(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년12월16일
(11) 등록번호 10-2056552
(24) 등록일자 2019년12월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01M 11/02 (2019.01) *G01B 9/02* (2006.01)
G01M 11/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01M 11/0271 (2013.01)
G01B 9/02028 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-7016531(분할)
(22) 출원일자(국제) 2013년09월27일
심사청구일자 2018년07월06일
(85) 번역문제출일자 2018년06월11일
(65) 공개번호 10-2018-0069923
(43) 공개일자 2018년06월25일
(62) 원출원 특허 10-2015-7007564
원출원일자(국제) 2013년09월27일
심사청구일자 2015년03월25일
(86) 국제출원번호 PCT/EP2013/002904
(87) 국제공개번호 WO 2014/048574
국제공개일자 2014년04월03일
(30) 우선권주장
10 2012 217 800.7 2012년09월28일 독일(DE)
61/707,014 2012년09월28일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
JP2009544953 A*
(뒷면에 계속)
전체 청구항 수 : 총 6 항

(73) 특허권자
칼 짜이스 에스엠테 게엠베하
독일 73447 오버코헨 루돌프-에버-쉬트라쎄 2
(72) 발명자
헤트츠러 요헨
독일 알렌 73434 슈퇴켄벡 12
(74) 대리인
노대웅, 양영준

심사관 : 이병수

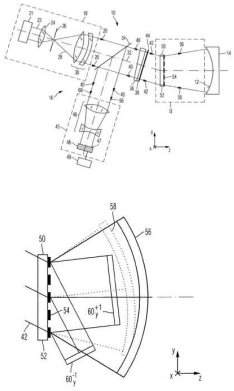
(54) 발명의 명칭 **회절 광학 요소 및 간섭식 측정 방법**

(57) 요 약

기판(52) 및 기판 상에 배열된 회절 구조 패턴(54)을 갖는 회절 광학 요소(50)가 제공된다. 회절 구조 패턴은 그 위에 방사된 평면 또는 구면 입력파(42)를 1) 적어도 4개의 개별 출력파로서, 출력파들 중 적어도 하나는 비구면파이고, 출력파들 중 적어도 다른 하나는 구면파(58; 70)이고, 출력파들 중 적어도 2개의 다른 것은 각각 평

(뒷면에 계속)

대 표 도



면파(60) 또는 구면파(72, 74)인, 적어도 4개의 개별 출력파로, 2) 그 적어도 하나가 비구면파이고 다른 2개는 구면파 또는 평면파인 적어도 3개의 개별파로, 3) 적어도 3개의 구면파로 변환하도록 구성된다. 회절 광학 요소는 광학 요소의 광학면의 의도된 형상으로부터 실제 형상의 편차를 결정하기 위한 간섭 방법 및 장치에 사용된다. 광학 요소는 상기 방법 및 장치에 의해 측정된 의도된 형상으로부터의 편차가 미리 결정된 레벨 미만인 광학면을 갖고 제조된다.

(52) CPC특허분류
G01B 9/02039 (2013.01)
G01B 9/02057 (2013.01)
G01B 9/02072 (2013.01)
G01M 11/005 (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌
EP1316789 A1
KR1020030052498 A
KR1020060080878 A
WO2008110239 A1
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

명 세 서

청구범위

청구항 1

광학 요소의 광학면의 의도된 형상으로부터 실제 형상의 편차를 결정하기 위한 방법이며,

- 입력파를 발생하는 단계,

- 상기 입력파의 빔 경로 내에 회절 광학 요소를 배열함으로써, 상기 입력파가 상기 회절 광학 요소와 상호 작용에 의해, 적어도 하나의 측정파로서 광학면의 의도된 형상에 순응된 측정파로 변환되고, 추가로 상기 회절 광학 요소에서 리트로 반사되는 입력파로부터 기준파가 발생되도록 하는 단계, 및

- 상기 순응된 측정파의 빔 경로 내에 광학면을 배열하고, 상기 광학면과의 상호 작용 후에 순응된 측정파의 파면을 상기 기준파를 기준으로 사용하여 상기 순응된 측정파가 상기 기준파와 간섭하는 간섭 측정에 의해 측정하는 단계를 포함하는, 광학 요소의 광학면의 의도된 형상으로부터 실제 형상의 편차를 결정하기 위한 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 입력파는 상기 회절 광학 요소와 상호 작용에 의해 적어도 하나의 캘리브레이션파로 추가로 변환되는, 광학 요소의 광학면의 의도된 형상으로부터 실제 형상의 편차를 결정하기 위한 방법.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 회절 광학 요소는 복합 인코딩된 위상 격자를 포함하는, 광학 요소의 광학면의 의도된 형상으로부터 실제 형상의 편차를 결정하기 위한 방법.

청구항 4

기판과 상기 기판 위에 배열된 회절 구조 패턴을 갖는 회절 광학 요소이며, 상기 회절 구조 패턴은 그 위에 방사된 평면 또는 구면 입력파를 측정될 광학면의 의도된 형상에 순응된 적어도 하나의 비구면 출력파로 변환하도록 구성되며, 상기 회절 구조는 리트로 반사되는 입력파로부터 기준파를 발생시키도록 추가로 구성되고, 상기 기준파는 상기 순응된 측정파가 상기 기준파와 간섭하는 간섭 측정에 의해 상기 광학면과의 상호 작용 후의 상기 비구면 출력파의 파면을 측정하기 위한 기준으로 사용되도록 구성되는, 회절 광학 요소.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 입력파를 평면파 또는 구면파 형태의 적어도 하나의 캘리브레이션파로 추가로 변환하도록 구성된 회절 광학 요소.

청구항 6

광학 요소의 광학면의 의도된 형상으로부터 실제 형상의 편차를 결정하기 위한 간섭 측정 시스템이며,

- 입력파를 발생하기 위한 광원,

- 회절 광학 요소이며, 상기 입력파가 상기 회절 광학 요소와 상호 작용에 의해 적어도 하나의 측정파로서, 광학면의 의도된 형상에 순응된 측정파로 변환되고, 추가로 상기 광학 요소에서 리트로 반사되는 입력파로부터 기준파가 발생되도록 상기 입력파의 빔 경로 내에 배열되는 회절 광학 요소,

- 상기 광학면과의 상호 작용 후에 순응된 측정파의 파면을 상기 기준파를 기준으로 사용하여 상기 순응된 측정파가 상기 기준파와 간섭하여 측정하기 위한 간섭계를 포함하는, 광학 요소의 광학면의 의도된 형상으로부터 실제 형상의 편차를 결정하기 위한 간섭 측정 시스템.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 출원은 2012년 9월 28일 출원된 독일 특허 출원 제10 2012 217 800.7호 및 2012년 9월 28일 출원된 미국 가출원 제61/707,014호를 우선권 주장한다. 이 독일 특허 출원과 미국 가출원의 전체 개시 내용은 본 출원에 참조로서 합체되어 있다.

[0002] 본 발명은 광학 요소의 광학면의 의도된 형상으로부터 실제 형상의 편차(deviation)를 결정하기 위한 방법, 이러한 방법을 수행하기 위한 회절 광학 요소, 광학 요소를 제조하기 위한 방법 뿐만 아니라 이러한 광학 요소에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 의도된 형상으로부터 실제 형상의 편차를 결정하기 위한 장치가 예를 들어, US 2010/0177321 A1에 설명되어 있다. 이 장치는 측정파를 발생하기 위한 간섭계를 포함하는데, 이 측정파의 파면(wavefront)은 회절 격자에 의해 광학면의 비구면 의도된 형상에 순응된다(adapted). 순응된 측정파의 파면은 광학면에서의 반사 후에 간섭계에 의해 평가되고, 그 의도된 형상으로부터 광학면의 실제 형상의 편차가 프로세스에서 결정된다.

[0004] 이 경우에, 회절 격자는 예를 들어, 광선 추적법(ray tracing method)과 같은 적합한 계산법에 의해 시뮬레이팅되는 간섭계의 디자인에 의해 발생된 컴퓨터 생성 홀로그램(computer-generated hologram: CGH)일 수 있고, 프로세스에서 회절 격자의 위상 함수는 회절 격자가 간섭계 배열체의 빔 경로에서 원하는 기능을 갖도록 계산된다. 이어서 그 계산된 위상 함수로부터 회절 격자를 제조하는 것이 가능하다.

[0005] 형상 측정의 정확도는 CGH의 정확도에 의존한다. 여기서, 이는 결정적인(decisive) 최고 정확한(exact-as-possible) 제조가 아니라, 오히려 CGH 내의 모든 가능한 에러들의 최고 정확한 측정이다. 알려진 에러들은 시험 물체의 형상을 측정할 때 계산에 의해 제거될 수 있다. 따라서, CGH는 간섭을 형성한다. 회전 대칭 비구체(asphere)의 경우에 모든 비회전 대칭 에러를 절대적으로 캘리브레이팅하는 것이 가능하지만, 모든 CGH 에러는 자유 곡면(free-form surface), 즉 회전 대칭이 없는 비구면 표면의 경우에 형상 측정에 영향을 미친다. 그 결과, CGH의 측정의 정확도와 관련하여 요건의 급격한 증가가 존재한다. 프로세스에서, CGH의 회절 구조의 왜곡, 즉 이들의 의도된 위치와 관련하는 회절 구조의 측방향 위치 및 CGH의 프로파일의 형상을 매우 정확하게 인지하는 것이 중요하다. 그러나, 이들 파라미터가 종래 기술로부터 알려진 측정 도구에 의해 결정될 수 있는 측정 정확도는 연속적으로 증가하는 요구에 충분하지 않다.

[0006] 광학면을 매우 정확하게 측정하기 위한 다른 공지의 장치들은 직렬로 배열된 2개의 CGH를 사용하는 것이고, 그 결과 측정 구성을 위해 요구되는 노력이 증가한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명의 목적은 전술된 문제점들을 해결하고, 특히 임의의 형상의 광학면, 특히 회전 대칭이 없는 비구면 광학면을 향상된 정확도로 측정하기 위한 방법 및 회절 광학 요소를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0008] 예로서, 본 발명에 따르면, 전술된 목적은 기판 및 기판 상에 배열된 회절 구조 패턴을 갖는 회절 광학 요소에 의해 성취될 수 있다. 회절 구조 패턴은 그 위에 방사된 평면 또는 구면 입력파를 적어도 4개의 개별 출력파로 변환하도록 구성되고, 출력파들 중 적어도 하나는 비구면파이고, 출력파들 중 적어도 다른 하나는 구면파이고, 출력파들 중 적어도 2개의 다른 것은 평면파 또는 구면파이다.

[0009] 본 발명에 따르면, 전술된 출력파들은 따라서 단지 단일의 회절 광학 요소, 즉 단일의 기판 상에 배열된 회절 구조 패턴에 의해 발생된다. 따라서, 회절 광학 요소는 다수의 변형예에 따라 구성될 수 있다. 제1 변형예에 따르면, 그 위에 방사된 파는 평면이고, 출력파들은 적어도 하나의 비구면파 및 적어도 3개의 구면파를 포함한다. 제2 변형예에 따르면, 그 위에 방사된 파는 구면이고, 출력파들은 적어도 하나의 비구면파 및 적어도 3개의 구면파를 포함한다. 제3 변형예에 따르면, 그 위에 방사된 파는 평면이고 출력파들은 적어도 하나의 구면파 및 적어도 2개의 평면파를 포함한다. 제4 변형예에 따르면, 그 위에 방사된 파는 구면이고 출력파들은 적어도

하나의 구면파 및 적어도 2개의 평면파를 포함한다. 제1 및 제2 변형예의 경우에, 구면파의 강도는 일 실시예에 따르면 서로로부터 30% 미만만큼, 특히 10% 미만만큼 상이하다.

[0010] 평면 또는 구면 입력파를 단지 구면파로서 칭하는 것도 또한 가능한데, 이 경우에 평면파는 유한 반경을 갖는 구면파의 특정 경우로서 간주된다. 비구면 출력파는 측정될 광학면에 순응된 측정파일 수 있고, 이 측정파는 간섭 수단에 의해 측정될 때 표면 상에 방사된다. 다른 출력파들은 또한 캘리브레이션파라 칭할 수 있다.

[0011] 회절 광학 요소는 특히 컴퓨터 생성 홀로그램(CGH)으로서 구체화된다. 회절 구조 패턴은 또한 위상 격자 또는 회절 격자라 칭할 수 있지만, 이는 반드시 규칙적인 격자를 의미하는 것이 아니라, 오히려 특히 굽힘부를 갖고, 원리적으로 이들의 형상의 견지에서 서로로부터 일탈하고, 이들 사이에 가변 거리를 가질 수 있는 라인 구조체를 의미하는 것으로 이해되어야 하는 것이 주목되어야 한다. 전술된 바와 같이, 회절 구조 패턴은 회절 광학 요소의 기판 상에 배열되는데, 즉 단지 하나의 기판 상에 배열된다. 회절 구조 패턴은 따라서 상이한 기판 상에 배열된 다수의 서브-패턴으로 구성되지 않는다.

[0012] 전술된 바와 같이 개별 출력파를 발생하는 회절 구조 패턴은 복합 인코딩된 위상 격자로서 구성될 수도 있다. 본 출원의 의미 내에서, 구면파는 구면 파면을 갖는 파, 즉 파면이 적어도 구면 표면 섹션에 의해 형성되어 있는 파이다.

[0013] 본 출원의 의미 내에서, 비구면파는 그 파면이 임의의 이상적인 구체로부터, 특히 파면에 대해 최적합성을 갖는 구체로부터 적어도 10 λ의 편차를 갖는 파이고, 여기서 λ는 그 위에 방사된 입력파의 파장이다. 달리 말하면, 비구면파는 적어도 10 λ만큼 모든 이상적인 구체로부터 일탈하는 적어도 하나의 점을 갖는다. 파장이 500 nm이면, 본 출원의 의미 내에서 비구면파는 임의의 이상적인 구체로부터 적어도 5 ㎛의 편차를 갖는다. 본 출원의 의미 내에서, 비구면파는 회전 대칭 파면을 갖는 파, 즉 통상의 개념에서 비구면파와, 비회전 대칭 파면을 갖는 파, 즉 그 파면이 소위 자유 곡면의 형상을 갖는 파의 모두를 포함한다.

