



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0039864

(43) 공개일자 2015년04월13일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01J 9/00 (2006.01) A61B 3/10 (2006.01)
A61B 3/103 (2006.01) A61B 3/107 (2006.01)
A61B 3/117 (2006.01) G01J 3/06 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
G01J 9/00 (2013.01)
A61B 3/1005 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2015-7007342(분할)
- (22) 출원일자(국제) 2012년08월03일
심사청구일자 없음
- (62) 원출원 특허 10-2014-7000267
원출원일자(국제) 2012년08월03일
심사청구일자 2014년01월06일
- (85) 번역문제출일자 2015년03월23일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2012/049607
- (87) 국제공개번호 WO 2013/020092
국제공개일자 2013년02월07일
- (30) 우선권주장
13/198,442 2011년08월04일 미국(US)

- (71) 출원인
클레리티 메디칼 시스템즈 인코포레이티드
미국 94588-4084 캘리포니아 플레젠턴 웨스트 라
스 포지타스 블러바드 5775
- (72) 발명자
주 안
미국 캘리포니아 94588 플레젠턴 디아빌라 에비뉴
4325
셰아 윌리엄
미국 캘리포니아 94588 플레젠턴 캠퍼 코트 7936
- (74) 대리인
리앤목특허법인

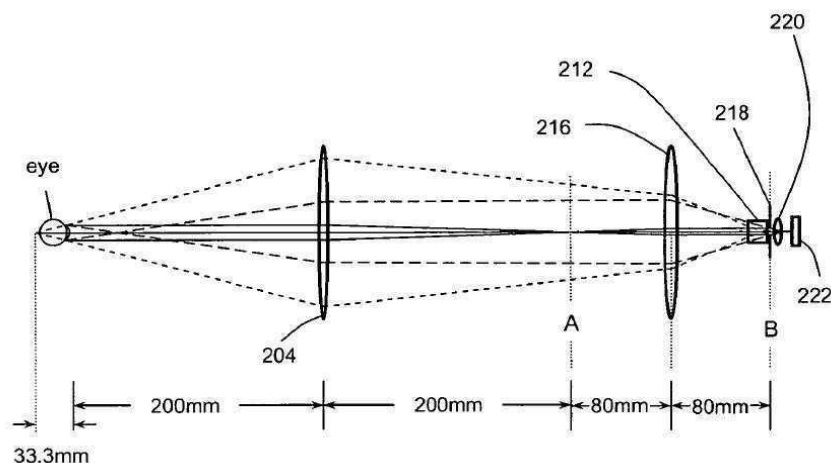
전체 청구항 수 : 총 28 항

(54) 발명의 명칭 파면 빔 시프팅 및 파면 샘플링 장치 및 그 방법

(57) 요약

시각 교정 또는 측정 절차를 위한 광범위 디옵터에 대한 순차 파면 센서의 실시예가 설명된다. 예시적 실시예는 파면 샘플링 평면으로 눈 동공이나 각막 평면으로부터 파면을 광학적으로 전달하되, 전달 과정에서, 광범위 디옵터 이내의 눈으로부터의 파면 빔은 파면 이미지 공간 및/또는 푸리에 변환 공간에서 임의의 축방향 거리 범위에 대하여 원하는 치수 내에 존재하도록 된다. 그 결과, 파면 빔 시프팅 장치는 전달된 파면을 횡방향으로 시프트하도록 전체 빔을 완전히 포섭하고 시프팅하도록 배치된다

대표도 - 도2a



(52) CPC특허분류

A61B 3/1015 (2013.01)

A61B 3/102 (2013.01)

A61B 3/103 (2013.01)

A61B 3/107 (2013.01)

A61B 3/117 (2013.01)

G01J 2003/064 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

파면 빔의 전파(propagation)를 안내하고 파면 대물 공간(wavefront object space)의 파면 대물 평면으로부터 적어도 하나의 푸리에 변환 공간의 적어도 하나의 푸리에 변환 평면을 통하여 파면 이미지 공간의 파면 이미지 평면으로 파면을 전달하도록 된 적어도 2개의 파면 릴레이 스테이지로서, 적어도 하나의 푸리에 변환 공간은 제 2 또는 후속 파면 릴레이 스테이지 내에 존재하는 파면 릴레이 스테이지;

상기 파면 이미지 평면에 실질적으로 배치된 샘플링 개구; 및

상기 푸리에 변환 공간의 적어도 하나의 푸리에 변환 평면에 실질적으로 배치되며 상기 푸리에 변환 공간의 전체 파면 빔을 실질적으로 포섭하도록 된 빔 시프팅 요소;를 구비하는 광 릴레이 시스템을 포함하는 파면 빔 시프팅 및 파면 샘플링 장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

2개의 상기 파면 릴레이 스테이지는,

제 1 렌즈, 제 2 렌즈, 제 3 렌즈 및 제 4 렌즈를 구비하는 2개의 캐스케이드된 4-F 파면 릴레이 스테이지를 포함하되,

상기 푸리에 변환 평면은 상기 제 3 렌즈 및 제 4 렌즈 사이에 배치되는 것을 특징으로 하는 파면 빔 시프팅 및 파면 샘플링 장치.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

2개의 상기 파면 릴레이 스테이지는,

2개의 포지티브 렌즈들 사이에 배치된 네거티브 렌즈를 구비한 3개의 렌즈를 가진 제 1 파면 릴레이 스테이지와,

2개의 렌즈를 구비한 제 2의 4-F 파면 릴레이 스테이지를 구비하되,

상기 푸리에 변환 평면은 상기 제 2의 4-F 파면 릴레이 스테이지의 2개의 렌즈들 사이에 배치되는 것을 특징으로 하는 파면 빔 시프팅 및 파면 샘플링 장치.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 빔 시프팅 요소는 상기 샘플링 개구에 대하여 전달된 파면 빔을 시프팅하도록 된 이동가능한 전달 매체를 포함하는 것을 특징으로 하는 파면 빔 시프팅 및 파면 샘플링 장치.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 빔 시프팅 요소는 상기 샘플링 개구에 대하여 전달된 파면 빔을 시프팅하도록 된 이동가능한 반사 표면을 구비하는 것을 특징으로 하는 파면 빔 시프팅 및 파면 샘플링 장치.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 빔 시프팅 요소는 전자-광학 빔 시프팅 요소 또는 자기-광학 빔 시프팅 요소 또는 음향-광학 빔 시프팅 요소를 포함하는 것을 특징으로 하는 파면 빔 시프팅 및 파면 샘플링 장치.

청구항 7

시력 교정 또는 측정 절차를 위한 광범위 디오퍼터 순차 파면 센서에 있어서, 상기 순차 파면 센서는,

각각 직경, 초점 거리 및 광축을 가지는 제 1 렌즈 및 제 2 렌즈를 구비하는 광 파면 릴레이 시스템으로서, 상기 광 파면 릴레이 시스템은 대물 공간의 대물 평면으로부터 파면 이미지 공간의 파면 이미지 평면으로의 입사 파면을 빔 경로를 따라 전달하게 되며, 상기 제 1 렌즈 및 제 2 렌즈의 초점 거리와 직경은 상기 파면 이미지 평면에 대하여 대물 평면에서 광범위 디오퍼터를 가지는 입사 파면 빔을 안내하도록 선택되는, 광 파면 릴레이 시스템;

상기 제 2 렌즈와 상기 파면 이미지 평면 사이의 파면 이미지 공간에 배치되며 파면 이미지 공간의 실질적으로 전체 파면 빔을 포섭하도록 된 반사 빔 시프팅 요소로서, 상기 반사 빔 시프팅 요소는 추가적으로 환자의 눈의 임의의 횡방향 움직임에 응답하여 동적으로 DC 오프-셋 되도록 되어, 눈으로부터 되돌아온 파면 빔이 상기 샘플링 개구에 대하여 횡방향으로 변위되더라도, 상기 반사 빔 시프팅 요소는 눈으로부터의 파면의 동일한 의도된 부분이 눈의 횡방향 움직임에 무관하게 샘플링될 수 있게 하도록 변위를 보상하게 되는, 반사 빔 시프팅 요소;

상기 반사 빔 시프팅 요소에 의해 반사되기 전에 실질적으로 전체 파면 빔을 포섭하도록 배치되며, 제 1 편광 상태의 광을 투과시키고 제 2 편광 상태의 광을 반사시키도록 되며 제 1 광축에 대하여 실질적으로 45도로 배향 되도록 된 편광 빔 스플리터(PBS);

PBS 와 상기 반사 빔 시프팅 요소 사이에 배치되며, 상기 파면 빔의 편광 상태를 가변시키도록 되어, 상기 반사 빔 시프팅 요소에 의해 반사된 파면 빔이 상기 PBS 에 의해 반사되게 되는 편광 회전 요소;

상기 PBS에 의해 반사되는 파면 빔을 샘플링하도록 된 파면 이미지 평면에 실질적으로 배치된 샘플링 개구;

상기 개구 이전 또는 이후에 배치되는 서브 파면 초점 렌즈; 및

상기 서브 파면 초점 렌즈 및 샘플링 개구 후방에 배치되는 이미지 스팟 위치 센싱 장치;를 포함하는 것을 특징으로 하는 시력 교정 또는 측정 절차를 위한 광범위 디오퍼터 순차 파면 센서.

청구항 8

시력 교정 또는 측정 절차를 위한 광범위 디오퍼터 순차 파면 센서에 있어서, 상기 순차 파면 센서는,

각각 직경, 초점 거리 및 광축을 가지는 제 1 렌즈 및 제 2 렌즈를 구비하는 광 파면 릴레이 시스템으로서, 상기 광 파면 릴레이 시스템은 대물 공간의 대물 평면으로부터 파면 이미지 공간의 파면 이미지 평면으로의 입사 파면을 빔 경로를 따라 전달하게 되며, 상기 제 1 렌즈 및 제 2 렌즈의 초점 거리와 직경은 상기 파면 이미지 평면에 대하여 대물 평면에서 광범위 디오퍼터를 가지는 입사 파면 빔을 안내하도록 선택되는, 광 파면 릴레이 시스템;

상기 제 2 렌즈와 상기 파면 이미지 평면 사이의 파면 이미지 공간에 배치되며 파면 이미지 공간의 실질적으로 전체 파면 빔을 포섭하도록 된 반사 빔 시프팅 요소;

상기 반사 빔 시프팅 요소에 의해 반사되기 전에 실질적으로 전체 파면 빔을 포섭하도록 배치되며, 제 1 편광 상태의 광을 투과시키고 제 2 편광 상태의 광을 반사시키도록 되며 제 1 광축에 대하여 실질적으로 45도로 배향 되도록 된 편광 빔 스플리터(PBS);

PBS 와 상기 반사 빔 시프팅 요소 사이에 배치되며, 상기 파면 빔의 편광 상태를 가변시키도록 되어, 상기 반사 빔 시프팅 요소에 의해 반사된 파면 빔이 상기 PBS 에 의해 반사되게 되는 편광 회전 요소;

상기 PBS에 의해 반사되는 파면 빔을 샘플링하도록 된 파면 이미지 평면에 실질적으로 배치된 샘플링 개구;

상기 개구 이전 또는 이후에 배치되는 서브 파면 초점 렌즈;

상기 서브 파면 초점 렌즈 및 샘플링 개구 후방에 배치되는 이미지 스팟 위치 센싱 장치;

파면 생성 빔을 발산하도록 된 광원; 및

상기 제 1 렌즈의 후방 초점 평면에 배치되며, 상기 파면 생성 빔을 환자의 눈으로 방향 설정하며, 눈의 횡방향

움직임을 추적하도록 상기 빔을 스캔하도록 된 빔 스플리터 미러;를 포함하는 것을 특징으로 하는 시력 교정 또는 측정 절차를 위한 광범위 디오프터 순차 파면 센서.

청구항 9

시력 교정 또는 측정 절차를 위한 광범위 디오프터 순차 파면 센서에 있어서, 상기 순차 파면 센서는,

각각 직경, 초점 거리 및 광축을 가지는 제 1 렌즈 및 제 2 렌즈를 구비하는 광 파면 릴레이 시스템으로서, 상기 광 파면 릴레이 시스템은 대물 공간의 대물 평면으로부터 파면 이미지 공간의 파면 이미지 평면으로의 입사 파면을 빔 경로를 따라 전달하게 되며, 상기 제 1 렌즈 및 제 2 렌즈의 초점 거리와 직경은 상기 파면 이미지 평면에 대하여 대물 평면에서 광범위 디오프터를 가지는 입사 파면 빔을 안내하도록 선택되는, 광 파면 릴레이 시스템;

상기 제 2 렌즈와 상기 파면 이미지 평면 사이의 파면 이미지 공간에 배치되며 파면 이미지 공간의 실질적으로 전체 파면 빔을 포섭하도록 된 반사 빔 시프팅 요소;

상기 반사 빔 시프팅 요소에 의해 반사되기 전에 실질적으로 전체 파면 빔을 포섭하도록 배치되며, 제 1 편광 상태의 광을 투과시키고 제 2 편광 상태의 광을 반사시키도록 되며 제 1 광축에 대하여 실질적으로 45도로 배향되도록 된 편광 빔 스플리터(PBS);

PBS 와 상기 반사 빔 시프팅 요소 사이에 배치되며, 상기 파면 빔의 편광 상태를 가변시키도록 되어, 상기 반사 빔 시프팅 요소에 의해 반사된 파면 빔이 상기 PBS 에 의해 반사되게 되는 편광 회전 요소;

상기 PBS에 의해 반사되는 파면 빔을 샘플링하도록 된 파면 이미지 평면에 실질적으로 배치된 샘플링 개구;

상기 개구 이전 또는 이후에 배치되는 서브 파면 초점 렌즈; 및

상기 서브 파면 초점 렌즈 및 샘플링 개구 후방에 배치되는 이미지 스폿 위치 센싱 장치; 및

상기 대물 평면 및 환자의 눈 사이의 축방향 거리를 측정하도록 되어, 측정된 눈 축방향 거리에 적용되는 교정된 캘리브레이션 곡선은 눈으로부터 파면을 정확하게 특징짓는데 사용되는 축방향 거리 측정 장치;를 포함하는 것을 특징으로 하는 시력 교정 또는 측정 절차를 위한 광범위 디오프터 순차 파면 센서.

청구항 10

시력 교정 또는 측정 절차를 위한 광범위 디오프터 순차 파면 센서에 있어서, 상기 순차 파면 센서는,

각각 직경, 초점 거리 및 광축을 가지는 제 1 렌즈 및 제 2 렌즈를 구비하는 제 1 광 파면 릴레이 시스템으로서, 상기 제 1 광 파면 릴레이 시스템은 제 1 대물 공간의 제 1 대물 평면으로부터 제 1 파면 이미지 공간의 제 1 파면 이미지 평면으로의 입사 파면을 제 1 빔 경로를 따라 전달하게 되며, 상기 제 1 렌즈 및 제 2 렌즈의 초점 거리와 직경은 상기 제 1 파면 이미지 평면에 대하여 제 1 대물 평면에서 광범위 디오프터를 가지는 입사 파면 빔을 안내하도록 선택되는, 제 1 광 파면 릴레이 시스템;

각각 직경, 초점 거리 및 광축을 가지는 제 3 렌즈 및 제 4 렌즈를 구비하는 제 2 광 파면 릴레이 시스템으로서, 상기 제 2 광 파면 릴레이 시스템은 실질적으로 상기 제 1 파면 이미지 평면에 있는 제 2 대물 공간의 제 2 대물 평면을 가지며 상기 제 1 파면 이미지 평면으로부터 제 2 파면 이미지 공간의 제 2 파면 이미지 평면으로 입사 파면을 추가로 릴레이 하게 되며, 상기 제 3 렌즈는 상기 제 3 렌즈 및 제 4 렌즈 사이에 배치된 퓨리에 변환 평면에 대하여 파면 빔을 안내하도록 되는, 제 2 광 파면 릴레이 시스템;

상기 제 3 렌즈 및 제 4 렌즈 사이에 배치된 상기 퓨리에 변환 평면에 실질적으로 배치되고, 희망하는 광범위 디오프터 상에서 실질적으로 전체 파면 빔을 포섭하도록 상기 제 3 렌즈의 광축을 따라 배치되며, 반사된 파면 빔이 상기 제 3 렌즈에 의해 포섭되는 것을 방지하는 크기의 꺾임 각에서 제 2 광 경로를 꺾도록 배향되는 반사 빔 시프팅 요소로서, 상기 반사 빔 시프팅 요소는 추가적으로 환자의 눈의 임의의 횡방향 움직임에 응답하여 동적으로 DC 오프-셋 되도록 되어, 눈으로부터 되돌아온 파면 빔이 상기 샘플링 개구에 대하여 횡방향으로 변위되더라도, 상기 반사 빔 시프팅 요소는 눈으로부터의 파면의 동일한 의도된 부분이 눈의 횡방향 움직임에 무관하게 샘플링될 수 있게 하도록 변위를 보상하게 되는, 반사 빔 시프팅 요소;

상기 제 2 파면 이미지 평면 또는 그 주위에 배치된 파면 샘플링 개구;

상기 개구 이전 또는 이후에 배치되는 서브 파면 초점 렌즈; 및

상기 서브 파면 초점 렌즈 및 샘플링 개구 후방에 배치되는 이미지 스폿 위치 센싱 장치;를 포함하는 것을 특징으로 하는 시력 교정 또는 측정 절차를 위한 광범위 다옴터 순차 파면 센서.

