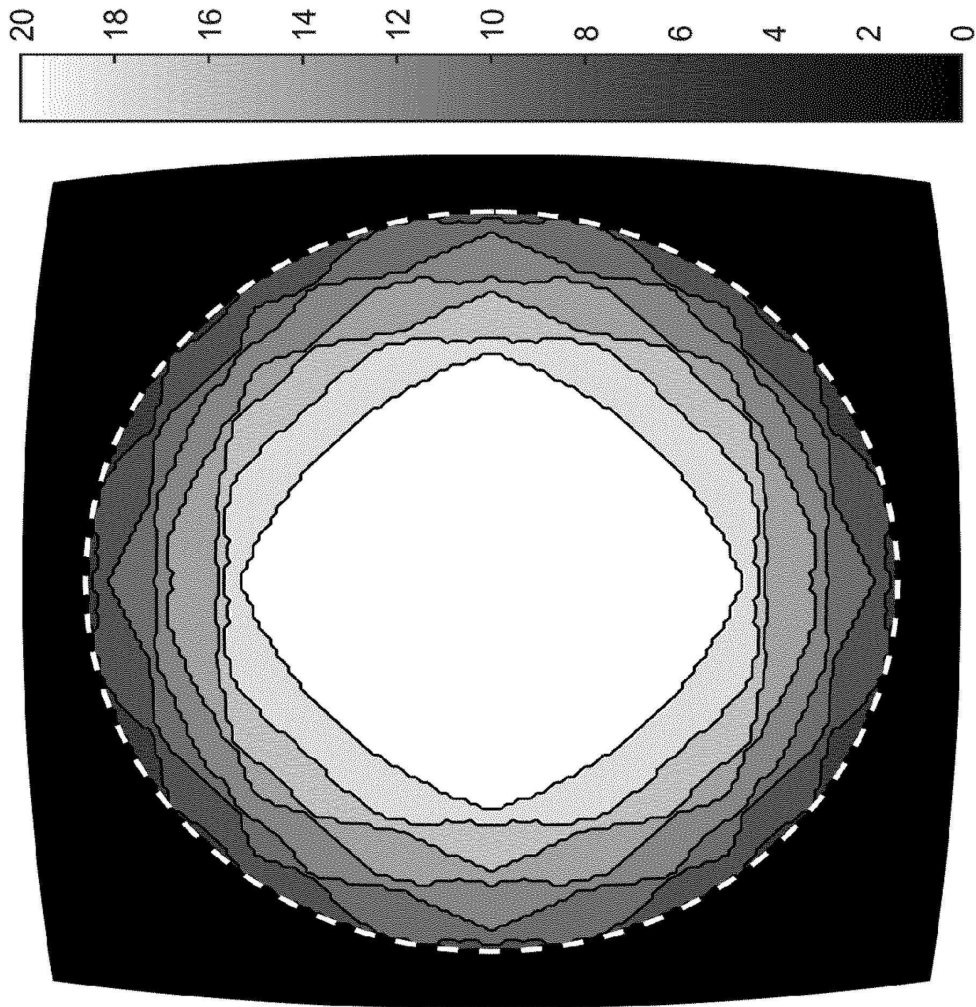
도면14a



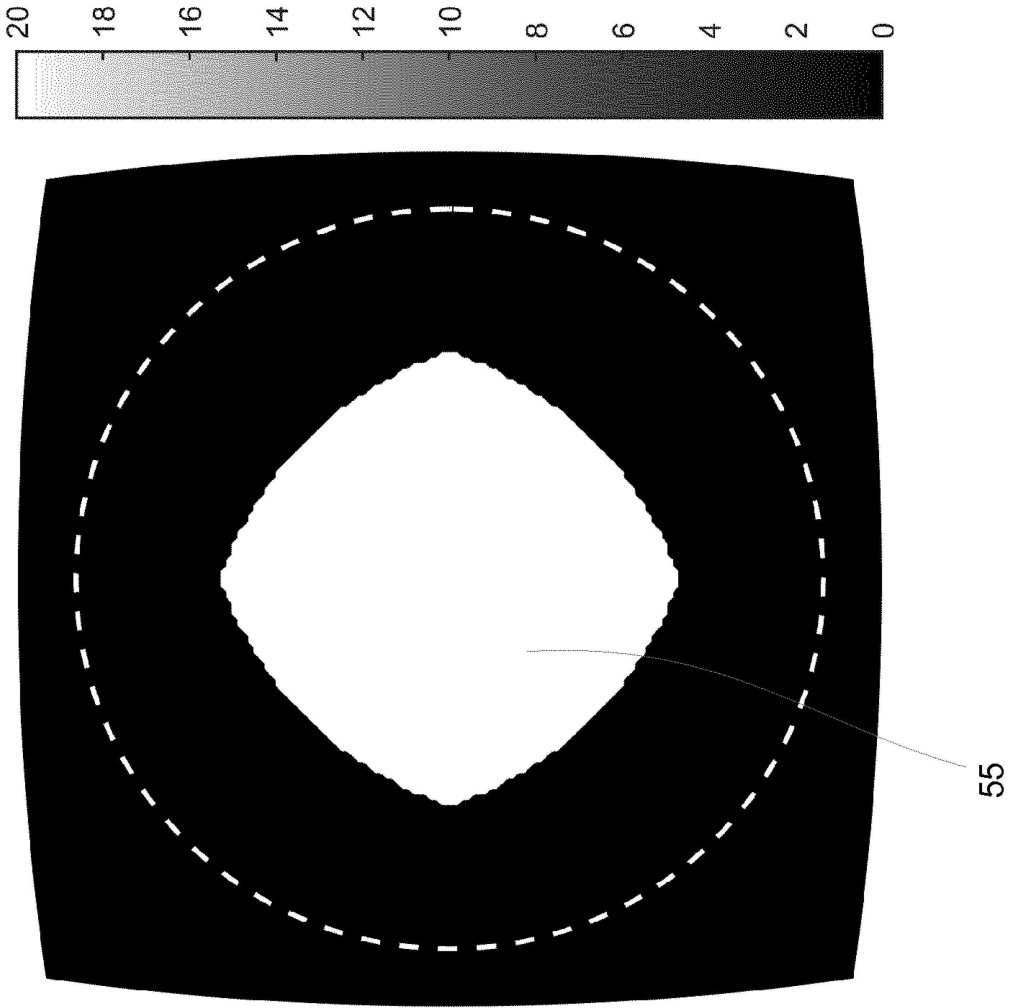