[0014] 일 실시예에 따르면, 비구면파는 자유 곡면의 형태의 파면을 갖고, 파면은 임의의 이상적인 구체로부터 적어도 1 ㎜의 편차를 갖는다.

[0015] 여기서, "개별 출력파"는 출력파들이 상이한 전파 방향을 갖고, 따라서 서로 독립적으로 검출되거나 회절 광학 요소로 재반사될 수 있어, 이들 출력파가 간섭 측정 시스템에서 개별적으로 측정될 수 있게 되는 것을 의미하는 것으로 이해되어야 한다.

[0016] 형상의 간섭 측정을 위해 통상적으로 이용된 CGH에 비교하여, 본 발명에 따른 회절 광학 요소는, 본 발명에 따르면, 평면 또는 구면인 적어도 3개의 다른 출력파가 비구면 출력파에 추가하여 발생되는 점에서 상이하다. 전술된 통상의 CGH에서, 2개 이하의 평면 또는 구면파가 상이한 차의 회절에서 하나 이상의 비구면파에 추가하여 발생된다.

[0017] 직렬로 배열된 2개의 CGH가 사용되면, 구체 및 비구체에 의해 형성되고 따라서 비구면인 파가 일반적으로 제2 CGH 상에 방사된다. 평면 또는 구면파가 이 CGH 상에 방사되면, 단일 평면 또는 구면파가 프로세스에서 발생되지 않을 것이다.

[0018] 평면 또는 구면 입력파가 본 발명에 따른 회절 광학 요소 상에 방사될 때 비구면 출력파에 추가하여 전술된 유형의 적어도 3개의 다른 출력파를 발생하는 것은 회절 광학 요소가 다른 출력파에 의해 제조 에러와 관련하여 측정되는 것을 가능하게 한다. 회절 광학 요소를 사용하는 광학면의 후속의 측정 중에, 이어서 제조 에러의 효과의 계산에 의해 측정 결과로부터 제거하는 것이 재차 가능하다. 그 결과, 특히 구면 광학면의 형상의 측정의 측정 정확도를 증가시키는 것이 가능하다.

[0019] 본 발명에 따른 일 실시예에 따르면, 구조 패턴은 적어도 2개의 다른 출력파가 평면파이고, 평면파의 전파 방향은 입력파의 입사 방향에 관련하여 서로 대칭이도록 구성된다. 일 변형예에 따르면, 2개의 평면 출력파는 예를 들어 선형 격자에서 +1차 또는 -1차 회절과 같은 동일한 차의 양의 및 음의 차의 회절이다.

[0020] 본 발명에 따른 다른 실시예에 따르면, 구조 패턴은 제1 파 쌍을 형성하는 2개의 평면 출력파에 추가하여, 개별 출력파가 제2 파 쌍의 형태의 2개의 다른 평면파를 갖도록 구성되고, 이 다른 평면파의 전파 방향은 마찬가지로 입사 방향에 관하여 서로 대칭이고, 제1 파 쌍의 전파 방향에 의해 걸쳐 있는 평면은 제2 파 쌍의 전파 방향에 의해 걸쳐 있는 평면으로부터 일탈한다. 특히, 제1 파 쌍의 전파 방향에 의해 걸쳐 있는 평면은 제2 파 쌍의 전파 방향에 의해 걸쳐 있는 평면에 실질적으로 수직이다. 이와 관련하여, 실질적으로 수직이라는 것은 적어도 80°, 특히 적어도 85°, 적어도 89°, 또는 대략 90°의 각도를 의미한다.

[0021] 본 발명에 따른 다른 실시예에 따르면, 각도(α_i)는 제1 차이 벡터와 제2 차이 벡터 사이의 각도에 의해 회절 구조 패턴의 모든 점(i)에서 규정되고, 제1 차이 벡터는 점(i)으로부터 나오는 비구면파의 파 벡터[$k_i(A)$]와 점(i) 상에 충돌하는 입력파의 파 벡터[$k_i(in)$] 사이의 차이에 의해 규정되고, 제2 차이 벡터는 점(i)으로부터 나오는 적어도 하나의 구면파의 파 벡터[$k_i(S)$]와 점(i) 상에 충돌하는 입력파의 파 벡터 사이[$k_i(in)$]의 차에 의해 규정된다. 더욱이, 구조 패턴은 회절 구조 패턴의 점(i)에 걸쳐 평균화된 각도(α_i)의 절대값이 구조 패턴에 평행한 평면 상에 투영시에 5° 초과, 특히 10° 초과이도록 구성된다. 파 벡터는 또한 "k-벡터"라 칭하고, 파의 파면에 수직인 벡터이다. 달리 말하면, 각도(ω)는 5° 초과이고, ω는 이하와 같이 정의된다.

[0022] $$\omega = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left|\angle_{xy}\left[(k_i(A)-k_i(in)),(k_i(S)-k_i(in))\right]\right|$$

[0023] 여기서, N은 평균값이 그에 걸쳐 형성되는 점(i)의 수이다. 다시 한번 달리 말하면, 각도(ω)는 회절 광학 요소의 공간 좌표(i)에 걸쳐 각도(α_i^{xy})의 절대값의 평균값에 의해 정의되는데, 즉 $\omega = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left|\alpha_i^{xy}\right|$ 이고, 여기서 α_i^{xy}는 차이 벡터 [$k_i(A) - k_i(in)$]과 차이 벡터 [$k_i(S) - k_i(in)$] 사이의 xy-평면 상에 투영된 각도이다.

[0024] 여기서, 평균이 구조 패턴에 의해 덮인 영역, 즉 회절 광학 요소의 광학적 유효 영역에 걸쳐 형성된다. 입력파의 전파 방향은 z-방향이라 칭하고, 따라서 xy-평면은 입력파의 전파 방향에 수직인 평면이다.

[0025] 본 발명에 따른 다른 실시예에 따르면, 비구면파를 발생하기 위한 구조 패턴의 회절 효율은 적어도 하나의 구면파를 발생하기 위한 구조 패턴의 회절 효율보다 적어도 50% 크다. 그 결과, 비구면파의 강도는 적어도 하나의 구면파의 강도보다 적어도 50% 크다. 일 변형예에 따르면, 적어도 하나의 비구면파를 발생하기 위한 회절 효율은 적어도 하나의 구면파를 발생하기 위한 회절 효율보다 적어도 70% 크고, 특히 적어도 100% 크다. 이는 금속화된 캘리브레이션 미러를 사용함으로써 보상될 수 있다. 일 실시예에 따르면, 적어도 4개의 출력파의 회절 효율의 합은 30% 초과이다.

[0026] 본 발명에 따른 다른 실시예에 따르면, 구조 패턴은 비구면 출력파의 방사선 파워가 구면 또는 평면 출력파의 각각의 방사선 파워보다 크도록 구성된다. 즉, 비구면 파면을 갖는 출력파는 구면 또는 평면 파면을 갖는 나머지 3개의 출력파보다 구조 패턴에서 더 강하게 가중된다. 일 예시적인 실시예에 따르면, 비구면 파면을 갖는 출력파의 방사선 파워는 입력파의 방사선 파워의 적어도 30%, 특히 대략 40%를 갖고, 구면 또는 평면 파면을 갖는 나머지 3개의 출력파는 각각 입력파의 방사선 파워의 15% 내지 25%, 특히 대략 20%를 갖는다.

[0027] 본 발명에 따른 다른 실시예에 따르면, 구조 패턴은 그 위에 방사된 입력파가 적어도 5개의 개별 출력파로 변환되도록 구성되고, 출력파들 중 4개는 구면파로서 구체화된다. 적어도 5개의 출력파 중 다른 하나는 비구면파, 특히 자유 곡면파이다.

[0028] 본 발명에 따른 다른 실시예에 따르면, 출력파는 쌍을 이룬 4개의 구면 출력파의 평균 전파 방향이 각각의 경우에 비구면 출력파의 평균 전파 방향에 의해 규정된 축에 관련하여 서로 대칭으로 배열되지 않도록 서로 배향된 각각의 평균 전파 방향을 갖는다. 이와 관련하여, "비대칭"이라는 것은 대칭 배열에 비교하여, 적어도 1° , 특히 적어도 5° 의 편차가 존재하는 것을 의미하는 것으로 이해된다. 평균 전파 방향은 각각의 출력파의 상이한 전파 방향의 강도-가중된 평균화로부터 나오는 전파 방향이다. 일 변형예에 따르면, 이 조건은 회절 광학 요소의 모든 점들의 적어도 90%에 적용된다.

[0029] 본 발명에 따른 다른 실시예에 따르면, 회절 구조 패턴은 다레벨 위상 격자를 포함한다. 통상의 기술자가 잘 인식하고 있는 바와 같이, 다레벨 위상 격자는 최고 레벨과 최저 레벨 사이의 적어도 하나의 중간 레벨을 갖는 위상 격자를 의미하는 것으로 이해된다. 따라서, 이러한 위상 격자는 적어도 3개의 레벨을 갖는다. 상이한 실시예에 따르면, 4개 이상의 레벨이 제공될 수 있다. 소위 블레이징된(blazed) 위상 격자는 프로파일이 경사진 표면에 의해 표현되는 매우 다수의 레벨을 갖는다. 다레벨 위상 격자의 사용은 복합 인코딩에 의해 발생된 회절 효율의 손실을 적어도 부분적으로 보상하거나 심지어 과보상하는 것을 가능하게 한다. 본 출원의 의미 내에서, 다레벨 위상 격자는 또한 이러한 블레이징된 위상 격자를 의미하는 것으로 이해되어야 한다. 통상의 기술자는 Donald C. O'Shea 등의 핸드북 "Diffractive optics: design, fabrication, and test", 2004, The

Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, 페이지 29 내지 35로부터 다레벨 위상 격자에 관한 배경 정보를 얻을 수 있다. 본 출원의 의미 내에서 다레벨 위상 격자는 특히 또한 예를 들어 H. Kleemann 등의 "Combination of blazed and laterally blazed structures", Diffractive Optics and Micro-Optics, OSA Technical Digest (Optical Society of America), paper DTuC7, 2004년에 설명된 바와 같은 측방향 블레이징된 위상 격자를 의미하는 것으로 이해된다.

[0030] 본 발명에 따르면, 기판 및 기판 상에 배열된 회절 격자를 포함하는 회절 광학 요소가 또한 제공된다. 회절 격자는 서로로부터 소정 거리 이격하여 배열된 격자 라인을 갖고, 회절 격자의 평균 주기 거리는 각각의 경우에 이웃하는 격자 라인 사이에서 회절 격자에 걸쳐 평균화된 중심간 거리에 의해 결정된다. 격자 라인은 격자 라인의 평균파 주기가 회절 격자의 평균 주기 거리 3배 내지 20배의 영역 내에 있도록 파형 형태를 갖고, 이들의 종방향 범위에 횡방향에서의 격자 라인의 변동은 회절 격자의 평균 주기적 거리의 0.1배 내지 3배인 영역 내에 있는 전폭(span)을 갖는다.

[0031] 회절 격자의 평균 주기 거리는 격자 라인의 횡방향에서 측정된다. 격자 라인의 파형 형태는 격자 라인이 각각의 직선에 관련하여 격자 라인의 종방향 범위에 대해 상향 및 하향으로, 즉 횡방향으로 일탈하는 것을 의미하는 것이 이해된다. 여기서, 파 주기는 편향으로부터 편향으로 다양할 수 있다. 여기서, 그 종방향 범위에 횡방향의 격자 라인의 변동의 전폭은 그 상상된 직선 형상으로부터, 즉 각각의 격자 라인에 대해 최적합성을 갖는 직선으로부터 각각의 격자 라인의 편차의 전폭을 의미하는 것으로 이해되어야 한다. 특히, 변동의 전폭은 격자 라인 형상을 결정하는 파의 진폭의 2배이다.

[0032] 본 발명에 따른 다른 실시예에 따르면, 회절 격자는 기판의 적어도 20%를 덮는다. 기판이 판형 디자인을 가지면, 기판의 상면 및 하면의 20%는 각각 회절 격자에 의해 덮여진다.

[0033] 본 발명에 따른 다른 실시예에 따르면, 회절 격자의 격자 라인의 적어도 90%, 특히 적어도 95%, 또는 적어도 99%는 회절 격자의 에지 영역들 사이에 중단 없이 연장하는 연속 라인으로서 구체화되는데, 즉 이들 라인은 회절 격자에 의해 덮인 기판의 영역 내에서 종료하지 않는다.

[0034] 본 발명에 따른 다른 실시예에 따르면, 회절 격자는 50 ㎛ 모서리 길이를 갖는 임의의 정사각형 부분 영역에 걸쳐 1 ㎜ 모서리 길이를 갖는 회절 격자의 정사각형 측정 영역 내에서 평균화된 격자 라인의 줄무늬 밀도가 20 라인 쌍/㎜ 미만의 전폭에 걸쳐 연장하는 변동을 갖도록 구성된다. 정사각형 부분 영역 내의 줄무늬 밀도를 결정하기 위한 방법에 대한 일 예에 따르면, 격자 라인의 폭과 일 측에서 다음의 격자 라인에 인접하는 중간 공간의 폭의 합은 초기에 각각의 격자 라인을 따라 매 1 ㎛마다 결정된다. 이에 의해 결정된 값의 역수가 형성되고 따라서 줄무늬 밀도는 관련 측정점에서 설정된다. 줄무늬 밀도에 대한 값들은 관련 부분 영역 내의 모든 측정점에 걸쳐 평균화된다. 이는 정사각형 측정 영역 내의 모든 부분 영역에 대해, 즉 20 × 20 = 400개의 부분 영역에 대해 발생하여, 평균 줄무늬 밀도가 각각의 부분 영역에 대해 결정되게 된다. 전술된 예시적인 실시예에 따르면, 평균 줄무늬 밀도의 변동은 20 라인쌍/㎜ 미만의 전폭을 갖는데, 즉 측정 영역 내의 다양한 부분 영역에 대해 설정된 평균 줄무늬 밀도는 20 라인쌍/㎜ 미만만큼 변화한다. 예로서, 평균 줄무늬 밀도가 대략 200 라인/㎜이면, 줄무늬 밀도는 190 내지 210 라인/㎜의 전폭 내에서 변화한다.