청구항 11

시력 교정 또는 측정 절차를 위한 광범위 다옴터 순차 파면 센서에 있어서, 상기 순차 파면 센서는,

각각 직경, 초점 거리 및 광축을 가지는 제 1 렌즈 및 제 2 렌즈를 구비하는 제 1 광 파면 릴레이 시스템으로서, 상기 제 1 광 파면 릴레이 시스템은 제 1 대물 공간의 제 1 대물 평면으로부터 제 1 파면 이미지 공간의 제 1 파면 이미지 평면으로의 입사 파면을 제 1 빔 경로를 따라 전달하게 되며, 상기 제 1 렌즈 및 제 2 렌즈의 초점 거리와 직경은 상기 제 1 파면 이미지 평면에 대하여 제 1 대물 평면에서 광범위 다옴터를 가지는 입사 파면 빔을 안내하도록 선택되는, 제 1 광 파면 릴레이 시스템;

각각 직경, 초점 거리 및 광축을 가지는 제 3 렌즈 및 제 4 렌즈를 구비하는 제 2 광 파면 릴레이 시스템으로서, 상기 제 2 광 파면 릴레이 시스템은 실질적으로 상기 제 1 파면 이미지 평면에 있는 제 2 대물 공간의 제 2 대물 평면을 가지며 상기 제 1 파면 이미지 평면으로부터 제 2 파면 이미지 공간의 제 2 파면 이미지 평면으로 입사 파면을 추가로 릴레이 하게 되며, 상기 제 3 렌즈는 상기 제 3 렌즈 및 제 4 렌즈 사이에 배치된 퓨리에 변환 평면에 대하여 파면 빔을 안내하도록 되는, 제 2 광 파면 릴레이 시스템;

상기 제 3 렌즈 및 제 4 렌즈 사이에 배치된 상기 퓨리에 변환 평면에 실질적으로 배치되고, 희망하는 광범위 다옴터 상에서 실질적으로 전체 파면 빔을 포섭하도록 상기 제 3 렌즈의 광축을 따라 배치되며, 반사된 파면 빔이 상기 제 3 렌즈에 의해 포섭되는 것을 방지하는 크기의 꺾임 각에서 제 2 광 경로를 꺾도록 배향되는 반사 빔 시프팅 요소;

상기 제 2 파면 이미지 평면 또는 그 주위에 배치된 파면 샘플링 개구;

상기 개구 이전 또는 이후에 배치되는 서브 파면 초점 렌즈;

상기 서브 파면 초점 렌즈 및 샘플링 개구 후방에 배치되는 이미지 스폿 위치 센싱 장치; 및

환자의 눈과 상기 대물 평면 사이의 축방향 거리를 측정하도록 되어, 측정된 눈 축방향 거리에 적용되는 교정된 캘리브레이션 곡선은 눈으로부터 파면을 정확하게 특징짓도록 하는데 사용되는 축방향 거리 측정 장치;를 포함하는 것을 특징으로 하는 시력 교정 또는 측정 절차를 위한 광범위 다옴터 순차 파면 센서.

청구항 12

시력 교정 또는 측정 절차를 위한 광범위 다옴터 순차 파면 센서에 있어서, 상기 순차 파면 센서는,

각각 직경, 초점 거리 및 광축을 가지는 제 1 렌즈 및 제 2 렌즈를 구비하는 제 1 광 파면 릴레이 시스템으로서, 상기 제 1 광 파면 릴레이 시스템은 제 1 대물 공간의 제 1 대물 평면으로부터 제 1 파면 이미지 공간의 제 1 파면 이미지 평면으로의 입사 파면을 제 1 빔 경로를 따라 전달하게 되며, 상기 제 1 렌즈 및 제 2 렌즈의 초점 거리와 직경은 상기 제 1 파면 이미지 평면에 대하여 제 1 대물 평면에서 광범위 다옴터를 가지는 입사 파면 빔을 안내하도록 선택되는, 제 1 광 파면 릴레이 시스템;

직경, 초점 거리 및 광축, 그리고 상기 제 1 파면 이미지 평면에 실질적으로 위치되는 제 2 대물 공간의 제 2 대물 평면을 가지되 퓨리에 변환 평면으로 상기 파면 빔을 안내하도록 된 제 3 렌즈;

상기 퓨리에 변환 평면에 실질적으로 배치되되 희망하는 광범위 다옴터에서 실질적으로 전체 파면 빔을 포섭하도록 상기 제 3 렌즈의 광축에 실질적으로 수직하게 배향되어 이를 따라 배치되고, 상기 제 3 렌즈를 통하여 후방으로 통과하는 반사된 파면 빔을 형성하도록 상기 파면 빔을 반사하도록 배향되는 반사 빔 시프팅 요소로서, 상기 제 3 렌즈는 제 2 파면 릴레이 시스템의 2개의 렌즈로서 기능하며 반사된 파면 빔을 제 2 파면 이미지 공간의 제 2 파면 이미지 평면으로 안내하여, 상기 반사 빔 시프팅 요소는 추가적으로 환자의 눈의 임의의 횡방향 움직임에 응답하여 동적으로 DC 오프-셋 되도록 되어, 눈으로부터 되돌아온 파면 빔이 상기 샘플링 개구에 대하여 횡방향으로 변위되더라도, 상기 반사 빔 시프팅 요소는 눈으로부터의 파면의 동일한 의도된 부분이 눈의 횡방향 움직임에 무관하게 샘플링될 수 있게 하도록 변위를 보상하게 되는, 반사 빔 시프팅 요소;

상기 제 3 렌즈에 의해 투과되기 전에 파면 빔을 포섭하도록 배치되며, 제 1 편광 상태의 광을 투과시키고 제 2 편광 상태의 광을 반사시키도록 되며 제 3 렌즈에 대하여 실질적으로 45도로 배향되도록 된 편광 빔 스플리터

(PBS);

상기 제 3 렌즈와 상기 반사 빔 시프팅 요소 사이 또는 상기 PBS 와 제 3 렌즈 사이에 배치되며, 상기 파면 빔의 편광 상태를 가변시키도록 되어, 상기 PBS는 상기 제 3 렌즈의 광축에 실질적으로 수직한 반사된 파면 빔을 반사하게되는 편광 회전 요소;

상기 PBS에 의해 반사되는 파면 빔을 포섭하도록 제 2 파면 이미지 평면 또는 그 주위에 배치된 파면 샘플링 개구;

상기 개구 이전 또는 이후에 배치되는 서브 파면 초점 렌즈; 및

상기 서브 파면 초점 렌즈 및 샘플링 개구 후방에 배치되는 이미지 스팟 위치 센싱 장치;를 포함하는 것을 특징으로 하는 시력 교정 또는 측정 절차를 위한 광범위 다옴터 순차 파면 센서.

청구항 13

시력 교정 또는 측정 절차를 위한 광범위 다옴터 순차 파면 센서에 있어서, 상기 순차 파면 센서는,

각각 직경, 초점 거리 및 광축을 가지는 제 1 렌즈 및 제 2 렌즈를 구비하는 제 1 광 파면 릴레이 시스템으로서, 상기 제 1 광 파면 릴레이 시스템은 제 1 대물 공간의 제 1 대물 평면으로부터 제 1 파면 이미지 공간의 제 1 파면 이미지 평면으로의 입사 파면을 제 1 빔 경로를 따라 전달하게 되며, 상기 제 1 렌즈 및 제 2 렌즈의 초점 거리와 직경은 상기 제 1 파면 이미지 평면에 대하여 제 1 대물 평면에서 광범위 다옴터를 가지는 입사 파면 빔을 안내하도록 선택되는, 제 1 광 파면 릴레이 시스템;

직경, 초점 거리 및 광축, 그리고 상기 제 1 파면 이미지 평면에 실질적으로 위치되는 제 2 대물 공간의 제 2 대물 평면을 가지되 퓨리에 변환 평면으로 상기 파면 빔을 안내하도록 된 제 3 렌즈;

상기 퓨리에 변환 평면에 실질적으로 배치되되 회향하는 광범위 다옴터에서 실질적으로 전체 파면 빔을 포섭하도록 상기 제 3 렌즈의 광축에 실질적으로 수직하게 배향되어 이를 따라 배치되고, 상기 제 3 렌즈를 통하여 후방으로 통과하는 반사된 파면 빔을 형성하도록 상기 파면 빔을 반사하도록 배향되는 반사 빔 시프팅 요소로서, 상기 제 3 렌즈는 제 2 파면 릴레이 시스템의 2개의 렌즈로서 기능하며 반사된 파면 빔을 제 2 파면 이미지 공간의 제 2 파면 이미지 평면으로 안내하는, 반사 빔 시프팅 요소;

상기 제 3 렌즈에 의해 투과되기 전에 파면 빔을 포섭하도록 배치되며, 제 1 편광 상태의 광을 투과시키고 제 2 편광 상태의 광을 반사시키도록 되어 제 3 렌즈에 대하여 실질적으로 45도로 배향되도록 된 편광 빔 스플리터 (PBS);

상기 제 3 렌즈와 상기 반사 빔 시프팅 요소 사이 또는 상기 PBS 와 제 3 렌즈 사이에 배치되며, 상기 파면 빔의 편광 상태를 가변시키도록 되어, 상기 PBS는 상기 제 3 렌즈의 광축에 실질적으로 수직한 반사된 파면 빔을 반사하게되는 편광 회전 요소;

상기 PBS에 의해 반사되는 파면 빔을 포섭하도록 제 2 파면 이미지 평면 또는 그 주위에 배치된 파면 샘플링 개구;

상기 개구 이전 또는 이후에 배치되는 서브 파면 초점 렌즈;

상기 서브 파면 초점 렌즈 및 샘플링 개구 후방에 배치되는 이미지 스팟 위치 센싱 장치; 및

환자의 눈과 상기 제 1 대물 평면 사이의 축방향 거리를 측정하도록 되어, 측정된 눈 축방향 거리에 적용되는 교정된 캘리브레이션 곡선은 눈으로부터 파면을 정확하게 특정짓는데 사용될 수 있는, 축방향 거리 측정 장치;를 포함하는 것을 특징으로 하는 시력 교정 또는 측정 절차를 위한 광범위 다옴터 순차 파면 센서.

청구항 14

파면 빔 시프팅 및 파면 샘플링 방법으로서, 상기 방법은,

파면 빔의 전파를 안내하고 대물 공간의 대물 평면으로부터 파면 이미지 공간의 파면 이미지 평면으로 파면을 전달하는 단계;

상기 파면 이미지 평면에 실질적으로 배치된 샘플링 개구로써 전달된 파면을 샘플링하는 단계;

실질적으로 전체 파면을 포섭하는 단계; 및

파면 이미지 공간의 상기 개구 이전에 배치된 빔 시프팅 요소로써 전달된 파면을 시프팅하는 단계를 포함하는 파면 빔 시프팅 및 파면 샘플링 방법.

청구항 15

제 14 항에 있어서,

파면을 발산하는 목적물과 대물 평면 사이의 목적물 축방향 거리를 측정하는 측정 단계로서, 측정된 목적물 축방향 거리에 적용될 수 있는 교정된 캘리브레이션 곡선은 목적물로부터 파면을 정확하게 특정짓는데 사용되는 측정 단계를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 파면 빔 시프팅 및 파면 샘플링 방법.

청구항 16

제 14 항에 있어서,

파면을 발산하는 목적물의 동영상 이미지 또는 정지 이미지를 캡처/저장하는 단계를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 파면 빔 시프팅 및 파면 샘플링 방법.

청구항 17

제 16 항에 있어서,

파면 생성 빔을 목적물에 대하여 배향하고, 목적물의 움직임을 추적하도록 실제 목적물 이미지에 따라 상기 빔을 스캐닝하는 단계를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 파면 빔 시프팅 및 파면 샘플링 방법.

청구항 18

제 16 항에 있어서,

실제 목적물 이미지에 따라 상기 빔 시프팅 요소를 동적으로 DC 오프-셋 하는 단계로서, 상기 목적물로부터의 파면 빔이 상기 샘플링 개구에 대하여 횡방향으로 변위되더라도, 상기 빔 시프팅 요소는 목적물로부터의 파면의 동일한 의도된 부분이 목적물의 횡방향 움직임에 무관하게 샘플링될 수 있게 하도록 변위를 보상하게 되는, 빔 시프팅 요소를 동적으로 DC 오프-셋 하는 단계를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 파면 빔 시프팅 및 파면 샘플링 방법.

청구항 19

파면 빔 시프팅 및 파면 샘플링 방법으로서, 상기 방법은,

파면 빔의 전파를 안내하고 대물 공간의 대물 평면으로부터 적어도 하나의 퓨리에 변환 공간의 적어도 하나의 퓨리에 변환 평면을 통하여 파면 이미지 공간의 파면 이미지 평면으로 파면을 전달하는 단계로서, 적어도 하나의 상기 퓨리에 변환 공간은 파면 릴레이 스테이지 내에 존재하게 되는, 파면 빔의 전파를 안내하고 대물 공간의 대물 평면으로부터 적어도 하나의 퓨리에 변환 공간의 적어도 하나의 퓨리에 변환 평면을 통하여 파면 이미지 공간의 파면 이미지 평면으로 파면을 전달하는 단계;

상기 파면 이미지 평면에 실질적으로 배치된 샘플링 개구로써 전달된 파면을 샘플링하고 실질적으로 전체 파면 빔을 포섭하는 단계; 및

적어도 하나의 퓨리에 변환 공간의 적어도 하나의 퓨리에 변환 평면에 실질적으로 배치된 빔 시프팅 요소로써 전달된 파면을 시프팅하는 단계;를 포함하는 파면 빔 시프팅 및 파면 샘플링 방법.

청구항 20

제 19 항에 있어서,

파면을 발산하는 목적물과 대물 평면 사이의 목적물 축방향 거리를 측정하는 측정 단계로서, 측정된 목적물 축방향 거리에 적용될 수 있는 교정된 캘리브레이션 곡선은 목적물로부터 파면을 정확하게 특정짓는데 사용되는 측정 단계를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 파면 빔 시프팅 및 파면 샘플링 방법.

청구항 21

제 19 항에 있어서,

파면을 발산하는 목적물의 동영상 이미지 또는 정지 이미지를 캡처/저장하는 단계를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 파면 빔 시프팅 및 파면 샘플링 방법.

청구항 22

제 21 항에 있어서,

파면 생성 빔을 목적물에 대하여 배향하고, 목적물의 이미지를 추적하도록 실제 목적물 이미지에 따라 상기 빔을 스캐닝하는 단계를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 파면 빔 시프팅 및 파면 샘플링 방법.

청구항 23

제 21 항에 있어서,

실제 목적물 이미지에 따라 상기 빔 시프팅 요소를 동적으로 DC 오프-셋 하는 단계로서, 상기 목적물로부터의 파면 빔이 상기 샘플링 개구에 대하여 횡방향으로 변위되더라도, 상기 빔 시프팅 요소는 목적물로부터의 파면의 동일한 의도된 부분이 목적물의 횡방향 움직임에 무관하게 샘플링될 수 있게 하도록 변위를 보상하게 되는, 빔 시프팅 요소를 동적으로 DC 오프-셋 하는 단계를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 파면 빔 시프팅 및 파면 샘플링 방법.

청구항 24

시력 교정 또는 측정 절차를 위한 광범위 디오프터 순차 파면 센싱 방법으로서, 상기 방법은,

각각 직경, 초점 거리 및 광축을 가지는 제 1 렌즈와 제 2 렌즈를 구비한 제 1 광 파면 릴레이 시스템을 이용하여 제 1 빔 경로를 따라 제 1 대물 공간의 제 1 대물 평면으로부터 제 1 파면 이미지 공간의 제 1 파면 이미지 평면으로 입사 파면을 릴레이 하는 단계로서, 상기 제 1 렌즈 및 제 2 렌즈의 직경, 초점 거리 및 광축은 상기 제 1 파면 이미지 평면에 대하여 제 1 대물 평면에서의 광범위 디오프터를 가지는 입사 파면 빔을 안내하도록 선택되는, 입사 파면을 릴레이 하는 단계;

각각 직경, 초점 거리 및 광축을 가지는 제 3 렌즈와 제 4 렌즈를 제 2 광 파면 릴레이 시스템을 이용하여 제 2 빔 경로를 따라 제 1 파면 이미지 평면으로부터 제 2 파면 이미지 공간의 제 2 파면 이미지 평면으로 입사 파면을 추가로 레이하며, 상기 제 2 광 파면 릴레이 시스템은 상기 제 1 파면 이미지 평면에 실질적으로 존재하는 제 2 대물 공간의 제 2 대물 평면을 구비하며, 상기 제 3 렌즈는 제 3 렌즈와 제 4 렌즈 사이에 배치된 퓨리에 변환 평면으로 파면 빔을 안내하도록 되며, 실질적으로 전체 파면 빔을 포섭하고, 상기 제 3 렌즈와 상기 제 4 렌즈 사이에 배치된 퓨리에 변환 평면에 실질적으로 배치된 빔 시프팅 요소를 이용하여 제 2 파면 이미지 평면에서 전달된 파면을 시프팅하며, 실질적으로 제 2 파면 이미지 평면에 배치된 샘플링 개구를 이용하여 전달된 파면을 샘플링하는 단계;

샘플링된 파면 부분을 상기 개구의 전방 또는 후방에 배치된 서브 파면 초점 렌즈로써 포커싱하고, 상기 서브 파면 초점 렌즈 및 샘플링 개구 후방에 배치된 이미지 스팟 위치 센싱 장치로써 샘플링된 파면 부분에 의해 형성된 이미지 스팟의 위치를 센싱하는 단계;를 포함하는 시력 교정 또는 측정 절차를 위한 광범위 디오프터 순차 파면 센싱 방법.

청구항 25

제 24 항에 있어서,

파면을 발산하는 환자의 눈과 제 1 대물 평면 사이의 목적물 축방향 거리를 측정하는 측정 단계로서, 측정된 눈 축방향 거리에 적용될 수 있는 교정된 캘리브레이션 곡선은 눈으로부터 파면을 정확하게 특징짓는데 사용되는 측정 단계;를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 시력 교정 또는 측정 절차를 위한 광범위 디오프터 순차 파면 센싱 방법.

