



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년01월30일

(11) 등록번호 10-2630492

(24) 등록일자 2024년01월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01N 21/95 (2006.01) G01N 21/45 (2006.01)

G01N 21/47 (2006.01) G01N 21/88 (2006.01)

G06T 7/00 (2017.01) H01L 21/66 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G01N 21/9501 (2013.01)

G01N 21/45 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2022-7004285

(22) 출원일자(국제) 2020년07월08일

심사청구일자 2023년06월28일

(85) 번역문제출일자 2022년02월08일

(65) 공개번호 10-2022-0031687

(43) 공개일자 2022년03월11일

(86) 국제출원번호 PCT/US2020/041088

(87) 국제공개번호 WO 2021/007262

국제공개일자 2021년01월14일

(30) 우선권주장

62/871,872 2019년07월09일 미국(US)

16/913,396 2020년06월26일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

JP2018515782 A

(뒷면에 계속)

전체 청구항 수 : 총 20 항

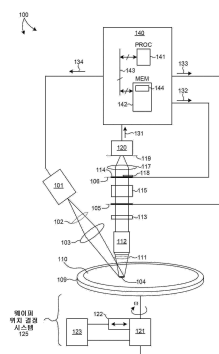
심사관 : 한별

(54) 발명의 명칭 광학 표면 결함 재료 특성화를 위한 방법 및 시스템

(57) 요약

샘플로부터의 암시야 산란의 위상에 기초하여 결함을 검출하고 분류하기 위한 방법 및 시스템이 본원에서 설명된다. 몇몇 실시형태에서, 동일한 광학 시스템을 사용하여 결함을 검출하고 분류하는 것에 의해 스루풋이 증가된다. 하나의 양태에서, 결함은 수집 동공 내의 적어도 두 개의 공간적으로 별개의 위치로부터 수집되는 산란된 광의 측정된 상대적 위상에 기초하여 분류된다. 동공 평면에 있는 임의의 두 개의 공간적으로 별개의 위치를 통해 투과되는 광 사이의 위상 차이는, 만약 있다면, 이미징 평면에서의 간섭 줄무늬의 포지션으로부터 결정된다. 측정된 위상 차이는 측정된 샘플의 재료 조성을 나타낸다. 다른 양태에서, 검사 시스템은 수집 동공 내의 상이한 프로그래밍 가능한 위치에서 동공을 샘플링하도록 구성되는 프로그래밍 가능한 동공 어퍼처 디바이스를 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G01N 21/47 (2013.01)
G01N 21/8806 (2013.01)
G01N 21/8851 (2013.01)
G01N 21/9505 (2013.01)
G06T 7/0004 (2013.01)
H01L 22/12 (2013.01)
G01N 2021/8822 (2013.01)
G01N 2021/8854 (2013.01)
G01N 2021/8887 (2013.01)

(72) 발명자

령 젠-쿠엔

미국 캘리포니아주 95129 산 호세 록헤븐 웨이
1187

울터스 크리스천

미국 캘리포니아주 95129 산 호세 새디 애비뉴
5073

(56) 선행기술조사문헌

JP2019502928 A
US06462807 B1
US20080174786 A1
US20130010306 A1
US20150204729 A1
US20180088469 A1
US20180188188 A1

명세서

청구범위

청구항 1

시스템으로서,

시료 상에 배치된 관심 대상 결함(defect of interest)으로 지향되는 제1 인스턴스의 조명 광 및 제2 인스턴스의 조명 광을 생성하도록 구성된 조명 소스;

상기 제1 인스턴스의 조명 광에 응답하여 상기 관심 대상 결함으로부터 제1 양의 수집된 광을 그리고 상기 제2 인스턴스의 조명 광에 응답하여 상기 관심 대상 결함으로부터 제2 양의 수집된 광을 수집하도록 구성된 수집 대물 렌즈(collection objective) - 상기 제1 양의 수집된 광 및 상기 제2 양의 수집된 광은 수집 대물 렌즈의 수집 동공(collection pupil) 내의 암시야(dark field) 산란 광을 포함함 -;

상기 제1 인스턴스의 조명 광이 상기 관심 대상 결함으로 지향되는 동안에는 제1 구성으로 배치되고 상기 제2 인스턴스의 조명 광이 상기 관심 대상 결함으로 지향되는 동안에는 제2 구성으로 배치되는 하나 이상의 마스크 엘리먼트 - 상기 제1 구성의 상기 하나 이상의 마스크 엘리먼트는 상기 수집 동공 내의 적어도 2 개의 공간적으로 별개의 영역으로부터 상기 제1 양의 수집된 광의 부분을 투과시키고, 상기 제2 구성의 상기 하나 이상의 마스크 엘리먼트는 상기 수집 동공 내의 적어도 2 개의 공간적으로 별개의 영역으로부터 상기 제2 양의 수집된 광의 부분을 투과시키고, 상기 제2 구성의 상기 적어도 2 개의 공간적으로 별개의 영역 중 적어도 하나의 영역은, 상기 제1 구성의 상기 적어도 2 개의 공간적으로 별개의 영역 중 적어도 하나의 영역과는 상이함 -;

상기 시료의 표면에 공액(conjugate)인 필드 평면(field plane)에서 또는 그 근처에서 위치되는 감광성 표면을 갖는 이미징 검출기 - 상기 이미징 검출기는 상기 필드 평면에서 또는 그 근처에서 상기 제1 양의 수집된 광의 상기 투과 부분에 의해 형성되는 제1 간섭 패턴을 그리고 상기 필드 평면에서 또는 그 근처에서 상기 제2 양의 수집된 광의 상기 투과 부분에 의해 형성되는 제2 간섭 패턴을 검출하도록 구성됨 -; 및

하나 이상의 프로세서

를 포함하고, 상기 하나 이상의 프로세서는:

상기 제1 및 제2 간섭 패턴을 나타내는 출력 신호를 수신하도록; 그리고

상기 제1 및 제2 간섭 패턴에 기초하여 상기 관심 대상 결함을 분류하도록

구성되는 것인, 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제1 간섭 패턴은 상기 제1 구성의 상기 적어도 2 개의 공간적으로 별개의 영역 중 제1 영역으로부터의 상기 투과된 광과 상기 제1 구성의 상기 적어도 2 개의 공간적으로 별개의 영역 중 제2 영역으로부터의 상기 투과된 광 사이의 제1 위상 차이를 나타내고, 상기 제2 간섭 패턴은 상기 제2 구성의 상기 적어도 2 개의 공간적으로 별개의 영역 중 제1 영역으로부터의 상기 투과된 광과 상기 제2 구성의 상기 적어도 2 개의 공간적으로 별개의 영역 중 제2 영역으로부터의 상기 투과된 광 사이의 제2 위상 차이를 나타내는 것인, 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 관심 대상 결함을 분류하는 것은, 상기 제1 및 제2 간섭 패턴에 기초하여 상기 결함의 재료 조성을 결정하는 것을 수반하는 것인, 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 하나 이상의 마스크 엘리먼트는 상기 수집 대물 렌즈의 동공 평면, 상기 수집 대물 렌즈의 상기 동공에 공액인 동공 평면, 또는 이들의 임의의 조합에서 또는 그 근처에서 위치되는 것인, 시스템.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 조명 광의 파장은 상기 시료의 상기 표면 상에 투영된(projected) 상기 이미징 검출기의 픽셀의 이미지의 사이즈보다 적어도 3 배 더 큰, 시스템.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 수집 동공 내의 상기 적어도 2 개의 공간적으로 별개의 영역 중 제1 영역과 상기 수집 동공 내의 상기 적어도 2 개의 공간적으로 별개의 영역 중 제2 영역 사이의 공간적 분리는 0.1 NA(개구수; Numerical Aperture)에서부터 0.9 NA까지의 범위에 걸쳐 있는(span), 시스템.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 수집 동공 내의 상기 적어도 2 개의 공간적으로 별개의 영역 중 제1 영역 및 상기 수집 동공 내의 상기 적어도 2 개의 공간적으로 별개의 영역 중 제2 영역은 상기 수집 동공의 중심에 대해 대칭적으로 위치되는, 시스템.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 수집 동공 내의 상기 적어도 2 개의 공간적으로 별개의 영역 중 제1 영역에서 상기 제1 구성의 상기 하나 이상의 마스크 엘리먼트에 의해 형성되는 제1 어퍼처 개구의 사이즈는, 0.01 NA에서부터 0.3 NA까지의 범위 내에 있고, 상기 수집 동공 내의 상기 적어도 2 개의 공간적으로 별개의 영역 중 제2 영역에서 상기 제1 구성의 상기 하나 이상의 마스크 엘리먼트에 의해 형성되는 제2 어퍼처 개구의 사이즈는, 0.01 NA에서부터 0.3 NA까지의 범위 내에 있는 것인, 시스템.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 제1 어퍼처 개구의 상기 사이즈는 상기 제2 어퍼처 개구의 상기 사이즈와는 상이한 것인, 시스템.

청구항 10

제8항에 있어서,

상기 제1 어퍼처 개구가 상기 하나 이상의 마스크 엘리먼트에 의해 형성되는 상기 제1 영역에서 또는 그 근처에서 상기 제1 구성의 상기 하나 이상의 마스크 엘리먼트에 의해 선택되는 상기 투과된 광의 광학 경로에 배치되는 중성 밀도 필터(neutral density filter)를 더 포함하는, 시스템.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 하나 이상의 마스크 엘리먼트 중 제1 마스크 엘리먼트에 커플링되는 제1 액추에이터 - 상기 제1 액추에이터는 상기 하나 이상의 프로세서에 통신 가능하게 커플링됨 - 를 더 포함하되, 상기 제1 액추에이터는, 상기 하나 이상의 프로세서로부터 상기 제1 액추에이터로 전달되는 제1 제어 커맨드에 응답하여 상기 제1 마스크 엘리먼트를 제1의 소망되는 포지션(desired position)으로 이동시키는 것인, 시스템.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 하나 이상의 마스크 엘리먼트 중 제2 마스크 엘리먼트에 커플링되는 제2 액추에이터 - 상기 제2 액추에이터는 상기 하나 이상의 프로세서에 통신 가능하게 커플링됨 - 를 더 포함하되, 상기 제2 액추에이터는, 상기 하나 이상의 프로세서로부터 상기 제2 액추에이터로 전달되는 제2 제어 커맨드에 응답하여 상기 제2 마스크 엘리먼트를 제2의 소망되는 포지션으로 이동시키는 것인, 시스템.

청구항 13

제1항에 있어서,

상기 수집 대물 렌즈는, 적어도, 0.1 NA에서부터 0.99 NA까지의 범위에 걸쳐 있는 개구수(Numerical Aperture; NA)를 갖는 것인, 시스템.

청구항 14

방법으로서,

시료 상에 배치된 관심 대상 결함으로 지향되는 제1 인스턴스의 조명 광 및 제2 인스턴스의 조명 광을 생성하는 단계;

상기 제1 인스턴스의 조명 광에 응답하여 상기 시료로부터 제1 양의 수집된 광을 수집하는 단계;

상기 제2 인스턴스의 조명 광에 응답하여 상기 시료로부터 제2 양의 수집된 광을 수집하는 단계 - 상기 제1 양의 수집된 광 및 상기 제2 양의 수집된 광은 수집 대물 렌즈의 수집 동공 내의 암시야 산란 광을 포함함 -;

상기 제1 양의 수집된 광의 부분을 투과시키는 단계 - 상기 제1 양의 수집된 광의 상기 부분은, 상기 수집 동공 내의 적어도 2 개의 공간적으로 별개의 영역으로부터 제1 구성의 하나 이상의 마스크 엘리먼트에 의해 선택됨 -;

상기 제2 양의 수집된 광의 부분을 투과시키는 단계 - 상기 제2 양의 수집된 광의 상기 부분은, 상기 수집 동공 내의 적어도 2 개의 공간적으로 별개의 영역으로부터 제2 구성의 하나 이상의 마스크 엘리먼트에 의해 선택되고, 상기 제2 구성의 상기 적어도 2 개의 공간적으로 별개의 영역 중 적어도 하나의 영역은, 상기 제1 구성의 상기 적어도 2 개의 공간적으로 별개의 영역 중 적어도 하나의 영역과는 상이함 -;

상기 시료의 표면에 공액인 필드 평면에서 또는 그 근처에서 상기 제1 양의 수집된 광의 상기 투과된 부분에 의해 형성된 제1 간섭 패턴을 검출하는 단계;

상기 시료의 상기 표면에 공액인 필드 평면에서 또는 그 근처에서 상기 제2 양의 수집된 광의 상기 투과된 부분에 의해 형성된 제2 간섭 패턴을 검출하는 단계; 및

상기 제1 및 제2 간섭 패턴에 기초하여 상기 관심 대상 결함을 분류하는 단계

를 포함하는 방법.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 하나 이상의 마스크 엘리먼트는 상기 수집 대물 렌즈의 동공 평면, 상기 수집 대물 렌즈의 상기 동공에 공액인 동공 평면, 또는 이들의 임의의 조합에서 또는 그 근처에서 위치되는 것인, 방법.

청구항 16

제14항에 있어서,

상기 관심 대상 결함을 분류하는 단계는 상기 제1 및 제2 간섭 패턴에 기초하여 상기 결함의 재료 조성을 결정하는 단계를 수반하는 것인, 방법.

