



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년02월25일

(11) 등록번호 10-1495670

(24) 등록일자 2015년02월16일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01B 5/012 (2006.01) G01B 11/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2012-7031904

(22) 출원일자(국제) 2011년04월27일

심사청구일자 2012년12월05일

(85) 번역문제출일자 2012년12월05일

(65) 공개번호 10-2013-0016358

(43) 공개일자 2013년02월14일

(86) 국제출원번호 PCT/EP2011/056689

(87) 국제공개번호 WO 2011/138206

국제공개일자 2011년11월10일

(30) 우선권주장

10162017.7 2010년05월05일

유럽특허청(EPO)(EP)

(56) 선행기술조사문헌

US6633051 B1

US5103572 A

US5118956 A

US5390424 A

전체 청구항 수 : 총 18 항

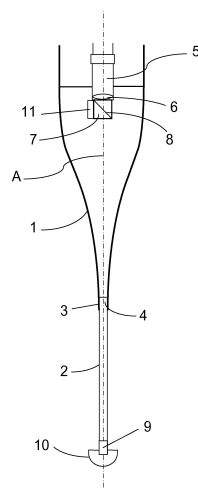
심사관 : 손병철

(54) 발명의 명칭 광학 모니터링 시스템을 갖는 표면 감지 장치

### (57) 요약

본 발명은 일반적으로 스타일러스 캐리어에 대해 중공 스타일러스의 팁의 변위를 측정하기 위한 광학 모니터링 시스템을 포함하는 표면 감지 장치에 관한 것이다. 본 발명에 따르면, 광학 모니터링 시스템의 발광 수단은 빔이 주어진 특징들 분포를 갖는 적어도 2개의 구별 가능한 광 특징들을 가지는 방식으로 구성된다. 광학 모니터링 시스템은 또한 광 귀환 경로에 있는 스타일러스 캐리어에 위치되고 광학 인코딩 구성요소(100) 상의 귀환 빔의 충돌 위치(50, 50')의 정보를 귀환 빔의 특징들 분포의 변경으로 변환하도록 설계된 광학 인코딩 구성요소(100)를 더 포함하고 검출기 수단은 적어도 2개의 구별 가능한 광 특징들에 대해 민감하고 귀환 빔의 변경된 특징들 분포에 의존하여 전기 출력 신호를 발생하도록 구성된다.

대 표 도 - 도1



## 특허청구의 범위

### 청구항 1

표면 감지 장치(surface sensing device)에 있어서,

- 베이스(basis),
- 측정될 표면에 접촉 또는 비접촉 측정을 위해 설치되고 유지되는 프로브 헤드(probe head)서, 상기 프로브 헤드는 적어도 하나의 조인트에 의해 상기 베이스에 이동 가능하게 연결되고, 스타일러스 캐리어(stylus carrier; 61, 161) 및 스타일러스 팁(stylus tip)을 갖는 중공 스타일러스(hollow stylus; 62, 62', 162)를 포함하는 프로브 헤드,
- 상기 스타일러스 캐리어에 대해 상기 스타일러스 팁의 변위를 측정하기 위한 광학 모니터링 시스템(optical monitoring system)으로서, 상기 광학 모니터링 시스템은,
  - 상기 스타일러스 팁을 향해 상기 스타일러스(62, 62', 162) 내부로 보내질 빔을 발생시키기 위한 발광 수단(light emitting means; 111, 112, 113, 114, 811, 812, 813, 814, 825, 825', 911)으로서, 상기 발광 수단(111, 112, 113, 114, 811, 812, 813, 814, 825, 825', 911)은 상기 빔의 적어도 부분들은 광 귀환 경로(optical return path)를 따라 전파하는 귀환 빔으로서 반사되는 발광 수단(111, 112, 113, 114, 811, 812, 813, 814, 825, 825', 911), 및
  - 상기 스타일러스 팁의 상기 변위를 나타내는 전기 출력 신호를 발생할 수 있는 상기 귀환 빔을 위한 검출기 수단(detector means; 141, 142, 143, 144, 145, 541, 542, 543, 544, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 941),을 포함하는 광학 모니터링 시스템,을 포함하는 표면 감지 장치에 있어서,
- 상기 발광 수단은 상기 빔이 주어진 특징들 분포(characteristics distribution)를 갖는 적어도 2개의 구별 가능한 광 특징들을 가지는 방식으로 구성되고,
- 상기 광학 모니터링 시스템은 상기 광 귀환 경로에 있는 상기 스타일러스 캐리어(61,161)에 위치되고 상기 광학 인코딩 구성요소(optically encoding component; 100, 200, 300, 500, 600)의 상기 귀환 빔의 상기 특징들 분포로의 변경 시 상기 귀환 빔의 충돌 위치(impinging position; 50, 50')의 정보를 변환하도록 설계되는 광학 인코딩 구성요소(100, 200, 300, 500, 600),를 더 포함하고,
- 상기 검출기 수단(141, 142, 143, 144, 145, 541, 542, 543, 544, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 941)은 상기 적어도 2개의 구별 가능한 광 특징들에 대해 민감하고 상기 귀환 빔의 상기 변경된 특징들 분포에 의존하여 상기 전기 출력 신호(electrical output signal)를 발생하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 표면 감지 장치.

### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 광학 인코딩 구성요소(100, 200, 300, 500, 600)는 상기 귀환 빔의 상기 특징들 분포가 상기 광학 인코딩 구성요소(100, 200, 300, 500, 600) 상의 상기 귀환 빔의 상기 충돌 위치에 따라 변환되고, 그 결과 상기 광학 인코딩 구성요소(100, 200, 300, 500, 600)로부터 상기 검출기 수단(141, 142, 143, 144, 145, 541, 542, 543, 544, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 941)으로 전파하는 수정된 특징들 분포를 갖는 상기 귀환 빔은 상기 귀환 빔에 의해 행해지는 상기 스타일러스 팁의 상기 변위의 광학 표시를 느슨하게(loosing) 하지 않고 광 파이버에 의해 상기 검출기 수단에 수정된 특징들 분포를 갖는 상기 귀환 빔의 광 웨이브가이딩이 가능하도록 상기 광 귀환 경로 내의 상기 귀환 빔의 정확한 전파 경로와는 독립적으로 상기 스타일러스 팁의 상기 변위를 나타내는 방식으로 설계되는 것을 특징으로 하는 표면 감지 장치.

### 청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

- 상기 표면 감지 장치는 관절식 아암(articulated arm)을 갖는 좌표 측정 기계로서 제공되고, 이들의 일단부는 상기 베이스를 형성하고, 이들의 다른 단부는 상기 프로브 헤드를 제거 가능하게 부착하기 위한 소켓을 포함하고,
- 상기 발광 수단(111, 112, 113, 114, 811, 812, 813, 814, 825, 825', 911), 및 상기 검출기 수단(141, 142, 143, 144, 145, 541, 542, 543, 544, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 941)은 상기 프로브 헤드 밖에 위치되고,
- 상기 발광 수단(111, 112, 113, 114, 811, 812, 813, 814, 825, 825', 911)에 의해 발생된 상기 빔 및 상기 광학 인코딩 구성요소(100, 200, 300, 500, 600)로부터 상기 검출기 수단(141, 142, 143, 144, 145, 541, 542, 543, 544, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 941)으로 전파하는 상기 귀환 빔은 광 파이버들에 의해 관절식 아암에서 웨이브가이딩 되고,

또는

- 상기 표면 감지 장치는:
  - 2개의 포탈 레그들(portal legs; 921, 922)로서, 상기 2개의 포탈 레그들(921, 922)은 상기 베이스에 이동 가능하게 연결되고 브리지(923)를 지지하는 2개의 포탈 레그들(921, 922),
  - 상기 브리지를 따라 이동 가능한 X-캐리지(924), 및
  - 상기 X-캐리지(924)에 이동 가능하게 연결되고 상기 프로브 헤드를 제거 가능하게 부착하기 위한 소켓을 포함하는 Z-컬럼(925)을, 포함하는 브리지-타입 좌표 측정 기계로서 제공하는 것을 특징으로 하는 표면 감지 장치.

#### 청구항 4

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 적어도 2개의 구별 가능한 광 특징들은,

- 상이한 파장들 또는 파장 범위들 또는
- 상이한 편광 상태들을,

가지는 상기 발생된 빔의 광 성분들에 의해 주어지고,

상기 특징들 분포는 각각의 광 성분의 부분 또는 일부에 의해 주어지는 것을 특징으로 하는 표면 감지 장치.

#### 청구항 5

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 광학 인코딩 구성요소(100, 200, 300, 500, 600)는 상기 광 귀환 경로에서 제2 광 파이버 컬리메이터(72)의 입사동 평면(entrance pupil plane)에 위치된 세그먼트화 광학 필터(segmented optical filter; 100, 200, 300, 500, 600)를 포함하고, 상기 필터(100, 200, 300, 500, 600)는 상이한 전송 특성들의 적어도 2개의 세그먼트들(101, 102, 103, 104, 105, 106, 201, 202, 203, 301, 302, 501, 502, 503)을 포함하는 것을 특징으로 하는 표면 감지 장치.

#### 청구항 6

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 광학 인코딩 구성요소(100, 200, 300, 500, 600)는 상기 귀환 빔의 상기 전파 방향에 수직인 방향에서 상기 귀환 빔의 편향을 수신 평면에서 국부적으로 변경할 수 있는 상기 귀환 빔을 위한 광학 회절 구성요소(303)를 포함하는 것을 특징으로 하는 표면 감지 장치.

#### 청구항 7

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 중공 스타일러스(62, 62', 162)는 스타일러스 길이(stylus length)를 가지며,

상기 광학 인코딩 구성요소(100, 200, 300, 500, 600)는 상기 스타일러스 길이의 변경들을 결정하기 위해 간섭 거리 측정을 위한 신호를 전송하도록 설계된 세그먼트를 포함하는 것을 특징으로 하는 표면 감지 장치.

#### 청구항 8

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 귀환 빔은 빔 분배기(beam distributor; 19, 99)를 형성하는 적어도 하나의 빔 스플리터(beam splitter; 17, 97a, 97b)를 통과한 후 상기 광학 인코딩 구성요소(100, 200, 300, 500, 600)에 보내지는 것을 특징으로 하는 표면 감지 장치.

#### 청구항 9

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 광학 인코딩 구성요소는 세그먼트화 광학 필터(500)이고 상기 광학 인코딩 구성요소에는 편광-선택적 전송을 갖는 것을 특징으로 하는 표면 감지 장치.

#### 청구항 10

제1항 또는 제2항에 있어서,

- 상기 발광 수단(111, 112, 113, 114, 811, 812, 813, 814, 825, 825', 911)은 상이한 파장들을 방출하는 다수의 레이저 광원들(111, 112, 113, 114, 811, 812, 813, 814, 911)이고,
- 상기 검출기 수단(141, 142, 143, 144, 145, 541, 542, 543, 544, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 941)은 상기 상이한 파장들에 대해 민감한 다수의 검출기들(141, 142, 143, 144, 145, 541, 542, 543, 544, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 941)에 의해 형성되는 표면 감지 장치.

#### 청구항 11

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 발광 수단은 고휘도 광-방출 다이오드(825, 825')이고, 상기 고휘도 광-방출 다이오드(825, 825')의 스펙트럼 방출은 상기 광학 인코딩 구성요소(100, 200, 300, 600)에 의해 상기 귀환 빔에서 상기 검출기 수단(141, 142, 143, 144, 145, 541, 542, 543, 544, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 941)에 제공될 상이한 파장들의 복수의 부분 빔들로 분리되는 것을 특징으로 하는 표면 감지 장치.

#### 청구항 12

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 발광 수단(111, 112, 113, 114, 811, 812, 813, 814, 825, 825', 911)은 상이한 파장들로 방출되고 푸리에 스펙트럼에서 다수의 주파수들( $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$ ,  $f_4$ )에 대응하는 상이한 주파수들로 변조되는 다수의 레이저 광원들(111, 112, 113, 114, 811, 812, 813, 814, 911)이고, 상기 검출기 수단(145)은 상기 구별 가능한 광 특징들에 대해 민감하고, 상기 개개의 신호들은 아날로그 또는 디지털 변조에 의해 분리 가능한 것을 특징으로 하는 표면 감지 장치.

#### 청구항 13

제1항 또는 제2항에 있어서,

- 상기 프로브 헤드는 측정될 상기 표면에 대해 접촉 측정을 위해 설치되고 유지되기 위한 촉각 센서(80)를 포함하고,

또는

- 상기 프로브 헤드는 측정될 표면에 대해 접촉 측정을 위해 설치되고 유지되기 위한 광학-촉각 센서를 포함하고, 상기 광학-촉각 센서는 광-투과성 센서 팁 또는 광 전송을 위한 천공 센서 팁(perforated sensor tip)을 포함하고,

또는

- 상기 프로브 헤드는 측정될 상기 표면에 대해 무접촉 측정을 위해 설치되고 유지되기 위한 광 센서(85, 85')를 포함하는 것을 특징으로 하는 표면 감지 장치.

#### 청구항 14

제1항 또는 제2항에 있어서,

- 적어도 2개의 세그먼트들(105, 106)이 제공되는 추가의 세그먼트화 크로매틱 필터(600), 및
- 세그먼트화 광학 필터들(100, 200, 300, 600)와 조합하여 사용하기 위한 빔 스플리터들을 갖는 빔 분배기(99)로서, 상기 빔 분배기(99)는 빔-편향 프리즘들(96a, 96b), 빔 스플리터들(97a, 97b, 97c) 및 세그먼트화 크로매틱 필터들(segmented chromatic filter; 100, 200, 300, 600)을 포함하고, 하측 빔 스플리터(97a)는 Z-방향으로 이동 가능한 상측 스타일러스 단부에 부착되고, 빔 분배기(99)의 다른 부분들은 상기 스타일러스 캐리어(61)에 수용되어 고정되고, 상기 귀환 빔은 빔 스플리터(97a)에 의해 2개의 부분들로 분할되고, 2개의 부분들 중 하나의 부분은 세그먼트화 크로매틱 필터(100, 200, 300)를 보유하는(carrying) 빔 스플리터(97b)를 향해 전파하고, 상기 다른 부분은 프리즘(96b)을 통해 세그먼트화 크로매틱 필터(600)로 보내지는 빔 분배기(99),를 포함하는 3-축 측정 능력(X, Y, Z)이 제공되는 것을 특징으로 하는 표면 감지 장치.

#### 청구항 15

제1항 또는 제2항에 따른 표면 감지 장치를 위한 프로브 헤드로서, 상기 프로브 헤드는 측정될 상기 표면에 대한 접촉 또는 무접촉 측정을 위해 설치 및 유지되고, 스타일러스 캐리어(61, 161) 및 스타일러스 팁을 갖는 중공 스타일러스(62, 62', 162),를 포함하는 프로브 헤드에 있어서,

- 상기 프로브 헤드는 광 파이버에 의해 웨이브가이드되는 상기 표면 감지 장치로부터의 주어진 특정 분포들을 갖고 적어도 2개의 구별 가능한 광 특징들을 가지는 빔을 수신하는 수단 및 상기 광 파이버의 상기 광 파이버의 빔을 커플링-아웃(coupling-out)하고 상기 빔을 상기 스타일러스(62, 62', 162) 내에서 상기 스타일러스 팁을 향해 보내는 수단을 포함하며, 상기 빔의 적어도 부분들이 광 귀환 경로를 따라 전파하는 귀환 빔으로서 반사되는 프로브 헤드,
- 상기 스타일러스 캐리어에 대해 상기 스타일러스 팁의 변위를 측정하기 위한 광학 모니터링 시스템의 부분으로서의 광학 인코딩 구성요소(100, 200, 300, 500, 600)로서, 상기 광학 인코딩 구성요소(100, 200, 300, 500, 600)는 상기 광 귀환 경로에 있는 상기 스타일러스 캐리어(61, 161)에 위치되고, 상기 광학 인코딩 구성요소(100, 200, 300, 500, 600) 상의 상기 귀환 빔의 충돌 위치의 정보를 상기 귀환 빔의 상기 특징들 분포의 변경으로 변화하도록 설계되는 광학 인코딩 구성요소(100, 200, 300, 500, 600), 및
- 상기 표면 감지 장치에서 상기 귀환 빔의 광학 웨이브가이드가 가능하도록, 광 파이버로, 상기 변경된 특징들 분포를 가지는 상기 귀환 빔을 커플링-인 하는 수단,을 포함하는 것을 특징으로 하는 프로브 헤드.

#### 청구항 16

제15항에 있어서,

상기 스타일러스 캐리어(61, 161)는,

- 전송 파이버(119) 및 제1 광 파이버(117)와 제2 광 파이버(118)에 연결되는 서큘레이터(150)로서, 상기 서큘레이터(150)는,
  - 제1 광 파이버 커플리미터(71)에 연결된 상기 제1 광 파이버(117)로 상기 전송 파이버(119)로부터 수신된

상기 빔의 주입, 및

- 상기 광학 전송 파이버(119)로의, 제2 광 파이버 커플러(72)에 의해 상기 제2 광 파이버(118)로 커플링-인되는 상기 귀환 빔의 주입을 위한 서클레이터(150);

- 빔 스플리터(17, 97a, 97b)를 포함하는 빔 분배기(19, 99),

중 적어도 하나를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 프로브 헤드.

## 청구항 17

표면 감지 장치의 프로브 헤드를 위한 모니터링 방법에 있어서,

상기 프로브 헤드는 스타일러스 캐리어(61, 161) 및 스타일러스 팁을 갖는 중공 스타일러스(62, 62', 162)를 포함하고, 상기 모니터링 방법은 상기 스타일러스 캐리어에 대해 상기 스타일러스 팁의 변위를 측정하도록 설계되고, 상기 모니터링 방법은:

- 주어진 특징들 분포를 갖는 적어도 2개의 구별 가능한 광 특징들을 가진, 상기 스타일러스(62, 62', 162) 내부에서 빔을 상기 스타일러스 팁을 향해 지향시키는 단계로서, 상기 빔의 적어도 부분들은 광 귀환 경로를 따라 전파하는 귀환 빔으로서 반사되는, 상기 지향시키는 단계,

- 변환하는 단계로서,

- 상기 광 귀환 경로에서 상기 스타일러스 캐리어(61,161)에 위치한 광학 인코딩 구성요소(100, 200, 300, 500, 600) 상의 상기 귀환 빔의 충돌 위치의 정보를

- 상기 귀환 빔의 상기 특징들 분포의 변경으로, 변환하는 단계,

- 상기 귀환 빔의 상기 적어도 2개의 구별 가능한 광 특징들을 검출하는 단계, 및

- 상기 귀환 빔의 상기 변경된 특징들 분포에 의존하여 상기 스타일러스 캐리어에 대해 상기 스타일러스 팁의 상기 변위를 결정하는 단계,

를 포함하는 것을 특징으로 하는 표면 감지 장치의 프로브 헤드를 위한 모니터링 방법.

## 청구항 18

제17항에 있어서,

상기 스타일러스 팁의 상기 변위는 상기 스타일러스 캐리어에 대해 X- 또는 Y-방향에서 결정되는 것을 특징으로 하는 표면 감지 장치의 프로브 헤드를 위한 모니터링 방법.

## 명세서

### 기술분야

[0001]

본 발명은 위치 결정 장치, 특히 좌표 측정 기계(CMM) 또는 스캐닝 기계(scanning machine)에 전용되는 표면 감지 장치에 관한 것이다. 이 장치는 측정될 표면에 대한 접촉 또는 비접촉 측정 접촉을 확립하기 위한 프로브 헤드 및 베이스를 포함한다. 프로브 헤드는 적어도 하나의 조인트에 의해 베이스에 이동 가능하게 링크되고 스타일러스 길이를 갖는 중공 스타일러스 및 스타일러스 팁을 포함한다. 표면 감지 장치는 스타일러스 캐리어에 대해 스타일러스 팁의 변위를 측정하기 위한 광학 모니터링 시스템을 더 포함한다.

