(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0162506
(43) 공개일자 2024년11월15일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01B 9/02091 (2022.01) *G01B 11/06* (2006.01)
G01B 11/30 (2006.01) *G01B 21/04* (2006.01)
G01B 9/02055 (2022.01) *G02B 26/10* (2022.01)
H01L 21/66 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01B 9/02091 (2022.01)
G01B 11/06 (2021.01)
(21) 출원번호 10-2024-7031575
(22) 출원일자(국제) 2023년01월25일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2024년09월23일
(86) 국제출원번호 PCT/EP2023/051736
(87) 국제공개번호 WO 2023/160928
국제공개일자 2023년08월31일
(30) 우선권주장
102022104416.5 2022년02월24일 독일(DE)

(71) 출원인
프레시텍 옵트로닉 게엠베하
독일 63263 뉴-아이센버그 슈레우스너스트라쎄 54
(72) 발명자
바이스, 스테판
독일 로드가우 63110 포메른슈트라세 8
미에스, 사이먼
독일 프랑크푸르트 암 마인 60599 부크라인슈트라세 27
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인(유한)아이시스

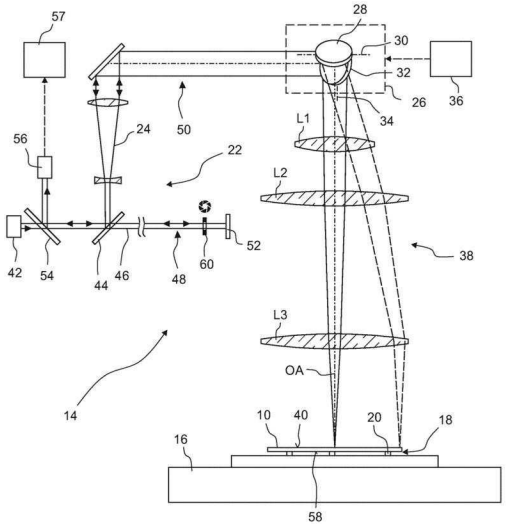
전체 청구항 수 : 총 16 항

(54) 발명의 명칭 **웨이퍼 측정 장치 및 방법**

(57) 요 약

웨이퍼(10)를 측정하기 위한 장치(14)는 측정 광선(24)을 생성하여 광학 시스템(38)을 통해 웨이퍼(10)로 향하게 하는 광간섭 단층 촬영 장치(22)와, 측정 광선(24)을 두 공간 방향으로 편향시키고 각각 정확히 하나의 축을 중심으로 회전 가능하게 장착된 정확히 2개의 스캔 미러를 구비하는 스캐닝 장치(26)를 포함한다. 제어 유닛(36)은 스캐닝 장치(26)를 제어하여 측정 광선(24)이 여러 측정 지점에서 웨이퍼(10)의 표면을 연속적으로 스캔하도록 한다. 평가 장치(57)는 광간섭 단층 촬영 장치(22)에서 제공하는 간섭 신호로부터 거리 값 및/또는 두께 값을 계산한다. 충돌 보호 장치(64)는 두 개의 스캔 미러(28, 32) 중 적어도 하나의 회전 각도를 제한한다.

대 표 도 - 도2



(52) CPC특허분류
G01B 11/306 (2013.01)
G01B 21/045 (2013.01)
G01B 9/02072 (2013.01)
G02B 26/101 (2013.01)
H01L 22/12 (2013.01)
G01B 2210/56 (2013.01)
(72) 발명자
바이겔트, 코린나
독일 랑겐 63225 포스트링 73
벡, 토비아스
독일 호이젠스탐 63150 버가마이스터-캐마허-스트리트 16

명 세 서

청구범위

청구항 1

웨이퍼(10)를 측정하기 위한 장치(14)는:

측정 광선(24)을 생성하고 광학 시스템(38)을 통해 웨이퍼(10)로 향하도록 구성된 광학 일관성 단층 촬영기(22),

각각이 정확히 한 축을 중심으로 회전 가능하게 장착된 두 개의 스캔 미러를 구비하고, 측정 광선(24)을 두 공간 방향으로 편향하도록 구성된 스캐닝 장치(26),

측정 광선(24)이 복수의 측정 지점에서 연속적으로 웨이퍼(10)의 표면을 스캔하는 방식으로 스캐닝 장치(26)를 제어하도록 구성된 제어 유닛(36), 및

광간섭 단층 촬영기(22)에 의해 제공되는 간섭 신호로부터 거리 값 및/또는 두께 값을 계산하도록 구성된 평가 장치(57),

적어도 하나의 스캔 미러(28, 32) 중 적어도 하나와 연결되고, 상기 적어도 하나의 스캔 미러(28, 32)의 회전 각도를 제한하도록 구성된 충돌 보호 장치(64)를 포함하는 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

충돌 장치는 적어도 하나의 기계적 스톱(64)을 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 기계식 스톱(64)은 플라스틱 또는 고무로 만들어진 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 4

제2항 및 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

적어도 하나의 스캔 미러(28, 32)가 스캔 미러 홀더에 회전 가능하게 장착되고 충돌 방지 장치가 상기 스캔 미러 홀더에 부착되는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 5

제2항 및 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 스톱(64)이 적어도 하나의 스캔 미러(28, 32)의 회전축 또는 회전축에 형성된 투영에 작용하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 6

제2항 및 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 적어도 하나의 스캔 미러(28, 32)가 반사 표면 및 후면을 구비하고, 상기 기계적 스톱이 반사 표면 또는 후면에 장착되는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 7

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 충돌 장치는, 상기 적어도 하나의 스캔 미러(28, 32)에 소정의 회전 범위의 각도를 초과하도록 하는 제어

신호의 공급을 전자적으로 방지하도록 구성된 전자 제한 장치를 구비하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 8

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 두 측정 지점의 거리 dmax가 dmax 140mm ≤ dmax ≤ 600mm인 것을 특징으로 하는 전술한 청구항 중 하나에 따른 장치.

청구항 9

제1항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 광학 일관성 단층 촬영기(22)는:

광원(42),

상기 광원에 의해 생성된 빛을 상기 측정 광선(24)과 기준 광선(46)으로 분할하도록 구성된 빔 스플리터(44),

상기 기준 광선(46)을 안내하기 위한 기준 암(48),

상기 측정 광선(24)을 안내하기 위하여 상기 스캐닝 장치(26)와 광학 시스템(38)을 활용하는 오브젝트 암(50),

기준 암(48)에서 유도된 기준 광선(46)과 웨이퍼(10)에서 반사된 측정 광선(24)의 일부가 중첩된 간섭 신호를 생성하도록 구성된 검출기(56)를 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 장치는,

두께 측정이 이루어질 때 기준 암(48)에서 기준 광선(46)의 전파를 방지하도록 구성된 전환 가능한 디밍 장치(60)가 기준 암(48)에 배치되는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 11

제1항 내지 제10항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 광학 시스템(38)은

측정 광선(24)이 집중되는 필드를 구비하고, 상기 평가 유닛(57)은 필드의 곡률을 보정하기 위해 계산을 통해 측정된 거리 값을 보정하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 12

제11항에 있어서,

연산 보정을 위해 평가 유닛(57)에 저장된 보정 테이블로부터 보정 값을 판독할 수 있는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 13

제12항에 있어서,

상이한 작동 파장 범위에 대한 보정 값이 보정 테이블에 저장되는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 14

제1항 내지 제13항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 광학 시스템은 필드 곡률을 보정하기 위한 적어도 하나의 아나모픽 광학 요소(66, 68)를 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 15

