



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년03월06일
(11) 등록번호 10-2644776
(24) 등록일자 2024년03월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 21/95 (2006.01) G01N 21/88 (2006.01)
G01N 21/956 (2006.01) G03F 1/84 (2012.01)
G03F 7/20 (2006.01) G06T 5/00 (2024.01)
G06T 7/00 (2017.01)
(52) CPC특허분류
G01N 21/9501 (2013.01)
G01N 21/8806 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-7029626
(22) 출원일자(국제) 2021년02월10일
심사청구일자 2023년11월01일
(85) 번역문제출일자 2022년08월26일
(65) 공개번호 10-2022-0140757
(43) 공개일자 2022년10월18일
(86) 국제출원번호 PCT/US2021/017306
(87) 국제공개번호 WO 2021/167816
국제공개일자 2021년08월26일
(30) 우선권주장
62/978,969 2020년02월20일 미국(US)
17/110,856 2020년12월03일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
US20190049861 A1
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자
케이엘에이 코퍼레이션
미합중국, 캘리포니아 95035, 밀피타스, 원 테크
놀로지 드라이브
(72) 발명자
저스즈킨 라리사
미국 캘리포니아주 94588 플레젠티 크릭사이드 드
라이브 7859
치구트킨 콘스탄틴
미국 캘리포니아주 92127 샌디에고 캐필라 로드
11165
데문시 데바시스
미국 캘리포니아주 95123 산 호세 아파트먼트 10
트레이드윈즈 드라이브 287
(74) 대리인
김태홍, 김진희

전체 청구항 수 : 총 22 항

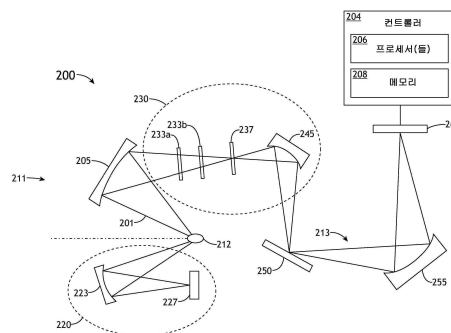
심사관 : 한별

(54) 발명의 명칭 EUV 검사에 대한 빔 안정화 및 참조 보정을 위한 방법 및 장치

(57) 요약

검사 시스템 및 그 사용 방법이 개시된다. 검사 시스템은, 샘플을 조명하기 위한 극자외선(EUV) 조명 빔을 방출하도록 구성된 조명 소스, 제1 광전류에 기초하여 제1 조명 강도 분포 신호를 생성하도록 구성된 하나 이상의 제1 멀티 셀 검출기, 제2 광전류에 기초하여 제2 조명 강도 분포 신호를 생성하도록 구성된 하나 이상의 제2 멀티 셀 검출기, 조명 빔을 수신하고 이미지를 생성하도록 구성된 검출기 어셈블리, 및 컨트롤러를 포함하고, 컨트롤러는 검출기 어셈블리로부터 이미지를 수신하고, 제2 조명 강도 분포 신호에서의 왜곡을 이미지 내의 왜곡된 픽셀에 매핑함으로써 제2 조명 강도 분포 신호를 이미지에 대해 조정하고, 보정된 이미지를 생성하기 위해 이미지 내의 왜곡된 픽셀의 강도를 증가 또는 감소시키고, 샘플 상의 결함을 검출하도록 구성된다.

대표도



(52) CPC특허분류

G01N 21/8851 (2013.01)
G03F 1/84 (2013.01)
G03F 7/7065 (2023.05)
G06T 5/00 (2024.01)
G06T 7/0004 (2013.01)
G01N 2021/8887 (2013.01)
G01N 2021/95676 (2013.01)
G01N 2201/127 (2013.01)
G06T 2207/30148 (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌

US20070035712 A1
JP2013108950 A
JP2012530902 A
JP2019529971 A
W02020247324 A1

명세서

청구범위

청구항 1

검사 시스템으로서,

샘플을 조명하기 위한 극자외선(extreme ultraviolet; EUV) 조명 빔을 방출하도록 구성된 조명 소스;

하나 이상의 제1 멀티 셀 검출기(multi-cell detector) - 상기 제1 멀티 셀 검출기 각각은 적어도 2개의 세그먼트를 포함하고 상기 조명 빔이 상기 하나 이상의 제1 멀티 셀 검출기를 통과할 때 제1 광전류(photocurrent)를 생성하도록 구성되고, 상기 제1 멀티 셀 검출기 각각은 그 중심 부분에 구멍(aperture)을 포함하고, 상기 제1 멀티 셀 검출기 각각은 상기 제1 광전류에 기초하여 제1 조명 강도 분포 신호를 생성하도록 구성됨 - ;

하나 이상의 제2 멀티 셀 검출기 - 상기 제2 멀티 셀 검출기 각각은 적어도 2개의 세그먼트를 포함하고 상기 제1 멀티 셀 검출기로부터의 상기 조명 빔이 상기 하나 이상의 제2 멀티 셀 검출기를 통과할 때 제2 광전류를 생성하도록 구성되고, 상기 제2 멀티 셀 검출기 각각은 상기 제2 광전류에 기초하여 제2 조명 강도 분포 신호를 생성하도록 구성되며, 상기 제2 멀티 셀 검출기로부터의 상기 조명 빔이 상기 샘플을 조명함 - ;

상기 샘플로부터 상기 조명 빔을 수신하고 상기 조명 빔에 기초하여 이미지를 생성하도록 구성된 검출기 어셈블리; 및

상기 검출기 어셈블리, 상기 하나 이상의 제1 멀티 셀 검출기, 및 상기 하나 이상의 제2 멀티 셀 검출기에 통신 가능하게 커플링된 컨트롤러 - 상기 컨트롤러는 하나 이상의 프로세서를 포함하고, 상기 하나 이상의 프로세서는, 상기 하나 이상의 프로세서로 하여금, 상기 검출기 어셈블리로부터 상기 이미지를 수신하게 하고, 상기 제2 멀티 셀 검출기에 의해 생성된 제2 조명 강도 분포 신호의 왜곡을 상기 검출기 어셈블리에 의해 생성된 이미지 내의 왜곡된 픽셀에 매핑함으로써 상기 이미지에 대하여 상기 제2 조명 강도 분포 신호를 조정하게(calibrate) 하고, 보정된 이미지를 생성하기 위해 상기 제2 조명 강도 분포 신호에 기초하여 상기 이미지 내의 왜곡된 픽셀의 강도를 조절하게(adjust) 하고, 상기 보정된 이미지를 사용하여 상기 샘플 상의 결함을 검출하게 하는 프로그램 명령어를 실행하도록 구성됨 -

를 포함하는, 검사 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 샘플은 포토마스크, 레티클, 및 반도체 웨이퍼 중, 적어도 하나인 것인, 검사 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 제1 멀티 셀 검출기 각각의 중심 부분에서의 구멍은 상기 조명 빔이 통과하게 하도록 구성되는 것인, 검사 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 프로그램 명령어는 또한, 상기 하나 이상의 프로세서로 하여금,

상기 제1 조명 강도 분포 신호에서의 중앙 포인트로부터의 오프셋에 기초하여 상기 조명 빔에 대해 상기 제1 조명 강도 분포 신호를 조정하게 하는 것인, 검사 시스템.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 프로그램 명령어는 또한, 상기 하나 이상의 프로세서로 하여금,

(i) 상기 조명 소스, 및 (ii) 상기 조명 빔의 경로에서의 광학 컴포넌트 중, 적어도 하나에 보정 액션 (corrective action)을 적용함으로써 상기 제1 조명 강도 분포 신호에 기초하여 상기 조명 빔을 안정화하게 하는 것인, 검사 시스템.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 조명 빔의 제1 부분의 제1 조명 경로는, 상기 제1 멀티 셀 검출기, 상기 제2 멀티 셀 검출기, 및 상기 검출기 어셈블리를 포함하고,

상기 조명 빔의 제2 부분의 제2 조명 경로는, 상기 조명 빔의 제2 부분이 충돌할 때, 제3 조명 강도 분포 신호를 생성하도록 구성된 사이드 검출기를 포함하는 것인, 검사 시스템.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 프로그램 명령어는 또한, 상기 하나 이상의 프로세서로 하여금,

상기 제3 조명 강도 분포 신호의 왜곡을 상기 이미지 내의 왜곡된 픽셀에 매핑함으로써 상기 이미지에 대하여 상기 제3 조명 강도 분포 신호를 조정하게 하고,

상기 보정된 이미지를 생성하기 위해 상기 제3 조명 강도 분포 신호 및 상기 제2 조명 강도 분포 신호에 기초하여 상기 이미지 내의 왜곡된 픽셀의 강도를 조절하게 하고,

상기 보정된 이미지를 사용하여 상기 샘플 상의 결함을 검출하게 하는 것인, 검사 시스템.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 사이드 검출기는, CCD(charge coupled device), CMOS(complementary metal-oxide-semiconductor) 센서, APS(active pixel sensor), 및 TDI(time-delay integration) 센서 중, 적어도 하나인 것인, 검사 시스템.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 조명 빔의 제1 부분의 제1 조명 경로는, 상기 제1 멀티 셀 검출기, 상기 제2 멀티 셀 검출기, 및 상기 검출기 어셈블리를 포함하고,

상기 조명 빔의 제2 부분의 제2 조명 경로는, 상기 조명 빔의 제2 부분이 충돌할 때, 제3 조명 강도 분포 신호를 생성하도록 구성된 사이드 검출기를 포함하는 것인, 검사 시스템.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 프로그램 명령어는 또한, 상기 하나 이상의 프로세서로 하여금,

상기 제3 조명 강도 분포 신호의 왜곡을 상기 이미지 내의 왜곡된 픽셀에 매핑함으로써 상기 이미지에 대하여 상기 제3 조명 강도 분포 신호를 조정하게 하고,

상기 보정된 이미지를 생성하기 위해 상기 제3 조명 강도 분포 신호 및 상기 제2 조명 강도 분포 신호에 기초하여 상기 이미지 내의 왜곡된 픽셀의 강도를 조절하게 하고,

상기 보정된 이미지를 사용하여 상기 샘플 상의 결함을 검출하게 하는 것인, 검사 시스템.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 제1 멀티 셀 검출기의 2개 이상의 세그먼트는 4개의 세그먼트, 6개의 세그먼트, 및 8개의 세그먼트 중, 적어도 하나를 포함하고,

상기 제2 멀티 셀 검출기의 2개 이상의 세그먼트는 4개의 세그먼트, 6개의 세그먼트, 및 8개의 세그먼트 중, 적어도 하나를 포함하는 것인, 검사 시스템.

청구항 12

검사 방법으로서,

조명 소스를 사용하여 극자외선(EUV) 조명 빔을 방출하는 단계;

상기 조명 빔이 하나 이상의 제1 멀티 셀 검출기 각각을 통과할 때 상기 하나 이상의 제1 멀티 셀 검출기에 의해 제1 광전류를 생성하는 단계 - 상기 제1 멀티 셀 검출기 각각은 적어도 2개의 세그먼트 및 그 중심 부분에서의 구멍을 포함함 - ;

상기 제1 광전류에 기초하여 제1 조명 강도 분포 신호를 생성하는 단계;

상기 제1 멀티 셀 검출기로부터의 상기 조명 빔이 하나 이상의 제2 멀티 셀 검출기 각각을 통과할 때 상기 하나 이상의 제2 멀티 셀 검출기에 의해 제2 광전류를 생성하는 단계 - 상기 제2 멀티 셀 검출기 각각은 적어도 2개의 세그먼트를 포함함 - ;

상기 제2 광전류에 기초하여 제2 조명 강도 분포 신호를 생성하는 단계;

상기 제2 멀티 셀 검출기로부터의 상기 조명 빔에 의해 샘플을 조명하는 단계;

검출기 어셈블리에 의해 상기 샘플로부터의 상기 조명 빔을 수신하는 단계;

상기 조명 빔에 기초하여 이미지를 생성하는 단계;

상기 제2 멀티 셀 검출기에 의해 생성된 제2 조명 강도 분포 신호의 왜곡을 상기 검출기 어셈블리에 의해 생성된 이미지 내의 왜곡된 픽셀에 매핑함으로써 상기 이미지에 대하여 상기 제2 조명 강도 분포 신호를 조정하는 단계;

보정된 이미지를 생성하기 위해 상기 제2 조명 강도 분포 신호에 기초하여 상기 이미지 내의 왜곡된 픽셀의 강도를 조절하는 단계; 및

상기 보정된 이미지를 사용하여 상기 샘플 상의 결함을 검출하는 단계

를 포함하는, 검사 방법.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 샘플은 포토마스크, 레티클, 및 반도체 웨이퍼 중, 적어도 하나인 것인, 검사 방법.