청구항 17

제14항에 있어서,

상기 제1 간섭 패턴은 상기 제1 구성의 상기 적어도 2 개의 공간적으로 별개의 영역 중 제1 영역으로부터의 상기 투과된 광과 상기 제1 구성의 상기 적어도 2 개의 공간적으로 별개의 영역 중 제2 영역으로부터의 상기 투과된 광 사이의 제1 위상 차이를 나타내고, 상기 제2 간섭 패턴은 상기 제2 구성의 상기 적어도 2 개의 공간적으로 별개의 영역 중 제1 영역으로부터의 상기 투과된 광과 상기 제2 구성의 상기 적어도 2 개의 공간적으로 별개의 영역 중 제2 영역으로부터의 상기 투과된 광 사이의 제2 위상 차이를 나타내는 것인, 방법.

청구항 18

제14항에 있어서,

상기 조명 광의 파장은 상기 시료의 표면 상에 투영된 이미징 검출기의 픽셀의 이미지의 사이즈보다 적어도 3 배 더 크며, 상기 이미징 검출기는 상기 제1 및 제2 간섭 패턴을 검출하도록 사용되는 것인, 방법.

청구항 19

시스템으로서,

시료 상에 배치된 관심 대상 결합으로 지향되는 제1 인스턴스의 조명 광 및 제2 인스턴스의 조명 광을 생성하도록 구성된 조명 소스;

상기 제1 인스턴스의 조명 광에 응답하여 상기 관심 대상 결합으로부터 제1 양의 수집된 광을 그리고 상기 제2 인스턴스의 조명 광에 응답하여 상기 관심 대상 결합으로부터 제2 양의 수집된 광을 수집하도록 구성된 수집 대물 렌즈 - 상기 제1 양의 수집된 광 및 상기 제2 양의 수집된 광은 수집 대물 렌즈의 수집 동공 내의 암시야 산란 광을 포함함 -;

상기 제1 인스턴스의 조명 광이 상기 관심 대상 결합으로 지향되는 동안에는 제1 구성으로 배치되고 상기 제2 인스턴스의 조명 광이 상기 관심 대상 결합으로 지향되는 동안에는 제2 구성으로 배치되는 하나 이상의 마스크 엘리먼트 - 상기 제1 구성의 상기 하나 이상의 마스크 엘리먼트는 상기 수집 동공 내의 적어도 2 개의 공간적으로 별개의 영역으로부터 상기 제1 양의 수집된 광의 부분을 투과시키고, 상기 제2 구성의 상기 하나 이상의 마스크 엘리먼트는 상기 수집 동공 내의 적어도 2 개의 공간적으로 별개의 영역으로부터 상기 제2 양의 수집된 광의 부분을 투과시키고, 상기 제2 구성의 상기 적어도 2 개의 공간적으로 별개의 영역 중 적어도 하나의 영역은, 상기 제1 구성의 상기 적어도 2 개의 공간적으로 별개의 영역 중 적어도 하나의 영역과는 상이함 -;

상기 시료의 표면에 공액인 필드 평면에서 또는 그 근처에서 위치되는 감광성 표면을 갖는 이미징 검출기 - 상기 이미징 검출기는 상기 필드 평면에서 또는 그 근처에서 상기 제1 양의 수집된 광의 상기 투과 부분에 의해 형성되는 제1 간섭 패턴을 그리고 상기 필드 평면에서 또는 그 근처에서 상기 제2 양의 수집된 광의 상기 투과 부분에 의해 형성되는 제2 간섭 패턴을 검출하도록 구성됨 -; 및

명령어를 저장하는 비일시적 컴퓨터 판독 가능 매체

를 포함하며, 상기 명령어는, 하나 이상의 프로세서에 의해 실행될 때, 상기 하나 이상의 프로세서로 하여금:

상기 제1 및 제2 간섭 패턴을 나타내는 출력 신호를 수신하게 하고; 그리고

상기 제1 및 제2 간섭 패턴에 기초하여 상기 관심 대상 결합을 분류하게 하는 것인, 시스템.

청구항 20

제19항에 있어서,

상기 조명 광의 파장은 상기 시료의 상기 표면 상에 투영된 상기 이미징 검출기의 픽셀의 이미지의 사이즈보다 적어도 3 배 더 큰, 시스템.

청구항 21

삭제

청구항 22

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 관련된 출원에 대한 교차 참조

[0002] 본 특허 출원은, 35 U.S.C. § 119 하에서, 2019년 7월 9일자로 출원된 발명의 명칭이 "Method Of Defect Material Characterization Using Optical Microscope"인 미국 특허 가출원 일련 번호 제62/871,872호로부터의 우선권을 주장하며, 그 가출원의 주제는 그 전체가 참조에 의해 본원에 통합된다.

[0003] 기술 분야

[0004] 설명되는 실시형태는 표면 검사를 위한 시스템에 관한 것으로, 특히 반도체 웨이퍼 검사 모달리티(modality)에 관한 것이다.

배경 기술

[0005] 논리 디바이스 및 메모리 디바이스와 같은 반도체 디바이스는, 기판 또는 웨이퍼에 적용되는 일련의 프로세싱 단계에 의해 통상적으로 제조된다. 반도체 디바이스의 다양한 피쳐(feature) 및 다수의 구조적 레벨(structural level)은 이들 프로세싱 단계에 의해 형성된다. 예를 들면, 다른 것들 중에서도 리소그래피는 반도체 웨이퍼 상에 패턴을 생성하는 것을 수반하는 하나의 반도체 제조 프로세스이다. 반도체 제조 프로세스의 추가적인 예는, 화학적 기계적 연마, 에칭, 퇴적(deposition), 및 이온 주입을 포함하지만, 그러나 이들로 제한되는 것은 아니다. 다수의 반도체 디바이스는 단일의 반도체 웨이퍼 상에서 제조될 수도 있고, 그 다음, 개개의 반도체 디바이스로 분리될 수도 있다.

[0006] 반도체 제조 환경은 웨이퍼의 오염을 최소화하기 위해 주의 깊게 제어된다. 원치 않는 재료 입자는 제조 프로세스를 방해하거나, 제조된 디바이스의 성능을 저하시키거나, 또는 둘 모두를 행한다. 반도체 설계 규칙이 계속 진화함에 따라, 기판의 균일성 및 청결도에 대한 요건이 계속 강화되고 있다. 결함의 허용 가능한 수 및 최대 허용 입자 사이즈는, 제조 중인 디바이스의 사이즈에 따라 증감된다.

[0007] 일반적으로, 검사 시스템은 생산 프로세스의 임의의 지점에서 샘플 상의 임의의 타입의 결함을 검출한다. 몇몇 예에서, 검사 시스템은, 기판이 연속된 제조에 적절하다는 것을 보장하기 위해 또는 생산 이전에 웨이퍼 상의 결함 사이트를 식별하기 위해, 프로세싱 이전에 기판 상의 결함의 위치를 결정하도록 일반적으로 활용된다. 하나의 그러한 검사 시스템은, 소망되지 않는 입자에 대해 웨이퍼 표면을 조사하고 검사하는 광학 표면 검사 시스템이다. 광학 표면 검사 시스템은, 통상적으로, 결함의 위치를 결정하고 각각의 검사된 웨이퍼 상에 위치되는 결함의 맵을 생성하는 고스루풋 시스템이다.

[0008] 또한, 재료 타입, 구조적 특성, 등등에 의해 결함을 분류하는 것이 종종 바람직하다. 통상적으로, 결함 분류 작업을 수행하기 위해 별개의 결함 리뷰 도구(defect review tool)가 활용된다. 몇몇 예에서, 결함은 광학 검사 도구에 의해 위치 결정된다. 검사된 웨이퍼 및 결함 위치 맵은 결함 리뷰 도구로 전송된다. 결함 리뷰 도구는, 광학 검사 시스템에 의해 식별되는 결함 위치의 하나 이상의 상세한 분석을 수행하여 각각의 위치에서의 결함을 분류한다.

[0009] 결함은 종종 재료 구성에 의해 분류된다. 하나의 예에서, 결함 재료 구성의 지식은, 오퍼레이터가 웨이퍼에서 결함 입자를 제거하기 위한 적절한 세정 프로시저를 결정하는 것을 가능하게 한다. 다른 예에서, 결함 재료 구성의 지식은 웨이퍼 오염의 소스를 나타내고, 따라서, 오퍼레이터가 추가적인 웨이퍼 오염을 중지하기 위한 조치를 취하는 것을 가능하게 한다.

[0010] 전통적인 결함 분류 도구 및 기술은 작은 입자 사이즈, 스루풋, 또는 둘 모두에 대한 민감도에서 제한된다. 예를 들면, 에너지 분산 X 선 분광분석법(Energy-Dispersive X-Ray Spectrometry; EDX)은 몇몇 재료에 대해 높은 민감도에서 결함 재료 분석 성능을 제공하지만, 그러나 무기 화합물 또는 유기 입자와 같은 다른 재료에 대해서는 제공하지 않는다. 또한, EDX는 반도체 제조 시설에서의 비용 효율적인 결함 분류에 대한 불충분한 스루풋의 문제를 겪는다.

[0011] 스루풋을 증가시키기 위해서는, 결함의 위치를 검출하기 위해 활용되는 동일한 광학 검사 도구를 사용하여 적어도 몇몇 결함 분류 작업을 수행하는 것이 바람직하다. 특히, 광학 검사 도구를 사용하여 결함 조성 분석을 수행하는 것은, EDX 또는 이차 이온 질량 분광분석법(Secondary-Ion Mass Spectrometry; SIMS) 기술을 활용하는 전

통적인 분석 도구와 비교하여 상당한 이점이 있다. 광학 검사 도구를 사용하여 결함 분류를 수행하는 것은 결함 분류를 위해 웨이퍼 및 결함 맵을 다른 도구로 전송할 필요성을 제거한다. 또한, 결함 분류 결과는 광학 검사 도구로부터 즉시 이용 가능하다. 통상적인 반도체 디바이스 제조 프로세스에서, 이것은 소요 시간(turnaround time)을 수 시간으로부터 수 분으로 단축한다. 또한, 광학 검사 도구를 사용한 결함 분류는 비파괴적이다; 분석은 샘플을 파괴하지 않고도, 또는 샘플로부터 재료를 제거하지 않고도, 등등으로, 수행된다.

[0012] Zhao 등등에 의한, 그리고 KLA Corporation에게 양도된 미국 특허 공개 번호 제2018/0188188호는 높은 스루풋에서 작은 입자 사이즈에 대한 충분한 민감도를 가지고 결함을 검출하고 분류하는 다양한 광학 검사 시스템을 설명하는데, 상기 공개 특허의 내용은 참조에 의해 그들 전체가 본원에 통합된다. 특히, Zhao는 결함을 분류하기 위해 위상 시프팅 위상 콘트라스트 이미징 기술(phase shifting phase contrast imaging technique)을 활용하는 광학 검사 시스템을 설명한다. 위상 시프팅 위상 콘트라스트 기술은, 정반사된 광(specularly reflected light)과 산란된 광 사이에서 상대적 위상 시프트를 도입하기 위해, 광학 시스템의 수집 동공 평면(collection pupil plane)에서 정반사된 광과 산란된 광의 공간적 분리를 필요로 한다. 이러한 공간적 분리를 달성하기 위해, 조명 빔의 분포는 대물 렌즈의 동공 평면 내의 선택된 위치로 제한된다. 이것은 조명 소스에 의해 웨이퍼에 제공되는 광자의 수를 제한하는데, 이것은, 결국에는, 광학 검사 시스템의 민감도를 제한한다.

[0013] 반도체 설계 규칙이 계속 진화함에 따라, 표면 검사 시스템에 의해 검출되어야 하는 최소 입자 사이즈는, 사이즈에서 계속해서 축소되고 있다. 또한, 결함을 검출하기 위해 활용되는 동일한 광학 도구를 사용하여 검출된 결함을 분류하는 것이 바람직하다. 제조된 피처의 사이즈에서의 꾸준한 감소 및 결함을 동시에 검출하고 분류하기 위한 소망은, 검사 시스템의 민감도 및 스루풋에 대한 도전 과제를 제시한다.

[0014] 더 큰 민감도 및 스루풋을 가지고 웨이퍼 표면 상의 조명 스팟의 검사 경로에서 결함을 검출하고 분류하기 위해, 광학 표면 검사 시스템에 대한 개선이 소망된다.

발명의 내용

[0015] 샘플로부터의 암시야(dark field) 산란의 위상에 기초하여 결함을 검출하고 분류하기 위한 방법 및 시스템이 본원에서 설명된다. 몇몇 실시형태에서, 동일한 광학 시스템을 사용하여 결함을 검출 및 분류하는 것에 의해, 즉 동일한 광학 도구에 의해 수행되는 결함 검사 및 결함 리뷰에 의해 스루풋이 증가된다. 다른 실시형태에서, 광학 검사 및 광학 리뷰 도구는 본원에서 설명되는 기술을 통합하는 것에 의해 향상된다.

[0016] 하나의 양태에서, 결함은 수집 동공 내의 적어도 두 개의 공간적으로 별개의 위치로부터 수집되는 산란된 광의 측정된 상대적 위상에 기초하여 분류된다. 특히, 결함 분류는 주어진 조명 각도에 대한 산란된 광의 측정된 상대적 위상에 기초한다. 따라서, 본원에서 설명되는 기술은 검사 시스템의 수집 광학기(collection optic)에서만 구현되고; 간단하고 비용 효율적인 광학 검사/결함 리뷰 시스템으로 귀결된다. 산란된 광은, 나머지 광은 차단되는 동안, 수집 동공 내의 적어도 두 개의 공간적으로 별개의 위치로부터 수집된다. 이들 조건 하에서, 검출기의 감광성 표면의 이미지 평면에서 잘 정의된 간섭 패턴이 형성된다. 동공 평면에 있는 두 개의 공간적으로 별개의 위치를 통해 투과되는 광 사이의 위상 차이는, 만약 있다면, 이미징 평면에서의 간섭 줄무늬의 포지션(position)으로부터 결정된다. 측정된 위상 차이는 측정된 샘플의 재료 구성을 나타낸다.

