



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2012-0052994
(43) 공개일자 2012년05월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01L 21/66 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2012-7004139

(22) 출원일자(국제) 2010년07월16일

심사청구일자 없음

(85) 번역문제출일자 2012년02월16일

(86) 국제출원번호 PCT/US2010/042354

(87) 국제공개번호 WO 2011/011291

국제공개일자 2011년01월27일

(30) 우선권주장

61/227,713 2009년07월22일 미국(US)

(71) 출원인

케이엘에이-텐코 코포레이션

미합중국, 캘리포니아 95035, 밀피타스, 원 테크
놀로지 드라이브

(72) 발명자

자오, 규오행

미국 95035 캘리포니아주 밀피타스 스타라이트
디알. 1062

베즈이라바니, 메디

미국 95032 캘리포니아주 로스 캐토스 알버트 씨
터. 101

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

신정건, 김태홍

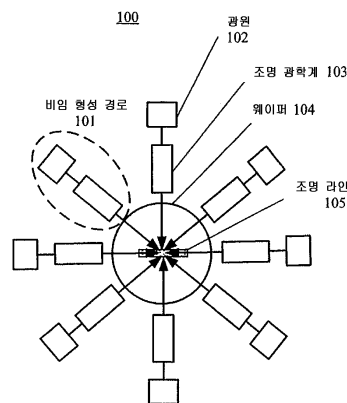
전체 청구항 수 : 총 36 항

(54) 발명의 명칭 링 조명을 갖는 다크 필드 검사 시스템

(57) 요약

샘플 표면 거칠거름으로 인한 스펙클 잡음을 최소화하는 다크 필드 검사 시스템은 웨이퍼 상에 복합 집속 조명 라인
인을 생성하기 위해 복수의 비임 형성 경로를 포함한다. 각각의 비임 형성 경로는 경사각으로 웨이퍼를 조사
할 수 있다. 복수의 비임 형성 경로는 링 조명을 형성한다. 링 조명은 스펙클 효과를 감소시켜, SNR을 개선
할 수 있다. 대물 렌즈는 웨이퍼로부터의 산란 광을 캡처할 수 있고, 이미징 센서는 대물 렌즈의 출력을 수신
할 수 있다. 웨이퍼 조사는 경사각으로 유발되기 때문에, 대물 렌즈는 높은 NA를 가짐으로써, 이미징 센서의
광학 해상도 및 최종 신호 레벨을 개선할 수 있다.

대표도 - 도1a



(72) 발명자

영, 스콧

미국 95073 캘리포니아주 쇼켈 프레스콧 로드
4440

마스카, 크리스

미국 95120 캘리포니아주 산 조세 퀸즈브릿지 씨
티. 1061

특허청구의 범위

청구항 1

웨이퍼 상에 복합 집속 조명 라인을 생성하고, 각각 경사각으로 웨이퍼를 조사하며, 링 조명을 형성하는 복수의 비임 형성 경로와,

웨이퍼로부터 산란 광을 캡처하기 위한 대물 렌즈와,

대물 렌즈의 출력을 수신하기 위한 이미징 센서를 포함하는,

다크 필드 검사 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서, 복수의 비임 형성 경로 각각은 광원을 포함하는,

다크 필드 검사 시스템.

청구항 3

제2항에 있어서, 복수의 비임 형성 경로 각각은 원통형 렌즈를 포함하고, 각각의 원통형 렌즈는 대응하는 광 원으로부터의 광 비임에 대해 기울어지고 회전되는,

다크 필드 검사 시스템.

청구항 4

제3항에 있어서, 샘플 표면 정규에 대한 경사각은 60° 내지 85° 인,

다크 필드 검사 시스템.

청구항 5

제3항에 있어서, 대물 렌즈의 개구수(NA)는 적어도 0.5인,

다크 필드 검사 시스템.

청구항 6

제3항에 있어서, 각각의 원통형 렌즈는 조명 라인에 평행하게 위치설정되는 원통 축을 갖는,

다크 필드 검사 시스템.

청구항 7

제6항에 있어서, 각각의 원통형 렌즈는 수차를 최소화하기 위해 각각의 원통형 렌즈의 원통 축을 중심으로 회전되는,

다크 필드 검사 시스템.

청구항 8

제6항에 있어서, 적어도 하나의 비임 형성 경로는 제1, 제2 및 제3 원통형 렌즈를 포함하고, 제1 원통형 렌즈와 제2 원통형 렌즈 중 하나는 적시에 임의의 지점에서 비임 형성 경로에 존재하고, 제1 원통형 렌즈 및 제2 원통형 렌즈 각각은 조명 라인의 길이를 결정하고, 제3 원통형 렌즈는 조명 라인의 폭을 결정하는,

다크 필드 검사 시스템.

청구항 9

제6항에 있어서, 적어도 하나의 비임 형성 경로는 연속 줌 렌즈 및 원통형 렌즈를 포함하고, 연속 줌 렌즈는 소정의 범위 내에서 특유한 조명 라인 길이의 선택을 허용하고, 원통형 렌즈는 조명 라인의 폭을 결정하는,

다크 필드 검사 시스템.

청구항 10

제3항에 있어서, 이미징 센서는 웨이퍼 상의 파터클의 형상을 정합시키는 디지털 이미지 처리 필터를 포함하는,

다크 필드 검사 시스템.

청구항 11

제9항에 있어서, 형상은 도넛 형상인,

다크 필드 검사 시스템.

청구항 12

제3항에 있어서, 각각의 광원은 레이저인,

다크 필드 검사 시스템.

청구항 13

제1항에 있어서, 복수의 비임 형성 경로는,

복수의 레이저와,

복수의 레이저에 결합되는 다중 모드 섬유와,

다중 모드 섬유에 의해 전달되는 비임을 변조시키기 위한 변조기와,

조명 라인을 생성하기 위해 비임을 반사시키고 유도하기 위한 미러를 포함하는,

다크 필드 검사 시스템.

청구항 14

제13항에 있어서, 미러는 비구면 링 미러를 포함하는,

다크 필드 검사 시스템.

청구항 15

제1항에 있어서, 복수의 비임 형성 경로는,

광대역 광원과,

광대역 광원의 출력을 수신하는 광 파이프와,

광 파이프의 출력을 시준하기 위한 집광 렌즈와,

조명 라인을 생성하기 위해 집광 렌즈로부터의 출력을 반사시키고 유도하기 위한 미러를 포함하는,

다크 필드 검사 시스템.

청구항 16

제15항에 있어서, 미러는 비구면 링 미러를 포함하는,

다크 필드 검사 시스템.

청구항 17

제2항에 있어서, 적어도 하나의 광원은 복수의 파장을 갖는 레이저 비임을 생성하기 위해 복수의 레이저 및 이색성 비임 결합기를 포함하는,

다크 필드 검사 시스템.

청구항 18

제2항에 있어서, 각각의 광원은 레이저이고, 인접한 비임 형성 경로들은 다른 파장을 갖는 레이저를 갖는, 다크 필드 검사 시스템.

청구항 19

제1항에 있어서, 복수의 비임 형성 경로는, 레이저와, 레이저에 결합되는 디퓨저와, 디퓨저의 출력을 수신하기 위한 섬유 다발을 포함하고, 각각의 섬유는 조명 라인을 형성하기 위해 광을 제공하는, 다크 필드 검사 시스템.

청구항 20

제3항에 있어서, 각각의 광원은 레이저인, 다크 필드 검사 시스템.

청구항 21

제3항에 있어서, 각각의 광원은 레이저 다이오드인, 다크 필드 검사 시스템.

청구항 22

제1항에 있어서, 대물 렌즈의 출력을 수신하도록 위치설정되는 비임 스플리터를 더 포함하고, 이미징 센서는 비임 스플리터에 의해 출력된 제1 파장의 광을 검출하기 위한 제1 이미징 센서 및 비임 스플리터에 의해 출력된 제2 파장의 광을 검출하기 위한 제2 이미징 센서를 포함하는, 다크 필드 검사 시스템.

청구항 23

제1항에 있어서, 대물 렌즈의 출력을 수신하도록 위치설정되는 비임 스플리터를 더 포함하고, 이미징 센서는 비임 스플리터에 의해 출력된 특유한 파장의 광을 각각 검출하기 위한 복수의 이미징 센서를 포함하는, 다크 필드 검사 시스템.

청구항 24

제23항에 있어서, 복수의 이미징 센서의 하위 세트가 이미지 분석을 위해 선택되는, 다크 필드 검사 시스템.

청구항 25

링 조명을 형성하기 위해 복수의 비임 형성 경로를 형성하는 단계를 포함하고, 각각의 비임 형성 경로는 경사각으로 웨이퍼를 조사하고, 복수의 비임 형성 경로의 출력은 웨이퍼 상에 집속 조명 라인을 형성하는, 다크 필드 검사 시스템 구성 방법.