청구항 14

제12항에 있어서,

상기 제1 멀티 셀 검출기 각각의 중심 부분에서의 구멍은 상기 조명 빔이 통과하게 하도록 구성되는 것인, 검사 방법.

청구항 15

제12항에 있어서,

상기 제1 조명 강도 분포 신호에서의 중앙 포인트로부터의 오프셋에 기초하여 상기 조명 빔에 대해 상기 제1 조명 강도 분포 신호를 조정하는 단계를 더 포함하는, 검사 방법.

청구항 16

제15항에 있어서,

(i) 상기 조명 소스, 및 (ii) 상기 조명 빔의 경로에서의 광학 컴포넌트 중, 적어도 하나에 보정 액션(corrective action)을 적용함으로써 상기 제1 조명 강도 분포 신호에 기초하여 상기 조명 빔을 안정화하는 단계를 더 포함하는, 검사 방법.

청구항 17

제16항에 있어서,

상기 조명 빔의 제1 부분의 제1 조명 경로는, 상기 제1 멀티 셀 검출기, 상기 제2 멀티 셀 검출기, 및 상기 검출기 어셈블리를 포함하고,

상기 조명 빔의 제2 부분의 제2 조명 경로는, 상기 조명 빔의 제2 부분이 충돌할 때, 제3 조명 강도 분포 신호를 생성하도록 구성된 사이드 검출기를 포함하는 것인, 검사 방법.

청구항 18

제17항에 있어서,

상기 제3 조명 강도 분포 신호의 왜곡을 상기 이미지 내의 왜곡된 픽셀에 매핑함으로써 상기 이미지에 대하여 상기 제3 조명 강도 분포 신호를 조정하는 단계,

상기 보정된 이미지를 생성하기 위해 상기 제3 조명 강도 분포 신호 및 상기 제2 조명 강도 분포 신호에 기초하여 상기 이미지 내의 왜곡된 픽셀의 강도를 조절하는 단계, 및

상기 보정된 이미지를 사용하여 상기 샘플 상의 결함을 검출하는 단계를 더 포함하는, 검사 방법.

청구항 19

제18항에 있어서,

상기 사이드 검출기는, CCD(charge coupled device), CMOS(complementary metal-oxide-semiconductor) 센서, APS(active pixel sensor), 및 TDI(time-delay integration) 센서 중, 적어도 하나인 것인, 검사 방법.

청구항 20

제12항에 있어서,

상기 조명 빔의 제1 부분의 제1 조명 경로는, 상기 제1 멀티 셀 검출기, 상기 제2 멀티 셀 검출기, 및 상기 검출기 어셈블리를 포함하고,

상기 조명 빔의 제2 부분의 제2 조명 경로는, 상기 조명 빔의 제2 부분이 충돌할 때, 제3 조명 강도 분포 신호를 생성하도록 구성된 사이드 검출기를 포함하는 것인, 검사 방법.

청구항 21

제20항에 있어서,

상기 제3 조명 강도 분포 신호의 왜곡을 상기 이미지 내의 왜곡된 픽셀에 매핑함으로써 상기 이미지에 대하여 상기 제3 조명 강도 분포 신호를 조정하는 단계,

상기 보정된 이미지를 생성하기 위해 상기 제3 조명 강도 분포 신호 및 상기 제2 조명 강도 분포 신호에 기초하여 상기 이미지 내의 왜곡된 픽셀의 강도를 조절하는 단계, 및

상기 보정된 이미지를 사용하여 상기 샘플 상의 결함을 검출하는 단계를 더 포함하는, 검사 방법.

청구항 22

제12항에 있어서,

상기 제1 멀티 셀 검출기의 2개 이상의 세그먼트는 4개의 세그먼트, 6개의 세그먼트, 및 8개의 세그먼트 중, 적

어도 하나를 포함하고,

상기 제2 멀티 셀 검출기의 2개 이상의 세그먼트는 4개의 세그먼트, 6개의 세그먼트, 또는 8개의 세그먼트를 포함하는 것인, 검사 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] [본원과 관련된 상호 참조 문헌]

[0002] 본원은, Larissa Juschkin, Konstantin Tsigutkin, and Debashis De Munshi가 발명자이고 발명의 명칭이 “METHOD AND APPARATUS FOR BEAM STABILIZATION AND REFERENCE CORRECTION FOR EUV INSPECTION”이며 2020년 2월 20일에 출원된 미국 가출원 No. 62/978,969의 35 U.S.C. § 119(e) 하에서의 이익을 주장하고, 이는 참조에 의해 그 전체가 여기에 포함되어 있다.

[0003] 본 개시는 일반적으로 포토마스크 및 반도체 웨이퍼 내의 결함의 검출에 관련된다. 특히, 본 개시는 포토마스크에서의 조명 분포를 측정하는 것 및 소스 빔의 광학 정렬을 유지하기 위한 피드백을 제공하는 것에 관련된다.

발명의 내용

[0004] 본 원의 하나 이상의 예시적 실시형태에 따른 검사 시스템이 개시된다. 예시적 일 실시형태에서, 검사 시스템은, 샘플을 조명하기 위한 극자외선(extreme ultraviolet; EUV) 조명 빔을 방출하도록 구성된 조명 소스; 하나 이상의 제1 멀티 셀 검출기(multi-cell detector) - 상기 제1 멀티 셀 검출기 각각은 적어도 2개의 세그먼트를 포함하고 상기 조명 빔이 하나 이상의 제1 멀티 셀 검출기를 통과할 때 제1 광전류(photocurrent)를 생성하도록 구성되고, 상기 제1 멀티 셀 검출기 각각은 그 중심 부분에 구멍(aperture)을 포함하고, 상기 제1 멀티 셀 검출기 각각은 상기 제1 광전류에 기초하여 제1 조명 강도 분포 신호를 생성하도록 구성됨 - ; 하나 이상의 제2 멀티 셀 검출기 - 상기 제2 멀티 셀 검출기 각각은 적어도 2개의 세그먼트를 포함하고 상기 조명 빔이 상기 하나 이상의 제2 멀티 셀 검출기를 통과할 때 제2 광전류를 생성하도록 구성되고, 상기 제2 멀티 셀 검출기 각각은 상기 제2 광전류에 기초하여 제2 조명 강도 분포 신호를 생성하도록 구성됨 - ; 상기 샘플로부터 상기 조명 빔을 수신하고 상기 조명 빔에 기초하여 이미지를 생성하도록 구성된 검출기 어셈블리; 및 상기 검출기 어셈블리, 상기 하나 이상의 제1 멀티 셀 검출기, 및 상기 하나 이상의 제2 멀티 셀 검출기에 통신 가능하게 커플링된 컨트롤러 - 상기 컨트롤러는 하나 이상의 프로세서를 포함하고, 상기 하나 이상의 프로세서는, 상기 하나 이상의 프로세서로 하여금, 상기 검출기 어셈블리로부터 상기 이미지를 수신하게 하고, 제2 조명 강도 분포 신호의 왜곡을 상기 이미지 내의 왜곡된 픽셀에 매핑함으로써 상기 이미지에 대하여 상기 제2 조명 강도 분포 신호를 조정하게(calibrate) 하고, 보정된 이미지를 생성하기 위해 상기 제2 조명 강도 분포 신호에 기초하여 상기 이미지 내의 왜곡된 픽셀의 강도를 조절하게(adjust) 하고, 상기 보정된 이미지를 사용하여 상기 샘플 상의 결함을 검출하게 하는 프로그램 명령어를 실행하도록 구성됨 - 를 포함한다.

[0005] 본 원의 하나 이상의 예시적 실시형태에 따른 검사 방법이 개시된다. 상기 검사 방법은, 조명 소스를 사용하여 극자외선(EUV) 조명 빔을 방출하는 단계; 상기 조명 빔이 제1 멀티 셀 검출기 각각을 통과할 때 하나 이상의 제1 멀티 셀 검출기에 의해 제1 광전류를 생성하는 단계 - 상기 제1 멀티 셀 검출기 각각은 적어도 2개의 세그먼트 및 그 중심 부분에서의 구멍(aperture)을 포함함 - ; 상기 제1 광전류에 기초하여 제1 조명 강도 분포 신호를 생성하는 단계; 상기 조명 빔이 제2 멀티 셀 검출기 각각을 통과할 때 하나 이상의 제2 멀티 셀 검출기에 의해 제2 광전류를 생성하는 단계 - 상기 제2 멀티 셀 검출기 각각은 적어도 2개의 세그먼트를 포함함 - ; 상기 제2 광전류에 기초하여 제2 조명 강도 분포 신호를 생성하는 단계; 상기 조명 빔에 의해 샘플을 조명하는 단계; 검출기 어셈블리에 의해 상기 샘플로부터의 상기 조명 빔을 수신하는 단계; 상기 조명 빔에 기초하여 이미지를 생성하는 단계; 제2 조명 강도 분포 신호의 왜곡을 상기 이미지 내의 왜곡된 픽셀에 매핑함으로써 상기 이미지에 대하여 상기 제2 조명 강도 분포 신호를 조정하는 단계; 보정된 이미지를 생성하기 위해 상기 제2 조명 강도 분포 신호에 기초하여 상기 이미지 내의 왜곡된 픽셀의 강도를 조절하는 단계; 및 상기 보정된 이미지를 사용하여 상기 샘플 상의 결함을 검출하는 단계를 포함한다.

[0006] 상기 일반적인 설명 및 후속하는 상세한 설명은 청구되는 바와 같은 본 발명에 대한 예시적이고 설명을 위한 것일 뿐 필연적으로 본 발명을 제한하려는 것이 아니라는 것이 이해되어야 한다. 본 명세서에 포함되고 본 명세서의 일부를 구성하는 첨부도면은 본 발명의 원리를 나타내는 일반적인 설명과 함께 본 발명의 실시형태를 도시

한다.

도면의 간단한 설명

[0007]

본 발명의 다수의 장점들은 첨부 도면에 대한 참조에 의해 통상의 기술자에 의해 더 잘 이해될 수 있다.

도 1은 참조 빔 측정을 위한 검출기를 포함하는 종래의 검사 시스템을 도시한 간략화된 개략도이다.

도 2는, 본 개시의 하나 이상의 실시형태에 따른, 검사 시스템을 도시한 간략화된 개략도이다.

도 3a 및 도 3b는, 본 개시의 하나 이상의 실시형태에 따른, 빔 안정화 및 참조 보정을 위한 검출기의 간략화된 개략도이다.

도 4 내지 도 6은, 본 개시의 하나 이상의 실시형태에 따른, 빔 안정화를 위해 수집된 광 강도 분포 측정을 나타내는 이미지들이다.

도 7은, 본 개시의 하나 이상의 실시형태에 따른, 참조 보정을 위해 수집된 광 강도 분포 측정을 나타낸 이미지이다.