청구항 26

제 24 항에 있어서,

환자의 눈의 동영상 이미지 또는 정지 이미지를 캡처/저장하는 단계를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 시

력 교정 또는 측정 절차를 위한 광범위 디오프터 순차 파면 센싱 방법.

청구항 27

제 26 항에 있어서,

파면 생성 빔을 눈으로 향하게 하며, 눈의 움직임을 추적하도록 실제 눈의 이미지에 따라 빔을 스캐닝하는 단계를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 시력 교정 또는 측정 절차를 위한 광범위 디오프터 순차 파면 센싱 방법.

청구항 28

제 26 항에 있어서,

실제 눈 이미지에 따라 상기 빔 시프팅 요소를 동적으로 DC 오프-셋 하는 단계로서, 상기 눈으로부터의 파면 빔이 상기 샘플링 개구에 대하여 횡방향으로 변위되더라도, 상기 빔 시프팅 요소는 눈으로부터의 파면의 동일한 의도된 부분이 눈의 횡방향 움직임에 무관하게 샘플링될 수 있게 하도록 변위를 보상하게 되는, 빔 시프팅 요소를 동적으로 DC 오프-셋 하는 단계를 추가로 포함하는 것을 특징으로 시력 교정 또는 측정 절차를 위한 광범위 디오프터 순차 파면 센싱 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 출원은 2006년 1월 20일에 출원되고 2008년 11월 4일에 미국 특허 제7,445,335호로 허여된 순차 파면 센서라는 출원 번호 11/335,980호의 부분 계속 출원으로서 2007년 6월 12일에 출원되어 2010년 10월 19일에 특허된 미국 특허 제7,815,310호인, 어댑티브 순차 파면 센서 및 그 장치인 출원번호 11/761,890호의 분할 출원으로서 2010년 5월 28일에 출원된 프로그래밍된 제어부를 구비한 어댑티브 순차 파면 센서 라는 명칭의 출원번호 12/790,301호의 부분 계속 출원이다.

[0002] 본 발명의 하나 이상의 실시예는 안과 파면 센서에 대한 것으로서 보다 자세하게는 파면 센서 모듈 및 시력 교정 외과 수술을 위한 안과 장비에 부착되거나 일체로 되는 파면 센서 모듈 그리고 시력 측정을 위한 안과 장비에 통합되거나 수술시에 교정을 하기 위한 파면 센서 모듈에 대한 것이다.

배경 기술

[0003] 배경 기술에서 설명되는 주제는 배경 기술 항목에서 언급되었다고 해서 선행기술로 가정되어서는 아니된다. 유사하게, 배경 기술 분야에서 언급된 문제 또는 배경 기술 항목의 주제에 관련된 문제점은 선행 기술로서 이전에 인식되었던 것으로 가정되어서도 아니된다. 배경 기술 항목의 주제는 단지 그 자체로서 본 발명이 되는 것으로서 다른 접근 방식을 나타내는 것이다.

[0004] 안과 장치에서의 파면 센서는 일반적으로 부피가 크며 단독으로 자립 설치되는 데스크탑 장비이다. 라식 시스템(예를 들어 US6685319호), 안저카메라(fundus camera) (US6572230), 공초점 스캐닝 레이저 검안경(US7057806)와 같은 파면 센서를 안과 기구와 통합시키려는 시도들이 있었으나, 이러한 통합 시도는 안과 장비에 통합되거나 장착되는 별도의 소형 모듈같은 파면 센서를 구비한 원래의 안과 장비를 유지하는 것을 목적으로 하지는 않는다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명은 광범위의 디오프터 범위를 가진 실시간 순차 파면 센서를 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0006] 본 발명은 새로운 장치 및 새로운 방법에 대한 것이다. 본 발명은 환자의 눈 동공으로부터 또는 각막면으로부터 파면을 파면 샘플링면으로 광학적으로 전달하여 작동하게 된다. 전달 과정 일부에서, 넓은 범위의 눈 디오프터 범위 내에서의 눈으로부터의 파면 빔은 파면 이미지 공간 및/또는 푸리에 변환 공간에서 특정 축방향 거리 구간에서 희망하는 물리적 치수 내에 배치되도록 되어, 파면 스캐닝 장치는 횡방향으로 시프트된 전달된 파면으

로 전체 빔을 취하여 스캔하게 된다. 본 발명은 넓은 동적 범위를 가지는 실시간 순차 파면 센서로서 기능할 수 있다. 동일한 양수인에게 양도된 전술한 순차 파면 센서(US7445335)와 비교하여, 본 명세서에서, 파면 스캐닝 장치는 파면 전달 시스템의 제1 퓨리에 변환 공간에 배열되지 않는다. 대신에, 파면 이미지 공간 및/또는 다른 퓨리에 변환 공간에 배열된다. 대부분의 상용화된 파면 스캐닝 장치들은 비교적 높은 빔 폭을 가지는 레이저 빔을 스캐팅하도록 설계되기 때문에 필요성이 제기된다.

[0007]

광범위한 눈 디오프터 범위에서 상기 파면 스캐닝 장치가 상기 파면 빔과 완전히 접촉할 수 있도록 하기 위하여, 상기 파면 전달 시스템은 파면 이미지 공간 및/또는 퓨리에 변환 공간에서의 축방향 거리 범위에서 파면 빔의 축방향 또는 횡방향 치수를 확대시키는 것이 바람직하다. 그결과, 상대적으로 작은 빔 반사 또는 전달 윈도우를 가지는 상용화된 레이저 빔 스캐너는 눈으로부터의 입사 파면이 넓은 디오프터 범위에서 변화하는 경우에 조차도 전체 파면 빔을 취하여 스캔하는데 직접적으로 사용될 수 있게 된다.

[0008]

본 발명의 목적은 전형적인 동공 사이즈를 가진 환자의 눈으로부터 나오는 광학적 에너지가 광학요소에 의해 전체적으로 수집되어 신호 대비 노이즈 비율이 원하는 전체 눈 디오프터 범위에서 유지되도록 하면서도 각 의료진에 있어서 수술 또는 안검사 작업 거리를 일정하게(예를 들어 대부분의 안과의 외과 현미경에 대하여 150mm 내지 200mm) 될 수 있도록 하는 것이다.

[0009]

기본적인 광학 설계와 함께, 다양한 선택적인 설계가 설명된다. 종래의 설계에 관련된 이슈 역시 설명된다. 본 발명의 하나의 목적은 파면 전달 스테이지의 대물 평면을 지능적으로 선택하여 눈이 상기 대물 평면에 정확하게 위치되지 않는 경우(축방향 및/또는 축방향으로 배치)에 조차도 파면 센서는 단일한 출력물 거리를 가진 원하는 작업 거리 범위에서 작동될 수 있게 된다.

[0010]

본 발명의 다른 목적은 백내장 굴절 수술 및/또는 안구내 렌즈 삽입수 및/또는 다른 안검사 또는 시력 고정 수술에 필요한 넓은 디오프터 범위(예를 들어 $\pm 30D$ 이상)에서 환자의 파면 수차를 측정할 수 있는 순차 파면 센서를 사용하는 것이다. 이러한 목적은 광학요소의 크기 및 배열을 적절히 선택함으로써 부분적으로 달성된다. 동시에, 상기 스캐너는 제한된 각도 및/또는 배치 범위에서 비교적 좁은 광선을 스캐닝하도록 설계됨에도 불구하고 광학적 구조로 인하여 상용화된 광 빔 스캐너는 전체 디오프터 범위에 대하여 파면 스캐닝 장치로서 사용될 수 있게 된다.

[0011]

본 발명의 다른 목적은 하드웨어 수단 및/또는 소프트웨어 수단을 사용하여 광학적 파면 전달 스테이지의 내재된 수차를 적어도 부분적으로 교정하거나 감소시키는 것이다. 교정을 위하여 하드웨어를 사용함에 있어서, 파면을 전달 및/또는 시프팅하기 위하여 사용되는 광학요소는 적절하게 설계되고 선택된다. 선택적으로, 파면 수차 교정 요소는 파면 빔 경로에 삽입될 수 있다. 이러한 파면 보상 요소의 예는 구형의 파면 보상 플레이트, 파면 경사 보상 장치, 가변형 미러, MEMS(마이크로-전자-기계-시스템) 미러 배열, 투과성 액정계 파면 보상기를 포함한다. 교정을 위한 소프트웨어를 사용함에 있어서, 내재적인 광학 시스템 수차는 우선 캘리브레이션 과정을 통하여 측정되고 측정된 전체 수차로부터 차감된다.

[0012]

본 발명의 다른 목적은 의사 또는 의료진에 대한 충분한 작업 공간을 확보하면서도 눈에 가장 인접한 파면 센서의 제 1 광입력 포트에 공유되는 렌즈를 배치하고, 광 에너지의 현저한 손실이 없으면서도 파면 센서 패키지가 환자에 대한 검안 및/또는 수술을 수행하는 동안에 안과 의료진과 일반적인 방식으로 물리적으로 접촉하지 않고서 수술용 현미경과 같은 안과 장비에 통합되도록 소형화될 수 있도록 광경로를 꺾어서 넓은 동적 범위의 순차 파면 센서를 물리적으로 소형으로 형성하는 것을 가능하게 하는 것이다. 한편, 수술용 현미경으로부터의 조명 빔은 렌즈 및/또는 프리즘 및/또는 거울을 이용하여 적절히 꺾여져서, 임의의 잠재적인 스펙트럼 반사는 현미경의 접안부에서 볼 수 있도록 하는 수술용 현미경의 시각 경로로 배향되지 않게 된다.

[0013]

본 발명의 다른 목적은 자체적인 캘리브레이션이 수행될 수 있도록 넓은 동적 범위의 순차 파면 센서 모듈에서 기준 파면을 형성하는 수단을 제공하는 것이다. 이러한 자체적인 캘리브레이션은 다수의 목적을 위하여 사용될 수 있다. 그 목적 중 하나는 눈으로부터의 파면을 형성하는 환자의 눈으로 배향되게 되는 광선이 파면 센서 광 시스템에 대하여 충분히 양호하게 정렬되었는지를 확인하는 것이다. 다른 목적은 허용된 공차 범위 내에서 정렬되도록 하기 위하여 파면 센서 모듈 내에서 광학요소의 광학적 정렬을 모니터링하는 것이다. 또다른 목적은 예를 들어 온도 변화와 같은 환경적인 요인에 의해 나타나는 광학요소(허용가능항 공차 범위 내에서)의 미세한 오정렬로부터의 내재된 광학 시스템 수차가 파면 분석/계산에서 고려될 수 있도록 하도록 위치 센싱 장치/디텍터(PSD) 상에서 기준 이미지 지점 위치를 형성하는 것이다. 중요한 사항으로서, 또다른 목적은 안내 및/또는 피드백을 제공하기 전에 성능을 확인 또는 검증하는 것이다.

- [0014] 본 발명의 다른 목적은 환경적 요인 또는 다른 요인에 의해 나타나는 광학요소의 작은 오정렬 또는 움직임에 대한 보상을 위하여 광 빔 스캐너의 DC 오프셋 성능을 채용하여, 광학계 및 레이아웃의 내재된 오차를 감소시키는 것이다.
- [0015] 본 발명의 다른 목적은 서브 파면 초점 렌즈에 의해 형성되는 이미지 스팟이 보다 향상된 정확도를 위하여 이미지 스팟의 횡방향 운동을 결정하는데 사용되는 위치 센싱 장치(PSD) 상에서 실질적으로 초점이 맺히도록 하기 위하여 폐쇄된 제어 루프 방식으로 초점 거리를 다이내믹하게 조절하도록 서브 파면 초점 렌즈로서 가변 초점 렌즈를 사용하는 것이다. 위치 센싱 장치로서 사분면 디텍터를 사용할 경우, 상기 사분면 디텍터 상에 안착되는 이미지 스팟 크기는 소정의 크기로 유지되는 것이 바람직하며 가변 초점 렌즈는 이러한 목적을 위하여 사용될 수 있다.
- [0016] 본 발명의 다른 목적은 상기 사분면 디텍터가 파면의 넓은 동적 범위에 대하여 응답할 수 있도록 원하는 크기 범위 내에서 이미지 스팟 크기를 유지하기 위하여 위치 센싱 장치로서 사분면 디텍터가 사용될 때 서브 파면 초점 렌즈로서 원뿔형 렌즈를 사용하는 것이다.
- [0017] 본 발명의 다른 목적은 제품 제조 관련 그리고 수술용 현미경 또는 슬릿 램프 생체 현미경 또는 벤치탑 수차계에 대한 다중 설계 레이아웃을 가지지 않는 것 관련 단가의 상승을 최소화하기 위하여 표준 구성의 기존 광 경로로 추가적인 광학요소에서 빠지게 함으로써 파면 센서의 작업 거리 범위를 확장시킬 수 있도록 하는 것이다.
- [0018] 본 발명의 다른 목적은 측정된 눈에 대한 거리에 대하여 적용될 수 있는 교정 캘리브레이션 곡선이 환자 눈으로부터의 파면 수차를 교정되어 특정 지을 수 있도록 하는데 사용될 수 있도록 넓은 동적 범위의 순차 파면 센서 모듈로부터 광학적 눈 거리 측정 수단을 제공하는 것이다.
- [0019] 본 발명의 다른 목적은 스펙클을 제거하기 위하여 망막상의 작은 영역을 가로질러 SLD(초회도 발광 다이오드)를 스캔하고 배치하며, 정렬하고, 신호대비 노이즈비를 증가시키는, 눈으로 전달되는 광학적 파워의 증가를 잠재적으로 허용하도록 하는 것이다.
- [0020] 본 발명의 다른 목적은 상기 망막 상의 이미지 스팟이 제어되어 눈으로부터의 파면의 측정이 보다 일정하게 제어될 수 있도록 SLD 빔의 발산성/수렴성을 조절하고 동적으로 초점을 맺게 하는 것이다.
- [0021] 본 발명의 다른 목적은 제한된 범위 내에서 눈의 움직임을 추적하고 양호하게 정렬되어 있지는 않으며 움직이는 눈에서도 높은 정확도로 파면을 측정하도록 파면 데이터를 교정하는 정보를 사용하도록 SLD 빔을 스캔 하거나 배치하며 눈 움직임을 인식하는 CCD/CMOS 눈 이미지 센서와 같은 수단을 사용하는 것이다. 추가적으로, CCD/CMOS 는 입사 SLD 빔을 감지/탐지 및 추적할 수 있고 눈, 각막, 또는 동공 상에서 원하는 위치에 빔을 관계시킬 수 있다. 다시, 다중 설계를 가지지 않고 플러그 플레이 접근 방식을 사용함으로써 비용이 최소화된다.
- [0022] 본 발명의 다른 목적은 높은 SLD 파워가 눈으로 전달되어 신호대 노이즈비를 감소시키도록 노출 시간을 절약하기 위하여 SLD 를 스마트하게 켜고 끄도록 파면 신호 탐지와 결합된 패턴 인식 및 CCD/CMOS 이미지를 사용하는 것이다.
- [0023] 본 발명의 다른 목적은 눈의 굴절 교정을 수행하도록 수술용 레이저 빔을 스캔하는 SLD빔에 대하여 동일한 스캐너를 사용하기 위하여 다른 자유 공간 광선 또는 동일한 광 섬유를 통하여 SLD 빔에 결합되는 수술용 광원으로서는 레이저를 포함하는 것이다. 동일한 레이저 빔 또는 가시 파장을 가진 다른 레이저는 의사를 "가이드"하거나 눈을 "마킹"하는데 사용될 수 있는데, 즉 의사가 수술용 현미경을 통하여 레이저 마크를 볼 수 있도록 눈 상에 가로놓이도록 하는데 사용된다.
- [0024] 본 발명의 다른 목적은 각막 또는 눈 렌즈 굴절율이 무수정체의 경우와는 독자적으로 또는 나란하게 도출될 수 있도록 눈 생체 측정을 하거나 눈 축방향 거리를 측정하도록 파면 센서 모듈에 광 간섭 단층영상기(OCT) 또는 낮은 공간섭계를 포함하도록 하는 것이다.
- [0025] 본 발명의 이러한 특징 및 장점은 첨부한 도면을 참고하여 설명되는 바람직한 실시예에 대한 아래의 설명을 검토함으로써 통상의 기술자에게 자명하게 드러나게 될 것이다.
- 발명의 효과**
- [0026] 본 발명에 의하면 다음과 같은 장점이 있다.
- [0027] 첫번째 장점은, PBS 및 1/4 파장 플레이트에 대한 필요성이 더 이상 존재하지 않게 되며 그 결과, 광학적 에너지

지 손실 및 원하지 않은 반사에 관련된 문제가 해결된다. 제2, 4-F 릴레이에 대하여 사용되는 제 1 렌즈(1040) 및 제 2 렌즈(1042)는 SLD 광원의 비교적 폭이 좁은 스펙트럼 범위에 대하여 광학적으로 반사 방지 코팅될 수 있다. 그 결과 실질적으로 부품 비용이 감소하게 된다. 두번째 장점은, 이러한 제2, 4-F 릴레이의 제 2 렌즈(1042)는 개인의 선호에 따라 선택될 수 있어서 제 2 화면 이미지 릴레이 평면(D)에서 원하는 빔 폭을 가진 전달된 화면 이미지를 얻을 수 있게 된다는 것이다.