[0017] 또 다른 양태에서, 측정된 위상 차이와 시료와 관련되는 위상 차이의 공지된 값 사이의 차이는 보정 값으로서 결정된다. 몇몇 실시형태에서, 측정 중인 재료는 공지된 재료 속성 및 위상 응답을 갖는 공지된 재료이다. 이들 실시형태에서, 검사 시스템에 의해 측정되는 위상 차이와 공지된 위상 차이 사이의 차이는, 측정 시스템에서의 계통적 에러(systematic error), 예를 들면, 광학 수차, 측정 전자기기 에러, 등등을 나타낸다. 보정 값은 메모리에 저장된다. 시스템에 의해 수행되는 위상 차이의 후속하는 측정은, 위상 차이의 측정에 존재하는 계통적 에러를 보상하기 위해 저장된 보정 값에 의해 수정된다.

[0018] 다른 양태에서, 위상 차이 정보는, 고속 푸리에 변환(Fast Fourier Transform; FFT) 알고리즘을 사용하여, 검출된 이미지에서 존재하는 간섭 패턴으로부터 추출된다. FFT 알고리즘은 탁월한 노이즈 제거를 제공하며 계산적으로 효율적이다. 다른 예에서, 측정된 간섭 패턴에 대한 측정의 물리적 모델의 반복적인 적합(iterative fit)은 동공 평면 내의 두 개의 상이한 위치로부터 산란되는 광 사이의 위상 차이를 결정하기 위해 활용된다.

[0019] 다른 양태에서, 검사 시스템은 수집 동공 내의 상이한 프로그래밍 가능한 위치에서 동공을 샘플링하도록 구성되는 프로그래밍 가능한 동공 어퍼처 디바이스(pupil aperture device)를 포함한다. 이러한 방식으로, 동공 평면 내의 각각의 샘플링 포지션의 위치는 각각의 위상 차이 측정에 대해 제어된다.

[0020] 앞서 언급한 것은 개요이며, 따라서, 필요에 의해, 세부사항의 단순화, 일반화, 및 생략을 포함하며; 결과적으로, 개요는 단지 예시적인 것에 불과하며 어떠한 방식으로든 제한하는 것은 아니라는 것을 기술 분야의 숙련된 자는 인식할 것이다. 본원에 설명되는 디바이스 및/또는 프로세스의 다른 양태, 독창적인 피쳐, 및 이점은, 본원에서 기술되는 비제한적인 상세한 설명에서 명확해질 것이다.

도면의 간단한 설명

[0021] 도 1은 수집 동공 내의 별개의 위치에서 시료로부터 수집되는 산란된 광 사이의 위상 차이를 측정하도록 구성되는 검사 시스템의 하나의 실시형태를 예시하는 단순화된 다이어그램이다.

도 2는 조명 빔에 의해 조명되는 웨이퍼(110)를 예시하는 단순화된 다이어그램이다.

도 3은, 어퍼처를 통해 투과되는 광 외에는, 모든 수집된 NA에서 광을 차단하는 마스크를 예시하는 다이어그램이다.

도 4는 재료로부터 산란되고 수집 동공 내의 상이한 위치에 있는 어퍼처를 통해 투과되는 광의 간섭에 의해 생성되는 이미지 평면에서의 간섭 패턴의 시뮬레이션의 플롯을 도시한다.

도 5는, 도 4에서 도시되는 재료와는 상이한 재료로부터 산란되고 도 4에서 도시되는 것과 같은 동일한 어퍼처를 통해 투과되는 광의 간섭에 의해 생성되는 이미지 평면에서의 간섭 패턴의 시뮬레이션의 플롯을 도시한다.

도 6은, 도 4 및 도 5에서 도시되는 재료와는 상이한 재료로부터 산란되고 도 4에서 도시되는 것과 같은 동일한 어퍼처를 통해 투과되는 광의 간섭에 의해 생성되는 이미지 평면에서의 간섭 패턴의 시뮬레이션의 플롯을 도시한다.

도 7은 하나의 실시형태에서의 x 방향에서 동공의 중심에 대해 대칭적으로 위치되는 동공 어퍼처를 예시하는 다이어그램을 도시한다.

도 8은 다른 실시형태에서의 x 방향에서 동공의 중심에 대해 대칭적으로 위치되는 동공 어퍼처를 예시하는 다이어그램을 도시한다.

도 9는 하나의 실시형태에서의 y 방향에서 동공의 중심에 대해 대칭적으로 위치되는 동공 어퍼처를 예시하는 다이어그램을 도시한다.

도 10은 다른 실시형태에서의 y 방향에서 동공의 중심에 대해 대칭적으로 위치되는 동공 어퍼처를 예시하는 다이어그램을 도시한다.

도 11은 하나의 실시형태에서의 프로그래밍 가능한 동공 마스크 디바이스(pupil mask device)를 예시하는 단순화된 다이어그램이다.

도 12는 다른 실시형태에서의 프로그래밍 가능한 동공 마스크 디바이스를 예시하는 단순화된 다이어그램이다.

도 13은 수집 동공 내의 별개의 위치에서 시료로부터 수집되는 산란된 광 사이의 위상 차이를 측정하는 데 유용한 예시적인 방법(200)의 플로차트를 예시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0022] 이제, 배경 기술의 예 및 본 발명의 몇몇 실시형태를 상세히 참조할 것인데, 본 발명의 실시형태의 예는 첨부 도면에서 예시된다.

[0023] 샘플로부터의 암시야 산란의 위상에 기초하여 결함을 검출하고 분류하기 위한 방법 및 시스템이 본원에서 설명된다. 몇몇 실시형태에서, 나노미터 규모의 결함 입자가 본원에서 설명되는 방법 및 시스템에 따라 검출되고 분류된다. 본원에서 제시되는 결함을 검출하고 분류하기 위한 방법 및 시스템은 비파괴적이며 광학 검사 도구, 결함 리뷰 도구, 또는 통합 광학 검사/결함 리뷰 도구에 통합될 수 있다. 몇몇 실시형태에서, 동일한 광학 시스템을 사용하여 결함을 검출 및 분류하는 것에 의해, 즉 동일한 광학 도구에 의해 수행되는 결함 검사 및 결함 리뷰에 의해 스루풋이 증가된다. 다른 실시형태에서, 광학 검사 및 광학 리뷰 도구는 본원에서 설명되는 기술을 통합하는 것에 의해 향상된다.

[0024] 일반적으로, 결함으로부터의 광 산란은 결함의 많은 속성에 의존한다. 예를 들면, 결함 형상 및 사이즈와 같은 기하학적 속성은, 굴절률(n), 및 흡광 계수(extinction coefficient; k)에 의해 설명되는 복소 굴절률과 같은

재료 속성 외에도, 광 산란에 영향을 끼친다. n 및 k 와 같은 재료 파라미터의 값은 재료 조성을 나타낸다. 그러나, n 및 k 와 같은 재료 파라미터는, 그들이 광 강도 측정에서 기하학적 속성으로부터 효과적으로 분리되지 않기 때문에, 간단한 산란 광 강도 측정으로부터 직접적으로 결정될 수 없다.

- [0025] 하나의 양태에서, 결합은 수집 동공 내의 적어도 두 개의 공간적으로 별개의 위치로부터 수집되는 산란된 광의 측정된 상대적 위상에 기초하여 분류된다. 특히, 결합 분류는 주어진 조명 각도에 대한 산란된 광의 측정된 상대적 위상에 기초한다. 따라서, 본원에서 설명되는 기술은 검사 시스템의 수집 광학기계(collection optic)에서만 구현되고; 간단하고 비용 효율적인 광학 검사/결합 리뷰 시스템으로 귀결된다.
- [0026] 하나의 예에서, 결합 입자는, 동공 평면 내의 상이한 위치에서 산란된 광의 측정된 상대적 위상에 기초하여 고 유전율(high-K) 금속 또는 저유전율(low-K)의 투명한 유전체 재료 중 어느 하나로 분류된다.
- [0027] 몇몇 예에서, n 및 k 와 같은 결합의 재료 속성의 값은 결합으로부터 산란되는 광의 위상에 기초하여 결정된다. 특히, 동공 평면 내의 상이한 위치에서의 산란된 광의 측정된 위상 차이에 기초하여 재료 속성이 결정된다. 이들 예에서, 결합은 결합의 결정된 재료 속성에 기초하여 분류된다.
- [0028] 도 1은 본원에서 설명되는 바와 같은 검사 및 분류 기능성(functionality)을 갖는 표면 검사 시스템(100)의 하나의 실시형태의 단순화된 개략도이다. 표면 검사 시스템(100)이 비제한적인 예로서 제공된다. 일반적으로, 본원에서 설명되는 바와 같이 결합의 이미지를 형성하기 위해 산란된 광을 센서 상에서 이미지화하는 임의의 광학 현미경 또는 검사 시스템은 본원에서 설명되는 검사 및 분류 기능성의 구현에 적합하다. 그러한 광학 현미경 또는 검사 서브시스템은 벤치탑 분석 도구(bench-top analytical tool)의 일부로서 또는 결합 검사, 결합 리뷰, 또는 둘 모두를 위한 자동화된 시스템의 일부로서 구현될 수도 있다.
- [0029] 간략화를 위해, 시스템의 몇몇 광학적 컴포넌트는 생략되었다. 예로서, 폴딩 미러(folding mirror), 편광기, 빔 성형 광학기계, 추가적인 광원, 추가적인 수집기(collector), 및 추가적인 검출기가 또한 포함될 수도 있다. 모든 그러한 변형에는 본원에서 설명되는 본 발명의 범위 내에 있다. 본원에서 설명되는 검사 시스템은 패턴화되지 않은 웨이퍼뿐만 아니라, 패턴화된 웨이퍼를 검사하기 위해 사용될 수도 있다.
- [0030] 도 1에서 예시되는 바와 같이, 조명 소스(101)는 웨이퍼(110)를 향하는 조명 광(102)의 빔을 생성한다. 도 1에서 도시되는 실시형태에서, 포커싱 광학기계(103)는 측정 스팟(104) 위의 웨이퍼(110) 상으로 조명 광(102)을 포커싱한다. 그러나, 일반적으로, 소망되는 측정 스팟 사이즈에 걸쳐 웨이퍼(110) 상으로 조명 광(102)을 제공하기 위해 임의의 적절한 조명 광학 엘리먼트가 활용될 수도 있다. 몇몇 실시형태에서, 소망되는 빔 프로파일을 형성하기 위해 조명 광학 경로(즉, 조명 소스(101)와 웨이퍼(110) 사이의 광학 경로)에서 하나 이상의 빔 성형 엘리먼트가 포함된다. 예시적인 빔 프로파일은 가우시안 빔 형상, 링 빔 형상, 플랫폼 빔 형상, 등등을 포함한다. 통상적인 측정 스팟 사이즈는, 1 마이크로미터만큼 작은 길이 내지 500 마이크로미터만큼 큰 길이를 갖는 측정 스팟을 가로질러 가장 긴 범위의 치수에 의해 특성화되는 측정 스팟을 포함한다.
- [0031] 몇몇 실시형태에서, 소망되는 방식으로 조명 광을 편광시키기 위해 하나 이상의 편광기 엘리먼트가 조명 광학 경로에서 위치된다. 예시적인 편광은, 선형 편광, 타원형 편광, 원형 편광, 또는 편광 없음을 포함한다.
- [0032] 도 1에서 도시되는 바와 같이, 조명(102)은 조명 서브시스템에 의해 비스듬한 각도로 웨이퍼(110)의 표면에 제공된다. 그러나, 일반적으로, 조명 서브시스템은 광의 빔을 수직 입사각에서 시료로 지향시키도록 구성될 수도 있다. 통상적인 입사각은 0도(수직 입사)로부터 수직 입사로부터 80도까지의 범위에 이른다. 몇몇 실시형태에서, 시스템(100)은, 비스듬한 각도 및 수직 입사각과 같은 상이한 입사각에서 광의 다수의 빔을 시료로 지향시키도록 구성될 수도 있다. 광의 다수의 빔은 실질적으로 동시에 또는 순차적으로 시료로 지향될 수도 있다.
- [0033] 조명 소스(101)는, 예로서, 레이저, 다이오드 레이저, 헬륨 네온 레이저, 아르곤 레이저, 고상 레이저(solid state laser), 다이오드 펌핑식 고상(diode pumped solid state; DPSS) 레이저, 크세논 아크 램프, 가스 방전 램프, 및 LED 어레이, 또는 백열 램프를 포함할 수도 있다. 광원은 거의 단색 광 또는 광대역 광을 방출하도록 구성될 수도 있다. 몇몇 실시형태에서, 조명 서브시스템은, 시간의 한 간격 동안, 상대적으로 좁은 파장 대역을 갖는 광(예를 들면, 거의 단색 광 또는 약 20 nm 미만, 약 10 nm 미만, 약 5 nm 미만, 또는 심지어 약 2 nm 미만의 파장 범위를 갖는 광)을 시료로 지향시키도록 구성된다. 따라서, 광원이 광대역 광원인 경우, 조명 서브시스템은, 시료로 지향되는 광의 파장을 제한할 수도 있는 하나 이상의 스펙트럼 필터를 또한 포함할 수도 있다. 하나 이상의 스펙트럼 필터는 대역통과 필터 및/또는 에지 필터 및/또는 노치 필터일 수도 있다. 몇몇 예에서, 웨이퍼(110)에 입사하는 광의 파장은 적외선에서부터 극자외선까지의 범위에 이르는 파장의 임의의 서브세트를

포함한다. 일반적으로, 조명 소스(101)는, 광학 파장 범위 내의 광의 임의의 소망되는 파장 또는 파장의 범위에서 방사선(radiation)을 방출한다.