도 8 및 도 9는, 본 개시의 하나 이상의 실시형태에 따른, 참조 보정 및 조명 소스 제어를 위한 사이드 모니터(side monitor)에 의해 수집된 광 강도 분포 측정을 나타낸 이미지들이다.

도 10은, 본 발명의 하나 이상의 실시형태에 따른, 참조 보정 및 빔 안정화를 위한 검사 방법을 도시한 플로우 차트이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0008]

상기 일반적인 설명 및 후속하는 상세한 설명은 청구되는 바와 같은 본 발명에 대한 예시적이고 설명을 위한 것일 뿐 필연적으로 본 발명을 제한하려는 것이 아니라는 것이 이해되어야 한다. 본 명세서에 포함되고 본 명세서의 일부를 구성하는 첨부도면은 본 발명의 원리를 나타내는 일반적인 설명과 함께 본 발명의 실시형태를 도시한다. 본 개시의 사상 및 범위를 벗어나지 않고 형태 및 세부사항에 있어서 다양한 변경 및 수정이 이루어질 수 있음은 통상의 기술자에게 용이하게 명백할 것이다. 이제, 첨부 도면에 도시되고 개시된 주제에 대하여 상세한 참조가 이루어질 것이다.

[0009]

본 개시의 실시형태들은, 광자(photon)로 샘플을 조명하는 것 및 이미지 데이터를 생성하기 위해 하나 이상의 검출기에서 샘플로부터 반사 및/또는 산란된 조명을 수집하는 것에 의해, 샘플 상의 하나 이상의 결함을 검출하도록 구성된 검사 시스템에 관한 것이다. 예컨대, 샘플은 극자외선(EUV) 리소그래피(예컨대, 190 nm 미만의 광자 파장)에서 사용되는 포토마스크일 수 있다. 결함은 이후에 마스크를 사용하여(예를 들어, EUV 리소그래피에 의해) 제조되는 집적 회로의 품질 및 성능 저하를 유발할 수 있으므로 가능한 많은 결함을 검출하는 것이 바람직하다. 또한, 제조 속도를 증가시키고 수율을 최대화하기 위해, 가능한 한 빨리 결함을 식별하는 것이 바람직하다.

[0010]

이미지 데이터는 복수의 고해상도 이미지(예컨대, 테스트 이미지)를 포함할 수 있고, 각각의 이미지는 샘플 상의 관심 영역(area-of-interest)에 대응한다. 테스트 이미지 각각은 대응하는 참조 이미지에 비교될 수 있다. 참조 이미지는, 각각의 테스트 이미지에서 참조 이미지를 빼면 차이가 관심 영역에서의 샘플의 표면에 문제가 있는 구조(즉, 결함)를 나타낼 수 있도록 그리고(예컨대, 포토마스크의 디자인 또는 프로세싱의 변경에 의해) 보정 액션(corrective action)이 수행될 수 있도록, 이상적인(ideal) 또는 에러가 없는(error-free) 이미지로서 사용될 수 있다.

[0011]

높은 정확도로 결함을 검출하려면, 테스트 이미지에서 참조 이미지를 뺀 경우에 실제 결함(즉, 실제 결함)과 연관된 픽셀만 식별되고 노이즈가 결함으로 잘못 식별되지 않도록, 높은 충실도(즉, 낮은 노이즈)의 테스트 이미지를 생성하는 것이 바람직하다. 조명 변화와 연관된 노이즈를 제거하기 위해, 샘플의 평면에서의 조명 강도 분포에 기초하여 테스트 이미지가 보정될 수 있다. 테스트 이미지에서 너무 어두운 샘플 영역의 경우, 어두운 픽셀의 강도 스케일(그레이스케일)이 증가할 수 있으며 그 반대의 경우도 마찬가지이다. 샘플에서 불균일하거나(uneven) 그리고/또는 일시적으로 변화하는 조명 분포에 의해 초래된 테스트 이미지에서의 노이즈를 제거하기 위해, 그레이스케일을 조절하는 프로세스는 참조 보정이라고도 알려져 있다.

[0012]

결함을 정확하게 식별하기 위해, 검사 시스템은 리소그래피 프로세스에서 사용되는 것과 동일한 파장(예컨대, EUV 스펙트럼 범위)에서 동작할 수 있다. EUV 스펙트럼 범위는 짧은 파장, 에너지 광자, EUV 방사선 소스의 낮

은 복사휘도(radiance)(즉, 휘도), 굴절(즉, 투과) 광학 장치의 부재로 인해 많은 문제를 제시한다. 샘플에서의 EUV 조명 분포 및 안정화에 대한 지식은 패턴 분석에 필수적이다. 이를 위해, 본 개시의 시스템은, (1) 샘플에서 조명 분포를 측정하고, (2) 조명 빔의 안정적인 정렬을 유지하기 위한 피드백을 제공하고, (3) 조명 강도 분포 측정에 기초하여 테스트 이미지에서 왜곡된 픽셀을 보정(예를 들어, 참조 보정)하도록 구성될 수 있다. 조명 강도 분포 측정, 빔 안정화 및 참조 보정은 조명 광의 시간 변화가 시스템 요구 사항 내에 있도록 보장하기 위해 실시간으로 수행될 수 있다.

[0013] 도 1은 참조 보정을 위한 빔 모니터(130)를 포함하는 종래의 검사 시스템(100)을 도시한 간략화된 개략도이다. 도시된 바와 같이, 종래의 검사 시스템(100)은 빔(101)을 생성하는 조명 소스(112), 샘플(120)에 조명을 지향시키는 대물 렌즈(118), 및 샘플(120)로부터 반사되거나 산란된 조명을 수집하는 검출기(126)를 포함한다. 빔 스플리터(116)는 빔(101)을 분할하고(split), 모니터(130)는 빔(101)으로부터 분할된 빔(102)(예를 들어, 모니터 링 신호)을 수집한다. 각 노출 동안 샘플(120) 상의 투영된 픽셀 영역에 걸친 조명의 선량(dose)을 측정하는 것 및 측정에 기초하여 검출기(126) 내의 각 픽셀에 대하여 보정 팩터(correction factor)를 제공하는 것에 의해, 이 모니터링 신호가 참조 보정을 위해 사용된다.

[0014] 구현하기 간단하지만, 빔 스플리터가 이러한 과정에서 효율적이지 않기 때문에 EUV 스펙트럼 범위에서 동작할 때 종래의 검사 시스템(100)의 구성은 실행 불가능하다. 또한, 빔 안정화를 위해 조명 빔 경로에 픽업 광학 장치를 배치하면 타겟에서 조명 프로파일의 왜곡과 불확실성이 발생하고 검사에 사용할 수 있는 전체 광자 플럭스(photon flux)가 감소된다. 또한, 전원이 공간적으로 집적되어 있는 경우, 소스가 본질적으로 불안정하고 지터링(jittering) 상태일 때 소스 전력만을 모니터링하는 것만으로는 충분하지 않기 때문에 조명 강도의 공간적 분포 변화를 측정하기 어렵다. 대조적으로, 본 개시의 실시형태는 빔 안정화 및 참조 보정을 위해 EUV 방사선의 분포를 측정하는데 고유한 문제를 회피한다(circumvent). 따라서, 본 개시의 실시형태는 광학계 또는 방사선 소스의 비용 또는 복잡성의 증가 증가(equivalent increase) 없이 테스트 이미지의 충실도 및 균질성을 개선할 수 있다.

[0015] 도 2는 본 개시의 하나 이상의 실시형태에 따른 샘플(250)(예를 들어, 포토마스크, 반도체 웨이퍼 등)의 표면 상의 결함을 결정하기 위한 검사 시스템(200)의 간략화된 개략도이다. 검사 시스템(200)은 조명 소스(212), 조명 암(arm)(211), 수집 암(213), 및 검출기 어셈블리(260)를 포함할 수 있지만 이것에 한정되지 않는다. 검사 시스템(200)은 당업계에 공지된 임의의 광학 기반 검사 기술을 사용할 수 있다. 일부 실시형태에서, 검사 시스템(200)은 광대역 검사 시스템(예를 들어, 광대역 플라스마 소스 기반 검사 시스템) 또는 협대역 검사 시스템(예를 들어, 레이저 기반 검사 시스템)일 수 있다. 일부 실시형태에서, 검사 시스템(200)은 광학 암시야 검사틀을 포함할 수 있다.

[0016] 일 실시형태에서, 컨트롤러(204)는 검출기 어셈블리(260)에 통신 가능하게 커플링된다. 컨트롤러(204)는 하나 이상의 프로세서(206) 및 메모리(208)를 포함할 수 있다. 메모리(208)는 하나 이상의 프로세서(206)가 본 개시의 다양한 기능, 절차, 알고리즘, 단계 등을 수행하게 하도록 구성된 프로그램 명령어를 포함할 수 있다. 컨트롤러(204)는 샘플(250)의 하나 이상의 결함을 나타내는 샘플(250)의 하나 이상의 피쳐(feature)를 결정하도록 구성될 수 있다. 다른 실시형태에서, 컨트롤러(204)는 타겟 샘플의 하나 이상의 타겟 피쳐의 하나 이상의 타겟 이미지를 수신하도록 구성될 수 있다. 일부 실시형태에서, 컨트롤러(204)는 각각의 이미지가 샘플(250) 상의 관심 영역에 대응하는 하나 이상의 이미지를 수신하도록 구성될 수 있다. 각각의 이미지는 결함에 대해 후속적으로 검사될 테스트 이미지일 수 있고, 비교될 하나 이상의 참조 이미지와 연관될 수 있다.

[0017] 일부 실시형태에서, 조명 소스(212)는 광대역 방사선 소스를 포함하지만 이것에 한정되지 않는 조명 빔(201)을 생성하기 위해 당업계에 공지된 임의의 조명 소스를 포함할 수 있다. 일부 실시형태에서, 빔(201)은 극자외선(EUV) 광 또는 진공 자외선(vacuum ultraviolet; VUV) 광을 포함할 수 있다. VUV 또는 EUV 광을 사용할 때, 시스템(200)은 대기가 광 빔(201)을 흡수하는 것을 방지하기 위해 진공에서 동작할 수 있다. 일부 실시형태에서, 빔(201)은 약 1 nm 내지 약 5 nm의 하나 이상의 파장을 갖는 소프트 x-선을 포함할 수 있다. 일부 실시형태에서, 빔(201)은 약 13.5 nm의 파장, 약 10 nm 내지 약 124 nm의 하나 이상의 파장, 또는 약 5 nm 내지 약 30 nm의 하나 이상의 파장을 가진 EUV 광을 포함할 수 있다. 일부 실시형태에서, 빔(201)은 190 nm 미만 내지 약 5 nm 미만의 하나 이상의 파장을 가진 VUV 광을 포함할 수 있다.

[0018] 조명 소스(212)는 이러한 파장들 중 하나 이상에서 빔(201)을 방출할 수 있는 당업계에 공지된 임의의 적합한 광원을 포함할 수 있다. 이러한 광원에는 레이저 유도 플라스마 소스, 방전 유도 플라스마 소스, 캐소드/애노드 타입 소스, 싱크로트론 소스(synchrotron source) 등이 포함되지만 이것에 한정되지 않는다. 또한, 여기에 설

명된 실시형태는 광을 비교적 넓은 각도 범위로 방출하는 임의의 광원(예를 들어, 플라스마 기반)과 함께 사용될 수 있다. 일부 실시형태에서, 시스템(200)은 조명 소스(212)의 이미지가 밝은 조명을 위해 샘플(250) 상에 투영되는 임계 조명을 사용하여 구성될 수 있다. 일부 실시형태에서, 시스템(200)은 샘플(250)의 더 균일하거나 균질한 조명을 제공하는 켈러 조명(Kohler illumination) 또는 균질화기 기반 조명(homogenizer-based illumination)을 사용하여 구성될 수 있다.