웨이퍼(10)를 측정하는 방법은:

a) 광학 일관성 단층 촬영기(22)로 측정 광선(24)을 생성하는 단계;

b) 광학 시스템(38)을 사용하여 측정 광선(24)을 웨이퍼(10)로 향하게 하는 단계;

c) 각각 정확하게 하나의 축에 대하여 회전가능하게 장착된 두 개의 스캐닝 미러(28, 32)를 구비하는 스캐닝 장치(26)를 사용하여 측정 광선을 복수의 측정 지점에서 웨이퍼(10)의 표면(40)을 연속적으로 스캔하는 방식으로 제어되는 측정 광선(24)을 두 공간 방향으로 편향시키는 단계로, 적어도 하나의 스캔 미러(28, 32)의 회전의 각도는 충돌 방지 장치(64)에 의하여 제한되고;

d) 광간섭 단층 촬영기(22)에 의해 제공되는 간섭 신호에 기초하여 거리 값 및/또는 두께 값을 계산하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 충돌 장치는

회전 각도를 제한하기 위해, 미리 결정된 회전 범위의 각도를 초과하게 되는 적어도 하나의 스캔 미러(28, 32)에 제어 신호의 공급을 전자적으로 방지하는 것을 특징으로 하는 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 TTV, 보우 또는 워프와 같은 웨이퍼의 기하학적 변수를 비접촉식으로 측정하기 위한 장치 및 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 웨이퍼는 집적 회로, 미세 기계 부품 또는 광전 코팅의 기판 역할을 하는 약 1 밀리미터 두께의 원형 또는 정사각형 디스크이다. 웨이퍼는 단결정 또는 다결정 블랭크(소위 잉곳)로 제조되며, 이 블랭크는 세로축에 직각으로 절단되어 개별 웨이퍼로 만들어진다. 대부분의 경우 실리콘 웨이퍼가 사용되지만 마이크로렌즈 어레이 생산이나 증강 현실 애플리케이션을 위한 유리 웨이퍼와 같은 다른 재료도 사용된다.

[0003] 웨이퍼의 모양은 엄격한 기하학적 사양을 충족해야 한다. 이러한 사양에는 웨이퍼의 가장 두꺼운 지점과 가장 얇은 지점 사이의 최대 차이인 TTV(Total Thickness Variation, 총 두께 변화)가 포함된다. 보우(bow)는 기준면으로부터 웨이퍼의 중앙 면적의 최대 편차로 정의된다. 통상의 기술자는 워프(warp)를 기준면으로부터 웨이퍼 중앙 영역의 편차로 이해하며, 여기서 보우는 이미 전체 웨이퍼 영역에 걸쳐 보정되어 있다.

[0004] TTV, 보우 및 워프에 대한 이러한 일반적인 정의 외에도 웨이퍼의 특성 분석에서 웨이퍼가 이상적인 모양에서 벗어난 편차를 특성화하기 위해 유사하지만 약간 다른 정의가 사용되기도 한다.

[0005] 사양을 준수하기 위해 이러한 기하학적 매개변수는 최소한 무작위로 측정해야 하며, 가급적 정기적인 생산 공정 중에 측정하는 것이 좋다.

[0006] 웨이퍼를 측정하는 장치는 거리 측정을 위한 미켈슨 간섭계와 두께 측정에 사용되는 반사계가 결합된 US 2012/0257207 A1에서 알려져 있다. 측정은 개별 지점에서 수행된다. 전체 표면에 대한 측정값을 얻기 위해 웨이퍼는 고정된 측정 장치를 기준으로 이동한다.

[0007] 그러나 이 알려진 측정 방법은 웨이퍼의 관성 때문에 필요한 만큼 빠르게 움직일 수 없기 때문에 속도가 느리다. 또한 웨이퍼를 움직이기 위한 액추에이터가 부드럽고 정밀하게 움직일 수 있도록 특히 고품질이어야 하기 때문에 해당 측정 장치도 고가이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명의 목적은 웨이퍼를 매우 신속하면서도 비용 효율적으로 측정할 수 있는 장치 및 방법을 제공하는 것이

다.

과제의 해결 수단

[0009] 장치와 관련하여 상기한 목적은 다음을 포함하는 웨이퍼 측정 장치에 의해 달성된다:

[0010] 측정 광선을 생성하고 광학 시스템을 통해 웨이퍼로 향하도록 구성된 광학 일관성 단층 촬영기(optical coherence tomograph),

[0011] 두 개의 스캔 미러를 포함하고, 각각 정확히 한 축을 중심으로 회전식으로 장착되어 있고 측정 광선을 두 공간 방향으로 편향시키도록 구성된 스캐닝 장치,

[0012] 측정 광선이 복수의 측정 지점에서 연속적으로 웨이퍼의 표면을 스캔하는 방식으로 스캐닝 장치를 제어하도록 구성된 제어 유닛으로, 두 측정 지점의 거리 dmax는 140mm ≤ dmax ≤ 600mm이고,

[0013] 광간섭 단층촬영기에서 제공하는 간섭 신호로부터 거리 값 및/또는 두께 값을 계산하도록 구성된 평가 장치,

[0014] 두 개의 스캔 미러 중 적어도 하나에 연결되고, 적어도 하나의 스캔 미러의 회전 각도를 제한하도록 구성된 충돌 보호 장치를 포함한다.

[0015] 본 발명은 한편으로는 더 큰 측정 필드를 가능하게 하고 무엇보다도 필드 곡률 문제를 해결하는 더 큰 광학 시스템을 사용하는 경우 광학 일관성 단층 촬영기와 스캐닝 장치를 갖춘 알려진 측정 장치를 웨이퍼 측정에 사용할 수 있다는 개념에 기반한다. 발명자들은 이 문제를 해결하기 위해 몇 가지 접근 방식을 개발했다.

[0016] 이러한 측정 장치 중 하나는 DE 10 2017 128 158 A1에 공지되어 있다. 여기에 설명된 한 실시예에서, 광학 일관성 단층촬영(OCT)은 미러 스캐너에 의해 편향되는 측정 광선을 생성하며, 각 편향 방향에 대해 하나의 스캔 미러가 제공된다. 평면 대물렌즈를 통과한 후 측정 광선은 기본적으로 축에 평행하게 측정할 표면에 부딪혀 텔레센트릭 빔 경로를 생성한다. 표면을 스캔할 때 매우 가벼운 스캔 미러만 움직이고 측정할 물체는 고정된 상태로 유지된다. 따라서 표면을 매우 빠르게 스캔할 수 있다.

[0017] 이러한 측정 장치의 또 다른 장점은 미러의 편향을 실시간으로 판독하고 제어 루프를 사용하여 목표 편향에 맞게 조정할 수 있다는 것이다. 스캔 미러의 움직임으로 인해 기생 잔진동이 발생하더라도 이를 통해 측정 대상 물체에 대한 측정 광선의 위치를 매우 정밀하게 설정할 수 있다.

[0018] 발명자들은 이 알려진 측정 장치에서 측정 광선이 웨이퍼 표면을 2차원으로 스캔할 때 필드 곡률이 발생한다는 사실을 발견했다. 쉽게 설명하자면, 이는 측정 광선의 초점이 스캔하는 동안 평면을 스윕하는 것이 아니라 곡면을 스윕한다는 것을 의미한다. 따라서 실제로는 평평한 웨이퍼 표면이 곡면으로 나타난다.

[0019] 직경이 약 80mm인 매우 작은 웨이퍼의 경우 필드 곡률(field curvature)을 허용할 수 있지만, 측정할 웨이퍼의 직경에 따라 전계 곡률이 네 제곱으로 증가하기 때문에 더 큰 웨이퍼에서는 불가능하다. 여기서 더 큰 웨이퍼는 스캐닝 장치로 도달할 수 있는 두 측정 지점의 거리 dmax 가 140mm ≤ dmax ≤ 600mm, 바람직하게는 280mm ≤ dmax ≤ 450mm인 웨이퍼로 간주된다. 거리 dmax = 300mm의 경우, 필드 곡률로 인한 측정 오차는 일반적으로 이미 약 1mm이다. 따라서 추가 측정이 없으면 거리 측정에 필요한 정확도가 1µm 미만이므로 더 큰 평면 필드 대물렌즈를 사용하더라도 위에서 설명한 측정 장치는 더 큰 웨이퍼를 측정하는 데 적합하지 않다. 따라서 알려진 측정 장치의 측정 오차는 더 큰 웨이퍼에 비해 세 배 이상 크다.