청구항 26

제25항에 있어서, 복수의 비임 형성 경로를 형성하는 단계는, 각각의 비임 형성 경로에서 적어도 하나의 원통

형 렌즈를 기울이고 회전시키는 단계를 포함하는,
다크 필드 검사 시스템 구성 방법.

청구항 27

제26항에 있어서, 각각의 원통형 렌즈는 조명 라인에 평행하게 위치설정되는 원통 축을 갖는,
다크 필드 검사 시스템 구성 방법.

청구항 28

제27항에 있어서, 수차를 최소화하기 위해 적어도 하나의 원통형 렌즈를 적어도 하나의 원통형 렌즈의 원통 축을 중심으로 회전시키는 단계를 포함하는,
다크 필드 검사 시스템 구성 방법.

청구항 29

제26항에 있어서, 조명 라인의 길이를 결정하기 위해 제1 원통형 렌즈를 사용하고 조명 라인의 폭을 결정하기 위해 제2 원통형 렌즈를 사용하는 단계를 더 포함하는,
다크 필드 검사 시스템 구성 방법.

청구항 30

제26항에 있어서, 조명 라인의 길이를 결정하기 위해 줌 렌즈를 사용하고 조명 라인의 폭을 결정하기 위해 원통형 렌즈를 사용하는 단계를 더 포함하는,
다크 필드 검사 시스템 구성 방법.

청구항 31

제25항에 있어서, 복수의 비임 형성 경로를 형성하는 단계는,
다중 모드 섬유를 간섭성 광원의 출력에 결합시키는 단계와,
다중 모드 섬유에 의해 전달되는 비임을 변조시키는 단계와,
조명 라인을 생성하기 위해 변조된 비임을 반사시키고 유도하는 단계를 포함하는,
다크 필드 검사 시스템 구성 방법.

청구항 32

제25항에 있어서, 복수의 비임 형성 경로를 형성하는 단계는,
광 파이프를 비간섭성 광원의 출력에 결합시키는 단계와,
광 파이프의 출력을 시준하는 단계와,
조명 라인을 생성하기 위해 비임 시준된 출력을 반사시키고 유도하는 단계를 포함하는,
다크 필드 검사 시스템 구성 방법.

청구항 33

제25항에 있어서, 복수의 비임 형성 경로를 형성하는 단계는,
적어도 하나의 비임 형성 경로에서, 복수의 레이저로부터의 출력을 결합시키는 단계를 포함하고,
각각의 레이저는 다른 파장을 갖는,
다크 필드 검사 시스템 구성 방법.

청구항 34

제25항에 있어서, 복수의 비임 형성 경로를 형성하는 단계는,
인접한 비임 형성 경로에 다른 파장을 갖는 레이저를 제공하는 단계를 포함하는,
다크 필드 검사 시스템 구성 방법.

청구항 35

제25항에 있어서, 복수의 비임 형성 경로를 형성하는 단계는,
디퓨저를 레이저의 출력에 결합시키는 단계와,
섬유 다발을 디퓨저의 출력에 결합시키는 단계를 포함하고,
섬유 다발의 각각의 섬유는 조명 라인을 형성하기 위해 광을 제공하는,
다크 필드 검사 시스템 구성 방법.

청구항 36

제25항에 있어서, 경사각은 샘플 표면 정규에 대해 60° 내지 85° 인,
다크 필드 검사 시스템 구성 방법.

명세서

기술 분야

관련 출원

본 출원은 2009년 7월 22일 출원된 "기능이 향상된 결합 검사 시스템"이란 표제의 미국 특허 가출원 제 61/227,713호의 우선권을 주장한다.

본 발명은 다크 필드 검사 시스템과, 특히 다크 필드 검사 시스템을 위한 링 조명을 형성하는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

반도체 웨이퍼의 표면은 최적으로 편평하게 되어 있다. 그러나, 블랭크 웨이퍼에서조차도 소량의 잔류 거칠부(roughness)가 불가피하게 존재한다. 단지 2nm 이하일 수도 있는(즉, 검사를 위해 사용되는 광의 파장보다 매우 작은) 이런 거칠부는 다크 필드 검사 시스템의 이미징 센서에서 검출된 산란 광의 바람직하지 않은 요동을 야기할 수도 있다. 이러한 요동은 잡음 플로어(noise floor)로서 특징지어지고 본 명세서에선 "스펙클(speckle)"로 지칭된다. 웨이퍼 검사에 있어서, 스펙클은 이미징 센서의 민감도에 대한 유효 제한 인자이다. 즉, 달리 검출될 수도 있는 소형 파티클(예컨대, 결함)은 스펙클에 의해 은폐될 수도 있다.

광대역 시스템의 에지 명암 대비(EC) 모드 또는 레이저 다크 필드 검사 시스템을 포함하는 종래의 다크 필드 검사 방법은 스펙클을 극복하도록 고안되지 못했다. 유감스럽게도, 광대역 시스템의 EC 모드는 저휘도 광대역 광원을 사용하여, 이미징 센서에서 낮은 조명 레벨을 야기한다. 또한, 광대역 시스템의 EC 모드는 개구수(NA)가 조명 및 이미징 양자 모두를 위해 사용되기 때문에 결합 검출에 유효한 본질적으로 제한된 개구수를 갖는다. 이런 제한된 NA는 낮은 광학 해상도와, 산란 광에 대한 비교적 낮은 집진율(collection efficiency)을 야기한다.

KLA-Tencor로 제공되는 퓨마 패밀리(Puma family) 제품과 같은 통상적인 레이저 다크 필드 검사 시스템은 해상도를 다소 제한할 수 있는(예컨대, 1μm의 오더의)비교적 대형인 라인 폭을 생성하는 기울어진 광 입사를 사용한다. 또한, 통상적인 레이저 다크 필드 검사 시스템은 강한 공간적 간섭성을 야기하는 단일 조명각을 사용한다. 강한 공간적 간섭성은 실제 결합에 대한 시스템의 최종 민감도에 영향을 미칠 수 있는 비교적 큰 레벨의 거칠부 유도 요동(또는 스펙클)을 야기할 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 따라서, 결함 검출 민감도를 상당히 개선할 수 있는 다크 필드 검사 시스템을 제공할 필요가 있다.