[0035] 다른 실시예에 따르면, 구조 패턴은 적어도 4개의 개별 출력파에 추가하여, 리트로 반사(Littrow reflection)에서 기준파는 또한 그 위에 방사된 입력파로부터 기준파로서 발생되고, 이 기준파는 간섭 측정 중에 기준으로서 사용될 수 있다.

[0036] 전술된 실시예 및 변형예들에 설명된 특징은 개별적으로 또는 파형 격자 라인을 갖는 회절 광학 요소에 조합하여 전달될 수 있다.

[0037] 더욱이, 본 발명에 따르면, 기판 및 기판 상에 배열된 회절 구조 패턴을 갖는 회절 광학 요소가 제공된다. 회절 구조 패턴은 구조 패턴이 그 위에 방사된 평면 또는 구면 입력파를 각각의 경우에 구면 파면을 갖는 적어도 3개의 개별 출력파로 변환하도록 구성된다.

[0038] 전술된 실시예 및 변형예에서 설명된 특징들은 개별적으로 또는 파형 격자 라인을 갖는 이 회절 광학 요소에 조합하여 전달될 수 있다. 특히, 이 회절 광학 요소는 적어도 4개의 개별 출력파를 발생하는 회절 광학 요소의 전술된 실시예들로부터 특징들을 포함할 수 있다.

[0039] 본 발명에 따르면, 광학 요소의 광학면의 의도된 형상으로부터 실제 형상의 편차를 결정하기 위한 다른 방법이 제공된다. 이 방법은 입력파를 발생하는 단계와, 입력파의 빔 경로 내에 회절 광학 요소를 배열하고, 회절 광학 요소와 상호 작용에 의해 입력파를 적어도 3개의 개별 출력파로 변환하는 단계를 포함하고, 출력파들 중 하

나는 비구면 파면을 갖는, 광학면의 의도된 형상에 순응된 측정파이고, 출력파들 중 적어도 2개의 다른 것들은 캘리브레이션파이다. 방법은 적어도 2개의 캘리브레이션파의 각각에 의해 회절 광학 요소의 캘리브레이션 보정을 결정하는 단계와, 순응된 파의 빔 경로 내에 광학면을 배열하고 광학면과의 상호 작용 후에 순응된 측정파의 파면을 측정하는 단계를 더 포함하고, 순응된 측정파의 파면은 캘리브레이션 보정의 결정 동안과 동일하게 입력파에 관하여 배향되는 회절 광학 요소로 측정된다. 또한, 상기 방법에 따르면, 측정된 파면은 결정된 캘리브레이션 보정에 의해 보정된다.

[0040] 달리 말하면, 상기 방법에 따르면, 회절 광학 요소는 캘리브레이션 보정을 결정하기 위해 주어진 배향에서 입력파의 전파 방향에 관련하여 배열되고, 캘리브레이션 보정은 적어도 2개의 캘리브레이션파의 각각을 분석함으로써 결정된다. 이 배향은 순응된 파의 파면을 측정할 때 불변이다. 재차 달리 말하면, 입력파는 측정파를 발생하여 분석할 때 그리고 캘리브레이션파를 발생하여 분석할 때 회절 광학 요소의 로컬 좌표계에서 동일한 입사 방향을 갖는다. 출력파들은 회절 광학 요소와 입력파의 상호 작용에 의해 특히 동시에 발생된다.

[0041] 전술된 바와 같이, "개별 출력파"는 출력파가 상이한 전파 방향을 갖고 따라서 서로 독립적으로 검출되거나 회절 광학 요소로 재반사될 수 있어, 이들 출력파가 간섭 측정 시스템에서 개별적으로 측정될 수 있게 되는 것을 의미하는 것으로 이해되어야 한다.

[0042] 캘리브레이션 보정의 결정 동안과 동일하게 입력파와 관련하여 배향되는 회절 광학 요소를 갖는 순응된 파의 파면을 측정함으로써, 결정된 캘리브레이션 보정이 순응된 파의 측정된 파면에 직접 적용될 수 있기 때문에, 제조 에러와 관련하여 회절 광학 요소의 특히 정밀한 캘리브레이션을 허용한다. 배향이 불변 유지됨에 따라, 결정된 캘리브레이션 보정은 측정파의 발생에 관련된 회절 광학 요소의 제조 에러를 정밀하게 반영한다. 달리 말하면, 어떠한 에러도 측정된 캘리브레이션 보정들 사이의 편차와 측정파를 발생하는 회절 광학 요소 상의 구조의 실제 편차에 기인하여 파면의 보정에 도입되지 않는데, 이 편차는 회절 광학 요소의 상이한 배향에 기인할 것이다.

[0043] 실시예에 따르면, 순응된 측정파의 파면은 캘리브레이션 보정의 결정 동안과 동일한 입력파에 관한 위치에 배열되는 회절 광학 요소로 측정된다. 이는 회절 광학 요소의 배향 및 위치의 모두가 순응된 측정파의 파면을 측정할 때 불변 유지되는 것을 의미한다.

[0044] 적어도 2개의 캘리브레이션파는 제1 캘리브레이션파 및 제2 캘리브레이션파를 포함한다. 회절 광학 요소의 캘리브레이션 보정은 제1 캘리브레이션파에 의해 그리고 제2 캘리브레이션파에 의해 결정된다.

[0045] 다른 실시예에 따르면, 캘리브레이션 보정의 결정은 캘리브레이션파들 중 제1 캘리브레이션파로부터 제1 캘리브레이션 보정을, 그리고 캘리브레이션파들 중 제2 캘리브레이션파로부터 제2 캘리브레이션 보정을 결정하는 것을 포함하고, 제1 캘리브레이션 보정 및 제2 캘리브레이션 보정은 입력파와 관련하여 동일하게 배향된 회절 광학 요소로 결정되는데, 즉 회절 광학 요소의 배향은 제1 캘리브레이션 보정과 제2 캘리브레이션 보정을 결정하는 사이에 불변이다.

[0046] 다른 실시예에 따르면, 회절 광학 요소는 복합 인코딩된 위상 격자를 포함한다. 이러한 복합 인코딩된 위상 격자는 적어도 3개의 위상 함수(f_1 내지 f_3)를 갖고 구성되어, 각각의 회절된 파가 다양한 위상 함수(f_1 내지 f_3) 중 각각의 개별의 하나에 대해 발생되게 되고, 이 회절된 파는 전술된 출력파를 형성한다. 위상 함수(f_1 내지 f_3)의 각각에 대해 발생된 회절된 파는 위상 격자(f_G)에서 1차 회절시에 발생된 각각의 파이다. 본 출원에 따른 복합 인코딩된 위상 격자의 특성은 예시적인 실시예의 후속의 상세한 설명에서 더 상세히 설명된다. 복합 인코딩된 위상 격자의 사용은 출력파가 상이한 강도를 갖도록 회절 광학 요소를 구성하는 것을 허용한다. 이는 복합 인코딩된 위상 격자 내에 개별 위상 함수(f_1 내지 f_3)에 상이한 가중치를 할당함으로써 행해질 수도 있다.

[0047] 실시예에 따르면, 적어도 3개의 출력파의 각각의 하나는 회절 광학 요소에서 동일한 회절 차수에서 발생된다. 특히 적어도 3개의 출력파의 각각의 하나는 회절 광학 요소에서, 1차 회절에서, 특히 +1차 회절에서 발생된다. 본 출원에 설명된 바와 같은 복합 인코딩된 격자의 경우에, 단지 +1차 회절파만이 출력파를 형성한다. 1차 회절에서 출력파를 발생할 때, 평면 또는 구면 형상과 같은 간단한 기하학적 형상을 갖는 캘리브레이션파가 발생될 수 있다. 이러한 간단한 기하학적 형상에 의해, 적절한 캘리브레이션 물체가 높은 정밀도를 갖고 제조될 수 있기 때문에, 정밀한 캘리브레이션이 성취될 수 있다.

[0048] 다른 실시예에 따르면, 출력파는 적어도 2개의 캘리브레이션파의 평균 전파 방향이 측정파의 평균 전파 방향에 의해 규정된 축에 관련하여 서로 비대칭으로 배열되도록, 즉 대칭으로 배열되지 않도록 서로 배향된 각각의 평균 전파 방향을 갖는다. 이러한 비대칭 배열에서, 측정파의 위치에서 간섭 또는 의사광의 발생이 회피될 수 있

다.

[0049] 다른 실시예에 따르면 캘리브레이션파 중 적어도 하나는 구면파이다. 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 적어도 2개 또는 적어도 3개의 캘리브레이션파는 구면파이다.

[0050] 본 발명의 실시예에 따르면, 입력파는 평면 또는 구면파이고, 입력파는 회절 광학 요소와의 상호 작용에 의해 적어도 4개의 개별 출력파로 변환되고, 출력파들 중 적어도 하나의 다른 것은 구면 파면을 갖는 캘리브레이션파이고, 출력파들 중 적어도 2개의 다른 것은 각각의 경우에 평면 또는 구면 파면을 갖는 캘리브레이션파이다. 회절 광학 요소의 캘리브레이션 보정은 3개의 캘리브레이션파에 의해 결정된다.

[0051] 본 발명에 따른 임의의 설명된 실시예에서 방법에 관하여 전술되거나 후술되는 특징들은 설명된 실시예들 중 임의의 하나에서 본 발명에 따른 회절 광학 요소에, 특히 입력파를 적어도 4개의 개별 출력파로 변환하도록 구성된 회절 광학 요소로, 그리고 그 반대로 전달할 수도 있다. 특히 본 발명에 따른 회절 광학 요소는 4개의 개별 출력파를 발생하도록 구성될 수도 있어, 광학면과의 상호 작용 후에 비구면파의 파면이 다른 출력파에 의한 캘리브레이션 보정의 결정 동안과 동일하게 입력파와 관련하여 배향된 회절 광학 요소로 측정될 수도 있게 된다. 다른 실시예에 따르면, 회절 광학 요소는 4개의 개별 출력파를 동시에 발생하도록, 특히 예를 들어 1차 회절에서 출력파들의 각각의 하나를 발생하도록 구성된다.

[0052] 더욱이, 본 발명에 따르면, 광학 요소의 광학면의 의도된 형상으로부터 실제 형상의 편차를 결정하기 위한 방법이 제공된다. 일 실시예에서, 본 발명에 따른 방법은 평면 또는 구면 입력파를 발생하는 단계와, 입력파의 빔 경로 내에 회절 광학 요소를 배열하고, 회절 광학 요소와 상호 작용에 의해 입력파를 적어도 4개의 개별 출력파로 변환하는 단계를 포함하고, 출력파들 중 적어도 하나는 비구면 파면을 갖는, 광학면의 의도된 형상에 순응된 측정파이고, 출력파들 중 적어도 하나의 다른 것은 구면 파면을 갖는 캘리브레이션파이고, 출력파들 중 적어도 2개의 다른 것은 각각의 경우에 평면 또는 구면파면을 갖는 캘리브레이션파이다. 더욱이, 본 발명에 따른 방법에 따르면, 회절 광학 요소의 캘리브레이션 보정은 캘리브레이션파에 의해 결정되고, 광학면은 순응된 측정파의 빔 경로에서 측정되고, 순응된 측정파의 파면은 광학면과의 상호 작용 후에 측정된다. 더욱이, 측정된 파면은 결정된 캘리브레이션 보정에 의해 보정된다. 이제 보정된 파면에 의해 의도된 형상으로부터 광학면의 실제 형상의 편차를 결정하는 것이 가능하다.

[0053] 본 발명에 따른 방법에 사용된 회절 광학 요소는 특히 전술된 실시예들 중 하나에 따라 구체화될 수 있다. 본 발명에 따른 일 실시예에 따르면, 캘리브레이션 보정을 결정하기 위해, 하나 이상의 캘리브레이션 물체가 캘리브레이션파의 빔 경로에 배열되고, 캘리브레이션 물체 또는 물체들과의 상호 작용 후에 캘리브레이션파의 간섭 평가가 존재한다.

[0054] 더욱이, 본 발명에 따르면, 광학 요소를 제조하기 위한 방법이 제공된다. 일 실시예에서, 이 방법은 500 ㎜ 초과의 직경을 갖는 광학면을 갖는 광학 요소를 제조하는 단계를 포함한다. 더욱이, 광학면의 실제 형상은 d/100 내지 d/5의 진동 파장을 갖는 발진을 추적하는 의도된 형상으로부터 실제 형상의 편차가 0.05 ㎚의 정확도를 갖고 결정되고, 의도된 형상은 5 ㎛ 초과의 각각의 회전 대칭 비구체로부터의 편차를 갖는 자유 곡면인 단지 하나의 회절 광학 요소를 사용하여 간섭계에 의해 의도된 형상에 관련하여 매우 정확하게 측정된다. 더욱이, 광학면은 간섭 측정 결과에 기초하여 광학면의 기계적 처리에 의해 의도된 형상에 순응된다. 이 경우에 의도된 형상으로의 광학면의 순응은 간섭 측정의 측정 정확도의 범주 내에서 발생한다.

[0055] 광학면의 실제 형상의 간섭 측정은 특히 본 발명에 따른 실시예들 중 하나에서 전술된 측정 방법을 수행함으로써 발생할 수 있다. 제조 방법에 사용된 회절 광학 요소는 특히 전술된 실시예들 중 하나에서 구체화될 수 있다.

[0056] 더욱이, 본 발명에 따르면, 500 ㎜ 초과의 직경(d)을 갖는 광학면을 갖는 광학 요소가 설치된다. 여기서, 광학면의 실제 형상은 d/100 내지 d/5의 진동 파장을 갖는 발진을 추적하는 의도된 형상으로부터 실제 형상의 편차가 0.05 ㎚ 이하, 특히 0.02 ㎚ 이하이도록 의도된 형상에 순응된다. 여기서, 의도된 형상은 5 ㎛ 초과, 특히 10 ㎛ 초과의 각각의 회전 대칭 비구체로부터의 편차를 갖는 자유 곡면이다.

[0057] 예로서, 광학 요소는 EUV 미러로서 구체화될 수 있다. 특히, 그에 최적합성을 갖는 회전 대칭 비구체로부터 의도된 형상의 편차는 5 ㎛ 초과, 특히 10 ㎛ 초과이다. 예시적인 실시예에 따르면, 광학면은 1000 ㎜ 초과의 직경을 가질 수 있고, 모든 발진은 1 ㎜ 내지 50 ㎜의 진동 파장에 관련할 수 있다.