[0034] 도 1에서 도시되는 실시형태에서, 조명 소스(101)는 컴퓨팅 시스템(140)으로부터 수신되는 커맨드 신호(134)에 따라 조명 광(102)의 빔의 광학 파워를 제어하도록 구성된다. 하나의 실시형태에서, 조명 소스(101)는 표면 검사 스캔 동안 조명 파워(illumination power)를 동적으로 조정한다.

[0035] 도 1에서 예시되는 실시형태에서, 웨이퍼 위치 결정 시스템(125)은 측정 스폿(104) 아래에서 웨이퍼(110)를 이동시킨다. 웨이퍼 위치 결정 시스템(125)은 웨이퍼 척(109), 모션 컨트롤러(123), 회전 스테이지(121) 및 병진(translation) 스테이지(122)를 포함한다. 웨이퍼(110)는 웨이퍼 척(109) 상에 지지된다. 도 2에서 예시되는 바와 같이, 웨이퍼(110)는 자신의 기하학적 중심(150)을 회전 스테이지(121)의 회전 축에 대략적으로 정렬되게 하여 위치된다. 이러한 방식으로, 회전 스테이지(121)는, 허용 가능한 공차(tolerance) 내에서, 명시된 각속도(ω)에서 자신의 기하학적 중심을 중심으로 웨이퍼(110)를 회전시킨다. 또한, 병진 스테이지(122)는 명시된 속도인 V_T 에서 회전 스테이지(121)의 회전의 축에 대략 수직인 방향에서 웨이퍼(110)를 병진시킨다. 모션 컨트롤러(123)는, 검사 시스템(100) 내에서 웨이퍼(110)의 소망되는 스캐닝 모션을 달성하기 위해, 회전 스테이지(121)에 의한 웨이퍼(110)의 회전 및 병진 스테이지(122)에 의한 웨이퍼(110)의 병진을 조정한다.

[0036] 예시적인 동작 시나리오에서, 검사는 웨이퍼(110)의 기하학적 중심(150)에 위치되는 측정 스폿(104)을 가지고 시작되고, 그 다음, 웨이퍼(110)는, 측정 스폿(104)이 웨이퍼(110)의 외주에 도달할 때까지(즉, R이 웨이퍼(110)의 반경과 동일할 때까지) 회전되고 병진된다. 회전 스테이지(121) 및 병진 스테이지(122)의 조정된 모션에 기인하여, 측정 스폿(104)에 의해 조명되는 지점의 자취는 웨이퍼(110) 표면 상에서 나선형 경로를 따라간다. 웨이퍼(110)의 표면 상의 나선형 경로는 검사 트랙(127)(그 전체가 도시되지 않음)으로서 지칭된다. 예시적인 검사 트랙(127)의 일부가 도 2에 TRACK₁로서 예시된다. 도 2에서 예시되는 바와 같이, 측정 스폿(104)은 웨이퍼(110)의 기하학적 중심으로부터 거리(R)에 위치되고, 결함 입자(126)는 측정 스폿(104)에 접근하고 있다. 몇몇 실시형태에서, 검사 시스템(100)은 입자의 최대 범위의 치수를 따라 50 나노미터만큼 작은 결함 입자를 위치 결정할 수 있다. 몇몇 실시형태에서, 검사 시스템(100)은 입자의 최대 범위의 치수를 따라 10 나노미터만큼 작은 결함 입자를 위치 결정할 수 있다.

[0037] 도 1에서 도시되는 바와 같이, 검사 시스템(100)은, 측정 스폿(104)에서 일정 범위의 수집 각도에 걸쳐 웨이퍼(110)로부터 산란되는 및/또는 반사되는 광(111)을, 수집 광학기기 서브시스템(예를 들면, 이미지 평면(119))의 하나 이상의 웨이퍼 이미지 평면 상으로 이미지화하기 위해 활용되는 이미징 수집 대물 렌즈(imaging collection objective; 112)를 포함한다. 대물 렌즈(112)는 암시야 산란 광을 수집하도록 구성된다. 몇몇 실시형태에서, 대물 렌즈(112)는 0.1 내지 0.99의 개구수(Numerical Aperture; NA)를 가지고 산란된 광을 캡처한다.

[0038] 수집 대물 렌즈(112)의 특정한 공칭 방위가 도 1에서 예시되지만, 웨이퍼 표면에 대한 수집 대물 렌즈의 방위는, 예를 들면, 입사각 및/또는 웨이퍼의 지형적 특성에 따라 적절하게 배열될 수도 있다는 것이 이해된다.

[0039] 몇몇 실시형태에서, 수집 광학 경로(즉, 웨이퍼(110)와 검출기(120) 사이의 광학 경로)는 소망되는 편광을 갖는 광을 선택하기 위해 하나 이상의 편광기 광학 엘리먼트(113)를 포함한다. 몇몇 실시형태에서, 하나 이상의 편광기 엘리먼트(113)는 간단한 편광기를 포함한다. 몇몇 다른 실시형태에서, 하나 이상의 편광기 엘리먼트(113)는 편광기와 결합되는 위상 판(phase plate)을 포함한다. 이들 실시형태 중 일부에서, 위상 판은 산란 광의 편광을 변경하도록 설계된다.

[0040] 몇몇 실시형태에서, 수집 광학 경로는 하나 이상의 릴레이식 동공 평면(relayed pupil plane)(예를 들면, 동공 평면(106))을 형성하기 위해 하나 이상의 동공 릴레이 광학기기(pupil relay optic)(예를 들면, 동공 릴레이 광학기기(115))를 포함한다. 이것은, 본원에서 설명되는 바와 같이 동공의 특정한 영역으로부터 수집되는 광의 양을 제어하기 위해, 하나 이상의 광 수정 엘리먼트(예를 들면, 마스크 엘리먼트)에 대한 수집 동공 평면에 대한 더 쉬운 액세스를 허용하는 데 바람직할 수도 있다. 대안적으로, 본원에서 설명되는 바와 같이 동공의 특정한 영역으로부터 수집되는 광의 양을 제어하는 모든 광 수정 엘리먼트(예를 들면, 마스크 엘리먼트)를 하나의 동공 평면에서 또는 그 근처에서 위치시키는 것이 바람직할 수도 있다. 도 1에서 도시되는 바와 같이, 수집 광학 경로는 두 개의 동공 평면(예를 들면, 동공 평면(105 및 106))을 포함하고, 동공 마스크(114 및 116)는 동공 평면(105 및 106)에서 각각 위치된다.

[0041] 도 1에서 도시되는 실시형태에서, 광학 엘리먼트(117)는 수집된 광(111)을 이미지 평면(119) 상으로 초점을 포

커싱하는데, 여기서 이미지는 검출기(120)에 의해 검출된다.

[0042] 이미징 검출기(120)는, 일반적으로, 검출된 광을, 검출된 시야 내의 웨이퍼(110)의 검출된 이미지를 나타내는 전기 신호로 변환하도록 기능한다. 일반적으로, 이미징 검출기(120)는 기술 분야에서 공지되어 있는 실질적으로 임의의 광검출기를 포함할 수도 있다. 그러나, 검출기의 소망되는 성능 특성, 검사될 시료의 타입, 및 조명의 구성에 기초하여, 본 발명의 하나 이상의 실시형태 내에서의 사용을 위해 특정한 검출기가 선택될 수도 있다. 일반적으로, 검출기(120)는 프레임 모드 또는 스캐닝 모드에서 이미지 정보를 획득한다. 스캐닝 모드에서, 이미지는 웨이퍼(110)가 이동하는 동안 수집된다. 검사에 대해 이용 가능한 광의 양이 상대적으로 적은 경우, 시스템의 스루풋 및 신호 대 노이즈 비율을 증가시키기 위해, 시간 지연 통합(time delay integration; TDI) 카메라와 같은 효율성 향상 검출기가 활용될 수도 있다. 다른 예에서, 위상 측정을 위한 충분한 SNR을 달성하기 위해 신호 통합이 활용된다. 이용 가능한 신호에 따라, 통합 시간은 몇 나노초에서부터 몇 초까지 선택될 수도 있다. 긴 통합 시간의 단점은, 긴 측정 시간 및 머신 진동, 등등과 같은 환경 교란에 대한 취약성이다. 검사에 대해 이용 가능한 광의 양 및 수행되고 있는 검사의 타입에 따라, 다른 검출기 예컨대 전하 결합 소자(charge-coupled device; CCD) 카메라, 포토다이오드 어레이, 광튜브(phototube) 및 광전자 증배관(photomultiplier tube; PMT), 또는 검출기 전방의 스캔 가능한 어퍼처를 갖는 개개의 PMT/포토다이오드가 사용될 수도 있다.

[0043] 이미징 검출기(120)는, 명시야(bright field), 암시야, 공초점(confocal)과 같은 다양한 이미징 모드에서 구현될 수도 있다. 상이한 어퍼처 또는 푸리에(Fourier) 필터를 사용하는 것에 의해, 명시야, 암시야, 및 위상 콘트라스트와 같은 다양한 이미징 모드가 구현될 수 있다. 참조에 의해 본원에 통합되는 미국 특허 번호 제 7,295,303호 및 제 7,130,039호는 이들 이미징 모드를 더욱 상세하게 설명한다. 도시된 예에서, 검출기(120)는 더 큰 필드 각도에서 수집되는 산란된 광을 이미지화하는 것에 의해 암시야 이미지를 생성한다. 다른 예에서, 입사 스팟(104)과 매칭하는 핀홀은, 공초점 이미지를 생성하기 위해 검출기(예를 들면, 검출기(120)) 전방에 배치될 수 있다. 참조에 의해 본원에 통합되는 미국 특허 번호 제 6,208,411호는 이들 이미징 모드를 더욱 상세하게 설명한다. 또한, 표면 검사 시스템(100)의 다양한 양태가 미국 특허 번호 제 6,271,916호 및 미국 특허 번호 제 6,201,601호에서 설명되는데, 이들 특허 둘 모두는 참조에 의해 본원에 통합된다.

[0044] 추가적인 양태에서, 컴퓨팅 시스템(140)은 검출된 신호(131)에서의 변화에 기초하여 스캔 경로에서 결함의 위치를 결정하도록 구성된다. 또한, 컴퓨팅 시스템(140)은 본원에서 설명되는 바와 같이 그 재료 특성에 기초하여 결함을 분류하도록 구성된다.

[0045] 하나의 양태에서, 산란된 광은 수집 동공 내의 적어도 두 개의 공간적으로 별개의 위치로부터 수집되고, 한편, 나머지 광은 차단된다. 이들 조건 하에서, 검출기의 감광성 표면의 이미지 평면에서 잘 정의된 간섭 패턴이 형성된다. 동공 평면에 있는 두 개의 공간적으로 별개의 위치를 통해 투과되는 광 사이의 위상 차이는, 만약 있다면, 이미징 평면에서의 간섭 줄무늬의 포지션으로부터 결정된다. 측정된 위상 차이는 측정된 샘플의 재료 조성을 나타낸다.

[0046] 또 다른 양태에서, 측정된 위상 차이와 시료와 관련되는 위상 차이의 공지된 값 사이의 차이는 보정 값으로서 컴퓨팅 시스템(140)에 의해 결정된다. 몇몇 실시형태에서, 측정 중인(즉, 측정 스팟(104) 내의) 재료는 공지된 재료 속성 및 위상 응답을 갖는 공지된 재료이다. 이들 실시형태에서, 검사 시스템(예를 들면, 검사 시스템(100))에 의해 측정되는 위상 차이와 공지된 위상 차이 사이의 차이는, 측정 시스템에서의 계통적 에러, 예를 들면, 광학 수차, 측정 전자기기 에러, 등등을 나타낸다. 보정 값은 메모리(예를 들면, 메모리(142))에 저장된다. 시스템에 의해 수행되는 위상 차이의 후속하는 측정은, 위상 차이의 측정에 존재하는 계통적 에러를 보상하기 위해 저장된 보정 값에 의해 수정된다. 보정 값은, 캘리브레이션 측정을 수행하기 위해 활용되는 마스크 배열을 사용하여 검사 시스템에 의해 수행되는 측정(즉, 캘리브레이션 측정 동안 샘플링되는 동공 내의 특정한 위치)에 대해 유효하다. 샘플링 위치의 각각의 세트에 대한 보정 계수를 결정하기 위해, 본원에서 설명되는 바와 같이 상이한 마스크 배열에 대해 추가적인 캘리브레이션 측정이 수행될 수 있다.

[0047] 도 1에서 도시되는 바와 같이, 마스크(114)는 동공 평면(106)에 위치된다. 대안적으로, 마스크(114)는 동공 평면(105)에 위치될 수도 있다. 마스크가 하나의 동공 평면에 위치되는지 또는 다른 동공 평면에 위치되는지의 여부는 설계 선호도의 문제이며, 모든 대안예가 본 특허 문헌의 범위 내에서 고려된다. 도 3은 마스크(114)의 예시를 도시한다. 도 3에서 도시되는 바와 같이, 마스크(114)는, 어퍼처(151 및 152)를 통해 투과되는 광 외에는, 모든 수집된 NA에서 광을 차단한다. 도 3에서 도시되는 실시형태에서, 어퍼처(151)의 중심은 0.358 NA_x 및 0.0 NA_y (웨이퍼에서 21도의 입사각에 대응함)에서 위치된다. 어퍼처(151)의 반경은 동공(153)의 반경의 $1/12$ 이다.