[0020] 발명자들은 또한 필드 곡률을 유발하는 추가적인 광학 경로 길이 차이가 주로 스캔 미러에 의해 발생한다는 것을 인식했다. 충돌 없이 회전할 수 있으려면 두 개의 스캔 미러가 상대적으로 멀리 떨어져 있어야 한다. 스캔 미러의 회전축 사이의 공간적 거리가 필드 곡률에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 밝혀졌다.

[0021] 따라서 필드 곡률을 줄이는 가장 간단한 방법은 각각 정확히 한 축을 중심으로 회전할 수 있는 두 개의 스캔 미러 대신 두 축을 중심으로 회전할 수 있는 단일 스캔 미러를 사용하는 것이다. 그러나 현재 사용 가능한 2축 스캔 미러는 두 개의 단일 축 스캔 미러만큼 빠르고 정확하게 회전할 수 없다. 그럼에도 불구하고 웨이퍼를 이동해야 하는 기존 방식에 비해 필요한 측정 시간을 크게 단축할 수 있다.

[0022] 필드 곡률을 줄이는 또 다른 방법은 이전처럼 두 개의 스캔 미러를 사용하여 각 스캔 미러가 정확히 한 축을 중심으로 회전할 수 있도록 하되 스캔 미러 사이의 거리를 크게 줄이는 것이다. 그러나 이렇게 하면 스캔 미러가 더 큰 회전 각도에서 충돌할 위험이 있다. 이를 방지하기 위해 충돌 방지 장치가 두 개의 스캔 미러 중 적어도 하나에 연결되며, 이 충돌 방지 장치는 적어도 하나의 스캔 미러의 회전 각도를 제한하도록 구성된다. 이는 사

용 가능한 스캔 미러의 회전 각도 범위가 일반적으로 현재 애플리케이션에 부분적으로만 필요하다는 점을 고려한 것이다. 충돌 방지 장치가 초기에 가능한 회전 각도(일반적으로 ±20°)를 실제로 필요한 회전 각도(예: ±10°, 바람직하게는 ±5°)로 제한하면 스캔 미러 사이의 거리가 매우 작더라도 스캔 미러 간의 충돌을 확실하게 배제할 수 있다.

[0023] 충돌 방지 장치에는 회전 각도를 제한하는 기계식 정지 장치가 하나 이상 있을 수 있다. 예를 들어 이 스톱은 플라스틱 또는 고무 댐퍼일 수 있으며, 예를 들어 ±10° 또는 ±5° 이상 편향될 때 적어도 하나의 스캔 미러가 부딪히는 역할을 한다.

[0024] 본 발명의 바람직한 실시예에 따르면, 적어도 하나의 스캔 미러는 스캔 미러 홀더에 회전 가능하게 장착되고 충돌 보호 장치는 이 스캔 미러 홀더에 플러그, 클리핑, 나사, 접착 또는 다른 방식으로 부착된다. 플러그, 클리핑 또는 접착 방식으로 부착하면 스캔 미러 홀더와 필요한 경우 스캔 미러 자체의 메커니즘에 개입하지 않고도 충돌 방지 장치를 스캔 미러 홀더에 개조할 수 있다는 이점이 있다. 스캔 미러의 기능과 조정은 영향을 받지 않다. 충돌 방지 장치가 스캔 미러 홀더의 적어도 한 표면에서 회전에 대해 지지되는 방식으로 형성된 경우 유용한다. 이 표면은 미러가 부딪힐 때 가해지는 힘에 대한 카운터 베어링을 형성한다.

[0025] 또는 충돌 장치를 주변 구성 요소에 통합하거나 장치의 기본 본체에 있는 핀 등에 부착할 수도 있다.

[0026] 또는, 스톱은 적어도 하나의 스캔 미러의 회전축 또는 회전축에 형성된 투영에 직접 작용할 수 있다.

[0027] 또는 댐퍼를 하나 이상의 스캔 미러의 반사 표면 또는 후면에 장착할 수도 있다. 편리하게도 미러가 서로 충돌할 수 있는 지점에 부착되어 충돌을 완화한다. 댐퍼가 미러에 부착되어 다른 곳에 부착된 기계식 스톱과 맞닿는 것도 가능하다.

[0028] 대안적으로 또는 추가로, 충돌 장치를 전자 제한 장치로 설계할 수 있으며, 이는 소정의 회전 각도 범위를 초과하는 적어도 하나의 스캔 미러에 대한 제어 신호의 공급을 전자적으로 방지하도록 구성된다. 예를 들어 초크 코일은 스캔 미러의 제어 전류를 제한하는 데 매우 안정적이다.

[0029] 또는 추가로 스캔 미러의 제어 소프트웨어는 스캔 미러의 과도한 편향을 유발하는 제어 신호의 생성을 방지하는 방식으로 설계할 수 있다. 위의 조치 중 하나를 추가로 사용하는 것은 소프트웨어가 오작동하여 두 스캔 미러 중 하나가 과도하게 편향될 수 있는 결함 신호가 생성되는 경우에 대비하기 위한 안전장치로서도 유용한다.

[0030] 필드 곡률을 줄이기 위한 또 다른 대안 또는 추가 조치는 필드 곡률을 보정하기 위해 적어도 하나, 바람직하게는 두 개의 아나모픽 광학 요소를 포함하는 광학 시스템을 사용하는 것이다. 아나모픽 요소는 원통형 렌즈가 바람직한다. 대칭축은 스캔 미러의 회전축 방향에 맞춰 조정된다.

[0031] 본 발명에 따른 추가적인 대안 또는 추가 조치는 필드 곡률을 줄이는 것이 아니라 보정을 통해 그 영향을 제거하는 것이다. 이를 위해 평가 장치는 광학 시스템이 측정 광선에 초점을 맞추는 필드의 곡률을 보정하기 위해 계산을 통해 측정된 거리 값을 보정하도록 구성해야 한다. 이 필드는 일반적으로 광학 시스템의 초점면과 일치한다. 예를 들어 보정 중에 고정밀 평면 유리를 측정한다. 측정된 평면성 편차는 부호에 따라 후속 측정 중에 측정된 값에서 빼거나 더하는 보정 값을 나타낸다.

[0032] 계산 보정을 위해 보정 값은 평가 장치에 저장된 보정 테이블에서 읽을 수 있다. 다른 작동 파장 범위에 대한 보정 값은 보정 테이블에 저장하는 것이 바람직한다. 다른 작동 파장 범위에 대한 이러한 보정 값은 별도의 보정 측정에 의해 결정될 필요는 없으며, 특정 작동 파장 범위에 대해 결정된 보정 값으로부터 이론적 고려 사항을 기반으로 도출될 수도 있다. 특히 여기에는 제르니케 다항식도 사용할 수 있다.

[0033] 보정 표에서 읽는 대신 수학 공식을 통해 보정 값을 계산할 수도 있다. 이 공식은 예를 들어 다항식 적합에서 도출할 수 있다. 예를 들어 제르니케 다항식을 다항식으로 사용할 수 있다.

[0034] 물론 위에서 설명한 방법 외에도 보정을 수행할 수도 있다.

[0035] 본 발명에 사용될 수 있는 광학 일관성 단층 촬영기는:

[0036] 광원,

[0037] 광원에서 생성된 빛을 측정 광선과 기준 광선으로 분할하도록 구성된 빔 스플리터,

[0038] 기준 광선을 안내하기 위한 기준 암(reference arm),

[0039] 측정 광선을 안내하도록 광학 시스템과 스캐닝 장치를 활용하는 오브젝트 암 및

[0040] 기준 암에서 유도된 기준 광빔과 웨이퍼에서 반사된 측정 광빔의 일부가 중첩되어 간섭 신호를 생성하도록 구성된 검출기를 포함할 수 있다.