과제의 해결 수단

- [0008] 웨이퍼의 표면 거칠거리는 다크 필드 검사 시스템의 이미징 센서에서 검출된 산란 광의 작은 요동을 통상 야기한다. 이러한 요동은 스펙클로 지칭되고 잡음 플로어로서 특징지어질 수 있다. 웨이퍼 검사에 있어서, 달리 검출될 수도 있는 소형 결함(예컨대, 파티클)은 스펙클에 의해 은폐될 수도 있다.
- [0009] 스펙클 효과를 최소화하는 다크 필드 검사 시스템은 웨이퍼 상에 복합 집속 조명 라인 또는 2차원 필드를 생성하기 위해 복수의 비임 형성 경로를 포함할 수 있다. 각각의 비임 형성 경로는 유리하게는 경사각으로 웨이퍼를 조사할 수 있다. 복수의 비임 형성 경로는 링 조명을 형성할 수 있다. 링 조명은 스펙클 효과를 감소시켜, SNR(신대 호 잡음비)을 개선할 수 있다. 다크 필드 검사 시스템은 웨이퍼로부터의 산란 광을 캡처하기 위한 대물 렌즈 및 대물 렌즈의 출력을 수신하기 위한 이미징 센서를 추가로 포함할 수 있다. 웨이퍼 조사는 경사각으로 유발되기 때문에, 대물 렌즈는 높은 NA(개구수)(예컨대, 적어도 0.5)를 가짐으로써, 광학 해상도를 개선할 수 있다. 일 실시예에서, 경사각은 표면 정규(surface normal)에 대해 60° 내지 85° 일 수 있다.
- [0010] 일 실시예에서, 각각의 비임 형성 경로는 광원(예컨대, 레이저 또는 레이저 다이오드) 및 원통형 렌즈를 포함할 수 있다. 각각의 원통형 렌즈는 대응하는 광원으로부터의 광 비임에 대해 기울어지고 회전될 수 있다. 각각의 원통형 렌즈는 조명 라인에 평행하게 위치설정되는 원통 축을 가질 수 있다. 일 실시예에서, 각각의 원통형 렌즈는 수차(aberration)를 최소화하기 위해 원통 축을 중심으로 회전될 수 있다.
- [0011] 일 실시예에서, 적어도 하나의 비임 형성 경로는 제1, 제2 및 제3 원통형 렌즈를 포함한다. 제1 원통형 렌즈와 제2 원통형 렌즈 중 하나는 적시에 임의의 지점에서 비임 형성 경로에 존재한다. 각각의 제1 원통형 렌즈 및 제2 원통형 렌즈는 조명 라인의 길이를 결정할 수 있다. 제3 원통형 렌즈는 조명 라인의 폭을 결정할 수 있다. 다른 실시예에서, 제1 원통형 렌즈 및 제2 원통형 렌즈는 소정의 범위 내에서 특유한 조명 라인 길이의 선택을 허용하는 줌 렌즈에 의해 대체될 수 있다.
- [0012] 일 실시예에서, 다크 필드 검사 시스템의 이미징 센서는 웨이퍼 상의 파티클의 이미지의 형상을 정합시키는 디지털 이미지 처리 필터를 포함할 수 있다. 예컨대, 형상은 도넛 형상일 수 있다.
- [0013] 일 실시예에서, 복수의 비임 형성 경로는 복수의 레이저와, 복수의 레이저에 결합되는 다중 모드 섬유를 포함할 수 있다. 변조기가 다중 모드 섬유에 의해 전달되는 비임을 변조할 수 있다. 미러는 조명 라인을 생성하기 위해 비임을 반사시키고 유도할 수 있다. 일 실시예에서, 미러는 비구면 링 미러를 포함할 수 있다.
- [0014] 다른 실시예에서, 복수의 비임 형성 경로는 광대역 광원과, 광대역 광원의 출력을 수신하기 위한 광 파이프를 포함할 수 있다. 집광 렌즈가 광 파이프의 출력을 시준할 수 있다. 미러는 조명 라인을 생성하기 위해 집광 렌즈로부터의 출력을 반사시키고 유도할 수 있다. 일 실시예에서, 미러는 비구면 링 미러를 포함할 수 있다.
- [0015] 각각의 비임 형성 경로가 광원을 포함하는 일 실시예에서, 적어도 하나의 광원은 복수의 파장을 갖는 레이저 비임을 생성하기 위해 복수의 레이저 및 이색성(dichroic) 비임 조합기를 포함한다. 상이한 결함은 상이한 파장에 대해 상이하게 응답할 수 있기 때문에, 이런 복수의 파장은 결함 검출 및 식별을 용이하게 할 수 있다. 각각의 비임 형성 경로가 광원을 포함하는 다른 실시예에서, 각각의 광원은 레이저이며, 인접한 비임 형성 경로들은 상이한 파장을 갖는 레이저를 가질 수 있다.
- [0016] 일 실시예에서, 복수의 비임 형성 경로는 레이저와, 레이저에 결합되는 디퓨저를 포함할 수 있다. 섬유 다발은 디퓨저의 출력을 수신할 수 있다. 섬유 다발의 각각의 섬유는 조명 라인을 형성하기 위해 광을 제공할 수 있다.
- [0017] 일 실시예에서, 다크 필드 검사 시스템은 대물 렌즈의 출력을 수신하도록 위치설정되는 비임 스플리터를 포함할 수 있다. 이런 경우, 이미징 센서는 비임 스플리터에 의해 출력된 특유한 파장의 광을 각각 검출하기 위한 복수의 이미징 센서를 포함할 수 있다. 예컨대, 이미징 센서는 비임 스플리터에 의해 출력된 제1 파장의 광을 검출하기 위한 제1 이미징 센서 및 비임 스플리터에 의해 출력된 제2 파장의 광을 검출하기 위한 제2 이미징 센서를 포함할 수 있다. 비임 스플리터에 의해 출력된 3개 이상의 파장을 갖는 일 실시예에서, 복수의

이미징 센서의 하위 세트만이 이미지 분석을 위해 선택될 수도 있다.

[0018] 또한, 다크 필드 검사 시스템을 구성하는 방법이 기술된다. 본 방법에서, 링 조명을 제공하기 위해 비임 형성 경로가 형성된다. 각각의 비임 형성 경로는 경사각으로 웨이퍼를 조사한다. 특히, 복수의 비임 형성 경로의 출력은 웨이퍼 상에 집속 조명 라인을 형성할 수 있다.

발명의 효과

[0019] 본 발명에 따르면, 높은 NA를 제공하고 스펙클을 최소화하여, 개선된 해상도 및 민감도를 제공하는 다크 필드 검사 시스템을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0020] 도 1a는 광원 및 대응하는 조명 광학계를 각각 포함하는 복수의 비임 형성 경로를 포함하는 예시적인 조명 링을 도시한다.

도 1b는 도 1a의 조명 링이 경사각으로 웨이퍼를 조사할 수 있다는 것을 도시한다.

도 2는 스캔 방향으로 복수의 TDI 스테이지를 사용하여 스캔될 수 있는 오버필드 조명 영역을 도시한다.

도 3은 도 2의 구성에 비해 사실상 감소된 개수의 TDI 스테이지를 사용하여 스캔될 수 있는 언더필드 조명 영역을 도시한다.

도 4는 웨이퍼 상에 복합 조명 필드를 형성하기 위해 광 비임에 대해 기울어지고 회전되는 3개의 원통형 렌즈를 포함하는 예시적인 조명 구성을 도시한다.

도 5 및 도 6은 원통형 렌즈의 배향이 조명 필드 생성을 위해 방위각 및 편각에 기초하여 어떻게 결정되는지를 도시한다.

도 7은 복수의 조명 필드 길이를 제공하기 위해 3개의 원통형 렌즈를 포함하는 예시적인 비임 형성 경로를 도시한다.

도 8은 도넛 형상 이미징을 나타내는 4개의 파티클 및 배경 스펙클을 포함하는 비패턴 웨이퍼 표면의 이미징 센서 출력 표상을 도시한다.

도 9는 평균화 효과를 증가시키기 위해 다모드 섬유를 통해 전달되는 복수의 레이저로부터의 레이저 비임을 변조(예컨대, 웨이킹)할 수 있는 예시적인 검사 시스템을 도시한다.

도 10은 광대역 광원에 의해 생성된 광을 최종 조명경에 보다 효율적으로 전달하기 위해 광대역 광원에 의해 생성된 광을 시준할 수 있는 예시적인 검사 시스템을 도시한다.

도 11은 평균화 효과를 증가시키고 결함 식별을 개선하기 위해 상이한 파장의 레이저 비임을 결합시키는 방법을 도시한다.

도 12는 평균화 효과를 증가시키고 결함 식별을 개선하기 위해 상이한 편각으로 삽입 배치된 상이한 파장의 레이저 비임을 사용하는 방법을 도시한다.

도 13은 복수의 검사 채널을 포함하는 예시적인 검사 시스템(1300)을 도시한다.

도 14는 레이저로부터 간섭성 광을 수신하고 비간섭성 광을 생성할 수 있는 디퓨저를 포함하는 예시적인 검사 시스템을 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0021] 웨이퍼 표면의 거칠침은 다크 필드 검사 시스템의 이미징 센서에서 검출된 산란 광에 바람직하지 않은 요동을 야기할 수 있다. 웨이퍼 검사에 있어서, 이런 (이하에선 스펙클로 지칭되는)요동은 이미징 센서의 민감도의 유효 제한 인자이다. 개선된 다크 필드 검사 시스템의 일 양태에 따르면, 스펙클은 공간적 간섭성을 유리하게 감소시켜 광학적 민감도를 개선할 수 있는 링 조명을 사용함으로써 감소될 수 있다.

[0022] 도 1a는 복수의 비임 형성 경로(101)를 포함하는 예시적인 조명 링(100)을 도시한다. 각각의 비임 형성 경로(101)는 광원(102) 및 대응하는 조명 광학계(103)를 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 광원(102)은 레이저 또는 레이저 다이오드일 수 있다. 특히, 도 1b를 또한 참조하면, 광원(102)은 (조명 광학계(103)를 통해) 경사

각으로 웨이퍼(104)를 조사할 수 있다. 일 실시예에서, (웨이퍼 정규로부터 측정된 바와 같은)경사진 조명각은 60° 내지 85° 일 수 있다. 이런 경사진 조명각은 이미징만을 위해 대물 렌즈(111)를 자유롭게 하여, 높은 NA(예컨대, 0.5 내지 0.97)가 사용되는 것을 허용한다. 이미징 센서(110)는 (단순화를 위해 도시되지 않은)표준 이미징 경로 구성을 사용하는 대물 렌즈(111)로부터의 집속 광의 샘플/결합 산란 성분을 수신하도록 위치설정될 수 있다.

[0023] 특히, 2개의 독립적인 임의의 잡음원이 평균화될 때, 전체 임의의 잡음은 $\sqrt{2}$ 만큼 감소된다. N 독립에 있어서, 임의의 잡음원이 평균화될 때, 전체 임의의 잡음은 $\sqrt{N}$ 만큼 감소된다. 상술된 링 조명은 통계적으로 독립적인 잡음원, 즉 스펙클을 제공함으로써, 이하에서 보다 상세히 기술되는 바와 같이, 파티클 신호를 향상시키면서 임의의 잡음원을 효과적으로 상쇄시킬 수 있다. 이런 상쇄 프로세스는 본 명세서에서 "평균화(averaging)"라고도 지칭된다. N은 짝수 또는 홀수일 수 있음을 알아야 한다.

