



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년09월09일
 (11) 등록번호 10-2020076
 (24) 등록일자 2019년09월03일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 H01L 21/66 (2006.01) G01B 11/00 (2006.01)
 G01D 5/26 (2006.01) G01D 5/347 (2006.01)
 H01L 21/027 (2006.01)
- (21) 출원번호 10-2014-7009082
- (22) 출원일자(국제) 2012년09월05일
 심사청구일자 2017년09월04일
- (85) 번역문제출일자 2014년04월04일
- (65) 공개번호 10-2014-0061499
- (43) 공개일자 2014년05월21일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2012/053727
- (87) 국제공개번호 WO 2013/036498
 국제공개일자 2013년03월14일
- (30) 우선권주장
 61/531,545 2011년09월06일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌
 JP2007010659 A*
 KR1020080045219 A*
 US06677601 B2*
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자
 가부시키가이샤 니콘
 일본국 도쿄도 미나토쿠 고난 2초메 15반 3고
- (72) 발명자
 굿윈 에릭 피
 미국 85743 애리조나주 투손 웨스트 과칠라 코트 7659
- (74) 대리인
 특허법인코리아나

전체 청구항 수 : 총 17 항

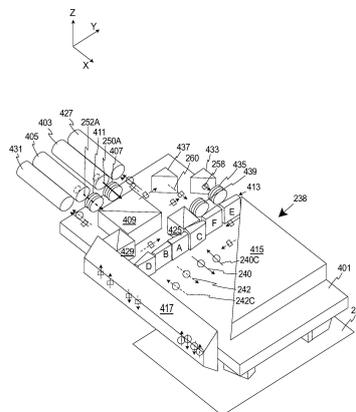
심사관 : 홍종선

(54) 발명의 명칭 **고 콘트라스트 인코더 헤드**

(57) 요약

제 1 축을 따라 워크 피스 (28) 의 위치를 계측하는 계측 시스템 (22) 은, 격자 (234), 및 제 1 계측 빔 (240) 을 제 1 각도로 격자 (234) 로 지향시키고, 제 2 계측 빔 (242) 을 제 2 각도로 격자 (234) 로 지향시키는 인코더 헤드 (238) 를 포함한다. 격자 (234) 의 법선 (244) 에 대한 제 1 각도의 절대값은, 격자 (234) 의 법선 (244) 에 대한 제 2 각도의 절대값과는 상이하다. 부가적으로, 제 1 계측 빔 (240) 은 제 1 파장을 갖고, 제 2 계측 빔 (242) 은, 제 1 파장과는 상이할 수 있는 제 2 파장을 갖는다. 또한, 제 1 계측 빔 (240) 및 제 2 계측 빔 (242) 은 격자 (234) 상의 거의 동일한 위치에서 부딪힐 수 있다.

대표도 - 도4a



명세서

청구범위

청구항 1

제 1 물체에 형성된 회절 격자와,

제 2 물체에 형성되어, 상기 회절 격자 상의 제 1 위치에 제 1 계측 빔을 조사하고, 또한 상기 제 1 계측 빔의 조사에 의해 상기 회절 격자에서 발생하는 회절광을 제 2 계측 빔으로서 상기 회절 격자의 상기 제 1 위치에 조사하는 광학계와,

상기 제 2 계측 빔의 조사에 의해 상기 회절 격자에서 발생하는 회절광을 사용하여, 상기 광학계에 대한 회절 격자의 위치를 산출하는 산출부를 포함하는, 계측 시스템.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 광학계는, 상기 제 1 위치에 제 1 각도로 상기 제 1 계측 빔을 조사하고, 또한 상기 제 1 위치에 상기 제 1 각도와 상이한 제 2 각도로 상기 제 2 계측 빔을 조사하는, 계측 시스템.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

인코더 헤드는, 상기 회절광을 상기 제 2 계측 빔으로서 사출하기 위해서 상기 회절광을 반사하는 반사 부재를 포함하는, 계측 시스템.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 반사 부재는, 상기 회절광을 재귀(再歸) 반사하는 재귀 반사체와, 상기 재귀 반사체와 상기 회절 격자 사이에 배치되어, 상기 회절광 및 상기 제 2 계측 빔의 적어도 일방을 편향시키는 편향 부재를 구비하는, 계측 시스템.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 편향 부재는, 상기 제 2 계측 빔이 상기 제 1 위치에 조사되도록, 상기 회절광 및 상기 제 2 계측 빔의 적어도 일방을 편향시키는, 계측 시스템.

청구항 6

제 2 항에 있어서,

상기 제 1 각도로 상기 회절 격자에 조사되는 상기 제 1 계측 빔은, 상기 회절 격자의 법선에 대해 기울어 있는, 계측 시스템.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 제 2 각도로 상기 회절 격자에 조사되는 상기 제 2 계측 빔은, 상기 회절 격자의 법선에 대해 기울어 있는, 계측 시스템.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 회절 격자의 법선에 대한 상기 회절광의 광로의 각도는, 상기 회절 격자의 법선에 대한 상기 제 2 계측 빔의 광로의 각도보다 큰, 계측 시스템.

청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 제 2 계측 빔의 조사에 의해 상기 회절 격자에서 발생하는 회절광의 광로와 상기 회절 격자의 법선이 이루는 각도는, 상기 회절 격자의 법선에 대한 상기 제 1 계측 빔의 광로의 각도보다 큰, 계측 시스템.

청구항 10

제 2 항에 있어서,

상기 제 2 각도로 상기 회절 격자에 조사되는 상기 제 2 계측 빔은, 상기 회절 격자의 법선에 대해 제 3 각도로 상기 회절 격자에 의해 회절되는, 계측 시스템.

청구항 11

제 2 항에 있어서,

인코더 헤드는, 제 3 각도로 상기 회절 격자 상의 상기 제 1 위치에 제 3 계측 빔을 조사하고, 또한 상기 제 3 계측 빔의 조사에 의해 상기 회절 격자에서 발생하는 회절광을 제 4 계측 빔으로서 상기 회절 격자 상의 상기 제 1 위치에 상기 제 3 각도와 상이한 제 4 각도로 조사하는, 계측 시스템.

청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 회절 격자의 법선에 대한 상기 제 1 계측 빔의 광로의 각도와, 상기 회절 격자의 법선에 대한 상기 제 3 계측 빔의 광로의 각도는 서로 상이한, 계측 시스템.

청구항 13

제 11 항에 있어서,

상기 제 1 계측 빔의 파장과, 상기 제 3 계측 빔의 파장은 서로 상이한, 계측 시스템.

청구항 14

제 11 항에 있어서,

상기 제 2 각도로 상기 회절 격자에 조사되는 상기 제 2 계측 빔은, 상기 회절 격자의 법선에 대해 제 5 각도로 상기 회절 격자에 의해 회절되고, 상기 제 4 각도로 상기 회절 격자에 조사되는 상기 제 4 계측 빔은, 상기 법선에 대해 상기 제 5 각도와 상이한 제 6 각도로 상기 회절 격자에 의해 회절되는, 계측 시스템.

청구항 15

워크 피스를 이동시키는 스테이지 조립체로서,

상기 워크 피스를 유지하는 스테이지와,

상기 워크 피스의 위치를 계측하는 제 1 항 내지 제 14 항 중 어느 한 항의 계측 시스템을 포함하는, 스테이지 조립체.

청구항 16

조명계와,

상기 조명계에 대해 스테이지를 움직이게 하는 제 15 항의 스테이지 조립체를 포함하는, 노광 장치.

청구항 17

디바이스를 제조하는 방법으로서,
 기관을 준비하는 것과,
 제 16 항의 노광 장치로 상기 기관에 이미지를 형성하는 것을 포함하는, 디바이스를 제조하는 방법.

청구항 18

삭제

청구항 19

삭제

청구항 20

삭제

청구항 21

삭제

청구항 22

삭제

청구항 23

삭제

청구항 24

삭제

청구항 25

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 출원은, 발명의 명칭이 "HIGH CONTRAST ENCODER HEAD" 인, 2011년 9월 16일자로 출원된 미국 가출원 제 61/531,545호에 대한 우선권을 주장한다. 허용되는 한, 이 미국 가출원 제61/531,545호의 내용들은 여기에 참조로 포함된다.

배경 기술

[0002] 노광 장치들은 반도체 프로세싱 동안 레이클로부터의 이미지들을 반도체 웨이퍼 상으로 전사시키는데 보통 이용된다. 통상적인 노광 장치는, 조명원, 레티클을 위치결정 (position) 하는 레티클 스테이지 조립체, 광학 조립체, 반도체 웨이퍼를 위치결정하는 웨이퍼 스테이지 조립체, 계측 시스템, 제어 시스템을 포함한다. 계측 시스템은 레티클 및 웨이퍼의 위치를 끊임없이 계측 및/또는 모니터링하고, 제어 시스템은 이 레티클 및 웨이퍼의 위치를 끊임없이 조정하도록 각 스테이지 조립체를 제어한다. 레티클로부터 웨이퍼 상으로 전사된 이미지들의 피쳐 (feature) 들은 극히 작다. 이에 따라, 고품질의 웨이퍼들의 제조에 웨이퍼 및 레티클의 정밀한 위치결정이 중대하다.

[0003] 계측 시스템의 정확도를 개선시키려는 끊임없는 요구가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

과제의 해결 수단

- [0004] 본 발명은 제 1 축을 따라 1 물체 및 제 2 물체 사이의 위치 또는 상대 이동을 계측하는 계측 시스템에 관한 것이다. 예를 들어, 이 물체들 중 하나는 워크피스일 수 있다. 일부 실시형태들에서, 계측 시스템은, 워크 피스에 커플링되는 격자 (grating), 및 제 1 계측 빔을 제 1 각도로 격자로 지향시키고, 제 2 계측 빔을 제 2 각도로 격자로 지향시키는 인코더 헤드를 포함한다. 하나의 이러한 실시형태에서, 격자의 법선에 대한 제 1 각도의 절대값은, 격자의 법선에 대한 제 2 각도의 절대값과는 상이하다. 또한, 하나의 실시형태에서, 제 1 계측 빔은 제 1 파장을 갖고, 제 2 계측 빔은, 제 1 파장과는 상이한 제 2 파장을 갖는다.
- [0005] 부가적으로, 특정 실시형태들에서, 격자에 부딪친 제 1 계측 빔은, 인코더 헤드로 다시 지향되는 +1차 빔을 생성하고, 격자에 부딪친 제 2 계측 빔은, 인코더 헤드로 다시 지향되는 -1차 빔을 생성한다. 일부 이러한 실시형태들에서, 인코더 헤드는, (i) 제 1 계측 빔의 +1차 빔을 격자로 다시 재지향시키는 제 1 리다이렉터, 및 (ii) 제 2 계측 빔의 -1차 빔을 격자로 다시 재지향시키는 제 2 리다이렉터를 포함한다. 예를 들어, 하나의 이러한 실시형태에서, 각각의 리다이렉터는 불완전한 코너 큐브 (imperfect corner cube) 일 수 있다.
- [0006] 하나의 실시형태에서, 제 1 계측 빔, 제 2 계측 빔, 제 1 계측 빔의 +1차 빔, 및 제 2 계측 빔의 -1차 빔은 모두, 격자 상의 거의 동일한 위치에서 부딪친다. 본 발명에 의하면, 계측 빔들은 격자 상의 정확히 동일한 위치를 모니터링하는데 이용될 수 있다.
- [0007] 부가적으로, 일부 실시형태들에서, (i) 제 1 레퍼런스 빔 (reference beam) 은 격자에서 회절되는 제 2 계측 빔의 -1차 빔과 결합될 수 있고, (ii) 제 2 레퍼런스 빔은 격자에서 회절되는 제 1 계측 빔의 +1차 빔과 결합될 수 있다. 하나의 이러한 실시형태에서, 제 1 레퍼런스 빔은 제 1 파장으로 되어 있고, 제 2 레퍼런스 빔은 제 2 파장으로 되어 있다.
- [0008] 또한, 하나의 실시형태에서, 제 1 축은 워크 피스에 수직이고, 격자로부터 회절된 광은 제 1 축을 따라 워크 피스의 위치를 결정하는데 이용된다.
- [0009] 더 더욱, 하나의 실시형태에서, 제 1 계측 빔은 제 1 편광을 가질 수 있고, 제 2 계측 빔은, 제 1 편광과 동일한 제 2 편광을 가질 수 있다.
- [0010] 또한, 본 발명은 워크 피스를 이동시키는 스테이지 조립체에 관한 것이다. 스테이지 조립체는, 워크 피스를 유지하는 스테이지, 및 워크 피스의 위치를 계측하는 상술된 계측 시스템을 포함한다. 부가적으로, 본 발명은 또한, 조명 시스템, 및 조명 시스템에 대해 스테이지를 이동시키는 상술된 스테이지 조립체를 포함하는 노광 장치에 관한 것이다. 또한, 본 발명은 기관을 제공하는 단계, 및 노광 장치를 이용하여 기관에 이미지를 형성하는 단계를 포함하는, 디바이스를 제조하는 방법에 관한 것이다.
- [0011] 더 더욱, 본 발명은 또한, 제 1 축을 따라 워크 피스의 위치를 계측하는 방법에 관한 것이며, 이 방법은, 워크 피스에 격자를 커플링하는 단계; 인코더 헤드를 이용하여 제 1 계측 빔을 제 1 각도로 격자로 지향시키는 단계; 및 인코더 헤드를 이용하여 제 2 계측 빔을 제 2 각도로 격자로 지향시키는 단계를 포함하고, 격자의 법선에 대한 제 1 각도의 절대값은, 격자의 법선에 대한 제 2 각도의 절대값과는 상이하다.