[0058] 본 발명에 따른 다른 실시예에 따르면, 의도된 형상은 적어도 1 ㎜의 모든 구체로부터의 편차를 갖는다. 그 결

과, 광학면은 크거나 강한 자유 곡면이다.

[0059] 다른 예시적인 실시예에 따르면, d/100 내지 d/5의 발진을 추적하는 의도된 형상으로부터 실제 형상의 편차는 광학면 상의 임의의 점에서 의도된 형상으로부터 실제 형상의 편차의 최대 진폭에 의해 규정된다.

[0060] 본 발명에 따른 실시예의 전술된 특징 및 다른 특징들의 모두는 청구범위 및 도면의 설명에서 설명된다. 개별 특징은 개별적으로 또는 조합하여 본 발명의 실시예로서 구현될 수 있다. 더욱이, 이들 특징들은 적절하다면 본 출원의 계류 중 또는 후에 청구되는 보호 및 독립적으로 보호 가능한 유리한 실시예를 설명할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0061] 본 발명의 상기 및 다른 유리한 특징들은 첨부된 개략도들을 참조하여 본 발명에 따른 예시적인 실시예의 이하의 상세한 설명에서 예시된다.

도 1은 회절 광학 요소를 갖는 간섭 측정 시스템의 단면도를 도시한다.

도 2는 제1 실시예에 따른 회절 광학 요소에서 입력파를 회절함으로써 발생된 출력파를 도 1에 따른 단면도에서 도시한다.

도 3은 방향 공간에서 도 2로부터의 출력파를 도시한다.

도 4는 도 2에 따른 출력파 중 2개의 파 벡터의 각도 관계를 도시한다.

도 5는 도 2에 따른 회절 광학 요소의 회절 구조 패턴의 구성을 도시한다.

도 6은 구면 파면을 갖는 출력파 중 하나에 의한 회절 광학 요소의 캘리브레이션을 도시한다.

도 7은 평면 출력파에 의한 회절 광학 요소의 다른 캘리브레이션을 도시한다.

도 8은 회절 광학 요소의 다른 실시예에서 입력파를 회절함으로써 발생된 출력파를 도 1에 따른 단면도에서 도시한다.

도 9는 방향 공간에서 도 8로부터의 출력파를 도시한다.

도 10은 도 8에 따른 회절 광학 요소의 회절 구조 패턴의 구성을 도시한다.

도 11은 도 1에 따른 간섭 측정 시스템에서 도 9에 따른 회절 광학 요소를 사용할 때 회절 효율 및 콘트라스트를 도시하는 도면이다.

도 12는 회절 광학 요소 전체에 관하여 도 8에 따른 회절 광학 요소의 위상 격자의 섹션의 크기비를 도시한다.

도 13은 도 8로부터 위상 격자의 격자 라인의 파형을 도시한다.

도 14는 도 13의 위상 격자로부터 격자 라인들 중 하나를 도시한다.

도 15는 방향 공간에서, 회절 광학 요소의 다른 실시예에서 회절에 의해 발생된 출력파를 도시한다.

도 16은 방향 공간에서, 회절 광학 요소의 다른 실시예에서 회절에 의해 발생된 출력파를 도시한다.

도 17은 본 발명에 따른 다른 실시예에서 회절 광학 요소의, 다레벨 위상 격자로서 구체화된 회절 구조 패턴을 도시한다.

도 18은 본 발명에 따라 제조된 광학 요소의 평면도를 도시한다.

도 19는 도 18로부터 광학 요소의 단면도를 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0062] 예시적인 실시예 또는 이하에 설명된 실시예에서, 서로 기능적으로 또는 구조적으로 유사한 요소들은 가능한 한 동일한 또는 유사한 도면 부호가 제공된다. 따라서, 특정 예시적인 실시예의 개별 요소의 특징을 이해하기 위해, 본 발명의 다른 예시적인 실시예의 설명 또는 일반적인 설명을 참조해야 한다.

[0063] 설명을 용이하게 하기 위해, 직교 xyz - 좌표계가 도면에 지시되어 있는데, 이 좌표계는 도면에 도시된 구성 요소들의 각각의 위치 관계를 나타낸다. 도 1에서, x - 방향은 도면의 평면에 직교하여 도면의 평면 내로 연장하고, y - 방향은 상향으로 연장하고, z - 방향은 우측을 향해 연장한다.

[0064] 도 1은 본 발명에 따른 일 실시예에서 간섭 측정 시스템(10)을 도시한다. 측정 시스템(10)은 광학 요소(14)의 형태의 시험 물체의 광학면(12)의 비구면 의도된 형상으로부터 실제 형상의 편차를 결정하기 위해 적합하다. 예로서, 광학 요소(14)는 광학 렌즈 요소 또는 미러의 형태로 구체화될 수 있다. 예시된 경우에, 광학 요소(14)는 EUV 리소그래피를 위한 오목 미러, 즉 마이크로리소그래픽 투영 노광 장치에서 EUV 파장 범위 내의 노광 파장을 갖고 설계된 미러이다. EUV 파장 범위는 100 nm 미만의 파장으로 확장되고, 특히 대략 13.5 nm 및/또는 대략 6.8 nm의 파장에 관련된다. 광학 요소(14)는 도면에 도시되지 않은 홀더에 의해 측정 시스템(10)에 조립된다. 광학면(12)의 비구면 의도된 형상은 일반적인 설명에서 더 상세히 설명되는 바와 같이, 회전 대칭 비구면 또는 자유 곡면의 형상을 가질 수 있다.

[0065] 간섭 측정 시스템(10)은 간섭계(16)를 포함하고, 간섭계는 이어서 광원(18), 빔 스플리터(34) 및 간섭계 카메라(45)를 포함한다. 광원(18)은 조명 방사선(20)을 발생하고, 이를 위해 레이저빔(22)을 발생하기 위한 헬륨 네온 레이저와 같은 레이저(21)를 포함한다. 조명 방사선(20)은 간섭 측정을 수행하기 위한 충분한 간섭성(coherent) 광을 갖는다. 헬륨 네온 레이저의 경우에, 조명 방사선(20)의 파장은 대략 633 nm이다. 그러나, 조명 방사선(20)의 파장은 또한 전자기 방사선의 가시 및 비가시 파장 범위에서 상이한 파장을 가질 수 있다.

[0066] 레이저빔(22)은 간섭성 광의 확산빔(divergent beam)이 개구(aperture)로부터 나오는 이러한 방식으로 포커싱 렌즈 요소(24)에 의해 정지부(26) 상에 포커싱된다. 확산빔(28)의 파면은 실질적으로 구면이다. 확산빔(28)은 렌즈-요소 그룹(30)에 의해 시준되고, 그 결과 조명 방사선(20)은 본 경우에 실질적으로 평면 파면에 의해 발생된다. 조명 방사선(20)은 간섭계(16)의 광축(32)을 따라 전파하고, 빔 스플리터(34)를 통해 통과한다.

[0067] 조명 방사선(20)은 피조(Fizeau) 영역(38)을 갖는 피조 요소(36) 상에 입사된다. 조명 방사선(20)의 광의 일부는 피조 영역(38)에서 기준파(40)로서 반사된다. 피조 요소(36)를 통해 통과하는 조명 방사선(20)의 광은 광축(32)을 따른 평면 파면(44)을 갖는 입력파(42)로서 전파하고, 회절 광학 요소(50) 상에 입사된다. 측정 시스템(10)의 다른 실시예에서, 입력파(42)의 파면은 또한 구면일 수 있다.

[0068] 조명 방사선(20)의 파장과 관련하여, 회절 광학 요소(50)는 투과성 기판(52)과, 기판(52) 상에 배열된 컴퓨터 생성 홀로그램(CGH)의 형태의 회절 구조 패턴(54)을 포함한다.

[0069] 제1 실시예에서, 구조 패턴(54)은 도 2에 도시된 바와 같이, 입력파(42)가 구조 패턴(54)에서의 회절에 의해 비구면 출력파(56), 구면 출력파(58) 및 평면 출력파(60)로 변환되는 이러한 방식으로 구성된다. 구면 출력파 및 평면 출력파(60)는 이하에 명백해지는 바와 같이, 캘리브레이션파로서 기능한다.

[0070] 출력파(56)는 도 1에 또한 플롯팅되어 있고, 광학 요소(14)의 광학면(12)의 실제 형상을 측정하기 위한 측정파로서 기능한다. 이를 위해, 출력파(56)는 광학면(12)의 의도된 형상에 순응된 파면을 갖는다. 따라서, 출력파(56)는 또한 순응된 측정파라 칭한다. 전술된 바와 같이, 출력파(56)는 비구면이고, 따라서 회전 대칭 비구면 파면 또는 자유 곡면의 형태의 파면을 갖는다. 본 출원의 의미 내에서 자유 곡면은 일반적인 설명부에서 미리 설명된 바와 같이, 회전 대칭성을 갖지 않는다.

[0071] 도 4는 2개의 단면 도시, (a)에서, 즉 yz-단면에서 그리고 (b)에서, 즉 xy-단면에서 한번씩 회절 구조 패턴(54) 상의 공간 좌표 i(x,y)에서 입력파(42)의 파 벡터[$k_i(in)$], 구면 출력파(58)의 파 벡터[$k_i(S)$] 및 비구면 출력파(56)의 파 벡터[$k_i(A)$]를 도시한다. 여기서, 회절 구조 패턴(54)은 xy-평면에 배열된다. 차이 벡터[$k_i(A)-k_i(in)$]와 차이 벡터[$k_i(S)-k_i(in)$] 사이의 각도는 각도(α_i)라 칭한다. (a)에서 플롯팅된 각도(α_i^{xz})는 xz-평면에서 α_i의 투영이고, (b)에서 플롯팅된 각도(α_i^{xy})는 xy-평면에서 α_i의 투영이다.

[0072] 회절 구조 패턴(54)의 공간 좌표 i(x,y)에 걸친 각도(α_i^{xy}), 즉 xy-평면 내에 투영된 각도(α_i)의 절대값의 평균값은 각도(ω)라 칭한다. 일 실시예에 따르면, 각도(ω)는 5° 초과이다. 따라서, 이하의 관계가 성립한다.

[0073] $$\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left|\angle_{xy}\left[(k_i(A)-k_i(in)),(k_i(S)-k_i(in))\right]\right| > 5°$$

[0074] 여기서, N은 평균값이 그에 걸쳐 형성되는 점(i)의 수이다. 다른 실시예에 따르면, ω는 10° 초과 또는 15° 초과이다.

[0075] 도 5에 도시된 바와 같이, 도 2에 따른 구조 패턴(54)은 각각의 회절된 파가 다양한 위상 함수(f_1 내지 f_4) 중 각각의 하나에 대해 발생되도록 다양한 위상 함수(f_1 내지 f_4)를 포함하는 복합 인코딩된 위상 격자(f_G)를 포함한다. 도 5에 도시된 도시는 함수(f_1 내지 f_4)의 윤곽 라인을 도시한다. 위상 함수들의 이들 윤곽 라인은 각각의 회절 격자의 격자 라인에 대응한다. 도 5에 도시된 f_G의 도시는 도 2에 따른 구조 패턴(54)의 상당해 확대된 섹션을 도시한다. 달리 말하면, 복합 인코딩된 위상 격자(f_G)는 1차 회절의 대응하는 상호 독립적인 회절된 파들이 위상 함수(f_1 내지 f_4)에 의해 규정된 회절 격자의 각각에 의해 발생되는 이러한 효과를 입력파(42)에 대해 갖는다. 복합 인코딩된 위상 격자(f_G)가 하나의 점에서 중첩된 개별의 위상 함수(f_1 내지 f_4)를 갖는 다수의 CGH가 되는 것을 상상할 수 있다. 이러한 함수들의 중첩은 연산 $S = W_1 * \exp(i*f_1) + W_2 * \exp(i*f_2) + W_3 * \exp(i*f_3) + W_4 * \exp(i*f_4)$에 대응한다. 개별 분포의 강도는 가중치(W1 내지 W4)에 의해 설정된다. 가상 유닛은 i이다. 본 발명에 따른 일 실시예에 따르면, 2진 위상 격자, 즉 $f_G = 0$ 또는 π가 복합 인코딩된 위상 격자(f_G)를 실현하기 위해 사용된다.

[0076] 이하의 관계가 2진 위상 격자에 성립한다: $Re\{S\} > 0$이면, $f_G = \pi$, 그렇지 않으면 $f_G = 0$. 본 발명에 따른 다른 실시예에 따르면, 연속적인 위상 격자가 복합 인코딩된 위상 격자(f_G)를 실현하기 위해 사용된다. 이 경우에 이하의 식이 성립한다: $f_G = \exp(i\angle\{S\})$. 개별 위상 함수(f_1, f_2, f_3, f_4)의 회절 효율은 상이한 크기를 갖는데, 본 실시예에서, 위상 함수(f_1, f_2)는 각각 35%의 가중치(W_1 또는 W_2)를 갖고 포함되고, 위상 함수(f_3, f_4)는 각각 15%의 가중치(W_3 또는 W_4)를 갖고 포함된다.

[0077] 도 5에 따른 위상 격자(f_G)의 위상 함수(f_1)는 비구면 출력파(56)를 발생한다. 위상 격자(f_G)의 위상 함수(f_2)는 구면 출력파(58)를 발생한다. 위상 함수(f_1, f_2)에 대응하는 격자 주기는 도 2에 따른 회절 구조 패턴(54)에 걸쳐 공간적으로 다양하다.

[0078] 위상 격자(f_G)의 다른 위상 함수(f_3, f_4)는 +1차 및 -1차 회절에서 각각 평면파(P)를 발생하기 위한 선형 격자이다. 따라서, 위상 함수(f_3)는 +/-y-방향에서 입력파(42)에 관련하여 편향되는 평면 출력파를 발생하기 위한 y-선형 격자로서 구성된다. 도 2에 플롯팅된 평면 출력파(60_y^{+1}, 60_y^{-1})는 +1차 및 -1차 회절에서 y-선형 격자에 의해 발생된 파이다. 위상 함수(f_4)에 의해 형성된 x-선형 격자에 의해 발생된 평면 출력파(60_x^{+1}, 60_x^{-1})는 거기에서 선택된 선택적 평면에 기인하여 도 2에서는 볼 수 없지만, 대신에 도 3에 도시되어 있다.