[0024] 상술된 조명 구성을 사용하는 경우, 웨이퍼(104)는 시간 지연 집적(TDI)을 사용하는 광대역 웨이퍼 검사 도구에 의해 검사될 수도 있다. 다양한 TDI 기술 및 구성은 본 명세서에 참조 문헌으로 통합된 KLA-Tencor사의 2007년 6월 5일자로 허여된 "저표본화된 이미지를 재구성하기 위해 디터링을 사용함으로써 기판 표면의 결함을 식별하기 위한 방법 및 장치"라는 표제의 미국 특허 제7227984호에 개시되어 있다. 광대역 도구에 있어서, 다수의 집적 스테이지를 갖는 TDI가 광 산정(light budget)을 위해 통상 필요하다는 것을 알아야 한다. 예컨대, 도 2는 스캔 방향(203)으로 TDI 스테이지(202)를 사용하여 스캔될 수 있는 (광대역 도구에선 통상적인)오버필드(over-filled) 조명 영역(203)을 도시한다. 그러나, 오버필드 조명 영역(201)을 실질적으로 커버하는 TDI 스테이지(202)로 구성되는 TDI 센서는 넓은 센서 영역과 관련된 낮은 수율(yield)로 인해 고가이며 제조하기 어렵다.

[0025] 특히, 광원(102) 및 대응하는 조명 광학계(103)는 웨이퍼(104) 상에 (예컨대, 10 μ m의 오더의)가늘고 눈부신 조명 라인을 생성함으로써, (광대역 광원에 비해) 단위 면적당 광밀도(light density)를 상당히 증가시킬 수 있다. TDI 스테이지를 최소화하기 위해, 조명 라인은 TDI 집적 방향에 수직으로 형성될 수 있다. 예컨대, 도 3은 스캔 방향(303)으로 실질적으로 감소된 개수의 TDI 스테이지(302)를 사용하여 스캔될 수 있는 언더필드(under-filled) 조명 영역(303)(즉, 웨이퍼 상의 조명 라인)을 도시한다. "언더필드"란 용어는 "오버필드" 조명 영역(예컨대, 도 2 참조)과는 대조적으로 조명을 위해 제공된 상당히 소형인 영역을 나타낸다. 이런 TDI 스테이지 감소는 센서와 관련된 비용을 상당히 감소시키면서, 높은 민감도 및 높은 처리량 검사에 필요한 충분한 조명 휘도를 제공할 수 있다. 일 실시예에서, 웨이퍼 검사의 처리량을 최적화하기 위해, 조명 라인의 길이는 1mm 내지 3mm의 범위 일 수 있다.

[0026] 일 실시예에서, 복수의 방위 조명각을 위해, 상이한 조명각의 조명 라인이 적어도 부분적으로 중첩되어 조명 라인, 즉 언더필드 조명 영역(301)을 형성할 수 있다. 다른 실시예에서, 상이한 조명각의 조명 라인들이 효과적으로 연관되어 조명 라인을 형성할 수 있다.

[0027] 도 4는 웨이퍼 상에 복합 조명 라인을 형성하기 위해 광 비임에 대해 기울어지고 회전되는 3개의 원통형 렌즈를 포함하는 예시적인 조명 구성을 도시한다. 구체적으로, (3개의 비임 형성 경로로부터 조명 광학계의 일부를 형성하는)3개의 원통형 렌즈(411, 412, 413)는 각각 웨이퍼(410) 상에 조명 라인을 형성하기 위해 (단순화를 위해 도시되지 않은 각각의 광원에 의해 출력되는)레이저 비임(401, 402, 403)에 대해 기울어지고 회전될 수 있다. 일 실시예에서, 경사각 및 회전각은 조명각에 의해 결정될 수 있다.

[0028] 도 4는 원통형 렌즈(411, 412, 413)에 대해 각각 0° , 45° 및 90° 방위각의 예시적인 각도를 도시한다. 각각의 원통형 렌즈는 관련된 레이저 비임으로부터 시준된 광을 수신하고 a축이라고 지칭되는 장축에 평행한 웨이퍼(410) 상의 집속 라인을 생성한다.

[0029] 원통형 렌즈는 조명의 방위각에 따라 다른 배향을 가질 수 있다. 예컨대, 도 5는 조명 라인 생성을 위해 원통형 렌즈(501)의 배향이 방위각 Φ 및 편각 Θ 에 기초하여 어떻게 결정되는지를 도시한다. a축은 원통 축으로 지칭되고, c축은 원통형 렌즈의 광학 축으로 지칭된다. b축은 a축과 c축 양자 모두에 수직이다. 조명 라인이 x축을 따르는 경우, 원통형 렌즈(501)의 a축은 x축에 평행하다. 일 실시예에서, 원통형 렌즈(501)의 b축은 수차를 최소화하기 위해 입사 비임(502)에 수직으로 위치설정될 수 있다.

[0030] 원통형 렌즈(501)의 a축은 조명의 입사각에 관계없이 x축에 평행이기 때문에, 원통형 렌즈(501)의 배향은 a축에 대해 회전각에 의해 용이하게 한정될 수 있다. 다음 방정식은 방위각 Φ 및 편각 Θ 의 함수로서 원통형

렌즈의 배향을 유도한다.

[0031] 조명 비임 벡터는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\vec{I} = \sin \theta \cos \Phi \vec{x} + \sin \theta \sin \Phi \vec{y} + \cos \theta \vec{z}$$

[0032] 원통형 렌즈 축 벡터는 $\vec{a} = \vec{x}$.

[0033] b의 방향은 다음과 같이 산출될 수 있다.

$$\vec{b} = \frac{\vec{a} \times \vec{I}}{\sin \delta}$$

[0034] 여기서, δ 는 원통형 렌즈 $\vec{a}$ 및 입사 비임 $\vec{I}$ 사이의 각도이며, 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} \cos \delta &= \vec{a} \cdot \vec{I} \\ &= \sin \theta \cos \Phi \end{aligned}$$

$$\vec{b} = \frac{\sin \theta \sin \Phi}{\sqrt{1 - \sin^2 \theta \cos^2 \Phi}} \vec{z} - \frac{\cos \theta}{\sqrt{1 - \sin^2 \theta \cos^2 \Phi}} \vec{y}$$

[0035] 따라서,

[0036] 하나의 특정한 경우는 $\Phi = 0^\circ : \vec{b} = -\vec{y}$ 인 경우임을 알아야 한다.

[0037] 여기서, $\vec{b}$ 는 y축에 평행이다. 즉, 광학 축은 z축에 평행이다. 원통형 렌즈와 입사 비임 사이의 각도는 레이저 다크 필드 검사 도구의 조명 장치배열인 경우 $90^\circ - \theta$ 이다.

[0038] 다른 특정한 경우는 $\Phi = 90^\circ : \vec{b} = \sin \theta \vec{z} - \cos \theta \vec{y}$ 인 경우이며, 여기서, 원통형 렌즈는 입사 비임($\delta = 0$)에 수직인데, 이는 레이저 비임의 집속을 위해 원통형 렌즈를 사용하는 종래의 방식이다.

[0039] 임의의 조명각으로 레이저 비임을 집속하도록 원통형 렌즈를 정렬하기 위해, 다음과 같은 두 단계가 이용될 수 있다.

[0040] 단계 1) 원통 축을 라인 방향(본 예에선 x축)에 평행이 되도록 그리고 광학 축 $\vec{c}$ 를 z축에 평행이 되도록 정렬시키고,

[0041] 단계 2) 원통형 렌즈를 다음과 같이 주어지는 ω 의 각도만큼 원통 축 $\vec{a}$ 을 중심으로 회전시킨다.

$$\cos \omega = \frac{\cos \theta}{\sqrt{1 - \sin^2 \theta \cos^2 \Phi}}$$

[0042] 따라서,

[0043] 도 6에 도시된 바와 같이, 원통형 렌즈의 회전은 원통형 렌즈의 $\vec{b}$ 축을 입사 비임(601)에 수직이 되게 한다.

[0044] 단계 2)는 수차를 최소화할 수 있음을 알아야 한다. 따라서, 조명 라인이 엄격히 집속될 필요가 없는 경우, 단계 2)는 필요 없다.

[0045] 표 1은 65° 의 입사 편각에서 조명의 다양한 방위각에 대한 렌즈 회전각(도 단위)의 예를 나타낸다.