도면의 간단한 설명

- [0012] 본 발명의 신규한 특징들 및 본 발명 자체는, 그 구조와 그 동작 양쪽 모두에 관해, 동일한 참조 부호들이 동일한 부분들을 지칭하는, 첨부된 상세한 설명과 함께 다루어지는 첨부된 도면들로부터 가장 잘 이해될 것이다.
- 도 1 은 본 발명의 피쳐들을 갖는 노광 장치의 개략적 예시이다.
- 도 2a 는 본 발명의 피쳐들을 갖는 인코더 조립체의 일 부분의 단순화된 예시이다.
- 도 2b 는 도 2a 에 예시된 인코더 조립체의 다른 부분의 단순화된 예시이다.
- 도 2c 는 도 2a 에 예시된 인코더 조립체의 또 다른 부분의 단순화된 예시이다.
- 도 3 은 인코더 조립체의 부분으로서 이용가능한 격자 및 제 1 계측 빔들의 단순화된 예시이다.

도 4a 는 격자 및 인코더 헤드를 포함하는 본 발명의 피쳐들을 갖는 인코더 조립체의 상부 투시도이다.

도 4b 는 도 4a 에 예시된 인코더 헤드의 저부 (bottom) 투시도이다.

도 4c 는 도 4a 에 예시된 인코더 헤드의 상면도이다.

도 4d 는 도 4a 에 예시된 인코더 헤드의 저면도이다.

도 5 는 정규화된 빔 전단 (normalized beam shear) 의 함수로서 콘트라스트 손실을 도시한 그래프 예시이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0013] 도 1 은 정밀 조립체, 즉, 본 발명의 피쳐 (feature) 들을 갖는 노광 장치 (10) 의 개략적 예시이다. 노광 장치 (10) 는 장치 프레임 (12), 조명 시스템 (14) (조사 장치), 광학 조립체 (16), 레티클 스테이지 조립체 (18), 웨이퍼 스테이지 조립체 (20), 계측 시스템 (22), 및 제어 시스템 (24) 을 포함한다. 노광 장치 (10) 의 컴포넌트들의 설계는 노광 장치 (10) 의 설계 요건들에 적합하도록 변화될 수 있다.
- [0014] 다수의 도면들이, X 축, X 축에 직교하는 Y 축, X 및 Y 축들에 직교하는 Z 축을 예시한 배향 시스템을 포함한다. 이들 축들 중 임의의 것이 제 1 축, 제 2 축, 및/또는 제 3 축이라고도 또한 지칭될 수 있다는 점에 주목해야 한다.
- [0015] 노광 장치 (10) 는 레티클 (26) 로부터의 집적 회로의 패턴 (미도시) 을 반도체 웨이퍼 (28) 상으로 전사하는 리소그래피 디바이스로서 특히 유용하다. 노광 장치 (10) 는 장착 베이스 (30), 예를 들어, 그라운드, 베이스, 또는 플로어 또는 몇몇 다른 지지 구조물에 장착된다.
- [0016] 개관으로서, 계측 시스템 (22) 은, 위치를 계측하거나 및/또는 제 1 물체와 제 2 물체 사이의 상대 이동을 개선된 정확도로 모니터링하는 인코더 조립체 (32) 를 포함한다. 예를 들어, 제 1 물체는, 워크 피스, 예를 들어, 웨이퍼 (28) 일 수 있고, 제 2 물체는 레퍼런스 (reference) 일 수 있다. 일부 실시형태에서, 인코더 조립체 (32) 는 레퍼런스에 대한 2개의 축들을 따르는 (예를 들어, X 및 Z 축들을 따르는) 워크 피스 (28) 의 이동을 계측 및/또는 모니터링하도록 설계될 수 있다. 부가적으로 및/또는 대안적으로, 하나의 실시형태에서, 인코더 조립체 (32) 는 레퍼런스에 대한 모든 3개의 축들을 따르는 (예를 들어, X, Y 및 Z 축들을 따르는) 워크 피스 (28) 의 이동을 계측 및/또는 모니터링하도록 설계될 수 있다.
- [0017] 도 1 에서, 인코더 조립체 (32) 는 (i) 워크 피스 (28) 를 유지하는 스테이지, 예를 들어, 웨이퍼 스테이지 (20A) 의 상부에 고정되는 격자 (grating; 34), (ii) X 축을 따라 워크 피스 (28) 의 위치를 계측 및/또는 모니터링하는 하나 이상의 고정된 X 인코더 헤드들 (36), 및 (iii) Z 축을 따라 워크 피스 (28) 의 위치를 계측 및/또는 모니터링하는 하나 이상의 Z 인코더 헤드들 (38) 을 포함한다. 부가적으로 또는 대안적으로, 인코더 조립체 (32) 가 모든 3개의 축들을 따라 워크 피스 (28) 의 위치를 계측 및/또는 모니터링하는 실시형태들에서, 인코더 조립체 (32) 는 Y 축을 따라 워크 피스 (28) 의 위치를 계측 및/또는 모니터링하는 하나 이상의 Y 인코더 헤드들 (미도시) 을 더 포함할 수 있다. 도 1 에서, Z 축은 워크 피스 (28) 에 직교한다 (즉, 워크 피스 (28) 에 수직이다). 또한, (i) 각각의 X 인코더 헤드 (36) 는 하나 이상의 X 계측 빔들 (36A) (단지 하나만이 도 1 에 예시되어 있다) 을 스테이지 (20A) 를 향해 지향시키고, (ii) 각각의 Z 인코더 헤드 (38) 는 하나 이상의 Z 계측 빔들 (38A) (단지 하나만이 도 1 에 예시되어 있다) 을 스테이지 (20A) 를 향해 지향시킨다.
- [0018] 이 실시형태에서, 각각의 X 인코더 헤드 (36) 는 격자 (34) 가 그 아래에 위치결정 (position) 될 때 X 축을 따라 워크 피스 (28) 의 위치를 계측 및/또는 모니터링하는데 이용될 수 있고, 각각의 Z 인코더 헤드 (38) 는 격자 (34) 가 그 아래에 위치결정될 때 Z 축을 따라 워크 피스 (28) 의 위치 (예를 들어, 워크 피스 (28) 의 높이) 를 계측 및/또는 모니터링하는데 이용될 수 있다. 따라서, 스테이지 (20A) 및 격자 (34) 가 인코더 헤드들 (36, 38) 에 대해 이동됨에 따라, 격자 (34) 보다 위에 위치결정된 인코더 헤드들 (36, 38) 은, 스테이지 (20A) 에 의해 유지되는 워크 피스 (28) 의 위치를 계측 및/또는 모니터링하는데 이용될 것이다.
- [0019] 인코더 헤드들 (36, 38) 의 개수는 스테이지 (20A) 의 이동량 및 시스템의 설계에 따라 변화될 수 있다. 도 1 에 예시된 5개의 X 인코더 헤드들 (36) 및 5개의 Z 인코더 헤드들 (38) 은 단지 일 예이며, X 인코더 헤드들 (36) 및 Z 인코더 헤드들 (38) 의 실제 개수는 5개보다 더 많거나 더 적을 수 있다는 점에 주목해야 한다. 부가적으로, 다수의 X 인코더 헤드들 (36) 및 다수의 Z 인코더 헤드들 (38) 의 사용은, 인코더 헤드들 (36, 38) 에 대해 이동하는 격자 (34) 및 스테이지 (20A) 로 인해, 인코더 조립체 (32) 로 하여금, 격자 (34) 의 위치,

그리고 그에 따라 스테이지 (20A) 에 의해 유지되는 워크 피스 (28) 의 위치를 더 정확히 예측할 수 있게 한다는 점에 주목해야 한다. 인코더 헤드들 (36, 38) 사이를 효과적으로 스위칭하기 위해, 격자 (34) 상의 예측 빔들 (36A, 38A) 의 풋프린트가 작을 필요가 있다. 예를 들어, 하나의 실시형태에서, 격자 (34) 상의 예측 빔들 (36A, 38A) 의 풋프린트는 절대 최소치이다, 즉, 격자 (34) 상의 예측 빔들 (36A, 38A) 의 풋프린트는 단순히 단일 빔의 직경이다.

[0020] X 인코더 헤드들 (36) 의 설계는 변화될 수 있다. 예를 들어, 하나의 비배타적 실시형태에서, 적합한 X 인코더 헤드 (36) 는 미국 특허 제7,238,931 B2호에 기재된 것과 같은 것일 수 있다. 허용되는 한, 미국 특허 제7,238,931 B2호의 내용들은 여기에 참조로 포함된다. 대안적으로, X 인코더 헤드들 (36) 은 상이한 설계를 가질 수 있다. 부가적으로, 하나 이상의 Y 인코더 헤드들을 더 포함하는 실시형태들에서, Y 인코더 헤드들은 X 인코더 헤드들 (36) 과 실질적으로 유사한 설계를 가질 수 있고, 또는 Y 인코더 헤드들은 X 인코더 헤드들 (36) 과 상이한 설계를 가질 수 있다.

[0021] 특정 실시형태들에서, Z 인코더 헤드 (38) 는, Z 예측 빔 (38A) 이 X 예측 빔 (36A) 의 과장과 거의 동일한 과장으로 되어 있고, Z 인코더 헤드 (38) 가 격자 (34) 의 회전된 Z 예측 빔 (38A) 을 이용하여 Z 축을 따라 격자 (34) 의 위치 (즉, 워크 피스 (28) 에 수직인 위치) 를 결정할 수 있도록 고유하게 설계된다. 이러한 설계에 의하면, 동일한 격자 (34) 는 Z 예측 빔 (38A) 과 X 예측 빔 (36A) 양쪽을 회전시키는데 이용될 수 있다. 이것은 설계를 대단히 단순화시키고, X 및 Z 인코더 헤드들 (36, 38) 이 격자 (34) 상의 이론적으로 가장 작은 전체 빔 풋프린트를 이용하게 한다. 또한, 격자 (34) 로부터 회전된 광을 이용하는 것은 격자 구조를 대단히 단순화시키고, 격자 (34) 의 이전 버전들의 다수의 계면들로부터의 반사들로부터 발생하는 에러들 중 많은 것을 잠재적으로 제거한다.

[0022] 부가적으로, 여기에 제공된 바와 같이, 격자 (34) 는 1차원 격자 (즉, 하나의 방향으로 이어지는 평행선들을 가진 격자) 일 수 있다. 또한, 특정 실시형태들에서, 격자 (34) 는 거의 1 마이크로 (1 um) 의 피치를 가질 수 있다. 또한, 하나의 실시형태에서, 격자 선들의 깊이 및 듀티 사이클은 +1 과 -1 차수의 양호한 회절 효율을 제공하는 것이 가능하다. 더 더욱, 하나의 실시형태에서, 격자 (34) 에 의해 주어진 (즉, 편광을 위한) 임의의 위상차 (retardation) 가 억제된다. 적합한 격자들 (34) 은 상업적으로 입수가 가능한 소스들로부터, 또는 대략 1 마이크로미터의 피치 (feature) 들이 가능한 리소그래피 툴의 이용으로부터 발견될 수 있다. 대안적으로, 격자 (34) 는 상이한 설계를 가질 수 있다. 예를 들어, 격자 (34) 는 체커보드-유사 패턴으로 서로 직각으로 이어지는 선들을 가진 2차원 격자일 수 있다. 이러한 실시형태에서, 격자 (34) 는 또 다시, 양쪽 방향의 피치가 대략 1 마이크로 (1 um) 이도록 설계될 수 있다.

[0023] 또한, 하나의 실시형태에서, 인코더 헤드들 (36, 38) 및 격자 (34) 는 거의 632.8 nm 의 과장을 가진 광원 (예를 들어, HeNe 레이저) 을 이용하여 동작하도록 설계될 수 있다. 부가적으로 및/또는 대안적으로, 인코더 헤드들 (36, 38) 및 격자 (34) 는 다른 과장들을 가진 빔 소스들을 이용하여 동작하도록 설계될 수 있다.