[0041] 일 실시예에서, 전환 가능한 디밍 장치는 두께 측정이 이루어질 때 기준 암에서 기준 광선의 전파를 방지하도록 구성되는 기준 암에 배치된다. 전환 가능한 디밍 장치는 측정 광선과 기준 광선 사이의 간섭을 평가하는 "거리 모드"와 "두께 모드" 사이를 전환할 수 있게 한다. 두께 모드에서는 웨이퍼의 두 평면 평행 인터페이스에서 측정 광선의 반사 사이의 간섭을 사용하여 인터페이스 사이의 거리(즉, 웨이퍼의 두께)를 추론한다. 따라서 검출기는 웨이퍼의 서로 다른 두 인터페이스에서 반사된 측정 광빔의 일부가 중첩되어 간섭 신호를 생성한다. 두께 모드에서 기준 암의 불필요한 기준 광선이 원하는 간섭 신호를 간섭하는 것을 방지하기 위해, 기준 암에서 기준 광선의 전파는 디밍 장치에 의해 방지된다. 디밍 장치는 측정 모드가 변경될 때마다 자동으로 전환되는 것이 바람직하다.

[0042] 다른 실시예에서, 기준 암의 기준 광선은 자유 빔으로 유도되지 않거나 적어도 완전히 유도되지는 않지만 적어도 부분적으로 광섬유에서 유도된다. 코일형 광섬유에서 빛은 작은 공간에서 긴 광 경로 길이를 통해 안내될 수 있다. 오브젝트 암과 기준 암의 분산이 다른 경우 분산 보정을 위한 조치가 유용한다.

[0043] 방법과 관련하여, 처음에 언급한 목적은 다음 단계로 구성된 웨이퍼 측정 방법은:

[0044] a) 광간섭 단층 촬영기로 측정 광선을 생성하는 단계;

[0045] b) 광학 시스템으로 웨이퍼에 측정 광선을 조준하는 단계;

[0046] c) 측정 광선이 복수의 측정 지점에서 연속적으로 웨이퍼의 표면을 스캔하는 방식으로 제어되는 스캐닝 장치로 측정 광선을 두 공간 방향으로 편향시키는 단계로, 스캐닝 장치에는 각각이 정확히 하나의 축을 중심으로 회전 가능하게 장착된 두 개의 스캔 미러를 구비하고, 적어도 하나의 스캔 미러의 회전 각도는 충돌 방지 장치에 의해 제한되고;

[0047] d) 광간섭 단층촬영기에서 제공하는 간섭 신호를 기반으로 거리 값 및/또는 두께 값을 계산하는 단계를 포함한다.

[0048] 스캐닝 장치는 두 측정 포인트의 거리 dmax 가 140mm ≤ dmax ≤ 600mm, 바람직하게는 280mm ≤ dmax ≤ 450mm 가 되도록 제어할 수 있다.

[0049] 일 실시예에서, 광학 일관성 단층 촬영기는:

[0050] 빛을 생성하는 광원;

[0051] 광원에서 생성된 빛을 측정 광선과 기준 광선으로 분할하는 빔 스플리터;

[0052] 기준 광선이 기준 암으로 안내되고;

[0053] 측정 광선이 오브젝트 암으로 안내되며;

[0054] 기준 암에서 가이드되는 기준 광선과 웨이퍼에 의해 반사되는 측정 광선의 일부가 중첩되어 간섭 신호를 생성하는 검출기를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0055] 두께를 측정할 때 기준 암에서 기준 광선의 전파를 조광 장치로 일시적으로 차단할 수 있다.

[0056] 광학 시스템에 측정 광선이 집중되는 필드가 있는 경우, 필드의 곡률을 보정하기 위해 측정된 거리 값을 수학적으로 보정할 수 있다. 수학적 보정을 위해 평가 장치에 저장된 보정 테이블에서 보정 값을 읽을 수 있다. 다양한 작동 파장에 대한 보정 값을 보정 테이블에 저장할 수 있다.

발명의 효과

[0057] 본 발명에 의하면, 웨이퍼를 신속하면서도 비용 효율적으로 측정할 수 있는 장치 및 방법이 제공된다.

도면의 간단한 설명

[0058] 본 발명의 실시예는 도면을 참조하여 아래에서 보다 상세히 설명된다. 이것들에서:

도 1은 스케일링이 아닌 투시도에서 측정할 웨이퍼를 도시한 도면이고,

도 2는 본 발명에 따른 측정 장치의 개략도를 도시한 도면이고,

도 3은 본 발명에 따른 측정 장치의 일부이며 스캔 미러를 위한 기계식 스톱을 포함하는 스캐닝 장치의 중요한 부분을 단순화된 투시도로 도시한 도면이고,

도 4는 추가 실시예에 따른 측정 장치의 일부이며 단일 스캔 미러만 포함하는 스캐닝 장치의 중요한 부분을 단순화된 투시도에서 도시한 도면이고,

도 5a 및 5b는 추가 실시예에 따른 측정 장치의 일부인 원통형 렌즈가 있는 광학 시스템을 두 개의 직교 자오선 섹션으로 도시한 도면이고,

도 6은 참조 광선이 광섬유에서 광 경로의 일부를 이동하는 실시예에 따른 광간섭 단층 촬영기의 참조 암을 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0059] 도 1은 웨이퍼(10)를 원근법(비축척)으로 나타낸 것이다. 도시된 실시예에서 웨이퍼(10)는 직선형 원형 원통의 형태를 가지며, 두께는 상당히 과장되어 있다. 예를 들어 실제 웨이퍼(10)의 직경은 300㎜인 반면 두께는 약 1㎜에 불과하다. 때때로 표면이 원형이 아닌 정사각형인 웨이퍼(10)도 사용된다.

[0060] 웨이퍼(10)의 이상적인 원형 원통형 모양은 점선(12)으로 표시되어 있다. 제조 공차로 인해 이 이상적인 모양에서 편차가 있을 수 있으며, 이는 도 1에서 과장된 것이다. 이러한 편차를 확인하려면 웨이퍼(10)를 측정해야 한다. 두 웨이퍼 표면의 지형을 측정하면 TTV, 보우(bow) 및 워프(warp)와 같은 웨이퍼의 모든 일반적인 기하학적 사양을 도출할 수 있다.

[0061] 지형을 측정하는 측정 포인트의 분포는 각 측정 작업에 맞게 조정된다. 도 1에 표시된 실시예에서는 측정 포인트가 서로 수직으로 배열되고 웨이퍼(10)의 중앙을 교차하며 각각 웨이퍼(10)의 원주 가장자리까지 연장되는 두 개의 선(11, 13)을 따라 배열되어 있다고 가정한다. 나선형 또는 격자 패턴과 같은 다른 측정 패턴도 물론 가능하다. 측정 포인트는 서로 매우 가깝거나 예를 들어 몇 마이크로미터 떨어져 있을 수 있다. 다른 측정 패턴의 경우, 거리는 1㎜ 범위이다.

[0062] 2. 측정 장치의 구조 및 기능

[0063] 도 2는 설계된 측정 장치(14)의 전체 개략도를 도시한다. 측정 장치(14)는 웨이퍼(10)를 측정하는 데 사용되며, 여기서 홀더(18)에 의해 지지된다. 예를 들어, 홀더(18)는 도 2에 표시된 바와 같이 지지대(20)에 의해 단순한 3점 지지대로 설계될 수 있다. 도시된 실시예에서, 홀더(18)는 베이스(16) 상에 지지된다. 일반적으로 홀더(18)와 베이스(16)는 측정 장치(14)의 일부가 아니다. 생산 공정 내에서 측정하는 동안, 웨이퍼(10)는 예를 들어 컨베이어에 의해 측정 장치(14)로 공급될 수도 있다.