표 1

Φ	ω	δ
0	00.00	25.00
15	29.03	28.90
30	47.00	38.29
45	56.60	50.14
60	61.70	63.05
75	64.23	76.43
90	65.00	90.00

[0049]

[0050] 도 7은 복수의 조명 라인 길이를 제공하기 위해 3개의 원통형 렌즈를 포함하는 예시적인 비임 형성 경로(700)를 도시한다. 이 실시예에서, 비임 형성 경로(700)는 열 싱크(701)에 의해 냉각될 수 있는 레이저 다이오드(702)를 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 열 싱크(701)는 열전기(TE) 냉각기를 이용하여 실시되고 레이저 다이오드(702)는 9mm 다이오드에 의해 실시될 수 있다. 레이저 다이오드(702)에 의해 방출된 광은 구형 시준 렌즈(703)에 의해 시준되고 개구(704)에 의해 형상화될 수 있다. 편광(polarization)의 배향은 웨이브 판(705)에 의해 제어된다. 이 시점에서, 광은 원통형 렌즈(706, 707, 708) 중 적어도 2개에 의해 라인(709)으로 형성될 수 있다. 본 실시예에서, 원통형 렌즈(706, 707)는 라인 길이를 결정하는데 사용되지만, 원통형 렌즈(708)는 라인을 집속하는데(즉, 라인의 폭을 결정하는데) 사용될 수 있다. 실제 실시예에서, (도시되지 않은)모터가 원통형 렌즈(707)를 교환하고 이동시키는데 사용되어, 사용자가 산출량 및 민감도 조절을 위해 라인 길이를 변경할 수 있다. 다른 실시예에서, 원통형 렌즈(706, 707)는 소정의 범위 내에서 특정 조명 라인 길이의 선택을 허용하는 연속 줌 렌즈(710)에 의해 대체될 수 있다. 상술된 경사짐 및 회전은 원통형 렌즈(708)에만 해당된다.

[0051] 일 실시예에서, 각각의 광원(예컨대, 도 1a 참조)은 하나의 대응하는 비임 형성 경로(700)를 갖는다. (이하에서 기술될)다른 실시예에서, 단일 광원이 복수 광원으로 추후에 분할되는 광 비임을 생성할 수 있다. 복수 광원을 위해 편각의 개수를 증가시키는 것은 신호 대 잡음비(SNR)를 특히 2 각도보다 많이 유리하게 증가시킬 수 있다. (즉, 스펙클을 최소화할) 수 있다.

[0052] 특히, 특정 편각, 웨이퍼 표면의 거칠기 및 스펙클 감소 사이에는 관련성이 있다. 예컨대, 베어 웨이퍼의 비교적 원활한 웨이퍼 표면에 있어서, 광원의 0° 및 180°의 각도는 0° 및 90°의 각도에 비해 스펙클이 소량 감소된다. 그러나, 패턴 웨이퍼의 비교적 거친 웨이퍼 표면에 있어서, 90° 또는 180° (0°와 함께)가 사용되면 비교할만한 결과를 가져올 수 있다. 따라서, 패턴 웨이퍼를 위한 평준화는 동일한 개수의 광원을 갖는 비패턴 웨이퍼보다 더 효과적일 수 있다. 더 적은 SNR 개선은 더 적은 각거리(angular separation)에서 조명에 의해 생성된 스펙클 패턴들 사이의 증가하는 상관 관계 때문에 웨이퍼 표면 거칠기와 관계없이 8 각도 후에 유발될 수 있음(웨이퍼 주변에 8개보다 많은 광원을 물리적으로 배치하는 것은 어떤 경우 문제를 유발할 수도 있음)을 알아야 한다.

[0053] 베어 웨이퍼에 대한 파티클 검출 민감도는 웨이퍼 표면 거칠기의 스펙클 잡음에 의해 제한됨을 알아야 한다. 레이저 파장보다 훨씬 작은 파티클 크기에 대해, (임사면에 평행한)경사진 P 편광 조명에 대한 산재된 전체의 파 필드(far field)는 임의의 특정 산란 방향을 위한 P 편광에서 우세하며, 강도 분포는 도넛 형상을 갖는다. 파티클이 높은 NA 대물 렌즈로 이미징될 때, 편광은 대물 렌즈의 푸리에 평면에서 반경 방향으로 우세하다. 벡터 이미징 시뮬레이션은 이런 조건하에서 파티클의 다크 필드 이미지는 스칼라 이미징 이론에 기초하는 이미징 렌즈의 점 확산 함수(point spread function)인 징크 함수(Jinc function)가 아님을 보여준다. 특히, (y 방향으로 편광된)캡처된 이미지 P-y에 추가된 (x 방향으로 편광된)캡처된 이미지 P-x는 캡처된 이미지 U와 동일한데, 즉, 편광되지 않는다. 따라서, 일 실시예에서 편광되지 않은 이미지가 캡처될 수 있다.

[0054] 파티클의 캡처된 이미지는 약간 비대칭적으로 계량된 도넛 형상을 갖는 다크 중심부를 도시한다. 도 8은 도넛 형상을 나타내는 4개의 파티클(800) 및 배경 스펙클(801)을 포함하는 베어 웨이퍼 표면(800)의 이미징 센

서 출력 표상을 도시한다. 특히, 방위각에선 균등하게 이격되어 있지만 편각에선 유사한 복수의 조명각에 있어서, P 편광에 대한 소형 파티클의 이미지는 거의 완전한 도넛 형상이 된다. 도 8에서 알 수 있는 바와 같이, 파티클(802)의 고유한 특징은 스펙클 잡음(801)과 명백하게 구별됨으로써, 결합 식별이 용이할 수 있다.

[0055] 일 실시예에서, 정합 필터가 스펙클을 추가로 감소시켜 SNR을 개선하기 위해 디지털 이미지 처리(즉, 이미징 센서에 의해 수행된 다음 컴퓨터에 의해 수행됨)에 사용될 수도 있다. 예컨대, (도넛 형상의)파티클 이미지와 동일한 형상을 갖는 단순 디지털 이미지 처리 필터가 사용될 수 있지만, 다른 유형의 필터가 다른 실시예에서 사용될 수도 있다. 정합 필터는 S 편광 조명이 아니라 P 편광 조명에 적용될 수 있음을 알아야 한다. P 편광 조명은 S 편광 조명보다 강하게 산란되지만, P 편광은 연마된 Si(실리콘) 웨이퍼 및 임의의 원활한 폴리실리콘 웨이퍼와 같이 낮은 헤이즈(haze)를 갖는 웨이퍼에 대해 최적의 민감도를 제공할 수 있다.

[0056] 일 실시예에서, SNR은 편광이 반경 방향으로 정렬되도록 대물 렌즈와 이미지 센서 사이의 이미징 경로에서 반경 방향 편광자에 의해 추가로 향상될 수 있다. 이런 반경 방향 편광자는 스펙클을 감소시키면서 소형 파티클로부터 산란 광의 대부분을 통과시킬 수 있다. 조명 편광 및 이미징 편광의 다양한 조합이 특정 결합 유형에 대해 사용될 수 있다. 예컨대, 조명의 편광은 x 또는 y에 평행한 동일 방향으로 정렬될 수 있으며, 선형 편광자는 조명 편광에 평행하게 또는 수직으로 수집 경로에서 사용될 수 있다. 이런 구성은 패턴 구성요소가 x 방향 및 y 방향과 정렬되는 패턴 웨이퍼 검사에 유리할 수 있다. 특히, 분리된 레이저는 단일 점광원으로론 달리 실행될 수 없는 조명의 반경 방향 또는 접선 방향 편광을 허용한다.

[0057] 링 조명을 형성함으로써 복수의 비임이 서로 간섭되지 않게 하는 복수의 레이저 비임을 전달하는 다양한 방법이 제공될 수 있다. 예컨대, 일 실시예에서 레이저 비임은 단일 모드 섬유를 통해 복수의 레이저로부터 전달될 수 있다. 광원으로서 섬유를 사용함으로써, 이런 광원은 웨이퍼로부터 비교적 멀리 떨어져 배치되기 때문에, 공간이 중요하게 여기지는 경우에 시스템 구성 유연성을 제공할 수 있음을 알아야 한다. 다른 실시예에서, 단일 레이저로부터의 비임은 맨 처음 스펙클 처리됨으로써, 동일한 레이저로부터 발생된 비임들 사이의 간섭성을 제거한 다음, 복수의 섬유로 결합되어 복수의 각도로 웨이퍼를 조사할 수 있다.

[0058] 도 9에 도시된 예시적인 검사 시스템(900)에서, 변조기(907)는 다중 모드 섬유(908)를 통해 전달되는 복수의 레이저(910)로부터 섬유를 변조(예컨대, 웨이킹(shaking))할 수 있다. 이런 변조는 다중 모드 간섭을 이용하여 레이저원으로부터 스펙클을 최소화할 수 있다. 본 실시예에서, 렌즈(904)는 위치(100)에 존재하는 광을 시준하여 미러(903) 상으로 유도하고, 포물면 미러(905)와 함께 넓고 큰 입체각의 광을 웨이퍼(912) 상에 제공할 수 있다. 웨이퍼(912)로부터의 산란 광은 (단지 이미징/수집을 위해 제공되기 때문에 큰 NA를 갖는)대물 렌즈(906)에 의해 수집된 다음, 확대 튜브 렌즈에 의해 이미징 센서(901) 상으로 집속된다. 다른 실시예에서, 단일 레이저로부터의 비임은 복수의 비임으로 분할되어 다중 모드 섬유를 통해 전달되며, 다중 모드 섬유는 스펙클을 최소화하도록 변조될 수 있다.