### 배경기술

[0002]

광학 모니터링 시스템은 발광 수단, 즉 스타일러스 팁을 향해 스타일러스 내부로 지향될 빔을 발생시키기 위한 적어도 하나의 광원을 포함하고, 여기서 빔의 적어도 부분들은 광 귀환 경로를 따라 전파하는 귀환 빔으로서 반사된다.

[0003]

게다가, 광학 모니터링 시스템에는 스타일러스 팁의 변위를 나타내는 전기 출력 신호를 발생할 수 있는 귀환 빔을 위한 검출기 수단이 제공된다.

- [0004] 좌표 측정 기계들(CMM)은 물체의 3차원 지형을 결정하기 위해 사용된다. CMM은 전형적으로 물체를 지지하는 테이블(table)에 대해 3개의 방향들(X, Y, Z)로 이동 가능한 아암을 포함한다. 이들 방향들 중 어느 하나 및 물체에 대한 아암의 실제 위치에서의 아암의 이동은 적절한 트랜스듀서들에 의해 측정된다.
- [0005] 표면 변화들을 측정하기 위해, 촉각 센서들 및 광 센서들의 사용에 기초한 측정 원리들이 알려져 있다.
- [0006] 국제 특허 출원 번호 제 WO 89/07745 호에 있어서, 좌표 측정 기계들에 사용하기 위한 프로브 헤드가 개시되어 있다. 프로브 헤드는 측방향 및 각도 변위들을 지원하는 스타일러스를 포함한다. 트랜스듀서는 공작물과의 스타일러스 단부의 결합으로 인한 스타일러스의 감지 단부 상의 측방향 힘들을 감지한다. 스타일러스 위에 제공되는 왜곡 게이지 시스템(strain gauge system)은 스타일러스의 감지 단부 상의 횡방향 힘들을 감지한다. 측방향 및 횡방향 힘들은 공작물 표면의 방향(orientation)을 결정하기 위해 사용되고, 스캐닝 동작 중 공작물 표면에 수직인 스타일러스를 유지하기 위해 이들 힘들에 응답하는 제어 시스템이 기재된다.
- [0007] 측정 트랜스듀서들에 의해 제공되는 신호들로부터 및 표면 감지 장치의 부분들의 치수들의 지식으로부터, 스타일러스 팁의 중심의 위치에 대해 예측될 수 있다.
- [0008] 그러나, 스타일러스 조립체는 공작물과의 접촉으로 인해 그리고 가속하는 동안의 관성력으로 인해 벤딩되고, 이러한 벤딩은 스타일러스 팁 중심의 실제 위치를 불확실하게 한다.
- [0009] 미국 특허 제5 118 956호에 있어서, 센서, 예컨대 미러(mirror), 광 파이버 또는 프로브에 연결된 스타일러스가 공작물에 접촉할 때 스트레인을 수행하고 진동시켜 상태를 변경하는 복굴절 요소가 제공되는 스캐닝 프로브 팁이 개시된다. 센서는 스타일러스 위에(미러의 경우에) 또는 스타일러스 내에(광 파이버의 경우에) 제공된다. 공작물과의 표면 접촉으로 인한 센서의 상태 변경은 센서에 의해 전달된 광파들의 경로 길이, 편광 상태, 또는 각도의 변경을 야기한다. 예로서, 이와 같은 변경들의 검출을 위한 간섭계가 개시된다. 조사될 물체로 지향되는 프로브 빔들 및 귀환 빔들은 광 파이버들에서 광원으로로부터 물체로 전파될 수 있고, 광 파이버들에서 검출기로 복귀될 수 있다. 광 센서들은 혼자 스타일러스의 변형들 또는 진동들을 검출하는 데 사용되지 않는다. 더욱이, 광 센서들은 전통적인 전기 트랜스듀서들을 대체한다.
- [0010] 문제점으로서, 이러한 감지 구성은 중요한 시간량에 걸친 간섭 패턴의 변화의 기록 및/또는 대면적, 고해상도 위치-감지 검출기들의 사용을 필요로 한다. 게다가, 스타일러스 변위 및/또는 벤딩의 정도까지 간섭 패턴들의 변경의 교정은 곤란한데, 그 이유는 전형적으로 간섭 패턴들은 거의 정확하게 재생 가능하지 않기 때문이다.
- [0011] 촉각 센서들, 즉, 공작물-접촉 팁에 기초한 스캐닝 측정들은 일반적으로 본질적인 문제와 관련이 있다. 스타일러스가 매우 유연하지 않고/강성이도록 설계되면, 감지 팁/센서 헤드는 표면 지형의 정확한 결정을 위해 물체와 균일 또는 동일한 그리고 연속 접촉을 보장하기 위해 물체의 표면 변동들을 매우 정밀하게 추종해야 한다. 측정 헤드의 질량으로 인해 그것의 헤드의 상대적으로 큰 관성 때문에, 매우 매끄러운 또는 심지어 폴리싱된 표면들 및/또는 낮은 스캐닝 속도들이 정확 측정들을 위해 필요로 될 수 있다. 만약 대조적으로, 스타일러스가 매우 유연하고/용이하게 변형 가능하게 설계되면, 스캐닝 속도들은 증가될 수 있지만, 측정 헤드/센서는 물체 표면의 매끈하고/근사적인 표현(smoothened/approximated representation)만을 측정 결과로서 전달할 수 있다.
- [0012] 미국 특허 제6 633 051호에 있어서, 스타일러스 및 스타일러스의 높은 유연성, 즉 높은 스캐닝 속도들의 가능성과 결합된 스타일러스 캐리어에 의해 형성된 시스템의 높은 고유주파수들을 보장하기 위해, 트럼펫과 같은 형상의 상대적으로 강한 스타일러스 캐리어가 상대적으로 얇고, 낮은 질량 및 유연한 스타일러스와 연결되는 해결방법이 제안된다. 레이저 광원으로부터의 프로브 빔은 스타일러스 내에서 팁이 역반사기 위에 충돌하는 팁으로 지향된다. 스타일러스 팁의 편향은 반사/귀환 빔의 변위로 이어지고 스타일러스 캐리어 내에 수용된 위치-감지 검출기로 측정/기록된다. 따라서, 여기 광원 및 검출기를 포함하는 광학 모니터링 시스템은 촉각 측정 시스템의 기능을 달성한다.
- [0013] 미국 특허 제6 633 051호에 개시된 시스템 구성의 문제점으로서, 레이저 다이오드, 검출기 및 드라이버 일렉트로닉스를 구비하는 광학 모니터링 시스템은 스타일러스 캐리어에 장착되고, 따라서, 스타일러스 및 그것의 캐리어에 의해 형성되는 폐쇄 프레임으로 수개의 가열원들을 둘러싼다.
- [0014] 열의 발생(development)은 열평형에 도달하지 않는 한 측정 시스템의 제어 불가능한 변형으로 이어진다.
- [0015] 이와 같은 좌표 측정 기계들의 본질적인 이점은 측정 프로브들의 신속한, 종종 심지어 자동화된 교환, 즉 스캔될 물체에 대한 최적 적응을 위한 스타일러스 형상 및 길이의 교환으로 인한 이들의 높은 동작 유연성이다. 열평형 조건들의 변경으로 이어지는 스타일러스의 임의의 교환, 스타일러스 및 스타일러스 캐리어에 의해 형성된

프레임에서의 가열원들의 포함이 회피되어야 한다.

[0016] 측각 센서들을 포함하는 CMM 및 광 센서들이 갖추어진 CMM 모두에 대해, 광학 모니터링 시스템의 제공은, 만약 스타일러스의 광 센서들 벤딩에 작용하는 강한 가속력들의 경우에, 또는 스캐닝 측각 측정들의 경우에 스타일러스의 신속한 변형들이 일어나는 것은 필연적이다.

[0017] 그 때문에, 2가지 효과들이 고려되고 보상되어야 한다: 먼저, 유효 길이의 중공 스타일러스, 예컨대 300 mm 길이 및 5 mm 직경의 탄소 스타일러스는 중력으로 인해 수평 방향에서 약 80  $\mu$ m만큼 정적 벤딩을 받는다. 게다가, 이러한 정적 벤딩은 내부 보어(internal bore)의 편심 및 수 마이크로미터 정도의 재료 불균일성들 때문에 회전 대칭으로부터 약간 벗어난다. 제2 효과로서, 스캐닝 측정들에서, 정적 벤딩과 유사한 양에 도달할 수 있고 정적 벤딩을 추가 또는 보상할 수 있는 추가의 가속력들에 의해 야기되는 스타일러스의 동적 벤딩이 일어난다. 게다가, 스타일러스 단부는 CMM의 작동으로부터 진동 누설(vibrational cross-talk)을 받을 수 있다.

[0018] 광학 모니터링 시스템이 갖추어지면, 미국 특허 제6 633 051호에 개시된 구성과 대조적으로, 스타일러스 및 스타일러스 캐리어를 포함하는 폐쇄 측정 시스템에서, 가열원, 즉 추가의 교란 변형들(disturbing deformations)의 잠재적 소스들로서의 전력 소비 장치들의 포함은 회피되어야 한다.

### 발명의 내용

[0019] 본 발명의 목적은, 특정 시스템에서 열을 발생시키지 않고 광학 모니터링 시스템이 갖추어질 수 있는, 특히 광학 또는 측각 센서들에 기초한 CMM 또는 스캐닝 기계들을 위한 표면 감지 장치를 제공하는 것이다.

[0020] 특히, 본 발명의 목적은 원격 검출기로의 스타일러스 팁의 변위 또는 스타일러스의 벤딩을 나타내는 감지 스타일러스 팁으로부터 발생하는 신호의 전송을 위한 기술적 해결방법을 제공하는 것이고, 여기서, 전송된 신호 또는 신호 변경은 용이하게 그리고 고정밀도로 스타일러스 변위 또는 벤딩의 관련 양으로 측정할 수 있어야 한다. 다음에, 스타일러스 팁의 변위 및 스타일러스의 벤딩은 "스타일러스 팁의 변위(displacement of the stylus tip)"로서 요약된다.

[0021] 이러한 과제의 해결방법은 다음과 같은 기술적 경계 조건을 만족시켜야 한다:

[0022] - 수 kHz 범위의 스타일러스의 동적 변형(벤딩)의 측정 능력, 따라서 CMM 및 측정 헤드의 가동 기계축의 작동에 의해 야기되는 작은 진동 여기의 등록을 허용;

[0023] - 약 100 nm의 정밀도를 갖는 측정 팁의 변형의 결정;

[0024] - 감지 프로브 및 스타일러스 캐리어(1 mW이하) 내에서의 열 또는 전력 소모의 중요한 발생 없음;

[0025] - 광-기계 인터페이스와의 호환성, 즉 광학 모노모드 파이버에 의한 신호 전송 능력;

[0026] - 광 센서 신호들의 광 전송의 귀환 빔의 광 경로에서의 교란 없음;

[0027] - 양 측각 및 광 센서들의 사용에 의한 해결방법의 호환성.

[0028] 상기 목적들 및 과제들은 측정될 표면의 접촉 또는 비접촉 측정을 확립하기 위한 프로브 헤드 및 베이스가 제공되는 본 발명에 따른 표면 감지 장치에 의해 해결된다. 프로브 헤드는 적어도 하나의 조인트에 의해 베이스에 이동 가능하게 링크되고 스타일러스 길이 및 스타일러스 팁을 갖는 중공 스타일러스를 포함한다. 표면 감지 장치는 스타일러스 캐리어에 대해 스타일러스 팁의 변위를 측정하기 위한 광학 모니터링 시스템을 더 포함한다.

[0029] 광학 모니터링 시스템은 발광 수단, 즉 스타일러스 팁을 향해 스타일러스 내부로 지향될 빔을 발생시키기 위한 적어도 하나의 광원을 포함하고, 여기서 빔의 적어도 부분들은 광 귀환 경로를 따라 전파하는 귀환 빔으로서 반사된다.

[0030] 게다가, 광학 모니터링 시스템에는 스타일러스 팁의 변위를 나타내는 전기 출력 신호를 발생할 수 있는 귀환 빔을 위한 검출기 수단이 제공된다.

[0031] 발광 수단은 단일의 광원 예컨대 레이저, 레이저 다이오드 또는 고휘도 발광 다이오드(SLED)일 수 있지만, 또한 다수의 이와 같은 광원들로 구성될 수 있다. 본 발명의 하나의 특유의 특징으로서, "발광 수단(light emitting means)"은 방출된 광이 주어진 특징들 분포를 갖는 적어도 2개의 상이한, 구별 가능한 광 특징들을 가지는 방식으로 구성된다. 스타일러스 내부로 감지 스타일러스 팁을 향해 지향되는 프로브 빔에 결합되는 이와 같은 상이한, 구별 가능한 광 특징들은 예를 들어 상이한 레이저 광원들에 의해 방출되는 상이한 이산 파장들의 광 성분



들, 또는 10 nm 정도의 대역폭을 갖는, 고휘도 발광 다이오드(SLED)에 의해 전형적으로 방출되는 광과 같은 이산 스펙트럼 부영역들(sub-ranges)로 분리 가능한 방출 대역으로 갖는 광일 수 있다.

[0032] 스타일러스 팁에서, 프로브 빔의 적어도 부분들은 귀환되고 귀환 빔으로서 다시 전파된다. 귀환 빔은 스타일러스 팁의 임의의 변위 및 스타일러스의 벤딩에 대한 정보를 포함하고, 이러한 정보는 예컨대 귀환 빔의 광 경로의 변위로 제공된다.

[0033] 본 발명의 다른 특유의 특징으로서, 광 귀환 경로에 있는 스타일러스 캐리어에 위치한 광학 인코딩 구성요소는 전형적으로 스타일러스 캐리어와 스타일러스 팁 사이의 광 경로에 배치된 광학 모니터링 시스템의 다른 부분으로서 제공된다. 광학 인코딩 구성요소는 광학적으로 디코딩하는 구성요소에서 예컨대 귀환 빔의 광 경로의 변위의 형태로 수신된 전형적으로 횡방향 변위인, 스타일러스 팁의 변위에 대한 또는 스타일러스의 벤딩에 대한 정보를 변위되지 않은 귀환 빔에 대한 대응하는 분포와 비교되는 변위된 귀환 빔에 대한 광 특징들 또는 구별 가능한 광 성분들의 부분들 사이의 분포의 변경으로 변환하도록 설계된다. 환언하면: 광학 인코딩 구성요소 상의 귀환 빔의 충돌 위치의 정보는 귀환 빔의 특징들 분포의 변경으로 변환된다. 구별 가능한 광 성분들의 부분들에 분포된 귀환 빔은 광학 모니터링 시스템의 부분으로서 검출기 수단으로 추가로 보내진다. 검출기 수단은 적어도 2개의 구별 가능한 광 특징들에 대해 민감하고 귀환 빔의 변경된 특징들 분포에 의존하여 전기 출력 신호를 발생하도록 구성된다.

[0034] 광학 인코딩 구성요소는 귀환 빔의 특징들 분포가 광학 인코딩 구성요소 상의 귀환 빔의 충돌 위치에 의존하여 수정되고, 그 결과 광학 인코딩 구성요소로부터 검출기 수단으로 전파하는 수정된 특징들 분포를 갖는 귀환 빔이 광 귀환 경로 내의 귀환 빔의 정확한 전파 경로와 관계 없이 스타일러스 팁의 변위를 나타내는 방식으로 설계되는 것이 바람직하다. 따라서, 광 파이버에 의한 검출기 수단에 대한 수정된 특징들 분포를 갖는 귀환 빔의 광 웨이브가이딩이 귀환 빔에 의해 행해지는 스타일러스 팁의 변위의 광학 표시를 느슨하게(loosing) 하지 않고 가능하게 된다.

[0035] 본 발명의 바람직한 실시예로서, 표면 감지 장치는 좌표 측정 기계로서, 특히 관절식 아암을 갖는 CMM으로서 제공되고, 관절식 아암의 일단부는 베이스를 형성하고 관절식 아암의 다른 단부는 프로브 헤드를 부착한다. 발광 수단은 하나 이상의 레이저 광원들을 포함하고 검출기 수단은 하나 이상의 검출기들을 포함하는 것이 바람직하다. 더욱이, 발광 수단 및 검출기 수단은 프로브 헤드 외측에 위치되고, 가장 바람직하게는 감지 장치의 베이스 내에 수용되는 것이 바람직하다.

[0036] 발광 수단에 의해 발생된 빔 및 광학 인코딩 구성요소로부터 검출기 수단으로 전파하는 귀환 빔은 바람직하게는 광 파이버들에 의해 관절식 아암에서 웨이브가이딩된다. 빔은 밖에서 아웃-커플링되고 귀환빔은 빔-안내 장치로서의 서클레이터를 이용하여 전송 파이버로 인-커플링되는 것이 특히 바람직하다.

[0037] 전송 광 파이버는 적어도 하나의 광원으로부터의 프로브 빔을 빔-안내 장치, 예컨대 서클레이터 또는 퓨전 커플러로, 스타일러스의 감지 팁을 향해 광학 자유 빔으로서 추가로 전파될 컬리메이팅된 빔을 아웃-커플링하기 위한 제1 광 파이버 컬리메이터가 제공된 제1 광 파이버("프로브 빔 파이버")로 프로브 빔을 보내도록 동작 가능한 광학 절연체들(optical insulators)과 조합하여 보내기 위해 제공될 수 있다.

[0038] 제2 광 파이버 컬리메이터는 귀환 빔을 제2 광 파이버("귀환 빔 파이버")로 결합하고 귀환 빔을 빔-안내 장치를 향해 안내하기 위해 제공될 수 있고, 여기서 그것은 검출기로의 전송을 위해 광학 전송 파이버에 결합된다.

[0039] 바람직하게는, 광학 전송 파이버 및 제1 및 제2 광 파이버들은 모노모드 광 파이버들이다.

[0040] 귀환 광의 부분을 증강하고 귀환 빔의 광 경로 변위들의 검출을 단지 스타일러스 팁의 변위 및 스타일러스의 벤딩만으로 제한하기 위해, 광학 구성요소는 감지 팁의 틸팅에 실질적으로 민감하지 않은 빔을 귀환시키기 위해 감지 팁에 인접하여 장착되고, 상기 광학 구성요소는 바람직하게는 역반사기로서 제공되는 것이 바람직하다.

[0041] 본 발명의 바람직한 실시예에 있어서, 적어도 2개의 구별 가능한 광 특징들은 상이한 파장들 또는 파장 범위들 및/또는 상이한 편광 상태들을 가지는 발생된 빔의 광 성분들에 의해 주어지고, 특징들 분포는 각각의 광 성분의 일부 또는 부분에 의해 주어진다.

[0042] 광학 인코딩 구성요소는 상이한, 바람직하게는 스펙트럼적으로 비중첩, 전송 특성들의 적어도 2개의 세그먼트들을 갖는 세그먼트화 광학 필터를 포함하는 것이 바람직하다. 필터는 귀환 광 빔 경로에서 제2 광 파이버 컬리메이터의 입사동 평면에 위치될 수 있다. 세그먼트화 광학 필터는 귀환 빔의 전파의 방향에 수직인 그것의 단면의 임의의 형상을 가질 수 있고; 그러나, 예를 들어 2 mm x 2 mm의 단면적을 갖는 원형 또는 정사각형 형상과 같은

대칭 형상이 바람직하다.