[0024] 또한, 특정 실시형태들에서, 인코더 조립체 (32) 는 개선된 콘트라스트, 비교적 작은 Z 인코더 헤드 (38) 패키지 사이즈, 비교적 작은 Z 예측 빔 (38A) 풋프린트, 및 높은 Z 분해능 (resolution) 및 정확도를 갖는다. 그 결과, 웨이퍼 (28) 는 개선된 정확도로 위치결정될 수 있고, 노광 장치 (10) 는 보다 높은 밀도의 웨이퍼들 (28) 을 제조하는데 이용될 수 있다.

[0025] 다수의 상이한 타입들의 리소그래피 디바이스들이 존재한다. 예를 들어, 노광 장치 (10) 는, 레티클 (26) 로부터의 패턴을 웨이퍼 (28) 상에 노광하는 스캐닝 타입 포토리소그래피 시스템으로서 사용될 수 있고, 레티클 (26) 및 웨이퍼 (28) 는 동시에 이동한다. 대안적으로, 노광 장치 (10) 는 레티클 (26) 및 웨이퍼 (28) 양쪽이 고정되는 동안 레티클 (26) 을 노광하는 스텝-앤드-리피트 타입 포토리소그래피 시스템 (step-and-repeat type photolithography system) 일 수 있다. 그러나, 여기에 제공된 노광 장치 (10) 의 용도는 반도체 제조를 위한 포토리소그래피 시스템으로 제한되지 않는다. 예를 들어, 노광 장치 (10) 는, 박막 자기 헤드들 제조하기 위한 포토리소그래피 시스템 또는 직사각형의 글래스 플레이트 (glass plate) 상에 액정 디스플레이 디바이스 패턴을 노광하는 LCD 포토리소그래피 시스템으로서 사용될 수 있다.

[0026] 장치 프레임 (12) 은 강성이고, 노광 장치 (10) 의 컴포넌트들을 지지한다. 도 1 에 예시된 장치 프레임 (12) 은, 레티클 스테이지 조립체 (18), 광학 조립체 (16), 웨이퍼 스테이지 조립체 (20), 및 조명 시스템 (14) 을 장착 베이스 (30) 위에서 지지한다.

[0027] 조명 시스템 (14) 은 조명원 (39A) 및 조명 광학 조립체 (39B) 를 포함한다. 조명원 (39A) 은 광 에너지의

빔 (조사) 을 방출한다. 조명 광학 조립체 (39B) 는 조명원 (39A) 으로부터의 광 에너지의 빔을 광학 조립체 (16) 로 가이드한다. 광 에너지의 빔은 레티클 (26) 의 상이한 부분들을 선택적으로 조명하고 웨이퍼 (28) 를 노광한다.

[0028] 조명원 (39A) 은 g-선 소스 (436 nm), i-선 소스 (365 nm), KrF 엑시머 레이저 (248 nm), ArF 엑시머 레이저 (193 nm), F₂ 레이저 (157 nm), 또는 EUV 소스 (13.5 nm) 일 수 있다. 대안적으로, 조명원 (39A) 은 x-레이 또는 전자 빔과 같은 하전 입자 빔들을 발생시킬 수 있다. 예를 들어, 전자 빔이 사용되는 경우, 열이온 방출 타입 란타넘 헥사보라이드 (LaB₆) 또는 탄탈륨 (Ta) 이 전자 총에 대한 캐소드로서 사용될 수 있다. 또한, 전자 빔이 사용되는 경우, 그 구조는 마스크가 사용되도록 하거나 또는 패턴이 마스크의 사용 없이 기판 상에 직접 형성될 수 있도록 할 수 있다.

[0029] 광학 조립체 (16) 는 레티클 (26) 을 통과한 광을 웨이퍼 (28) 에 투영 및/또는 포커싱한다. 노광 장치 (10) 의 설계에 따라, 광학 조립체 (16) 는 레티클 (26) 상에 조명되는 이미지를 확대 또는 축소시킬 수 있다. 광학 조립체 (16) 는 축소 시스템으로 제한될 필요는 없다. 이 광학 조립체 (16) 는 또한 1x 또는 확대 시스템일 수 있다.

[0030] 레티클 스테이지 조립체 (18) 는 광학 조립체 (16) 및 웨이퍼 (28) 에 대해 레티클 (26) 을 홀딩 및 위치결정한다. 도 1 에서, 레티클 스테이지 조립체 (18) 는, 레티클 (26) 을 유지하는 레티클 스테이지 (18A), 및 레티클 스테이지 (18A) 및 레티클 (26) 을 위치결정하는 레티클 스테이지 가동자 조립체 (18B) 를 포함한다. 레티클 스테이지 가동자 조립체 (18B) 는 레티클 (26) 을 X, Y, 및 Z 축을 따라, 그리고, X, Y, 및 Z 축 주위로 이동시키도록 설계될 수 있다.

[0031] 이와 다소 유사하게, 웨이퍼 스테이지 조립체 (20) 는 레티클 (26) 의 조명된 부분들의 투영된 이미지에 대해 웨이퍼 (28) 를 홀딩 및 위치결정한다. 도 1 에서, 웨이퍼 스테이지 조립체 (20) 는, 웨이퍼 (28) 를 유지하는 웨이퍼 스테이지 (20A), 및 웨이퍼 스테이지 (20A) 및 웨이퍼 (28) 를 위치결정하는 웨이퍼 스테이지 가동자 조립체 (20B) 를 포함한다. 웨이퍼 스테이지 가동자 조립체 (20B) 는 웨이퍼 (28) 를 X, Y, 및 Z 축을 따라서, 그리고, X, Y, 및 Z 축 주위로 이동시키도록 설계될 수 있다. 이 실시형태에서, 웨이퍼 스테이지 조립체 (20) 가 웨이퍼 (28) 를 Y 축을 따라 이동시키는 동안 웨이퍼 (28) 는 스캐닝될 수 있다. 도 1 에서, 격자 (34) 는 웨이퍼 스테이지 (20A) 의 상부에 고정적으로 고정된다.

[0032] 계측 시스템 (22) 은 광학 조립체 (16) 또는 몇몇 다른 레퍼런스에 대한 레티클 (26) 및 웨이퍼 (28) 의 이동을 계측 및/또는 모니터링한다. 이러한 정보에 의하면, 제어 시스템 (24) 은 레티클 (26) 을 정밀하게 위치결정하도록 레티클 스테이지 조립체 (18) 를 제어하고 웨이퍼 (28) 를 정밀하게 위치결정하도록 웨이퍼 스테이지 조립체 (20) 를 제어할 수 있다. 예를 들어, 계측 시스템 (22) 은 인코더 조립체 (32) 이외에도 다수의 레이저 간섭계들, 인코더들, 오토포커스 시스템들, 및/또는 다른 계측 디바이스들을 이용할 수 있다.

[0033] 제어 시스템 (24) 은 레티클 스테이지 조립체 (18), 웨이퍼 스테이지 조립체 (20), 및 계측 시스템 (22) 에 연결된다. 제어 시스템 (24) 은 레티클 (26) 및 웨이퍼 (28) 를 정밀하게 위치결정하도록 계측 시스템 (22) 으로부터 정보를 수신하고 스테이지 조립체들 (18, 20) 을 제어한다. 제어 시스템 (24) 은 하나 이상의 프로세서들 및 회로들을 포함할 수 있다.

[0034] 도 2a 는 본 발명의 피쳐들을 갖는 인코더 조립체 (232) 의 일 부분의 단순화된 예시이다. 더 구체적으로는, 도 2a 는 본 발명의 피쳐들을 갖는 Z 인코더 헤드 (238) 및 격자 (234) 의 일 부분의 단순화된 예시이다. 하나의 실시형태에서, 위에 언급된 바와 같이, 격자 (234) 는 1차원 격자 (하나의 방향으로 이어지는 평행선들을 가진 격자) 일 수 있다. 예를 들어, 도 2a 에 예시된 실시형태에서, 격자 (234) 는 Y 축과 평행하게 이어지는 평행선들을 가질 수 있다. 대안적으로, 격자 (234) 는 체커보드-유사 방식으로 서로 실질적으로 직각으로 이어지는 평행선들의 2개 세트들을 가진 2차원 격자일 수 있다. 부가적으로, 하나의 비배타적 실시형태에서, 격자 (234) 는 거의 1 마이크로미터의 주기를 갖는다.

[0035] 여기에 제공된 실시형태들에서, Z 인코더 헤드 (238) 는, (원을 갖는 실선으로 예시된) 제 1 계측 빔 (240) 을 격자 (234) 의 법선 (244) 에 대한 FMB ("제 1 계측 빔 (first measurement beam)") 각도 (θ_1) 로 격자 (234) 로, 그리고 (원을 갖는 파선으로 예시된) 제 2 계측 빔 (242) 을 격자 (234) 의 법선 (244) 에 대한 SMB ("제 2 계측 빔 (second measurement beam)") 각도 (α_1) 로 격자 (234) 로 지향시킨다. 이 실시형태에서, 격자 (234) 의 법선 (244) 에 대한 FMB 각도 (θ_1) 의 절대값은 격자 (234) 의 법선 (244) 에 대한 SMB 각도 (α_1)

의 절대값과는 상이하다. 하나의 비배타적 예로서, 법선 (244) 에 대한 FMB 각도 (θ_1) 의 절대값은 거의 2.5 도일 수 있고, 법선 (244) 에 대한 SMB 각도 (α_1) 의 절대값은 거의 3.0 도일 수 있다. 또한, 특정의 비배타적인 대안적 실시형태들에서, 법선 (244) 에 대한 FMB 각도 (θ_1) 의 절대값은 법선 (244) 에 대한 SMB 각도 (α_1) 의 절대값과는 적어도 거의 0.2, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9, 1, 1.2 도 또는 그 이상만큼 상이할 수 있다.

[0036] 임의의 미광 (stray light) 이 인코더 조립체 (232) 의 성능에 악영향을 주는 것을 억제하기 위해 법선 (244) 에 대한 FMB 각도 (θ_1) 의 절대값이 법선 (244) 에 대한 SMB 각도 (α_1) 의 절대값과는 상이하다는 점에 주목해야 한다. 사용 동안, 격자 (234) 는 어떤 0차 회절광을 발생시키고, $\alpha_1 = \theta_1$ 이면, 이 0차 회절광은 다른 빔과 완전히 정렬되며, 이는 실제 계측 빔에 완전히 정렬되는 미광을 발생시킬 수 있다.

[0037] 또한, 이 실시형태에서, 제 1 계측 빔 (240) 은 제 1 파장 (λ_1) 으로 되어 있고, 제 2 계측 빔 (242) 은, 제 1 파장 (λ_1) 과는 상이한 제 2 파장 (λ_2) 으로 되어 있다. 이 2개의 파장들 (λ_1, λ_2) 은, 헤테로다인 물질에서 서로 간섭하도록 제조될 수 있는 공통 소스로부터 발생되고, 여기서 위상은 시간의 함수로서 급속히 변화한다. 헤테로다인 간섭계는 이 분야의 자들에게 익숙하다.

[0038] 또한, 여기에 제공된 설계에 의하면, 특정 실시형태들에서, 2개의 계측 빔들 (240, 242) 의 편광은 동일할 수 있다. 이것은 Z 인코더 헤드 (238) 의 설계를 단순화한다.

[0039] 여기에 제공된 바와 같이, 격자 (234) 에 부딪친 제 1 계측 빔 (240) 은, Z 인코더 헤드 (238) 로 다시 지향되는 회절빔을 생성하고, 격자 (234) 에 부딪친 제 2 계측 빔 (242) 은 Z 인코더 헤드 (238) 로 다시 지향되는 회절빔을 생성한다. 이들 회절빔들은 그 후에 격자 (234) 로 다시 재지향된 후에 격자 (234) 의 위치를 Z 축에 따라 계측하는데 이용된다. 반사된 광 빔들 대신에 격자 (234) 로부터의 회절된 광 빔들을 이용함으로써, 격자 (234) 구조는 대단히 단순화될 수 있고, 격자의 다수의 계면들로부터의 반사들로부터 달리 발생할 수도 있는 에러들이 회피될 수도 있다는 점에 주목해야 한다.

[0040] 예를 들어, 도 2a 에 예시된 바와 같이, 격자 (234) 에 부딪친 제 1 계측 빔 (240) 은, Z 인코더 헤드 (238) 로 다시 지향되는 +1차 제 1 계측 빔 (240A) 을 생성하고, 격자 (234) 에 부딪친 제 2 계측 빔 (242) 은, Z 인코더 헤드 (238) 로 다시 지향되는 -1차 제 2 계측 빔 (242A) 을 생성한다. 부가적으로, 이 실시형태에서, Z 인코더 헤드 (238) 는, (i) +1차 제 1 계측 빔 (240A) 을 제 2 패스 제 1 계측 빔 (second pass first measurement beam; 240B) 으로서 격자 (234) 로 다시 재지향시키고, 이 빔 (240B) 이 마지막 제 1 계측 빔 (240C) 으로서 격자 (234) 로부터 회절되는, 제 1 리다이렉터 (246); 및 (ii) -1차 제 2 계측 빔 (242A) 을 제 2 패스 제 2 계측 빔 (242B) 으로서 격자 (234) 로 다시 재지향시키고, 이 빔 (242B) 이 마지막 제 2 계측 빔 (242C) 으로서 격자 (234) 로부터 회절되는, 제 2 리다이렉터 (248) 를 포함한다.