[0059] 레이저 또는 레이저 다이오드 이외의 광원이 사용될 수 있음을 알아야 한다. 예컨대, 도 10은 광 파이프(1002)가 광대역(비간섭성) 광원(1001)에 의해 출력된 광을 캡처할 수 있는 예시적인 검사 시스템(1000)을 도시한다. 집광 렌즈(1003)는 광 파이프(1002)에 의해 출력된 비간섭성 발산 광을 미러(903) 상으로 그리고 (동일한 구성요소는 동일한 도면 부호로 표시된)도 9를 참조하여 기술된 다른 구성요소 상으로 시준할 수 있다. 따라서, 본 실시예는 도 9에 대해 기술된 이점뿐만 아니라 다른 파장을 이용하는 추가적인 이점을 가짐으로써, 평준화를 추가로 향상시킨다.

[0060] 도 11은 평준화 효과를 증가시키기 위해 상이한 파장의 레이저 비임을 결합시키는 방법을 도시한다. 일 실시예에서, (각각 λ_1 , λ_2 및 λ_3 의 파장을 갖는)레이저(1101, 1102, 1103)로부터의 광 비임은 (제1 파장을 반사시키고 제2 파장을 통과시키는)이색성 비임 결합기(1105, 1106)를 사용하여 결합될 수 있다. 이 실시예에서, 렌즈(107, 108, 109)는 결합되기 전에 레이저 비임을 시준한다. 결합 후에, 아나모픽(anamorphic) 비임 형성 광학계(1104)는 결합된 비임의 수직 축을 따라 불균등 확대를 도입함으로써 결합된 비임의 길이 또는 폭을 독립적으로 변화시킬 수 있다. 원통형 렌즈(1110)는 웨이퍼 표면 상에 집속 라인을 형성한다. 특히, 특정 파장은 웨이퍼 상의 다른 결합(예컨대, 파티클)을 검출하고 식별할 때 다른 파장보다 더 효과적일 수도 있다. 따라서, 복수의 파장을 포함하는 비임을 사용하는 것은 웨이퍼 상의 다양한 유형의 결합의 검출 및 식별을 개선할 수 있다.

[0061] 도 12는 3개의 다른 파장(λ_1 , λ_2 , λ_3)을 갖는 복수의 광원이 삽입 배치(interleave)될 수 있는 실시예를 도시한다. 이런 삽입 배치는 도 11에 도시된 실시예에 비해 시스템 풋프린트를 증가시키지만, 특정 파장에 대한 결합 검출 응답을 추적하는 기능을 제공할 수도 있다. 도 11에 도시된 실시예와 마찬가지로, 상이한 파

장의 레이저 비임을 사용하는 것은 평균화 효과를 증가시키고, 결함 검출 및 식별을 개선할 수 있다.

[0062] 도 13은 복수의 검출 채널을 포함하는 예시적인 검사 시스템(1300)을 도시한다. 이 실시예에서, 웨이퍼(1311)에 충돌하는 경사진 링 조명(1310)으로부터 유발된 산란 광은 대물 렌즈(906)에 의해 수집된 다음, 확대 튜브 렌즈(092)에 의해 제1 이미징 센서(1302) 및 제2 이미징 센서(1303) 상으로 집속된다. 특히, 이색성 비임 스플리터(1301)는 파장에 기초하여 광을 분배하여 각각의 파장을 특정 이미징 센서로 유도한다. 예컨대, 파장($\lambda 1$)은 이미징 센서(1302)로 유도되지만, 파장($\lambda 2$)은 이미징 센서(1303)로 유도될 수 있다. 다른 실시예에서, 다른 비임 스플리터가 3개 이상의 파장에 기초하여 광을 분배하여 광을 3개 이상의 검출 채널로 유도할 수 있음을 알아야 한다. 3개의 파장을 이용하는 일 실시예에서, 검사 시스템은 2개의 검출 채널을 선택할 수 있다. 특히, 상이한 파장에 기초하여 복수의 검출 채널을 제공하는 것은 결함 검출 및 분류를 추가로 향상시킬 수 있다.

[0063] 도 14는 디퓨저(1402)가 레이저(1401)로부터 간섭성 광을 수신하여 비간섭성 광을 생성할 수 있는 예시적인 검사 시스템(1400)을 도시한다. 이런 비간섭성 광은 섬유 다발(1403)에 의해 캡처될 수 있으며, 각각의 섬유는 광원으로서 기능할 수 있다. (단순화를 위해 도시된) 원통형 렌즈는 상술된 바와 같이 회전되고 기울어진 다음, 링 조명(1404)을 형성하도록 구성될 수 있다. 대물 렌즈(906), 확대 튜브 렌즈(902) 및 이미징 센서(901)를 포함하는 이미징 경로는 웨이퍼(1405)로부터의 산란 광을 캡처하는데 사용될 수 있다. 비간섭성 광은 평균화를 개선시켜, 스펙클을 최소화할 수 있다.

[0064] 링 조명을 사용하는 상술된 다크 필드 검사 시스템은 높은 NA를 제공하고 스펙클을 최소화함으로써, 개선된 해상도 및 민감도를 제공할 수 있다. 이런 시스템의 SNR은 파티클의 도넛 형상 이미지를 정합시키는 이미지 처리시 디지털 필터를 사용함으로써 추가로 향상될 수 있다. 광원은 레이저 다이오드, 광대역 광원, 초연속(super continuum) 광원 및 다중 라인 레이저를 포함할 수 있지만, 이들에 제한되는 것이 아니다.

[0065] 명확함을 위해, 실제 실시예의 모든 구성요소가 상술된 것은 아니다. 임의의 이런 실제 실시예의 개선안에서, 다양한 실시 특정 결정이 시스템 관련 제한 사항 및 사업 관련 제한 사항과의 부합과 같은 개발자의 특정 목표를 달성하기 위해 이루어져야 함을 알아야 한다. 또한, 이런 개선 노력은 복잡하고 시간이 걸리지만, 그럼에도 불구하고 당업자는 본 개시 내용의 이익을 취하기 위한 통상적인 작업임을 알 것이다.

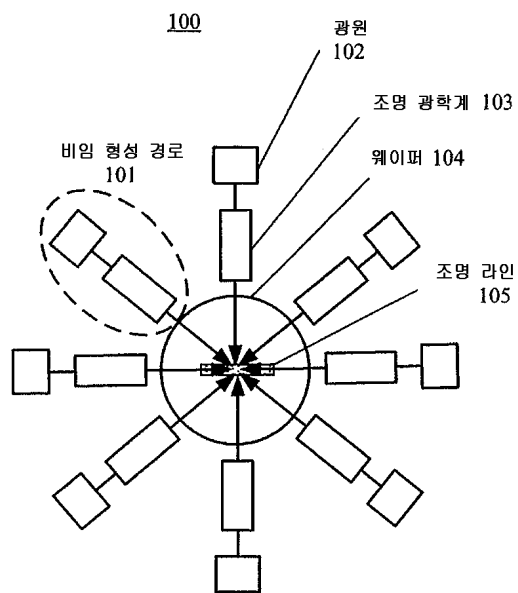
[0066] 본 발명의 양호한 실시예에 대한 상술된 기재는 예시 및 설명을 위해 제공되었다. 이는 본 발명을 완전하게 기술하거나 본 발명을 개시된 세부 형태로 제한하려는 것이 아니다. 명백한 변경예 또는 변형예가 상술된 교시의 관점에서 이루어질 수 있다. 본 발명의 원리 및 실제 적용예를 최선으로 예시함으로써, 당업자가 고려 중인 특정 용도 적절하게 본 발명을 다양한 실시예 및 다양한 변경예에 이용할 수 있도록 실시예들이 선택되고 기술되었다. 예컨대, 스캐너를 포함하는 실시예가 본 명세서에 기술되었지만, 본 발명은 노광기(stepper)뿐만 아니라 초점 및 노출을 변조할 수 있는 임의의 도구에 동등하게 적용될 수 있다. 모든 이런 변경예 및 변형예는, 첨부된 특허청구범위의 권리가 공정하고 합법적으로 정당하게 주어지는 범위에 따라 해석될 때, 첨부된 특허청구범위에 의해 결정되는 바와 같은 본 발명의 범주 내에 있다.