- [0043] 필터 세그먼트들의 상이한 전송 특성들은 상이한 광 편광 상태들에 대한 상이한 전송에 관한 것일 수 있지만, 즉 세그먼트화 광학 필터가 100 또는 200 GHz의 스펙트럼 거리, 즉 전기통신의 ITU 표준에 대응하는, C- 및 L-대역에서의 0.8 nm 또는 1.6 nm를 갖는, 바람직하게는 스펙트럼적으로 비중첩 전송 윈도우들이 제공되는 크로매틱 필터인 바람직하게는 상이한 스펙트럼 전송에 관한 것이다. 물론, 필터 세그먼트들의 전송 특성들은 프로브 빔의 발생을 위한 광원(들)의 방출 파장들에 따라(및 역으로) 선택되어야 한다.
- [0044] 광학 인코딩 구성요소는 또한 귀환 빔의 전파 방향에 수직인 방향에서 귀환 빔의 편향을 국부적으로 변화시킬 수 있는 광학 구성요소를 포함할 수 있다.
- [0045] 광학 인코딩 구성요소는 또한 스타일러스 길이 변경을 결정하기 위해 간섭 거리 측정을 위한 신호 전송을 위해 설계된 "채널(channel)"(세그먼트)을 포함할 수 있다.
- [0046] 용이한 제조를 위해, 세그먼트화 광학 필터는 4개의 세그먼트들을 포함할 수 있다. 그러나, 임의의 다른 종류의 세분화가 실현될 수 있고, 개개의 세그먼트들은 바람직하게는 변위되지 않은 귀환 빔의 경우에 발사되는 광 성분들에 대한 강도에 관해 동일한 상대 전송을 위해 설계된다.
- [0047] 세그먼트화 광학 필터는 세그먼트화 유전체 간섭 필터(segmented dielectric interference filter)일 수 있다. 유전체 간섭 필터들은 예를 들어 상대적으로 완만한 경사들을 갖는 다색 유리 필터들과 대조적으로, 인입 폴리크로매틱 광 빔의 전송 및 스펙트럼 거절 간의 필터들의 날카로운 분리에 대해 알려져 있다. 세그먼트화 광학 필터는 작은 시리즈(small series)의 제조에 유리할 수 있는 함께 상이한 전송의 세그먼트들을 유착시킴으로써 제조될 수 있다. 상이한 유리판들에는 상이한 코팅들이 제공될 수 있고, 소잉되고(sawed), 이후 상이한 코팅으로부터의 조각들이 세그먼트화 필터로 결합될 수 있고, 모든 제조 단계들은 표준 처리 단계들이다.
- [0048] 더 큰 시리즈의 제조에 있어서, 적절한 수의 마스킹 단계들 과정에서 코팅들의 증착을 포함하는 웨이퍼 공정에서의 세그먼트화 필터들의 제조가 유리할 수 있다. 이와 같은 제조 방법은 개개의 세그먼트들을 유착시키는 단계를 회피할 수 있다.
- [0049] 표면 감지 장치의 다른 유리한 실시예들이 도면들을 참조하여 그리고 종속 청구항들에 개시되고 기재된다.
- [0050] 본 발명의 다른 대상은 본 발명에 따른 표면 감지 장치를 위한 프로브 헤드이고, 이 프로브 헤드는 측정될 표면에 대한 접촉 또는 비접촉 측정 접촉을 확립 및 유지하기 위해 형성되고, 프로브 헤드는 스타일러스 캐리어 및 스타일러스 팁을 갖는 중공 스타일러스를 포함한다. 특유의 특징으로서, 프로브 헤드는 광 파이버에 의해 안내되는 표면 감지 장치로부터, 주어진 특징들 분포를 갖는 적어도 2개의 구별 가능한 광 특징들을 가지는 빔을 수신하기 위한 수단을 포함한다. 프로브 헤드는 광 파이버 밖에서 빔을 커플링 아웃하고 스타일러스 팁을 향해 스타일러스 내부로 빔을 지향시키는 수단을 더 포함하고, 여기서 빔의 적어도 부분들은 광 귀환 경로를 따라 전파하는 귀환 빔으로서 반사된다. 더욱이, 프로브 헤드는 스타일러스 캐리어에 대해 스타일러스 팁의 변위를 측정하기 위한 광학 모니터링 시스템의 부분으로서 광학 인코딩 구성요소를 포함한다. 광학 인코딩 구성요소는 광 귀환 경로에 있는 스타일러스 캐리어에 위치되고 광학 인코딩 구성요소 상의 귀환 빔의 충돌 위치의 정보를 귀환 빔의 특징들 분포의 변경으로 변환하도록 설계된다. 프로브 헤드는 또한 표면 감지 장치에서 귀환 빔의 광학 웨이브가이딩을 할 수 있도록, 변경된 특징들 분포를 가지는 귀환 빔을 광 파이버로 커플링-인하기 위한 수단을 포함한다.
- [0051] 본 발명에 따른 프로브 헤드의 바람직한 실시예들은 전송 파이버 및 제1 광 파이버 및 제2 광 파이버에 연결된 서클레이터 및/또는 빔 스플리터를 포함하는 빔 분배기를 추가로 구비한다. 이 실시예에 있어서, 서클레이터는 적어도 2개의 구별 가능한 광 성분들을 방출하고 전송 파이버(119)로부터 수신될 수 있는 적어도 하나의 광원으로부터 제1 광 파이버 커플러에 연결된 제1 광 파이버로의 광의 주입을 위해 그리고 스타일러스의 감지 팁으로부터 귀환되고 제2 광 파이버 커플러에 연결된 제2 광 파이버로부터 수신되는 광의 광학 전송 파이버로의 주입을 위해 사용된다.
- [0052] 본 발명의 다른 대상은 표면 감지 장치의 프로브 헤드를 위한 모니터링 방법에 있어서, 프로브 헤드는 스타일러스 캐리어 및 스타일러스 팁을 갖는 중공 스타일러스를 포함하고, 모니터링 방법은 스타일러스 캐리어에 대해 스타일러스 팁의 변위를 측정하도록 설계되고, 모니터링 방법은:
- [0053] - 주어진 특징들 분포를 갖는 적어도 2개의 구별 가능한 광 특징들을 가진, 스타일러스 내부의 빔을 상기 스타일러스 팁을 향해 지향시키는 단계로서, 빔의 적어도 부분들은 광 귀환 경로를 따라 전파하는 귀환 빔으로서 반

사되는, 상기 지향시키는 단계,

- [0054] - 광 귀환 경로에서 스타일러스 캐리어에 위치한 광학 인코딩 구성요소 상의 귀환 빔의 충돌 위치의 정보를 귀환 빔의 특징들 분포의 변경으로 변환하는 단계,
- [0055] - 귀환 빔의 적어도 2개의 구별 가능한 광 특징들을 검출하는 단계, 및
- [0056] - 귀환 빔의 변경된 특징들 분포에 의존하여 스타일러스 캐리어에 대해 스타일러스 팁의 변위를 결정하는 단계를 포함한다. 따라서, 변환 단계 후, 귀환 빔은 광 파이버에 의해 웨이브가이드되는 것이 바람직하다.

### 도면의 간단한 설명

- [0057] 도 1은 최신 기술(미국 특허 제6 633 051호)에 따른 물체-접촉 탐(9)이 제공되는 촉각 감지 프로브와 조합하여 사용하는 데 전용되는 스타일러스 캐리어(1) 및 중공 스타일러스(2)의 조립체를 나타낸 도면.
- 도 2a는 광학 인코딩 구성요소의 예로서 세그먼트화 크로매틱 필터(100)를 나타낸 도면.
- 도 2b는 광학 인코딩 요소의 제2 예로서 세그먼트화 크로매틱 필터(200)의 대안의 실시예를 나타낸 도면.
- 도 3은 도 2a에 따른 세그먼트화 크로매틱 필터의 세그먼트들의 개략적으로 적당한 전송 범위들을 나타낸 도면.
- 도 4a 및 도 4b는 광원들의 선택을 나타낸 도면으로서, 이들의 방출 파장은 이들과 조합하여 사용될 도 2a 및 도 3에 따른 세그먼트화 크로매틱 필터의 선택과 연관성이 있고, 도 4a는 4개의 선택된 개개의 레이저들의 방출 라인들(강도들  $I(\lambda)$ )을 나타내고, 도 4b는 다이오드의 발광이 도 2a 및 도 3에 따른 세그먼트화 크로매틱 필터의 전송 원도들을 걸쳐 있는 방식으로 선택된 고회도 발광 다이오드(SLED)에 의해 방출된 광의 전형적인 스펙트럼 분포를 나타낸 도면.
- 도 5는 귀환 빔으로부터의 프로브 빔의 공간 분리시, 인-커플링(IN) 및 감지 스타일러스 팁을 향해 프로브 빔을 지향시키고 아웃-커플링(OUT) 및 검출기를 향해 귀환 빔을 지향시키기 위해 프로브 빔의 경로(55)에 배치되는 빔 스플리터들(17)을 포함하는 빔 분배기(19)를 나타내고, 귀환 빔은 도 2a 및 도 3에 도시된 세그먼트화 크로매틱 필터(100)와 같은 광학 인코딩 구성요소들에 의해 분해되는(analyzed) 것을 나타낸 도면.
- 도 6a는 멀티플렉서(120)를 이용하여 상이한 광원들로부터의 방출을 결합하고 공간 부분들 개개의 검출을 위해 이들로 결합 신호(combined signal)로 디-멀티플렉서(130)에 의해 스펙트럼적으로 분리하기 위한 가능한 구성을 개략적으로 나타낸 도면.
- 도 6b는 검출된 전기 신호의 푸리에 분석과 조합하여 상이한 주파수들로 변조되는 레이저들(111 내지 114)을 이용하는 도 6a에 따른 구성 및 단일 검출기(145)만을 나타낸 도면.
- 도 6c는 도 6b에 따른 레이저들(111 내지 114)의 푸리에 스펙트럼을 나타낸 도면.
- 도 7a 및 도 7b는 도 6a에 따른 구성과 조합하여 사용될 수 있는 멀티플렉서(720, 820) 또는 디-멀티플렉서의 가능한 실시예들을 나타낸 도면.
- 도 7c는 도 7b에 도시된 것과 유사하지만 4개의 DFB 레이저들 대신에 광원으로서 이용되는 단일의 고회도 발광 다이오드(825)를 갖는 디-멀티플렉서(830)의 구성을 나타낸 도면.
- 도 8은 귀환 빔의 전파 방향에 수직인 방향에서 필터 평면에서 그것의 국부적으로 변하는 편향을 발생하기 위한 구성요소 또는 기능 및 2개의 상이한 크로매틱 필터 세그먼트들을 포함하는 세그먼트화 광학 필터(300)의 추가의 가능한 실시예를 나타낸 도면.
- 도 9는 광학 인코딩 구성요소의 다른 가능한 실시예로서 세그먼트화 편광 필터(500)를 나타낸 도면.
- 도 10은 귀환 빔의 편광 상태를 결정하기 위한 편광계 셋업의 기능을 가진 디멀티플렉서의 가능한 실시예를 나타낸 도면.
- 도 11은 촉각 센서와 조합하여 사용하기 위한, 스타일러스 캐리어(61), 스타일러스(62) 및 도 2a에 도시된 것과 같은 세그먼트화 크로매틱 필터를 이용하는 측정 구성을 위한 광학 모니터링 시스템 및 도 5에 도시된 빔 분배기를 포함하는 조립체를 도시한 도면.
- 도 12는 퓨전 커플러(fusion coupler; 151) 및 2개의 인슐레이터들(152, 153)에 의해 서큘레이터(150)를 대체한 것을 제외하고, 도 11에 도시된 것과 유사한 구성을 나타낸 도면.

도 13은 스펙트럼 광 성분들( $\lambda 1$ ,  $\lambda 2$ ,  $\lambda 3$ ,  $\lambda 4$ ; 전송된 공간 부분들의 강도들의 측정)의 구별을 위한 4개의 세그먼트들 및 또한 간섭측정의 측정에 의한 위상 변화를 결정하기 위한 4개의 채널들 중 하나를 제공하기 위해, 스타일러스 캐리어(61), 스타일러스(62) 및 조합하여 도 5에 도시된 것과 같은 빔 분배기를 갖는 이와 같은 측정 구성을 위한 맞추어진 광학 모니터링 시스템을 포함하는, 도 11에 도시된 것과 기본적으로 유사한 조립체를 도시한 도면.

도 14는 거리 측정을 위한 측각 센서 대신에 광 센서를 이용하는 구성을 나타낸 도면.

도 15는 스타일러스(62')가 광 파이버(88)를 수신하기 위한 이중 내벽을 갖는 이중관(double tubus)으로서 제공되는, 도 14의 것에 대한 대안의 구성을 나타낸 도면.

도 16은 광 센서를 갖고, 회전 액츄에이터가 제공되는 표면 감지 장치를 나타낸 도면.

도 17a는 스타일러스의 제한되지 않은 회전을 허용하도록 설계된, 도 16에 따른 구성의 변형예를 나타낸 도면.

도 17b는 2개의 수직축들 주위에서 스타일러스 캐리어의 회전 자유를 제공하는 2개의 회전축들을 갖는 예를 나타낸 도면.

도 18은 결합을 위한 전용되는 2개의 세그먼트들, 예컨대 3-축 측정 능력이 제공되는 표면 감지 장치를 위한 도 2a 또는 도 5에 도시된 것과 같은 세그먼트화 크로매틱 필터를 갖는 세그먼트화 크로매틱 필터(600)를 나타낸 도면.

도 19는 도 18의 2개의 세그먼트들 필터(600)(Z)의 2개의 세그먼트들에 의해 커버되는(covered) 스펙트럼 범위( $\lambda 5$ ,  $\lambda 6$ )에 인접한, 세그먼트화 크로매틱 필터(100)(X,Y)의 세그먼트들에 의해 커버되는  $\lambda 1$  내지  $\lambda 4$  주위의 스펙트럼 전송 범위들을 나타낸 도면.

도 20은 도 19의 결합된 필터들의 스펙트럼 범위의 방출 라인들을 갖는 6개의 개개의 레이저 광원들의 선택을 나타낸 도면.

도 21은 스펙트럼 방출 대역은 모두 6개의 필터 세그먼트들의 전송 원도들에 걸쳐 있고, 대안으로 단일의 광원으로서, 전형적으로 약 10 nm의 대역폭을 갖는, 고휘도 발광 다이오드(SLED)에 의해 방출되는 광의 전형적인 스펙트럼 분포를 나타낸 도면.

도 22는 세그먼트화 크로매틱 필터들(100, 600)의 조합하여 사용하기 위한 빔 스플리터들을 갖는 빔 분배기(99)의 가능한 구성을 나타낸 도면.

도 23은 도 7c에 도시되고, 2개의 추가의 스펙트럼 분리 채널들에 의해 달성되는 고휘도 발광 다이오드(825')와 조합하여 사용하기 위한 다-멀티플렉싱 구성을 나타낸 도면.

도 24는 스타일러스 캐리어(61), 스타일러스(62) 및 X, Y 및 Z 방향에 대한 광학 측정을 위해 설계된 광학 모니터링 시스템을 포함하는 조립체를 도시한 도면.

도 25는 스타일러스 캐리어(161)에 부착된 스타일러스(162)가 갖추어진 관절식 아암 좌표 측정 기계(CMM)(900)를 나타낸 도면.

도 26은 다른 예로서, 브리지형 CMM을 도시한 도면.

도 27a 내지 도 27d는 도 2a를 참조하여 기술된 세그먼트화 크로매틱 필터를 통과한 후, 하향 이동된 귀환 빔의 광 성분들의 측정된 강도 분포를 나타낸 도면.

도 28은 그것의 상측 부분에, 광 파이버 모드를 단면도로 나타낸 도면으로서, 도 26의 2개의 하측 부분들은 4개의 자유 전파 부분 빔들 중 하나에 대한 X 및 Y 방향에서의 강도 프로파일들을 나타내는 도면.

도 29a 내지 도 29d는 광 파이버 평면에서의 4개의 부분 빔들(도 27a 내지 도 27d 참조)의 강도 분포의 사진들을 나타낸 도면.

도 30은 100  $\mu\text{m}$ 에 의한 빔 변위의 예에 대한 4개의 광학 채널들로의 귀환 빔의 스펙트럼 강도 분포를 표시한 도면.

도 31은 경사 방향에서의 빔 변위의 예에 대한 4개의 광학 채널들로의 귀환 빔의 스펙트럼 강도 분포를 나타낸 도면.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0058] 다음에, 본 발명이 도면들을 참조하여 기술된다. 달리 언급하지 않지만, 모든 실시예들(위에 이미 기술된 것들을 포함)은 결합될 수 있다.
- [0059] 다음에, 같은 참조 번호들은 증가의 시스템 구성요소들 또는 증가 기능을 위해 이용되는 구성요소들을 나타내고; X, Y 및 Z 방향들은 수평면(X, Y) 및 수직 방향(Z)에 대응하는 것으로서 설명 전반에 걸쳐 동일한 방식으로 이행된다.
- [0060] 도 1은 최신 기술(미국 특허 제6 633 051호)에 따른 물체-접촉 팁(10)이 제공되는 촉각 감지 프로브와 조합하여 사용하는 데 전용되는 스타일러스 캐리어(1) 및 중공 스타일러스(2)의 조립체를 나타낸다. 스타일러스 캐리어(1)는 트럼펫과 같은 형상(trumpet-like shape)을 가진다. 스타일러스(2)는 스타일러스의 상측 개방 단부(4)에서 연결 수단(3)에 의해 스타일러스 캐리어(1)에 연결되고, 스타일러스(2)의 길이방향 측은 스타일러스 캐리어(1)의 축선(A)과 정렬된다.
- [0061] 스타일러스 캐리어에는 접촉 팁(10) 가까이에 제공되는 역반사기(retro-reflector; 9)를 향해 중공 스타일러스(2) 내의 자유 광학 빔으로서, 빔 스플리터(7)를 통과한 후, 전파되는 콜리메이팅된 레이저 빔을 발생시키기 위한 볼록 렌즈(6)가 배치된 출력 단부에 레이저 광원(5)을 포함하는 광학 모니터링 시스템이 장착된다. 역반사기(9)에 의해 귀환된 광은 광축에 대해 45° 이하로 빔 스플리터(7)의 반사면(8)과 충돌하고 위치-감지 검출기(11)를 향해 축선(A)에 대해 직각으로 반사된다. 역반사기(9)와 함께 접촉 팁(10)의 임의의 변위들은 검출기(11)의 평면에서 귀환 빔의 횡변위로 이어진다.
- [0062] 이러한 구성으로 주된 문제점으로서, 위에 이미 개략적으로 나타낸 것과 같이, 레이저 광원(5), 검출기(11) 및 드라이버 일렉트로닉스를 구비하는 광학 모니터링 시스템은 스타일러스 캐리어(1)에 장착되고, 따라서 스타일러스 및 그것의 캐리어에 의해 형성된 폐쇄 프레임에서 수개의 가열원들을 둘러싸고 열평형에 도달하지 않을만큼 길게 측정 시스템의 제어 불가능한 변형들로 이어진다.
- [0063] 도 2a에는 광학 인코딩 구성요소를 위한 예로서 세그먼트화 크로매틱 필터(100)가 도시된다. 이 예에서, 필터는 도 3(전송  $T(\lambda)$ )에 개략적으로 도시된 것과 같이, 바람직하게는 스펙트럼적으로 중첩하지 않는 전송 범위들을 갖는, 4개의 상이한 파장들( $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ ,  $\lambda_4$ )에서 최대 전송을 갖는 필터들에 대응하는 4개의 세그먼트들(101 내지 104)을 포함한다. 필터 전송들은 예로서 C 및 L-대역에서 약 0.8 nm 또는 1.6 nm에 대응하는, 예컨대 100 GHz 또는 200 GHz의 스펙트럼 분리를 갖는, 전기통신을 위한 ITU 표준에 따라 방사 채널들(radiation channel)로 적용될 수 있다.
- [0064] 필터는 원형, 정사각형 또는 다각형과 같은 임의의 기하학을 가질 수 있다. 광학 빔 경로에서의 조정 및 시스템 교정의 용이함을 위해, 점대칭 형상이 바람직하다.
- [0065] 세그먼트화 필터는, 예시적인 이상적인 경우에, 상기 귀환 빔의 변위가 없을 경우(스타일러스 팁의 변위 또는 스타일러스의 벤딩 때문에), 필터 평면에서의 귀환 빔의 단면(50)이 세그먼트화 필터/필터 세분화에 대해 중심에서 대칭되도록 귀환 빔의 광 경로에 위치된다. 추가의 이상화에 있어서, 필터의 전송 특성들 및 프로브 빔 및 또한 그 결과 귀환 빔의 스펙트럼 구성(spectral composition)은 귀환된 광의 전송된 부분들이, 세그먼트화 필터를 통과한 후, 같아지는(전송 광의 부분들의 같은 분포) 방식으로 선택된다(후자는 예컨대 선택된 방출 파장들의 레이저 광원들을 이용하여).
- [0066] 귀환 빔이 스타일러스 팁의 변위 또는 스타일러스의 벤딩 때문에 변위된 경우, 필터 평면에서의 그것의 단면(50')은 더 이상 세그먼트화 필터/필터 세분화에 대해 대칭이 안될 것이다. 결과적으로, 필터를 통과한 후 광 성분들의 전송된 부분들은 같은 분포로부터 벗어날 것이다.
- [0067] 도 2b는 광학적으로 디코딩하는 요소에 대한 제2 예로서 세그먼트화 크로매틱 필터의 대안의 실시예를 나타낸다. 이 경우에, 세그먼트화 크로매틱 필터(200)는 파장들( $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ )에서 최대 전송을 갖는 개개의 필터들에 각각 대응하는 3개의 세그먼트들(201, 202, 203)을 포함한다. 그러나, 제조의 편의성과 관련하여, 도 2a에 나타난 4개의 세그먼트들을 갖는 세그먼트화 필터가 아마도 바람직할 수 있다.
- [0068] 도 4a 및 도 4b는 레이저 광원들의 선택을 도시하고, 이들의 방출 파장은 이것과 조합하여 사용될 세그먼트화 크로매틱 필터의 선택과 관련이 있다. 도 4a는 4개의 선택된 개개의 레이저들의 방출 라인들(강도들  $I(\lambda)$ )을 표시한다. 방출 파장들은 화살표들로 표시된 구간들 내에서 변할 수 있다. 전기통신들에서의 적용들과 대조적으로 레이저 파장의 특별한 안정화는 필요하지 않고, 레이저 신호는 더 안정한 AC 검출능(detectability)을 위해



단지 약하게(MHz 범위에서) 변조된다.