어퍼처(152)의 중심은 0.788 NA_x 및 0.0 NA_y (웨이퍼에서 52도의 입사각에 대응함)에서 위치된다. 어퍼처(152)의 반경은 동공(153)의 반경의 $1/12$ 이다. 모든 어퍼처가 단일의 동공 평면에서 위치되는지, 또는 상이한 동공 평면에서 위치되는지의 여부는 설계 선호도의 문제이며, 모든 대안예가 본 특허 문헌의 범위 내에서 고려된다.

[0048] 도 4는, 어퍼처(151 및 152)를 통해 투과되는 광의 간섭에 의해 생성되는 검출기(120)의 감광성 표면에서 이미지 평면에서의 간섭 패턴 시뮬레이션의 플롯(160)을 도시한다. 이 예에서, 검출기(120)는 973×973 어레이의 70 마이크로미터 정사각형 픽셀을 포함하고, 조명 광은 266 나노미터의 파장을 갖는다. 도 4는 측정 스팟의 중심에 있는 이미지 평면의 확대된 뷰를 예시한다. 도 4에서 예시되는 바와 같이, 간섭 줄무늬는 이미지의 중앙 포지션에 중심을 둔다, 즉, $(X,Y) = (0,0)$ 이다. 따라서, 이 예에서, 샘플 재료로부터 수집되며 어퍼처(151)를 통해 투과되는 산란된 광은, 샘플 재료로부터 수집되어 어퍼처(152)를 통해 투과되는 산란된 광과 동일한 위상을 갖는다, 즉, 제로 위상 차이를 갖는다.

[0049] 도 5는 도 4와는 상이한 재료로부터 어퍼처(151 및 152)를 통해 투과되는 광의 간섭에 의해 생성되는 검출기(120)의 감광성 표면에서 이미지 평면에서의 간섭 패턴의 다른 시뮬레이션의 플롯(161)을 도시한다. 도 5는 측정 스팟의 중심에 있는 이미지 평면의 확대된 뷰를 예시한다. 도 5에서 예시되는 바와 같이, 간섭 줄무늬는 이미지의 중앙 포지션, 즉, $(X,Y) = (0,0)$ 에 중심에 두지 않는다. 따라서, 이 예에서, 샘플 재료로부터 수집되며 어퍼처(151)를 통해 투과되는 산란된 광은, 샘플 재료로부터 수집되어 어퍼처(152)를 통해 투과되는 산란된 광과는 상이한 위상을 갖는다. 이 예에서, 위상 차이는 각도(ϕ_A)에 의해 특성화된다.

[0050] 도 6은 도 4와는 다른 상이한 재료로부터 어퍼처(151 및 152)를 통해 투과되는 광의 간섭에 의해 생성되는 검출기(120)의 감광성 표면에서 이미지 평면에서의 간섭 패턴의 다른 시뮬레이션의 플롯(162)을 도시한다. 도 6은 측정 스팟의 중심에 있는 이미지 평면의 확대된 뷰를 예시한다. 도 6에서 예시되는 바와 같이, 간섭 줄무늬는 이미지의 중앙 포지션, 즉, $(X,Y) = (0,0)$ 에 중심에 두지 않는다. 따라서, 이 예에서, 샘플 재료로부터 수집되며 어퍼처(151)를 통해 투과되는 산란된 광은, 샘플 재료로부터 수집되어 어퍼처(152)를 통해 투과되는 산란된 광과는 상이한 위상을 갖는다. 이 예에서, 위상 차이는 각도(ϕ_B)에 의해 특성화된다.

[0051] 도 5 및 도 6에서 도시되는 바와 같이, 각각의 측정된 재료는 샘플 재료로부터 수집되며 어퍼처(151)를 통해 투과되는 산란된 광과 샘플 재료로부터 수집되며 어퍼처(152)를 통해 투과되는 산란된 광 사이의 위상 차이를 나타낸다. 가장 중요하게는, 각각의 재료와 관련되는 위상 차이는 극적으로 상이하다. 예를 들면, 도 5 및 6에서 도시되는 바와 같이, ϕ_A 와 ϕ_B 사이의 차이에 의해 특성화되는 위상 차이에서의 차이는, 간섭 줄무늬의 공간 주기(즉, 대략 200도)에 의해 승산되는 대략 0.6이다. 결과적으로, 두 개의 상이한 재료에 대응하는 위상 차이의 값, 즉 동공 평면 내의 두 개의 상이한 위치 사이의 상대적 위상은, 재료 사이의 광학적 속성(예를 들면, n 및 k 값)에서의 차이를 나타낸다.

[0052] 어퍼처(151 및 152)의 특정한 위치 및 사이즈는 비제한적인 예로서 제공된다. 일반적으로, 본 특허 문헌의 범위 내에서 많은 상이한 어퍼처 사이즈 및 위치가 고려될 수도 있다. 예를 들면, 동공 평면에서의 각각의 어퍼처는 0.01 NA에서부터 0.3 NA 까지의 범위 내의 사이즈를 가질 수도 있다.

[0053] 일반적으로, 특정한 마스크 지오메트리를 사용하여 측정되는 위상 차이의 값은 측정된 샘플의 재료 조성을 고유하게 식별하지 않지만, 몇몇 경우에는 식별할 수도 있다. 높은 신뢰도로 재료를 구별하기 위해, 위상 차이의 값은 다수의 상이한 마스크 지오메트리를 사용하여 측정될 수도 있다, 즉, 동공 평면 내의 상이한 위치의 다수의 세트와 관련되는 위상 차이를 측정할 수도 있다. 상이한 마스크 지오메트리의 수가 충분히 큰 경우, 차이 마스크 지오메트리 각각과 관련되는 측정된 간섭 줄무늬로부터 동공 평면에서의 위상의 맵이 유도될 수도 있다. 그 다음, 이 위상 맵은 측정된 샘플의 재료 속성, 예를 들면, n 및 k 을 고유하게 식별하기 위해 사용된다. 하나의 예에서, 재료 파라미터의 값, 예를 들면, n 및 k 는, 재료의 물리적 모델에서 표류되고(floated), 측정된 위상 맵에 가장 잘 적합되는 재료 파라미터의 값을 추정하기 위해 반복적인 적합 프로시저가 활용된다.

[0054] 본 발명자는, 두 개만큼 적은 상이한 마스크 지오메트리를 갖는 샘플의 위상 차이 측정으로부터 유용한 재료 특성화 정보가 유도될 수 있다는 것을 발견하였다. 몇몇 예에서, 두 개의 상이한 마스크 지오메트리를 갖는 결합 입자의 위상 차이 측정은, 측정된 입자를, 90 %보다 더 큰 정확도를 가지고, 금속(매우 큰 k 값) 또는 비금속(매우 작은 또는 제로의 k 값)으로서 분류하기에 충분하다.

[0055] 다른 양태에서, 컴퓨팅 시스템(140)은 검출기(120)에 의해 검출되는 이미지(131)에서 존재하는 간섭 패턴으로부터 위상 차이 정보를 추출하도록 구성된다. 몇몇 예에서, 측정된 간섭 패턴에 기초하여 동공 평면 내의 두 개의

상이한 위치로부터 산란되는 광 사이의 위상 차이를 결정하기 위해, 고속 푸리에 변환(FFT) 알고리즘이 활용된다. FFT 알고리즘은 탁월한 노이즈 제거를 제공하며 계산적으로 효율적이다. 다른 예에서, 측정된 간섭 패턴에 대한 측정의 물리적 모델의 반복적인 적합(iterative fit)은 동공 평면 내의 두 개의 상이한 위치로부터 산란되는 광 사이의 위상 차이를 결정하기 위해 활용된다. 이 예에서, 위상 차이를 나타내는 하나 이상의 파라미터는 물리적 모델에서 표류되고, 값은 반복적인 방식에서 추정된다.

[0056] 몇몇 실시형태에서, 동공 평면에 위치되는 어퍼처의 위치는 상이한 재료에 대해 측정되는 위상 차이 사이의 콘트라스트를 향상시키도록 최적화된다. 예를 들면, 동공 평면에서의 어퍼처 사이의 간격이 너무 큰 경우, 측정된 위상 차이는 다수의 상이한 재료에 대해 비슷하게 보일 것이다. 그러나, 동공 평면에서의 어퍼처 사이의 간격이 너무 작은 경우, 측정된 위상 차이의 값은 낮은 신호 대 노이즈 비율로부터 문제를 겪을 것이다. 많은 예에서, 어퍼처 사이의 간격은 주목하는 각각의 재료와 관련되는 위상 맵의 정보에 의해 알려진다. 예를 들면, 위상 차이에서의 큰 천이가 NA의 특정한 범위에 걸쳐 발생한다는 것이 공지되어 있는 경우, 어퍼처의 간격은, 천이가 발생하는 것으로서 공지되어 있는 NA 범위에 걸쳐서 선택된다. 몇몇 예에서, 동공 평면에서의 어퍼처 사이의 공간적 분리는 0.1에서부터 0.9까지의 NA의 범위에 걸쳐 있다.

[0057] 다른 실시형태에서, 어퍼처 위치는 검사 도구의 초점 오프셋(즉, 초점 에러)에 의해 유도되는 측정 에러를 최소화하도록 선택된다. 본원에서 설명되는 바와 같은 수집 동공에서의 위상 차이에 의한 재료의 특성화는 초점 오프셋에 상대적으로 둔감하다. 그러나, 초점 오프셋에 대한 위상 차이의 측정의 민감도는 상이한 어퍼처의 위치에 의존한다. 몇몇 예에서, 어퍼처는 초점 오프셋에 대한 측정 민감도를 최소화하기 위해 동공의 중심 주위에 대칭적으로 위치된다. 도 7 및 도 8은 x 방향에서 동공의 중심에 대해 대칭인 어퍼처(151 및 152)의 상이한 위치를 도시한다. 도 9 및 도 10은 y 방향에서 동공의 중심에 대해 대칭인 어퍼처(151 및 152)의 상이한 위치를 도시한다.

[0058] 몇몇 실시형태에서, 동공 평면에서 위치되는 어퍼처의 사이즈는, 상이한 재료에 대해 측정되는 위상 차이 사이의 콘트라스트를 향상시키는 것 및 특히 100 나노미터보다 더 작은 입자에 대한, 데이터 수집에 필요한 시간을 최소화하는 것 둘 모두를 하도록 최적화된다. 어퍼처 사이즈가 너무 작은 경우, 매우 적은 광이 투과된다. 이것은, 충분한 신호 대 노이즈 비율을 달성하기 위해, 긴 획득 시간에 걸친 신호 통합을 필요로 한다. 그러나, 어퍼처 사이즈가 너무 큰 경우, 너무 많은 동공으로부터 유래하는 광이 측정되기 때문에, 상이한 재료와 관련되는 위상 차이를 구별하는 것이 어렵게 된다. 몇몇 실시형태에서, 어퍼처 사이즈는 0.01 NA에서부터 0.3 NA까지의 범위 내에 있다.

[0059] 동공 평면 내의 두 개의 상이한 위치 사이의 위상 차이의 계산이 본원에서 앞서 논의되지만, 일반적으로, 위상 차이는 두 개보다 더 많은 위치(예를 들면, 세 개 이상의 위치) 사이에서 계산될 수도 있다. 두 개보다 더 많은 위치 사이의 위상 차이를 추정하는 것은 획득 시간을 단축시키지만, 그러나, 위상의 계산적으로 더 복잡한 결정을 필요로 한다.

[0060] 동공 평면 내의 상이한 위치와 관련되는 측정된 위상 차이에 기초하는 재료 속성의 특성화는, 동공 평면에서의 산란된 광의 위상의 불균일성에 의존한다. 그러나, 또한, 동공 평면에서의 광 산란의 강도도 또한 매우 불균일할 수도 있다. 강도 차이가 충분히 큰 경우, 간섭 줄무늬의 콘트라스트가 상당히 감소되고 위상 측정의 분해능이 문제가 된다. 몇몇 실시형태에서, 이 제한은 다른 어퍼처에 비해 하나의 어퍼처로부터의 투과된 광을 감쇠시키는 것에 의해 극복된다. 몇몇 실시형태에서, 다른 어퍼처에 비해 하나의 어퍼처를 통과하는 투과된 광의 강도를 감쇠시키기 위해, 중성 밀도 필터(neutral density filter), 더 작은 어퍼처 사이즈, 또는 둘 모두의 조합이 활용된다. 도 1은, 어퍼처(152)에 걸쳐 있지만, 그러나 어퍼처(151)에 걸쳐 있지 않은 동공 평면(106)에서의 중성 밀도 필터(118)를 도시한다. 이러한 방식으로, 검출기(120)에 도달하는 어퍼처(152)를 통해 투과되는 광의 강도는, 검출기(120)에 도달하는 어퍼처(151)를 통해 투과되는 광의 강도에 비해 감쇠된다.

[0061] 본원의 상기에서 설명되는 바와 같이, 몇몇 예에서, 결함을 분류하기 위해 동공의 샘플링 포지션의 두 개 이상의 상이한 위치가 필요로 된다. 또한, 동공에서의 최적의 샘플링 위치는 고려 하에 있는 재료에 따라 변한다.

[0062] 다른 양태에서, 검사 시스템은 컴퓨팅 시스템(140)의 제어 하에서 상이한 위치에서 동공을 샘플링하도록 구성되는 프로그래밍 가능한 동공 어퍼처 디바이스를 포함한다. 이러한 방식으로, 컴퓨팅 시스템(140)은 각각의 위상 차이 측정을 위해 동공 평면에서의 각각의 샘플링 포지션의 위치를 제어한다.