[0028]

눈 디오퍼 측정 범위에 대한 원하는 화면 빔 폭 범위, 화면 센서 모듈의 제조에 필요한 정렬 및/또는 조립 정확성을 달성하거나 제어하는 것과 관련하여 제2, 4-F 릴레이(1040)의 제 1 렌즈의 초점 거리 및 제 1, 4-F 릴레이의 제 2 렌즈의 초점 거리를 선택하는 것에 있어서 최적화가 이루어지게 된다. 세번째 장점은, 반사된 화면 빔 및 입사 화면 사이의 각을 비교적 작게 유지함으로써 반사 스캐닝 미러 표면에 안착되는 화면 빔의 크기는 작게 유지될 수 있다는 것이다. 네번째 장점은, 제 2 플리에 변환 평면에서 각지게 스캐닝을 다시 할수 있기 때문에, 전술한 바와 같은 화면 경사 DC 오프셋이 없다는 것이다. 다섯번째 장점은, 도 8 및 도 9와 비교하여, 광학 부재/요소가 서로 너무 인접하게 배치되지 않게 되고, 그결과, 이들을 장착하는데 대한 기계적인 설계는 훨씬 쉬워지게 되고 제약 사항이 줄어들게 된다.

도면의 간단한 설명

[0029]

도 1은 순차 화면 센서를 도시하는 도면이다.

도 2a는 시프트된 화면의 일부분만이 화면 샘플링 개구를 통과하고 위치 센싱 장치 상에서 초점이 맺히도록 횡방향으로 화면을 스캔하는 투과성 화면 시프트 장치에 결합된 단일 스테이지 4-F 화면 릴레이 시스템의 실시예를 도시한다.

도 2b는 빔의 폭이 상대적으로 좁은 축방향 범위에 대응하는 도 2a의 화면 이미지 공간에서의 구간에 대한 확대된 개략적인 다이어그램이다.

도 3은 화면 빔 스캐닝을 수행하는 도 2a 및 도 2b에 도시된 화면 이미지 공간에 투과성 각 빔 스캐너가 사용되는 예를 도시하는 도면이다.

도 4는 빔 축 주위에서 유리 차단부를 회전시킴으로써 또는 공경로로 경사진 유리 차단부를 떨어뜨림으로써 화면 빔 배치를 실현하도록 도 2a 및 도 2b에도시된 바와 같은 화면 이미지 공간에 투과성 빔 스캐너가 사용되는 다른 예를 도시하는 도면이다.

도 5는 빔을 각지게 스캔하면서도 화면 빔 측면으로 반사시키도록 화면 이지 평면 전에 화면 이미지 공간에 반사형 빔 스캐너가 사용되는 다른 예에 대한 도면이다.

도 6은 화면을 횡방향으로 시프팅하는 것과 관련하여 빔을 더욱 대칭적으로 스캔하고 화면 빔 후방으로 반사하도록 화면 이미지 평면 이전에 화면 이미지 공간에 반사형 빔 스캐너가 사용되는 다른 실시예를 도시하는 도면이다.

도 7은 본 발명의 화면 센서 모듈에 사용되는 8-F 화면 릴레이 또는 2단 캐스케이드 스테이지 4-F 화면 릴레이의 꺾이지 않은 빔 경로에 대한 실시예의 도면이다.

도 8은 도 7의 제2 스테이지 4-F 화면 릴레이를 도시하는데, 여기서 단일 렌즈는 두번 사용되고, 제 2 화면 이미지 평면에서 시프팅되는 횡방향 화면을 구현하기 위하여, 반사형 빔 스캐너, 편광 빔 스플리터(PBS), 1/4 파장 플레이트(1/4λ 플레이트)에 결합되는 실시예를 도시한다.

도 9는 제 2 화면 이미지 평면에서 전달된 화면 이미지의 어떠한 DC 화면 경사 오프셋 없는 횡방향 시프트 및 도 8의 MEMS 스캔 거울의 경사진 상황 및 스캐닝을 도시한다.

도 10은 화면 빔이 반사되어 경사지게 측면으로 스캔되는 도 7의 제 2 4-F 화면 릴레이 스테이지의 선택적인 실시예를 도시한다.

도 11은 꺾여진 화면 빔 경로를 가진 화면 센서 모듈의 단일 스테이지 4-F 릴레이에 대한 실시예로서, SLD 빔이 안착되는 광학계, 눈 전방 이미지 광학계, 및 눈 고정 광학계의 일예가 도시되고 있는 도면이다.

도 12는 2개의 4-F 화면 릴레이 스테이지를 구비한 화면 센서 모듈의 다른 실시예를 도시하는 도면으로서, 이러한 실시예에서, 도 11에 도시된 화면 빔(거울 1)을 만곡시키는데 사용되는 하나의 거울은 이러한 PBS 후방으로부터 SLD 빔이 안착되는 대형 편광 빔 스플리터(PBS1)에 의해 제거되거나 교체되는 실시예를 도시하는

도면이다.

도 13은 다른 2개의 4-F 파면 릴레이 스테이지 실시예를 도시하는데, 여기서 안착된 SLD 빔에 비교하여 원래 편광을 가진 눈으로 복귀되는 광 파장은 파면 센서 모듈, 눈에서의 눈 렌즈 위치(나안이거나 이식된 눈), 전방 챔버 깊이, 눈 길이 및 전방 표면과 후방 표면의 각막 및/또는 렌즈 곡률과 같은 잠재적인 다른 눈 해부학적 파라미터로부터의 눈 거리를 측정하는데 사용되는 것을 도시한다.

도 14는 슬릿 램프, 또는 수술용 현미경을 구비한 파면 센서 모듈이 통합된 실시예를 도시하는데, 여기서, 제1 4-F 릴레이의 제1 렌즈는 파면 센서 모듈의 제 1 광학 입력 포트에 배치되며 현미경이 공유되는 것을 도시한다.

도 15는 도 14에 유사하지만 수술용 현미경으로부터의 조명 빔이 환자의 눈 상에 안착되도록 배향되지만 현미경의 시각에서 클레어를 형성하지 않게 되도록 보상 렌즈 및 공유된 렌즈에 부가 프리즘이 부가된 것을 도시한다.

도 16은 현미경의 대물 렌즈가 제거되고 그 초점 기능이 파면 센서 모듈의 입력 포트에서 공유된 렌즈에 의해 부분적으로 또는 전체적으로 기능하게 되는 현미경이 통합된 파면의 다른 실시예를 도시한다.

도 17은 도 14, 15 및 도 16에 도시된 바와 같은 다이크로익 또는 단경로 빔 스플리터가 파면 릴레이의 제 1 렌즈로서 작용하고 수술용 현미경에 대한 가시 스펙트럼에 대하여 투명 플레이트로서 작용하는 특히 45도 각도의 근적외선 초점 거울(하나의 SLD 스펙트럼만을 반사하도록 코팅됨)에 의해 대체될 수 있는 것을 도시한다.

도 18은 수술용 현미경을 구비한 본원에 설명된 파면 센서 모듈이 통합된 다른 실시예를 도시하는데, 여기서 다이크로익 또는 단경로 빔 스플리터는 수술용 현미경에 대한 광의 가시 스펙트럼을 통과시키고 파면 센서 모듈에 근적외선 파면 빔을 배향하는데 사용된다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0030]

본 발명은 다양한 변환을 가할 수 있다. 본 발명의 실시예들은 첨부된 도면에 의해 설명될 수 있다. 본 발명의 실시예들은 구성들의 결합에 의해 설명될 것이며, 본 발명의 실시예들은 어떠한 구성에 한정되지는 않는다. 또한, 본 발명의 실시예들의 등가 치환 등의 여러가지 변형된 형태는 청구항에 의해 정의되는 발명의 범위에 포함될 수 있다. 하기 설명에서, 다양한 특정 세부 사항들이 다양한 실시예들의 이해를 위해 설정된다. 그러나 본 발명은 몇몇의 세부 사항들 없이 수행될 수 있다. 다른 예시들에서, 잘 알려진 작동 과정들은 본 발명을 불필요하게 이해하기 힘들게 하지 않기 위해 설명되지 않았다. 나아가, 명세서의 여러 부분에서 "예시적 실시예"의 의미는 동일한 예시적인 실시예를 의미하지 않을 수 있다.

[0031]

인체의 눈의 파면 수차를 측정하는데 사용되는 전형적인 파면 센서에서, 눈의 동공 또는 각막 평면으로부터의 파면은 공지의 4-F 릴레이 원리를 한번 또는 여러번 이용하여 파면 센싱 또는 샘플링 평면에 일반적으로 전달된다 (예를 들어, J. Liang, et al. (1994) "Objective measurement of the wave aberrations of the human eye with the use of a Hartmann-Shack wave-front sensor," J. Opt. Soc. Am. A 11, 1949-1957; J. J. Widiker, et al. (2006) "High-speed Shack-Hartmann wavefront sensor design with commercial off-the-shelf optics," Applied Optics, 45(2), 383-395; US7654672 참조). 이와 같은 4-F 릴레이 시스템은 해로운 전달 영향 없이 전달되는 동안에 입사 파면이 입사 파면의 위상 정보를 보존할 것이다. 덧붙여, 4-F 릴레이를 실현하기 위해 다른 초점 길이의 두개의 렌즈를 사용하여 무한 초점의 이미징 시스템을 설정함으로써, 릴레이는 입사 파면의 수렴 또는 발산의 관련된 축소 또는 확대와 함께 입사 파면의 확대 또는 축소를 가능하게 할 수 있다(참조, J. W. Goodman, Introduction to Fourier Optics, 2nd ed. McGraw-Hill, 1996).

[0032]

도 1은 4-F 릴레이 시스템을 사용하는 순차 파면 센서(100)의 일실시예의 개략적인 다이어그램이다. 파면(102)을 가지는 광의 선형 편광 입력 빔은 제 1 렌즈(104)에 의해 초점 맺히게 된다. 초점 광은 그 통과 편광 방향이 유입 광의 편광 방향에 정렬되는 방식으로 배열되는 편광 빔 스플리터(PBS: 106)를 통하여 진행하게 된다. 그 결과, 선형 편광 수렴 빔은 PBS(106)을 통하여 진행하게 된다. 1/4 파장 플레이트(108)는 배향된 빠른 축으로써 PBS(106) 후방에 배치되어, 원형 편광 빔은 1/4 파장 플레이트(108)를 통과한 후에 나타나게 된다.

[0033]

아래의 설명에서, "파면 시프팅"이라는 용어는 최종 파면 이미지 평면에서 파면의 2차원 횡방향 시프트를 설명하는 것이며, "파면 스캐닝"이라는 용어는 광학 빔 스캐너 또는 디스플레이서를 이용하여 달성되는 파면 시프트를 설명하는 것이다.

[0034]

입력 수렴 빔은 모터 샤프트(114) 상에 장착되는 경사진 스캐닝 거울(112)의 반사표면 상에서 초점 맺힌다. 상기 미러에 의해 반사되는 광은 발산되어 그 중앙의 핵심 광은 모터(114)의 회전 위치 및 스캐너 거울(112)의 경

사 각에 따라 방향을 변경하게 된다. 반사된 광은 원형으로 편광되지만, 원형 편광 회전 방향은 좌측으로부터 우측으로 또는 우측으로부터 좌측으로 변화하게 된다. 따라서, 복귀 경로 상에 두번째의 시간에 대한 1/4 파장 플레이트(108)를 통하여 통과시에, 광은 다시 선형으로 편광되지만, 그 편광 방향은 원래의 유입 광의 방향에 대하여 수직한 방향으로 회전하게 된다. 따라서, 편광 빔 스플리터(106)에서, 되돌아온 빔은 도 1에서 파선 광선으로 도시된 바와 같이 좌측으로 대부분 반사된다.

[0035] 제 2 렌즈(116)는 원(original) 입력 파면(124)의 복제 파면을 생성하고 반사된 발산 빔을 시준하기 위하여 PBS(106)에 대하여 좌측으로 인접하게 배치된다. 스캔 거울의 경사로 인하여, 복제된 파면(124)은 횡방향으로 시프트된다. 개구(118)는 복제된 파면(124)의 작은 부분을 선택하기 위하여 서브 파면 초점 렌즈(120)의 전방 우측에서 제 2 렌즈(116) 뒤에 배치된다. 상기 허브 파면 초점 렌즈(120)는 순차적으로 선택된 서브 파면으로부터 발생하는 초점 맺힌 광 스팟의 중심을 정하는데 사용되는데, 위치 센싱 장치(122) 상으로 선택된 서브 파면의 초점을 맞춘다. 모터(114)를 회전시키고, 단차진 형태로 스캔 거울의 경사각을 변경시킴으로써, 복제된 파면의 반경방향 반위각 시프트량은 제어되어, 복제된 파면의 임의의 위치는 순차적인 방식으로 개구(118)를 통하여 통과하도록 선택된다. 그 결과, 원래 유입되는 광의 전체 파면은 각각의 서브 파면의 중심이 나란한 방식보다는 순차적인 방식으로 얻어지는 경우를 제외하고 표준적인 하트만-쇼크 파면 센서의 경우로 특징된다.

[0036] 도 1에 도시된 예의 제 1 렌즈(104) 및 제 2 렌즈(116)는 4-F 릴레이 시스템의 기능을 하게 된다. 상기 빔 스캐너(112)는 후방 초점 또는 제 1 렌즈(104)의 퓨리에 변환 평면에 배치되며 또한 제 2 렌즈(116)의 전방 초점 평면에 배치된다.

[0037] 그러나, 4-F 릴레이 시스템이 도 1에 도시된 바와 같은, 파면을 시프트하기 위한 퓨리에 변환 평면이나 그 근처에서 각을 이룬 빔 스캐너를 사용하는, 순차 파면 센서에 사용될 때, 눈으로부터의 원래 파면의 절대 디오퍼값이 크다면(양이거나 음의 값), 상기 퓨리에 변환 평면에서의 광의 폭은 너무 커서 광 스캐너에 의해 완전히 포섭(intercept)될 수 없게 된다. 폭이 넓은 눈의 디오퍼 범위를 커버하기 위하여, 상기 빔 스캐너는 눈 동공으로부터 나오는 광학적 에너지가 손실되지 않도록 큰 광반응 윈도우를 가질 필요가 있다. 유감스럽게도, 이러한 큰 윈도우 크기의 빔 스캐너는 쉽게 상용화되기 어려우며, 설사 상용화 된다고 하더라도, 고속 스캐닝이 필요한 경우에는 부피가 매우 커지게 되고 가격이 비싸게 될 것이다. 따라서 범위가 넓은 눈 디오퍼 범위를 커버하기 위하여 순차 파면 센서에서 상용화 가능하며 비교적 저가인 빔 스캐너를 사용할 수 있게 하는 광학적 설계가 필요하게 된다.

[0038] 도 2a는 시프트된 파면의 일부분만이 파면 샘플링 개구를 통하여 통과하게 되고 위치 센싱 장치 상에 초점 맺힐 수 있도록 하기 위하여 파면을 횡방향으로 스캔하는 투과형 파면 시프트 장치와 단일 스테이지 4-F 파면 릴레이 시스템이 결합되는 실시예를 도시한다. 이러한 실시예에서, 광경로는 꺾이게 된다. 광경로를 꺾이지 않게 하는 이유는 기술적인 사항을 쉽게 설명할 수 할 수 있기 때문이다. 실제 장치에서, 광경로는 서로 다른 방향으로 꺾여지게 된다. 예를 들어, 광경로는 슬릿 램프 생체 현미경 또는 수술용 현미경을 가진 파면 센서를 통합하기 위하여 장치를 물리적으로 소형화시키도록 꺾여지거나 만곡될 수 있다.

[0039] 도 2a의 예에서, 4-F 릴레이 시스템의 제 1 렌즈(204)는 40mm의 직경과 200mm의 유효 초점 거리를 가진다. 이것은 안과 수술용 현미경의 전형적인 초점 거리(거의 작동 거리에 동등함)이다. 눈은 4-F 릴레이의 제1 렌즈(204)의 전방 초점면에 또는 그 근방에 위치하는 것이 바람직하다. 4-F 릴레이 시스템의 퓨리에 변환면(A)는 대문자 A에 의해 수직 파선으로 도시된 바와 같이, 4-F 릴레이 시스템의 제2 렌즈(216)의 전방 초점면과 제1 렌즈(204)의 후방 초점면에 위치한다. 본 실시예에서, 4-F 릴레이 시스템의 제2 렌즈(216)는 40mm의 직경과 80mm의 유효 초점 거리를 가진다. 4-F 릴레이 시스템의 전달되는 파면 이미지 면은 대문자 B에 의해 수직 파선으로 도시된 바와 같이, 제2 렌즈(216)의 후방 초점면에 위치한다. 4-F 릴레이 시스템에 사용된 두개의 렌즈들의 유효 초점 거리의 차이로 인해, 이 기술분야에서 잘 알려진 바와 같이, 눈으로부터의 입사 파면의 복제 또는 이미지는 광학적으로 $200/80 = 2.5$ 배 크기로 횡방향 치수가 축소된다.

[0040] 도 2a를 참조하면, 눈이 정시안이고 따라서 눈으로부터의 파면이 평면에 가까울 때, 눈으로부터의 광선은 솔리드 광선처럼 상대적으로 폭이 좁고 평행하다. 만약 눈의 동공이 5mm의 직경을 가진다면, 예를들어, 빔은 약 5mm의 직경을 가질 것이다. 정확한 빔 형상은 또한 망막의 빛 산란 스팟 사이즈에 의해 결정된다. 망막의 빛 산란 스팟 사이즈는 파면을 생성하기 위해 눈에 전달되는 광선(도 2a에 미도시)의 함수이다.