[0041] 특정 실시형태들에서, 각각의 리다이렉터 (246, 248) 는 "불완전한 (imperfect)" 코너 큐브 (corner cube) 와 같은 "불완전한" 역반사체 (retroreflector) 일 수 있다. 하나의 이러한 실시형태에서, 각각의 리다이렉터 (246, 248) 는 완전한 코너 큐브 (249A) 및 그 '완전한' 코너 큐브 (249A) 앞에 장착되고 반대로 배향된 한 쌍의 웨지드 글래스 플레이트들 (wedged glass plates; 249B) 을 포함할 수 있다. 이러한 설계에 의하면, 웨지드 글래스 플레이트들 (249B) 은, 각각의 입력 빔에 대해 리다이렉터 (246, 248) 를 빠져나오는 각각의 빔을 굴절시켜서, 리다이렉터 (246, 248) 로의 입력 및 출력 빔들이 더 이상 서로 평행하지 않게 한다.

[0042] 리다이렉터들 (246, 248), 즉, 불완전한 역반사체들이 설계대로 동작하도록 하기 위해, 이 입력 및 출력 빔들은 도 2a 에 도시된 바와 같이 X 축을 따라 완전히 공간적으로 분리되어야 한다. 예를 들어, 하나의 비배타적 실시형태에서, (예를 들어, 35.5 도에서의) 격자 (234) 로부터의 제 1 출력 빔과 (예를 들어, 30.2 도에서의) 제 2 패스 입력 빔 사이의 5.3 도의 각도 차이, 및 2.0 밀리미터의 빔 직경에 대해, 입력 및 출력 빔들의 명백한 분리를 달성하기 위해 최소의 광학 거리가 존재한다. 따라서, Z 인코더 헤드 (238) 에 대한 최소의 패키지 사이즈를 유지하기 위해 폴드 미러 (fold mirror) 들이 사용된다. 물론, 빔들 사이의 각도 차이, 예를 들어, 5.3 도가 증가될 수 있는 경우, 빔들을 공간적으로 분리시키는 거리가 감소한다. 그러나, 이것이 실제로 이루어질 수 없는 중요한 이유가 존재한다.

[0043] 예를 들어, 역반사체가 완전한 대안적인 실시형태들에서, 격자 (234) 의 임의의 기울기/경사는 제 2 패스 빔에 의해 완전히 상쇄된다. 그러나, 역반사체가 불완전한 경우, 빔들이 격자 (234) 에 의해 회절되고 반사되지 않으며, 회절 관계가 비선형적이기 때문에, 불완전한 코너 큐브에 의해 도입된 각도 차이가 0° 로부터 증가함에

따라, 2개의 빔들 사이의 작은 각도 차이가 스테이지 경사들로서 도입된다. 다시 말해서, 회절빔들과 스테이지 경사와 결합된 불완전한 역반사체는 스테이지 기울기 또는 경사에 대한 완전한 둔감도를 더 이상 초래하지 않는다. 최대의 허용된 각도 차이는 빔 직경, 스테이지 경사들의 예상된 범위 (즉, +/- 1 mrad), 파장, 격자 피치 및 입사 각도에 의존한다. 이 설계의 각도 차이, 즉, 5.3 도는, 모든 수반된 임계적 파라미터들 사이의 합당한 트레이드오프를 나타낸다. +/- 1 mrad 의 스테이지 기울기 또는 경사에 대해, 이러한 각도 차이로 인해 간섭 신호에서의 어떠한 상당한 콘트라스트 손실도 존재하지 않는다.

[0044] 하나의 실시형태에서, 리다이렉터들 (246, 248) 은 제 2 패스 제 1 계측 빔 (240B) 및 제 2 패스 제 2 계측 빔 (242B) 이 오버랩하여 격자 (234) 상의 동일한 (또는 거의 동일한) 위치에서 부딪히도록 설계된다. 그러나, 격자 (234) 상의 이들 빔들 (240B, 242B) 의 각도들은 상이하다. 이것은 0차 빔들이 1차 빔들에 평행하도록 하는 것을 유지하고, 0차 빔들이 계측 신호에 들어가서 에러들을 초래하는 것을 방지한다. 또한, 이러한 설계에 의하면, 마지막 계측 빔들 (240C, 242C) 은 분석을 위해 분리될 수 있고 이것은 2차 빔들이 계측 신호에 들어가서 에러들을 초래하는 것을 억제한다. 또한, 본 설계에 의하면, 격자 (234) 로부터 빠져나온 임의의 0차 또는 2차 광이 순환적 비선형 에러 (cyclic nonlinear error; "CNLE") 를 초래하지 않으며, 이러한 순환적 비선형 에러는, 마지막 계측 빔들과 동일 선상에 있거나 또는 거의 동일 선상에 있는 코히런트 (coherent) 미광에 의해 달리 초래될 수도 있는데, 이는 모든 이러한 빔들이 마지막 계측 빔들 (240C, 242C) 중 어느 하나와 평행하지 않기 때문이다.

[0045] 하나의 실시형태에서, 제 1 계측 빔 (240) (격자 (234) 상의 FMB 의 제 1 패스), 제 2 계측 빔 (242) (격자 (234) 상의 SMB 의 제 1 패스), 제 2 패스 제 1 계측 빔 (240B) (재지향된 +1차 FMB), 및 제 2 패스 제 2 계측 빔 (242B) (재지향된 -1차 SMB) 모두는 오버랩하고, 격자 (234) 상의 정확히 동일한 위치에서 부딪힌다. 이것은 격자 (234) 상의 빔들 (240, 242, 240A, 242A) 의 풋프린트를 개별적인 빔(들) 의 직경으로 최소화시킨다. 따라서, 2.0 밀리미터의 직경을 갖는 빔에 대해, 인코더 헤드로부터의 모든 빔들에 대한 총 풋프린트도 또한 2.0 밀리미터이다.

[0046] (격자 (234) 의 본 설계, FMB 각도 (θ_1), 및 SMB 각도 (α_1) 를 갖는) 도 2a 에 예시된 비배타적 예에서, (i) 법선 (244) 에 대한 +1차 제 1 계측 빔 (240A) 의 FMB 각도 (θ_2) 의 절대값은 거의 35.5 도이다; (ii) 법선 (244) 에 대한 제 2 패스 제 1 계측 빔 (240B) 의 FMB 각도 (θ_3) 의 절대값은 거의 30.2 도이다; (iii) 법선 (244) 에 대한 격자 (234) 로부터 회절된 마지막 제 1 계측 빔 (240C) 의 FMB 각도 (θ_4) 의 절대값은 거의 7.5 도이다; (iv) 법선 (244) 에 대한 -1차 제 2 계측 빔 (241A) 의 SMB 각도 (α_2) 의 절대값은 거의 36.1 도이다; (v) 법선 (244) 에 대한 제 2 패스 제 2 계측 빔 (242B) 의 SMB 각도 (α_3) 의 절대값은 거의 30.8 도이다; 그리고 (vi) 법선 (244) 에 대한 격자 (234) 로부터 회절된 마지막 제 2 계측 빔 (242C) 의 SMB 각도 (α_4) 의 절대값은 거의 7.0 도이다. 그러나, 이들 값들은 Z 인코더 헤드 (238) 의 설계를 변화시키는 것에 의해 변화될 수 있다.

[0047] 부가적으로, 본 설계에 의하면, 2개의 계측 빔들 (240, 242) 은 격자 (234) 상에 동일한 위치에서 그러나 상이한 각도들 (θ_1 , α_1) 로 입사되어, 이 2개의 계측 빔들 (240, 242) 이 동일한 편광 상태로 입사될 수 있고 미광들이 다른 계측 빔과 동일 선상에 있지 않아서 어떠한 CNLE 도 발생시키지 않는다.

[0048] 또한, 단지 하나의 입사 편광 상태에서 동작하도록 요구되는 격자 (234) 는 통상적으로, 요구된 차수들에 대한 보다 높은 회절 효율 (DE) 을 가져서, 전체 Z 인코더 헤드 (238) 의 광 효율을 개선시킬 수 있다. 또한, 2개의 계측 빔들 (240, 242) 의 편광 상태들이 서로 동일하고 각각의 계측 빔 (240, 242) 에 대한 격자 (234) 의 2개의 패스들 사이에서 편광 상태를 순환시킬 필요가 없기 때문에, 제안된 Z 인코더 헤드 (238) 는 편광 옵틱스 (polarization optics) 를 요구하지 않는다.

[0049] 위에 언급된 바와 같이, 도 2a 는 CNLE 로부터의 차단을 달성하는데 이용될 수 있는 FMB 각도 (θ_1) 및 SMB 각도 (α_1) 의 비배타적 예를 도시한 것이다. 시스템이 632.8 nm 의 공칭 헤테로다인 파장 및 1 μ m 의 격자 (234) 피치를 이용하는 것으로 간주한다. 도 2a 에 도시된 SMB 각도 (α_1), 및 FMB 각도 (θ_1) 는, 잘 알려진 격자 식 (식 1) 으로부터 발생하고, 여기서 T 는 격자 피치이고, λ 는 파장이고, θ_i 는 입사 각도이며 θ_d 는 차수 m 에 대한 회절 각도이다:

$$T(\sin \theta_i + \sin \theta_d) = m\lambda$$

- [0050] 식 1:
- [0051] 3.0 도의 SMB 각도 (α_1), 및 2.5 도의 FMB 각도 (θ_1) 에 대해, 2개의 입사 및 회절 빔들에 대한 각도들 중 어느 것도 서로 동일하지 않다. 실제로, 모든 입사 빔들에 대한 모든 2차 이상 및 0차 (반사된) 빔들은 상이한 각도로 있어서, CNLE 로부터의 원하는 차단을 효과적으로 달성한다.
- [0052] 요약하면, 제안된 Z 인코더 헤드 (238) 는 2개의 계측 빔들 (240, 242) 을 가지며, 이 각각은 격자 (234) 상에 2회 입사된다. 주어진 빔 (240, 242) 에 대한 제 1 패스와 제 2 패스 사이에는, 각각의 빔 (240, 242) 이 그의 대응하는 리다이렉터 (246, 248) 를 통해 나아간다. 이것은 계측 빔들 (240, 242) 에 대한 빔 각도의 어떠한 변화의 도입 없이 격자 (234) 가 기울어져 경사지게 한다.
- [0053] 도 2b 는 도 2a 에 예시된 인코더 조립체 (232) 의 다른 부분의 단순화된 예시이다. 더 구체적으로는, 도 2b 는 인코더 조립체 (232) 가 (i) 제 1 파장 (λ_1) 으로 되어 있는 제 1 입력 빔 (250A) (실선) 을 제공하는 제 1 광원 (250), 및 (ii) 제 1 파장 (λ_1) 과는 상이한 제 2 파장 (λ_2) 으로 되어 있는 제 2 입력 빔 (252A) (파선) 을 제공하는 제 2 광원 (252) 을 포함할 수 있음을 예시한 것이다. 하나의 실시형태에서, 632.8 nm 의 공칭 파장을 갖는 입력 빔들 (250A, 252A) 은 동일한 광원에 의해 발생되고, 이 2개의 입력 빔들 (250A, 252A) 사이의 주파수의 차이는 약 2 와 20 MHz 사이에 있다.
- [0054] 부가적으로, 도 2b 는, Z 인코더 헤드 (238) 가, (i) 제 1 입력 빔 (250A) 을 (원을 가진 실선으로 예시된) 제 1 계측 빔 (240) 과 (정사각형을 가진 실선으로 예시된) 제 1 레퍼런스 빔 (258) 으로 분할하고, (ii) 제 2 입력 빔 (252A) 을 (원을 가진 파선으로 예시된) 제 2 계측 빔 (242) 과 (정사각형을 가진 파선으로 예시된) 제 2 레퍼런스 빔 (260) 으로 분할하는, 빔 분할기 (254) 를 포함할 수 있음을 예시한 것이다. 이러한 설계에 의하면, (i) 제 1 계측 빔 (240) 및 제 1 레퍼런스 빔 (258) 은 제 1 파장 (λ_1) 으로 되어 있고; (ii) 제 2 계측 빔 (242) 및 제 2 레퍼런스 빔 (260) 은 제 2 파장 (λ_2) 으로 되어 있다.
- [0055] 이러한 Z 인코더 헤드 (238) 설계에서, 2개의 계측 빔들 (240, 242) 에 각각 대응하는 2개의 레퍼런스 빔들 (258, 260) 은 격자 (234) 와 한번도 부딪친 적이 없다. 따라서, 기관 스테이지가 기울어지거나 또는 경사질 때, 레퍼런스 빔들 (258, 260) 및 계측 빔들 (240, 242) 사이에서 고 콘트라스트를 유지하기 위해, (도 2a 에 예시된) 리다이렉터들 (246, 248) 의 이중-패스 배치가 필수적이다. 그러나, 사용된 리다이렉터들 (246, 248) 이 '완전한' 역반사체들이면, 제 2 패스 제 1 계측 빔 (240B) 의 제 2 패스는 35.5 도의 각도로 입사되고, 이 각도는 제 1 패스 이후에 남아 있는 각도와 동일하지만 상술된 바와 같이 30.2 도는 아니다. 동일한 각도로 있다면, 제 2 출력 빔은 제 1 패스 입사 빔과 정확히 오버랩한다. 어떠한 편광 옵티크도 사용되지 않기 때문에, 이 빔들은 동일 선상에 동일한 편광 상태에 있어서, 계측이 이루어질 수 있도록 이 빔들을 분리하는 어떤 정밀한 방법도 존재하지 않는다. 따라서, 계측 빔들 (240, 242) 로부터 마지막 출력을 분리하기 위해 그리고 미광으로 인한 CNLE 를 방지하기 위해, 특정 실시형태들에서, 리다이렉터들 (246, 248), 즉, 역반사체들은 의도적으로 '불완전한' 것이다.
- [0056] 도 2c 는 도 2a 에 예시된 인코더 조립체 (232) 의 또 다른 부분의 단순화된 예시이다. 더 구체적으로는, 도 2c 는 Z 인코더 헤드 (238) 가 (i) (원을 가진 실선으로 예시된) 마지막 제 1 계측 빔 (240C) 과 (정사각형을 가진 파선으로 예시된) 제 2 레퍼런스 빔 (260) 을 간섭하여 제 2 계측 신호 (M2) 를 형성하고, 이들 빔들 (240C, 260) 을 제 1 검출기 (264) 로 지향시키는 제 1 빔 결합기 (262); 및 (ii) (원을 가진 파선으로 예시된) 마지막 제 2 계측 빔 (242C) 과 (정사각형을 가진 실선으로 예시된) 제 1 레퍼런스 빔 (258) 을 간섭하여 제 1 계측 신호 (M1) 를 형성하고, 이들 빔들 (242C, 258) 을 제 2 검출기 (268) 로 지향시키는 제 2 빔 결합기 (266) 를 포함할 수 있음을 예시한 것이다. 부가적으로, 이 검출기들 (264 및 268) 은 파이버 커플러 (fiber coupler) 들로 대체될 수 있어서, 광 신호가 Z 인코더 헤드 (238) 로부터 얼마간 이격되어 전기 신호로 컨버팅될 수 있다.
- [0057] 여기에 제공된 바와 같이, X 및 Z 모션들에 민감한 계측 신호를 생성하기 위해 제어 시스템에 의해 각 쌍의 간섭 빔들이 이용된다. 다른 방식으로 진술하면, (i) X 및 Z 모션들에 민감한 제 2 계측 신호 (M2) 를 생성하기 위해 제 1 검출기 (264) 에 의해 그 간섭하는 마지막 제 1 계측 빔 (240C) 과 제 2 레퍼런스 빔 (260) 이 이용되고; (ii) X 및 Z 모션들에 민감한 제 1 계측 신호 (M1) 를 생성하기 위해 제 2 검출기 (268) 에 의해 그 간섭하는 마지막 제 2 계측 빔 (242C) 과 제 1 레퍼런스 빔 (258) 이 이용된다. 여기에 제공된 바와 같이, M1

이 -1 회절광을 이용 (그리고 네거티브 x-감도를 가짐) 하고 M2 가 +1 회절광을 이용 (그리고 포지티브 x-감도를 가짐) 하기 때문에, X 계측 감도는 M1 및 M2 에 대해 크기가 동일하지만 부호가 반대여서, 계측 신호들 (M1, M2) 에 대한 X 감도가 상쇄됨에 따라, 소프트웨어에서의 2개의 계측 신호들의 합은 (도 2a 에 예시된) 격자 (234) 의 Z 모션들에만 민감한 단일 계측값을 발생시킨다. 하나의 실시형태에서, 이 검출기들 (264, 268) 에 의해 이용되는 위상 계측 방법은 헤테로다인 검출이다.

[0058] 이러한 설계에 의하면, 제어 시스템은, 제 1 계측 빔을 이용하는 제 1 계측 신호, 및 제 2 계측 빔을 이용하는 제 2 계측 신호를 발생시킨다. 여기에 제공된 바와 같이, 제 1 계측 빔의 파장이 제 2 계측 빔의 파장과는 상이하기 때문에, 제 1 계측 신호의 예러 감도는 제 2 계측 신호의 예러 감도와 실질적으로 동일하고 반대이다.

[0059] 지금까지 주어진 설명으로 확인될 수 있는 바와 같이, Z 인코더 헤드 (238) 는 (도 2a 에 예시된) 격자 (234) 로부터의 1차 회절광을 단일 편광에 이용한다. 이것은 격자 (234) 가 단일 편광 상태에 대해서만 양호하게 회절되도록 설계되게 하여, 격자 (234) 가 단지 하나의 선형 편광 상태에 대해서만 양호하게 동작해야 하도록, 이 단일 편광 상태는 X (또는 Y) 인코더 헤드들에 의해 이용된 것과 동일한 편광 상태이도록 설계될 수 있다.

[0060] 도 3 은 인코더 조립체 (232) 의 부분으로서 이용가능한 격자 (234) 및 제 1 계측 빔들 (240, 240A, 240B, 240C) 의 단순화된 예시이다. 특히, 도 3 은 (i) 격자 (234) 의 법선 (244) 에 대해 각도 (θ_1) 로 격자 (234) 로 지향되는 제 1 계측 빔 (240); (ii) 격자 (234) 의 법선 (244) 에 대해 각도 (θ_2) 로 (도 2a 에 예시된) Z 인코더 헤드 (238) 로 다시 지향되는 +1차 제 1 계측 빔 (240A); (iii) (도 2a 에 예시된) 제 1 리다이렉터 (246) 에 의해 격자 (234) 의 법선 (244) 에 대해 각도 (θ_3) 로 격자 (234) 로 다시 재지향되는 제 2 패스 제 1 계측 빔 (240B); 및 (iv) 격자 (234) 의 법선 (244) 에 대해 각도 (θ_4) 로 격자 (234) 로부터 회절되는 마지막 제 1 계측 빔 (240C) 을 예시한 것이다. 부가적으로, 격자 (234) 상의 빔들에 대한 총 풋프린트는 거의 2.0 밀리미터, 또는 계측 빔들 중 하나의 계측 빔의 직경일 수 있다. 또한, 위에 언급된 바와 같이, 하나의 비배타적 실시형태에서, 격자 (234) 는 거의 1 마이크로미터의 주기를 가질 수 있다, 즉, 격자 (234) 는 1 마이크로미터 피치 격자일 수 있다.

[0061] 도 2a 를 또한 참조하면, 2개의 계측 빔들 (240, 242) 에 대한 2개의 상이한 입사 각도들을 이용하는 것에 관해 언급한 하나의 중요한 점은, 이것이 2개의 계측들 (M1 및 M2) 에 대해 상이한 Z 감도들을 발생시킨다는 점이다. 이것은, Z 에 대한 감도가, 아래의 식 2 에 나타낸 바와 같이, 표면 법선에 대한 입사 각도에 의존하기 때문이다.

[0062] 식 2:
$$z_{Sensitivity} = \frac{z}{\cos(\theta_1)} + \frac{z}{\cos(\theta_2)} + \frac{z}{\cos(\theta_3)} + \frac{z}{\cos(\theta_4)}$$

[0063] 그러나, 양쪽의 계측 빔들 (240, 242) 은 동일한 크기의 (그러나 반대 부호의) X 감도를 갖는다. 이것은 X 감도가 격자 (234) 에 의해 도입된 위상으로부터 발생하기 때문이다. 이것은, 입사 각도가 아니라, 회절의 차수 (즉, +1차는 X 모션에 대한 1x 감도를 갖는다는 것, -2차는 X 모션에 대한 -2x 감도를 갖는다는 것 등) 에 의존한다. 따라서, 아래의 식 3 및 식 4 에는 2개의 계측 신호들 (M1 및 M2) 의 감도들이 주어진다:

[0064] 식 3: M1 감도 = Meas(λ_2) - Ref(λ_1) = Az - 2x

[0065] 식 4: M2 감도 = Meas(λ_1) - Ref(λ_2) = Bz + 2x

[0066] M1 에 대한 계측 빔이 계측 빔에 대한 파장으로서 λ_2 를 사용하고, 이 M1 에 대한 계측 빔은 양쪽 패스들에 대해 -1 회절을 만들어서; (-1, -1) 빔이며 네거티브 X 감도를 갖는다는 점에 주목한다. 한편, M2 에 대한 계측 빔이 계측 빔에 대한 파장으로서 λ_1 을 사용하고, 이 M2 에 대한 계측 빔은 양쪽 패스들에 대해 +1 회절을 만들어서; (+1, +1) 빔이며 포지티브 X 감도를 갖는다. 상수들 A 및 B 는 2개의 간섭계들에 대한 Z 감도들을 나타낸 것이고, 빔들이 2개의 상이한 각도들로 발생하기 때문에 $A \neq B$ 이다. 2개의 간섭계 (계측) 신호들은 식 5 에 나타낸 바와 같이 소프트웨어에서 함께 가산된다:

[0067] 식 5: Stage_height = M1 + M2 = (A+B)z

[0068] 도 2a 에 도시된 각도들에 대해, A 의 공칭값은 4.41 이고, B 의 공칭값은 4.39 이다. 그래서 1 나노미터의 스테이지 높이가 변화할 때마다, Z 인코더 헤드 (238) 는 8.8 나노미터의 위상 변화를 계측한다. 2π 의 위

상이 632.8 나노미터의 OPD 이고, 헤테로다인 검출 시스템이 2¹³ (8192) 의 위상에서의 1 부분으로서 1 디지털 카운트를 분해할 수 있는 경우, 이 Z 인코더 헤드 (238) 의 분해능은 (아래에 나타난 바와 같이) 0.009 나노미터이다:

- [0069] 식 6: $632.8 \text{ nm}/8192 = 0.077 \text{ nm}$ 위상 변화/카운트
- [0070] 0.077 nm 위상 변화 * 1 nm 스테이지 높이/8.8 nm 위상 변화 = 0.009 nm
- [0071] 따라서, Z 인코더 헤드 (238) 의 분해능은 약 9 피코미터이다. 물론, 노이즈 및 다른 에러들은 반복성이 이것보다 다소 나쁘다는 것을 의미한다. 그러나, 페스트 인코더들 (plague encoders) 또는 간접 시스템들로 알려진 에러 소스들 중 많은 것에 실질적으로 둔감하게 하는 본 발명에 관한 몇몇 다른 피쳐들이 존재한다.
- [0072] 도 4a 는 본 발명의 피쳐들을 갖는 Z 인코더 헤드 (238) 의 Z 인코더 헤드 (238) 의 하나의 실시형태 및 격자 (234) 의 일 부분의 단순화된 상부 투시도이다. 부가적으로, 도 4b 는 도 4a 에 예시된 Z 인코더 헤드 (238) 의 단순화된 저부 (bottom) 투시도이다.
- [0073] Z 인코더 헤드 (238) 의 설계는 변화될 수 있다. 도 4a 및 도 4b 는 격자 (234) 의 Z 위치를 결정하기 위해 (도 2a 에 예시된) 2개의 계측 빔들 (240, 242) 을 격자 (234) 로 지향시키는데 입력 빔들 (250A, 252A) 이 이용될 수 있는 하나의 비배타적 방법을 예시한 것이다. 또한, 여기에 제공된 인코더 헤드 (238) 설계들은 단지 개략적인 것이고 단지 본 발명의 용도를 보여주려고 의도된 것이라는 점에 주목해야 한다.
- [0074] 도 2a 내지 도 4b 에서, (i) 제 1 파장 (λ_1) 에서의 빔들은 실선으로 나타내고, (ii) 제 2 파장 (λ_2) 에서의 빔들은 파선으로 나타내고, (iii) 계측 빔들은 원으로 지정되며, (iv) 레퍼런스 빔들은 정사각형으로 지정된다는 점에 주목해야 한다. 따라서, (i) 제 1 계측 빔 (240) 은 실선 및 원으로 나타내고, (ii) 제 2 계측 빔 (242) 은 파선 및 원으로 나타내고, (iii) 제 1 레퍼런스 빔 (258) 은 실선 및 정사각형으로 나타내며, (iv) 제 2 레퍼런스 빔 (260) 은 파선 및 정사각형으로 나타낸다. 또한, 화살표 헤드는 각각의 빔의 이동 방향을 나타낸다.
- [0075] 도 4a 에서, 인코더 헤드 (238) 는 (도 2a 에 예시된) 2개의 계측 빔들 (240, 242) 을 격자 (234) 로 지향시켜 Z 축을 따라 격자 (234) 의 위치를 모니터링한다.
- [0076] 도시된 바와 같이, 인코더 헤드 (238) 는, 인코더 헤드 (238) 의 다른 컴포넌트들을 유지하는 인코더 보디 (401) 를 포함한다. 예를 들어, 하나의 실시형태에서, 인코더 보디 (401) 는, 인코더 헤드 (238) 의 다른 컴포넌트들을 유지하는 글래스 플레이트일 수 있다.
- [0077] 도 4a 는 인코더 보디 (401) 위에서 발생하는 빔들의 경로들을 예시한 것이다. 하나의 실시형태에서, (i) 인코더 헤드 (238) 는, X 축을 따라 제 1 입력 빔 (250A) 을 내보내는 제 1 입력 파이버 (403) 를 통해 (도 2b 에 예시된) 제 1 광원 (250) 으로부터 제 1 입력 빔 (250A) 을 수신하고; (ii) 인코더 헤드 (238) 는, X 축을 따라 제 2 입력 빔 (252A) 을 내보내는 제 2 입력 파이버 (405) 를 통해 (도 2b 에 예시된) 제 2 광원 (252) 으로부터 제 2 입력 빔 (252A) 을 수신한다. 이러한 설계에 의하면, 이 2개의 파장들은 개별적인 편광 유지 파이버들 (403, 405) 에 전달되어 이 2개의 파장들 사이의 임의의 원치않는 혼합을 방지한다. 도 4a 에서, 제 1 입력 빔 (250A) 은 제 2 입력 빔 (252A) 과 평행하게 내보내지고, 빔들 (250A, 252A) 은 X 축을 따라 이격되고 XY 평면에서 정렬된다.
- [0078] 또한, 하나의 실시형태에서, 각각의 입력 빔 (250A, 252A) 은 원형 단면을 갖는다. 일 비배타적 실시형태로서, 각각의 입력 빔 (250A, 252A) 은 콜리메이트되어 (collimated) 거의 2 밀리미터의 직경을 갖는다.
- [0079] 도 4a 에서, 제 1 입력 파이버 (403) 를 빠져나온 제 1 입력 빔 (250A) 이 한 쌍의 리슬리 프리즘들 (Risley prisms; 407) 을 통해 그리고 그 후에 X 축을 따라 빔 스플리터 (409) 로 지향되고, 여기서 이 제 1 입력 빔 (250A) 은 도 2b 에 도시된 바와 같이 (i) X 축에 대해 연속적인 제 1 계측 빔 (240), 및 (ii) Y 축을 따라 지향되는 제 1 레퍼런스 빔 (258) 으로 분리된다. 이와 유사하게, 제 2 입력 파이버 (405) 를 빠져나온 제 2 입력 빔 (252A) 이 한 쌍의 리슬리 프리즘들 (411) 을 통해 그리고 그 후에 X 축을 따라 입력 빔 스플리터 (409) 로 지향되고, 여기서 이 제 2 입력 빔 (252A) 은 (i) X 축에 대해 연속적인 제 2 계측 빔 (242), 및 (ii) Y 축을 따라 지향되는 제 2 레퍼런스 빔 (260) 으로 분리된다.
- [0080] 제 1 계측 빔 (240) 은, 제 1 계측 빔 (240) 의 각도를 조정하는, 빔 조정기 조립체 (413) 의 빔 조정기 (A) (예를 들어, 웨지 프리즘) 로 지향되어, 제 1 계측 빔 (240) 이 격자 (234) 에 원하는 각도 (예를 들어, x-축에

대해 2.5 도) 로 부딪친다. 이와 유사하게, 제 2 계측 빔 (242) 은, 제 2 계측 빔 (242) 의 각도를 조정하는, 빔 조정기 조립체 (413) 의 빔 조정기 (B) (예를 들어, 웨지 프리즘) 로 지향되어, 제 2 계측 빔 (242) 이 격자 (234) 에 원하는 각도 (예를 들어, x-축에 대해 3.0 도) 로 부딪친다.

- [0081] 그 다음에, 제 1 계측 빔 (240) 및 제 2 계측 빔 (242) 은 대형 폴드 미러 (415) 로 지향되어, 이 대형 폴드 미러 (415) 가 계측 빔들 (240, 242) 을 거의 Y 축을 따라 대형 루프 프리즘 (417) 으로 지향시킨다. 그 다음에, 대형 루프 프리즘 (417) 은 계측 빔들 (240, 242) 을 인코더 보디 (401) 위로부터 인코더 보디 (401) 아래로 재지향시킨다. 상이한 방식으로 진술하면, 대형 루프 프리즘 (417) 은 빔들 (240, 242) 을 폴딩하고 빔들 (240, 242) 을 인코더 보디 (401) 의 상부로부터 인코더 보디 (401) 의 저부로 대형 루프 프리즘 (417) 내부의 2개의 반사들을 통해 이동시킨다.
- [0082] 인코더 헤드 (238) 는, 빔들이 정렬되게 하고 최대 신호 콘트라스트에 도달하게 하면서 어떤 조립체 에러들에 대해서도 보상하게 하도록 빔들에 독립 경사들을 도입하기 위해 개별적으로 회전될 수 있는 다수 쌍들의 리슬리 프리즘들을 포함한다는 점에 주목해야 한다.
- [0083] 위에 제공된 바와 같이, 도 4b 는 인코더 헤드 (238) 의 단순화된 저부 투시도이다. 도 4b 는 인코더 보디 (401) 아래에서 발생하는 빔들의 이동을 예시한 것이다.
- [0084] 도 4b 에 예시된 바와 같이, 대형 루프 프리즘 (417) 을 빠져나온 계측 빔들 (240, 242) 은, 계측 빔들 (240, 242) 을 (도 4b 에 도시되지 않은) 격자 (234) 로 하측으로 지향시켜 2개의 계측 빔들 (240, 242) 이 격자 (234) 상에서 오버랩하도록 하는 계측 폴드 미러 (419) 로 지향되어 입사된다.
- [0085] 회절된 +1차 제 1 계측 빔 (240A) 은 계측 폴드 미러 (419) 로 다시 지향되어, 이 계측 폴드 미러 (419) 가 이 빔 (240A) 을 반사체 (421) 로 지향시켜, 이 반사체 (421) 가 이 빔 (240A) 을 제 1 리다이렉터 (246) 로 지향시킨다. 그 후에, 제 1 리다이렉터 (246) 는 제 2 패스 제 1 계측 빔 (240B) 을 반사체 (421) 로 다시 재지향시켜, 이 반사체 (421) 가 이 빔 (240B) 을 계측 폴드 미러 (419) 로 지향시킨다. 폴드 미러 (419) 는 빔 (240B) 을 격자 (234) 로 하측으로 지향시킨다. 그 다음에, 마지막 제 1 계측 빔 (240C) 은 격자 (234) 로부터 폴드 미러 (419) 에서 다시 회절되어, 이 폴드 미러 (419) 가 이 빔 (240C) 을 대형 루프 프리즘 (417) 로 지향시킨다.
- [0086] 이와 유사하게, 회절된 -1차 제 2 계측 빔 (242A) 은 계측 폴드 미러 (419) 로 다시 지향되어, 이 계측 폴드 미러 (419) 가 이 빔 (242A) 을 반사체 (423) 로 지향시켜, 이 반사체 (423) 가 이 빔 (242A) 을 제 2 리다이렉터 (248) 로 지향시킨다. 그 후에, 제 2 리다이렉터 (248) 는 제 2 패스 제 2 계측 빔 (242B) 을 반사체 (423) 로 다시 재지향시켜, 이 반사체 (423) 가 이 빔 (242B) 을 계측 폴드 미러 (419) 로 지향시킨다. 폴드 미러 (419) 는 빔 (242B) 을 격자 (234) 로 하측으로 지향시킨다. 그 다음에, 마지막 제 2 계측 빔 (242C) 은 격자 (234) 로부터 폴드 미러 (419) 에서 다시 회절되어, 이 폴드 미러 (419) 가 이 빔 (242C) 을 대형 루프 프리즘 (417) 로 지향시킨다.
- [0087] 그 다음에, 대형 루프 프리즘 (417) 은 마지막 계측 빔들 (240C, 242C) 을 인코더 보디 (401) 아래로부터 인코더 보디 (401) 위로 재지향시킨다.
- [0088] 도 4a 로 되돌아가면, 마지막 계측 빔들 (240C, 242C) 은 대형 루프 프리즘 (417) 에 의해 대형 폴드 미러 (415) 로 지향되고, 이 대형 폴드 미러 (415) 는 빔 조정기 조립체 (413) 의 빔 조정기 (C) (예를 들어, 웨지 프리즘) 를 통해 X 축을 따라 제 1 마지막 계측 빔 (240C) 을 지향시키고, 빔 조정기 조립체 (413) 의 빔 조정기 (D) (예를 들어, 웨지 프리즘) 를 통해 X 축을 따라 제 2 마지막 계측 빔 (242C) 을 지향시킨다. 빔 조정기들 (C 및 D) 은 이 빔들이 X 축과 적절히 정렬하도록 각도들을 약간 조정한다.
- [0089] 그 다음에, 제 1 마지막 계측 빔 (240C) 은 빔 스플리터 (425) 로 지향되어, 이 빔 스플리터 (425) 가 제 1 마지막 계측 빔 (240C) 을 제 2 레퍼런스 빔 (260) 과 결합하여 이들 빔들을 제 1 출력 파이버 (427) 의 파이버 패킷 (fiber facet) 으로 지향시킨다. 제 1 출력 파이버 (427) 는 이들 빔들을 (도 2c 에 예시된) 제 1 검출기 (264) 에 송신한다. 이와 다소 유사하게, 제 2 마지막 계측 빔 (242C) 은 빔 스플리터 (429) 로 지향되어, 이 빔 스플리터 (429) 가 제 2 마지막 계측 빔 (242C) 을 제 1 레퍼런스 빔 (262) 과 결합하여 이들 빔들을 제 2 출력 파이버 (431) 의 파이버 패킷으로 지향시킨다. 제 1 출력 파이버 (431) 는 이들 빔들을 (도 2c 에 예시된) 제 2 검출기 (268) 에 송신한다.
- [0090] 레퍼런스 빔들 (258, 260) 의 경로들을 이제 설명할 수 있다. 도 4a 는 레퍼런스 빔들 (258, 260) 이 입력 빔 스플리터 (409) 로부터의 부분 반사로서 생성될 수 있음을 예시한 것이다. 그 다음에, 제 1 레퍼런스 빔

(258) 은 한 쌍의 리슬리 프리즘들 (435) 을 통해 그리고 빔 조정기 조립체 (413) 의 빔 조정기 (E) (예를 들어, 웨지 프리즘) 를 통해, X 축을 따라 반사체 (433) 에 의해 폴딩된다. 이와 유사하게, 제 2 레퍼런스 빔 (260) 은 한 쌍의 리슬리 프리즘들 (439) 을 통해 그리고 빔 조정기 조립체 (413) 의 빔 조정기 (F) (예를 들어, 웨지 프리즘) 를 통해, X 축을 따라 반사체 (437) 에 의해 폴딩된다. 웨지 프리즘들 (E 및 F) 은 2개의 레퍼런스 빔들 (258, 260) 을 서로를 향해 약간 폴딩한다.

[0091] 그 다음에, 레퍼런스 빔들 (258, 260) 은 대형 폴드 미러 (415) 에 부딪쳐서, 이 대형 폴드 미러 (415) 가 레퍼런스 빔들 (258, 260) 을 거의 Y 축을 따라 대형 루프 프리즘 (417) 으로 지향시킨다. 그 다음에, 대형 루프 프리즘 (417) 은 레퍼런스 빔들 (258, 260) 을 인코더 보디 (401) 위로부터 인코더 보디 (401) 아래로 재지향시킨다.

[0092] 도 4b 를 다시 참조하면, 대형 루프 프리즘 (417) 을 빠져나온 양쪽의 레퍼런스 빔들 (258, 260) 이 폴드 미러 (441) 에 입사되어, 이 폴드 미러 (441) 가 레퍼런스 빔들 (258, 260) 을 다른 폴드 미러 (443) 로 지향시키고, 이 다른 폴드 미러 (443) 가 레퍼런스 빔들 (258, 260) 을 레퍼런스 역반사체 (445) 로 지향시킨다. 하나의 실시형태에서, 레퍼런스 역반사체 (445) 는 완전한 역반사체일 수 있다. 레퍼런스 역반사체 (445) 는 레퍼런스 빔들 (258, 260) 을 폴드 미러 (443) 로 다시 재지향시키고, 이 폴드 미러 (443) 가 레퍼런스 빔들 (258, 260) 을 폴드 미러 (441) 로 지향시킨다. 그 후에, 제 1 레퍼런스 빔 (258) 이 웨지 프리즘 (447) 을 통해 대형 루프 프리즘 (417) 으로 지향되고; 제 2 레퍼런스 빔 (260) 이 웨지 프리즘 (449) 을 통해 대형 루프 프리즘 (417) 으로 지향된다. 이 실시형태에서, 웨지 프리즘들 (447, 449) 은 레퍼런스 빔들 (258, 260) 을 서로 평행하게 한다.