[0064] 측정 장치(14)는 측정 광선(24)을 생성하는 광간섭 단층 촬영기(22)를 포함하며, 그 구조는 아래에서 더 자세히 설명된다.

[0065] 26으로 표시된 스캐닝 장치는 측정 광선(24)을 두 개의 공간 광 방향으로 가변적으로 편향시킨다. 이를 위해, 스캐닝 장치(26)는 제1 회전축(30)을 중심으로 회전 가능하게 장착되는 제1 스캔 미러(28)를 구비한다. 제2 스캔 미러(32)는 제1 회전 축(30)에 수직으로 배향되는 제2 회전 축(34)을 중심으로 회전 가능하게 장착된다. 스캔 미러(28, 32)는 검류계 드라이브(미도시)에 의해 구동되며, 이는 제어 유닛(36)에 의해 제어된다.

[0066] 측정 장치(14)는 또한 광학 시스템(38)을 포함하며, 이는 도 2에 3개의 렌즈(L1, L2 및 L3)로 표시되어 있다. 도시된 실시예에서, 광학 시스템(38)은 스캐닝 장치(26)에 의해 편향된 측정 광선(24)에 초점을 맞추어 광학 시스템을 향하는 웨이퍼(10)의 표면(40)에 항상 거의 수직으로 부딪히도록 한다.

[0067] 이와 같은 방식으로, 광간섭 단층 촬영기(22)는 광원(42), 광원에 의해 생성된 빛을 측정 광선(24)과 기준 광선(46)으로 분할하는 제1 빔 스플리터(44), 기준 광선(46)을 유도하는 기준 암(48) 및 광학 시스템(38)을 이용하는 오브젝트 암(50)과 측정 광선(24)이 유도되는 스캐닝 장치(26)를 포함하며, 상기 광선 분할기는 광간섭 단층 촬영기의 광선 분할을 위한 광선 분할기(42), 광선 분할기의 광선을 유도하는 광선분할기(46)를 포함하는 것으로 알려져 있다.

[0068] 측정하는 동안, 오브젝트 암(50)에서 전파되는 측정 광선 빔(24)은 웨이퍼(10)의 표면(40)에 초점을 맞추고 부

분적으로 반사되어 동일한 광 경로를 따라 오브젝트 암(50)을 통해 제1 빔 스플리터(44)로 되돌아간다. 거기에서 측정 광선(24)의 반사된 부분은 기준 암(48)에서 유도된 기준 광선(46)과 중첩되어 거울(52)에서 반사된다. 두 광선 부분은 두 번째 빔 스플리터(54)에 의해 검출기(56)로 향하고, 이 검출기는 광학 기준 신호를 전기 신호로 변환한다.

[0069] 도시된 실시예에서, 광간섭 단층촬영기(22)는 FD-OCT(FD는 푸리에 도메인을 의미한다)로 설계되었다. 따라서 검출기(56)에는 스펙트럼 강도 분포를 기록하는 분광계가 포함되어 있다. 이로부터, 검출기(56)에 연결된 평가 유닛(57)은 알려진 방식으로 측정 광선(24)의 입사 지점에서 표면(40)과 측정 장치(14)(예를 들어 렌즈(L3))의 거리를 계산할 수 있다. 광학 일관성 단층 촬영에 대한 자세한 내용은 서두에서 이미 언급한 DE 10 2017 128 158 A1을 참조한다.

[0070] 광원(42)에 의해 생성된 빛의 파장 범위는 측정 광선(24)이 적어도 부분적으로 웨이퍼(10)에 투과할 수 있도록 선택될 수 있다. 그러면 측정 장치(14)로부터 반대쪽을 향하는 웨이퍼(10)의 하부 표면(58)에서도 반사가 생성되며, 이는 광학 일관성 단층 촬영기(22)에 의해 감지된다. 이 경우, 서로 다른 광 경로 길이를 이동한 두 개의 측정 광선(24)이 중첩된다. 그러면 검출기(56)는 간섭의 주기성을 통해 알려진 방식으로 광 경로 길이의 차이를 감지하고, 이로부터 웨이퍼(10)의 두 표면(40, 58) 사이의 거리와 두께를 추론할 수 있다.

[0071] 위에서 설명한 두께 모드를 선택하면 간섭에 기여하여 바람직하지 않은 간섭 신호를 생성할 수 있으므로 기준 암(48)에서도 빛이 전파되는 것을 방지해야 한다. 이를 위해 기준 암(48)에는 예를 들어 중앙 또는 초점면 셔터로 설계할 수 있는 60에 표시된 전환 가능한 디밍 장치가 포함되어 있다. 거리 모드에서 두께 모드로 전환할 때 전환 가능한 디밍 장치(60)가 자동으로 닫히므로 기준 암(48)의 빛이 더 이상 검출기(56)의 간섭에 기여할 수 없다. 거리 모드로 다시 전환할 때 전환식 디밍 장치(60)는 기준 광선(46)의 경로를 다시 지운다.

[0072] 선택적으로, 기준 암(48)은 디밍 장치(60)를 위한 제어 메커니즘, 특히 디밍 장치(60)의 상태를 결정할 수 있는 센서를 갖다. 제어 메커니즘은 예를 들어 전원 공급이 중단된 후 현재 상태를 확인하는 데 사용할 수 있다.

[0073] 도 2에 도시된 실시예에서, 측정 광(24)은 자유 공간에서 완전히 전파된다. 다른 실시예에서는, 도 6을 참조하여 아래에서 설명하는 바와 같이, 광 유도가 광섬유에서 부분적으로 이루어진다. 광간섭 단층촬영기(22)가 자체 하우징에 수용되는 경우, 광간섭 단층촬영기(22)와 스캐닝 장치(26) 사이의 빛을 광섬유로 유도하는 것도 바람직하다. 그러면 스캐닝 장치(26)와 광학 시스템(38)은 공간적으로 작고 가벼운 측정 헤드에 수용될 수 있으며, 이는 적은 노력으로 다른 위치에 장착할 수 있다.

[0074] 3. 필드 곡률

[0075] 광학 시스템(38)은 평면 필드 광학 시스템으로 구성되어 있어, 광학 시스템(38)으로 들어오는 시준된 빛이 평면 초점면에 초점을 맞출 수 있다. 그러나 측정 광선(24)의 초점이 정확히 한 평면에 놓여 있지 않다는 것이 밝혀졌다.

[0076] 이러한 바람직하지 않은 필드 곡률은 두 개의 스캔 미러(28, 32)가 공간적으로 서로 뒤쪽에 배치되어 있기 때문에 시각화하기 쉽지 않은 경로 길이 변화가 발생하기 때문이다. 이러한 경로 길이 변화는 스캔 미러(28, 32)의 회전 각도가 증가함에 따라 광학 시스템(38)의 광축(OA)으로부터 측정 지점의 거리가 증가함에 따라 4제곱적으로 증가한다.

[0077] 일반적으로 기준 암(48)의 광학 경로 길이는 측정 광선 빔(24)의 초점까지 오브젝트 암(50)의 광학 경로 길이와 일치하도록 선택된다. 반사 표면이 초점 외부에 있는 경우, 일관성 단층 촬영기(22)는 이를 해당 표면이 기준 암(48)에 의해 지정된 광 경로 길이보다 더 멀거나 더 가깝다는 의미로 해석한다. 그러나 측정 광선 빔(24)의 초점이 정확히 한 평면에 놓이지 않으면 실제로 평평한 표면이 곡면처럼 보이게 된다. 광축(OA)에서 150㎜ 떨어진 거리에서 결과 측정 오차는 이미 약 1㎜이며, 이는 필요한 측정 정확도인 1㎛보다 세 배 이상 큰 수치이다.