[0063] 도 11은 하나의 실시형태에서의 프로그래밍 가능한 동공 마스크 디바이스(170)를 도시한다. 도 11에서 도시되는 바와 같이, 프로그래밍 가능한 동공 마스크 디바이스(170)는 마스크 엘리먼트(171) 및 마스크 엘리먼트(172)를

포함한다. 마스크 엘리먼트(171)는 동공에서 수집된 광을 차단하는 광학 엘리먼트(171A 및 171B)를 포함한다. 광학 엘리먼트(171A 및 171B)는 서로에 대해 고정되고 동공 내의 그들의 포지션에서 고정된다. 광학 엘리먼트(171A 및 171B)는 공간적으로 분리되어; 선형의 광학적으로 투명한 슬릿(171C)을 나타낸다. 마스크 엘리먼트(172)는 동공에서 수집된 광을 차단하는 V자 형상의 광학 엘리먼트(172A 및 172B)를 포함한다. 광학 엘리먼트(172A 및 172B)는 서로에 대해 고정되고 공간적으로 분리되어 V자 형상의 광학적으로 투명한 슬릿(172C)을 나타낸다. 마스크 엘리먼트(172)는 동공을 가로질러 x 방향으로 이동 가능하다. 또한, 마스크 엘리먼트(172)는 액추에이터(174)에 커플링된다. 액추에이터(174)는 컴퓨팅 시스템, 예를 들면, 컴퓨팅 시스템(140)에 통신 가능하게 커플링된다. 하나의 예에서, 컴퓨팅 시스템(140)은 동공에서의 마스크 엘리먼트(172)의 소망되는 포지션을 나타내는 제어 커맨드(175)를 액추에이터(174)로 전달한다. 응답에서, 액추에이터(174)는 마스크 엘리먼트(172)를 동공에서의 소망되는 포지션으로 병진시킨다.

[0064] 도 11에서 도시되는 바와 같이, x 방향에서의 마스크 엘리먼트(172)의 이동은, 동공 - 광은 이것을 통해 검출기(120)로 투과됨 - 에서의 어퍼처 개구(173A 및 173B) 사이의 분리 거리를 변화시킨다. 도 11에서 도시되는 실시 형태에서, 어퍼처 개구(173A 및 173B)는 x 축에 대해 대칭이고 y 방향에서의 그들 사이의 거리는 마스크 엘리먼트(172)의 x 위치에 의해 결정된다. 하나의 실시 형태에서, 마스크 엘리먼트(171)는 동공 평면(105)에서 위치되고 마스크 엘리먼트(172)는 도 1에서 도시되는 검사 시스템(100)의 동공 평면(106)에서 위치된다.

[0065] 도 12는 하나의 실시 형태에서의 프로그래밍 가능한 동공 마스크 디바이스(180)를 도시한다. 도 12에서 도시되는 바와 같이, 프로그래밍 가능한 동공 마스크 디바이스(180)는, 동공에서 수집된 광을 차단하는 광학 엘리먼트(181A-D)를 포함하는 마스크 엘리먼트(181) 및 동공에서 수집된 광을 차단하는 광학 엘리먼트(182A-D)를 포함하는 마스크 엘리먼트(182)를 포함한다. 광학 엘리먼트(181A-D)는 서로에 대해 고정되고 광학 엘리먼트(182A-D)는 서로에 대해 고정된다. 광학 엘리먼트(181A-D)는 공간적으로 분리되어; 각각, x 방향 및 y 방향과 정렬되는 광학적으로 투명한 선형 슬릿을 나타낸다. 유사하게, 광학 엘리먼트(182A-D)는 공간적으로 분리되어; 각각, x 방향 및 y 방향과 정렬되는 광학적으로 투명한 선형 슬릿을 나타낸다.

[0066] 마스크 엘리먼트(181)는 동공을 가로질러 x 방향으로 이동 가능하다. 또한, 마스크 엘리먼트(181)는 액추에이터(184B)에 커플링된다. 액추에이터(184B)는 컴퓨팅 시스템, 예를 들면, 컴퓨팅 시스템(140)에 통신 가능하게 커플링된다. 하나의 예에서, 컴퓨팅 시스템(140)은 동공에서의 마스크 엘리먼트(181)의 소망되는 포지션을 나타내는 제어 커맨드(185B)를 액추에이터(184B)로 전달한다. 응답에서, 액추에이터(184B)는 마스크 엘리먼트(181)를 동공에서의 소망되는 포지션으로 병진시킨다. 유사하게, 마스크 엘리먼트(182)는 동공을 가로질러 y 방향으로 이동 가능하다. 또한, 마스크 엘리먼트(182)는 액추에이터(184A)에 커플링된다. 액추에이터(184A)는 컴퓨팅 시스템, 예를 들면, 컴퓨팅 시스템(140)에 통신 가능하게 커플링된다. 하나의 예에서, 컴퓨팅 시스템(140)은 동공에서의 마스크 엘리먼트(182)의 소망되는 포지션을 나타내는 제어 커맨드(185A)를 액추에이터(184A)로 전달한다. 응답에서, 액추에이터(184A)는 마스크 엘리먼트(182)를 동공에서의 소망되는 포지션으로 병진시킨다.

[0067] 도 12에서 도시되는 바와 같이, x 방향에서의 마스크 엘리먼트(181)의 이동은, 어퍼처 개구(183A)의 위치를 이동시키지 않으면서, x 방향에서 어퍼처 개구(183B)의 위치를 변경한다. 유사하게, y 방향에서의 마스크 엘리먼트(182)의 이동은, 어퍼처 개구(183A)의 위치를 이동시키지 않으면서, y 방향에서 어퍼처 개구(183B)의 위치를 변경한다. 이러한 방식으로, 각각의 측정 사이에서, 마스크 엘리먼트(181, 182)의 포지션, 또는 둘 모두를 조정하는 것에 의해, 동공 내의 다수의 상이한 위치와 동공 내의 고정된 지점 사이의 위상 차이 측정이 이루어진다. 하나의 실시 형태에서, 마스크 엘리먼트(181)는 동공 평면(105)에서 위치되고 마스크 엘리먼트(182)는 도 1에서 도시되는 검사 시스템(100)의 동공 평면(106)에서 위치된다.

[0068] 몇몇 다른 실시 형태에서, 프로그래밍 가능한 동공 마스크 디바이스는, 고정된 어퍼처 패턴을 각각 구비하는 다수의 상이한 마스크 엘리먼트를 포함한다. 프로그래밍 가능한 동공 마스크 디바이스는, 동공 평면에서의 소망되는 위치에 소망되는 마스크 엘리먼트를 선택적으로 위치시키기 위한 액추에이터 서브시스템(예를 들면, 선형 병진 스테이지, 회전 스테이지, 등등)을 포함한다. 하나의 예에서, 컴퓨팅 시스템(140)은 제어 커맨드 신호를 액추에이터 서브시스템으로 전달한다. 응답에서, 액추에이터 서브시스템은 제어 커맨드 신호에 따라 광학 시스템의 수집 동공 평면에서의 소망되는 위치에 소망되는 마스크 엘리먼트를 위치시킨다.

[0069] 일반적으로, 컴퓨팅 시스템(140)은 각각의 검출기로부터 획득되는 전기 신호를 사용하여 웨이퍼의 피처, 결함 또는 광 산란 속성을 검출하도록 구성된다. 컴퓨팅 시스템(140)은 기술 분야에서 공지되어 있는 임의의 적절한 프로세서(들)를 포함할 수도 있다. 또한, 컴퓨팅 시스템(140)은 기술 분야에서 공지되어 있는 임의의 적절한 결합 검출 알고리즘 또는 방법을 사용하도록 구성될 수도 있다. 예를 들면, 컴퓨팅 시스템(140)은 시료 상의 결합

을 검출하기 위해 다이 대 데이터베이스 비교 또는 임계화 알고리즘(thresholding algorithm)을 사용할 수도 있다.

- [0070] 또한, 검사 시스템(100)은 오퍼레이터로부터 입력을 수용하는 데 유용한 주변 디바이스(예를 들면, 키보드, 마우스, 터치스크린, 등등) 및 오퍼레이터에게 출력을 디스플레이하는 데 유용한 주변 디바이스(예를 들면, 디스플레이 모니터)를 포함할 수도 있다. 오퍼레이터로부터의 입력 커맨드는 수집 동공에서의 샘플링 위치를 조정하기 위해 컴퓨팅 시스템(140)에 의해 사용될 수도 있다. 결과적으로 나타나는 샘플링 위치는 디스플레이 모니터 상에서 오퍼레이터에게 그래픽적으로 제시될 수도 있다.
- [0071] 검사 시스템(100)은 프로세서(141) 및 어떤 양의 컴퓨터 판독 가능 메모리(142)를 포함한다. 프로세서(141) 및 메모리(142)는 버스(143)를 통해 통신할 수도 있다. 메모리(142)는, 프로세서(141)에 의해 실행될 때, 프로세서(141)로 하여금 본원에서 설명되는 결함 검출 및 분류 기능성을 실행하게 하는 프로그램 코드를 저장하는 어떤 양의 메모리(144)를 포함한다.
- [0072] 도 13은 결함을 분류하는 데 유용한 예시적인 방법(200)의 플로우차트를 예시한다. 몇몇 비제한적인 예에서, 도 1을 참조하여 설명되는 검사 시스템(100)은 방법(200)을 구현하도록 구성된다. 그러나, 일반적으로, 방법(200)의 구현은 본원에서 설명되는 특정한 실시형태에 의해 제한되지는 않는다.
- [0073] 블록(201)에서, 제1 양의 조명 광이 조명 소스에 의해 생성되고 시료의 표면 상의 측정 스팟으로 지향된다.
- [0074] 블록(202)에서, 제1 양의 조명 광에 응답하여 시료의 표면 상의 측정 스팟으로부터 제1 양의 수집된 광이 수집된다. 제1 양의 수집된 광은 수집 대물 렌즈의 수집 동공 내에서의 암시야 산란 광을 포함한다.
- [0075] 블록(203)에서, 제1 양의 수집된 광의 제1 부분이 차단된다.
- [0076] 블록(204)에서, 제1 양의 수집된 광의 제2 부분이 투과된다. 제1 양의 수집된 광의 제2 부분은 제1 구성의 하나 이상의 마스크 엘리먼트에 의해 선택된다. 제1 양의 수집된 광은 수집 동공 내의 적어도 두 개의 공간적으로 별개의 위치로부터 선택된다.
- [0077] 블록(205)에서, 제1 양의 수집된 광의 제2 부분에 의해 형성되는 제1 간섭 패턴은, 시료의 표면에 대해 공액인(conjugate) 필드 평면에서 또는 그 근처에서 검출된다.
- [0078] 블록(206)에서, 적어도 두 개의 공간적으로 별개의 위치 중 제1 위치로부터 제1 구성의 하나 이상의 마스크 엘리먼트에 의해 선택되는 투과된 광과 적어도 두 개의 공간적으로 별개의 위치 중 제2 위치로부터 제1 구성의 하나 이상의 마스크 엘리먼트에 의해 선택되는 투과된 광 사이의 제1 위상 차이가 제1 간섭 패턴으로부터 결정된다.
- [0079] 시료를 검사하기 위해 사용될 수도 있는 검사 시스템 또는 도구에 대한 다양한 실시형태가 본원에서 설명된다. 용어 "시료"는 본원에서, 웨이퍼, 레티클, 또는 결함, 피쳐, 또는 기술분야에서 공지된 다른 정보(예를 들면, 막 속성 또는 헤이즈(haze)의 양)에 대해 검사될 수도 있는 임의의 다른 샘플을 지칭하기 위해 사용된다.
- [0080] 본원에서 사용되는 바와 같이, 용어 "웨이퍼"는 반도체 또는 비반도체 재료로 형성되는 기관을 일반적으로 지칭한다. 예는, 단결정 실리콘, 갈륨 비화물(gallium arsenide), 및 인듐 인화물(indium phosphide)을 포함하지만, 그러나 이들로 제한되지는 않는다. 그러한 기관은 반도체 제조 설비에서 공통적으로 발견될 수도 있고 및/또는 프로세싱될 수도 있다. 몇몇 경우에서, 웨이퍼는 기관(즉, 베어 웨이퍼(bare wafer))만을 포함할 수도 있다. 대안적으로, 웨이퍼는 기관 상에 형성되는 상이한 재료의 하나 이상의 층을 포함할 수도 있다. 웨이퍼 상에 형성되는 하나 이상의 층은 "패턴화될" 수도 있거나 또는 "패턴화되지 않을" 수도 있다. 예를 들면, 웨이퍼는 반복 가능한 패턴 피쳐를 갖는 복수의 다이를 포함할 수도 있다.
- [0081] "레티클"은 레티클 제조 프로세스의 임의의 스테이지에서의 레티클일 수도 있거나, 또는 반도체 제조 설비에서의 사용을 위해 릴리스될(released) 수도 있는 또는 릴리스되지 않을 수도 있는 완성된 레티클일 수도 있다. 레티클, 또는 "마스크"는, 실질적으로 불투명한 영역이 상부에 형성되며 어떤 패턴으로 구성되는 실질적으로 투명한 기관으로서 일반적으로 정의된다. 기관은, 예를 들면, 석영과 같은 유리 재료를 포함할 수도 있다. 레티클은, 레티클 상의 패턴이 레지스트로 전사될 수도 있도록, 리소그래피 프로세스의 노광 단계 동안 레지스트로 피복된 웨이퍼 위에 배치될 수도 있다.
- [0082] 하나 이상의 예시적인 실시형태에서, 설명되는 기능은 하드웨어, 소프트웨어, 펌웨어 또는 이들의 임의의 조합으로 구현될 수도 있다. 소프트웨어로 구현되면, 기능은 하나 이상의 명령어 또는 코드로서 컴퓨터 판독 가능