도면14b



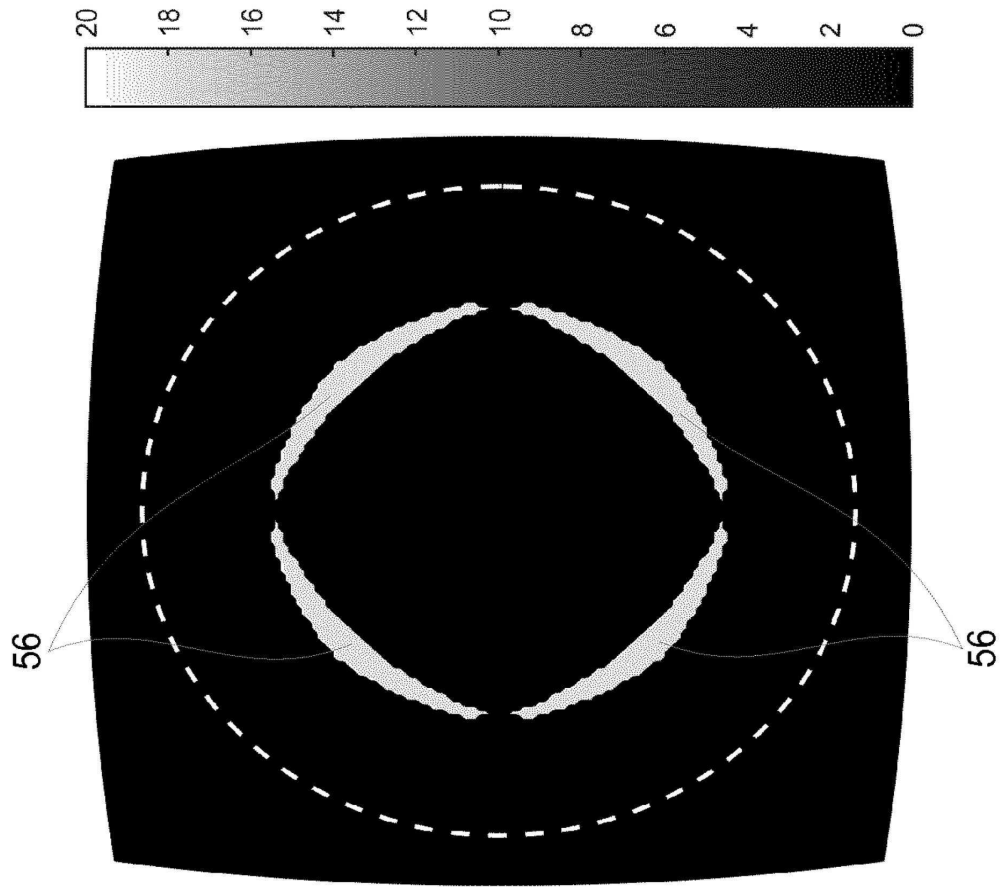
도면15



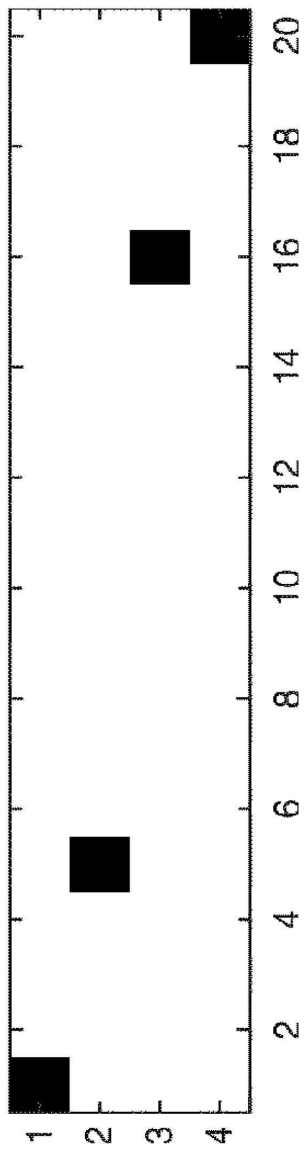