[0078] 이 문제를 해결하기 위해 측정 장치(14)를 배송하기 전에 캘리브레이션 측정을 수행한다. 이를 위해 평평한 유리판 형태의 고정밀 보정 표준을 측정한다. 현장 곡률의 결과로 측정된 평탄도 편차는 평가 장치(57)의 테이블에 저장되는 보정 값으로 변환된다. 보정 표준 표면에서 스캐닝 장치(26)가 접근할 수 있는 각 측정 지점에 대해 이 측정 지점에 할당되는 보정 값이 결정된다. 측정 포인트 및 보정 값의 할당은 평가 장치(57)의 테이블에 저장될 수 있다.

[0079] 또는 보정 측정에서 도출된 공식에서 보정 값을 계산할 수도 있다. 보정 값은 개별 보간 지점에 대한 테이블에만 저장하고 보간 지점 사이의 위치에 대한 보정 값은 보간을 통해 얻는 결합 솔루션도 생각할 수 있다.

[0080] 이러한 보정 후 실제 웨이퍼(10)를 측정하면 부호에 따라 해당 보정 값이 획득된 측정 값에 더하거나 뺀다. 그 결과 추가 처리를 위해 측정 장치(14)의 사용자에게 출력할 수 있는 보정된 측정값 세트가 생성된다.

[0081] 4. 필드 곡률을 줄이기 위한 조치

[0082] 보정에 대한 대안으로 또는 보정에 추가하여 필드 곡률을 가능한 한 줄이기 위한 조치를 취할 수 있다.

[0083] 예를 들어, 그러한 조치 중 하나는 두 스캔 미러(28, 32) 사이의 거리를 줄이는 것일 수 있다. 일반적으로, 이 거리는 더 큰 회전 각도에서도 스캔 미러(28, 32)가 어떤 상황에서도 충돌하지 않도록 선택된다. 그러나 위에서 설명한 웨이퍼(10)의 측정에는 일반적으로 ±10° 또는 심지어 ±5° 정도의 비교적 작은 회전 각도만 필요하다. 회전 각도가 작을수록 두 개의 스캔 미러(28, 32)를 서로 더 가깝게 배치할 수 있다. 그러나, 스캔 미러(28, 32)는 일반적으로 회전 각도 범위가 더 넓기 때문에, 작동 중에 스캔 미러(28, 32)가 서로 접촉하는 것을 확실하게 방지하기 위해 충돌 보호 장치가 제공되어야 한다. 도 3에 도시된 본 발명의 실시예에서, 충돌 보호 장치는 예를 들어 고무립(rubber lip)으로 형성될 수 있는 기계적 스톱(64)을 갖는다. 기계적 스톱(64)은 구조적으로 가능한 스캔 미러(28, 32)의 회전 각도를 필요한 회전 각도로 제한하는 방식으로 배치된다.

[0084] 스캔 미러의 거리와 크기에 따라 두 개의 스캔 미러(28, 32) 중 하나에만 충돌 방지 장치를 제공하는 것으로 충분할 수 있다.

[0085] 스캐닝 장치(26)에 각각 단일 회전축(30 또는 34)을 중심으로 회전하도록 장착되는 두 개의 스캔 미러(28, 32)가 없고, 도 4에 투시도식으로 도시된 바와 같이 바람직하게는 직교하는 두 개의 회전축(30, 34)을 중심으로 장착되는 하나의 스캔 미러(28') 하나만 있으면 필드 곡률은 훨씬 더 작아진다.

[0086] 도 5a 및 5b는 두 개의 직교 자오선 섹션, 즉 도 5a의 XZ 평면 및 도 5b의 YZ 평면에서 대안적 실시예에 따른 측정 장치(14)의 광학 시스템(38)을 도시한다. 이 측정 장치(14)에는 두 개의 스캔 미러도 제공된다. 여기서 필드 곡률은 적절하게 구성된 광학 시스템(38)에 의해 감소된다. 이를 위해, 광학 시스템(38)은 제1 원통형 렌즈(66)와 제2 원통형 렌즈(68)를 가지며, 도 5a, 5b에서 볼 수 있듯이 원통형 렌즈(66, 68)의 대칭 축은 서로 수직으로 이어진다. 두 개의 원통형 렌즈(66, 68)는 각각 두 개의 스캔 미러(28, 32) 중 하나에 할당된다. 따라서 원통형 렌즈(66, 68)의 대칭 축의 방향은 스캔 미러(28, 32)의 회전 축(30, 34)의 방향과 정렬된다.

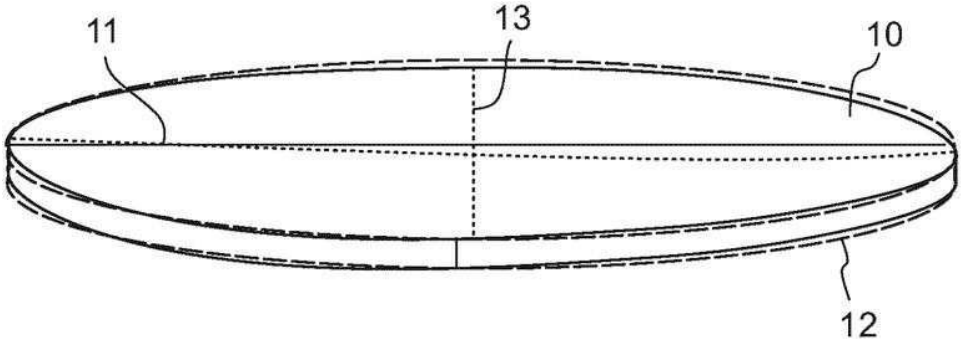
[0087] 도 6은 광학 일관성 단층 촬영기(22)의 단면을 나타낸다. 측정 광선(24)이 대형 웨이퍼(10)를 가장자리까지 스캔할 수 있도록 광학 시스템(38)은 초점 거리가 커야 하며, 이는 오브젝트 암(50)의 기하학적 및 광학 경로 길이가 커지게 된다. 기준 암(48)의 광학 경로 길이도 그에 상응하게 길어야 한다.

[0088] 장거리에 걸친 자유 빔 전파에는 복잡한 빔 폴딩이 필요하기 때문에, 측정 광 빔(24)이 기준 암(48)에서 자유 빔으로 유도되지 않거나 적어도 전체적으로는 아니지만 적어도 부분적으로 광섬유에서 유도되는 것이 더 유리할 수 있다. 도 6에서, 디밍 장치(60) 뒤의 광 경로에 배치된 커플링 렌즈(70)는 측정 광 빔을 코일형 광섬유(72)의 한쪽 끝(71)에 결합한다. 두 번째 커플링 렌즈(76)는 미러(52)에서 반사된 기준 광선을 광섬유(72)로 다시 결합하기 위해 광섬유(72)의 단부(74)와 미러(52) 사이에 배치된다.