부호의 설명

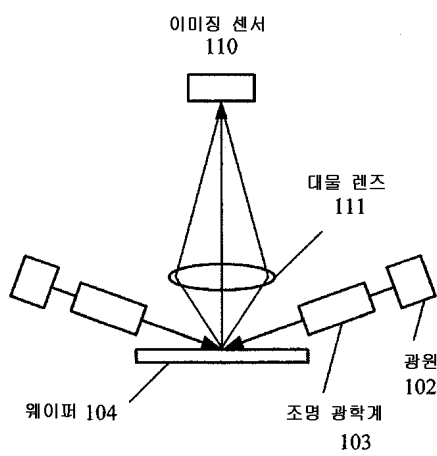
[0067] 101 : 비임 형성 경로
102 : 광원
103 : 조명 광학계
104 : 웨이퍼
105 : 조명 라인
110 : 이미징 센서
111 : 대물 렌즈

도면

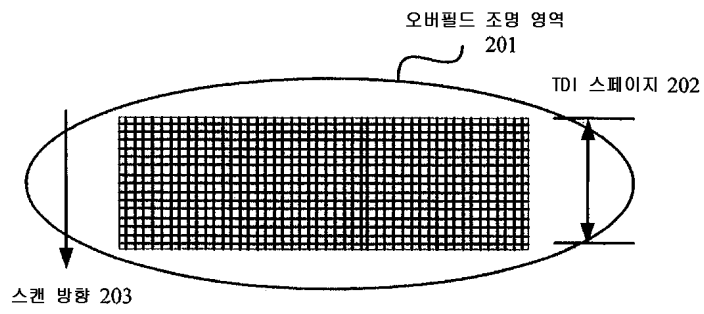
도면1a



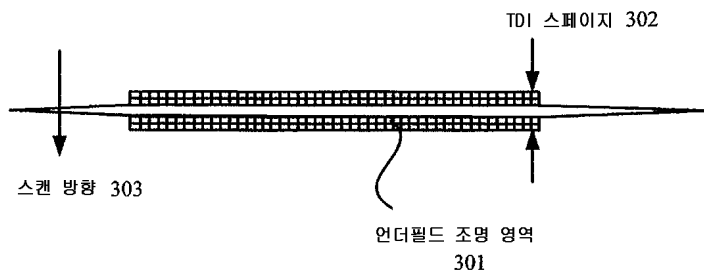
도면1b



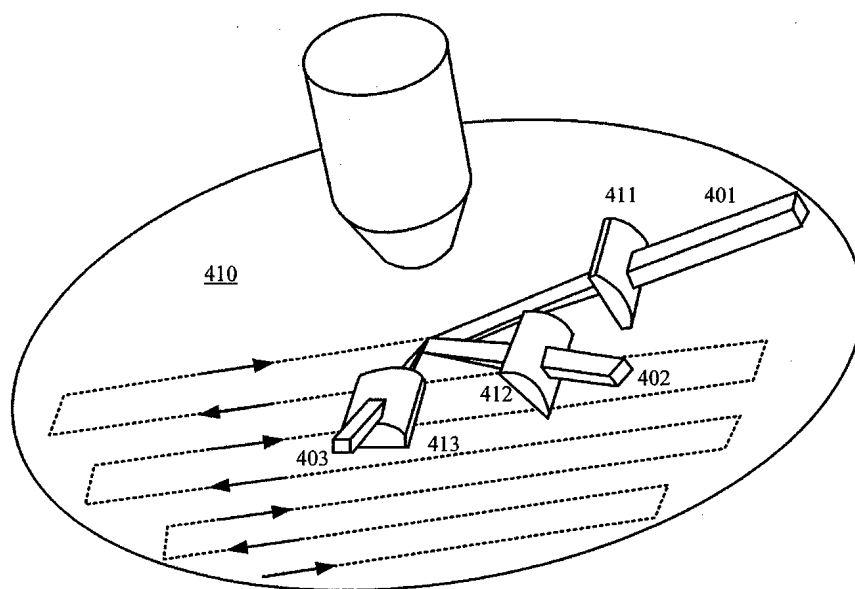
도면2



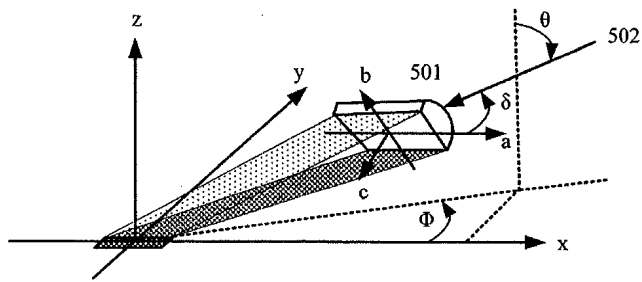
도면3



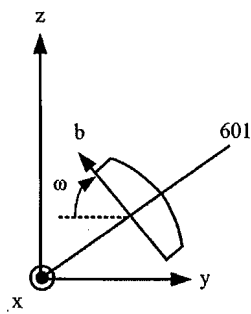