[0019] 일부 실시형태에서, 조명 암(211)은 빔(201)을 샘플(250)로 지향시키도록 구성된다. 조명 암(211)은 당업계에 공지된 임의의 수 및 타입의 광학 컴포넌트를 포함할 수 있다. 일부 실시형태에서, 조명 암(211)은 하나 이상의 광학 엘리먼트를 포함할 수 있다. 하나 이상의 광학 엘리먼트는 하나 이상의 미러(mirror), 하나 이상의 렌즈, 하나 이상의 편광판, 하나 이상의 빔 스플리터, 하나 이상의 파장판(wave plate), 또는 하나 이상의 아포다이저 등을 포함하지만 이것에 한정되지 않는 당업계에 공지된 임의의 광학 엘리먼트를 포함할 수 있다. 이와 관련하여, 조명 암(211)은 조명 소스(212)로부터의 빔(201)을 샘플(250)의 표면 상에 포커싱하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 수집기 미러(collector mirror)(205)는 빔(201)을 조명기 미러(245)로 지향시키도록 구성될 수 있다. 조명기 미러(245)는 빔(201)을 샘플(250)로 지향시키도록 구성될 수 있다.

[0020] 샘플(250)은 포토마스크, 레티클, 웨이퍼 등을 포함하지만 이것에 한정되지 않는 당업계에 공지된 임의의 샘플을 포함할 수 있다. 일 실시형태에서, 샘플(250)은 샘플(250)의 이동을 용이하게 하기 위한 스테이지 어셈블리 상에 배치된다. 다른 실시형태에서, 스테이지 어셈블리는 동작 가능 스테이지(actuable stage)이다. 예컨대, 스테이지 어셈블리는 하나 이상의 선형 방향(예컨대, x 방향, y 방향, 및/또는 z 방향)을 따라 샘플(250)을 선택적으로 병진이동시키기에 적합한 하나 이상의 병진이동 스테이지를 포함할 수 있지만, 이것에 한정되지 않는다. 다른 실시예에서, 스테이지 어셈블리는 회전 방향을 따라 샘플(250)을 선택적으로 회전시키도록 구성된 하나 이상의 회전 스테이지를 포함할 수 있지만, 이것에 한정되지 않는다. 다른 실시예에서, 샘플 스테이지(250)는 선택적으로 회전 방향을 따라 샘플(250)을 회전시키는 것 및/또는 선형 방향을 따라 샘플(250)을 병진이동시키기에 적합한 회전 스테이지 및 병진이동 스테이지를 포함할 수 있지만, 이것에 한정되지 않는다.

[0021] 일부 실시형태에서, 수집 암(213)은 샘플(250)로부터 반사 또는 산란된 조명을 수집하도록 구성된다. 다른 실시형태에서, 수집 암(213)은 반사 및 산란된 광을 하나 이상의 광학 엘리먼트를 통해 검출기 어셈블리(260)의 하나 이상의 센서(예를 들어, 검출기)로 지향 및/또는 포커싱할 수 있다. 하나 이상의 광학 엘리먼트는 하나 이상의 미러(mirror), 하나 이상의 렌즈, 하나 이상의 편광판, 하나 이상의 빔 스플리터, 파장판(wave plate) 등을 포함하지만 이것에 한정되지 않는 당업계에 공지된 임의의 광학 엘리먼트를 포함할 수 있다. 예를 들어, 이미징 미러(255)는 샘플(250)로부터 반사되고 산란된 광을 검출기 어셈블리(260)로 지향시킬 수 있다. 조명 암(211) 및 수집 암(213)은 암시야 모드, 명시야 모드 등을 포함하지만 이것에 한정되지 않는 당업계에 공지된 임의의 모드로 구성될 수 있음에 유의한다. 예를 들어, 암시야 모드, 명시야 모드 등에서 검사 시스템(200)을 구성하기 위해, 하나 이상의 광학 엘리먼트가 선택적으로 조절될 수 있다.

[0022] 검출기 어셈블리(260)는 샘플(250)로부터 반사되거나 산란된 조명을 검출하기 위한 당업계에 공지된 임의의 센서 및 검출기 어셈블리를 포함할 수 있다. 예컨대, 검출기 어셈블리(260)는 CCD(charge-coupled device) 또는 TDI(time-delay integration) 검출기를 포함할 수 있다. 일부 실시형태에서, 검출기 어셈블리(260)는 샘플(250)로부터 반사되거나 산란된 조명에 기초하여 샘플(250)의 검사 데이터를 수집하도록 구성된다. 다른 실시형태에서, 검출기 어셈블리(260)는 컨트롤러(204)로 수집된 이미지(예컨대, 결함에 대해 테스트될 테스트 이미지)를 송신하도록 구성된다.

[0023] 시스템(200)의 하나 이상의 컴포넌트는 당업계에 공지된 임의의 방식으로 시스템(200)의 다양한 다른 컴포넌트에 통신 가능하게 커플링될 수 있다는 것이 여기에서 주목된다. 예컨대, 하나 이상의 프로세서(206)는, 유선(예컨대, 구리 배선, 섬유 광학 케이블 등) 또는 무선 접속(예컨대, RF 커플링, IR 커플링, WiMax, Bluetooth, 3G, 4G, 4G LTE, 5G 등)을 통해 서로 그리고 다른 컴포넌트에 통신 가능하게 커플링될 수 있다. 다른 실시예로서, 컨트롤러(204)는 당업계에 공지된 임의의 유선 또는 무선 접속을 통해 검사 서브시스템(200)의 하나 이상의 컴포넌트에 통신 가능하게 커플링될 수 있다.

[0024] 일부 실시형태에서, 하나 이상의 프로세서(206)는 당업계에 공지된 임의의 하나 이상의 프로세싱 엘리먼트를 포함할 수 있다. 이러한 의미에서, 하나 이상의 프로세서(206)는 알고리즘 및/또는 명령어를 실행하도록 구성된 임의의 마이크로프로세서 타입 디바이스를 포함할 수 있다. 일부 실시형태에서, 하나 이상의 프로세서(206)는, 본 개시 전체에 걸쳐 설명된 바와 같은, 시스템(200)을 동작시키도록 구성된 프로그램을 실행하도록 구성된 데스크탑 컴퓨터의 컴포넌트, 메인프레임 컴퓨터 시스템, 워크스테이션, 이미지 컴퓨터, 패러렐 프로세서, 또는

다른 컴퓨터 시스템(예컨대, 네트워킹된 컴퓨터)일 수 있다. 본 개시 전체에 걸쳐 설명된 단계들은 단일 컴퓨터 시스템, 또는 대안적으로 멀티플 컴퓨터 시스템(예컨대, 클라우드 컴퓨팅 시스템)에 의해 수행될 수 있다는 것이 인식되어야 한다. 또한, 본 개시 전체에 걸쳐 설명된 단계들은 하나 이상의 프로세서(206) 중 임의의 하나 이상의 프로세서에서 수행될 수 있다는 것이 인식되어야 한다. 일반적으로, 용어 “프로세서”는 메모리(208)로부터의 프로그램 명령어를 실행하는 하나 이상의 프로세싱 엘리먼트를 가진 임의의 디바이스를 포괄하도록 광범위하게 정의될 수 있다. 또한, 시스템(200)의 상이한 컴포넌트들[예컨대, 조명 소스(212), 검출기 어셈블리(260), 컨트롤러(204) 등]은 본 개시 전체에 걸쳐 설명된 단계들의 적어도 일부를 수행하는데 적합한 프로세서 또는 로직 엘리먼트를 포함할 수 있다. 따라서, 상기 설명은 본 명세서에 대한 한정이 아닌 단지 예시로서 해석되어야 한다.

[0025] 메모리(208)는 검출기 어셈블리(260)로부터 수신된 데이터 및 하나 이상의 프로세서(206)에 의해 실행 가능한 프로그램 명령어를 저장하는데 적합한 당업계에 공지된 임의의 저장 매체를 포함할 수 있다. 예컨대, 메모리(208)는 비일시적 메모리 매체를 포함할 수 있다. 예컨대, 메모리(208)는 ROM(read-only memory), RAM(random-access memory), 자기 또는 광학 메모리 디바이스(예컨대, 디스크), 자기 테이프, 고체 상태 드라이브 등을 포함할 수 있지만, 이것에 한정되지 않는다. 메모리(208)는 각각 하나 이상의 프로세서(206)를 갖는 공통 컨트롤러 하우징(common controller housing)에 수용될 수 있다는 점에 또한 유의한다. 대체 실시형태에서, 메모리(208)는 프로세서(206) 및 컨트롤러(204)의 물리적 위치에 대해 원격으로 위치될 수 있다.

[0026] 일 실시형태에서, 컨트롤러(204)에 사용자 인터페이스가 통신 가능하게 커플링된다. 일 실시형태에서, 사용자 인터페이스는 하나 이상의 데스크탑, 태블릿, 스마트폰, 스마트 워치 등을 포함할 수 있지만, 이것에 한정되지 않는다. 다른 실시형태에서, 사용자 인터페이스는 시스템(200)의 데이터를 사용자에게 나타내기 위해 사용되는 디스플레이를 포함한다. 사용자 인터페이스의 디스플레이는 당업계에 공지된 임의의 디스플레이를 포함할 수 있다. 예컨대, 디스플레이는 LCD(liquid crystal display), OLED(organic light-emitting diode) 기반 디스플레이, 또는 CRT 디스플레이를 포함할 수 있지만, 이것에 한정되지 않는다. 당업자는 사용자 인터페이스와 통합될 수 있는 임의의 디스플레이 디바이스가 본 개시의 구현에 적합하다는 것을 인식해야 한다. 다른 실시형태에서, 사용자는 사용자 인터페이스의 사용자 입력 디바이스(예를 들어, 마우스 및 키보드)를 통해 사용자에게 디스플레이된 데이터에 응답하여 선택 및/또는 명령을 입력할 수 있다.

[0027] 일부 실시형태에서, 검사 시스템(200)은 조명 강도 분포를 측정하고 참조 보정을 제공하도록 구성된 사이드 모니터 서브시스템(side monitor sub-system)(220)을 포함할 수 있다. 사이드 모니터 서브시스템(220)은 소스에 의해 생성된 조명 광(201)의 부분을 수집하도록 구성된 사이드 검출기(227)를 포함할 수 있다. 일부 실시형태에서, 사이드 모니터 서브시스템(220)은 사이드 검출기(227)로 조명 광(201)의 부분을 지향시키도록 구성된 이미징 엘리먼트(예컨대, 미러)(223)를 포함한다. 사이드 검출기(227)는 예컨대, CCD(charge-coupled device), CMOS(complementary metal-oxide-semiconductor) 센서, APS(active pixel sensor), TDI(time-delay integration) 센서 등일 수 있다. 사이드 검출기(227)는 소스(212)로부터의 조명 광(201)의 부분을 실시간으로 [예를 들어,

[0028] 노출 대 노출(exposure-to-exposure) 또는 스캐닝 TDI 모드에서] 직접 이미징함으로써 샘플(250)에서의 조명 강도 분포를 간접적으로 측정할 수 있다. 일부 실시형태에서, 사이드 검출기(227)는 조명 경로(211) 외측에서 제 1 각도로 빔(201)의 부분을 수집할 수 있다. 사이드 검출기(227)의 경로의 제 1 각도는 조명 경로(211)의 제 2 각도와 상호 배타적일 수 있다. 사이드 모니터 서브시스템(220)에 의해 수집된 조명 광(201)의 부분은 샘플의 조명을 위해 사용되지 않고 모니터링 목적으로 사용될 수 있음에 주목한다.