- [0069] 도 4b는 전형적으로 약 10 nm의 대역폭을 갖는, 고휘도 발광 다이오드(SLED)에 의해 방출되는 광(강도  $I(\lambda)$ )의 전형적인 스펙트럼 분포를 나타낸다. SLED는 그것의 방출이 세그먼트화 크로매틱 필터(도 3 참조)의 전송 윈도우에 걸치고, SLED로부터의 광의 귀환 빔이 스펙트럼적으로 분리된 부분들로 분리될 수 있는 방식으로 선택되어야 한다.
- [0070] 도 5는 귀환 빔으로부터의 프로브 빔의 공간 분리시, 인-커플링(IN) 및 스타일러스 팁을 향해 프로브 빔을 지향시키고 아웃-커플링(OUT) 및 적어도 하나의 검출기를 향해 귀환 빔을 지향시키기 위해 프로브 빔의 경로(55)에 배치되는 빔 스플리터들(17)을 포함하는 빔 분배기(19)를 나타내고, 귀환 빔은 도 2a에 도시된 세그먼트화 크로매틱 필터(100)와 같은 광학 인코딩 구성요소에 의해 분해된다.
- [0071] 스타일러스 팁의 스타일러스 또는 변위의 벤딩 때문에 잠재적으로 변위되는 귀환 빔은 50 % 스플리터일 수 있는 빔 스플리터(17)를 통과하여, 광학 인코딩 구성요소, 특히 세그먼트화 크로매틱 필터(100)로 지향된다. 필터 평면에서의 귀환 빔의 횡방향 변위는 도 2a를 참조하여 위에서 설명한 것과 같이, 전송된 광 성분들 부분들의 분포 변경으로 이어진다. 빔 분배기(19)의 구성요소들은 예를 들어 광학 시멘트(optical cement)를 이용하여 교착될(conglutinated) 수 있고, 세그먼트화 광학 필터(100)와 함께 마이크로-광학 구성요소를 형성한다.
- [0072] 세그먼트화 크로매틱 필터는 전형적으로 유전체 간섭층들(dielectric interference layers)로 구성되고, 전달되지 않은 방사선은 시스템으로 다시 반사되지 않을 수 있다. 필터는 예컨대, 50 % 전송을 갖는 흡수 흑유리(absorbing black glass) 위에 구성될 수 있다. 이와 같은 흡수층을 이중 통과할 때, 이때 교란 반사들(disturbing reflections)은 6 dB만큼 억제되어, 50 % 빔 스플리터(17)와 조합하여 12 dB 억제를 가져올 수 있다. 바람직하게는, 이때 주 반사들(main reflections)은 예를 들어 빔 스플리터(17)와 교착되는 흡수 흑유리로 구성되는 광 트랩(20)으로 지향된다.
- [0073] 교란 반사들의 추가 감소를 위해, 만약 빔 분배기(19)가 프로브 빔의 직교 입구 방향(55)에 대해 약간 경사져 위치되고 흡수성 개구가 제공되면 유리하다.
- [0074] 원치 않는 반사들의 나머지 효과들은 광학 모니터링 시스템의 교정에 의해 보상될 수 있다.
- [0075] 도 6a는 멀티플렉서(120)를 이용하여 상이한 광원들로부터의 방출을 결합하고 디멀티플렉서(130)에 의해 결합 신호를 이들 개개의 검출을 위한 공간 부분들로 스펙트럼적으로 분리하기 위한 가능한 구성을 개략적으로 나타낸다.
- [0076] 단일의 종방향 모드 각각에서, 파장들( $\lambda_1$  내지  $\lambda_4$ )로 방출하는 4개의 분산형 피드백(distributed feedback)(DFB) 레이저 다이오드들(111 내지 114)로부터의 방출은 멀티플렉서(120)에 의해 스펙트럼적으로 결합되고 스펙트럼적으로 결합된 광을 서큘레이터(150)로 안내하는 제1 단일의 모노모드 파이버(monomode fiber; 117)로 주입된다.
- [0077] 유사하게, 스펙트럼적으로 결합된 광 신호는 서큘레이터(150)로부터 제2 모노모드 파이버(118)에 의해 디-멀티플렉서(130)로 안내되고, 디-멀티플렉서에서 광은 스펙트럼적으로 분리된 다음 개개의 검출을 위한 검출기들(141 내지 144)로 보내진다.
- [0078] 더 양호한 검출능을 위해, 레이저 광원들은 변조될 수 있다. 디-멀티플렉서(130)에서의 가능한 광학적 누설을 식별하기 위해 레이저 다이오드들(111 내지 114)은 상이한 주파수들로 변조될 수 있다. 이때, 관련 변조 주파수를 갖는 신호만이 검출시 고려된다.
- [0079] 레이저 광원들의 상대 강도 노이즈(relative intensity noise; RIN)에 의존하여, 이들 방출된 강도의 모니터링이 노이즈 보상을 위해 필요할 수 있다.
- [0080] 레이저 다이오드들의 일부 제조업자들은 강도 제어를 위해 레이저 다이오드의 하우징 내에 모니터 다이오드(monitor diode)를 통합한다. 이와 같은 통합된 모니터 다이오드는 또한, 모니터 다이오드의 대역폭이 충분히 크다면, RIN 측정을 위해 사용될 수 있다. 대안으로, 레이저 다이오드의 방출된 파워의 1 %와 같은 작은 부분이 비대칭 광학 커플러(asymmetric optical coupler)를 이용하여, RIN 제어를 위한 외부 모니터 다이오드에 공급될 수 있다. 제어된 노이즈 보상을 위한 신호 처리에 있어서, 모니터 다이오드 신호의 가능한 지연이 고려되어야 한다.
- [0081] 도 6a에 도시된 멀티플렉싱 및 디-멀티플렉싱 구성은 또한 광 센서와 조합하여 상기 구성에 통합될 수 있다.

- [0082] 광 파이버(117)에 의해 안내되는 방출된 신호 및 광 파이버(118)에 의해 안내되는 수신된 신호는 서큘레이터(150)에 의해 광학 전송 파이버(119)에서 인-커플 및 아웃-커플(in-coupled into and out-coupled)될 수 있다.
- [0083] 도 6b는 신호 검출을 단순화하는 도 6a에 따른 구성의 변형예를 나타낸다. 4개의 DFB 레이저들(111 내지 114) 각각은 상이한 파장을 가지며 상이한 주파수로 변조되고, 그 결과 상이한 레이저들이 스펙트럼적으로 및 전기적으로 식별될 수 있다. 신호 검출을 위해서는, 단일 검출기(145)만이 요구된다. 이때 검출된 전기 신호의 푸리에 스펙트럼(FT)(도 6c)은 4개의 주파수들( $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$ ,  $f_4$ ), 강도들 또는 개개의 스펙트럼 파장들의 강도들에 의존하는 푸리에 계수들을 나타낸다. 검출된 전기 신호의 아날로그 또는 디지털 변조시, 4개의 개개의 신호들이 분리되고 분해될 수 있다. 도 6c에 도시된 신호 강도들은 스펙트럼 강도 분포와 등가이다.
- [0084] 도 7a 및 도 7b에는 도 6a에 따른 구성과 조합하여 사용될 수 있는 멀티플렉서 또는 다-멀티플렉서의 가능한 실시예들이 도시된다.
- [0085] 멀티플렉서들은 전기통신들에서의 표준 구성요소들이고 플래너형 도파관들(planar waveguides)로서 또는 박막 기술(thin-film technology; TFF)에 의해 전형적으로 제조된다.
- [0086] 도 7a는 광 파이버 커플리메이터들(711 내지 714)로부터 공급되는, 프로브 빔으로서 방출될 빔과 결합시키기 위해 빔 스플리터들(717a 내지 717d)을 이용하는 멀티플렉서/디멀티플렉서(720)의 가능한 실시예를 나타낸다. 결합된 빔은 광 파이버 커플리메이터(719)로 보내진다. 유사한 구성은 결합된 빔을 파장들( $\lambda_1$  내지  $\lambda_4$ )의 그것의 공간 부분들로 다-멀티플렉싱하는 데 이용될 수 있다.
- [0087] 도 7b는 결합된 파장들( $\lambda_1$  내지  $\lambda_4$ )의 인입 광(incoming light)을 검출기들(841 내지 844)에 의한 검출을 위한 그것의 스펙트럼 구성요소들로 분리하고, 또는 광 파이버 커플러들(821 내지 824)을 이용하여 레이저 다이오드들(811 내지 814)로부터의 광을 공통 프로브 빔에 결합하기 위한 분기/결합(add/drop) 필터들(831 내지 833)을 포함하는 멀티플렉서 / 다-멀티플렉서(820)의 대안의 실시예를 도시한다. 또, 이와 같은 구성은 표준 전기통신 구성요소들을 이용하여 제조될 수 있다.
- [0088] 도 7c는 도 7b에 도시된 것과 유사하지만 4개의 DFB 레이저들 대신에 광원으로서 사용되는 단일의 고휘도 발광 다이오드(825)를 갖는 다-멀티플렉서(830)의 구성을 나타낸다. 서큘레이터(150)로부터 오는 폴리크로매틱 광은 검출기들(841 내지 844)에 의한 검출을 위해, 분기/결합 필터들(831 내지 833)을 포함하는 다-멀티플렉서(830)에 의해 그것의 스펙트럼 구성요소들( $\lambda_1$  내지  $\lambda_4$ )로 분리된다.
- [0089] 도 8에는 광학적으로 디코딩하는 구성요소로서 세그먼트화 광학 필터(300)의 추가의 가능한 실시예를 도시한다. 필터(300)는 2개의 상이한 크로매틱 필터 세그먼트들(301, 302)을 포함하고, 필터(300)에는 귀환 빔의 전파 방향에 수직인 방향으로 귀환 빔의 편향을 필터 평면에서 국부적으로 변하는 편향을 발생시키기 위한 구성요소 또는 기능이 제공된다. 도시된 예에 있어서, 이러한 효과는, 세그먼트화 필터(300)의 단면 측면도로 나타난 것과 같이, 상이한 스펙트럼 전송의 양 세그먼트들에 관한 이 예에서, 필터의 가변 두께(303)에 의해 달성된다. 결과적으로, 귀환 빔은 필터 상의 충돌 위치에 의존하는 상이한 방식으로, 필터를 통과할 때, 편향되고 전달된다. 그것에 의해, 도 8의 연속 라인들은 귀환 빔이 스타일러스 벤딩 또는 스타일러스 팁 변위로 인한 편향을 경험하지 않는 상황에 대한 단면 및 빔 경로를 나타내고, 한편, 점선들은 이와 같은 스타일러스 팁 변위 또는 벤딩 시 필터에 대한 빔 경로 및 단면을 나타낸다. 필터는 광학 빔 경로에서 추종하는 광 파이버 커플리메이터의 입사동 평면(entrance pupil plane)에 위치되고, 이 평면에서의 파면(wave front)의 틸트(tilt)는 광 파이버의 입구 평면(entrance plane)에서의 인-커플링 위치의 변위로 이어지고 따라서 인-커플링 효율의 변경으로 이어진다. 만약 귀환 빔이 수직 방향(필터 입구 평면의 수직 방위로도 불림)으로 변위되면, 양 스펙트럼 전송 경로들 또는 채널들에서의 전송 전력은 동시에 변경된다. 그러므로, 이러한 구성의 특정 불이익은 스펙트럼 전송의 절대(전체) 강도의 결정이 필요하다는 것이다.
- [0090] 이와 같은 귀환 빔의 국부적으로 변하는 편향은 또한 빔 경로에 위치한 세그먼트화 필터에 부가되는 별도의 광학 구성요소들에 의해 달성될 수 있고, 이때 추가의 별도의 구성요소들은 광학 인코딩 구성요소의 부분들로서 여겨질 것이다.
- [0091] 도 2a, 도 2b 및 도 8에 도시된 광학 인코딩 구성요소들은 또한 스타일러스 길이의 변경들의 결정을 위해, 추가의 광학 "채널(channel)" 또는 거리 측정, 예컨대 간섭 거리 측정으로부터 신호들의 전송을 위한 세그먼트와 결합될 수 있다.
- [0092] 스펙트럼 광 성분들( $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ ,  $\lambda_4$ ; 전송된 공간 부분들의 강도들의 측정)을 구별하기 위한 4개의 세그먼트

트들 및 간섭측정의 측정에 의한 위상 변화의 결정을 위한 4개의 채널들 중 하나를 제공하기 위해, 도 5에 도시된 것과 같은 빔 분배기와 조합하여, 도 2a에 도시된 것과 같은 4개의 세그먼트들을 갖는 세그먼트화 광학 필터를 설계하는 것이 또한 가능할 수 있다.

- [0093] 도 9에는 광학적으로 디코딩하는 구성요소의 다른 가능한 실시예로서 세그먼트화 편광 필터(500)가 도시된다. 광학 구성요소 구별 특징으로서 스펙트럼 범위 대신에 편광 상태를 이용하는 이와 같은 시스템 구성에 있어서, 편광-유지 모노모드 파이버들이 광-안내를 위해 요구된다. 귀환 빔이 45° 편광을 갖는 세그먼트화 편광 필터(500)의 평면에 충돌하는 것이 바람직하다. 필터(500)의 세그먼트(501)는 수직 편광의 전송을 위해 설계되고, 세그먼트(502)는 수평 편광을 위해 설계된다. 세그먼트(503)는 1/4 파장판(quarter-wave plate)에 의해 구성된다. 이러한 광학 인코딩 구성요소를 이용하여, 스타일러스 위치 또는 벤딩에 대한 정보는 이들의 광학 파라미터들 수직 편광, 수평 편광 및 이들의 위상 관계로 인코딩된다.
- [0094] 도 10에는 귀환 빔의 편광 상태를 결정하기 위한 편광계 셋업의 기능을 가진 디멀티플렉서의 가능한 실시예가 도시된다. 귀환 빔은 편광 상태들 및 검출기들(541 내지 543)에 의한 방사 위상의 검출을 위한 빔 스플리터들(517a 내지 517c)에 의해 분배된다(distributed).
- [0095] 촉각 센서와 조합하여 사용하기 위한, 스타일러스 캐리어(61), 스타일러스(62) 및 도 2a에 도시된 세그먼트화 크로매틱 필터를 이용하는 측정 구성용 광학 모니터링 시스템 및 도 5에 도시된 빔 분배기를 포함하는 조립체가 도 11에 도시된다.
- [0096] 전력을 소모하지 않고 열을 생성하지 않는 광학 모니터링 시스템의 주 구성요소들은 스타일러스(62)에 연결된 스타일러스 캐리어(61)에 수용된다.
- [0097] 하나 이상의 광원들로부터의(예컨대 수개의 레이저들 또는 SLED로부터의) 스펙트럼적으로 구분 가능한 광학적 광 성분들은 서큘레이터(150)로부터 바람직하게는 제1 광 파이버 커플리미터(71)에 연결되는 모노모드 파이버로서 제공되는 제1 광 파이버(117)로 주입된다.
- [0098] 프로브 빔은 역반사기(79) 및 물체(도시하지 않음)와 접촉하도록 설계된 촉각 센서(80)가 제공되는 스타일러스 팁을 향해 자유 광학 빔으로서 보내진다.
- [0099] 프로브 빔의 적어도 부분들은 귀환 빔으로서 역반사기에 의해 반사되고, 귀환 빔은 스타일러스 팁의 변위 또는 스타일러스의 벤딩의 경우에 변위를 받는다. 전과 방향을 따라, 귀환 빔은 광 트랩(20), 예컨대 흡수 흡유리가 제공되는 적어도 하나의 빔 스플리터(17)를 포함하는 빔 분배기(19)로 들어간다.
- [0100] 귀환 빔의 상이한 공간 부분들에 대해 분해된 광은 광 파이버 커플리미터(72)에 의해 수집되고 제2의, 바람직하게는 모노모드 파이버(118)로 발사되고, 그로부터 그것은 서큘레이터(150)로 안내되고 광-기계 인터페이스에 결합될 수 있는 광학 전송 파이버(119)로 추가로 보내진다.
- [0101] 도 12는 퓨전 커플러(151) 및 2개의 인슐레이터들(152, 153)에 의한 서큘레이터(150)의 대체를 제외하고 도 11에 도시된 것과 유사한 구성을 나타낸다.
- [0102] 스펙트럼 광 성분들( $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ ,  $\lambda_4$ ; 전송된 공간 부분들의 강도들의 측정)의 구별을 위한 4개의 세그먼트들 및 또한 간섭측정의 측정에 의한 위상 변화를 결정하기 위한 4개의 채널들 중 하나를 제공하기 위해, 스타일러스 캐리어(61), 스타일러스(62) 및 조합하여 도 5에 도시된 것과 같은 빔 분배기를 갖는 이와 같은 측정 구성을 위한 맞추어진 광학 모니터링 시스템을 포함하는, 도 11에 도시된 것과 기본적으로 유사한 조립체가 도 13에 도시된다.
- [0103] 전력을 소모하지 않고 열을 생성하지 않는, 광학 모니터링 시스템의 주 구성요소들은 스타일러스(62)를 갖는 스프링 시스템(75)에 의해 유연하게 연결되는 스타일러스 캐리어(61)에 수용된다. 스프링 시스템(75)은 스타일러스의 촉각 센서 팁을 갖는 스타일러스의 수직 변위를 허용하도록 설계되고, 수직 방향은 X 및 Y 축에 의해 걸친 수평면에 수직인 Z 축으로 이해된다.
- [0104] 하나 이상의 광원들로부터의(예컨대 수개의 레이저들 또는 SLED로부터의) 스펙트럼적으로 구분 가능한 광학 광 성분들은 서큘레이터(150)로부터 바람직하게는 제1 광 파이버 커플리미터(71)에 연결되는 모노모드 파이버로서 제공되는 제1 광 파이버(117)로 주입된다. 프로브 빔은 물체(도시하지 않음)와 접촉하도록 설계된 촉각 센서(80) 및 역반사기(79)가 제공된 스타일러스 팁을 향해 자유 광학 빔으로서 보내진다.
- [0105] 프로브 빔의 적어도 부분들은 역반사기에 의해 귀환 빔으로서 반사되고, 귀환 빔은 물체와의 촉각 접촉 시 z-방



향에서 빔 경로의 변경 및 변위를 받는다. 전과 방향을 추종하여, 귀환 빔은 광 트랩(20), 예컨대 흡수 흡유리가 제공되는 적어도 하나의 빔 스플리터(17)를 포함하는 빔 분배기(19)로 들어간다.