[0041] 4-F 릴레이 시스템의 제1 렌즈(204)를 통과한 후, 눈으로부터의 파면 빔은 광축에서 수렴 빔에서 발산 빔으로 변환되는 제1 퓨리에 변환면(A)에 초점이 맺힐 것이다. 빔은 4-F 릴레이 시스템의 제2 렌즈(216)에 의해 다시 평행해지고, 4-F 릴레이 시스템에서 사용된 두개의 렌즈들의 다른 유효 초점 거리 차이로 인해 빔 직경은 2mm로

감소된다. 이러한 정시안의 경우, 비교적 작은 윈도우를 가진 빔 스캐너는 도 1에 도시된 바와 같이 제 1 퓨리에 변환 평면(A)의 어디에 배치되며, 상기 빔은 이에 배치된 빔 스캐너에 의해 완전히 포착되게 된다. 반면에, 상기 퓨리에 변환 평면(A)에서 각지게 스캔하는 것은 통상의 기술자에게 공지된 바와 같이 4-F 릴레이 시스템의 제 2 렌즈(216) 이후에 횡방향 빔 배치로 병진 운동된다.

[0042] 그러나, 만약 눈이 무수정체이거나 심한 원시 또는 심한 근시인 경우에는, 눈으로부터의 파면은 더 이상 평면이 아니며 현저하게 발산하거나 수렴할 것이다. 다시 말해서, 눈으로부터의 빔은 더 이상 상대적으로 평행한 빔이 아니다; 대신에, 그것은 현저하게 발산하거나 현저하게 수렴하게 될 것이다. 도 1에 짧은 파선으로 도시된 광선은 +30D의 디옵터 값(본 명세서에서 눈으로부터의 발산 파면을 양의 디옵터 값을 가지는 것으로 정의하고, 눈으로부터의 수렴 파면을 음의 디옵터 값을 가지는 것으로 정의한다)을 가진 발산 파면의 경우를 도시한다. +30D는 일반적인 무수정체(+20D의 전형적인 고도 원시 디옵터 값을 가짐)에 +10D의 각막 유도된 원시를 더한 값을 나타낸다. 도시된 바와 같이, 짧은 파선 광선으로 표시되는 발산 빔이 퓨리에 변환 평면(A)으로 진행할 때, 빔의 폭은 매우 커지게 된다. 실제로, 눈의 동공의 직경이 5mm 이고, 눈으로부터의 파면이 +30D의 원시 디옵터 값을 가진다면, 이것은 4-F 릴레이 시스템의 제 1 렌즈로부터 233.3mm 떨어져 있거나 눈 동공면 뒤에서 33.3mm에 위치한 점 소스로부터 나오는 자유 공간에서의 발산 빔에 동등하게 된다.

[0043] 이러한 가정하에, 이러한 빔은 4-F 릴레이 시스템의 제 1 렌즈 위치에 도달할 때 직경이 35mm가 되며, 퓨리에 변환 평면(A)에 도달할 때 직경이 30mm가 된다. 빔 스캐너가 퓨리에 변환 평면(A)에 사용된다면, 도 1에 도시된 예와 같이, 파면을 시프팅하기 위한 목적을 수행하게 되며, 필요한 윈도우 크기는 5mm의 눈 동공에 대하여 직경이 적어도 30mm가 된다. 이러한 큰 윈도우 크기의 스캐너는 비용, 크기 및 상용성 면에서 이상적이지 않다.

[0044] 도 2a에 도시된 긴 파선으로 표시된 광선은 눈으로부터 수렴하는 빔이 50mm의 거리에 대하여 눈을 벗어난 후에 일 지점에 수렴하고, 긴 파선으로 표시된 광선에 의해 표시된 바와 같은 발산 광으로 변환되는 -20D의 높은 수준의 근시의 경우를 도시한다. 이러한 -20D 빔이 2개의 렌즈 사이에서 퓨리에 변환 공간에서 +30D 빔 보다 폭이 좁다고 하더라도, -20D 빔은 정시안 빔 보다 폭이 넓다. 이러한 논의는 도 1에 도시된 바와 같은 스캐닝 개략도가 퓨리에 변환 평면에 인접하여 위치한 스캐너의 광선 작용 윈도우 크기의 제한에 따라 제한된 디옵터 범위 내에서만 작용할 수 있다는 것을 보여준다.

[0045] 본원에서, 제 1 렌즈와 제 2 렌즈 사이의 제 1 퓨리에 변환 공간이 아닌 곳에 빔 스캐너와 같은 파면 시프팅 장치를 배치하는 것을 제안되지만, 하기의 스테이지 퓨리에 변환 공간이나 파면 이미지 공간에 배치하는 것도 제안된다.

[0046] 도 2b에 도시된 바와 같이, 빔이 비교적 폭이 작은 축방향 범위에 대응하는 도 2a에 도시된 파면 이미지 공간의 구간에 대한 확대된 개략도를 보면, 빔으로 표시된 짧은 파선 및 긴 파선 광선이 파면 이미지 평면(B)에 도달할 때, 이들은 정시안의 경우처럼 2mm의 빔 직경으로 축소되게 된다. 그러나, 빔으로 표시된 짧은 파선 광선은 전달된 파면 이미지 평면(B) 이전에 파면 이미지 공간에서 현저하게 수렴된 빔에서 현저하게 발산된 빔으로 변환되며, 빔으로 나타내어진 긴 파선으로 표시된 광선은 전달된 파면 이미지 평면(B) 이후에 파면 이미지 공간에서 비교적 현저하게 수렴된 빔으로부터 비교적 현저하게 발산된 빔으로 변환된다. 환언하면, 눈 동공으로부터의 파면은 상기 파면 이미지 평면으로 이동되어, +30D 빔은 파면 이미지 평면(B)에서 현저하게 발산하게 되며, -20D 빔은 파면 이미지 평면(B)에서 비교적 현저하게 수렴하게 된다.

[0047] 전달된 파면의 횡방향 치수에서의 광학적 축소는 목적물 공간에서의 경우와 비교하여 빔 원뿔 형상 발산(또는 수렴)에서의 증가에 관련된다. 이것은 눈으로부터의 +30D 발산 파면에 대하여 전달된 지점 소스 이미지가 B 평면의 전방에서 5.33mm 지점에 배치되지만 눈으로부터의 -20D 수렴 파면의 경우에는 B 평면의 후방에서 8.0mm 지점에 전달된 포인트 소스 이미지가 배치되는 얇은 렌즈 이미지 형성 공식을 사용하여 계산된다.

[0048] 물체 또는 환자의 눈 쪽의 경우에, +30D 빔 원뿔 형상 발산도(포인트 소스 위치 및 빔 폭 측정의 평면 사이의 거리에 대하여 축방향 위치에서 빔 폭의 비율로서 정의됨)은 $5\text{ mm}/33.33\text{ mm} = 0.15$ 로 되며, 전달된 빔 원뿔 형상 발산도는 $2\text{ mm}/5.33\text{ mm} = 0.375$ 로 되어, 빔 원뿔 형상 발산도는 $0.375/0.15=2.5$ 배 만큼 증가하게 된다. 유사하게, -20D 빔 원뿔 수렴도는 $5\text{ mm}/50\text{ mm}=0.1$ 이었지만, 이제 $2\text{ mm}/8\text{ mm} = 0.25$ 가 되어, 빔 원뿔 형상 수렴도는 $0.25/0.1 = 2.5$ 배 증가하게 된다.

[0049] 따라서, 5mm 눈 동공에 대하여 +30D 내지 -20D 눈 파면 디옵터 범위의 경우에, 빔의 폭이 비교적 좁은 파면 이미지 공간에 축방향 범위가 형성되게 된다. 문제점은 빔이 빔 스캐너에 의해 완전히 포섭되면서도 스캔된 빔이

파면 릴레이 평면(B)까지 이동할 때 전달된 파면의 횡방향 시프트가 존재하도록 이러한 축방향 범위 내에서 파면 시프팅 장치(예를 들어 광학 빔 스캐너)를 어디에 배치하는지 여부이다.

[0050] 파면 빔 폭 범위가 동공 크기에 대한 함수이므로, 임의의 빔 스캐너 윈도우 크기에 대한 눈 파면 디오프터 측정 범위는 전달된 파면을 가로질러 작은 영역을 스캐닝함으로써 조절될 수 있다. 따라서, 다른 캘리브레이션 곡선을 얻고, 광범위의 눈 디오프터 측정 범위를 커버하기 위하여 눈 동공 크기에 대하여 보다 작은 영역을 샘플링하는 이러한 특징의 장점을 가지게 된다.

[0051] 완벽한 파면 릴레이 시스템의 경우에, 파면 릴레이 평면(B)에서, 빔의 폭은 2mm 직경으로 된다. 5mm 동공의 경우에 +30D 내지 -20D 눈 디오프터 범위에서, 광축을 따른 빔의 폭은 눈의 파면 디오프터 값에 따라 파면 이미지공간에서 가변하게 되는데, 파면 릴레이 평면(B)의 우측으로 짧은 파선으로 표시된 광선에 의해 그리고 파면 릴레이 평면(B)의 좌측으로 긴 파선으로 표시된 광선에 의해 표시된 바와 같이 임의의 공간 부피 이내로 한정된다. 도 2a 및 도 2b의 경우, 투과형 광학 빔 스캐너 또는 디스플레이서(212: displacer)를 배치하기 위한 최적의 장소는 스캐너 윈도우가 의도된 전체 눈 디오프터 범위에 대하여 빔의 폭보다 크게 되는 동안에는 파면 릴레이 평면(B)의 좌측 어디라도 무방하다.

[0052] 예를 들어, 투과형 광학 빔 스캐너(212)가 약 4mm 직경의 빔 상호 작용 윈도우를 가진다면, 도 2b에 도시된 파선 박스에 의해 도시된 바와 같이 파면 릴레이 평면(B)의 좌측에 배치될 수 있다. 투과형 빔 스캐너(212)는 전자 광 스캐너, 자기 광 스캐너, 음파 광 스캐너, 액정 스캐너, 기계적 스캐너일 수 있다. 일반적으로 투과형 빔 스캐너는 공기보다는 큰 굴절율을 가진 광학 물질로 형성되며, 따라서, 파면 릴레이 평면(B)은 우측으로 더 밀려나게 되어, 스캐너가 꺾인 스캐너인 경우 파면 릴레이 이미지 평면(B)에서 파면을 횡방향으로 시프팅하는 것과 관련하여 장점이 나타나게 된다.

[0053] 환언하면, 각을 이루어 꺾인 빔 스캐너의 경우, 빔 스캐너의 전방면과 파면 릴레이 평면(B) 사이의 거리는 전체 파면이 샘플링되게 하기 위하여 필요한 스캔 각도 범위에 영향을 주게 된다. 빔 스캐너의 빔 작용 윈도우가 크다면, 스캔 각도 범위 조건을 감소시키기 위하여 더 좌측으로 배치되게 된다. 선택적으로, 상기 스캐너의 규격에 대한 스캔 각도 범위가 원하는 범에 따르지 못한다면, 광학적 설계 최적화는 빔 스캐너에 대한 결과적인 스캔 각도 조건이 장비의 규격 범위 내에 있도록 하기 위하여 단일 스테이지 4-F 파면 릴레이의 제 2 렌즈에 대하여 더 짧은 유효 초점 거리의 렌즈를 선택함으로써 이루어지게 된다.

[0054] 각지게 꺾여진 빔 스캐너로써, 파면 이미지 평면(B)에 파면의 전달시에 파면은 난시(astigmatism) 및/또는 각성 혼수(coma)와 같은 다른 추가된 수차뿐만 아니라 DC 각도 또는 파면 경사 오프셋을 겪게 된다. 그러나, 이러한 DC 오프셋 및/또는 추가적인 내제된 수차는 캘리브레이션 및 소프트웨어 데이터처리를 통하여 고려됨으로써, 통상의 기술자에게 알려진 바와 같이, 측정된 전체 수차로부터 차감될 수 있다.

[0055] 도 3은 스캐닝을 수행하는데 사용되는 각을 이루어 꺾여진 투과성 빔 스캐너(312)의 예를 도시한다. 상기 빔 스캐너(312)는 예를 들어 파면 이미지 평면(B)이 스캐너 매체의 후방 출구 평면에 배치되도록 하는 길이를 가진 광학적 매체를 가지는 것으로 고려된다. 눈으로부터의 시준된 정시안 빔은 각지게 스캔될 때, 상기 빔은 파면 이미지 평면(B)에 도달하게 되며 전체 파면의 횡방향 시프트에 추가하여, 파면 경사에 DC 오프셋이 발생하게 된다. 그 결과, 정시안 파면이 파면 샘플링 개구(318)에 의해 샘플링 되고, 서브 파면 초점 렌즈(318)의 초점 평면에 또는 그 초점 평면의 전방이나 후방에 배치되는 위치 센싱 장치(PSD)에 안착되도록 서브-파면 초점 렌즈(320)에 의해 샘플링될 때, 이미지 스팟은 PSD(322)의 축방향 중심 위치에 있지 않게 된다. 대신에, 파면 경사의 결과로서 DC 오프셋이 나타나게 된다.

[0056] +30D 빔 및 -20D 빔의 이미지 스팟 위치는 각각 짧은 파선과 긴 파선으로 도 3에 도시된다. 이들은 상기 빔들이 서브 파면 초점 렌즈에 도달하기 전에 발산하고 수렴하며 정시안의 경우의 기준 이미지 위치와 다른 위치에 있기 때문에 초점 평면에서 양호하게 초점 맺히지 않는다. 그러나, 상기 이미지 스팟은 이미지 스팟 중심 위치를 나타내는데 사용되며, 캘리브레이션은 실제 파면 수차에 대한 스팟 위치를 관련시키는데 사용될 수 있다.

[0057] 이 경우, 상기 위치 센싱 장치(322)가 2D(이차원) 축방향 효과 디텍터 이거나 CCD 또는 CMOS 이미지 센서와 같은 2D 디텍터 배열체라면, 중심 위치는 소프트웨어 기반의 데이터 처리를 통하여 구해질 수 있다. 그러나, 상기 위치 센싱 장치(322)가 사분면(quadrant) 디텍터라면, 상기 이미지 스팟은, 상기 이미지 스팟이 매우 작은 경우에, 이미지 스팟의 중심 위치를 구하는 것이 불가능하게 하는 4 사분면 중 단지 하나에만 안착하게 된다. 반면에, 상기 이미지 스팟이 크다면, 이미지 스팟은 사분면 디텍터 밖에 나타나게 되어 판독이 불가능하게 된다. 또한, 평면 형태인 서브 파면에 비교하여 수렴하거나 발산하는 샘플링된 서브 파면의 경우에, 사분면 디

텍터 상의 이미지 스팟 크기는 가변적이어서, 그 결과 서로 다른 경사각은 4 사분면 각각에 안착하는 광학적 에너지의 동일한 비율을 유도하게 된다.

[0058]

이러한 제약을 극복하기 위하여, 서브 파면 초점 렌즈(320)의 축방향 위치 및/또는 초점 거리는 상기 이미지 스팟이 충분히 크게 되고 원하는 크기 범위(예를 들어 크기나 직경이 하나의 사분면의 크기로 됨)로 되어, 이러한 이미지 스팟이 4 사분면에 의해 공유될 수 있도록 변화되거나 동적으로 가변되게 될 수 있다. 선택적으로, 상기 서브 파면 초점 렌즈(318)의 초점 거리와 사분면 디텍터의 위치는 적절히 선택되어, 원하는 눈 디오퍼 측정 범위 내에서, 상기 이미지 스팟은 4 사분면에 의해 항상 공유되며, 사분면 디텍터의 광감지 영역 너머로 이동하기 않게 된다. 또다른 선택적인 사항으로서, 사분면 디텍터의 위치는 샘플 서브 파면의 이미지 스팟 크기에서의 변화에 대하여 특히 축방향으로 맞춰지도록 다이내믹하게 이동될 수 있다. 또다른 선택적인 경우에 있어서, 액시콘 렌즈(axicon lens)는 원하는 크기 범위 내에서 이미지 스팟 크기를 유지하도록 서브 파면 초점 렌즈로서 사용될 수 있다. 또다른 선택적인 경우에 있어서, 디퓨저는 비교적 양호하게 초점이 맺혀 있으며 크기가 작은 이미지 스팟을 의도적으로 디퓨징하도록 사분면 디텍터의 정방에 배치되어, 디퓨저의 임의의 거리를 통하여 이동한 후에 이미지 스팟은 4 사분면들에 의해 공유된다.

[0059]

도 4는 상기 빔 축 주위로 글래스 블럭을 회전시키고 경사각을 변화시킴으로써 경사진 글래스 블럭을 광경로상으로 떨어뜨려서 구현되는 투과형 빔 스캐너(412)의 다른 예를 도시한다. 상기 스캐너(412)는 광학 빔 변위 스캐너이다. 글래스 블럭은 공기보다는 높은 굴절율을 가지므로, 파면 이미지 평면(B)은 보다 우측으로 밀려나게 된다. 상기 글래스 블럭 경사각 및/또는 두께는 빔 변위량을 결정하게 된다. 빔 변위 스캐닝의 결과로서 파면으로 도입되는 추가적인 수차(예를 들어 비점수차)가 존재하게 되는데, 이러한 추가적인 수차는 캘리브레이션 및 소프트웨어 데이터 처리를 통하여 고려되게 된다.

[0060]

도 5는 상기 빔을 스캔하면서 파면 빔을 측면으로 반사하는데 사용되는 반사형 빔 스캐너(512)의 예를 도시한다. 비록 도 5에서 파면 빔은 입사 빔에 대하여 약 90도로 회전된 빔으로써 축방향으로 꺾여 있는 것으로 도시되어 있지만, 이것에 한정되지 않으며, 상기 빔은 임의의 각으로 꺾여질 수 있다. 약 90도로 빔을 굴절시키는 것과 관련된 하나의 사항은, 반사형 스캔 미러상의 빔 형상은 실질적으로 타원 형상이며 반사형 스캔 미러의 형상 및/또는 크기에 따른 더 많은 엄격한 조건을 가하게 된다는 것이다. 또다른 사항은, 각을 이루어 스캐닝하는 것이 회전 지점을 통하여 통과하는 미러의 수직 표면에 대하여 대칭적이어서, 파면이 횡방향으로 시프팅되는 것은 정확하게는 대칭적이지 않으며, 이것은 스캔 미러에 대한 구동 신호나 정확한 파면 수차를 구하기 위한 알고리즘 및 데이터 처리에 대한 효과적인 추가적인 부담을 가하게 된다는 것이다.