[0029] 사이드 검출기(227)에 의해 수집된 소스(212)의 2차원(2D) 이미지는 소스(212)에 의해 방출된 조명 빔(201)(및 그 변형들)의 3차원(3D) 공간 분포를 재구성하기 위해 사용될 수 있다. 3D 공간 분포는 단층 촬영 기술(tomographic techniques) 및 시스템 대칭을 사용하여 생성될 수 있다. 빔(201)의 3D 지오메트리는 샘플(250)에서의 조명 프로파일을 예측하기 위해 검사 시스템(200)의 광학 모델(예컨대, 시뮬레이션에 의해)을 통해 전파될 수 있다. 사이드 검출기(227)에 의해 수집된 이미지의 샘플(250)의 조명 필드로의 이러한 직접 매핑(direct mapping)은 (예컨대, 검출기 어셈블리(260)에 의해 수집된 이미지 내의 픽셀의 강도 스케일을 증가시키거나 감소시킴으로써) 소스(212)에 의해 유도된 변형들을 보상하기 위해 사용될 수 있다. 일부 실시형태에서, 사이드 검출기(227)에 의해 수집된 2D 이미지는 개별 이미지에 대해 조정될(calibrated) 수 있다(예컨대, 빔(201)의 조명 경로(211) 내의 다른 위치에서의 조명 강도 분포의 다른 측정). 샘플(250)의 평면에서의 임의의 왜곡(예컨대, 조명 강도의 불균등)은 사이드 검출기(227)에 의해 수집된 2D 이미지 내의 왜곡에 의해 조정될(예컨대, 상관되거나(correlated) 연관됨(associated)) 수 있다. 또한, 일부 실시형태에서, 2D 이미지는 소스

(212)의 조건(condition)(예컨대, 사이즈, 포지션, 휘도)을 모니터링하고 제어하기 위해 사용될 수 있다. 이러한 방식으로, 사이드 모니터 서브시스템(220)은 조명 소스(212)의 참조 상관 및 제어 모두를 위해 사용될 수 있다.

[0030] 일부 실시형태에서, 검사 시스템(200)은 (i) 빔(201)의 안정화를 위한 피드백을 제공하도록 그리고/또는 (ii) 인라인 참조 보정(in-line reference correction)(예컨대, 검출기 어셈블리(260)에 의해 수집된 테스트 이미지 내의 왜곡된 픽셀의 강도를 조절하는 것)을 제공하도록 구성된 인라인 검출기 서브시스템(inline detector sub-system)(230)을 포함할 수 있다. 인라인 검출기 서브시스템(230)은 빔 안정화를 위한 하나 이상의 검출기(233a-b) 및 참조 보정을 위한 검출기(237)를 포함할 수 있다. 참조 보정 측정은 사이드 모니터 서브시스템(220), 인라인 검출기 서브시스템(230), 또는 이 두가지의 서브시스템 모두에 의해 수행될 수 있다는 것에 주목한다.

[0031] 일부 실시형태에서, 검출기(233a)는 빔(201)의 경로 내의 제1 포지션에 있을 수 있고, 검출기(233b)는 빔(201)의 경로 내의 제2 포지션에 있을 수 있고, 검출기(237)는 빔(201)의 경로 내의 제3 포지션에 있을 수 있다. 일반적으로 복수의 검출기(233a-b 및 237)는 빔(201)의 경로 내의 복수의 포지션에 있을 수 있고(예컨대, 3개의 포지션에 3개의 검출기, 5개의 포지션에 5개의 검출기, 등), 본 개시는 검출기(233a-b 및 237)의 임의의 특정 개수에 한정되지 않는다. 각 검출기(233a-b 및 237)는 빔(201)의 주변에서의 광을 수신할 수 있고, 빔(201)의 경로 내의 각각의 포지션에서 빔(201)의 교차섹션(cross-section)을 측정할 수 있다.

[0032] 일부 실시형태에서, 검출기(233a-b, 237) 각각은 2개 이상의 세그먼트(예를 들어, 셀 또는 사분면)를 포함하는 멀티 셀 검출기일 수 있다. 본 개시는 단지 2개의 세그먼트로 제한되지 않으며, 멀티 셀 검출기는 2개 초과(예를 들어, 4개, 6개, 8개 등)를 포함할 수 있음에 유의한다. 빔(201)의 EUV 광자가 조명 빔의 주변에 포지셔닝된 검출기(233a-b 및 237)에 충돌할 때(예컨대, 세그먼트에 인접하여 통과), 멀티 셀 검출기(233a-b 및 237)는 광전류를 생성하도록 구성될 수 있다. 일부 실시형태에서, 검출기(233a-b 및 237) 중 적어도 하나는 광자가 (예컨대, 검출기의 각각의 중심을 통해) 통과하게 하는 구멍을 가질 수 있다. 일부 실시형태에서, 검출기(237)는 검출기 어셈블리(260)(예컨대, TDI 센서)로 투영되는 영역의 외측 중간 필드 평면(예컨대, 균질화기 이후)에 있을 수 있다. 검출기(237)는 (예컨대, 모니터 서브시스템(220)에 추가적으로) 참조 보정을 위해 조명 강도 분포를 측정할 수 있다. 일부 실시형태에서, 검출기(233a-b)는 빔(201)의 경로 내의 검출기(237) 앞(예컨대, 균질화기 앞)에 배치될 수 있고, 광학 안정화를 위해 신호를 수집할 수 있다.

[0033] 도 3a 및 도 3b는, 본 개시의 하나 이상의 실시형태에 따른, 검사 시스템(200) 내의 멀티 셀 검출기(233a-b 및 237)로서 사용될 수 있는 중공 멀티 셀 검출기(hollow multi-cell detector)(300a) 및 투과형 멀티 셀 검출기(transmissive multi-cell detector)(300b)를 각각 도시한 간략화된 개략도이다. 검출기(233a-b, 237) 중 하나 이상은 중공 멀티 셀 검출기(300a) 또는 투과형(예를 들어, 박막) 멀티 셀 검출기(300b)일 수 있음에 유의한다. 일 실시예에서, 검출기(233a-b)는 중공 멀티 셀 검출기(예컨대, 각각의 중심에 구멍을 가짐)이고, 검출기(237)는 투과형 멀티 셀 검출기(예컨대, 그 중심에 구멍이 없는 박막)이다. 시장에서 이용 가능한 검출기 솔루션은 Opto Diode Corporation(Camarillo, CA)의 AXUVPS7이다.

[0034] 중공 멀티 셀 검출기(300a)는 멀티 세그먼트(예컨대, 4개의 셀 또는 사분면) 내의 광 빔(201)의 강도를 검출하도록 구성될 수 있다. 멀티 셀 검출기(300a)의 중심에서의 구멍은 광 빔(201)이 (예컨대, 다른 검출기에 도달하기 위해 검출기(300a)를 통해) 통과하게 하도록 구성될 수 있다. 검출기(300a)는 EUV 광 빔(201)이 검출기(300a)의 주변부(예컨대, 4개의 세그먼트)를 통과할 때, 광전류를 생성할 수 있다. 검출기(300a)의 이러한 구성은 광 빔(201)의 파워를 과도하게 감소시키지 않고 빔(201) 주변의 파워의 측정을 가능하게 한다. 투과형 멀티 셀 검출기(300b)는 EUV 광이 검출기(300b)의 주변부를 통과할 때 광전류를 생성하도록 구성될 수 있다. 일부 실시형태에서, 검출기(300a-b)는 스펙트럼 순도 필터(spectral purity filter)로서 동작할 수 있다. 필터를 다수의 콤포넌트로 분할함으로써, 검출기(300a-b)를 통과하는 빔(201)의 공간 조명 강도 분포는 다수의 목적을 위해(예를 들어, 참조 보정 및 빔 안정화 모두를 위해) 측정될 수 있다.

[0035] 참조 보정을 위해, 광 빔(201)의 조명 강도 분포는 검출기 어셈블리(260)에 의해 수집된 이미지의 픽셀에 대해 조정될(예컨대, 매핑될) 수 있다. 검출기(237)에 의해 측정된 광 강도 분포의 불균일한 영역(예컨대, 너무 높은 강도 또는 너무 낮은 강도를 가진 영역)은 보정의 타겟이 될 수 있고, 검출기(260)에 의해 검출된 이미지 내의 대응하는 픽셀은 그에 따라 (예컨대, 대응하는 픽셀의 강도 스케일을 증가시키거나 감소시킴으로써) 조절될 수 있다. 빔 안정화를 위해, 빔(201)의 이미지의 (예컨대, 중앙 포인트로부터의) 오프셋은 검출기(233a-b)에 의해 시간에 걸쳐 측정될 수 있다. 그 다음, 이 오프셋은 보정 액션(예를 들어, 빔을 센터링하고 안정화하기

위해 소스(212)의 포지션을 조절하거나 미러(205, 245)와 같은 광학 장치의 포지션을 조절하는 것)을 위해 사용될 수 있다.

- [0036] 일부 실시형태에서, 멀티 셀 검출기(233a-b)는, 약 3×10^{-4} W의 입력 전력, 약 5000Hz의 소스 주파수, 약 6×10^{-5} mJ의 펄스당 에너지, 약 4×10^9 ph/펄스의 펄스당 검출된 광자, 약 9×10^{10} e/펄스의 펄스당 검출된 전자, 약 15nA의 검출된 전하, 및 약 3.7nAs의 섹션당 검출된 전하를 가질 수 있다. 본 발명은 여기에 설명된 파라미터로 제한되지 않으며, 다른 파라미터가 가능할 수 있음에 유의한다(예를 들어, 사용자에 의해 미리 정의되거나 실시간으로 조절됨).
- [0037] 도 4 내지 도 9는, 본 개시의 하나 이상의 실시형태에 따른, 검출기(233a-b 및 237)에 의해 측정된(예컨대, 수집된) 광 강도 분포를 나타내는 이미지이다.
- [0038] 도 4 및 도 5는 빔 안정화를 위한 멀티 셀 검출기(233a)에서의 광 강도 분포의 측정을 나타낸다. 도 6은 빔 안정화를 위한 멀티 셀 검출기(233b)에서의 광 강도 분포의 측정을 나타낸다. 도시된 바와 같이, 조명 강도는 검출기(233a-b)의 주변에서만 측정되고, 멀티 셀 검출기(233a-b)의 중심에서의 구멍은 빔(201)의 파워를 과도하게 감소시키지 않고 빔(201)이 통과하게 한다.
- [0039] 도 7은 멀티 셀 검출기(237)에서의 광 강도 분포의 측정을 나타낸다. 도 8 및 도 9는 사이드 모니터 서브시스템(220)의 사이드 검출기(227)에 의한 소스(212)의 강도 분포의 직접 측정을 나타낸다. 멀티 셀 검출기(237) 및 사이드 검출기(227)에 의해 수집된 측정은 (예컨대, 측정에서의 왜곡을 검출기 어셈블리(260)에 의해 수집된 테스트 이미지 내의 왜곡된 픽셀로 매핑함으로써) 참조 보정을 위해 사용될 수 있다.
- [0040] 도 10은, 본 개시의 하나 이상의 실시형태에 따른, 참조 보정 및 빔 안정화를 위한 검사 방법(1000)을 도시한 플로우차트이다.
- [0041] 단계 1001에서, 극자외선(EUV) 조명 빔[예컨대, 빔(201)]이 조명 소스[예컨대, 소스(212)]에 의해 방출될 수 있다. 빔은 190 nm 미만의 파장을 가질 수 있다. 조명 소스는 190 nm 미만의 파장으로 빔을 방출할 수 있는 당 업계에 공지된 임의의 적합한 광 소스를 포함할 수 있다. 이러한 광원에는 레이저 유도 플라스마 소스, 방전 유도 플라스마 소스, 캐소드/애노드 타입 소스, 싱크로트론 소스(synchrotron source) 등이 포함되지만 이것에 한정되지 않는다. 또한, 여기에 설명된 실시형태는 광을 비교적 넓은 각도 범위로 방출하는 임의의 광원(예를 들어, 플라스마 기반)과 함께 사용될 수 있다.
- [0042] 단계 1002에서, 광전류를 생성하기 위해 빔은 제1 멀티 셀 검출기(예컨대, 검출기(233a-b))를 통과할 수 있다. 제1 멀티 셀 검출기는 빔이 통과하게 하는 그 중심 부분에서의 구멍을 포함할 수 있다. 제1 조명 강도 분포 신호가 광전류에 기초하여 생성될 수 있다. 제1 조명 강도 분포 신호는 빔 안정화를 위해 사용될 수 있다. 예컨대, 제1 조명 강도 분포 신호의 (예컨대 중심 포인트로부터의) 오프셋은 제1 멀티 셀 검출기에 의해 시간에 걸쳐 측정될 수 있다. 그 다음, 이 오프셋은 보정 액션(예를 들어, 빔(201)을 재센터링하고(recenter) 안정화하기 위해 소스(212)의 포지션을 조절하는 것)을 위해 사용될 수 있다.
- [0043] 단계 1003에서, 광전류를 생성하기 위해 빔은 제2 멀티 셀 검출기(예컨대, 검출기(237))를 통과할 수 있다. 제2 조명 강도 분포 신호가 광전류에 기초하여 생성될 수 있다. 제2 조명 강도 분포 신호가 참조 보정을 위해 사용될 수 있다. 예컨대, 제2 조명 강도 분포 신호에서의 왜곡(예컨대 너무 밝거나 너무 어두운 불균일 영역)은 검출기 어셈블리(예컨대, 검출기 어셈블리(260))에 의해 수집된 테스트 이미지 내의 왜곡된 픽셀에 매핑될 수 있다.
- [0044] 단계 1004에서, 샘플(예컨대, 샘플(250))은 조명 빔에 의해 조명될 수 있다. 샘플은 포토마스크(즉, 레티클) 또는 반도체 웨이퍼일 수 있다. 빔은 샘플로부터 산란 및/또는 반사될 수 있다. 단계 1005에서, 빔은 검출기 어셈블리에 의해 수신될 수 있다. 단계 1006에서, 검출기 어셈블리는 수집된 조명에 기초하여 이미지를 생성할 수 있다.
- [0045] 단계 1007에서, 제2 조명 강도 분포 신호에서의 왜곡은 이미지 내의 왜곡된 픽셀에 매핑될 수 있다. 단계 1008에서, 보정된 이미지를 생성하기 위해 왜곡된 픽셀의 강도 스케일이 조절될 수 있다(예컨대, 왜곡 또는 노이즈 없이 균일한 이미지). 단계 1009에서, (예컨대, 보정된 이미지에서 참조 이미지를 빼는 것 및 결함 검출 알고리즘을 적용하는 것에 의해) 샘플 상의 결함을 검출하기 위해 보정된 이미지가 사용될 수 있다.
- [0046] 본 개시의 실시형태는 여러 면에서 유리하다. (예컨대, 사이드 모니터 서브시스템(220)를 사용하여) 소스(21