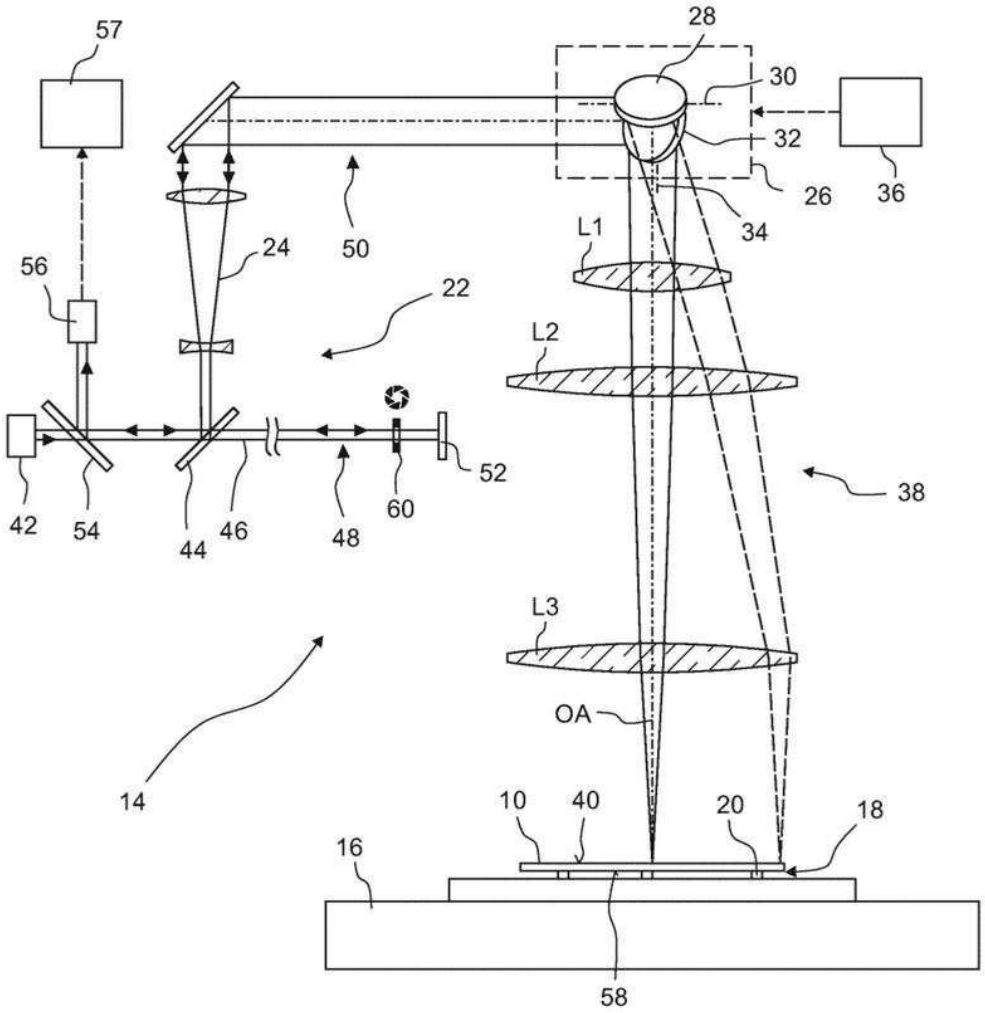
[0089] 참조 암(48)을 파이버 가이드 부분과 자유 빔 가이드 부분으로 분할하는 것은 도 6에 도시된 실시예에 한정되지 않다. 특히, 빔 스플리터(44)는 다른 실시예에서 파이버 커플러로 구현될 수도 있다.