[0079] 도 3은 도 2에 따른 회절 구조 패턴(54)의 중심에 의해 발생된 방향 공간에서 출력파를 도시한다. 방향 공간에서 x- 및 y-좌표는 전파 방향에서 1로 정규화된 벡터의 x- 및 y-좌표이다. 이 방향 벡터의 성분은 방향 코사인이라 칭한다. 이하의 관계가 성립한다: $-1 \le x \le 1$, $-1 \le y \le 1$ 및 $x^2 + y^2 \le 1$.

[0080] 출력파(60_y^{+1}, 60_y^{-1})는 +y- 또는 -y-방향에서 비구면 출력파(56)에 관련하여 오프셋되고, 출력파(60_x^{+1}, 60_x^{-1})는 -y- 및 +x- 또는 -x-방향에서 비구면 출력파(56)에 관련하여 오프셋된다. 출력파(60_x^{+1}, 60_x^{-1})는 마찬가지로 평면파이고, +1차 및 -1차 회절에서 x-선형 격자로서 구성된 위상 함수(f_4)에 의해 발생된다. 도시된 실시예에서, 구면 출력파(58)의 전파 방향은 비구면 출력파(56)의 전파 방향에 비교하여 +x- 및 +y-방향에서 경사진다.

[0081] 그 동안에 광학 요소가 도 1에 도시된 바와 같이 비구면 출력파(56)의 빔 경로 내에 배열되어 있는 광학 요소(14)의 측정 전에, 측정 시스템(10)은 초기에 캘리브레이션 모드에서 동작된다. 이 모드에서, 도 6에 도시된 바와 같이, 캘리브레이션 구체(62)가 초기에 회절 광학 요소(50)에 관련하여 출력파측에, 정확히 말하면 구면 출력파(58)의 빔 경로 내에 광학 요소(14) 대신에 배열된다.

[0082] 구면 출력파(58)는 캘리브레이션 구체(62) 상에 입사되고, 캘리브레이션 구체의 형상은 절대적으로 미리 결정된다. 이 절대적 결정은 예를 들어, 통상의 기술자에 공지된 전단 기술에 의해 또는 마찬가지로 공지된 3 위치

테스트에 의해 유도될 수 있다.

[0083] 캘리브레이션 구체(62)에서의 반사 후에, 구면 출력파(58)는 회절 광학 요소(50)를 통해 통과하고, 간섭계 카메라(45)의 렌즈 시스템(46)에 의해 간섭계 카메라(45)의 카메라 칩(48)의 검출 영역(47) 상으로 유도된다. 간섭 패턴이 기준파(40)와의 중첩에 의해 검출 영역(47) 상에 발생되고, 이 간섭 패턴으로부터, 이상적인 구면파의 형태의 그 의도된 파면으로부터의 구면 출력파(58)의 편차가 평가 장치(49)에 의해 결정된다. 따라서, 출력파(58)의 실제 파면은 캘리브레이션 구체(62)에 의해 절대적으로 결정된다. 그 의도된 파면으로부터 구면 출력파(58)의 편차는 캘리브레이션 편차(K1)로서 저장된다.

[0084] 캘리브레이션 구체는 회절 광학 요소(50)의 출력파측 빔 경로로부터 재차 거기서 제거되고, 대신에 (a)에서 출력파(60_y^{+1})에 대해 그리고 (b)에서 출력파(60_y^{-1})에 대해 도 7에 도시된 바와 같이, 평면 미러(64)가 평면 출력파(60_y^{+1}, 60_y^{-1}, 60_x^{+1}, 60_x^{-1})의 각각의 빔 경로 내에 연속적으로 배열된다. 평면 미러(64)는 각각의 경우에, 적절한 출력파(60_y^{+1}, 60_y^{-1}, 60_x^{+1} 또는 60_x^{-1})가 자체로 반사되어 입력파(42)의 빔 경로 내에서 회절 광학 요소(50)를 통해 통과한 후에 측정 시스템(10)의 간섭계(16)로 복귀하고 카메라 칩(48)의 검출 영역(47) 상에서 기준파(40)와 간섭하도록 배열된다.

[0085] 카메라 칩(48)은 2개의 출력파(60_y^{+1}, 60_y^{-1})의 각각에 대해 각각의 간섭 패턴을 기록한다. 전술된 바와 같이, 2개의 출력파(60_y^{+1}, 60_y^{-1})는 위상 함수(f_3)에 의해 형성된 y-선형 격자에서 +1차 및 -1차 회절에서의 회절에 의해 발생된다. 2개의 출력파(60_y^{+1}, 60_y^{-1})에 대해 기록된 간섭 패턴은 평가 장치(49)에서 서로 조합되어, 그 결과 위상 함수(f_3)의 왜곡의 x-좌표가 회절 광학 요소(50) 상의 회절 구조 패턴(54)의 전체 영역에 걸쳐 설정되게 된다. 일 실시예에 따르면, 2개의 간섭 패턴 사이의 차이가 이 경우에 형성된다.

[0086] 동일한 평가가 2개의 출력파(60_x^{+1}, 60_x^{-1})에 대해 발생한다. 그 결과, 회절 구조 패턴(54)의 전체 영역에 걸친 위상 함수(f_4)의 왜곡의 y-좌표가 회절 광학 요소(50) 상에 설정된다. 전체 회절 구조 패턴(54)의 x- 및 y-좌표의 왜곡은 이와 같이 얻어진 왜곡 좌표로부터 거기서 추론된다. 이 왜곡 벡터 필드는 다른 캘리브레이션 편차(K2)로서 저장되고, 구면 출력파(58) 및 비구면 출력파(56)를 보정하는 기능을 한다.

[0087] 더욱이, 출력파(60_y^{+1}, 60_y^{-1}) 및 출력파(60_x^{+1}, 60_x^{-1}) 및 구면 출력파(58)의 간섭 패턴은 예를 들어, 이것이 따라서 회절 광학 요소(50)의 회절 구조 패턴(54)을 갖는 기판 표면의 형상 또는 프로파일 편차를 설정하는데 사용될 수 있는 이러한 방식으로 합산함으로써 서로 조합될 수 있다. 이와 같이 설정된 형상 및 프로파일 편차는 또한 다른 캘리브레이션 편차(K3)로서 저장된다.

[0088] 마지막으로, 광학 요소(14)의 광학면(12)은 측정 시스템(10)에 의해 측정된다. 이를 위해, 광학 요소(14)의 형태의 시험 물체는 도 1에 도시된 바와 같이, 비구면 출력파가 광학면(12) 상에 자동 시준되어 입사되고 거기서 반사되도록 비구면 출력파(56)의 빔 경로에 배열된다. 반사된 파는 거기서 회절 광학 요소(50)를 통해 복귀 측정파(66)로서 간섭계(16)로 복귀한다. 복귀 측정파(66)는 검출 영역(47)에서 기준파(40)와 간섭하고, 이에 의해 간섭도(interferogram)를 생성한다. 간섭도는 평가 장치(49)에 의해 평가되고, 이 간섭도는 그 의도된 형상으로부터 광학면(12)의 실제 형상의 편차를 설정하는데 사용된다. 미리 설정된 모든 캘리브레이션 편차는 평가 중에 고려된다.

[0089] 캘리브레이션 편차(K1, K2)에 의해, 방법은 기판(50)의 기판 에러 및 회절 구조 패턴(54)의 왜곡의 결과로서의 에러들을 제거하는 것을 가능하게 한다. 더욱이, 캘리브레이션 편차(K3)에 의해, 방법은 회절 구조 패턴(54)의 형상의 에러 또는 프로파일 편차를 감소시키는 것을 가능하게 한다.

[0090] 도 8 내지 도 12는 도 1로부터 측정 시스템(10)에 사용을 위한 회절 광학 요소(50)의 다른 실시예를 도시한다. 도 8에 도시된 바와 같이, 이 회절 광학 요소(50)의 회절 구조 패턴(54)은, 구조 패턴(54)에서의 회절에 의해, 입력파(42)가 도 2의 회절 구조 패턴에 의해 또한 발생된 비구면 출력파(56)에 추가하여 3개의 구면 출력파(70, 72, 74)로 또한 변환되도록 구성된다.

[0091] 도 9는 방향 공간에서 출력파(56, 70, 72, 74)를 도시한다. 구면 출력파(70, 72, 74)가 비구면 출력파(56) 주

위에 배열되는 것을 이 도시로부터 추측하는 것이 가능하다. 여기서, 구면 출력파(70, 72, 74)의 방향 벡터는 삼각형을 형성한다. 비구면 출력파(56)의 방향 벡터는 유리하게는 삼각형 내에 놓인다.

[0092] 도 10은 도 8에 따른 구조 패턴(54)의 복합 인코딩된 위상 격자(f_G)의 구성을 도시한다. 도 5에서와 같이, 도 10에 표시되어 있는 위상 격자(f_G)의 부분은 대응 구조 패턴(54)의 상당히 확대된 섹션이다. 50 ㎛의 모서리 길이를 갖는 정사각형만이 도시되어 있다. 도 12에 도시된 바와 같이, 일 실시예에 따른 회절 광학 요소(50)는 500 ㎜의 모서리 길이를 갖는 정사각형 기판(52) 상에 배열된다. 본 실시예에서, 회절 구조 패턴(54)은 원형이고, 기판(52)을 거의 덮는다.

[0093] 도 10에 도시된 바와 같이, 도 8에 따른 구조 패턴(54)의 복합 인코딩된 위상 격자(f_G)는 개별 위상 함수(f_1 내지 f_4)를 포함한다. 입력파(42)가 회절 광학 요소(50) 상에 방사될 때 개별 출력파가 적절한 회절에 의해 각각의 개별 위상 함수(f_1 내지 f_4)에 대해 발생된다.

[0094] 그 파면이 측정될 광학 요소(14)의 광학면(12)의 의도된 형상에 순응되는 비구면 출력파(56)는 위상 함수(f_1)에서 발생된다. 비구면 출력파(56)는 측정파로서 기능한다. 구면 출력파(70)는 위상 함수(f_2)에서 발생되고, 구면 출력파(72)는 위상 함수(f_3)에서 발생되고, 구면 출력파(74)는 이상 함수(f_4)에서 발생된다. 40% 가중치에서, 위상 함수(f_1)는 나머지 위상 함수(f_2 내지 f_4)의 2배만큼 강하게 가중되는데, 그 가중치는 각각의 경우에 20%이다. 3개의 구면 출력파(70, 72, 74)는 또한 캘리브레이션파라 칭할 수도 있다.

[0095] 적절한 도면에서, 도 11은 먼저 단일의 통과 중에 도 8에 따른 회절 광학 요소(50)의 회절 효율(E)과, 다음에 첫째로는 비구면 출력파(56)(FF)에 대해 그리고 둘째로는 구면 출력파(70, 72, 74)(SP1, SP2, SP3)에 대해, 간섭 측정 시스템의 카메라 칩(48)에 의해 등록된 간섭 패턴의 회절 광학 요소(50)를 통한 2회의 통과 중에 콘트라스트(C)를 도시한다. 도면에서, 대응 회절 효율 또는 콘트라스트는 비구면 출력파(56)(FF)를 발생하기 위한 위상 함수(f_1)의 가중치에 따라 플롯팅되어 있다. 도면은 피조 요소(36)가 0.4%를 반사하고, 비구면 영역의 광학면(12)이 4%를 반사하고, 구면 출력파(70, 72, 74)에 순응된 캘리브레이션 구체의 광학면이 각각의 80%를 반사하는 실시예에 관련된다. 40%를 갖는 도 10에 따른 f_1의 가중치의 경우에, 이는 25% 약간 미만의 단일 통과의 회절 효율을 야기하고, 반면에 콘트라스트는 90%를 약간 초과한다는 것이 도면으로부터 명백해진다. 구면 출력파(70, 72, 74)의 콘트라스트는 이어서 거의 85%에 있다.

[0096] 도 2에 따른 회절 광학 요소(50)에 의한 광학 요소(14)의 광학면(12)의 측정에 유사하게, 도 8에 따른 회절 광학 요소(50)를 사용할 때 측정 시스템(10)은 초기에 캘리브레이션 모드로 동작된다. 이를 위해, 구면 출력파(70, 72, 74)에 순응된 캘리브레이션 구체는 출력파(70, 72, 74)의 각각의 빔 경로 내에 대응 방식으로 연속적으로 배열되고 각각의 경우에 간섭계에 의해 측정된다. 간섭 측정 결과는 각각이 구면 출력파(70, 72, 74)에 대한 캘리브레이션 측정 데이터로서 평가 장치(49) 내에 저장된다.

[0097] 비구면 출력파(56)에 의한 광학 요소(14)의 형태의 시험 물체의 광학면(12)의 후속의 측정시에, 이에 의해 얻어진 측정 데이터는 저장된 캘리브레이션 측정 데이터를 고려하여 평가 장치(49)에 의해 평가된다. 구면 출력파(70, 72, 74)의 측정 중에 얻어진 캘리브레이션 측정 데이터가 고려되기 때문에, 회절 광학 요소(50)의 제조 에러는 광학면(12)의 측정 결과에서 보정될 수 있고, 그 결과 광학면(12)의 형상은 높은 정확도로 결정될 수 있다. 여기서 보정될 수 있는 제조 에러는 회절 광학 요소(50)의 회절 구조 패턴(54)을 갖는 기판 표면의 형상 또는 프로파일 편차와, 회절 구조 패턴(54)의 왜곡 효과를 포함한다.

[0098] 따라서, 회절 구조 패턴(54)의 왜곡 에러의 명시적 측정을 생략하는 것을 가능하게 한다. 3개의 구면파를 사용하여 광학면(12)의 형상 측정을 캘리브레이팅하는 선택권은 더 양호한 에러 버젯(budget)을 성취하는 것을 가능하게 한다. 특히, 이는 구면 출력파(70, 72, 74) 및 비구면 출력파(56)에서의 회절 구조 패턴(54)의 형상 또는 프로파일 편차가 매우 유사한 편차를 발생하는 사실에 기인한다. 따라서, 이들 형상 또는 프로파일 편차는 대부분 캘리브레이팅될 수 있다.