도면4



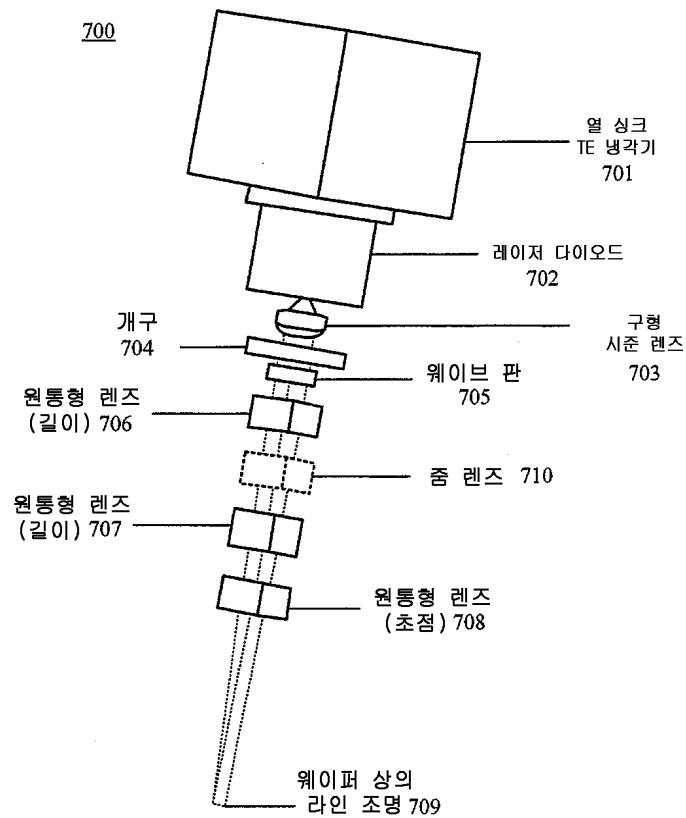
도면5



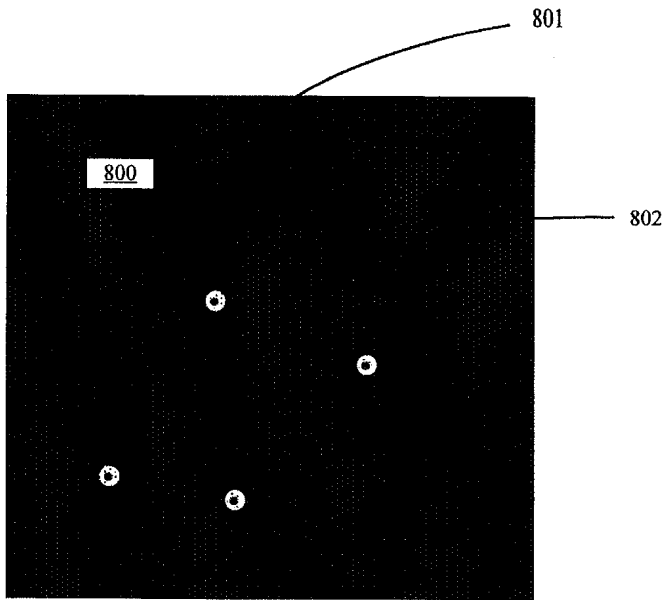
도면6



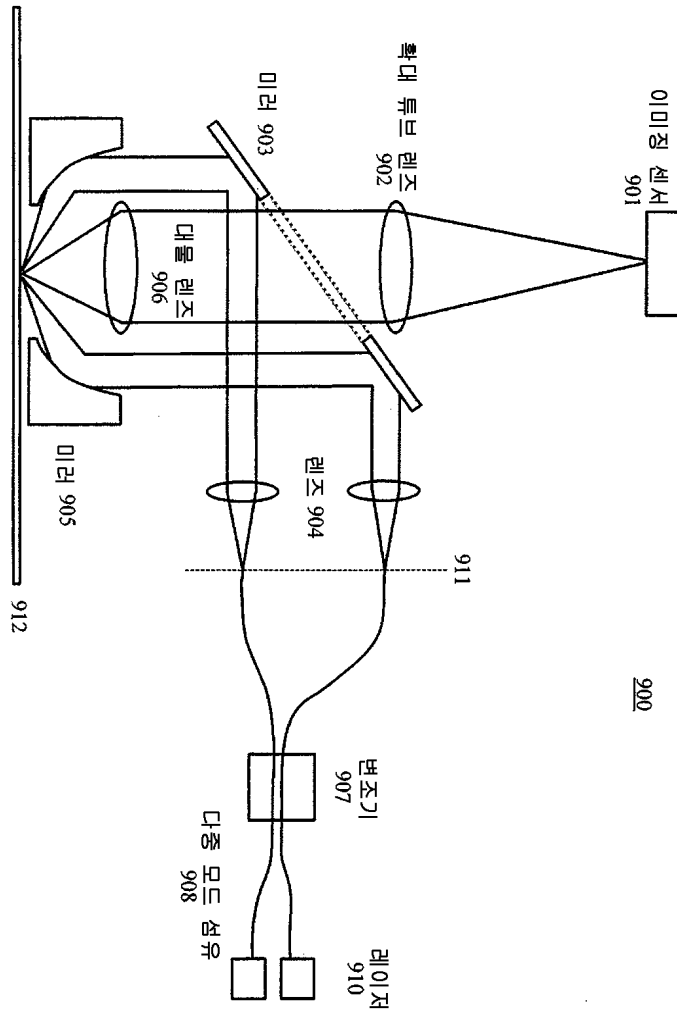
도면7



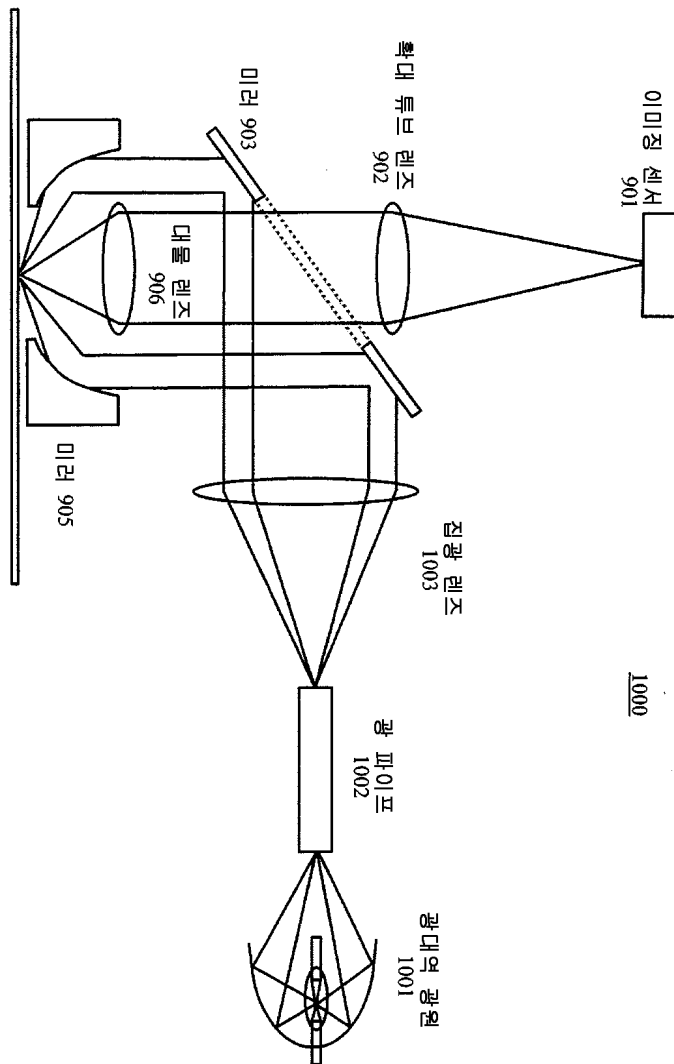
도면8



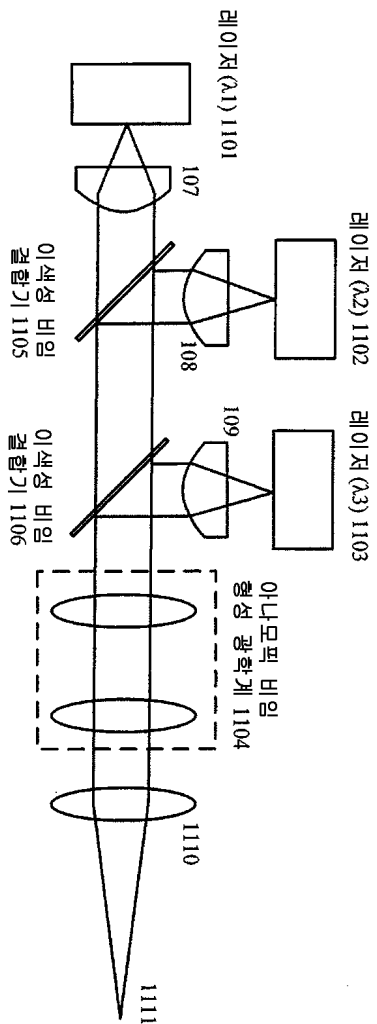
도면9



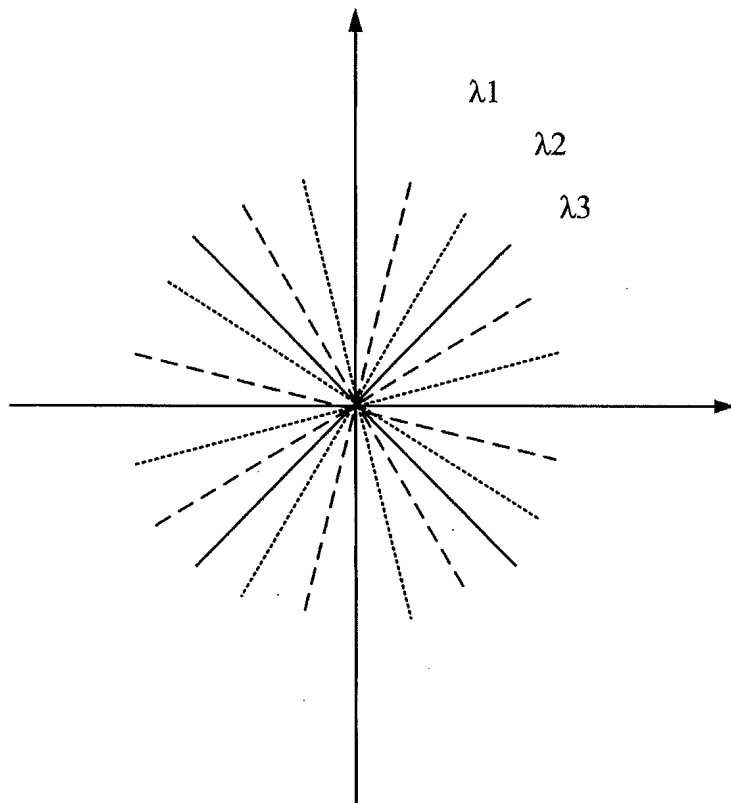
도면10



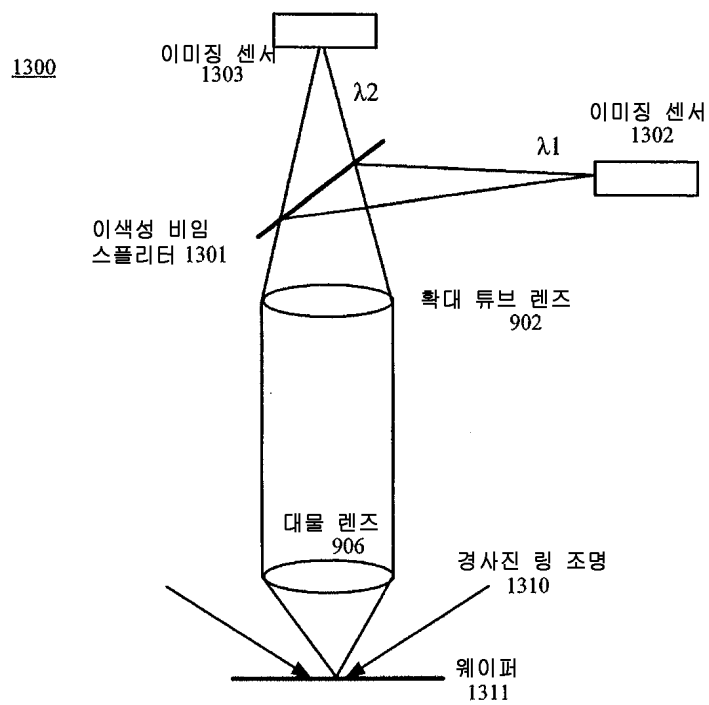
도면11



도면12



도면13



도면14