2)의 휘도 분포를 2차원 이미지로 모니터링하고 (예컨대, 멀티 셀 검출기(237)를 사용하여) 빔(201)과 일직선인 포지션에서 휘도 분포를 모니터링함으로써 시간적, 공간적 도메인에서 조명 프로파일의 변화를 보정할 수 있다. 이 보정을 위한 측정이 여러 번 수행되기 때문에, 각각의 측정은 서로를 강화시킨다(예를 들어, 모니터 서브시스템(220) 및 멀티 셀 검출기(237) 모두가 샘플(250)의 필드 평면에서의 왜곡에 대해 조정되기 때문에).

[0047] 또한, 빔 안정화를 위한 피드백은 불안정한 지터링 조명 소스를 사용할 때 이미지 충실도를 크게 향상시킨다. EUV 빔 경로 지오메트리의 실시간의 직접 측정에 의해 빔 안정화가 달성될 수 있다. 또한, 빔(201)의 경로에서 초과 각도 공간을 사용하여 다중 광학 진단 측정치를 얻을 수 있다. 메인 빔(main beam)(201)의 사용이 감소되고 이에 따라 검출기 어셈블리(260)의 TDI 센서 상의 광자 카운트는 영향을 받지 않는다. 추가적으로, 주변 모니터링은 메인 빔(201)과의 임의의 상호작용을 회피하고 따라서 바람직하지 않은 수차(aberration)의 도입을 방지한다.

[0048] 여기에 설명된 모든 방법은 방법 실시형태의 하나 이상의 단계의 결과들을 메모리에 저장하는 단계를 포함할 수 있다. 결과들은 여기에 설명된 임의의 결과들을 포함할 수 있고 당업계에 공지된 임의의 방식으로 저장될 수 있다. 메모리는 여기에 설명된 임의의 메모리 또는 당업계에 공지된 임의의 다른 적합한 저장 매체를 포함할 수 있다. 결과들이 저장된 후에, 결과들은 메모리에서 액세스되고, 여기에 설명된 임의의 방법 또는 시스템 실시형태에 의해 사용되고, 사용자에게 대한 디스플레이를 위해 포맷되고, 다른 소프트웨어 모듈, 방법, 또는 시스템 등에 의해 사용될 수 있다. 또한, 결과는 “영구적으로”, “반영구적으로”, “일시적으로”, 또는 일정 기간 동안 저장될 수 있다. 예를 들어, 메모리는 RAM(Random Access Memory)일 수 있으며 결과는 반드시 메모리 내에 무한정 지속되는 것은 아니다.

[0049] 당업자는 여기에 설명된 컴포넌트 동작, 디바이스, 객체, 및 이에 수반되는 논의가 개념적 명료성을 위해 예로서 사용되며 다양한 구성 수정이 고려된다는 것을 인식할 것이다. 결과적으로, 본 명세서에서 사용된 바와 같이, 제시된 특정 예시 및 수반되는 논의는 보다 일반적인 클래스를 대표하도록 의도된다. 일반적으로 특정 예제의 사용은 해당 클래스를 대표하기 위한 것이며 특정 컴포넌트, 동작, 디바이스, 및 개체를 포함하지 않는 것이 한정으로 간주되어서는 안된다.

[0050] 본 명세서에서 실질적으로 임의의 복수 및/또는 단수 용어의 사용과 관련하여, 당업자는 문맥 및/또는 적용에 적합한대로 복수에서 단수로 및/또는 단수에서 복수로 번역할 수 있다. 다양한 단수/복수 순열은 명확성을 위해 여기에서 명시적으로 설명하지 않는다.

[0051] 여기에 설명된 주제는 때때로 다른 컴포넌트 내에 포함되거나 다른 컴포넌트와 연결된 다른 컴포넌트를 예시한다. 그러한 묘사된 아키텍처는 단지 예시일 뿐이며 실제로 동일한 기능을 달성하는 많은 다른 아키텍처가 구현될 수 있음을 이해해야 한다. 개념적 의미에서, 동일한 기능을 달성하기 위한 컴포넌트의 모든 배열은 원하는 기능이 달성되도록 효과적으로 “연관”된다. 따라서, 특정 기능을 달성하기 위해 여기에서 결합된 임의의 두 컴포넌트는 아키텍처 또는 중간 컴포넌트에 관계없이 원하는 기능이 달성되도록 서로 “연관된” 것으로 볼 수 있다. 마찬가지로, 이와 같이 연관된 두 컴포넌트는 원하는 기능을 달성하기 위해 서로 “연결” 또는 “결합”된 것으로 볼 수 있으며, 그렇게 연관될 수 있는 두 컴포넌트는 원하는 기능을 달성하기 위해 서로에게 “결합 가능”으로 볼 수도 있다. 결합형의 특징에는 물리적으로 결합 가능하고/하거나 물리적으로 상호 작용하는 컴포넌트 및/또는 무선으로 상호 작용할 수 있는 및/또는 무선으로 상호 작용하는 컴포넌트 및/또는 논리적으로 상호 작용하는 및/또는 논리적으로 상호 작용할 수 있는 컴포넌트를 포함하지만 이것에 한정되지는 않는다.

[0052] 또한, 본 발명은 첨부된 청구 범위에 의해 정의된다는 것을 이해해야 한다. 일반적으로 본 명세서에서, 특히 첨부된 청구 범위(예를 들어, 첨부된 청구 범위의 본문)에서 사용된 용어는 일반적으로 “개방된” 용어(예를 들어, “포함하는”이라는 용어는 “포함하지만 이에 제한되지 않는”으로 해석되고, 용어 “갖는”은 “적어도 갖는”으로 해석되어야 하며, “포함하는”이라는 용어는 “포함하지만 이에 제한되지 않는” 등)로 해석되어야 한다. 특정 수의 도입된 청구항 인용이 의도된 경우, 그러한 의도가 청구항에서 명시적으로 인용될 것이며, 그러한 인용이 없는 경우 그러한 의도가 존재하지 않는다는 것이 당업자에 의해 추가로 이해될 것이다. 예를 들어, 이해를 돕기 위해, 다음의 첨부된 청구 범위는 청구 인용을 소개하기 위해 소개 문구 “적어도 하나” 및 “하나 이상”의 사용을 포함할 수 있다. 그러나, 그러한 문구의 사용은 부정 관사 “a” 또는 “an”에 의한 청구 인용의 도입이 그러한 도입된 청구 인용을 포함하는 특정 청구항을 그러한 인용을 하나만 포함하는 발명으로 제한한다는 것을 의미하는 것으로 해석되어서는 안되고, 동일한 청구는 “하나 이상” 또는 “적어도 하나”라는 소개 문구와 “a” 또는 “an”과 같은 비한정 관사를 포함하고(예 : “a” 및/또는 “an”은 일반적으로 “at least one” 또는 “one or more”를 의미하는 것으로 해석되어야 함); 청구 인용을 도입하는 데 사용되는 정