도면16



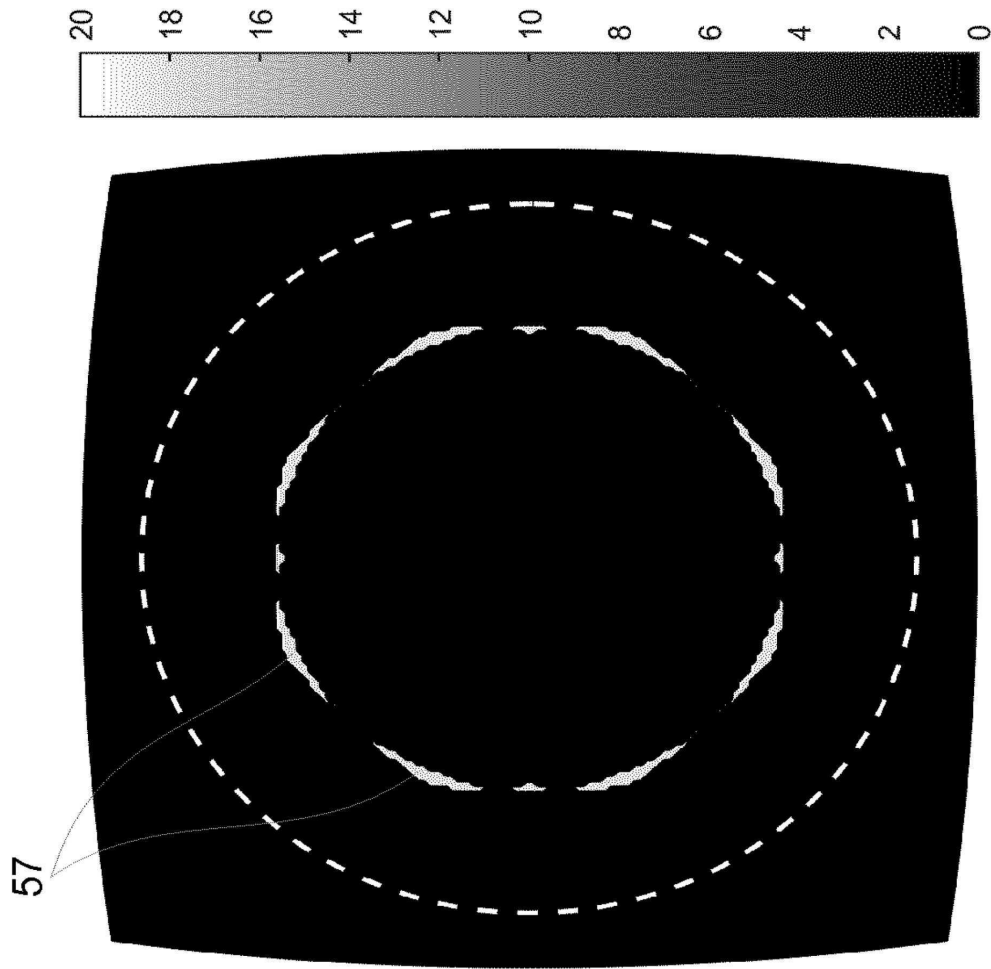
도면17a



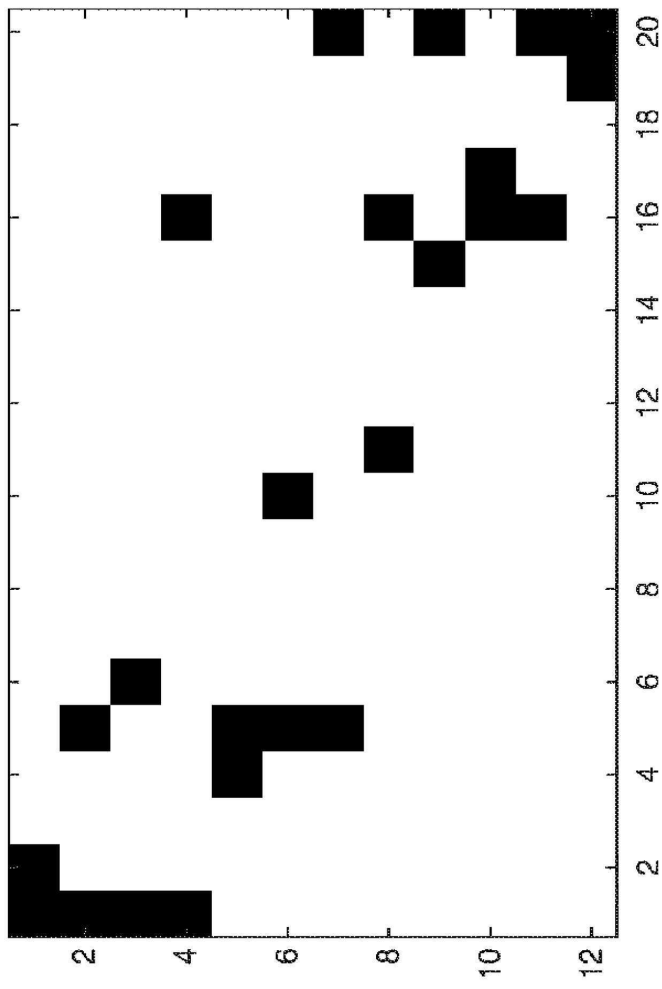