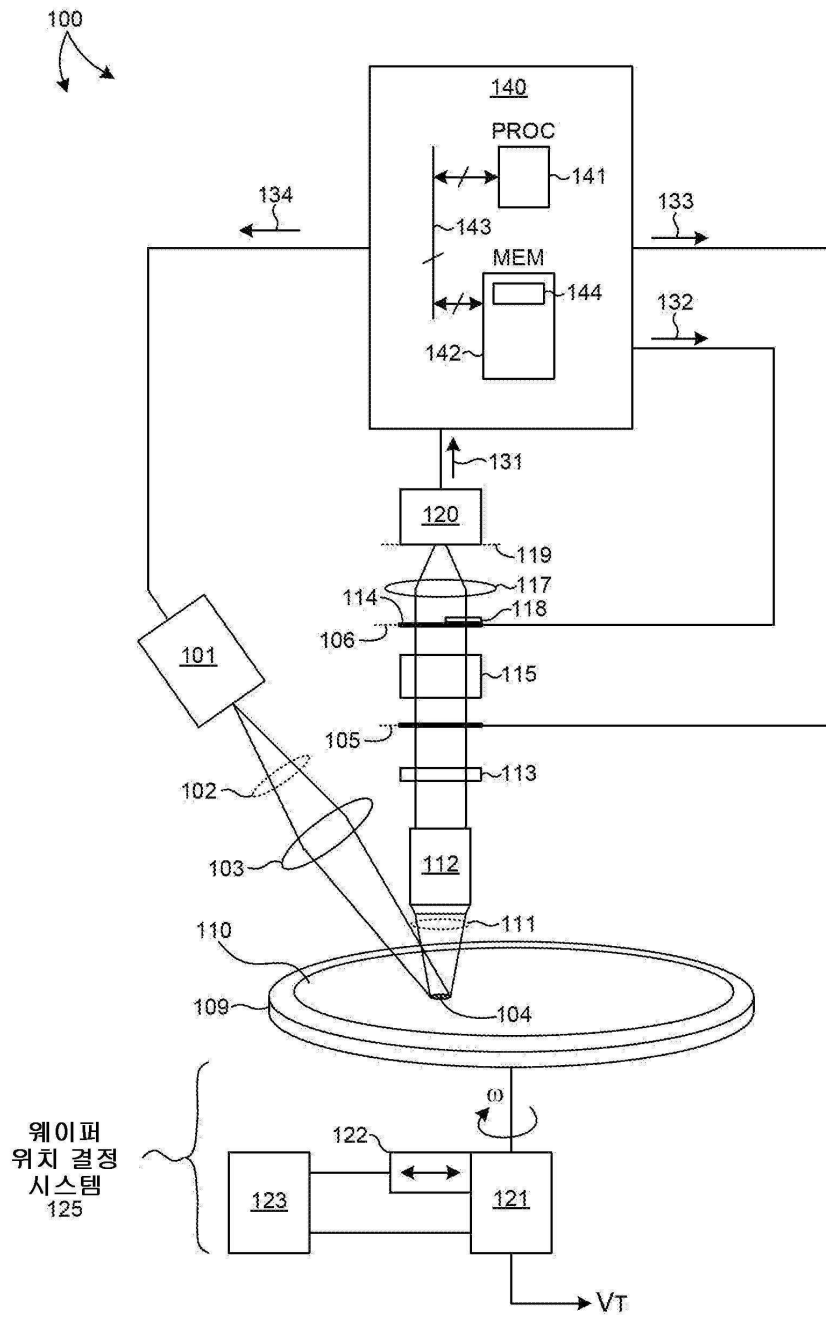
매체 상에 저장될 수도 있거나 또는 컴퓨터 판독 가능 매체를 통해 송신될 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 매체는 하나의 장소로부터 다른 장소로 컴퓨터 프로그램의 전송을 가능하게 하는 임의의 매체를 포함하는 컴퓨터 저장 매체 및 통신 매체 둘 다를 포함한다. 저장 매체는 범용 컴퓨터 또는 특수 목적 컴퓨터에 의해 액세스될 수 있는 임의의 이용 가능한 매체일 수도 있다. 제한이 아닌 예로서, 이러한 컴퓨터 판독 가능 매체는 RAM, ROM, EEPROM, CD-ROM 또는 다른 광학 디스크 스토리지, 자기 디스크 스토리지 또는 다른 자기 스토리지 디바이스, 또는 명령어 또는 데이터 구조의 형태로 소망되는 프로그램 코드 수단을 반송(carry) 또는 저장하기 위해 사용될 수 있으며 범용 컴퓨터 또는 특수 목적 컴퓨터, 또는 범용 프로세서 또는 특수 목적 프로세서에 의해 액세스될 수 있는 임의의 다른 매체를 포함할 수 있다. 또한, 임의의 연결이 컴퓨터 판독 가능 매체로 적절히 칭해진다. 예를 들면, 소프트웨어가 동축 케이블, 광섬유 케이블, 연선(twisted pair), 디지털 가입자 회선(digital subscriber line; DSL), 또는 적외선, 무선, 및 마이크로파와 같은 무선 기술을 사용하여 웹사이트, 서버, 또는 다른 원격 소스로부터 송신되면, 동축 케이블, 광섬유 케이블, 연선, DSL, 또는 적외선, 무선, 및 마이크로파와 같은 무선 기술은 매체의 정의에 포함된다. 디스크(disk) 및 디스크(disc)는, 본원에서 사용되는 바와 같이, 콤팩트 디스크(compact disc; CD), 레이저 디스크, 광학 디스크, 디지털 다기능 디스크(digital versatile disc; DVD), 플로피 디스크 및 블루레이 디스크를 포함하며, 여기서 디스크(disk)는 통상 자기적으로 데이터를 재생하고, 디스크(disc)는 레이저를 이용하여 광학적으로 데이터를 재생한다. 상기의 조합도 컴퓨터 판독 가능 매체의 범위 내에 또한 포함되어야 한다.

[0083] 비록 소정의 특정한 실시형태가 교수적인 목적을 위해 상기에서 설명되었지만, 본 특허 문헌의 교시는 일반적인 적용 가능성을 가지며 상기에서 설명되는 특정한 실시형태로 제한되는 것은 아니다. 하나의 예에서, 검출기(120)는 섬유 어레이에 의해 대체될 수 있다. 하나의 예에서, 검사 시스템(100)은 하나보다 더 많은 광원(도시되지 않음)을 포함할 수도 있다. 광원은 상이하게 또는 동일하게 구성될 수도 있다. 예를 들면, 광원은, 동일한 또는 상이한 시간에 동일한 또는 상이한 입사각에서 동일한 또는 상이한 조명 영역에서 웨이퍼로 지향될 수 있는 상이한 특성을 갖는 광을 생성하도록 구성될 수도 있다. 광원은 본원에서 설명되는 실시형태 중 임의의 것에 따라 구성될 수도 있다. 또한, 광원 중 하나는 본원에서 설명되는 실시형태 중 임의의 것에 따라 구성될 수도 있고, 다른 광원은 기술 분야에서 공지되어 있는 임의의 다른 광원일 수도 있다. 몇몇 실시형태에서, 검사 시스템은 웨이퍼를 하나보다 더 많은 조명 영역에 걸쳐 동시에 조명할 수도 있다. 다수의 조명 영역은 공간적으로 중첩될 수도 있다. 다수의 조명 영역은 공간적으로 별개일 수도 있다. 몇몇 실시형태에서, 검사 시스템은 웨이퍼를 상이한 시간에 하나보다 더 많은 조명 영역에 걸쳐 조명할 수도 있다. 상이한 조명 영역은 시간적으로 중첩될 수도 있다(즉, 시간의 어떤 기간에 걸쳐 동시에 조명됨). 상이한 조명 영역은 시간적으로 별개일 수도 있다. 일반적으로, 조명 영역의 수는 임의적일 수도 있고, 각각의 조명 영역은 동일한 또는 상이한 사이즈, 범위, 및 입사각을 가질 수도 있다. 또 다른 예에서, 검사 시스템(100)은 웨이퍼(110)의 임의의 모션과는 독립적으로 스캐닝하는 하나 이상의 조명 영역을 갖는 스캔 스팟 시스템일 수도 있다. 몇몇 실시형태에서, 조명 영역은 스캔 라인을 따라 반복된 패턴으로 스캐닝하도록 제조된다. 스캔 라인은 웨이퍼(110)의 스캔 모션과 정렬될 수도 있거나 또는 정렬되지 않을 수도 있다. 본원에서 제시되는 바와 같이, 웨이퍼 위치 결정 시스템(125)은 조정된 회전 및 병진 운동에 의해 웨이퍼(110)의 모션을 생성하지만, 또 다른 예에서, 웨이퍼 위치 결정 시스템(100)은 두 개의 병진 운동을 조정하는 것에 의해 웨이퍼(110)의 모션을 생성할 수도 있다. 예를 들면, 모션 웨이퍼 위치 결정 시스템(125)은 두 개의 직교하는 선형 축을 따르는 모션(예를 들면, X-Y 모션)을 생성할 수도 있다. 그러한 실시형태에서, 스캔 피치는 어느 하나의 모션 축을 따라 인접한 병진 스캔 사이의 거리로서 정의될 수도 있다. 그러한 실시형태에서, 검사 시스템은 조명 소스 및 웨이퍼 위치 결정 시스템을 포함한다. 조명 소스는 조명 영역에 걸쳐 웨이퍼 표면에 어떤 양의 방사선을 공급한다. 웨이퍼 위치 결정 시스템은 스캔 피치에 의해 특성화되는 스캐닝 모션에서 웨이퍼를 이동시킨다(예를 들면, 하나의 방향에서 앞뒤로 스캐닝하고 직교 방향으로 스캔 피치와 동일한 양만큼 스텝핑함).

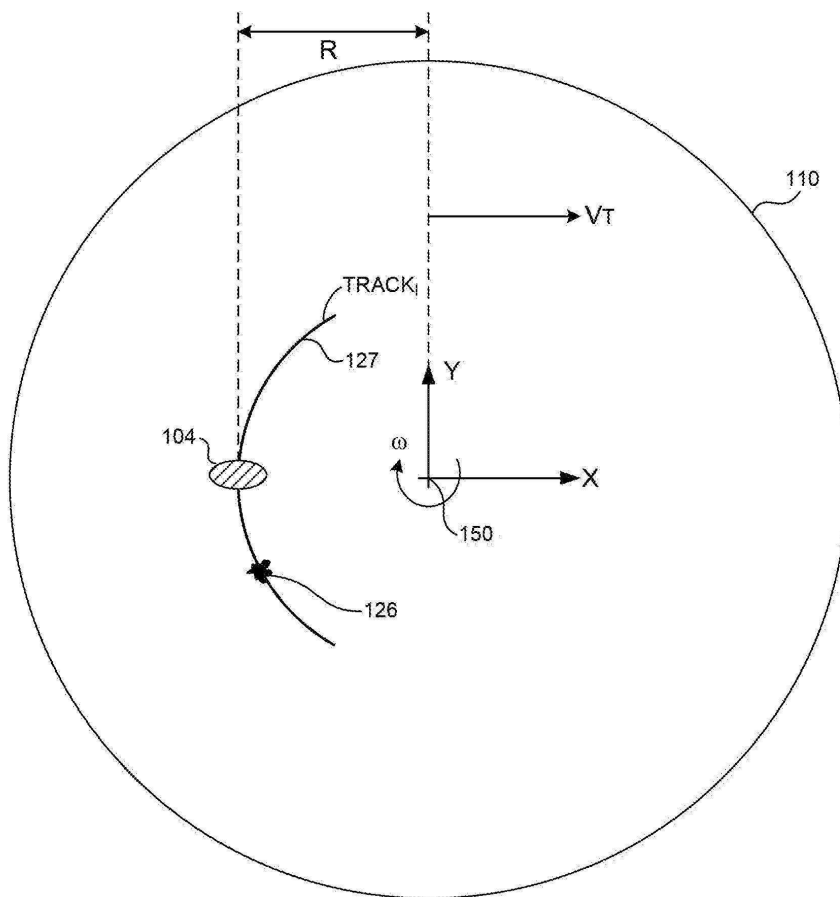
[0084] 따라서, 설명된 실시형태의 다양한 피치의 다양한 수정예, 적응예, 및 조합은 청구범위에서 기술되는 바와 같은 본 발명의 범위로부터 벗어나지 않으면서 실시될 수 있다.