[0099] 도 8에 따른 실시예에서 회절 구조 패턴(54)에 의해 형성된 회절 격자는 50 ㎛ 모서리 길이를 갖는 임의의 정사각형 부분 영역에 걸쳐 1 ㎜ 모서리 길이를 갖는 회절 격자의 정사각형 측정 영역 내에서 평균화된 격자 라인의 줄무늬 밀도가 밀리미터당 20개 미만의 라인 쌍의 전폭에 걸쳐 연장하는 변동을 갖도록 구성된다.

[0100] 예로서, 도 12를 참조하여 이하에 설명되는 바와 같이, 격자 라인의 줄무늬 밀도의 변동을 설정하는 것이 가능

하다. 회절 광학 요소(50)의 기판(52) 상에 배열되고 일 실시예에 따르면 대략 500 ㎜의 직경을 갖는 원형 형태를 갖는 회절 구조 패턴(54)은 1 ㎜의 변 길이를 각각 갖는 개별 정사각형 측정 영역(MF)으로 세분된다. 측정 영역(MF)은 이어서 50 ㎛의 각각의 변 길이를 갖는 개별 정사각형 부분 영역(TF)으로 세분된다.

[0101] 정사각형 부분 영역(TF) 내에서, 각각의 주기 거리(d_i)는 각각의 격자 라인(GL)을 따른 측정점(i)에서 설정되고, 이 측정점은 각각의 경우에 1 ㎛만큼 분리되어 있다. 주기 거리(d_i)는 측정점(i)에서 격자 라인(GL)의 폭과 일 측에서 그에 인접하는 다음의 격자 라인으로의 공간의 폭의 합으로부터 발생한다. 측정된 주기 거리(d_i)는 역수를 형성함으로써 줄무늬 밀도값(D_i)으로 변환된다. 이와 같이 얻어진 줄무늬 밀도(D_i)에 대한 값은 관련 부분 영역(TF) 내의 모든 격자 라인(GL)의 전체 측정점(i)에 걸쳐 평균화된다.

[0102] 이러한 것은 정사각형 측정 영역(MF) 내의 모든 부분 영역(TF)에 대해, 즉 400개의 부분 영역에 대해 유도된다. 따라서, 평균 줄무늬 밀도(D_M)는 측정 영역(MF) 내의 모든 부분 영역(TF)에 대해 결정된다. 상기 설명에 따르면, 개별 부분 영역(TF)에 대한 평균 줄무늬 밀도(D_M)의 변동은 밀리미터당 20개 미만의 라인 쌍의 전폭을 갖는다. 그 결과, 측정 영역(MF) 내의 다양한 부분 영역(TF)에 대해 설정된 평균 줄무늬 밀도(D_M)는 밀리미터당 20개 미만의 라인 쌍만큼 변화한다. 예로서, 평균 줄무늬 밀도(D_M)가 모든 부분 영역(TF)에 걸쳐 밀리미터당 200개의 라인이 있으면, 줄무늬 밀도는 전술된 설명에 따르면, 최대한 밀리미터당 190개 내지 210개의 라인의 범위 내에서 변화할 수도 있다.

[0103] 도 13 및 도 14는 도 8에 따른 실시예에서 회절 구조 패턴(54)의 다른 특성을 도시한다. 여기서, 도 13은 회절 구조 패턴(54)에 의해 형성된 회절 격자의 50 ㎛ 모서리 길이를 갖는 정사각형 섹션을 도시하고, 도 14는 격자 라인(GL) 중 하나가 포함되는 도 13으로부터의 섹션 A를 도시한다.

[0104] 도 13에 도시된 회절 격자는 각각의 경우에 이웃하는 격자 라인(GL) 사이의 중심간 거리에 의해 결정된, 회절 격자에 걸쳐 평균화된 평균 주기 거리(p)를 갖는다. 도 12를 참조하여 전술된 설정된 주기 거리(d_i)를 평균화함으로써 평균 주기 거리를 결정하는 것이 또한 가능하다.

[0105] 격자 라인(GL)은 파형 형태를 가져, 정확하게 말하면 격자 라인의 평균 파 주기(λ)가 회절 격자의 평균 주기 거리(d)의 3배 내지 20배의 영역 내에 있게 된다. 더욱이, 격자 라인(GL)은 회절 격자의 평균 주기 거리(p)의 0.1배 내지 3배의 영역 내에 있는 이들의 종방향 범위에 횡방향으로 전폭(Δ)에 걸쳐 변동을 갖는다.

[0106] 도 14에 도시된 바와 같이, 전폭(Δ)은 직선 경계 라인(76)에 의해 근사되는 대응 격자 라인(GL)의 에지 경계와, 대응 근사된 경계 라인(76)에 관련하여 결정되는 파 마루(peak) 및 파 골(trough)에서의 격자 라인(GL)의 편차에 의해 결정될 수 있다. 이들 편차의 합, 즉 파 마루에서의 편차(δ1)와 파 골에서의 편차(δ2)의 합은 편차의 전폭(Δ)을 생성한다. 그러나, 전폭(Δ)은 또한 보조 라인이 격자 라인(GL)에 인접할 때까지 일 측으로부터 격자 라인을 향해 압박되는 직선 보조 라인(78)에 의해 결정될 수 있다. 격자 라인(GL)의 에지 경계와 보조 라인(78) 사이의 최대 거리가 이어서 마찬가지로 전폭(Δ)에 대응한다.

[0107] 도 15 및 도 16은 회절 줄무늬 패턴(54)의 다른 실시예에 의해 발생된 방향 공간에서 출력파의 도시를 도시한다. 양 실시예에서, 캘리브레이션파로서 기능하는 4개의 다른 개별 구면 출력파(70, 72, 74, 80)는 입력파(42)로부터의 줄무늬 패턴(54)에서의 회절에 의해, 측정파로서 기능하는 중앙에 배열된 비구면 출력파(56)에 추가하여 발생된다. 여기서, 구면 출력파(70, 72, 74, 80)는 이들 구면 출력파가 비구면 출력파에 대해 대칭으로 놓이지 않도록, 즉 방향 공간에서의 도시의 평면에서 비구면 출력파(56) 상의 각각의 점을 경면대칭(mirroring)시킴으로써 형성된 각각의 대향 "공간"이 자유롭게 남아 있도록 배열된다. 달리 말하면, 쌍을 이룬 구면 출력파(70, 72, 74, 80)의 각각의 평균 전파 방향은 각각의 경우에 비구면 출력파(56)의 평균 전파 방향에 의해 형성된 축에 관련하여 서로 대칭으로 배열되지 않는다.

[0108] 도 15에 따른 실시예에서, 구면 출력파(80, 70)는 방향 공간에서 도시의 평면에서, 비구면 출력파(56)의 전파 방향에 횡방향으로 배열된 대칭축에 관련하여 구면 출력파(72, 74)에 대칭으로 배열된다. 도 16에 따른 실시예에서, 이 대칭은 결여되어 있지만, 구면 출력파(70, 74 뿐만 아니라 72, 76)는 각각의 경우에 방향 공간에서 도시의 평면에서 비구면 출력파(56)를 통해 연장하는 직선 상에 배열된다.

[0109] 4개의 구면 출력파의 사용은 단지 3개의 구면 출력파의 사용에 비교하여, 부기의 자유도에 기인하여 광학 요소(14)의 광학면(12)의 형상 측정의 캘리브레이션 중에 격자 결함에 대한 민감성이 최소화되는 구성을 발견하는 것을 가능하게 한다.

[0110] 전술된 실시예들 중 하나에서 회절 광학 요소(50)의 일 변형예에 따르면, 회절 구조 패턴(54)은 도 10으로부터 위상 패턴(f_G)의 예를 사용하여 도 17에 도시된 바와 같이, 다레벨 위상 격자로서 구체화된다. 통상의 기술자가 잘 인식하고 있는 바와 같이, 다레벨 위상 격자는 최고 레벨과 최저 레벨 사이의 적어도 하나의 중간 레벨을 갖는 위상 격자를 의미하는 것으로 이해되어야 한다. 따라서, 이러한 위상 격자는 적어도 3개의 레벨을 갖는데, 4개의 레벨이 도 17에 도시된 실시예에서 제공되어 있다. 다레벨 이상 격자의 사용은 적어도 부분적으로는, 착수된 복합 인코딩에 의해 유도된 회절 효율 손실을 보상하거나 심지어 과보상하는 것을 가능하게 한다.

[0111] 도 18 및 도 19는 렌즈 요소 또는 미러의 형태의, 특히 EUV 투영 노광 장치용 미러의 형태의, 본 발명에 따라 제조된 광학 요소(14)의 실시예를 도시한다. 광학 요소(14)는 자유 곡면으로서 형성된 광학면(12)을 갖는다. 제조 중에, 광학 요소(14)의 광학면(12)은 제조 정확도에 따라 자유 곡면의 형태의 미리 결정된 의도된 형상에 근사하도록 초기에 구성되었다. 근사된 광학면(12)은 본 발명에 따른 실시예들 중 하나에서 회절 광학 요소(50)를 사용하여 간섭 측정 시스템(10)에 의해 거기서 측정되었고, 따라서 의도된 형상으로부터 상기 광학면의 편차가 높은 정확도로 결정되었다. 광학면(12)은 상기 광학면이 이하에 지정된 사양을 갖도록 측정 결과에 기초하여 적합한 점들에서 더 처리되었다.

[0112] 광학 요소(14)를 평면도로 도시하고 있는 도 18에서 대략 원형인 광학면(12)의 직경(d)을 식별하는 것이 가능하다. 도시된 실시예에서, 직경(d)은 대략 600 mm이다. 도 19는 광학 요소(14)의 축(80)을 따른 광학 요소의 개략 단면도를 도시한다. 축(80)은 광학면(12)의 의도된 형상(84)에 대해 최적합성을 갖고 도면에서 z - 방향으로 배열되어 있는 회전 대칭 비구체(82)의 회전축이다. 이미 전술된 바와 같이, 의도된 형상(84)은 자유 곡면의 형태를 갖고, 따라서 회전 대칭이 아니다. 도 19에 도시된 의도된 형상(84)으로부터 광학면(12)의 편차는 예시의 목적으로 개략적인 방식으로 매우 확대되어 도시되어 있다.

[0113] 최적합성을 갖는 회전 대칭 비구체(82)로부터 의도된 형상(84)의 최대 편차(Δ)는 본 실시예에서 대략 6 ㎛이고, 따라서 5 ㎛ 초과이다. 의도된 형상(84)으로부터 광학면(12)의 실제 형상의 편차는 2차원 편차 D(x, y)에 의해 기술되고, 여기서 x 및 y는 광학면(12) 상의 좌표를 나타낸다. d/100, 즉 대략 5 mm 내지 d/5, 즉 대략 100 mm의 진동 파장을 갖는 발진을 추적해 가는 D(x,y)에서의 편차들은 최대한 0.05 nm이다.

[0114] 편차 D(x,y)는 푸리에 변환에 의해 실수 공간으로부터 주파수 공간으로 변환되고, 함수 d(v)가 얻어지는데, 여기서 v는 주파수를 나타낸다. 따라서, 상기에 지정된 진동 파장 범위의 경계값들에 대응하는 주파수들 사이의 영역에서 함수 d(v)의 진폭은 최대한 0.05 nm이다.

부호의 설명

[0115]

10: 간섭 측정 시스템	12: 광학면
14: 광학 요소	16: 간섭계
18: 광원	20: 조명 방사선
21: 레이저	22: 레이저빔
24: 포커싱 렌즈	26: 정지부
28: 확산빔	30: 렌즈-요소 그룹
32: 광축	34: 빔 스플리터
36: 피조 요소	38: 피조 영역
40: 기준파	42: 입력파
44: 평면 파면	45: 간섭계 카메라
46: 렌즈 시스템	47: 검출 영역
48: 카메라 칩	49: 평가 장치
50: 회절 광학 요소	52: 기판
54: 회절 구조 패턴	56: 비구면 출력파