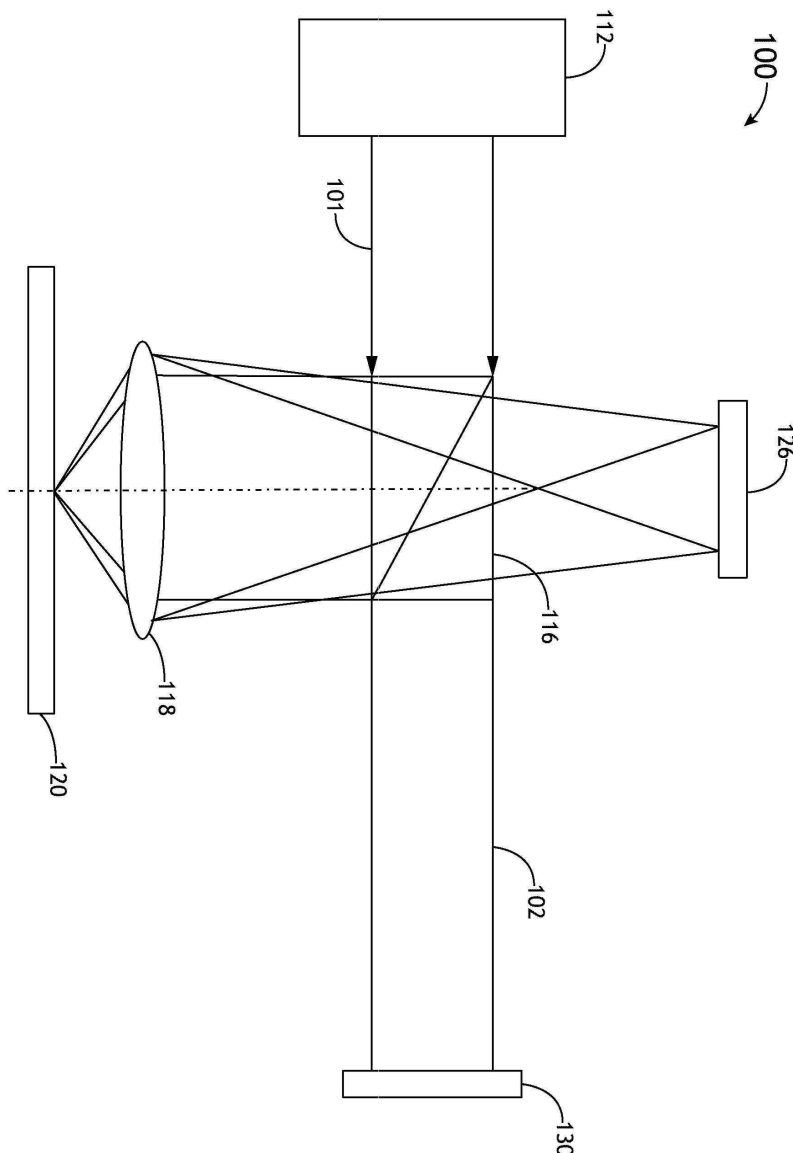
관사의 사용도 마찬가지이다. 또한, 도입된 청구 인용의 특정 개수가 명시적으로 인용되더라도, 당업자는 그러한 인용이 일반적으로 적어도 인용된 숫자를 의미하는 것으로 해석되어야 한다는 것을 인식할 것입니다(예를 들어, “두 인용”의 맨 인용, 다른 수식어가 없는 경우 일반적으로 적어도 두 개의 인용 또는 두 개 이상의 인용을 의미한다. 또한, “A, B 및 C 등 중 적어도 하나”와 유사한 관례가 사용되는 경우, 일반적으로 그러한 구조는 당업자가 관례를 이해할 것이라는 의미에서 의도된다(예를 들어, “A, B 및 C 중 적어도 하나를 갖는 시스템”은 A 단독, B 단독, C 단독, A와 B를 함께, A와 C를 함께, B와 C를 함께 및/또는 A, B 및 C를 함께 갖는 시스템을 포함하지만 이것에 한정되지는 않는다). 설명, 청구 범위, 또는 도면에 있는 간에 둘 이상의 대체 용어를 제시하는 사실상 임의의 분리 단어 및/또는 구는 용어 중 하나, 용어 중 다른 하나, 또는 두 용어 모두를 포함할 수 있는 가능성을 고려하기 위한 것으로 이해되어야 한다는 것을 당업자는 더 잘 이해할 것이다. 예를 들어, “A 또는 B”라는 문구는 “A” 또는 “B” 또는 “A 및 B”의 가능성을 포함하는 것으로 이해된다.

[0053]

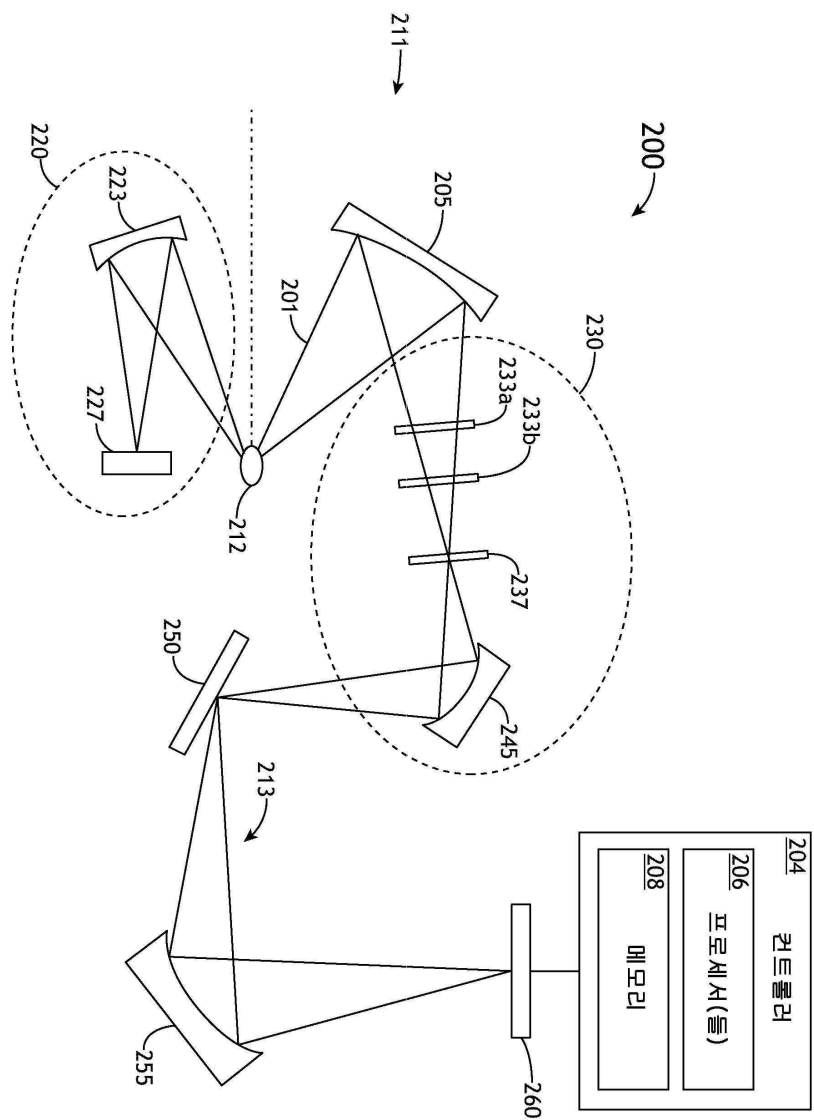
본 개시 및 수반되는 다수의 장점들은 상기 설명에 의해 이해될 것으로 믿어지며, 개시된 주제로부터 벗어나지 않거나 그 주요 장점들 전체를 희생하지 않고 컴포넌트들의 형태, 구성 및 편성으로 다양한 변경이 이루어질 수 있음이 명백하다. 설명된 형태는 단지 설명적인 것이며, 다음의 청구 범위는 그러한 변경을 포괄하고 포함하는 것이다. 또한, 본 발명은 첨부된 청구 범위에 의해 정의된다는 것을 이해해야 한다.