[0061]

도 6은 횡방향 파면 시프팅에 대하여 더욱 대칭적인 실시예를 도시한다. 이러한 실시예는 기본적으로 도 3의 꺾여진 형태의 빔이 되는 광 에너지 효율이 있는 반사형 구조와 결합된 광 빔 스캐닝 미러(612)를 사용한다. 이러한 실시예에서, 입사 파면은 선형적으로 p-편광된 것으로 가정되며, 편광 빔 스플리터(PBS: 606)는 1/4 파장 플레이트(608) 또는 분리기로써 작용하는 패러데이 회전기에 결합된다. 상기 파면 빔이 반사형 빔 스캐너(612)에 의해 후방으로 반사되고 파면 플레이트(608) 또는 2차적으로는 패러데이 회전기를 통과할 때, 상기 빔의 편광 방향은 수직 방향 또는 s-편광 방향으로 회전하게 되며, 그 결과, 상기 빔은 샘플링된 서브 파면이 위치 센싱 디텍터(PSD: 622)상에 안착되는 서브 파면 초점 렌즈(620)에 의해 초점 맺히는 것으로부터 파면 샘플링 개구(618)로 축방향이나 하향하여 상기 편광 빔 스플리터(606)에 의해 반사되게 된다. 광범위 눈 디오퍼를 커버할 필요성으로 인하여, PBS(606)는 비교적 넓은 입사각 범위에서 기능될 필요가 있으며, PBS(606)에 대한 효과적인 선택은 비록 다른 특별히 설계된 큐브 또는 플레이트 PBS 가 사용될 수 있다고 하더라도, 원하는 근적외선 파장 범위에서 작동하도록 설계된 와이어 그리드에 기반한 편광 빔 스플리터 플레이트일 수 있다.

[0062]

이러한 지점에서, 상기 파면을 한번 전달하는 것에 추가하여, 다수의 이로운 파면 시프팅 선택 사항 또는 기회를 가져다주도록 2번 이상 파면이 전달될 수 있다. 예를 들어, 중간 파면 릴레이 평면에서의 파면을 작은 크기로 횡방향 축소하고 중간 파면 릴레이 평면 뒤에 빔 스캐너를 배치하여, 이러한 횡방향 스캐닝을 구현하고 샘플링을 위한 원하는 파면 크기로 다음번 파면 릴레이 스테이지를 통하여 파면을 확대하게 된다.

[0063]

보다 중요한 사항으로서, 제2 스테이지 파면 릴레이를 위하여 사용되는 렌즈의 초점 거리는 보다 광범위의 눈 디오퍼 측정 범위를 위하여 제 2 퓨리에 변환 평면에서 파면 빔 폭이 각이진 파면 시프팅 장치 또는 빔 스캐너에 의해 완전히 포섭되도록 충분히 작게 되어 있다. 그 결과, 제 2 또는 다음의 퓨리에 변환 평면에서의 각진 스캔은 최종 파면 이미지 평면에서 파면이 횡방향으로 시프팅되게 하여 DC 파면 경사 문제는 해결되게 된다.

[0064]

도 7은 예를 들어 파면 센서 모듈에 사용되는 2개의 캐스케이드 형태의 4-F 파면 릴레이 또는 8-F 파면 릴레이의 꺾여지지 않은 빔 경로를 도시한다. 이러한 실시예에서, 순차적인 횡방향 파면 시프팅은 파면 빔 폭(원하는

눈 디오퍼 측정 범위에서)이 빔 스캐너(712)에 의해 완전히 포섭되는 범위 내에서 유지되는 제 2 퓨리에 변환 평면(C)나 그 주위에서 파면 빔을 각지도록 스캐닝함으로써 달성된다.

[0065]

제1, 4-F 파면 릴레이 스테이지는 도 1의 경우와 동일하다. 도 7의 경우에 있어서, 제 2, 4-F 파면 릴레이 스테이지는 동일하게 8mm의 초점 거리와 동일하게 8mm의 직경으로 된 제 1 렌즈(740) 및 제 2 렌즈(742)를 사용하여 구현된다. 제 2 스테이지에 대한 서로 다른 초점 거리 렌즈는 이하에서 설명되는 바와 같이 사용될 수 있다. 2개의 캐스캐이드 형태의 파면 릴레이 스테이지는 도 7의 예와 같이 양호하게 연결되지만, 이것은 고가의 캐스캐이드 구조가 절대적으로 필요하다는 것을 의미하는 것은 아니다.

[0066]

도 7에 도시된 바와 같이, 파면 이미지 평면(B)의 제 1 파면 릴레이 이후에, 파면 빔 폭은 2.5 배 감소하게 되지만, 상기 빔 발산 및/또는 수렴 범위는 전술한 바와 같이 2.5 배 증가하게 된다. 제 2, 4-F 릴레이 스테이지의 제 1 렌즈의 비교적 큰 개구수(NA) 및 짧은 초점 거리(8mm)를 사용하는 것에 기인하여 제 2 퓨리에 변환 평면(C)에서의 파면 빔 폭은 제 1 퓨리에 변환 평면(A)에서의 경우보다 이제 더 작아지게 된다. 따라서, 각을 이루어 꺾여진 투과성 빔 스캐너(712)는 파면 빔을 완전히 포섭하기 위하여 제 2 퓨리에 변환 평면(C)에 배치된다. 제 2 퓨리에 변환 평면(C)에서 파면 빔을 각지게 스캐닝함으로써, 제 2 파면 이미지 평면(D)에서의 파면 이미지는 경사지게 도입되는 임의의 DC 파면 없이도 횡방향으로 시프트된다. 제 2 파면 이미지 평면(D)에서, 횡방향으로 시프트된 파면은 파면 샘플링 개구(718)에 의해 샘플링되며 전술한 바와 같이 위치 센싱 장치(PSD: 722) 상으로 서브 파면 초점 렌즈(720)에 의해 초점 맺히게 된다.

[0067]

제 2 퓨리에 변환 평면에서 파면 빔 폭이 작게 되도록, 제 2, 4-F 릴레이의 제 1 렌즈(740)로 사용되는 렌즈는 통상의 기술자에게 알려진 바와 같이, 비교적 짧은 초점 거리와 비교적 큰 개구수(NA) 또는 빔 원뿔 형상 수용 각을 가질 필요가 있다.

[0068]

도 8은 단일 렌즈(840)가 두배 사용되고, 제 2 파면 이미지 평면(D)에서 횡방향 파면 시프팅을 구현하기 위하여 1/4 파장 플레이트(1/4λ 플레이트), 편광 빔 스플리터(PBS: 806), 반사형 빔 스캐너(812)와 조합되는 제2 스테이지 4-F 파면 릴레이의 일실시예를 도시한다. 도 8에 도시된 바와 같이, 평면(B)의 제 1 파면 이미지가 2.0mm의 파면 빔 직경을 가지는 경우, 제 2 스테이지 4-F 파면 릴레이에 대하여 8mm 초점 거리 렌즈(840)를 사용함으로써, 그것은 눈으로부터의 +30D 파면 빔에 대한 박막 렌즈 공식을 사용하게 되는 것이 알려지게 되며, 제 2 퓨리에 변환 평면(C)에서의 파면 빔 폭은 3.0mm가 된다. 실제로, 눈으로부터의 파면이 -30D의 디오퍼 값을 가진 심각한 근시인 경우에도, 제 2 퓨리에 변환 평면에서의 빔 폭은 여전히 3.0mm가 되는데, 그 이유는 제 2 퓨리에 변환 평면(C)에서의 빔 폭은 제 1 파면 이미지 평면(B)에서의 파면 경사에서의 각도 분포에 직접적으로 영향을 받게 되기 때문이며, +30D 및 -30D 파면의 경우, 제 1 파면 이미지 평면(B)에 상이 맺힐 때, 하나는 비록 수렴하고 다른 하나는 발산되더라도 그들은 동일한 각도 분포를 가지기 때문이다. 따라서, 도 8에 도시된 설계는 +30D 내지 -30D의 눈 디오퍼 측정 범위를 커버할 수 있게 된다.

[0069]

평면(C: 제 2 퓨리에 변환 평면)에서의 이러한 3mm 직경 빔은 예를 들어 MEMS(마이크로 전자 기계 시스템) 계열의 각이진 빔 스캐너(812)에 의해 반사되며, 다시 동일한 8mm 초점 거리 렌즈(840)를 통과하여 복귀할 수 있게 된다. 1/4 파장 플레이트(808) 및 PBS(806)를 사용함으로써, 그 복귀 경로상에서 PBS(806)에 도달할 때 파장 빔의 편광은 90도 회전하게 되어 원래 편광 방향에 수직하게 되며, 이리 하여, 상기 빔은 측방향으로 굴절되게 된다(도 8의 하향 방향). 파면 샘플링 개구(818)는 원하는 서브 파면을 샘플링하기 위하여 제 2 파면 이미지 평면(D)에 배치되는데, 제 2 파면 이미지 평면은 PBS가 유리 큐브일 경우 추가적으로 더 밀려나게 된다. 샘플링된 서브 파면은 위치 센싱 디텍터(PSD: 822) 상에 안착되도록 전술한 바와 같이 서브 파면 초점 렌즈(820)를 통하여 통과하게 된다.

[0070]

도 8을 참조하여, MEMS 스캐너 반사 표면은 입사 파면 빔의 광축에 수직한 것으로 도시되어, 파면의 중심부만이 파면 샘플링 개구(818)에 의해 샘플링된다. 중심부만이 샘플링되므로, 정시안 파면, 원시 파면 및 근시 파면의 경우에, 샘플링된 서브 파면의 평균 경사는 서브 파면 초점 렌즈(820)의 광축에 수직이어서, 상기 위치센서 디텍터(822) 상에 안착되는 이미지 스폿은 비록 이러한 이미지 스폿 크기가 세가지 경우에 따라 다르다고 하더라도 중심이 맞춰지게 된다. 환언하면, 상기 위치 센싱 장치(822) 상의 중심 위치는 눈으로부터의 파면의 중심만이 샘플링될 때 3가지 경우에 있어서 동일하다.

[0071]

MEMS 스캐너는 입사 파면 빔을 각지게 스캐닝할 수 있는 것으로 해석되어, 평면(D)에서의 전달된 파면 이미지는 임의의 DC 파면 경사 오프셋 없이 횡방향으로 시프트되며, 도 9는 이러한 경우를 도시한다. 이 경우, 샘플링 개구(918)에 의해 샘플링된 정시안 파면은 위치 센싱 디텍터(PSD: 922)에 대하여 여전히 중심이 맞춰지지만, 원시 파면 및 근시 파면의 경우에, 이들은 중심으로부터 분리되어 반대편에 배치된다. 최종적인 결과는 큰 빔 직

용 윈도우를 가지는 스캐너를 사용하여 제 1 퓨리에 변환 평면(A)에서 파면 빔을 각지게 스캐닝하는 것에 기본적으로 동일하며, 상기 윈도우는 전달된 제 1 파면 이미지 평면(B)에서 파면의 횡방향 시프트를 유도하게 된다. 이러한 차이점은 보다 작은 빔 작용 윈도우를 가진 스캐너가 사용되게 된다는 것이다.

[0072]

도 8 및 도 9의 광학적 구조에서의 이슈는 PBS 및 1/4 파장 플레이트가 광학적 에너지 손실 뿐만 아니라 추가적인 바람직하지 않은 반사를 도입한다는 것이다. 또한, PBS는 대부분 와이어 그리드 타입의 PBS(표준적인 PBS 보다 광학적인 에너지 효율성이 낮음)가 사용되어야 한다는 것을 의미하는 큰 입사각 수용 범위를 가질 필요가 있다는 것이다. 또한, 1.4 파장 플레이트는 조화도 다이오드(SLD) 광원의 경우에서처럼 파면 빔의 스펙트럼 폭의 넓은 범위와 빔 입사각의 넓은 범위를 커버하기 위하여 0차의 것이 될 필요가 있게 되기 쉽다.

[0073]

도 10은 제 2, 4-F 파면 릴레이 스테이지의 선택적인 실시예를 도시한다. 이러한 실시예에서, 파면 빔은 후방으로 반사되어 스캔되지 않는다. 대신에, 상기 파면 빔은 반사된 파면 빔이 제 2, 4-F 릴레이의 제 1 렌즈(1040)에 도달하지 않는 한 측면으로 경사지게 반사되어 스캔된다. 반면에, 반사된 파면 빔 및 입사 파면 빔 간의 작은 비교적 작게 유지되어 비록 45도와 같은 다른 각이 사용된다고 하더라도 MEMS 스캐너(1012)의 표면면적 조건을 감소시키게 된다. 또한, 제 2, 4-F 릴레이의 제 2 렌즈(1042)의 초점 거리는 이제 제 2, 4-F 릴레이의 제 1 렌즈(1040)의 초점 거리보다 크게 된다.

[0074]

이러한 구조는 여러가지 장점을 가진다. 첫번째 장점은, 도 8 및 도 9와 비교하여, PBS 및 1/4 파장 플레이트에 대한 필요성이 더 이상 존재하지 않게 되며 그 결과, 광학적 에너지 손실 및 원하지 않은 반사에 관련된 문제가 해결된다. 제2, 4-F 릴레이에 대하여 사용되는 제 1 렌즈(1040) 및 제 2 렌즈(1042)는 SLD 광원의 비교적 폭이 좁은 스펙트럼 범위에 대하여 광학적으로 반사 방지 코팅될 수 있다. 그 결과 실질적으로 부품 비용이 감소하게 된다. 두번째 장점은, 이러한 제2, 4-F 릴레이의 제 2 렌즈(1042)는 개인의 선호에 따라 선택될 수 있어서 제 2 파면 이미지 릴레이 평면(D)에서 원하는 빔 폭을 가진 전달된 파면 이미지를 얻을 수 있게 된다는 것이다.

[0075]

눈 디오퍼 측정 범위에 대한 원하는 파면 빔 폭 범위, 파면 센서 모듈의 제조에 필요한 정렬 및/또는 조립 정확성을 달성하거나 제어하는 것과 관련하여 제2, 4-F 릴레이(1040)의 제 1 렌즈의 초점 거리 및 제 1, 4-F 릴레이의 제 2 렌즈의 초점 거리를 선택하는 것에 있어서 최적화가 이루어지게 된다. 세번째 장점은, 반사된 파면 빔 및 입사 파면 사이의 각을 비교적 작게 유지함으로써 반사 스캐닝 미러 표면상에 안착되는 파면 빔의 크기는 작게 유지될 수 있다는 것이다. 네번째 장점은, 제 2 퓨리에 변환 평면에서 각지게 스캐닝을 다시 할수 있기 때문에, 전술한 바와 같은 파면 경사 DC 오프셋이 없다는 것이다. 다섯번째 장점은, 도 8 및 도 9와 비교하여, 광학 부재/요소가 서로 너무 인접하게 배치되지 않게 되고, 그결과, 이들을 장착하는데 대한 기계적인 설계는 훨씬 쉬워지게 되고 제약 사항이 줄어들게 된다.

[0076]

도 10에 도시된 바와 같이, 정시안, 원시, 근시의 3가지 경우에 있어서, 제 2 파면 이미지 평면(D)에서 파면이 시프트되어, 상기 위치 센싱 디텍터(1022) 상으로 초점이 맺혀진 후에, 샘플링된 파면은, 도 9의 경우와 매우 유사하게 거동하게 된다. 환언하면, 샘플링 개구에 의해 샘플링된 정시안 파면은 위치 센싱 디텍터에 대하여 중심이 맞춰지게 되지만, 원시 및 근시 파면의 경우에, 그들은 중심으로부터 분리되게 되어 반대편에 배치되게 된다.

[0077]

도 10에 도시된 실시예의 단점은, MEMS 스캐너(1012)에 대한 스캐닝 구동 패턴이 도 9에 도시된 실시예와 비교하여 약간 더 복잡하다는 것이다. MEMS 미러 스캔에 응답하는 파면의 횡방향 시프트는 서로 다르게 된다. 스캔 각 범위가 크지 않을 때, 이러한 응답은 선행 관계로 근사화될 수 있지만, 원형 스캔 대신에 타원 구동 신호는 원형 스캔을 나타내기 위하여 필요하게 된다. 한편, 꺾여진 스캔 범위가 클 경우, 그 응답은 비선형이 되어, 양호한 원형 스캔으로 종결되도록 하기 위해서는 구동 신호에 대하여 변화를 줄 필요가 있게 된다. 선택적으로, 다른 스캔 패턴이 사용될 수 있게 되어, 소프트웨어 데이터 처리는 정확한 파면 정보를 추측하는데 사용되게 된다.

[0078]

파면 스캔 작용이 제 2 또는 후속 퓨리에 변환 평면에서 수행될 때, 상기 파면 빔 폭은 제 1 퓨리에 변환 평면에서 보다 훨씬 작게 된다. 따라서, 도 7 내지 도10에 대하여 설명된 것에 추가하여, 최종 파면 이미지 평면에서 파면 시프팅을 구현하기 위하여 전술한 바와 같은 다른 각지게 된 빔 스캐닝 수단을 사용하는 것도 실용적이다. 바람직한 예는 파면을 원형 링으로 샘플링하기 위하여 제 2 퓨리에 변환 평면(C)에서 작은 회전 광학 웨지를 사용하는 것이다.