58: 구면 출력파

60_x^{+1}: 평면 출력파

60_x^{-1}: 평면 출력파

60_y^{+1}: 평면 출력파

60_y^{-1}: 평면 출력파

62: 캘리브레이션 구체

64: 평면 미러

66: 복귀 측정파

70: 구면 출력파

72: 구면 출력파

74: 구면 출력파

76: 근사된 직선 경계 라인

78: 직선 보조 라인

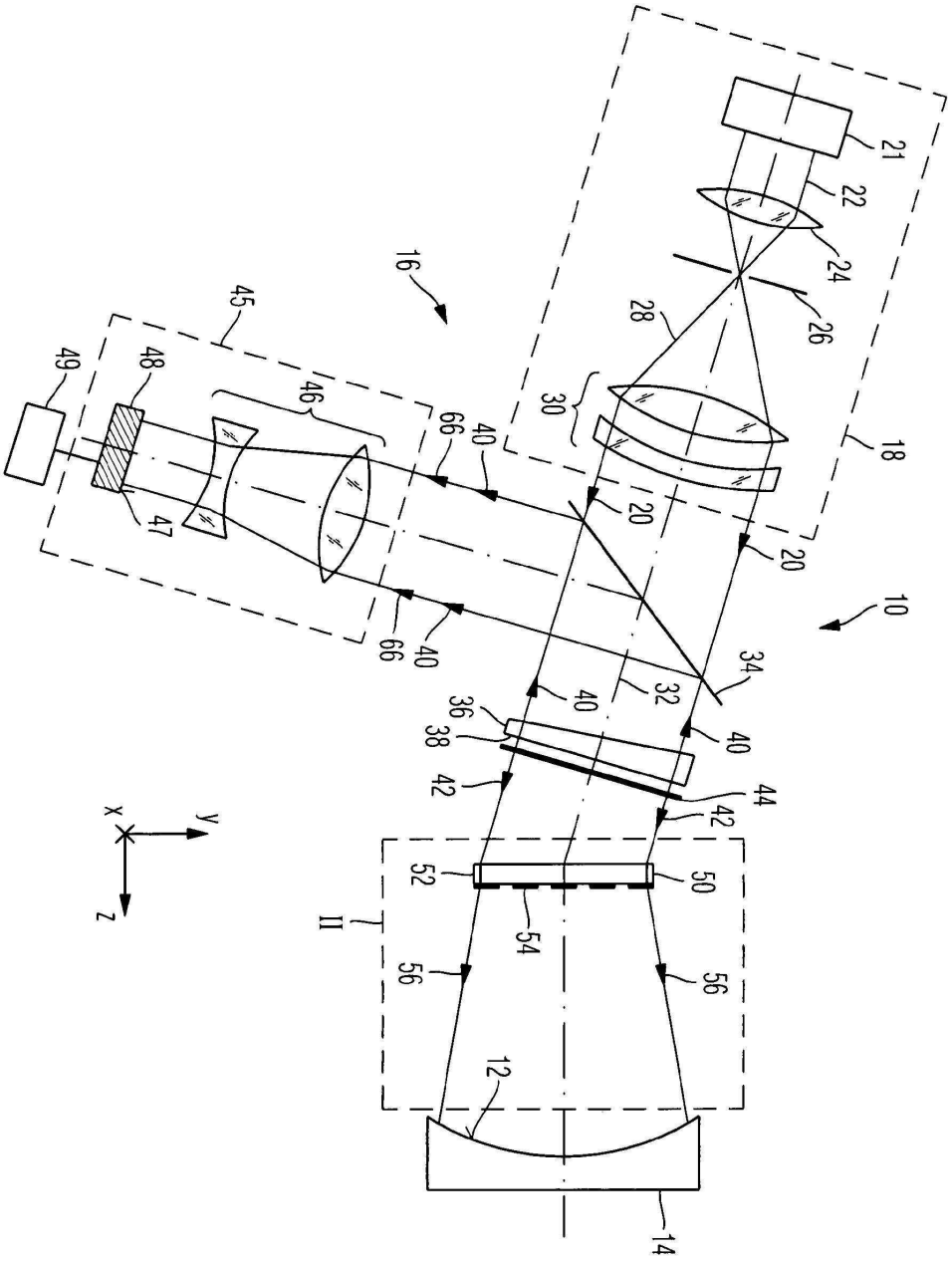
80: 회전축

82: 최적합성을 갖는 회전 대칭 비구체

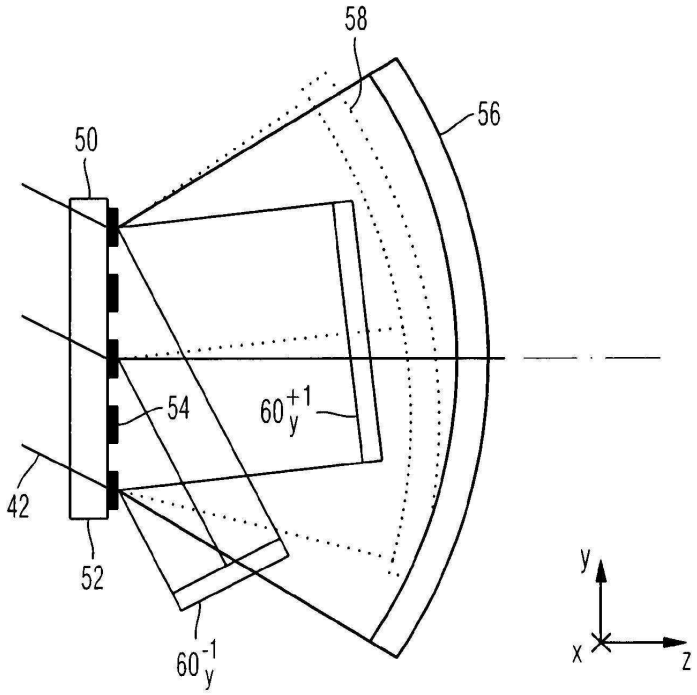
84: 의도된 형상

도면

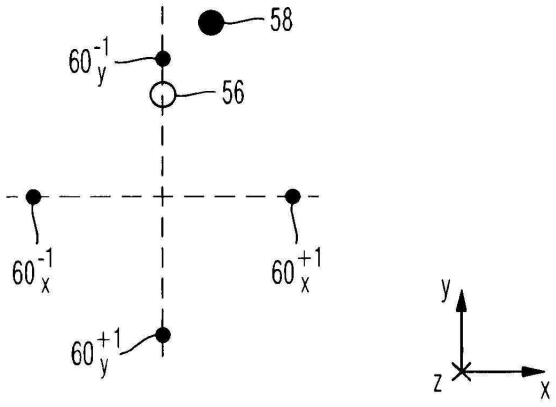
도면1


10
12
14
16
18
20
21
22
24
26
28
30
32
34
36
38
40
42
44
45
46
47
48
49
50
52
54
56
66
II
x
y
z

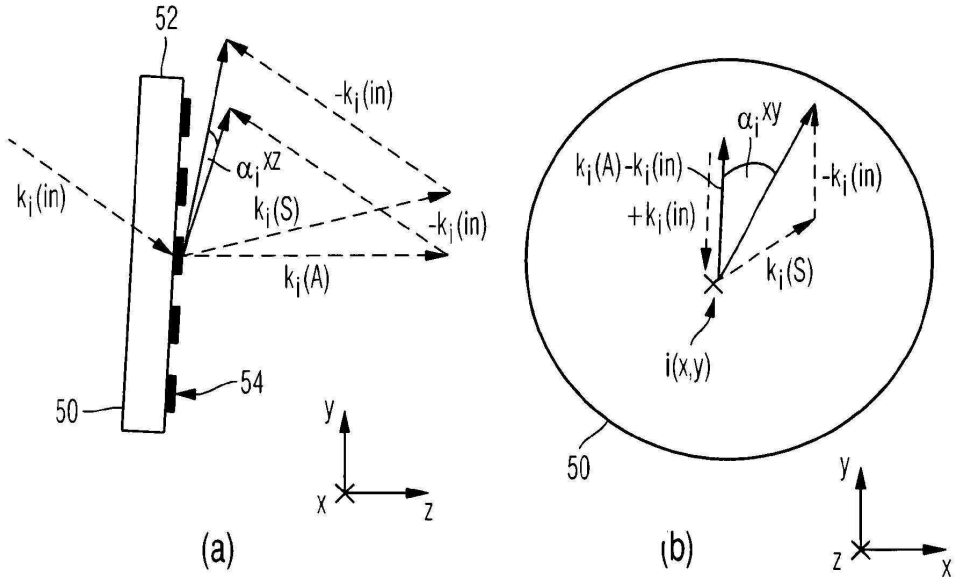
도면2



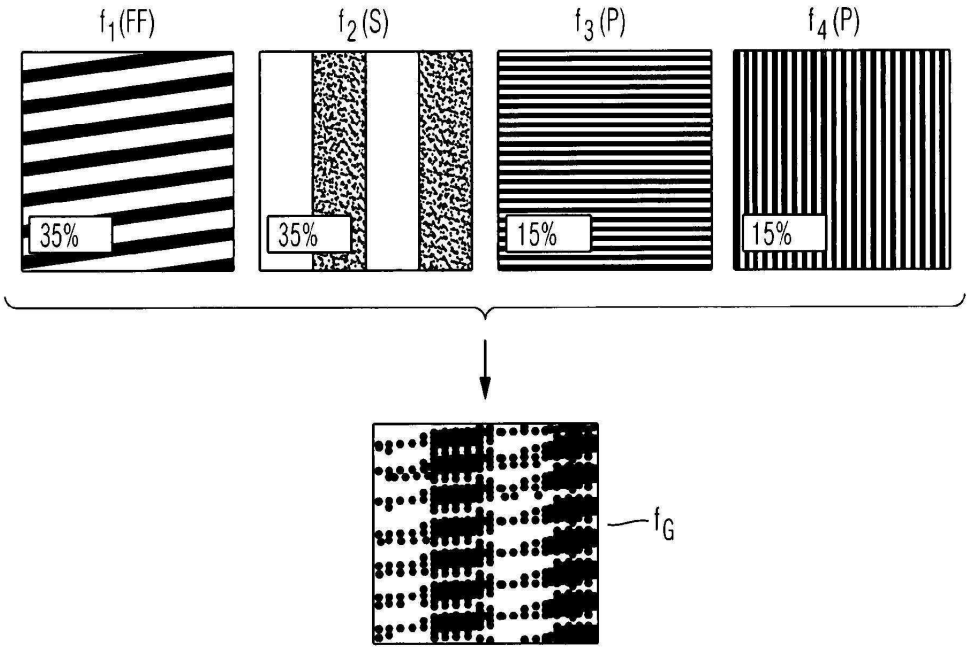
도면3



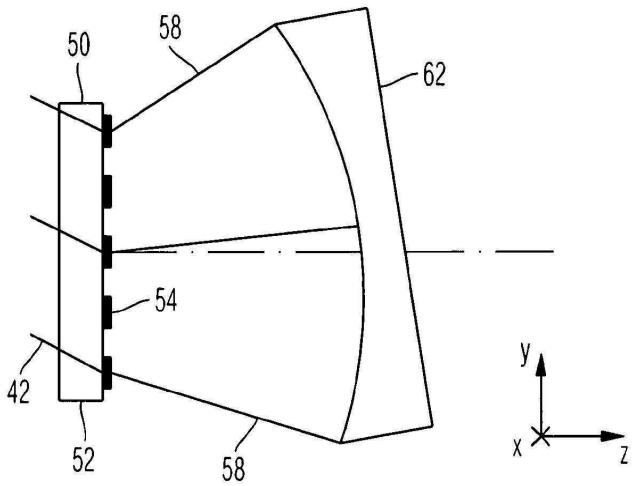
도면4


52
$-k_i(in)$
α_i^{xz}
$k_i(in)$
$k_i(S)$
$-k_i(in)$
$k_i(A)$
54
50
y
x
z
(a)
α_i^{xy}
$k_i(A)-k_i(in)$
$+k_i(in)$
$-k_i(in)$
$k_i(S)$
i(x,y)
50
y
z
x
(b)