도면17b



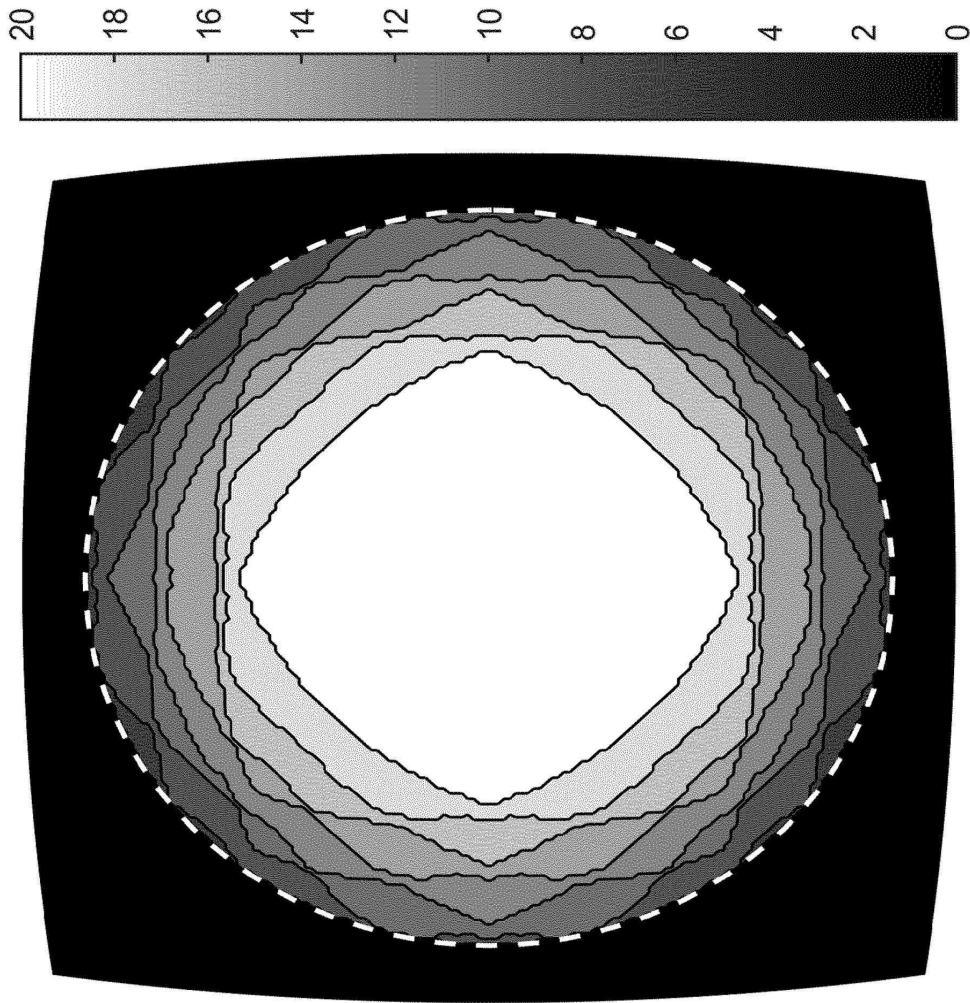
도면18a



도면18b



도면19a



도면19b