도면

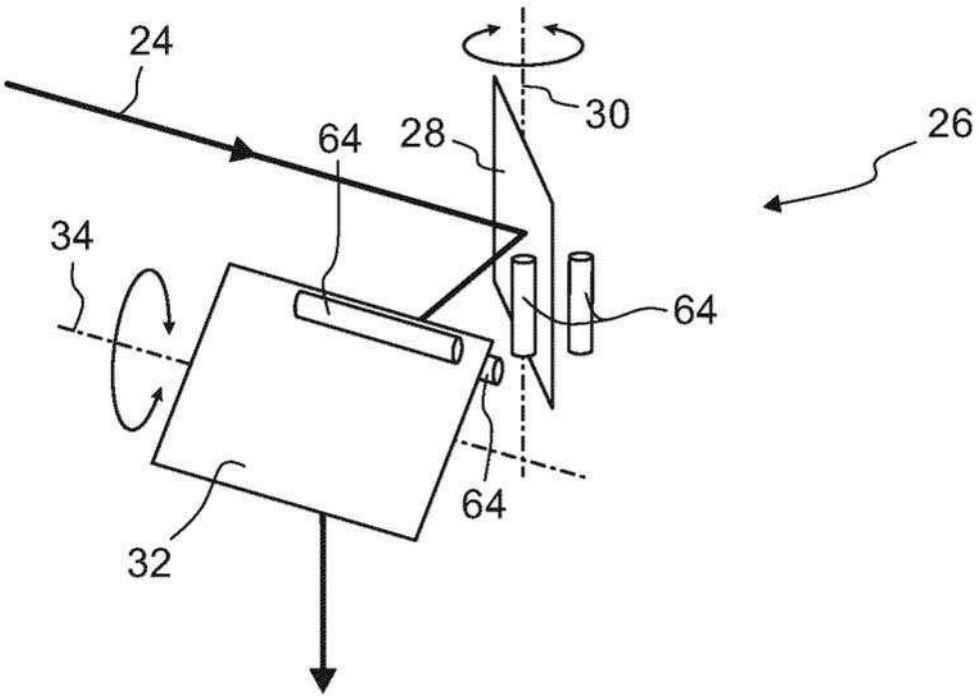
도면1



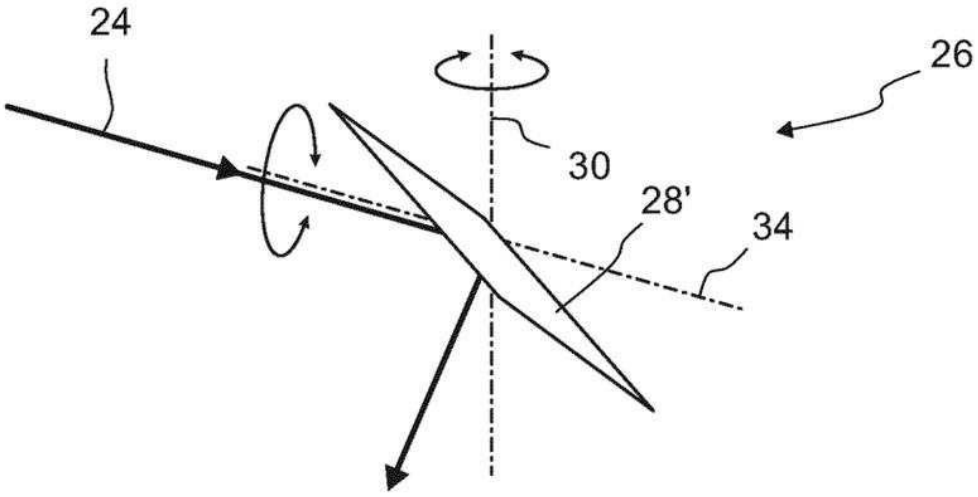
도면2


57
28
30
32
26
36
34
L1
L2
L3
OA
38
50
24
56
22
52
42
54
44
46
48
60
14
10
40
20
18
16
58

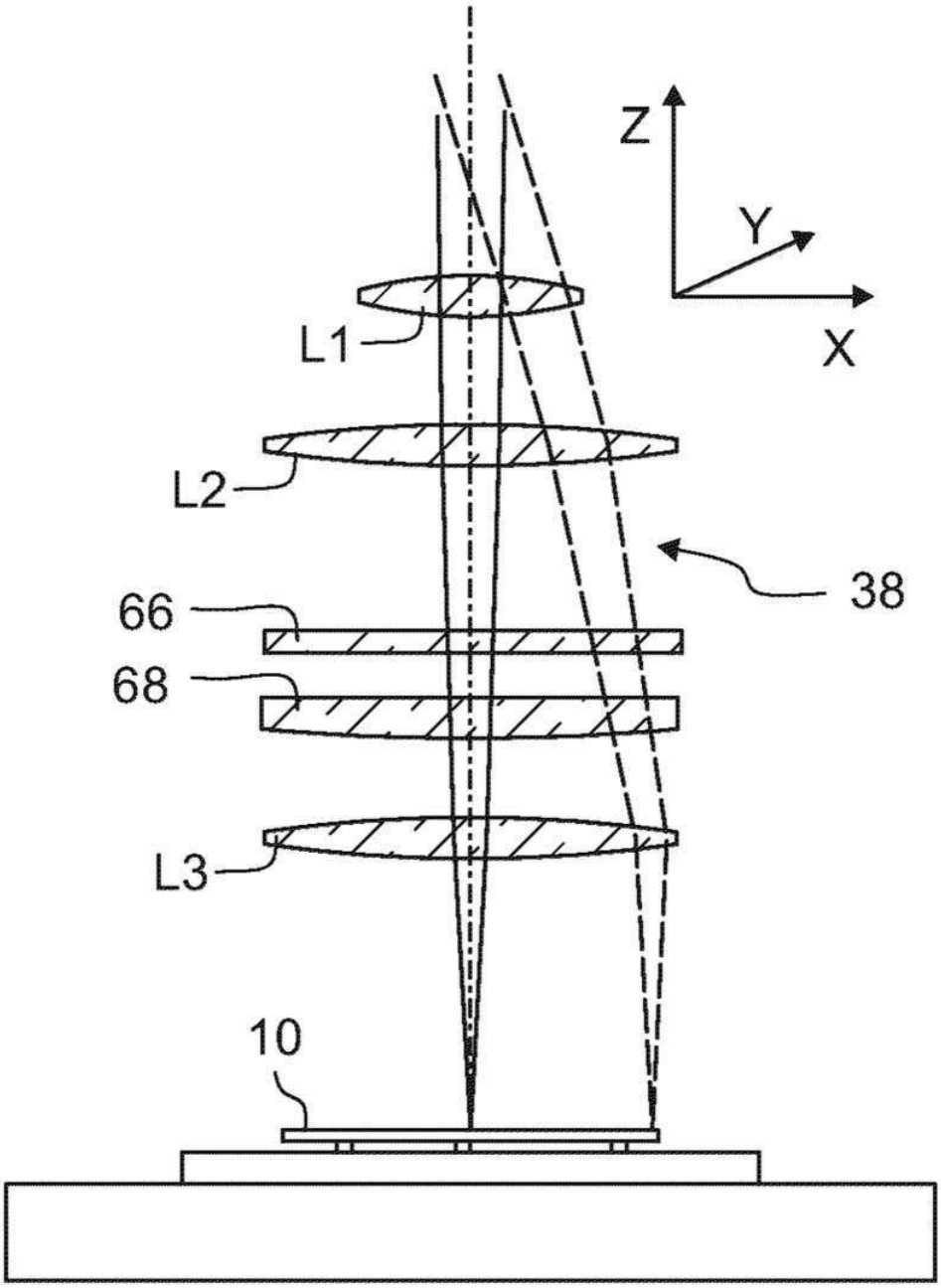
도면3



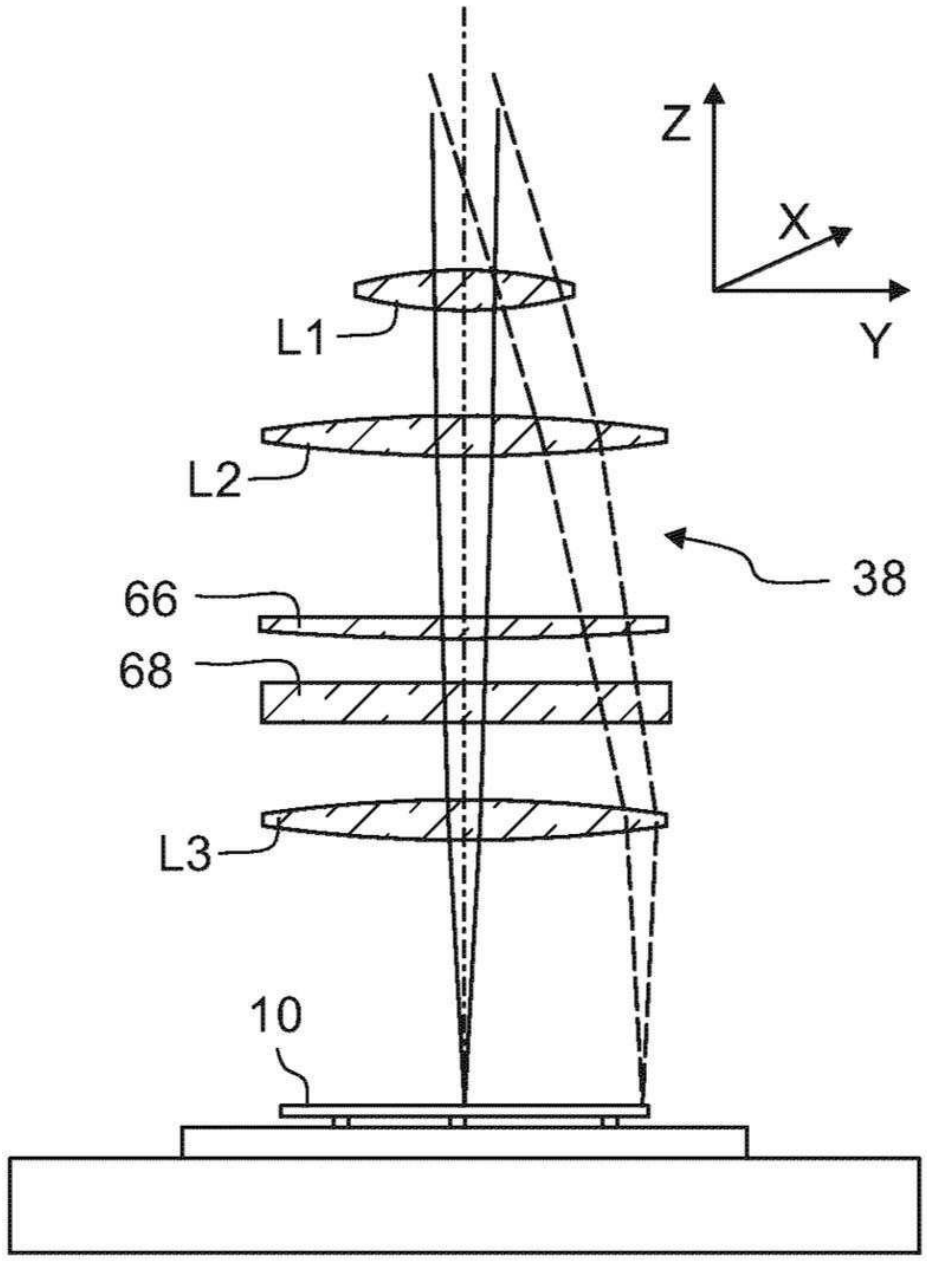
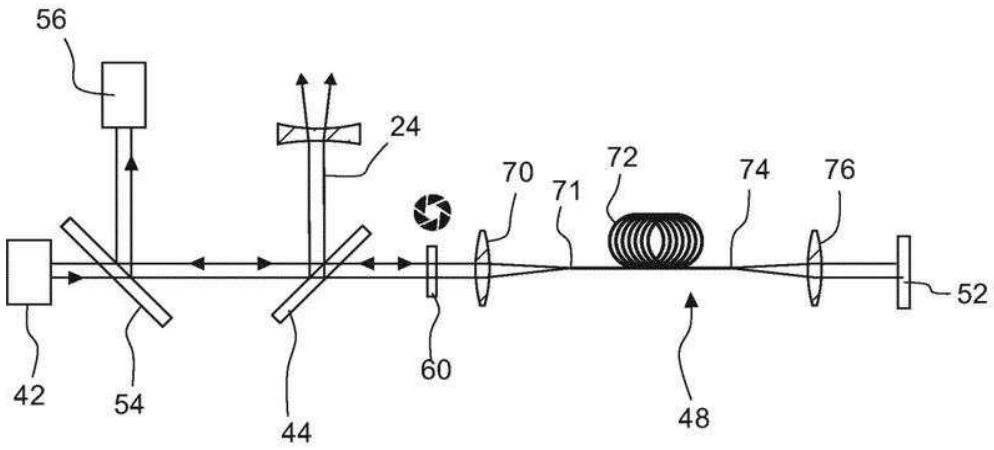
도면4



도면5a



도면5b



도면6