[0079]

이와 관련하여, 2이상의 파면 릴레이 스테이지에 대한 방식이 사용될 때, 릴레이 스테이지는 서로 양호하게 연

결되도록 되거나 서로 약간 오버랩되도록 되거나, 서로 약간 분리되도록 될 수 있다. 이러한 시스템은 여전히 작동하게 되는데, 왜냐하면 파면이 정확하게 전달되지 않는 경우에조차도 캘리브레이션이 이러한 차이를 관리할 수 있기 때문이다. 또한, 포섭되지 않은 파면 이미지 평면이 있기 때문에, 다중 파면 릴레이 스테이지로써, 가변 초점 거리 렌즈는 구형 디오프터 값을 크게 DC 오프셋하는 것을 보상하고 파면 센서의 동적인 디오프터 측정 범위를 추가적으로 향상시키기 위하여 파면이 구형 디오프터 값을 동적으로 가변시키도록 중간 파면 릴레이 면에 배치된다. 선택적으로, 다른 초점성능(양의 값 및 음의 값)의 비교적 작은 렌즈들은 구형의 디오프터 보상을 달성하거나 파면 센서의 디오프터 측정 동적 범위를 향상시키기 위하여 하나 이상의 파면 이미지 평면으로 오게 된다.

[0080]

시트프린트 파면 또는 빔 스캐너와 별도로, 다른 광학적 부재에 대한 바람직한 선택이 존재한다. 예를 들어, 환자의 눈으로부터의 파면 빔이 현저하게 발산하거나 수렴하면, 빔의 폭은 상기 빔이 도 2 및 도 7에 도시된 바와 같은 제 1 스테이지 4-F 릴레이의 제 1 렌즈 및 제 2 렌즈에 도달할 때 크게 된다. 이 경우, 구형 렌즈는 제 1 스테이지 4-F 릴레이의 제 1 렌즈 및 제 2 렌즈로서 사용된다면, 구면 수차는 이러한 렌즈들, 특히 비교적 짧은 초점 거리를 가지는 제 2 렌즈들에 의해 도입된다. 본원의 일측정으로서, 구형 렌즈(들) 및/또는 구면 수차 보상 평면(들)은 광학 파면 릴레이 시스템에서 사용되어, 구형 렌즈를 사용하여 도입되는 구면 수차는 실질적으로 감소되게 된다. 특히, 제 1 스테이지 4-F 릴레이의 제 2 렌즈가 평철(plano-convex) 구형 렌즈라면, 제 1 스테이지 4-F 릴레이의 제 1 렌즈를 향하는 그 후방측은 평평하면서 전방측은 볼록한 것이 바람직하다. 그 이유는 환자의 눈으로부터의 파면 빔이 현저하게 발산 또는 수렴하고, 제 1 스테이지 4-F 릴레이의 2개의 렌즈에 도달할 때 파면 빔이 구면 수차를 감소시키도록 보정될 필요가 있는 2개의 렌즈를 통과하는 주변 광선처럼 폭이 넓게 되기 때문이다. 한편, 환자의 눈으로부터의 빔이 정시안에 가깝다면, 상기 빔은 폭이 좁게 되어 실질적인 구면 수차를 발생시키지 않는 2개의 렌즈의 중심부 또는 평행부에 대해서만 상호 작용하게 될 것이다. 제 2 스테이지에 대해서는 동일한 설명이 적용될 수 있다.

[0081]

도 2 및 도 7에 도시된 파면 릴레이 시스템은 설계된 거리에 정확하게 위치되지 않은 환자의 눈에 대하여 작용하게 된다. 눈 위치가 일정 범위 내에 있고 예를 들어 낮은 결합 간섭에 기초한 측정에 의해 알려지고 눈 디오프터 값의 함수로서 시스템 출력의 응답이 단일하다면, 눈 파면 수차를 구하기 위하여 실제 눈 위치에 대한 캘리브레이션된 관계가 사용될 수 있다. 한편, 허용된 눈 위치 범위는 의도된 눈 굴절 디오프터 범위에서, 의도된 작업 거리에서의 효과적인 파면이 임의의 특이점을 통과하지 않도록 설정된다.

[0082]

이러한 상황을 설명하기 위하여, 환자의 눈이 제 1 렌즈로부터 200mm 가 아닌 150mm에 배치되는 경우를 살펴보면, 만약 환자의 눈이 +20D의 디오프터 값을 가진 원시라면, 이것은 눈의 동공면 뒤에서 50mm 에 위치한 지점 소스(point source) 또는 이러한 제 1 렌즈의 대물 평면이 되는 제 1, 4-F 릴레이의 제 1 렌즈로부터 200mm 떨어진 지점에 위치한 지점 소스와 균등한 효과를 나타내게 된다. 이러한 지점 소스는 지점 소스로서 파면 이미지 평면에 전달되며, 더 이상 적절히 샘플링되지는 않게 된다. 이러한 특이점을 통과하여, 발산하는 눈 파면(예를 들어 +25D의 원시 디오프터 값을 가진 경우)은 제 1, 4-F 릴레이의 제 1 렌즈의 대물 평면 및 이러한 제 1 렌즈 사이의 축방향 범위 내에 배치되는 지점 소스에 효과적으로 대응하게 되며, 이것은 이러한 제 1 렌즈로부터의 200mm 떨어지도록 설계된 대물 평면에서 효과적인 파면이 이제 수렴되게 된다는 것을 의미한다. 그 결과, 시스템 출력은 더 이상 단일하지 않게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 다른 선택 사항으로서, 상기 눈 거리가 설계된 눈 디오프터 범위에서 시스템을 단일하게 응답하게 하도록 눈 위치 제한 범위 외부에 있을 때, 추가적인 렌즈 또는 복합 렌즈가 4-F 릴레이 시스템으로 오게 된다. 이러한 방식은 기존의 모듈에 하나의 렌즈나 렌즈들을 오게 하는 것이 다르게 설계하는 것보다는 비용면에서 저렴하므로 제조시에 효과적이다.

[0083]

파면 샘플링 개구는 최종 파면 이미지 평면에 정확하게 위치될 필요가 없다. 만약 파면 샘플링 개구의 축방향 위치에 약간의 오프셋이 있다면, 그 결과로서 눈으로부터의 발산 또는 수렴 파면에 대하여, 동일한 샘플링 개구 크기는 정시안의 경우에 비교하여 눈 파면의 약간 다른 공간 크기를 샘플링하게 된다. 눈의 구형 또는 원통형 굴절 에러만이 결정된다면, 공간 샘플링 크기에서의 비일정성의 문제는 캘리브레이션을 통하여 해결될 수 있다. 한편, 샘플링 개구는 눈이 설계된 목적 평면에 있을 때 샘플링 개구가 파면 이미지 평면에 있게 할 뿐만 아니라 설계된 대물 평면에 눈이 있지 않는 경우에도 부합되도록 하며, 또한 동일한 개구 크기에 대하여 동일한 크기의 서브 파면이 샘플링되도록 샘플링되는 개구의 축방향 위치를 조절하기 위하여, 축방향 이동이 동적으로 이루어지게 된다.

[0084]

도 11은 파면 센서 모듈에서 쪼여진 파면 빔 경로를 가진 하나의 스테이지 4-F 릴레이의 실시예를 도시한다. 이러한 실시예에서, 파면 빔 경로는 제 1 미러(1150) 및 제 2 미러(1152)(각각 미러 1 및 미러 2)에 의해 쪼여져서, 모듈을 소형화하게 하며, MEMS 스캔 미러(1112)는 도 6과 관련하여 기술한 바와 같은 파면 시프트를 위한

여 1/4 파장 플레이트(1108) 및 작은 편광 빔 스플리터(PBS2)와 결합된다.

[0085] 파면 빔을 후방으로 반사하고 광축 주위에서 빔을 스캔하도록 MEMS 스캔 미러(1112)를 사용함으로써(빔을 측방향으로 바로 굴절시키고 빔을 스캔하는 것보다), 이러한 스캐닝 작업은 회전 대칭이 되며, 그 결과, 횡방향으로 시프트된 파면이 파면 샘플링 개구(1118)에 샘플링되고 위치 센싱 디텍터(1122) 상으로 서브 파면 초점 렌즈(1120)에 의해 초점 맺히게 될 때, 파면 수차, 특히 구형 및 원통형 디오퍼 값 및 원통형 축에 대한 수차를 구하기 위하여 필요한 알고리즘 및 데이터 처리 소프트웨어는 극단적으로 간단하고 빠르게 된다.

[0086] 꺾여진 파면 빔 경로에 추가하여, 3개 이상의 빔 경로는 도 11에 도시되는데, 그 제 1 빔 경로(1154)는 눈의 내부를 이미징하기 위한 것이며, 제 2 빔 경로(1156)는 눈의 고정 타겟을 배향하기 위한 것이며, 제 3 빔 경로(1158)는 눈으로부터의 파면 빔의 형성을 위하여 눈에 대하여 초회도 다이오드(SLD) 빔을 안착시키도록 하는 것이다.

[0087] 도 11에 도시된 바와 같이, 다이크로익 또는 장파장 경로 빔 스플리터(1160)는 가시광의 적어도 일부분 바람직하게는 그 대부분(그리고 근적외선의 가능한 부분)을 반사하고 적외선에 인접한 SLD 스펙트럼 범위를 실질적으로 또는 완전히 전달하는데 사용될 수 있다. 다이크로익 또는 장파장 경로 빔 스플리터(1160)는 원하는 눈 디오퍼 측정 범위에 대하여 눈으로부터의 파면이 윈도우의 에지에 의해 간섭 받지 않고 완전히 포착되도록 충분히 큰 광 포착 윈도우를 가져야 한다. 다이크로익 또는 장파장 경로 빔 스플리터의 반사는 2가지 기능을 하게 되는데, 그중 하나는 수술용 현미경 또는 실내 조명 또는다른 추가적인 조명과 같은 조명광원에 의해 생성된 눈으로부터의 광의 가시 스펙트럼분을 이미지 센서(1162)로 향하게 하여, 실제의 눈 동공 이미지는 파면 센서 모듈에 대하여 의료진이 눈을 정렬하는 것을 돕는 것과 같은 다양한 목적을 수행하기 위하여 표시된다. 다른 기능은 가시 고정 타겟(1164)의 이미지를 눈으로 향하게 하여, 필요시에 눈이 고정되는 타겟을 가지도록 하는 것이다.

[0088] 파면 센서모듈에서 추가적으로 하향 반사된 광경로는 고정 타겟 관련 광선 및 이미지 센서 관련 광선을 분할/결합하는 기능을 하는 작은 빔 스플리터(1166)이다. 이러한 작은 빔 스플리터(1166)는 다양한 스펙트럼 성질을 가진다. 예를 들어, 가시적인 스펙트럼 범위에서 작동하도록 설계된 간단한 50:50 브로드밴드 빔 스플리터일 수 있다. 그러나, 보다 양호한 광학적 효율성을 위하여, 고정 광원(1164)가 비교적 좁은 스펙트럼 폭을 가진다면, 이러한 빔 스플리터(1166)의 반사 스펙트럼은 고정 광의 양호한 반사성능을 허용하고 이미지 센서(1162)에 스펙트럼의 나머지를 전달하도록 고정 소스 스펙트럼에 배치되도록 형성된다. 그러나, 고정 타겟(1164)의 위치 및 이미지 센서(1162)의 위치는 도 12에 도시된 바와 같이 교환될 수 있으며, 따라서, 작은 빔 스플리터(1166)의 반사 및 투과 스펙트럼 성질을 변화될 수 있다.

[0089] 이미지 센서 전방의 렌즈(렌즈 1: 1168)는 디스플레이(미도시) 상에 환자의 눈의 전방의 실제 이미지를 광학적으로 확대하도록 설계될 수 있다. 상기 이미지 센서 평면가 눈 동공 평면과 연결되어 선명한 눈 동공 이미지가 얻어질 수 있도록 될 필요가 있다면 상기 이미지 센서의 전방 렌즈는 초점을 조절하는데 사용되는 동적 렌즈일 수 있다. 상기 이미지 센서의 전방 렌즈는 줌 렌즈일 수도 있는데, 이 경우 의료진/의사는 원하는 사항에 대하여 확대비를 변화시키도록 상기 렌즈를 사용할 수 있게 된다. 고정 타겟 전방의 렌즈(렌즈 2: 1170)는 적절한 크기와 휘도의 편안한 고정 타겟을 가진 환자의 눈에 제공하도록 설계된다. 고정 타겟 전방의 렌즈는 고정 타겟이 눈의 망막에 연결되게 하거나 서로 상이한 거리에 눈을 고정시키거나 또는 의료진/의사의 필요에 따라 눈을 흐리게 하도록 초점을 조절하는데 사용된다. 고정 광원(1164)는 발광하거나 깜빡이거나 예를 들어, 수술용 현미경의 조명관으로부터 구분되도록 원하는 속도로 색상을 변화시킬 수 있다. 고정광원의 색상 역시 가변적이다. 고정 타겟(1164)은 의료진/의사의 의도에 따라 가변될 수 있는 스폿 또는 표시된 패턴을 가진 마이크로디스플레이 또는 광원에 의해 후방 조명되는 뜨거운 에어 벌룬과 같은 이미지일 수 있다. 추가하여, 마이크로-디스플레이에 기초한 고정 타겟은 상이한 방향에서 바라보도록 환자를 가이드하는데 사용되어, 눈 수차 지도의 2D 배열체가 형성되어, 환자의 비중심 또는 주변부 시각의 시각적 선예도를 측정하는데 사용될 수 있다.

[0090] 고정 타겟, 눈 전방 이미지, 및/또는 다른 데이터는 안구(이것은 임의의 광구조에서 미도시되어 있음)를 통하여 보여지게 되고 현미경으로 다시 전달되게 된다. 이러한 정보는 현미경 또는 생체 형미경 작동 거리에 대하여 공통평면 관계로 되는 물리적 거리 또는 일련의 렌즈를 통하여 다이크로익 또는 빔 스플리터의 통하여 관찰자의 시선과 동축 관계로 되도록 투영된다.

[0091] 상기 이미지 센서(1162)는 흑백 이미지 센서 또는 칼러 CMOS/CCD 이미지 센서일 수 있으며, 고정 광원은 서로 상이한 배경 광 조건에 기초하여 동적으로 및/또는 수동으로 광학적 출력을 제어하는 적색 또는 녹색 발광다이오드일 수 있다. 예를 들어, 수술용 현미경으로부터의 비교적 강한 조명 빔이 켜질 때, 고정 광원의 휘도는 증

가하게 되어 환자는 쉽게 고정 타겟을 찾을 수 있게 되고 그 상부에 고정할 수 있게 된다. 가변적인 다이아프램 또는 개구(도 11에 미도시)는 눈의 전방의 실제 이미지의 필드의 깊이를 제어하기 위하여 렌즈(1168)의 전방이나 후방에 배열될 수 있다. 개구 크기를 다이내믹하게 변화시킴으로써, 눈이 원하는 거리로부터 측방향으로 멀어지게 될때의 흐려짐의 정도는 제어될 수 있게 되며, 다이아프램과 개구 크기의 함수로서 눈의 측방향 위치와 상하립 간의 상관관계는 눈의 측방향 거리를 결정하는 신호로서 사용된다. 선택적인 실시예로서, 눈 거리는 2 이상의 근적외선 조명의 각막 반사된 근적외선 이미지 스폿을 이용하여 삼각법과 같은 공지의 방법으로 측정될 수 있다. 하기에 설명되는 바와 같은 낮은 일관성의 간섭 측정에 기초한 눈 거리 측정 방식도 채용될 수 있다.

[0092] 실제 눈 동공 이미지를 제공하는 것에 추가하여, 이미지 센서 신호는 다른 목적을 위하여 사용될 수 있다. 예를 들어, 실제 이미지는 헤드업 디스플레이 상에 표시되거나 슬릿 램프 또는 수술용 현미경의 접안부에 장착되는 반투과성 디스플레이상에 표시될 수 있다.

[0093] 실제 이미지는 눈 동공의 크기와 횡방향 위치를 탐지하는데 사용될 수 있다. 상기 동공의 크기가 작을 것으로 탐지되면, 파면 샘플링 면적은 이에 대응하여 감소된다. 환언하면, 동공 크기 정보는 동공 크기에 대한 파면 센싱 면적의 스케일링 및/또는 자동 조절 및/또는 다이내믹한 조절을 위하여, 또는 눈 디오퍼 측정의 다이내믹한 범위를 제거하거나 증가 또는 감소시키기 위하여 폐쇄 루프 방식으로 사용될 수 있다.

[0094] 상기 동공이 충분히 바람직하게 중심이 잡혀 있지 않은 것으로 탐지될 때에, 상기 눈 동공의 횡방향으로의 오프셋량은 이러한 동공 위치 오프셋에 의해 도입되는 측정된 파면 오차를 보상하도록 사용될 수 있다. 또한, SLD 빔은 눈 동공을 따르도록 스캔되어, SLD 빔은 예를 들어 각막에 의해 되돌려진 특히 반사된 SLD 빔이 파면 센서의 위치 센싱 장치/디텍터(PSD)로 유입되는 것을 방지하도록 설계되는 위치와 동일한 각막 위치로 각막으로 유입되게 된다. 입사하는 SLD빔은 눈의 중심을 맞추거나, 동공의 중심으로부터 SLD 빔을 의도적으로 오프셋하거나, 또는 SLD빔에 대하여 눈의 위치를 결정하도록 피드백/안내하도록 이미지 센서에 의해 상을 맺게 된다. 파면 샘플링을 위한 파면 빔 시프트/스캐너는 적절히 오프셋되도록 조절되어, 눈 동공의 움직임을 추적하게 된다. 또한, 눈에 물이 흐르고 있거나 광학적 기포가 존재하거나, 또는 눈썹이 광경로 상에 있거나, 얼굴 피부 또는 의사의 손, 또는 수술 도구 또는 장비가 이미지 센서 시각에 있거나, 파면 빔 경로를 차단하고 있다면, 상기 파면 데이터는 "암" 또는 "명"을 배제하도록 포기될 수 있으며, 동시에 SLD(1172)는 꺼지게 된다.