[0106] 빔 스플리터(17)의 반사면(21) 및 광 트랩(20)은, 이 예에서 세그먼트화 필터(100)로부터의 반사들이, 3개의 파장들의 광 성분들과 관해, 이들이 흡수되는 광 트랩으로 지향되고, 한편 4개의 파장(예컨대  $\lambda_1$ )과 관련된 광 성분이 반사면(21)(예컨대 스펙트럼적으로 선택적으로 반사하는 코팅이 제공되는)에 의해 반사되고 세그먼트화 필터(100)에 의해 전송된 이러한 파장  $\lambda_1$ 의 광 성분과 간섭을 일으키는 방식으로 설계된다. z-방향에서의 스타일러스의 변위로 인한 광 경로 길이의 변화들의 결정을 위한 간섭측정의 측정 원리의 이용은 수 미터의 가간섭성 길이(coherence length)를 가지는 광원으로서 DFB 레이저 다이오드를 이용할 때 용이하게 실현될 수 있는 파장  $\lambda_1$ 의 광원에 의해 방출되는 광의 충분한 가간섭성(sufficient coherence)을 요구한다.

[0107] 도 14는 거리 측정을 위한 측각 센서 대신에 광 센서를 이용하는 구성을 도시한다. 가장 양호한 양상들에 있어서, 셋업(setup)은 빔 분배기(19) 및 세그먼트화 크로매틱 필터(100)의 디자인과 관련하여, 도 11 또는 도 13의 것과 유사하다.

[0108] 그러나, 광 프로브(85)는 광학 거리 측정을 표현하는 신호를 제공하기 위한 측각 센서 팁 대신에 사용된다. 이러한 신호는 광 파이버(88)에 의해 광 파이버 커플리미터(86)를 포함한 광 프로브(85)로부터 예컨대 파장들 약 1300 nm 및 약 1500 nm을 위해 설계된 파장 분할 멀티플렉서(WDM)(89)로 전송된다. 디-멀티플렉싱된 신호는 WDM으로부터 예를 들어 광기계 인터페이스로 추가로 안내될 광학 전송 파이버(119)로 보내진다.

[0109] 광 파이버(88)가 프로브 빔의 광 경로 및 모니터링 시스템의 귀환 빔을 차단 또는 새도우링(새도우잉)하는 것이 회피되어야 한다. 그러므로, 스타일러스(62)의 내부에서 파장 디멀티플렉서(WDM)(89)로부터 광 프로브(85)로 지향되는 광 파이버(88)는 스타일러스(62)의 내측 벽에 고정들(fixations; 87a, 87b)에 의해 부착된다.

[0110] 대안으로 또는 귀환 빔 및 프로브의 광 경로로부터 거리-측정 파이버(88)를 분리하기 위한 추가 수단으로서, 광 파이버(88)를 수용하기 위해 이중 내벽을 갖는 이중관(84)으로서 제공되는 스타일러스(62')가 사용될 수 있다(도 15).

[0111] 도 16은 광 센서를 갖는 표면 감지 장치를 도시하고, 감지 장치에는 회전 액츄에이터(C 축)가 제공되고, 이 회전 액츄에이터는 내부 보어들(bores), 예컨대 실린더들을 측정하기 위해 특히 자유 자재로 돌릴 수 있다. 기본 디자인은 도 14에 도시된 셋업과 유사하다. 그러나, 대조적으로, 직사각형 빔 편향을 갖는 광 프로브(85')가 제공된다.

[0112] 스타일러스(62)는 모터(90), 모터 회전을 위한 디코더들(91) 및 베어링(92)을 포함하는 회전 액츄에이터에 의해 이송되는 스타일러스 캐리어(61)에 연결된다. 거리 측정 광 파이버(88')의 회전을 허용하기 위해, 후자의 것에는 파이버 코일(88'a)이 제공된다.

[0113] 이러한 구성의 잠재적인 논란거리는 각위치, 회전 속도 및 측정 헤드(수평 또는 수직 등)의 방위에 의존한 측방향 영향이다. 스타일러스 캐리어(61)에 회전 액츄에이터를 통합하고 프로브 빔/귀환 빔을 안내하기 위해 중공축(hollow axle)을 이용할 때, 프로브 팁(역반사기)의 직접 접촉이 가능하다.

[0114] 도 16에 도시된 구성에 기초하여, 중력장에서의 회전의 변화시의 스타일러스의 벤딩, 횡가속도 및 회전 축선의 측방향 불안정성에 의해 야기되는 변위들이 고려될 수 있다. 모든 이들 영향들은 함께 결정되고 보상될 수 있다.

[0115] 도 17a는 도 16에 따른 구성의 변형예를 나타낸다. 이 실시예는, 광 파이버(88)를 위한 광학 회전 결합기(93)의 이용에 기초하여, 스타일러스(62)의 제한되지 않은 회전을 허용하도록 설계된다. 회전 결합기(93)의 하측 부분은 연결되고 스타일러스(62)와 함께 회전 가능하고, 한편, 회전 결합기(93)의 상측 부분은 고정되어 있다. 빔 편향기(95)와 같은 고정 프리즘은 스타일러스(62)에 연결된다. 무한 회전을 허용하기 위해, 회전 결합기(93)의 회전 가능한 상측 부분에 연결된 광 파이버(88)는 빔 편향기(95)의 위치를 자유롭게 가로질러 이동하도록 조정되어야 한다. 이와 같은 파이버 리드-스루(fiber lead-through; 94)는 빔 편향기(95) 및 프로브 및 귀환 빔의 광학 빔 경로의 약간 옆에 배치되어야 한다. 그런, 특정 위치에서, 광 파이버(88)는 빔 경로를 가로지르는 것이다. 이러한 이유 때문에, 적어도 빔 교차 영역에서 바람직하게는 125  $\mu\text{m}$  이하의 직경을 갖는 얇은 광 파이버가 빔의 새도우잉을 최소화하기 위해 선택되어야 한다. 이러한 영역에서 빔 위치도 결정을 위한 만족스러운 정밀도는 회전 교정 측정 시 가능하다.

[0116] 추가의 변형예로서, 프로브 헤드 - 즉 부착된 스타일러스(162)를 갖는 스타일러스 캐리어(161) -는 또는 브리지

형 좌표 측정 기계의 Z-컬럼의 또는 관절식 아암 측정 기계의 아암의 단부의 소켓에 연결될 수 있고, 소켓은 고정 수단에 대해 스타일러스 캐리어(161)의 회전 자유도를 제공하는 회전축들(926, 927)에 의해 운반되는 (conveyed) 고정 수단으로서 작용한다. 도 17b에는, 2개의 수직축들을 주위에서의 스타일러스 캐리어의 회전 자유도를 제공하는 2개의 회전축들을 갖는 예가 도시된다. 이와 같은 구성은 특히 물체의 표면을 정밀하게 추종하기 위해 스캔 적용들에 특히 유리하다.

- [0117] 도 18은 조합을 위해 전용되는 2개의 세그먼트들을 갖는, 예를 들어 3-축 측정 능력이 제공된 표면 감지 장치를 위한 도 2a에 도시된 세그먼트화 크로매틱 필터를 갖는 세그먼트화 크로매틱 필터를 나타낸다.
- [0118] XY 평면에서의 스캐닝 외에, z-방향에 따른 거리 측정들을 허용하는 알려진 측각 측정 헤드들로부터 시작해서, 모든 3축 X, Y, Z에 대한 측각 측정을 위해 전용되는 광학 모니터링 시스템의 구성이 제공된다. 단순히 스캐닝 측각 측정들을 위해서는, 광학 모니터링 시스템의 이와 같은 3축 기능은 필요하지 않다.
- [0119] 다음에 주어진 3차원 스캐닝을 위한 광학 측정들에만 기초하는 해결방법 외에, 물론 예컨대 유도 센서들 (inductive sensors)에 기초한, 종래의 알려진 전자 거리 측정들을 갖는 2축(X 및 Y)용 광학 모니터링 시스템의 조합이 또한 가능하다.
- [0120] Z 방향에 대한 스타일러스의 위치는 운동의 z-방향(도 22 참조)에 수직인, 90° 편향 빔 스플리터를 이용하여 결정된다. 그것에 의해, 귀환 빔은 광학적으로 디코딩하는 구성요소의 부분으로서 2-세그먼트들 필터(600) 위로 보내지고, 필터는 상이한, 바람직하게는 비중첩 스펙트럼 전송의 2개의 세그먼트들(105, 106)를 포함한다.
- [0121] 필터는, 물체와의 상호작용시 변위 없이, 귀환 빔이 2개의 필터 세그먼트들 위에 경면 대칭 단면(mirror-symmetrical cross section; 50)을 가지는 방식으로 바람직하게는 귀환 빔의 빔 경로에 배치된다. Z 방향에서의 스타일러스의 변위시, 귀환 빔은 회방 변위 빔 단면(50")을 갖는 2-세그먼트화 필터와 충돌한다.
- [0122] 바람직하게는, 2-세그먼트 필터(600)의 세그먼트들(105, 106)은 이들의 스펙트럼 전송 윈도우들이 도 2a에 도시된 세그먼트화 크로매틱 필터의 전송들에 의해 커버되는 스펙트럼 범위를 달성하는 방식으로 선택된다(도 19 참조: 2개의 세그먼트들 필터(600)(Z)의 2개의 세그먼트들에 의해 커버되는 스펙트럼 범위( $\lambda 5$ ,  $\lambda 6$ )에 인접한, 세그먼트화 크로매틱 필터(100)(X,Y)의 세그먼트들에 의해 커버되는  $\lambda 1$  내지  $\lambda 4$  주위의 스펙트럼 범위들).
- [0123] 전체로 6개의 개개의 레이저 광원들이 이용될 수 있고, 이들의 방출 파장들은 도 20에 도시된 세그먼트화 크로매틱 필터들의 스펙트럼 범위들로 떨어진다. 방출 파장들은 화살표들로 표시된 구간들 내에서 변할 수 있다.
- [0124] 대안으로, 또한 모두 6개의 필터 세그먼트들의 전송 윈도우들에 걸친 스펙트럼 방출 대역을 갖는 고휘도 발광 다이오드가 이용될 수 있다(도 21). 도 21은 전형적으로 약 10 nm의 대역폭을 갖는, 고휘도 발광 다이오드(SLED)에 의해 방출되는 광의 전형적인 스펙트럼 분포를 나타낸다.
- [0125] 도 22는 세그먼트화 크로매틱 필터들(100, 600)의 조합을 갖는 사용을 위한 빔 스플리터들을 갖는 빔 분배기(99)의 가능한 구성을 나타낸다. 빔 분배기(99)는 빔-편향 프리즘들(96a, 96b), 빔 스플리터들(97a, 97b, 97c), 및 세그먼트화 크로매틱 필터들(100, 600)을 포함하고, 하측 빔 스플리터(97a)는 Z 방향으로 이동 가능한 상측 스타일러스 단부에 부착되고, 한편, 빔 분배기(99)의 다른 부분들은 스타일러스 캐리어(61)에 수용되어 고정된다.
- [0126] 귀환 빔은 예컨대 50% 빔 스플리터(97a)에 의해 2개의 부분들로 분할되고, 한 부분은 또한 흡수 후면(98b)이 제공되고 세그먼트화 크로매틱 필터(100)를 보유하는 빔 스플리터(97b)를 향해 전파하고, 다른 부분은 프리즘(96b) 위에서 세그먼트화 크로매틱 필터(600)로 보내진다.
- [0127] 양 빔들은, 광 성분들의 스펙트럼 분리 후, 하나의 광 파이버("OUT")에서 함께 추가로 안내될 공통 빔과 크로매틱 빔 스플리터(97c)에 의해 결합된다.
- [0128] 도 23은 도 7c에 도시된 것과 같은 고휘도 발광 다이오드(825')와 조합하여 사용하기 위한 디-멀티플렉싱 구성을 도시하지만, 검출기들(845, 846)에 의해 검출될 파장들( $\lambda 5$ ,  $\lambda 6$ )의 광 성분들을 분리하기 위한 추가의 분리/결합 필터들(834, 835)을 이용하여 2개의 추가의 스펙트럼 분리 채널들에 의해 달성된다.
- [0129] 스타일러스 캐리어(61), 스타일러스(62) 및 X, Y, Z 방향에 대해 광학 측정을 위해 설계되는 광학 모니터링 시스템을 포함하는 조립체가 도 24에 도시된다. 이 구성은 센서 팁(80)을 갖는 스타일러스(62)의 수직 변위를 허용하기 위한 스프링 시스템(75)을 포함하고, 수직 방향은 X, Y 축에 의해 걸치는 수평면에 수직인 Z 축으로서 이해된다. 이 구성은 도 13에 도시된 것과 매우 유사하고, 차이점은 빔 분배기(69)가 도 22를 참조하여 상세히

기술된 빔 분배기(99)로 대체된 것이다.

- [0130] 전력을 소모하지 않고 열을 생성하지 않는, 광학 모니터링 시스템의 주 구성요소들은 스타일러스(62)를 갖는 스프링 시스템(75)에 의해 유연하게 연결되는 스타일러스 캐리어(61)에 수용된다.
- [0131] 하나 이상의 광원들로부터의(예컨대 수개의 레이저들 또는 SLED로부터의) 스펙트럼적으로 구별 가능한 광학 광 성분들은 서큘레이터(150)로부터 제1 광 파이버 커플리메이터(71)에 연결되는 모노모드 파이버로서 바람직하게는 제공되는 제1 광 파이버(117)로 주입된다.
- [0132] 프로브 빔은 물체(도시하지 않음)와 접촉하도록 설계된 촉각 센서(80) 및 역반사기(79)가 제공된 스타일러스 팁을 향해 자유 광학 빔으로서 보내진다.
- [0133] 프로브 빔의 적어도 부분들은 귀환 빔으로서 역반사기에 의해 반사되고, 귀환 빔은 물체와의 촉각 접촉 시 z-방향에서 빔 경로의 변위 및 변경을 받는다. 전파 방향을 추종하여, 귀환 빔은 빔 분배기(99)로 들어가고, 빔 분배기의 기능은 도 22를 참조하여 기술되어 있다.
- [0134] 표면 감지 장치들의 상이한 실시예들은 또한 도 11 내지 도 13에 도시된 촉각 센서(80) 또는 도 14 내지 도 17 또는 도 24에 도시된 광 센서(85 또는 85') 대신에, 결합된 광학-촉각 센서를 포함할 수 있다. 이와 같은 광학-촉각 센서는 전형적인 촉각 센서의 구면 센서 팁과 같이 제공될 수 있지만, 구면(sphere)은 광-투과성이 있고 또는 광 전달을 위한 구멍(perforation)을 가진다.
- [0135] 완전한 표면 감지 장치를 위한 예로서, 도 25는 스타일러스 캐리어(161)에 부착된 스타일러스(162)가 갖추어진 관절식 아암 좌표 측정 기계(CMM)(900)를 도시한다. 개략적으로 나타낸 것과 같이, 관절식 아암 CMM(900)은 CMM의 지지체를 형성하고 광원들(911) 및 검출기들(941)을 수용한다. 베이스(900)에는 수개의 아암-구성요소들이 조인트들(joints)에 의해 링크되고, 따라서, 아암-구성요소들은 서로에 대해 상대적으로 이용 가능하다. 위에 기재된 것과 같이, 스타일러스 캐리어(161) 및/또는 스타일러스(162)에 제공되는 광학 구성요소들은, 개략적으로 도시된, 광 파이버들(917, 918)에 의해 베이스(920)에 수용되는 검출기들(941) 및 광원들(911)에 연결된다.
- [0136] 다른 예로서, 브리지형 CMM가 도 26에 도시된다. 브리지형 CMM은 브리지를 지지하는 2개의 포탈 레그들(portal legs; 921, 922) 및 브리지(X-방향)를 따라 구동될 수 있는 X-캐리지(924)를 포함한다.
- [0137] Z-방향에서 이동 가능한 Z-컬럼(925)은 부착된 스타일러스(162)를 갖는 스타일러스 캐리어(161)를 고정한다.
- [0138] 포탈 레그들(921, 922) 및 브리지(923)에 의해 형성된 포탈(portal)은 Y-방향으로 이동될 수 있다. 예컨대 CMM 컨트롤러(도시하지 않음)에 수용된 광원들 및 검출기들은 다시 위에 나타낸 것과 같이, 스타일러스 캐리어(161) 스타일러스(162)에 제공되는 광학 모니터링 시스템의 구성요소들을 갖는 광 파이버들에 의해 다시 연결된다.

#### [0139] 예들/시뮬레이션들

[0140] 시뮬레이션들을 위해, 다음과 같은 파라미터들이 선택된다:

[0141] 파이버 파라미터

[0142]  $w_0 := 6.3 \mu\text{m} \cdot 0.5$  파이버 코어(Hi-Flex)

[0143]  $\lambda := 1.55 \mu\text{m}$   $z_0 := \frac{\pi \cdot w_0^2}{\lambda} = 20.111 \mu\text{m}$

[0144] 빔 파라미터들

[0145]  $f := 3.8\text{mm}$  커플리메이팅 렌즈의 초점 거리

[0146]  $w_1 := \frac{f \cdot w_0}{z_0} = 0.595\text{mm}$  웨이스트 위치의 렌즈의 후방(측정 빔)

[0147]  $z_1 := \frac{\pi \cdot w_1^2}{\lambda} = 718.006\text{mm}$  레일리(Reyleigh) 범위는 측정 범위와 같음

[0148] 크기 := 4mm 전파 필드 치수(propagating field dimension)

[0149] 프로브 빔은 1.2 mm의 직경을 가진다. 약 70 cm의 레일레이 길이는 30 cm 길이의 스타일러스를 이용하는 측정 거리의 2배 이상이다. 그 결과, 빔은 자유 빔 전파의 전체 길이에 걸쳐 컬리메이팅되는 것으로 가정될 수 있다. 도 2a를 참조하여 기술된 것과 같은 세그먼트화 크로매틱 필터를 통과한 후, 귀환 빔의 광 성분들의 측정된 강도 분포는 도 27a 내지 27d에 표시된다.

[0150] 세그먼트화 필터(이미지 크기)에 의해 커버되는 전체 영역은  $(4 \text{ mm})^2$ 이다. 균형이 잡히지 않은 강도 분포로부터 명백한, 도 27a 내지 27d로부터 추론될 수 있는 것과 같이, 귀환 빔은 바닥을 향해 100  $\mu\text{m}$ 만큼 변위된다(도 27c, 도 27d).