[0093] 대형 루프 프리즘 (417) 은 2개의 레퍼런스 빔들 (258, 260) 을 인코더 보디 (401) 의 상부측으로 다시 오게 한다. 도 4a 를 다시 참조하면, 이 때, (i) 대형 루프 프리즘 (417) 을 빠져나온 제 1 레퍼런스 빔 (258) 은, 이 제 1 레퍼런스 빔 (258) 이 마지막 제 2 계측 빔 (242C) 과 간섭하는 빔 스플리터 (429) 로 지향되고; (ii) 대형 루프 프리즘 (417) 을 빠져나온 제 2 레퍼런스 빔 (260) 은, 이 제 2 레퍼런스 빔 (260) 이 마지막 제 1 계측 빔 (240C) 과 간섭하는 빔 스플리터 (425) 로 지향된다.

[0094] 도 4c 는 도 4a 에 예시된 Z 인코더 헤드 (238) 의 상면도이다. 특히, 도 4c 는, 도 4a 와 관련하여 상술된 바와 같이, Z 인코더 헤드 (238) 의 상부측, 즉, 인코더 보디 (401) 위로의 빔들의 지향을 예시한 것이다. 또한, 도 4c 는 또한 인코더 보디 (401) 의 하나의 비배타적 실시형태의 설계를 예시한 것이다. 이 실시형태에서, 인코더 보디 (401) 는 거의 60.0 밀리미터의 길이 및 거의 32.0 밀리미터의 폭을 갖는 실질적으로 직사각형 형상의 글래스 플레이트이다. 대안적으로, 인코더 보디 (401) 는 상이한 형상을 가질 수 있거나, 및/또는 인코더 보디 (401) 의 치수들은 위에 구체적으로 리스팅된 치수들보다 크거나 작을 수 있다.

[0095] 도 4d 는 도 4a 에 예시된 Z 인코더 헤드 (238) 의 하면도이다. 특히, 도 4d 는, 도 4b 와 관련하여 상술된 바와 같이, Z 인코더 헤드 (238) 의 저부측, 즉, 인코더 보디 (401) 아래로의 빔들의 지향을 예시한 것이다.

[0096] 도 4a 내지 도 4d 로부터 명백하지 않을 수도 있지만, 'Stage_height' 신호 (식 5) 로 확인되는 총 다른 글래스 경로 및 다른 에어 경로 ('데드 경로' 라고도 알려짐) 가 제로이도록 레퍼런스 빔들 (258, 260) 및 계측 빔들 (240, 242) 에 의해 취해지는 경로들이 설계된다. 이것은, 균일한 온도 변화들이 'Stage_height' 신호에서 상쇄하기 때문에, Z 계측이 더욱 안정적이게 한다. 그러나, 간섭계 (M1) (즉, 제 2 검출기 (268)) 에 대한 에어 데드 경로는 제로가 아니고, 간섭계 (M2) (즉, 제 1 검출기 (264)) 에 대한 에어 데드 경로도 또한 제로가 아니다. 이에 대한 주된 원인은 도 4a 에서 확인할 수 있다. 2개의 레퍼런스 빔들 (258, 260) 에 의해 취해지는 경로들은 인코더 보디 (401) 의 저부로부터 돌아옴에 따라 입력 빔스플리터 (409) 로부터 대형 루프 프리즘 (417) 의 출력까지 동일하다. M2 에 대한 제 2 레퍼런스 빔 (260) 은, M1 빔 스플리터 (429) 에 도달하기 위한 M1 이동들에 대한 제 1 레퍼런스 빔 (262) 보다 M2 빔 스플리터 (425) 에 도달하기 위해 상당히 더 멀리 이동해야 한다. 따라서, 대형 루프 프리즘 (417) 이 존재하면, 2개의 레퍼런스 빔들 (258, 260) 은 이 설계에 대해 다른 경로들을 가져야 한다. 또한, 2개의 계측 빔들 (240, 242) 은, M2 빔 스플리터 (425) 의 입력 표면에 대응하는 yz 평면에 도달할 때까지 동일한 경로 길이들을 명목상 갖는다. 이에 따라, M1 및 M2 양쪽에 의해 계측된 신호들은 제로 데드 경로를 갖지 않는다. 여기에 제공된 바와 같이, 위의 식 3 및 식 4 는 여기에서 아래에 나타낸 바와 같이 수정될 수 있다:

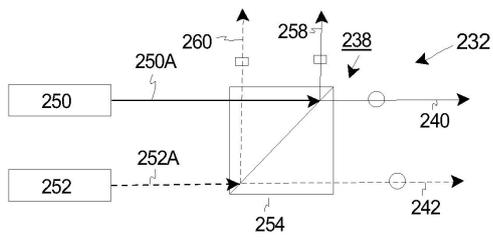
[0097] 식 7: $M1 \text{ 감도} = \text{Meas}(\lambda_2) - \text{Ref}(\lambda_1) = Az - 2x + \Delta_{\text{AirDeadPathM1}}$

[0098] 식 8: $M2 \text{ 감도} = \text{Meas}(\lambda_1) - \text{Ref}(\lambda_2) = Bz + 2x + \Delta_{\text{AirDeadPathM2}}$

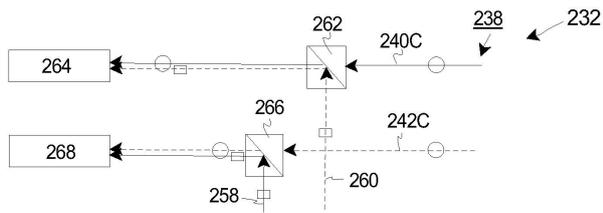
- [0099] 레퍼런스 역반사체 (445) (도 4b) 의 Y 위치는 $\Delta_{AirDeadPathM1} = \Delta_{AirDeadPathM2}$ 일 때까지 설계에서 조정될 수 있다. 이 경우, 이 비-제로 데드 경로의 영향들이 Z 의 계측에서 상쇄한다는 것을 확인한다:
- [0100] 식 9: $Stage_height = M1 + M2 = (A+B)*z + \Delta_{AirDeadPathM1} - \Delta_{AirDeadPathM1}$
- [0101] Z 인코더 헤드 (238) 의 이러한 설계에 의해 완전히 상쇄되는 또 다른 알려진 에러가 존재한다. 2개의 파장들이 2개의 개별 파이버들 (403, 405) 에 전달되어 원치않는 혼합을 방지하기 때문에, 파이버들 (403, 405) 사이의 임의의 작은 열 변화가 하나의 빔의 위상을 변화시키고 다른 것은 변화시키지 않아서, 양쪽 검출기들 (264, 268) 에 의해 계측된 위상에 변화를 유발한다. 그러나, 식 7 및 식 8 그리고 도 4a 내지 도 4d 에서 확인될 수 있는 바와 같이, 사용된 2개의 계측 빔들 (240, 242) 은 반대 파장들이다. 그래서 작은 온도 변화가 ϵ 만큼 λ_1 을 운반하는 파이버의 경로 길이를 증가시킨다고 간주한다. 이것은 M1 신호가 ϵ 만큼 감소하게 한다 (식 7). 이것은 반대 파장이 계측 빔으로서 사용되기 때문에, M2 에 의해 확인된 신호가 동일한 양 ϵ 만큼 증가하게 한다. 이에 따라, 2개의 신호들 (M1 및 M2) 이 식 9 에서처럼 결합될 때, 그 결과적인 에러 $\epsilon - \epsilon = 0$ 이고, 어떠한 에러도 도입되지 않는다.
- [0102] 통상적으로, 2개의 파장들이 개별 파이버들에 전달되는 인코더 헤드 설계들에서, 인코더 헤드에서 발생된 전용 레퍼런스 신호를 가짐으로써 경로 길이 드리프트의 문제가 해결되고, 에러의 계측은 데이터를 정정하는데 이용된다. 이것은 효과가 있지만, 여기에 제안된 솔루션은 훨씬 더 정밀하다. Z 인코더 헤드에 대해, 출력 간섭계 신호들의 개수를 3개에서 2개로 감소시킨다. 따라서, 50% 보다 큰 헤테로다인 검출기들은 전용 레퍼런스 신호를 생성하는 통상적인 인코더 헤드에 요구된다. 많은 Z 인코더 헤드들을 채용하는 시스템에 대해, 보다 적은 출력 파이버들 및 헤테로다인 검출기들을 요구하는 것으로부터의 절약들이 상당히 될 수 있다.
- [0103] 특정 실시형태들에서, 2개의 파장들은, 양쪽 빔들에 대한 수직 출력 편광으로 편광 유지 파이버들에 전달된다. 이것은, 양쪽 패스들에 대한 양쪽 계측 빔들에 대해 동일한 출력 편광을 발생시킨다. 결국, 편광 상태들을 변화시키기 위해 시스템에 어떠한 리타더들 (retarders) (파장판들) 또는 편광자들도 존재하지 않기 때문에, 양쪽 계측 빔들 및 양쪽 레퍼런스 빔들은 M1 및 M2 빔 스플리터들에서 결합될 때 여전히 수직으로 편광된다. 이 빔들이 동일한 편광일 때, 이 빔들은 편광자에 대한 필요 없이 간섭한다. 편광 옵티스가 비싸고 보통 불완전할 수 있기 때문에, 이것은 이 Z 인코더 헤드 (238) 설계에 대한 상당한 단순화 및 비용 절약들을 나타낸다.
- [0104] 하나의 실시형태에서, Z 인코더 헤드 (238) 는 상부 및 저부 표면들에 장착된 글래스 컴포넌트들을 갖는 메인 글래스 플레이트로 이루어진다. 이 글래스 컴포넌트들 모두는 동일한 글래스 타입으로 이루어질 수 있어서, 임의의 균일한 온도 변화는 열 팽창의 미분 계수들로 인해 어떤 기계적 응력도 유발하지 않는다.
- [0105] 제안된 Z 인코더 헤드 (238) 가, 미러에 대한 포커싱된 빔과는 대조적으로 격자 (234) 상에 입사된 콜리메이트된 빔을 사용하기 때문에, 격자 (234) 상의 보다 큰 영역이 계측 신호를 발생시키는데 이용된다. 이에 따라, 격자 (234) 의 표면 상의 임의의 작은 결함들은 본 발명의 경우에는 빔 사이즈의 훨씬 더 작은 프랙션 (fraction) 이고, 2개의 빔들의 면적비에 대략 비례하는 비율로 포커싱된 빔의 경우보다 더 작은 에러를 발생시킨다.
- [0106] 계측 빔(들) 에 대한 격자 (234) 로부터의 제 1 패스와 제 2 패스 사이에서 역반사체를 리다이렉터 (246, 248) 로서 이용하는 것에 따른 하나의 가능한 이슈는, 격자 높이 (z) 가 변화할 때, 계측 빔이 격자 상에서 전단 (shear) 하거나 또는 다소 시프트한다는 점이다. 이것은, 빔들이 수직으로 입사하지 않기 때문이다. 역반사체는 본질적으로 이러한 영향을 2배로 한다. 계측 및 레퍼런스 빔들이 z=0 에서 완전히 오버랩한다면, z 가 변화함에 따라, 전단이 증가하고, (격자 (234) 와 결코 부딪치지 않는) 레퍼런스 빔들과 계측 빔들 사이의 오버랩이 감소하여, 신호 콘트라스트를 감소시킨다. 이러한 영향은, 인코더 헤드 (238) 가 동작해야 하는 총 z 범위, 빔들의 직경 및 각 빔에 대한 입사 각도에 의존한다. 1 um 피치 격자 및 632.8 nm 파장, 그리고 1 mm 의 Δz 에서의 패스들 사이의 완전한 역반사체 및 수직으로 입사하는 제 1 패스 빔의 명목상의 경우를 간주한다. 이 경우, 이중 패스 계측 빔에 대한 전단은 약 1.64 mm 이다. 리트로 구성 (Littrow configuration) 이 사용된다면, 전단은 제로이다 (이것은 많은 다른 설계 도전과제들을 방지한다). 사용된 도 2a 의 구성이 수직 입사와 리트로 사이에 있기 때문에, 동일한 조건들 하에서 그러나 3.0 도 초기 입사 각도 및 불완전한 역반사체에 의한 전단이 단지 1.11 mm 를 발생시키거나 또는 32% 보다 큰 감소를 발생시킨다고 결정될 수 있다.