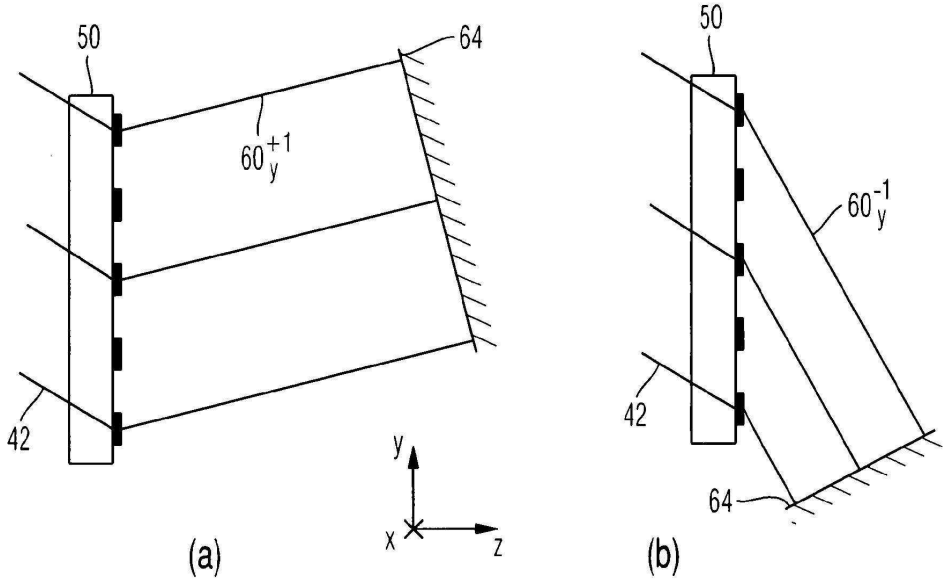
도면5


$f_1(FF)$
$f_2(S)$
$f_3(P)$
$f_4(P)$
35%
35%
15%
15%
f_G

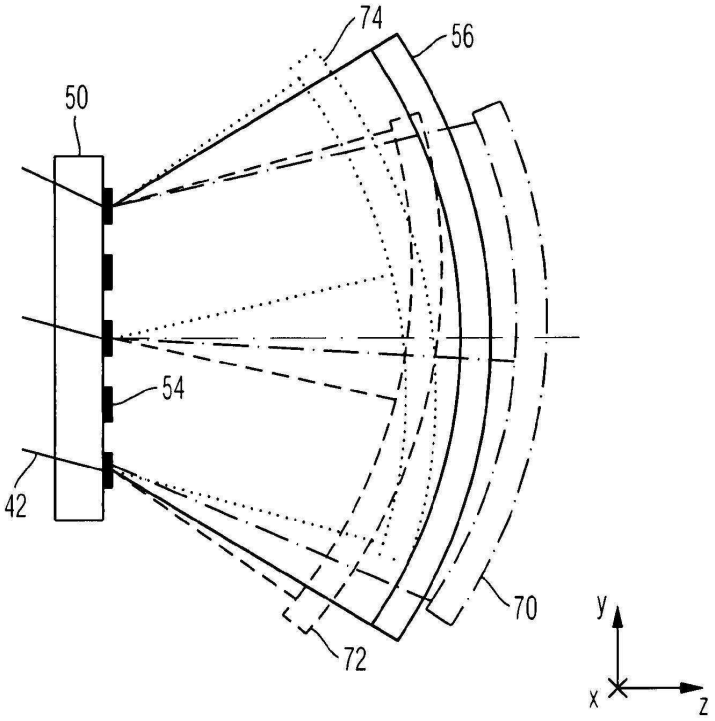
도면6



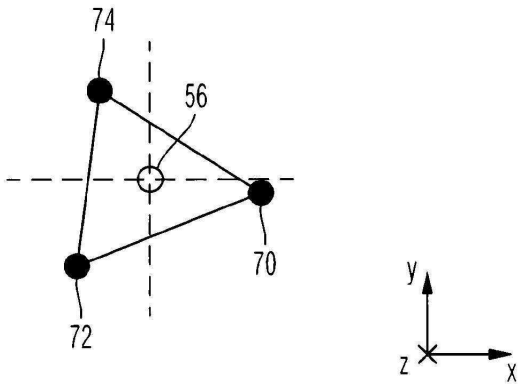
도면7



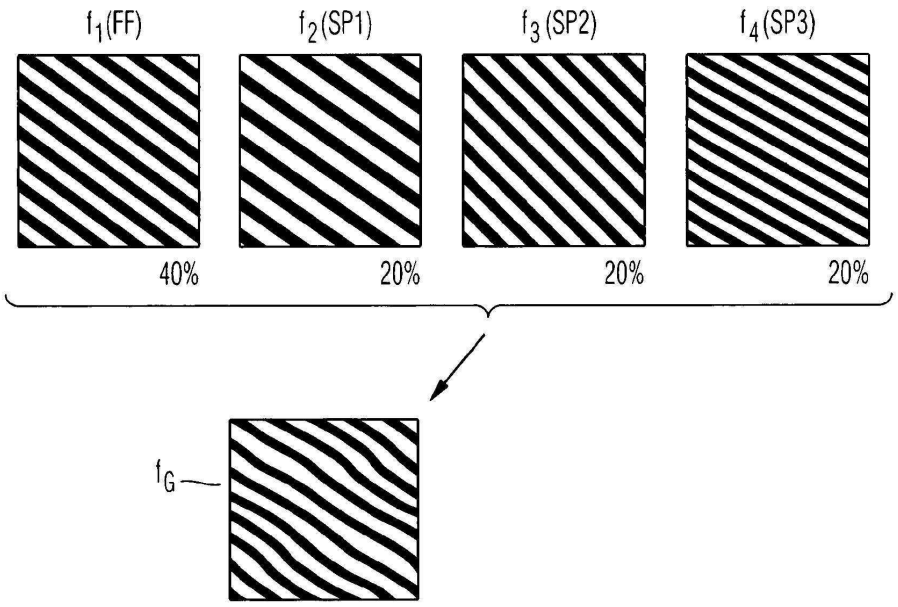
도면8



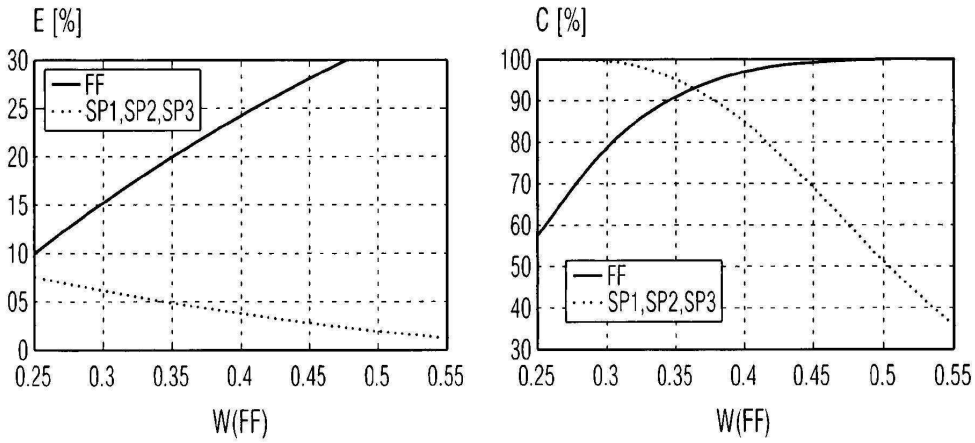
도면9



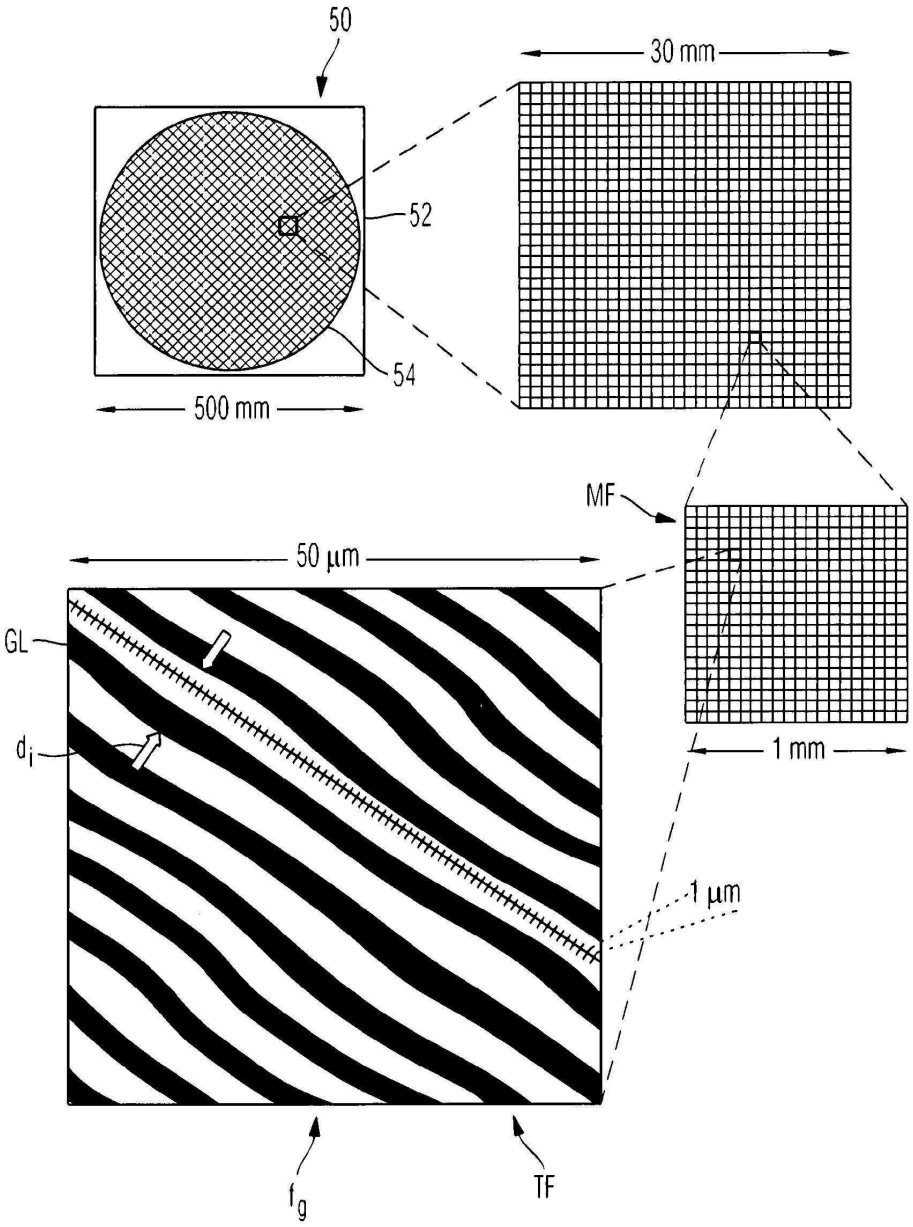
도면10


f1(FF)
f2(SP1)
f3(SP2)
f4(SP3)
40%
20%
20%
20%
fG

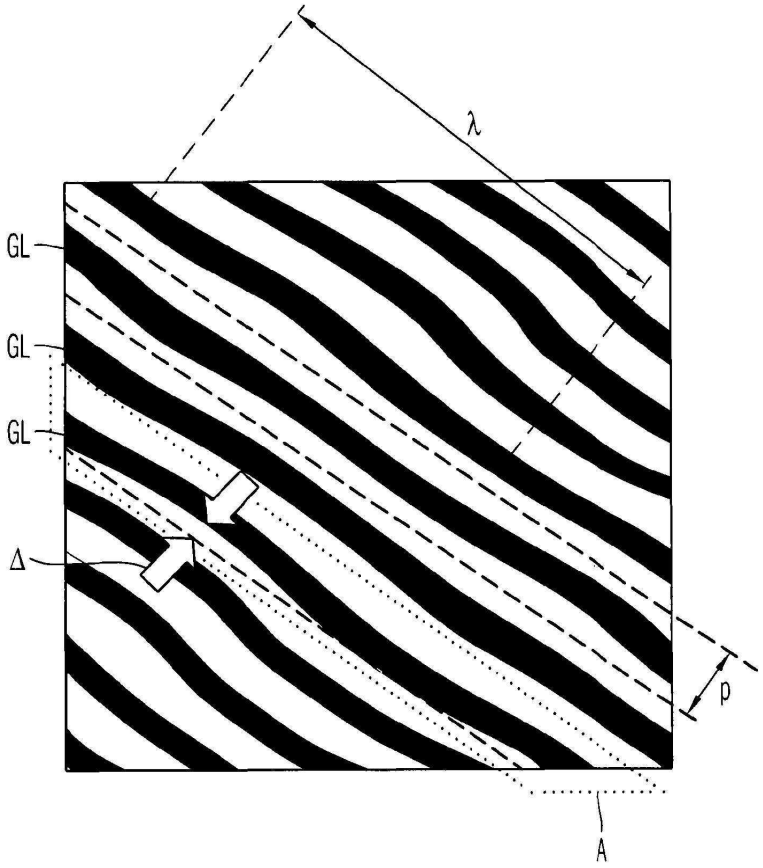
도면11


E [%]
30
25
20
15
10
05
0
FF
SP1,SP2,SP3
0.25
0.3
0.35
0.4
0.45
0.5
0.55
W(FF)
C [%]
100
90
80
70
60
50
40
30
FF
SP1,SP2,SP3
0.25
0.3
0.35
0.4
0.45
0.5
0.55
W(FF)

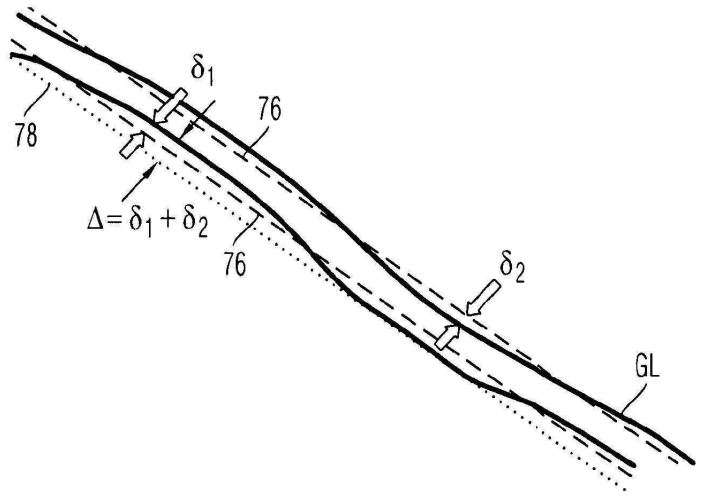
도면12



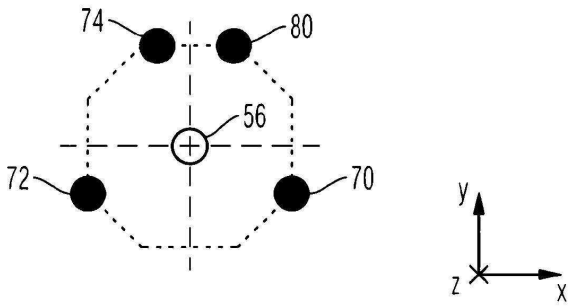
도면13



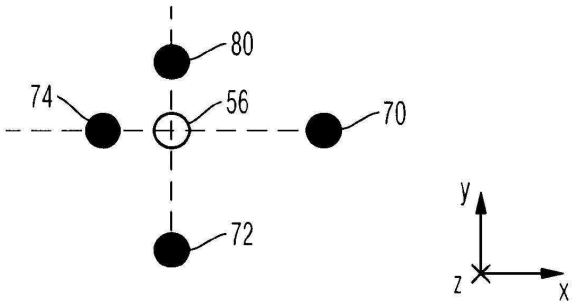
도면14



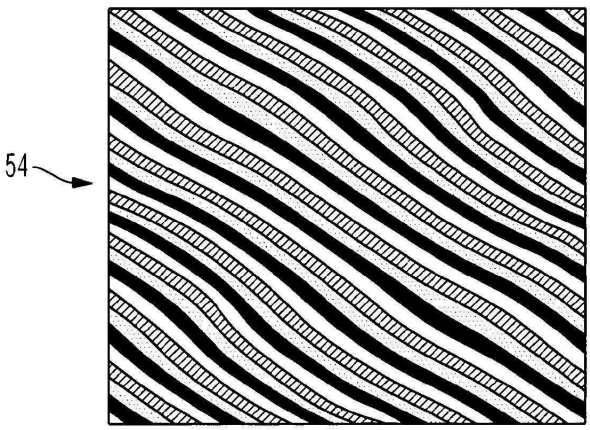
도면15



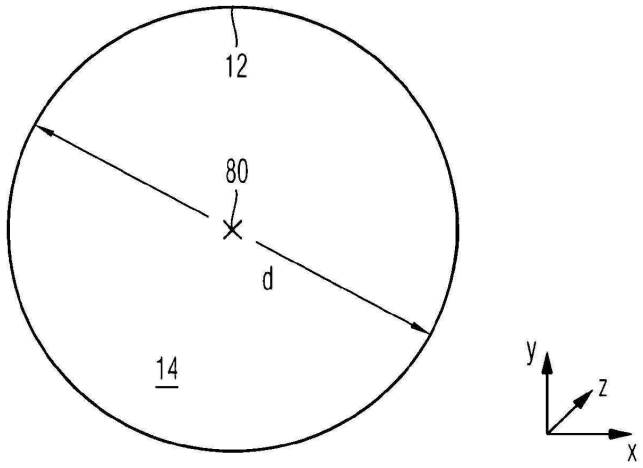
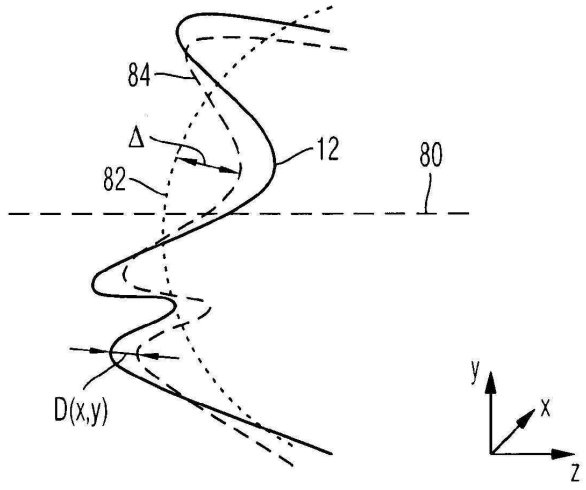
도면16



도면17



도면18



도면19