[0151] 스타일러스(61)(도 11 참조)의 단부에 역반사기(79)를 이용하여, 100  $\mu\text{m}$  만큼의 이와 같은 변위는 50  $\mu\text{m}$ 만큼의 스타일러스 벤딩에 대응한다(역반사기의 가능한 틸트는 무시될 수 있다).

[0152] 4 채널들(필터 세그먼트들)에 의해 전달되는 광 파워는:

$$P = \begin{pmatrix} 0.189 \\ 0.189 \\ 0.321 \\ 0.321 \end{pmatrix} \cdot \text{mW}$$

[0153] 이다.

[0155] 프로브 빔에서 발견된 광 파워는 4개의 스펙트럼 광 성분들에서 1 mW였다. 2개의 하측 채널들의 전송은 빔 변위로 인해, 상측 채널들의 것보다 높다.

[0156] 광 전파의 다른 부분에서, 4개의 빔 부분들(광학 필드)은 광 파이버 컬리메이터(그린 렌즈(Grin lens))의 렌즈를 향해 서로 의존하여 전파하고 추가로 광 파이버로 전파한다:

[0157] **렌즈로의 전파**

$$z := f = 3.8 \cdot \text{mm}$$

$$Ff := \overrightarrow{\text{LPForward} \left( \frac{z}{m}, Ff \right)}$$

[0159] **렌즈로부터 파이버까지(포커싱)**

[0160]  $f = 3.8 \text{ mm}$

$$Ff := \overrightarrow{\text{LPLensFresnel} \left( \frac{f_2}{m}, \frac{z}{m}, Ff \right)}$$

[0161] 프레넬-키로호프 회절 인테그랄을 풀(solving)

[0162] 도 28은 그것의 상측 부분에 광 파이버의 모드를 단면도로 나타낸다. 도 28의 2개의 하측 부분들은 4개의 자유 전파 부분 빔들 중 하나에 대한 X 및 Y 방향에서의 강도 프로파일들을 나타낸다.

[0163] 광 파이버 평면에서, 4개의 부분 빔들의 강도 분포의 사진들을 나타내는 도 29a 내지 도 29d에 의해 도시된 것과 같은 대칭으로부터의 관련 편차들(relevant deviations)은 없다.

[0164] 세그먼트화 크로매틱 필터는 퓨리에 평면(광 파이버 컬리메이터의 입사동 평면)에 위치되고, 동공의 새도우잉은 빔 변위로 이어지지 않고, 빔 직경 및 위상에만 영향을 준다. 빔들은 광 파이버 평면에서 대칭으로 만들어진다.

[0165] 인-커플링 효율은 모든 4개의 부분 빔들에 대해 거의 유사하다(약 27 %):

$$C_r := \frac{\left[ \left[ \sum_i \left[ \sum_j \left[ (E_r)_{i,j} \cdot \overline{E_{Fiber_{i,j}}} \right] \right] \right] \right]^2}{\sum_i \sum_j \left[ (E_r)_{i,j} \cdot \overline{(E_r)_{i,j}} \right] \cdot \sum_i \sum_j \left( E_{Fiber_{i,j}} \cdot \overline{E_{Fiber_{i,j}}} \right)}$$

[0166]

$$C = \begin{pmatrix} 27.173 \\ 27.173 \\ 26.82 \\ 26.82 \end{pmatrix} \cdot \%$$

[0167]

파이버 결합 효율

[0168]

50  $\mu\text{m}$ 만큼의 스타일러스 벤딩에 대응하는 100  $\mu\text{m}$ 만큼의 변위 시, 강도 계산으로부터 결정될 수 있는, 50%의 콘트라스트가 얻어진다.

$$P_{\text{fiber}} := (P \cdot C) = \begin{pmatrix} 51.295 \\ 51.294 \\ 86.218 \\ 86.218 \end{pmatrix} \cdot \mu\text{W}$$

[0169]

파이버 결합 파워

$$\text{contrast} := \frac{\max(P_{\text{fiber}}) - \min(P_{\text{fiber}})}{\text{mean}(P_{\text{fiber}})} = 50.794\%$$

[0170]

[0171]

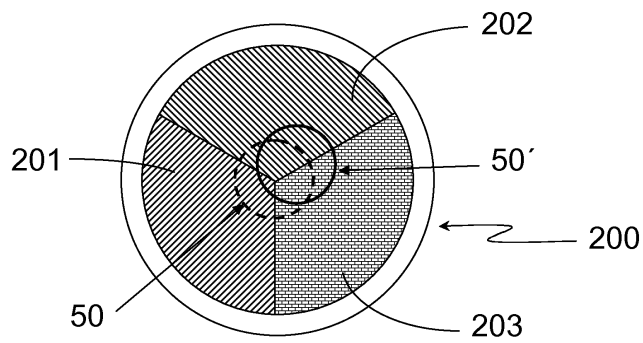
따라서, 귀환 빔의 위치는 100  $\mu\text{m}$ 만큼의 빔 변위의 예에 대한 도 30에서 알 수 있는 것과 같은 4개의 광학 채널들의 강도 스펙트럼으로 디코딩된다.

[0172]

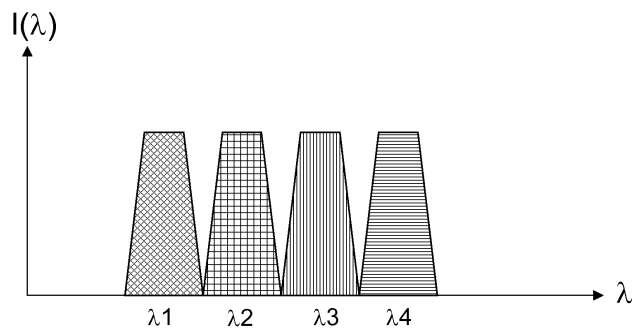
다른 예에 있어서, 귀환 빔은 경사 방향으로 배치된다. 교정 팩터를 이용하여, x 및 y에 대한 위치는 강도들(도 31)로부터 결정될 수 있다. 교정은 단지 제1 근사에서 선형이고, 고정밀도를 달성하기 위해 2 이상의 파라미터들이 교정을 위해 사용되어야 한다.