- [0107] 도 5 는 정규화된 빔 전단의 함수로서 콘트라스트 손실을 도시한 그래프 예시이고, 여기서 정규화된 빔 전단은 빔 직경에 대한 빔 전단의 비율이고, 가우스 빔 조도 프로파일로 가정한다. 특히, 제 1 곡선 (500A) 은, 빔 들 각각, 즉, 레퍼런스 빔 및 계측 빔이 동일한 사이즈일 때 정규화된 빔 전단의 함수로서 콘트라스트 손실을 도시한 것이다. 부가적으로, 제 2 곡선 (500B) 은, 콘트라스트 손실이 전단이 증가함에 따라 적어지도록 하는 최적의 양만큼 레퍼런스 빔이 계측 빔보다 더 클 때 정규화된 빔 전단의 함수로서 콘트라스트 손실을 도시한 것이다. 이러한 정보는 이 인코더 헤드에 대한 허용가능한 z 범위를 결정하는데 이용될 수 있지만, 일반적으로는 이것은 이 설계에 대한 z 높이 변화의 대략 +/- 1 mm 이다.
- [0108] 도 4a 내지 도 4d 를 다시 참조하면, 본 발명의 다른 중요한 양태는, 조립하는 것을 더 쉽게 하기 위해 이용되는 피쳐들이다. 빔 각도들이 반사보다는 오히려 굴절 (웨이브 글래스 프리즘들을 통한 송신) 을 이용하여 도입되기 때문에, 이들 부분들에 대한 정렬 허용오차들은 비교적 느슨하다. 2개의 간섭 빔들이 평행하여 고 콘트라스트가 존재하도록 하고 어떤 양의 전단, 또는 빔 변위가 허용될 수 있도록 하는 것이 더 중요하다는 것에 유의하면, 컴포넌트들, 특히, 반사하는 것들의 각도들이 매우 중대하게 될 수 있다는 것이 명백해진다. 그러나, 이 설계에서의 배려는 대형 폴드 미러 (415), 루프 프리즘 (417), 폴드 미러들 (419), 레퍼런스 폴드 미러 (441) 및 레퍼런스 폴드 미러 (443) 를 포함한 많은 부분들에 대한 장착 각도 허용오차를 없앴다는 것이다. 이것은, 이들 반사 부분들 모두가 2회; 빔들이 역반사체를 통해 나아가기 전에 1회 그리고 통해 나아가간 후에 1회 이용되기 때문이다. 역반사는 오정렬 각도가 증가함에 따라 증가하는 어떤 전단을 회생 하면서 이들 부분들의 장착 각도들의 임의의 오정렬을 상쇄시키는 역할을 한다. 또한, 3개의 역반사체들의 장착이 또한 중대하지 않은데, 이는 이들이 역반사체들이어서 빔의 원하는 폴딩을 역반사체 마디점 주위의 회전에 상관없이 도입하기 때문이다. 또한, 리슬리 프리즘 쌍들 (407, 411, 435, 439) 은 빔들 사이의 임의의 각도 오정렬을 정정하여 다양한 컴포넌트들에 대한 장착 허용오차들을 더욱 느슨하게 하는데 이용될 수 있다.
- [0109] 요약하면, 본 발명의 이점들은 (i) 회절된 (반사되지 않은) 광을 이용하면서 격자의 Z 축을 계측하는 것; (ii) 복잡한 다층 플레이트 대신에 제 1 표면 격자가 이용되게 하는 것, (iii) 동일한 과장이 x, y 및 z 인코더 계측에 이용되게 하는 것, (iv) 격자 상에 모든 계측 빔들이 오버랩하여 빔 풋프린트를 최소화시키는 것, (v) 큰 빔 사이즈가 격자 제조 오차들에 비교적 둔감한 것, (vi) 빔 전단이 최소화되는 것, (vii) 격자의 경사에 둔감한 것, (viii) Z 계측이 감소된 열 감도를 위해 매칭된 글래스 및 에어 경로들을 갖는 것, (ix) 단일 피스의 글래스로 조립되는 것, (x) 높은 분해능 (~9 피코미터), (xi) 최소 개수의 신호들 (파이버 에러를 정정하는데 어떠한 레퍼런스 신호도 요구되지 않는다), (xii) 미광으로부터의 순환적인 비선형 에러가 없다는 것, (xiii) 편광 옵티스가 없다는 것, (xiv) 설계 피쳐들로 인해 조립체 허용오차들을 느슨하게 하는 것, 및/또는 (xv) 높은 광 효율을 포함할 수 있지만, 이들로 제한되지 않는다.
- [0110] 특정 실시형태들에서, 인코더 헤드 (36) 는 광학 조립체 (16) 에 장착된다. 대안적으로, 인코더 헤드 (36) 는 웨이퍼 스테이지 조립체 (20) 에 장착될 수 있다. 이러한 상황에서, 계측 격자 (34) 는 광학 조립체 (16) 또는 다른 레퍼런스에 장착될 수 있다.
- [0111] 여기서 본 발명의 다양한 피쳐들 및 엘리먼트들을 설명하기 위한 용어들 "제 1" 및 "제 2" 의 사용은, 단지 설명의 용이를 위한 것이고, 본 발명의 전체 범위 및 넓이를 제한하는 것으로 의도된 것이 아니라는 점에 주목해야 한다. 이에 따라, 임의의 이러한 피쳐들 및 엘리먼트들은 "제 1" 및/또는 "제 2" 의 이러한 피쳐들 및 엘리먼트들이라고 동일하게 지칭될 수 있다.
- [0112] 계측 시스템 (22) 의 다수의 예시적인 양태들 및 실시형태들이 상술되었지만, 당업자는 이들의 특정 변경들, 치환들, 부가들 및 서브-조합들을 인지할 것이다. 이에 따라, 다음의 첨부된 청구항들 및 이하의 도입된 청구항들은 모든 이러한 변경들, 치환들, 부가들 및 서브-조합들을 포함하는 것이 이들의 진정한 사상 및 범위 내에 있는 것으로 해석되는 것으로 의도된다.

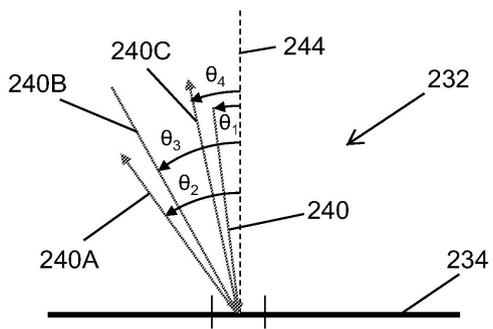
도면2b



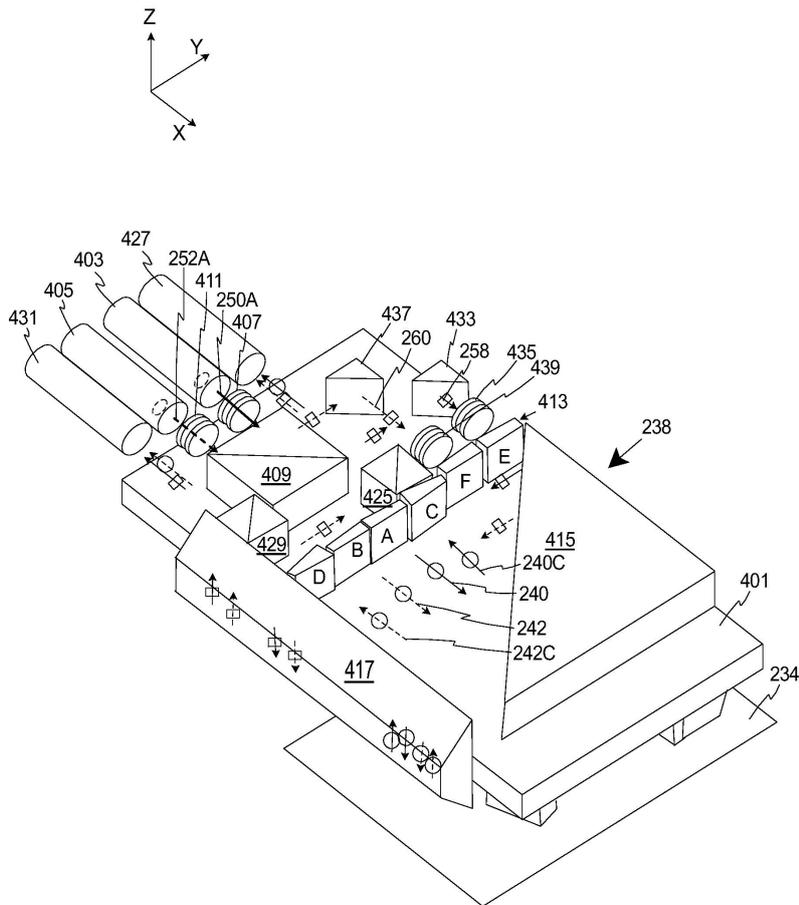
도면2c



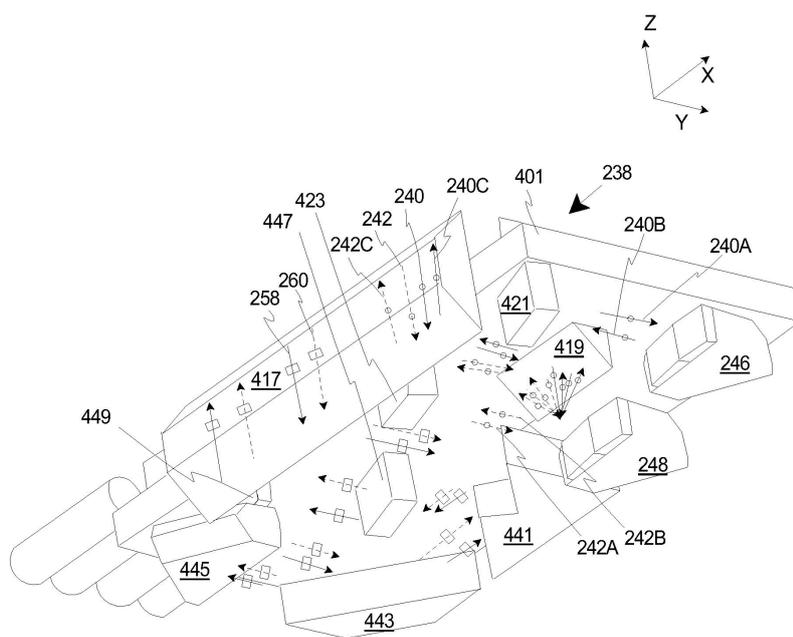
도면3



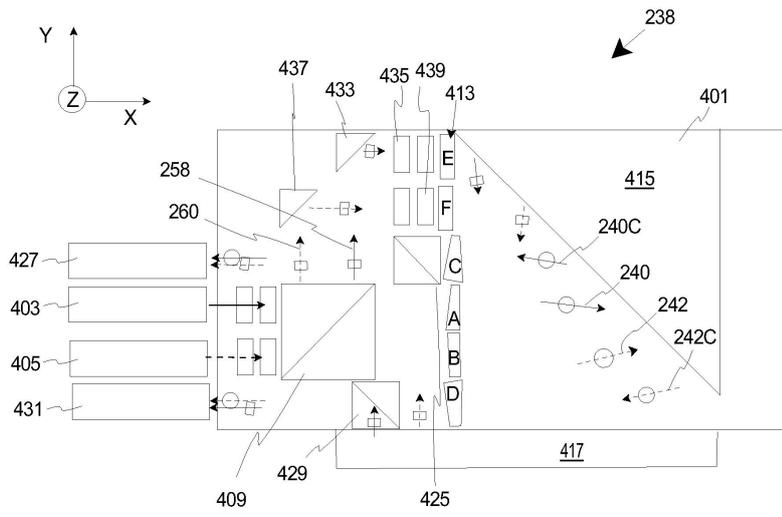
도면4a



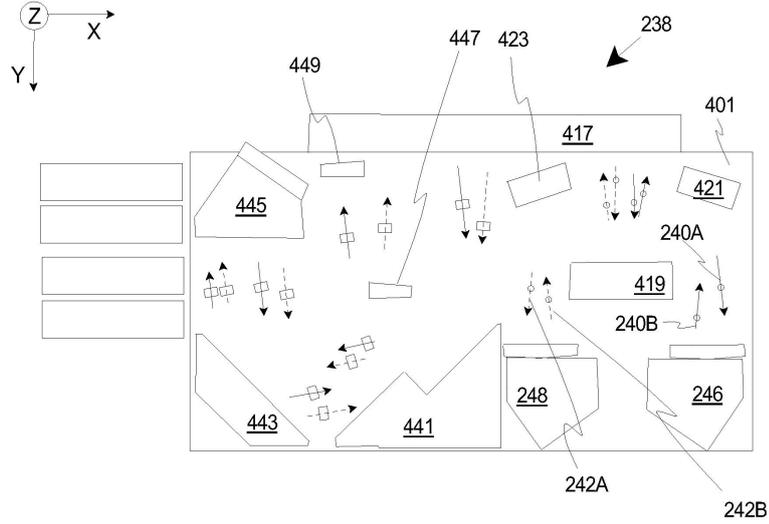
도면4b



도면4c



도면4d



도면5