도면

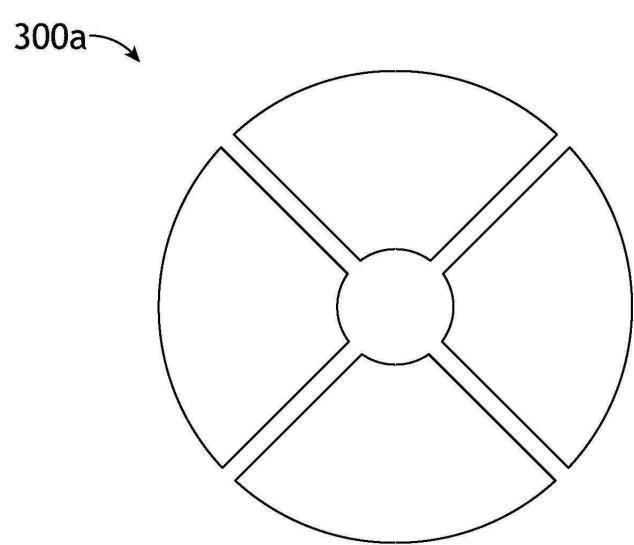
도면1



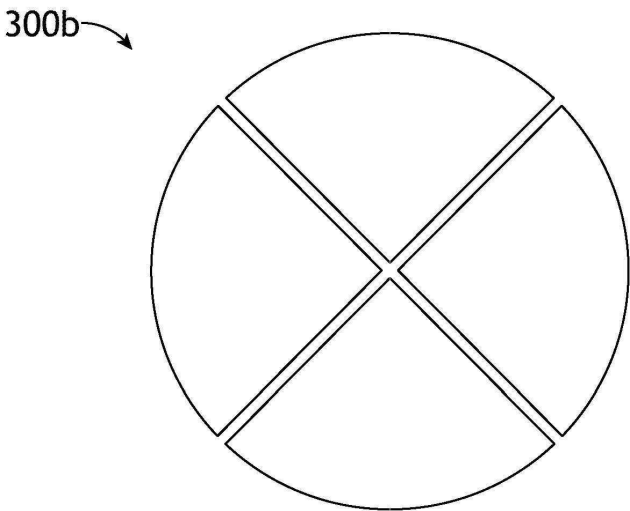
도면2



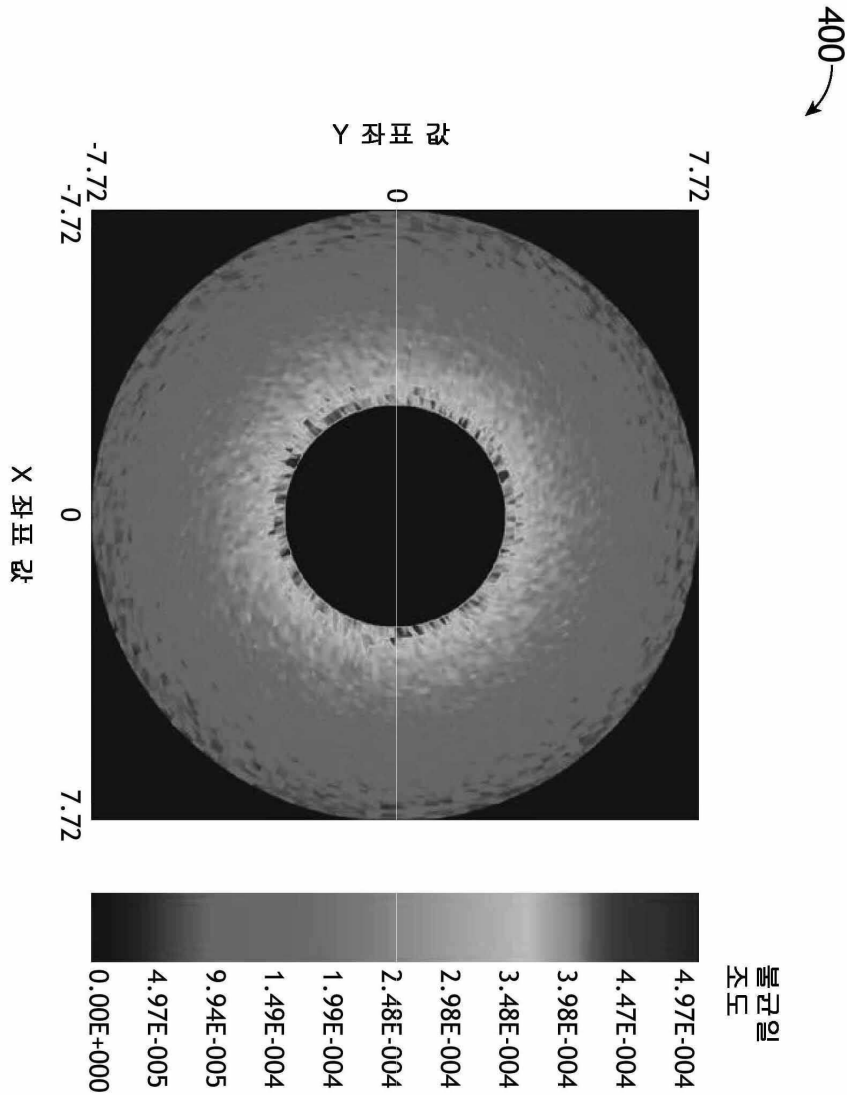
도면3a



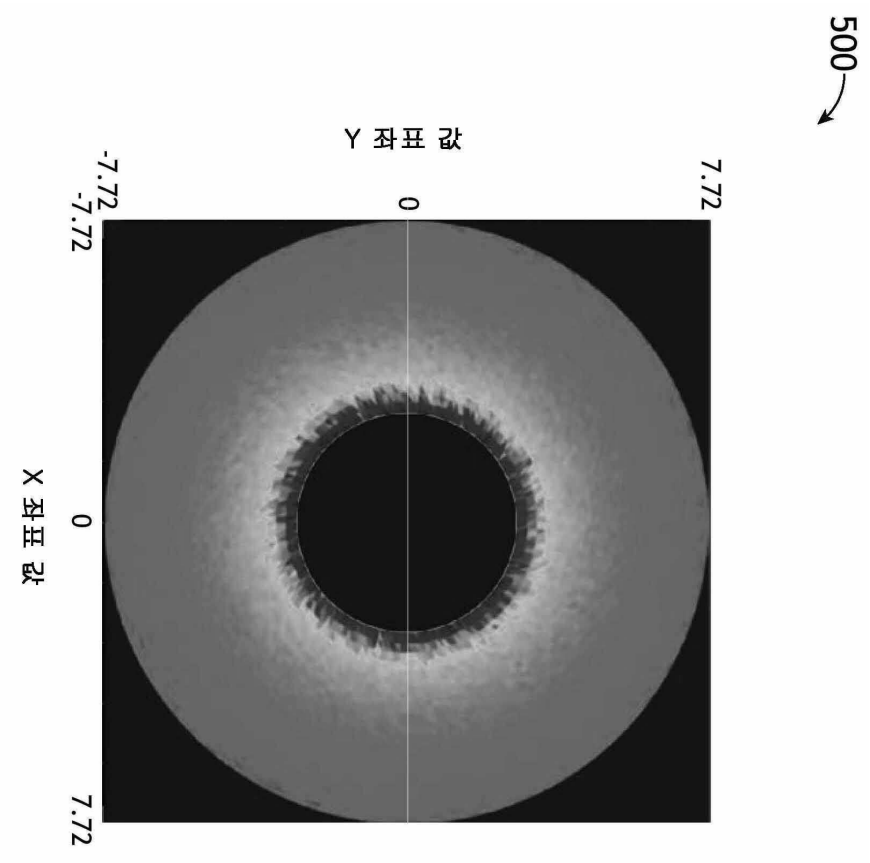
도면3b



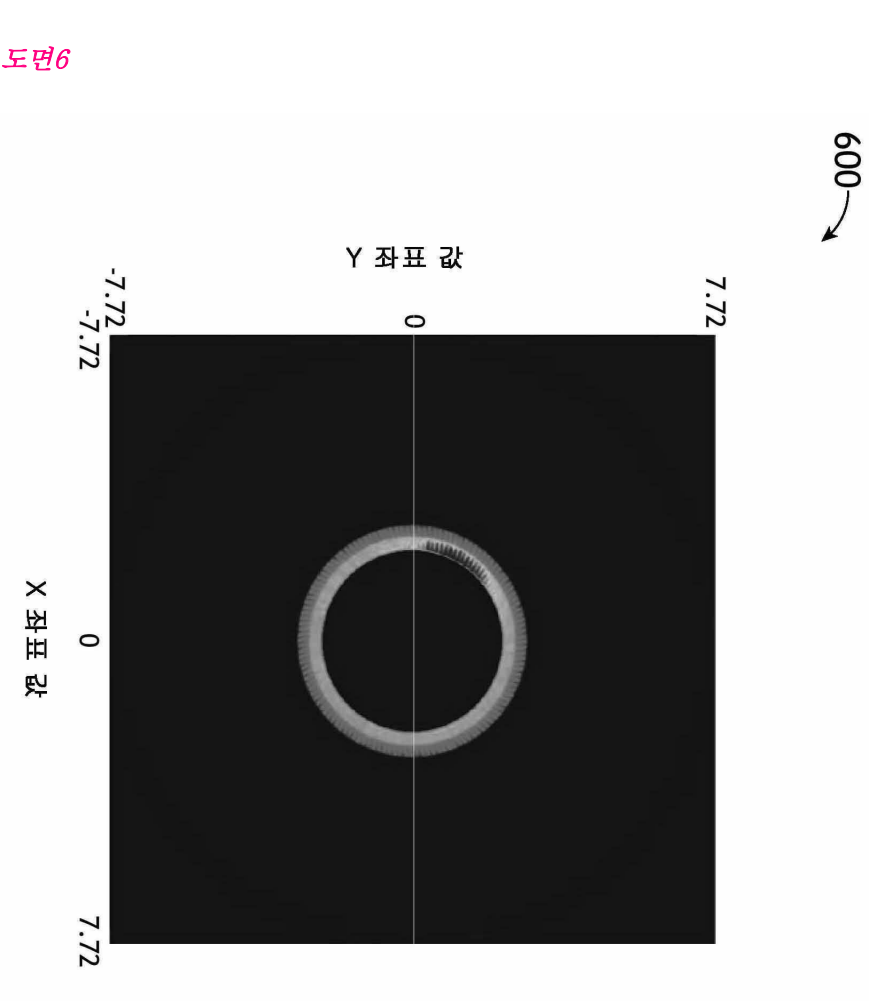
도면4



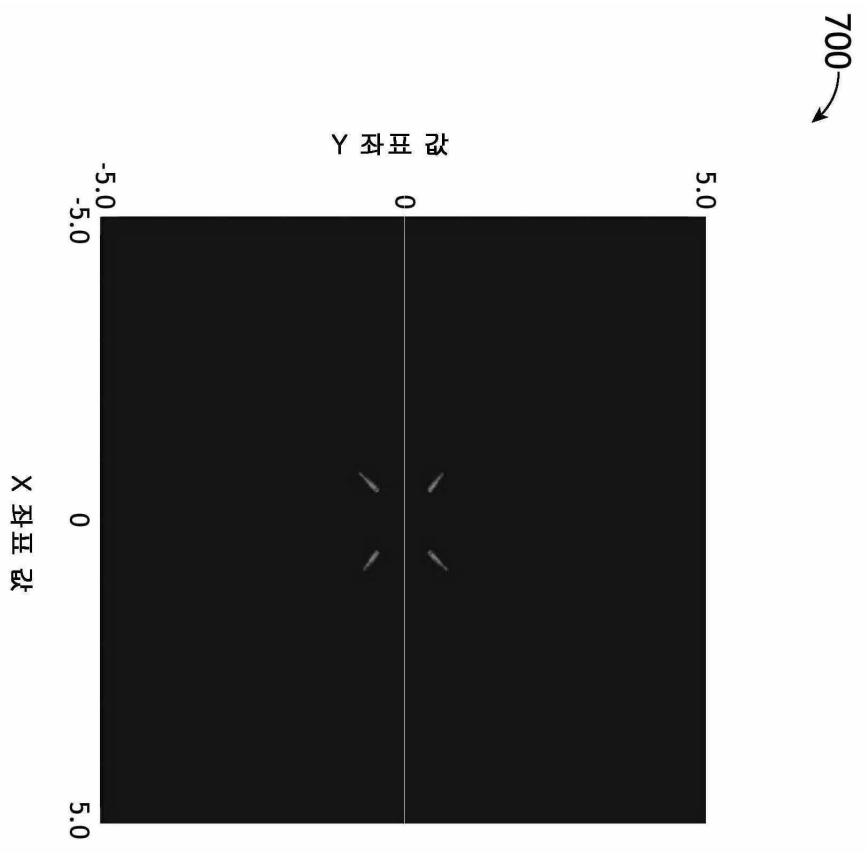
도면5



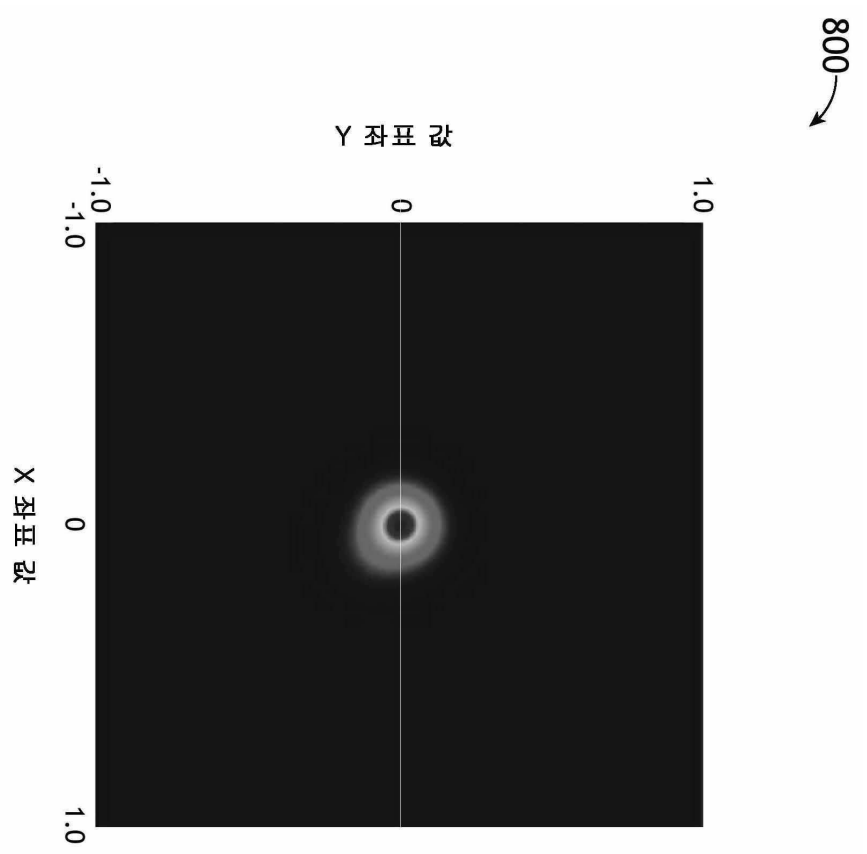
도면6



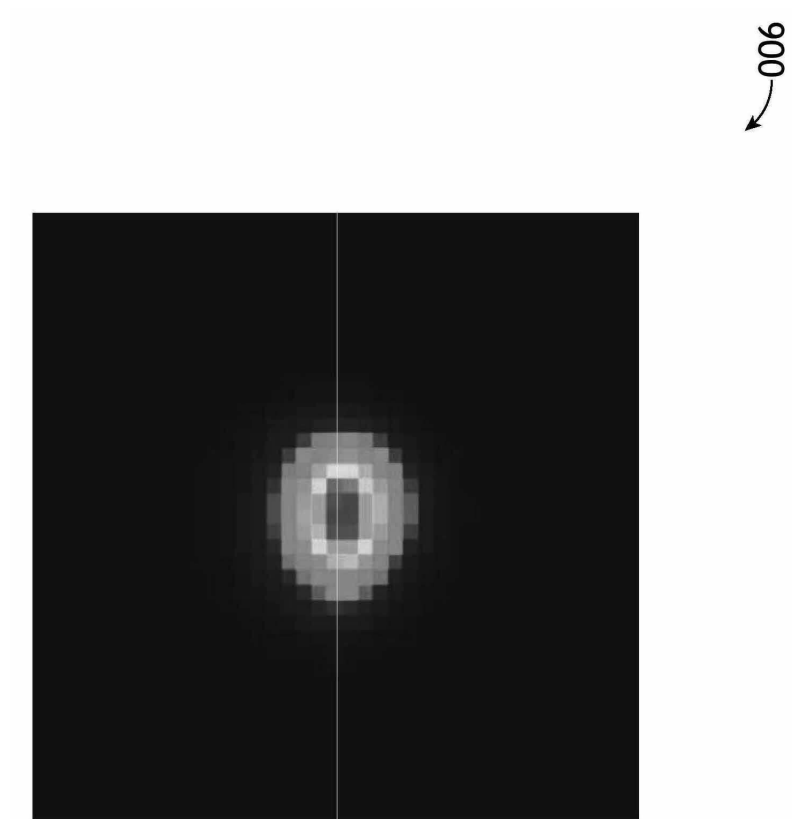
도면7



도면8



도면9



도면10