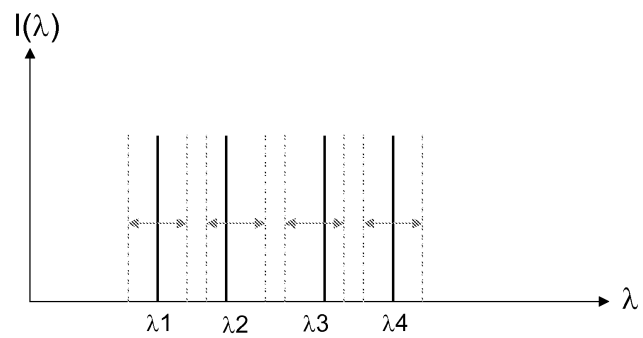
도면2b



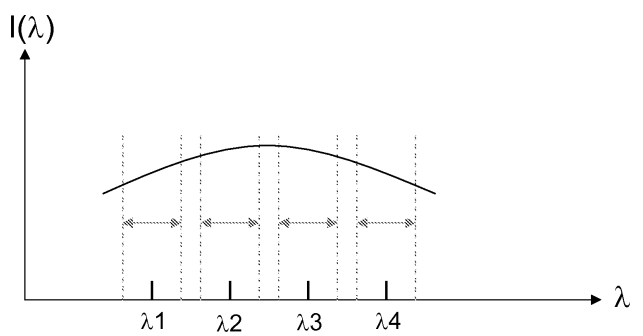
도면3



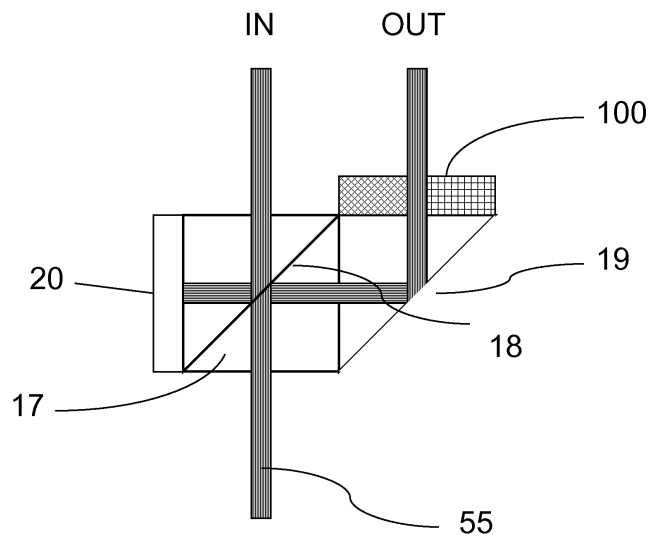
도면4a



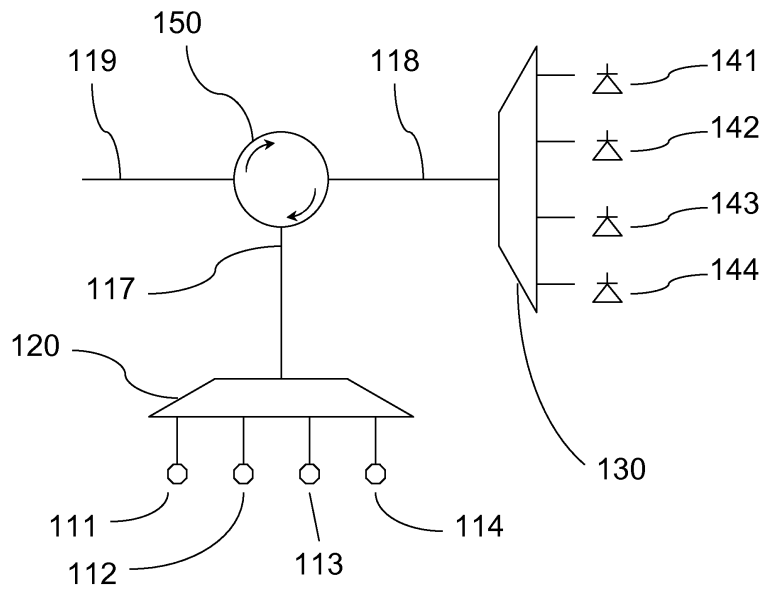
도면4b



도면5

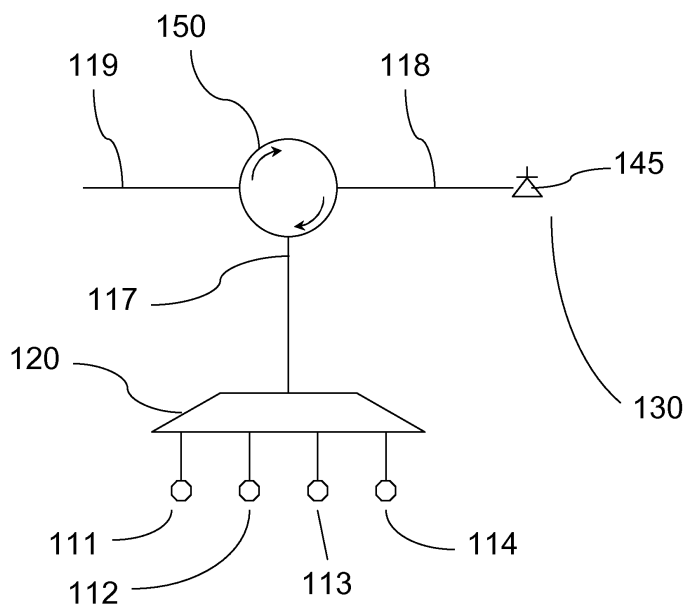


도면6a

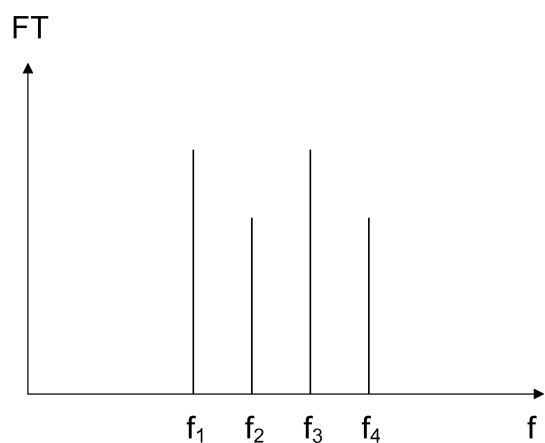




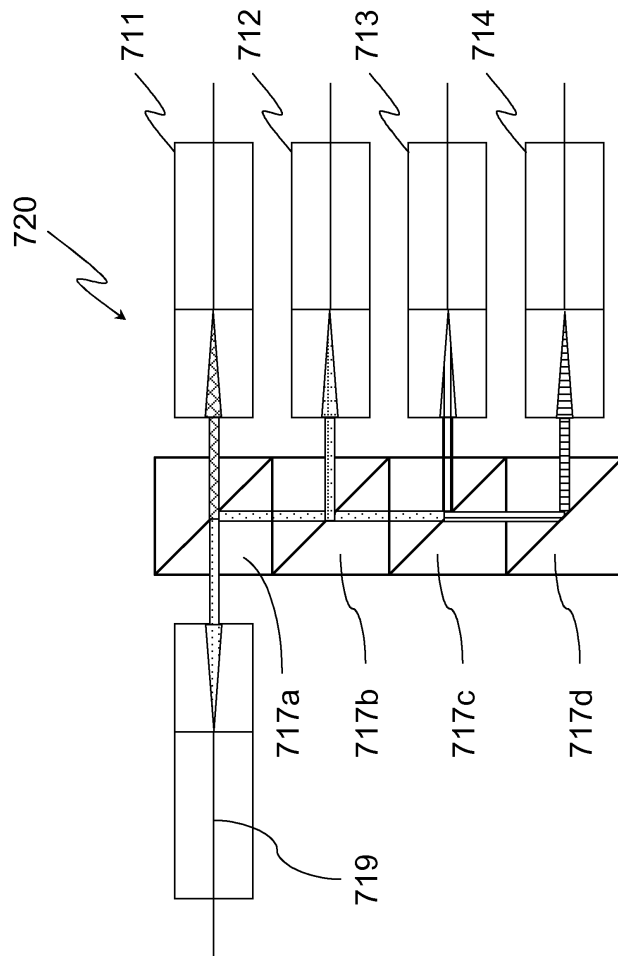
도면6b



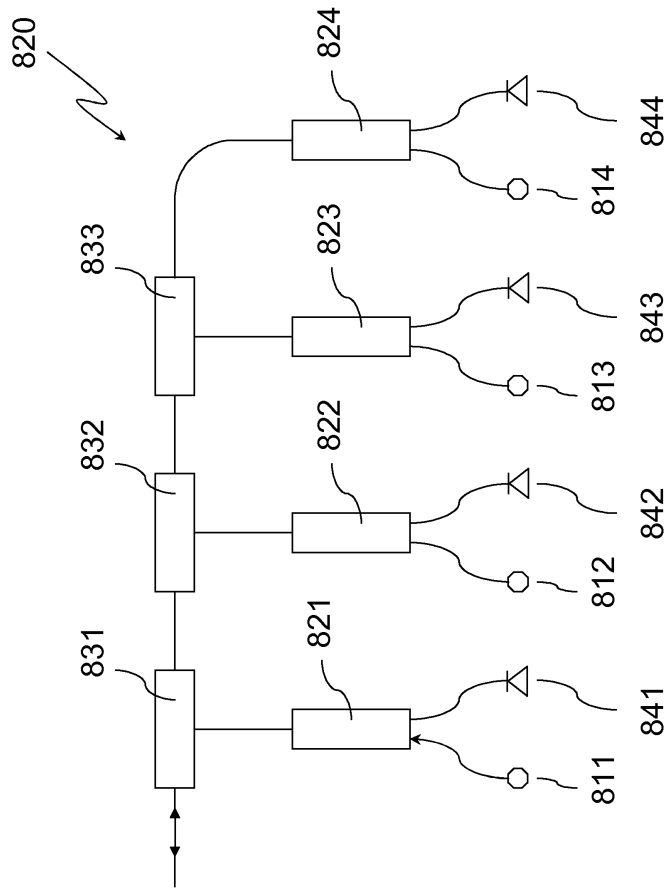
도면6c



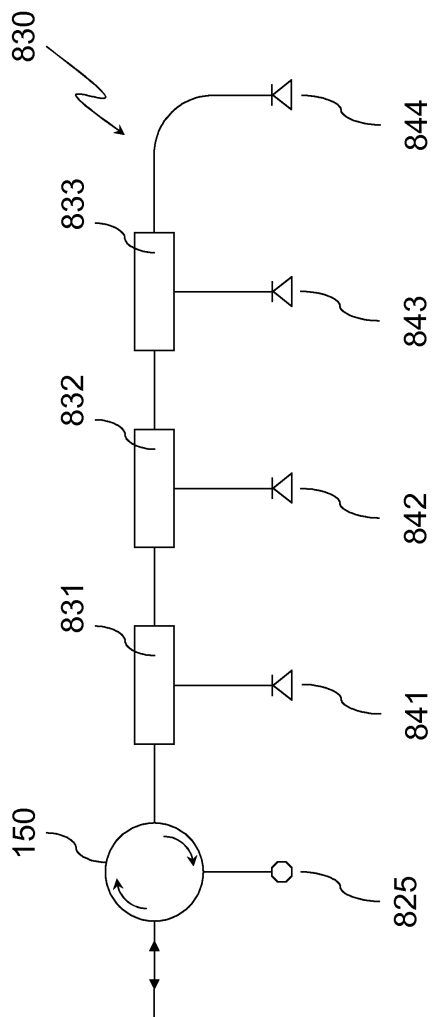
도면7a



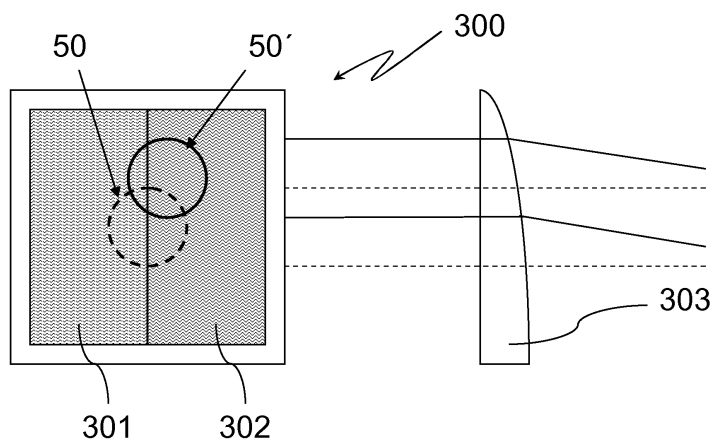
도면7b



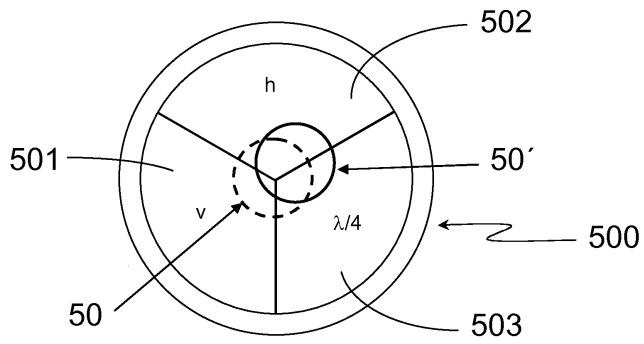
도면7c



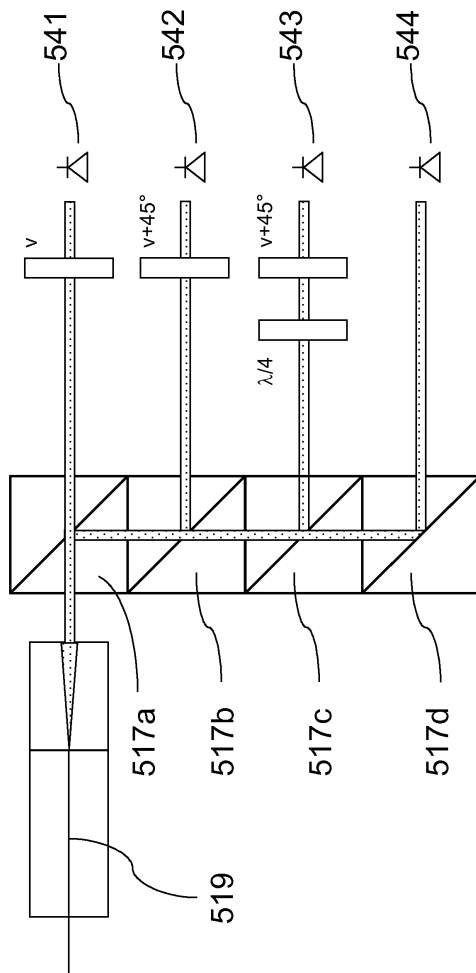
도면8



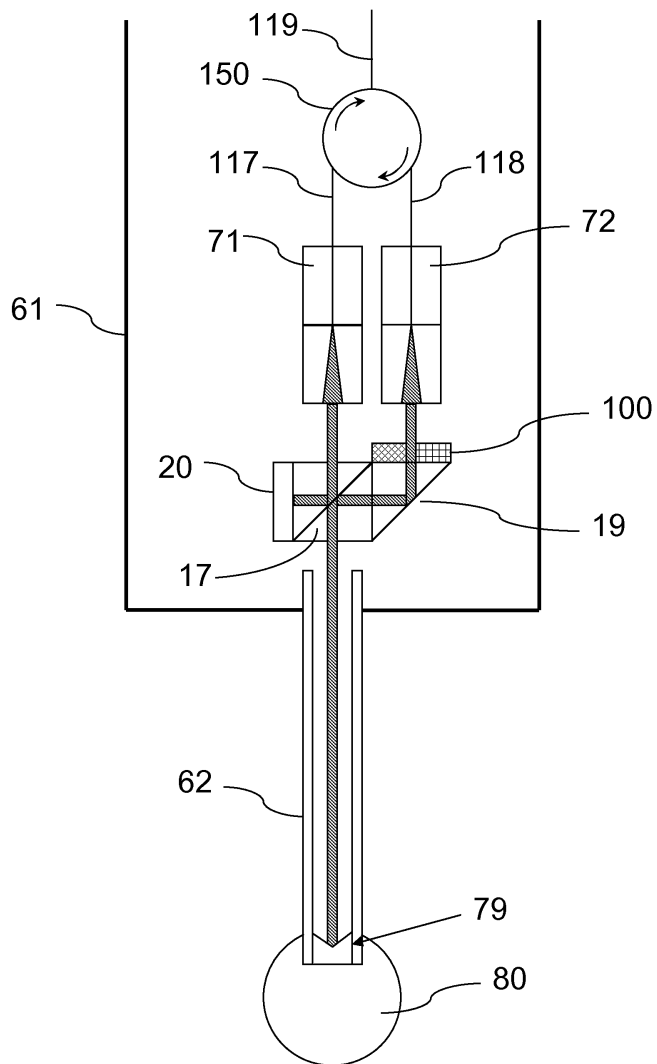
도면9



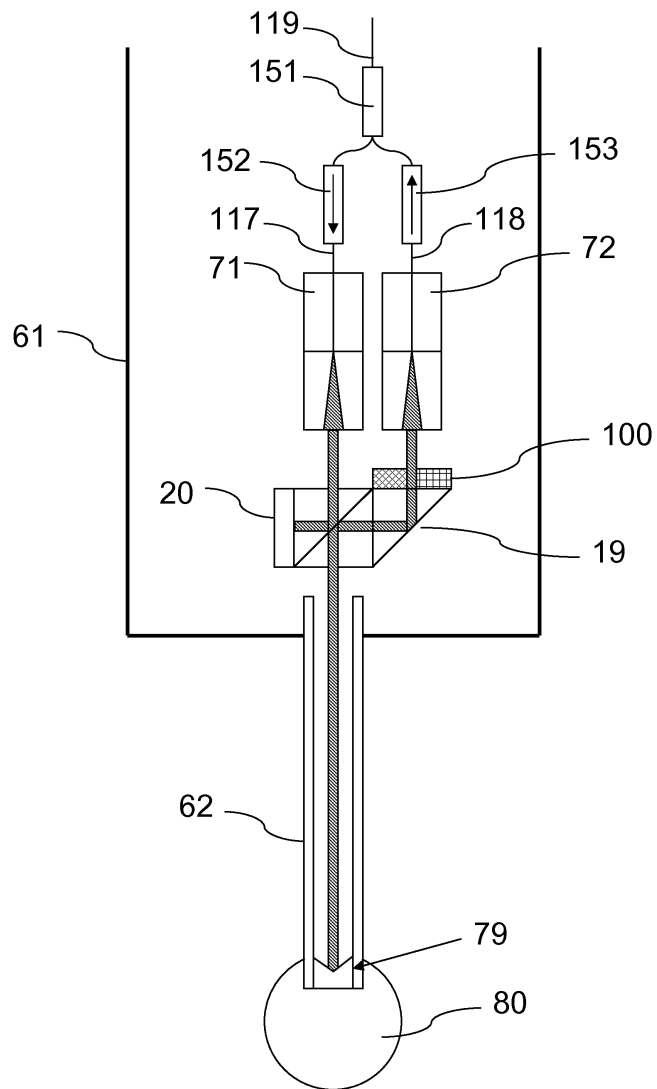
도면10



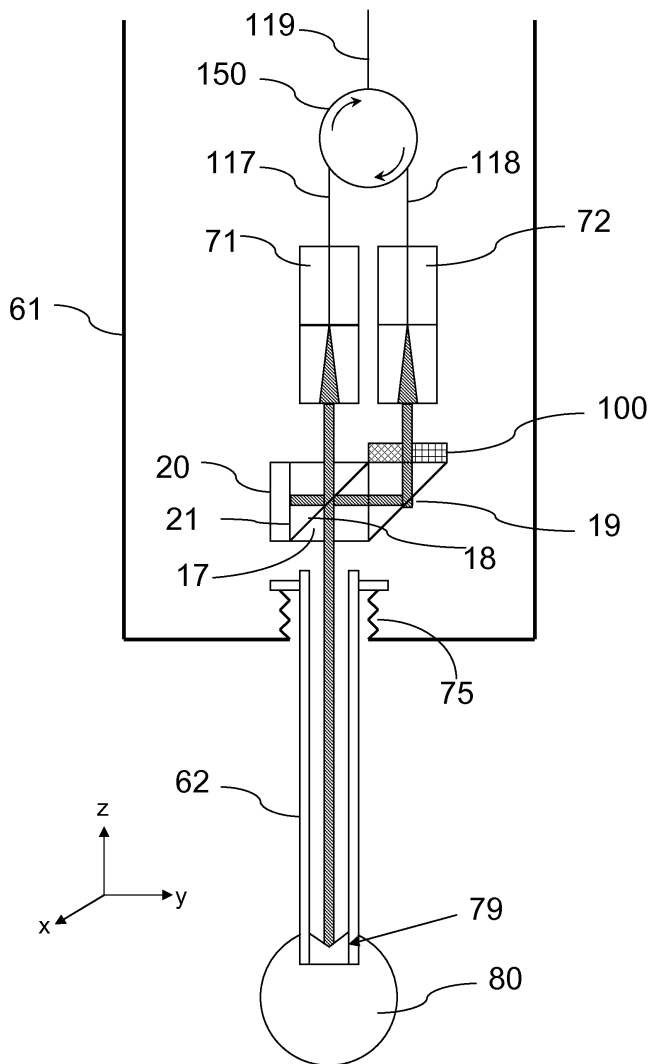
도면11



도면12

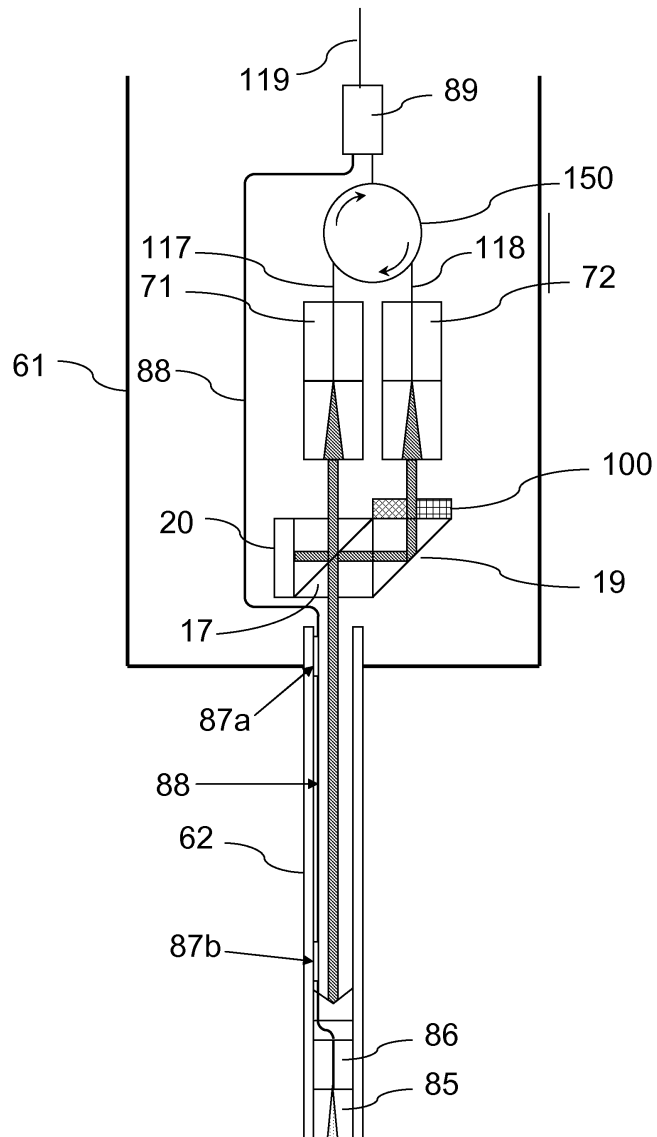


도면13

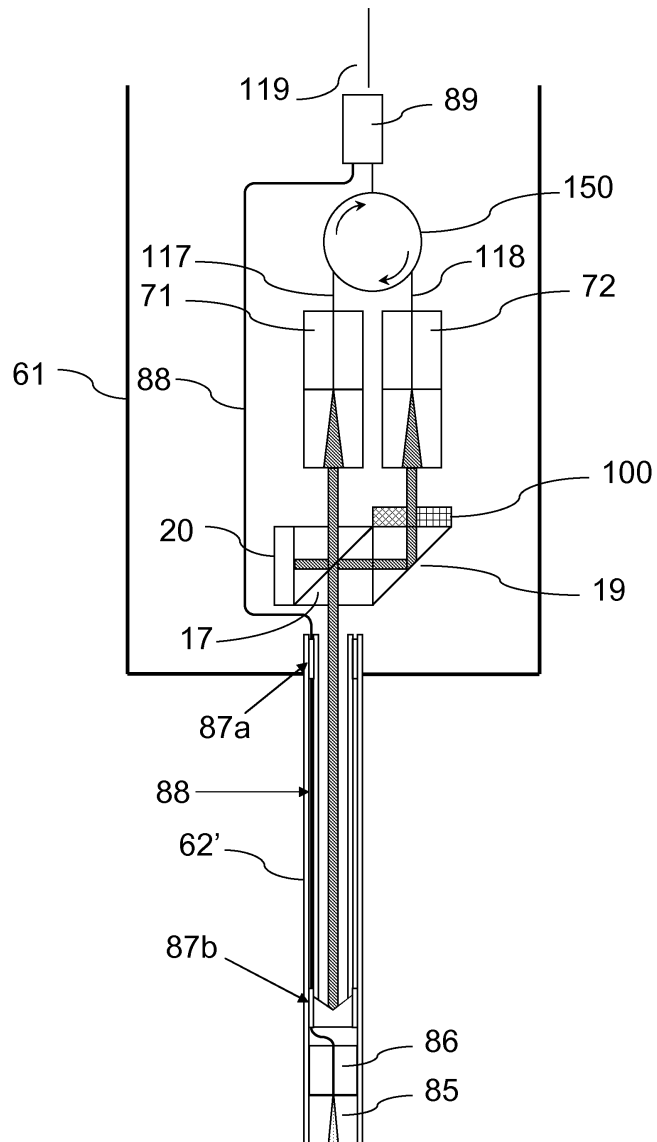




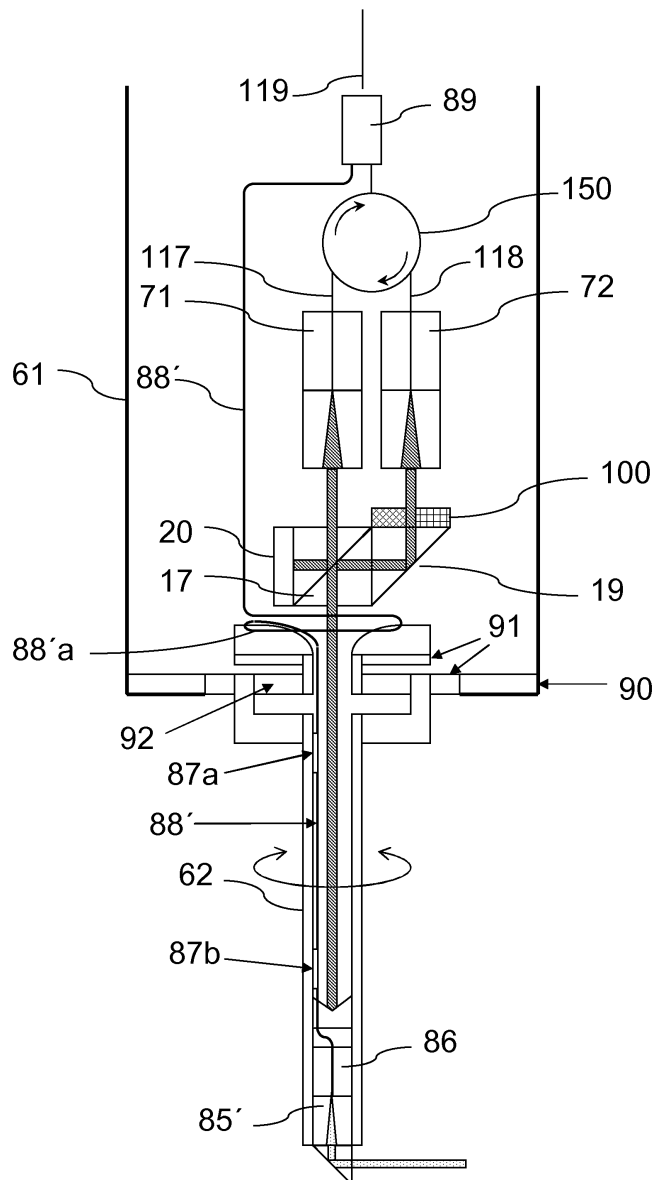
도면14



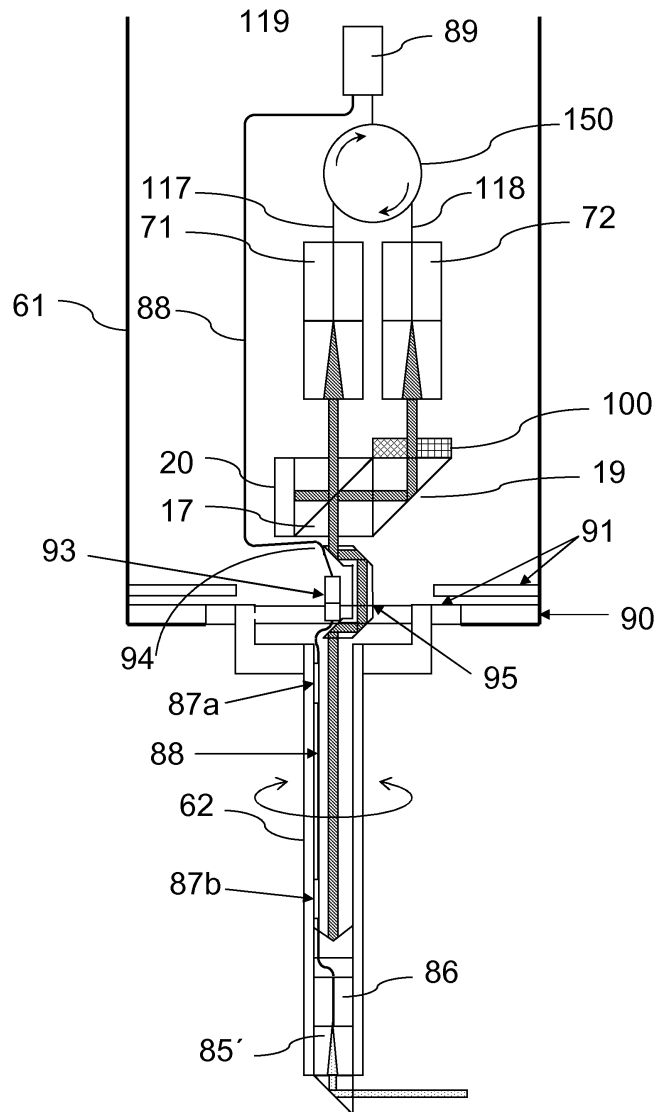
도면15



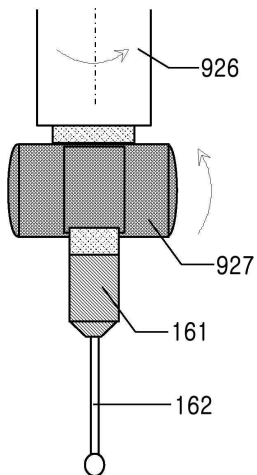
도면16



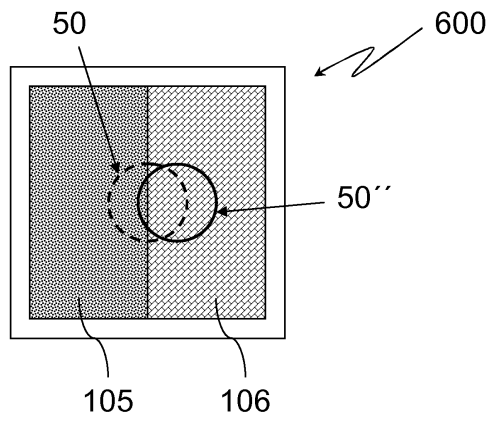
도면17a



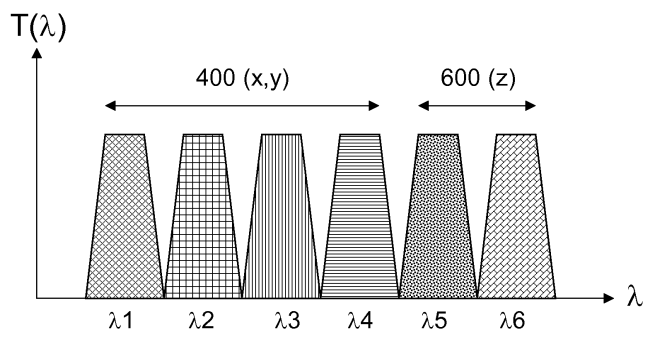
도면17b



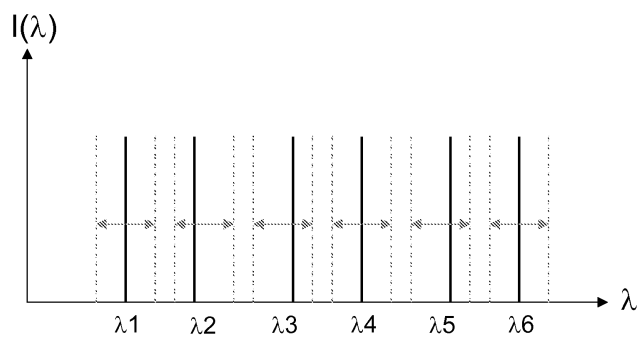
도면18



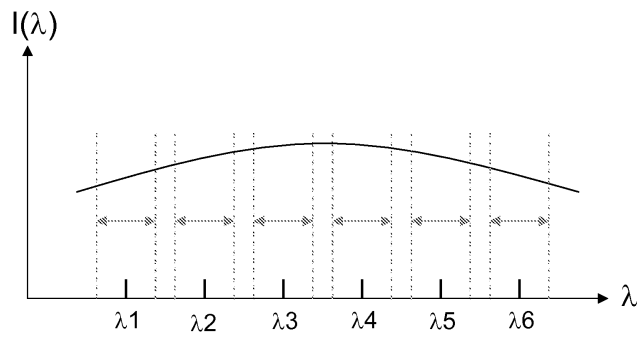
도면19



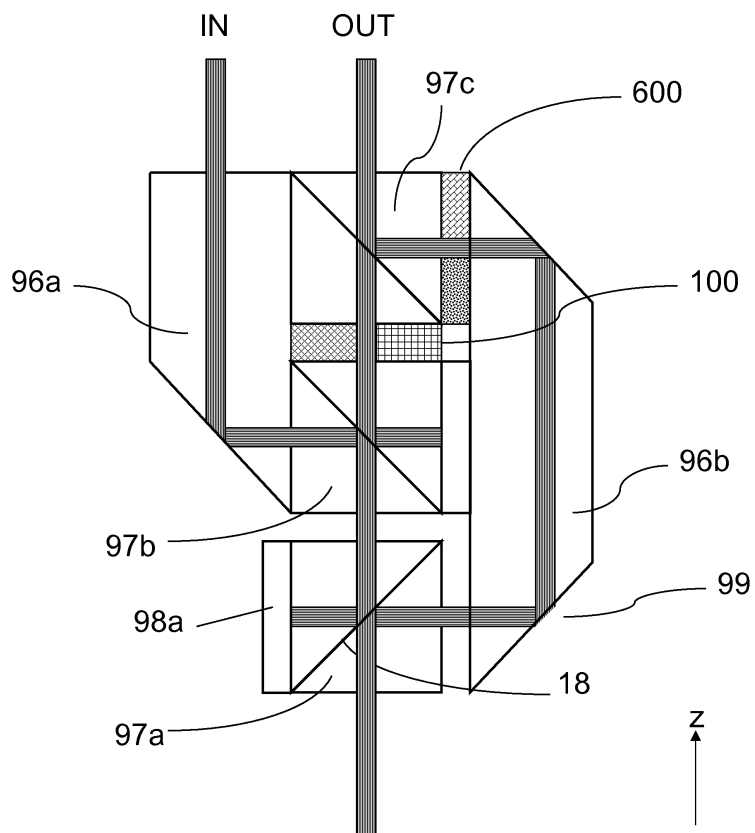
도면20



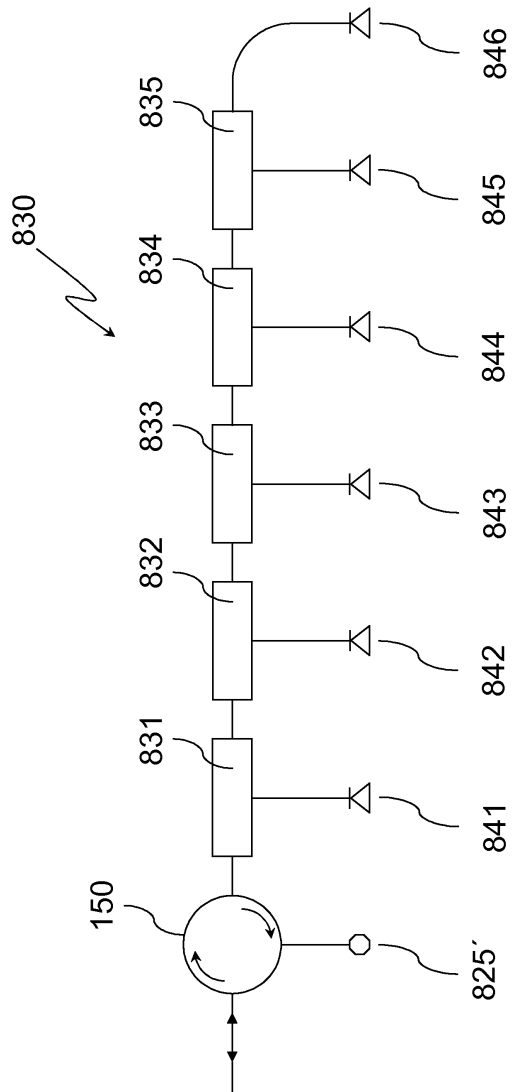
도면21