도면

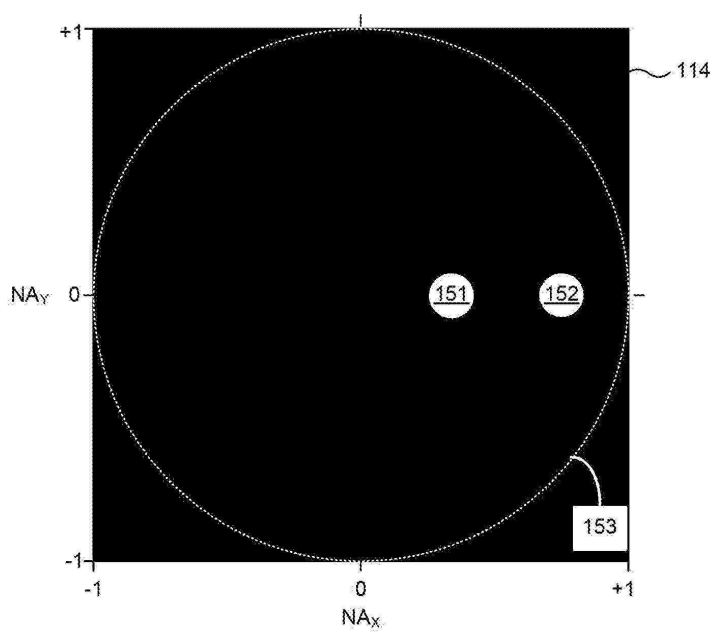
도면1



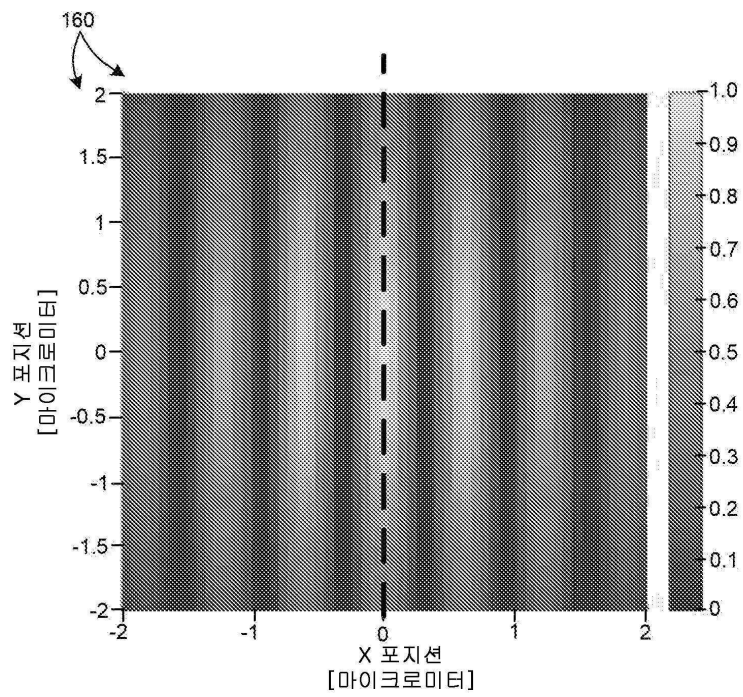
도면2



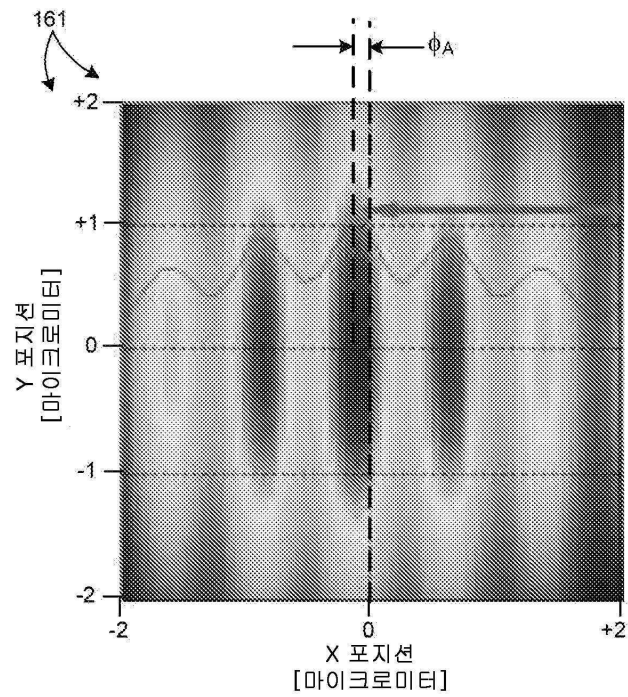
도면3



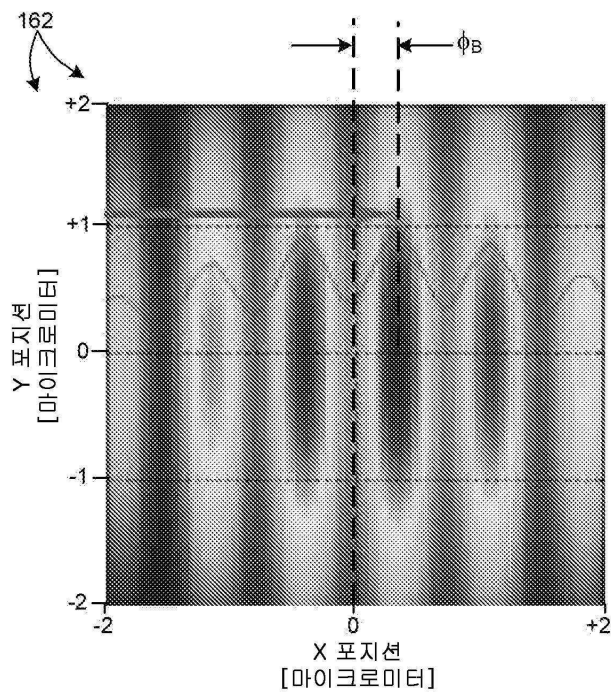
도면4



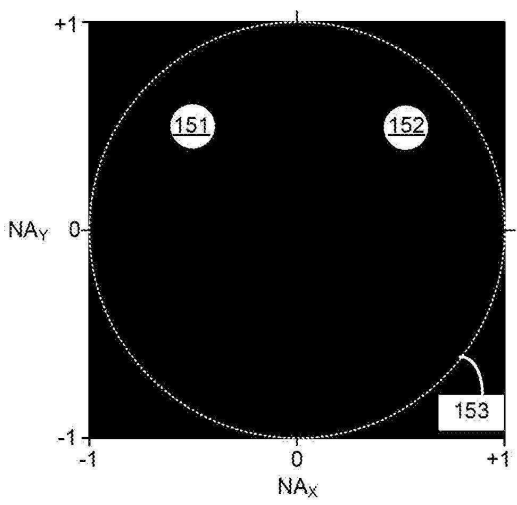
도면5



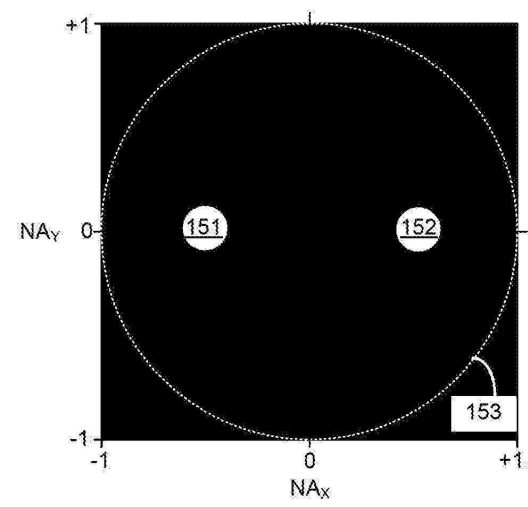
도면6



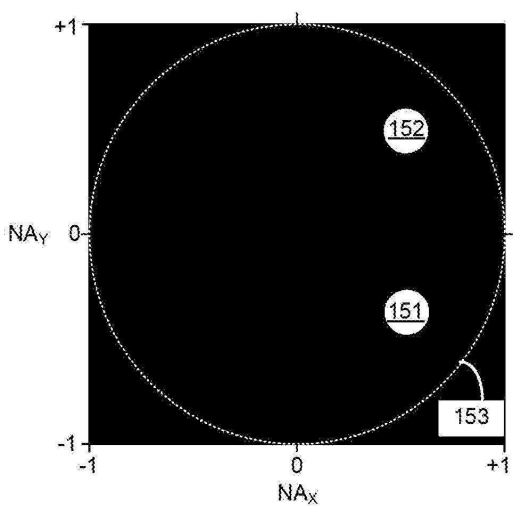
도면7



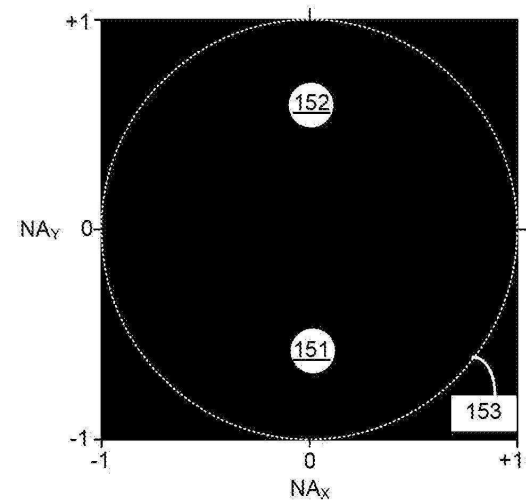
도면8



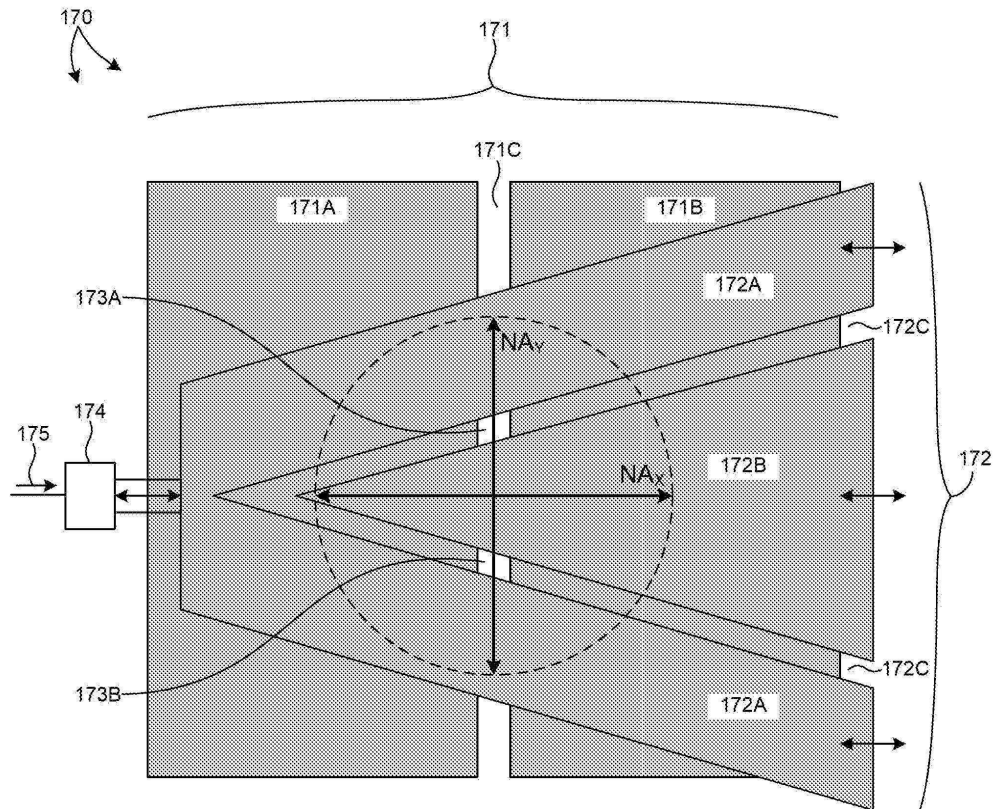
도면9



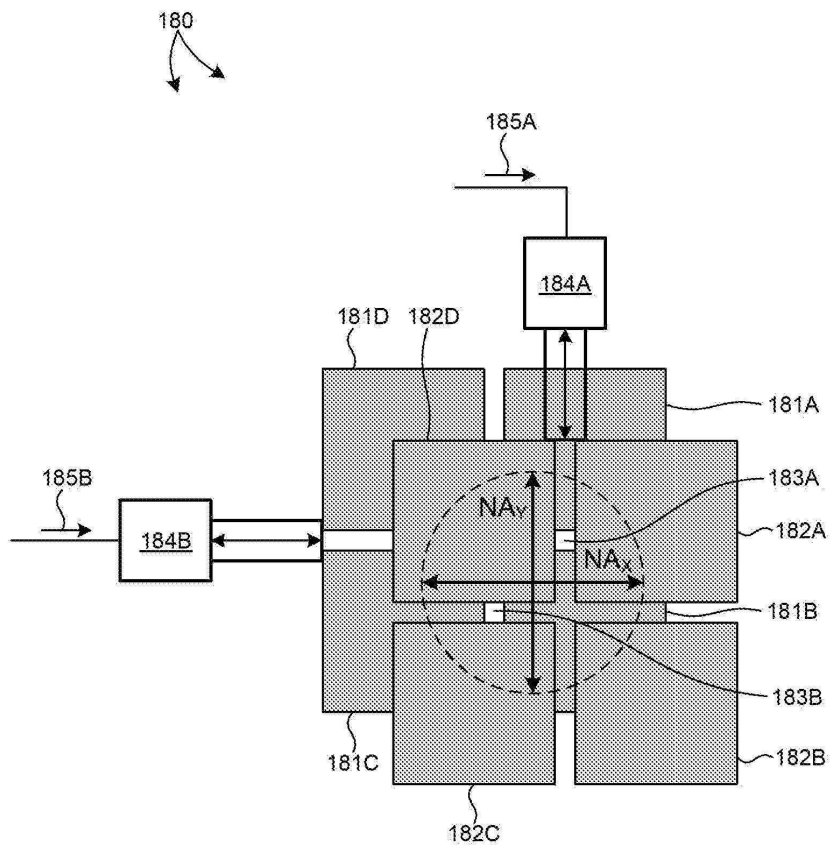
도면10



도면11



도면12



도면13