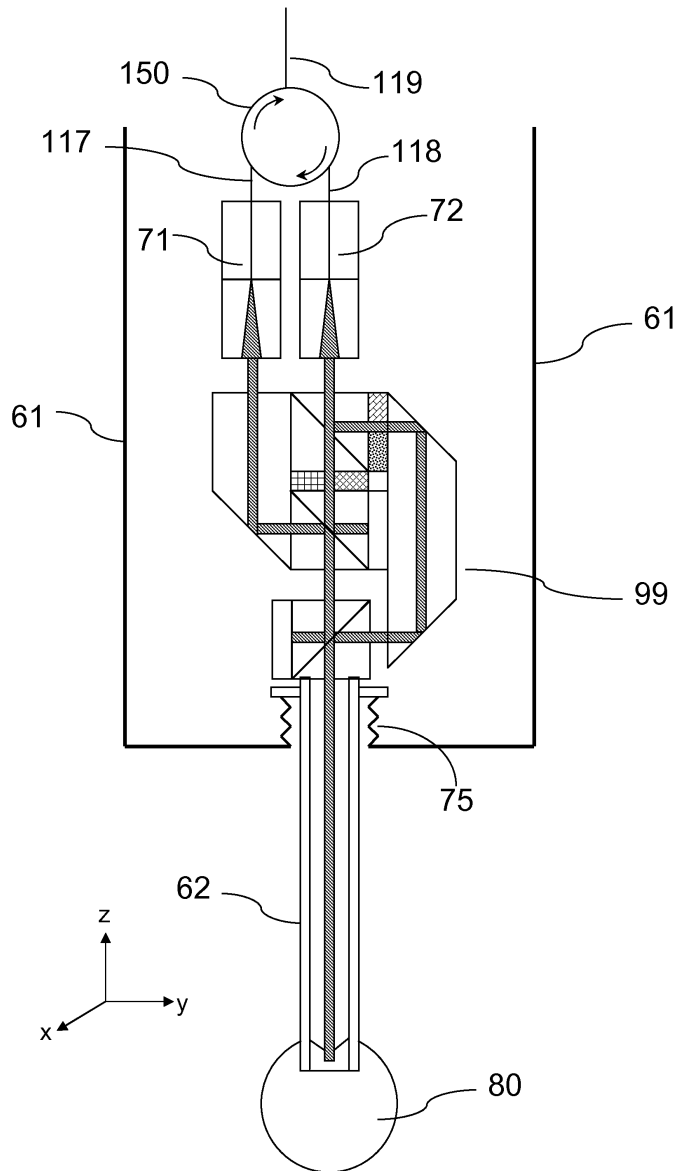
도면22



도면23

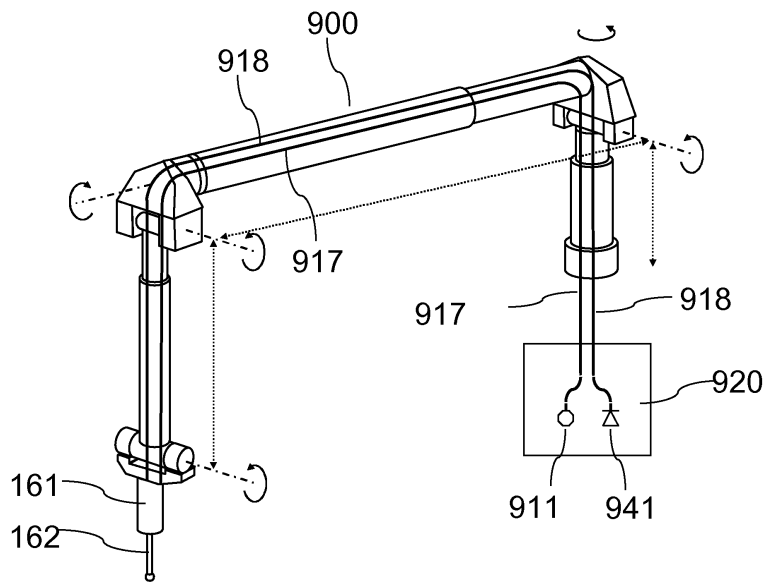


도면24

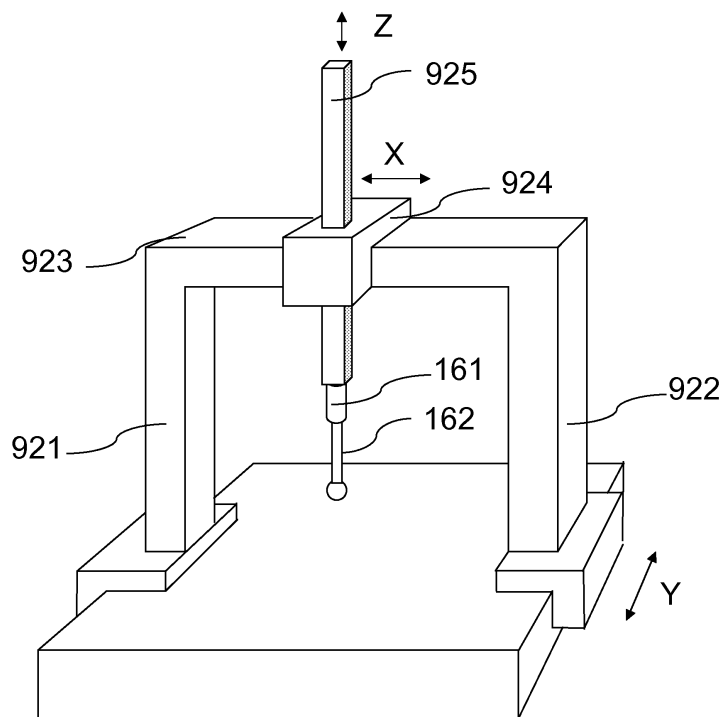




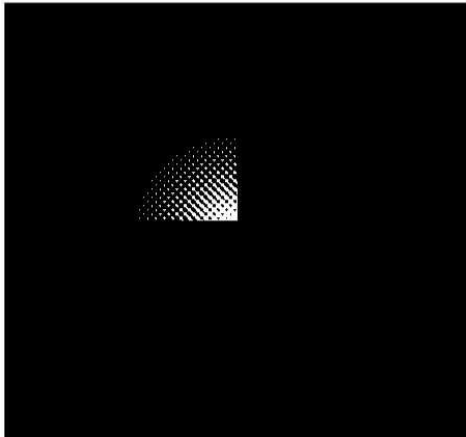
도면25



도면26

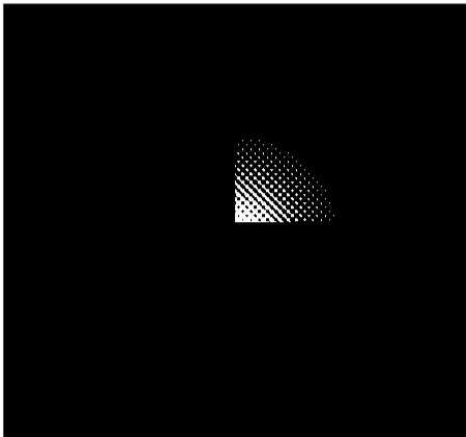


도면27a



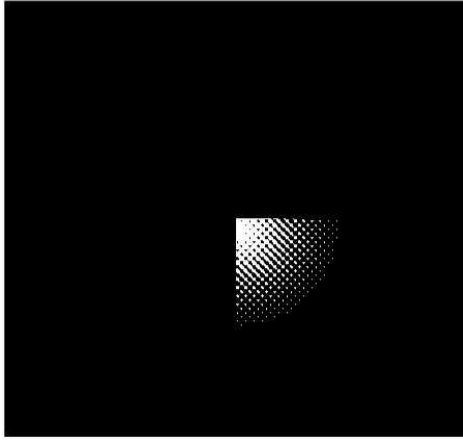
$$If_0 \cdot \frac{255}{\max(If_0)}$$

도면27b



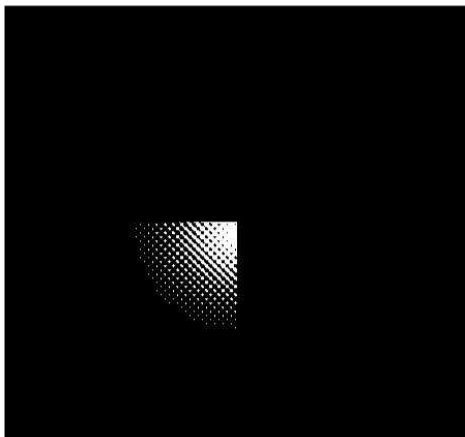
$$If_1 \cdot \frac{255}{\max(If_1)}$$

도면27c



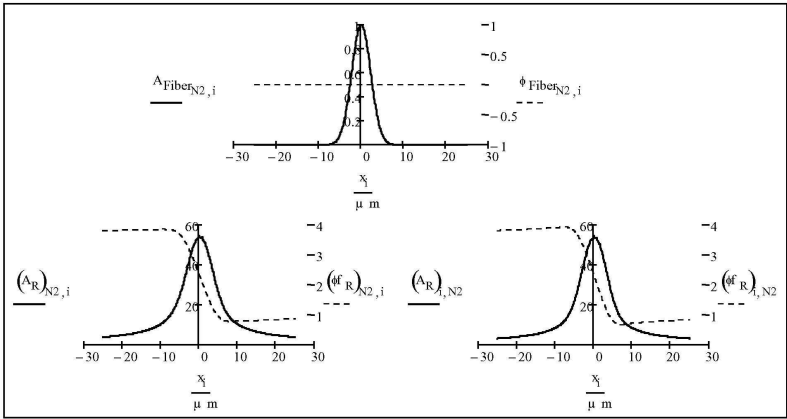
$$If_2 \cdot \frac{255}{\max(If_2)}$$

도면27d

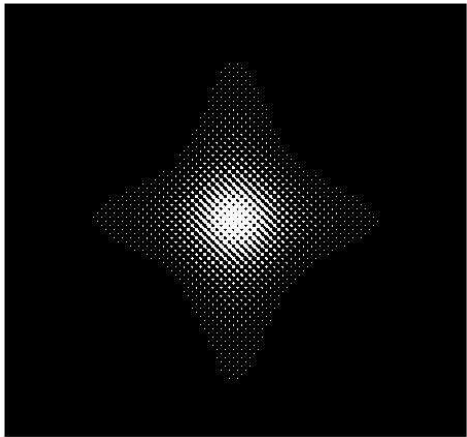


$$If_3 \cdot \frac{255}{\max(If_3)}$$

도면28

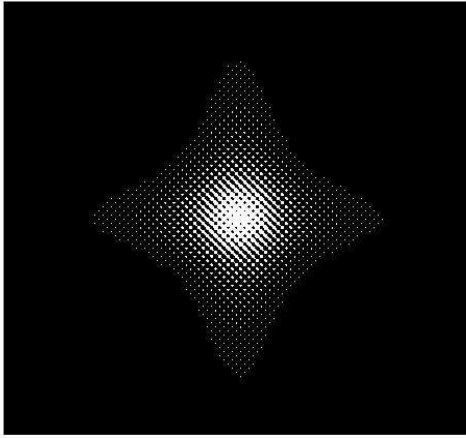


도면29a



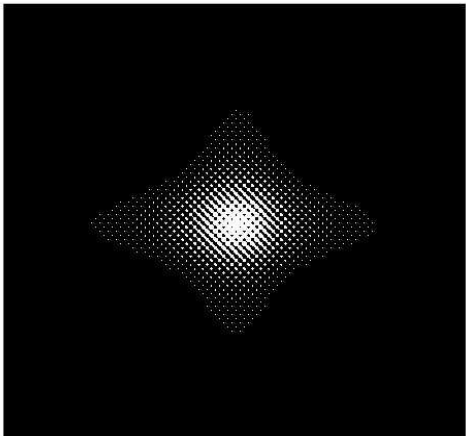
$$If_0 \cdot \frac{255}{\max(If_0)}$$

도면29b



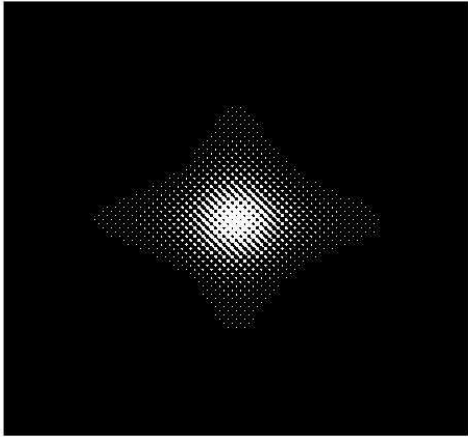
$$If_1 \cdot \frac{255}{\max(If_1)}$$

도면29c



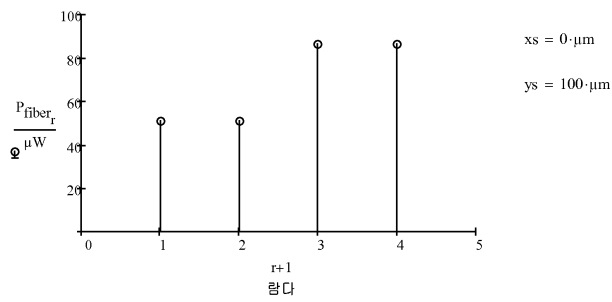
$$If_2 \cdot \frac{255}{\max(If_2)}$$

도면29d

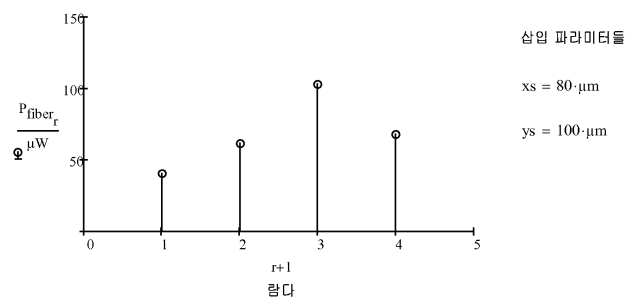


$$If_3 \cdot \frac{255}{\max(If_3)}$$

도면30



도면31



$$cal := \frac{100\mu m}{255\mu m} = 0.392$$

$$x_s := \frac{\sum_r (P_{fiber_r} \cdot pos_{r,0} \cdot cal)}{\sum_r P_{fiber_r}} = 80.256 \mu m$$

$$y_s := \frac{\sum_r (P_{fiber_r} \cdot pos_{r,1} \cdot cal)}{\sum_r P_{fiber_r}} = 99.595 \mu m$$