[0095] 상기 이미지 센서는 파면 센서 모듈로부터의 눈 거리를 측정하도록 하는 동시에 고정 타겟과 결합되어 작동하게 된다. 이미지 센서에 의해 포착된 퍼킨제 이미지(Purkinje image)는 반사 원리에 기초하여 효과적인 렌즈 위치(ELP)를 결정하는데 사용될 수 있다. 상기 이미지 센서는 "눈 추적기"로서 캘리브레이션/정렬 대비 굴절 파면 에너지 시프트와 연결되어 파면 센서와 함께 작동하게 된다.

[0096] 또한, 상기 파면 센서는 눈이 건조하여 영상 신호 또는 음성 신호의 형태의 리마인더가 눈을 촉촉하기 할 때를 의료진에게 알려주기 위하여 전송되었는지 여부를 알게 하는데 사용될 수 있다. 또한, 상기 이미지 센서로부터의 신호는 환자의 눈이 유수정체인지, 무수정체인지, 반-수정체 상태인지를 확인하는데 사용되며, 따라서, SLD 펄스는 필요한 시간 동안에만 켜져 있게 되거나, 다른 변수, 제어 또는 계측기가 부가될 수 있다. 이러한 방식은 SLD빔에 대한 환자의 전체 노출 시간을 감소시켜서 최고 피크 파워의 SLD 펄스가 노이즈 신호에 대한 파면 측정 신호를 증가시키고 피드백 계측기를 향상시키며 사용자 인터페이스/디스플레이를 통하여 사용자 입장계(user entry field)를 구현하는데 사용될 수 있도록 한다.

[0097] 도 11에서, 크기가 큰 편광 빔 스플리터(PBS1: 1174)는 환자의 눈에 대하여 초회도 다이오드(SLD) 빔을 발사하는데 사용된다. 큰 윈도우 크기를 사용하는 이유는 원하는 큰 디오퍼 범위에서 눈으로부터의 파면 빔이 PBS에 의해 부분적으로 포섭되지 않도록 하고 전체적으로 포섭되도록 하는 것이다. 이러한 실시예에서, SLD(1172)로부터의 빔은 s-편광되어서, 상기 빔은 PBS(1174)에 의해 실질적으로 완전히 반사되며, 눈 파면을 형성하도록 눈으로 발사된다.

[0098] SLD 빔은 사전에 형성되거나 조작되어서, 빔이 각막 면에서 눈에 유입될 때, 그것은 각막 평면에서 시준되거나 초점이 맺히거나 부분적으로 초점이 맺힐 수 있도록 된다(발산 또는 수렴). 상기 SLD 빔이 작은 이미지 스폿으로서 망막상에 안착될 때, 상기 빔은 반사되거나 산란된다. 또는 상기 빔이 소정의 형상을 가진다면, 반사된 형상의 모양 또는 그 변화는 평가되어질 수 있다. 본원의 일예에서, SLD 빔은 환자에 대한 고정 타겟으로서 직접 사용될 수 있다. 따라서 생성된 복귀 파면 빔은 원래 편광과 함께 수직 편광을 가지게 된다. 통상의 기술자에게 알려진 바와 같이, 안과 파면 센서 장비에서, 수직 편광 파면 빔만이 눈 파면 측정을 위하여 사용된다. 이것이 원래 편광 방향에서 상기 파면 측정에 대하여 현저한 오차를 도입할 수 있는 수정체/IOL 및 각막으로부터

터의 비교적 강하게 반사된 SLD 광 파장이 존재할 수 있기 때문이다. 큰 편광 빔 스플리터(1174)의 다른 기능은 수직하게 편광된 파면 빔이 그것을 통과하게 되고 파면 센서 모듈로 후방의 눈 렌즈 또는 각막에 의해 SLD의 반사가 존재하는지 모니터링 하는 것과 같이 아래에서 설명되게 되는 다른 목적을 위하여 사용되거나 흡수되도록 원래의 방향 측면에서 편광된 복귀된 파면 빔을 가이드하게 하는 것이다.

[0099] 도 11에서, 밴드 패스 필터(1176)는 임의의 가시광선 및/또는 대기의 배경광을 거절하고 SLD(1172)가 생성하는 파면 빔 광의 원하는 비교적 좁은 스펙트럼이 상기 파면 센서 모듈의 나머지로 유입되도록 하기 위하여 큰 편광 빔 스플리터(1174) 뒤에 배치된다.

[0100] 다이크로익 또는 장파장 패스 필터 빔 스플리터(1160), 대형 사이즈 편광 빔 스플리터(PBS1, 1174) 및 밴드 패스 필터(1176)는 파면 빔 경로를 따라 어디에도 배치될 수 있다. 그러나, 다이크로익 또는 장파장 패스 빔 스플리터를 대형 사이즈 편광 빔 스플리터(PBS1) 후방에 배치함으로써, 편광 빔 스플리터(1174)에 의해, 특히 큐브 PBS 라면, SLD 빔의 반사로부터 유래되는 실제 눈 동공 이미지 산란된 SLD광에 상이 맺히는 것이 회피될 수 있다. 또한, 다이크로익 또는 장파장 패스 빔 스플리터(1160)를 배열함으로써, 대형 사이즈 편광 빔 스플리터(1174) 및 제 1 파면 릴레이 렌즈(1104)와 제 2 파면 릴레이 렌즈(1116) 사이의 밴드패스 필터(1176), 원하는 눈 디옵터 범위에서 파면 빔의 입사각은 작은 범위의 값으로 되어, 이러한 모든 광학적 구성요소들은 원하는 성능을 제공하도록 표준 코팅으로써 양호하게 기능할 수 있게 된다.

[0101] 상기 파면 센서 모듈의 광학적 구조에는 다양한 변화가 있을 수 있다. 도 11에서, SLD 빔은 고정되어 있다. 그러나, SLD 빔은 추가적인 장점을 제공하기 위하여 스캔될 수 있다. 도 12는 2개의 4-F 파면 릴레이 스테이지를 가진 파면 센서 모듈의 다른 실시예를 도시한다. 이러한 실시예에서, 도 11에 도시된 바와 같은 파면 빔을 만족시키는데 사용되는 하나의 미러(미러 1, 1150)는 이러한 PBS(1274) 후방으로부터 SLD 빔이 발사되게 하면서 대형 편광 빔 스플리터(PBS1)에 의해 제거되거나 교체될 수 있다. 또한, SLD 빔은 미세한 눈의 운동을 추적하거나 각막의 상이한 위치에 안착되거나 망막 상의 작은 스캔된 영역에서 안착되도록 스캔된다. 폭이 좁은 밴드 패스 필터(1276)는 대형 편광 빔 스플리터(PBS1, 1274) 및 그 다음의 빔을 꺾는 미러(미러 2, 1252) 사이에 배치된다. 도 7, 8, 9, 10에서 설명된 바와 같이 임의의 제2 스테이지 4-F 파면 릴레이가 도 12에는 비록 한가지만 도시되어 있지만 채용될 수 있다.

[0102] *도 12에서, SLD 빔은 보다 큰 편광 빔 스플리터(PBS1, 1274) 후방으로부터 발사되기 때문에, 눈에 대하여 진행하게 되는 발사된 SLD 빔은 PBS(1274)에 대하여 p-편광되며, 그 결과, 순 파면 측정을 위한 수직 편광된 파면 빔은 PBS(1274)에 대하여 s-편광되며, 이러한 빔은 대형의 편광 빔 스플리터(PBS1)에 의해 반사되게 된다. 따라서, 도 12에 도시된 바와 같은 소형 편광 빔 스플리터(PBS2, 1206), 관련된 1/4 파장 플레이트(1208), 파면 샘플링 개구(1218), 서브 파면 초점 렌즈(1220) 및 위치 센싱 디텍터(PSD, 1222)의 방향 및/또는 위치에서 대응하여 변화가 필요하게 된다.

[0103] 작동에 있어서의 일례에서, SLD 빔이 원하는 각막 위치에서 눈으로 항상 유입되도록 하고 눈의 움직임의 결과로서(임의의 눈움직임 범위이내에서) 홍채에 의해 부분적으로나 전체적으로 차단되지 않도록 하기 위하여, 도 12에 도시된 바와 같은 SLD 빔을 스캔하기 위한 각막 스캔 미러(1180)는 제1, 4-F 릴레이(1204)의 제 1 렌즈의 후방 초점면에 배치되어서, 스캐너 위치는 정시안 눈의 망막에 연관된다. 이 경우, 각막 스캔 미러(1280)의 꺾여진 상태의 스캔은 SLD 빔의 횡방향 스캔이 각막에 대하여 행재히게 하면서 SLD 빔이 동일한 망막 위치상에 안착하게 된다. 눈 동공의 실제 이미지를 포착한 이미지 센서는 눈 동공의 횡방향 위치를 알게 하고 SLD 빔이 눈 움직임을 추적하게 하도록 각막 스캔 미러(1280)을 구동하는 피드백 신호를 제공하는데 사용될 수 있다.

[0104] 작동과 관련한 다른 예에서, SLD 빔이 안착되게 하고 망막 상의 작은 면적 주위에서 스캔하게 하도록, 도 12에 도시된 바와 같은 망막 스캔 미러(1282)는 SLD 빔 형상 조작 렌즈(렌즈 3, 1284)의 후방 초점면에서 각막 면에 관련되어 위치될 수 있다. 다른 렌즈(렌즈 4, 1286)는 상기 망막 스캔 미러(1282) 상으로 예를 들어 단일 모드 광섬유(편광 유지(PM) 단일 모드 섬유)의 출력부로부터의 SLD 빔의 초점을 맺게 하고 시준하거나 형성하는데 사용된다. 이러한 렌즈(렌즈 4, 1286)는 눈에 대한 조건(예를 들어, 유수정체, 무수정체 또는 반-유수정체)에 대한 각막 또는 망막상의 SLD 빔 스팟 크기의 다이내믹한 제어를 구현하도록 축방향으로 이동될 수 있으며 다이내믹하게 초점이 맺힐 수 있는 렌즈일 수 있다.

[0105] 상기 망막 상의 작은 영역에 대하여 SLD 빔을 스캐닝하는 것은 몇가지 장점을 제공한다. 첫번째 장점은, 특히 스팟 크기가 매우 작은 경우에, 동일한 망막 스팟 영역에 항상 안착되는 SLD 빔을 가지는 것으로부터 나타나는

스펙클 효과를 감소시킬 수 있다는 것이다. 다른 장점은 약간 큰 망막 영역에서 광 에너지를 분하시켜서 높은 피크 파워 필싱된 SLD 빔이 눈에 발사되어 광 파면 측정을 위한 신호 대비 노이즈비를 증가시킨다는 것이다. 또다른 장점은 파면 측정이 작지만 비교적 동일한 망막 영역에서 평균화되게 하여, 망막의 형상면에서 불균일하여 발생하는 파면 측정 에러가 평균치되게 제거되게 된다는 것이다. 또다른 장점은 예를 들어 SLD 빔이 망막에서 스캔될 때 파면 응답을 측정함으로써 망막의 불균일성을 결정하는 것이다.

[0106] 각막 및 망막에 대하여 SLD 빔을 스캐닝 하는 것은 독자적으로 또는 동시에 행해질 수있다. 환언하면, 2개의 SLD빔 스캐너가 서로 독립적으로 작동되거나 동기화되어 또는 비동기화되어 동시에 작동될 수있다.

[0107] 또한, 치료를 위한 레이저 빔(도 12에 미도시)은 SLD 빔을 구비한 눈 수술 광원에 결합되거나 동일한 광섬유를 통하여 또는 다른 자유 공간 광선 컴바이너를 통하여 눈으로 전달되거나 SLD 빔을 위한 동일한 스캐너 또는 다른 스캐너로 전달되어서, 눈 수술용 레이저 빔은 눈의 굴절 또는 망막 수술을 수행하기 위하여 스캔된다. 상기 SLD 빔 및 눈 수술 레이저 빔은 서로 다른 파장을 가지며 광섬유에 기초한 파장 분할 멀티플렉싱 커플러 또는 자유 공간 다이크로익 컴바이너를 사용하여 결합될 수 있다. 가시 파장을 가진 동일한 레이저 및 또는 상이한 레이저 빔은 눈에 표시를 하거나 의사를 안내하여, 즉 눈 상에서 가로놓이도록 사용되어서, 의사는 수술용 현미경을 통하여 레이저 표시를 볼 수 있게 된다.

[0108] 눈 파면 측정에 있어서, 수직 편광성을 가진 망막으로부터 되돌아온 빔만이 사용되기는 하지만, 이것은 각막으로부터 되돌아오는 것을 의미하지는 않으며, 수직 편광성을 가진 망막 및 눈 결정체 렌즈 (또는 IOL)는 필요하지 않다. 이와 반대로, 수직 편광성을 가진 이러한 복귀된 빔은 매우 유용한 정보를 제공한다. 도 13은 2개의 4-F 파면 릴레이 스테이지 실시예의 다른 예를 도시하는데, 여기서, 제 2 4-F 파면 릴레이 스테이지는 도 10에서 설명하였던 것에 유사하다. 도 13에서, 수직 편광성을 가진 눈으로 되돌아온 광 파장은 상기 파면 센서 모듈로부터의 눈 거리, 눈에서의 눈 렌즈(자연 렌즈 또는 이식 렌즈)의 위치, 전방 챔버 깊이, 눈의 길이, 및 눈의 해부학적 파라미터에 대한 다른 사항들을 측정하는데 사용된다.

[0109] 도 13에 도시된 바와 같이, 대형 편광 빔 스플리터(PBS1; 1374)를 통과하는 복귀된 광의 파장은 일반적으로 광저간섭(OLC: optical low coherence) 측정 또는 광 간섭 단층(OCT: optical coherence tomography) 측정을 위하여 채용되므로 저간섭성 섬유 광학 간섭계 구성으로써 수집된다. SDL 출력 섬유(1388)는 단일 모드(SM)(필요하다면 편광 유지(PM)일 수도 있음)일 수 있으며 일반적인 단일 모드(SM) 섬유(또는, 필요하다면 PM-SM 광섬유) 커플러(1390)에 연결될 수 있어서, SLD 광의 일부는 파면 센서 모듈로 보내지고, SLD 광의 다른 일부는 기준 아암(1392)으로 보내진다. 상기 기준 아암(1392)의 광경로 길이는 스캔되거나 변화되거나 또는 스위칭되어 눈의 하나 이상의 광 인터페이스로부터 복귀된 광의 광경로 길이에 대응하여 대략적으로 매칭되게 된다. 상기 눈의 서로 다른 부분으로부터 복귀된 광 파장은 광 저간섭성 간섭계로 나타나게 되는 섬유 커플러(1390)에서 기준 섬유 아암(1392)을 통하여 복귀되는 기준 광 파장에 재결합된다.

[0110] 스펙트럼 영역, 스위핑된 소스, 시간 영역, 밸런싱된 탐지 및 다른 것들을 포함하는 다양한 OLC/OCT 구조 및 탐지 계획이 채용될 수 있다. 파면 센서 모듈(예를 들어 수술용 현미경 또는 슬릿 램프 생체 현미경에 부착됨)을 소형으로 유지하기 위하여, 탐지 모듈, 기준 아암(측방향으로 스캔되거나 이동되는 기준 미러 및 섬유 루프를 포함함), SLD 및 섬유 커플러는 파면 센서 모듈 하우징 외부에 배치된다. 이를 수행하는 이유는 탐지 모듈 및/또는 기준 아암 및/또는 SLD 소스가 OLC/OCT 수술에 사용되는 계획에 따라 부피가 크게 될 수 있다. 예를 들어, 밸런싱된 탐지 계획이 US7815310에 설명된 바와 같이 채용될 때, 섬유 광학계 순환기는 SLD 섬유 아암에 장착되어질 필요가 있다. 시간 영역 탐지가 채용될 때, 상기 기준 아암은 광경로 길이 스캐너 또는 신속 스캔 광 딜레이 라인을 포함할 필요가 있다. 스펙트럼 영역 탐지 계획이 채용될 때, 상기 탐지 모듈은 광 분광계 및 라인 스캔 카메라를 포함할 필요가 있다. 스위핑된 소스 탐지 계획이 채용될 때, SLD 소스는 파장 길이 스캐너를 포함할 필요가 있다.

[0111] 수술에 대한 일례에서, 비교적 강한 OLC/OCT 신호가 수집되도록 하기 위하여, 상기 각막 스캔 미러 및/또는 망막 스캔 미러는 예를 들어 각막, 눈 렌즈(자연 또는 인공) 및 망막으로부터의 비교적 강한 정반사가 시각 섬유 간섭계로 복귀되도록 제어되어, 이러한 눈 요소의 광학적 인터페이스의 측방향 거리는 측정되게 된다. 이러한 수술은 눈 파면 측정으로부터 순차적으로 분리되어 후자의 경우에 정반사는 회피된다. 선택적으로, 2개의 서로 다른 파장 길이 밴드가 사용되게 되며, 스펙트럼 분리/조합이 채용되게 된다. 한편, OLC/OCT 신호 강도는 정반사가 파면 센서 모듈에 의해 수집되는지 나타내는 것으로서 사용되며, 그렇다면, 파면 센서 데이터는 포기되게 된다.

[0112] 수술에 대한 다른 예에서, SLD 빔은 눈의 전방 세그먼트를 가로질러 스캔되며 망막의 일정 부피를 가로질러 스

캔되고, 눈의 다양한 부분의 해부학적 구조 측정이 이루어지게 된다. 특히, SLD 빔은 각막의 하나 이상의 환경링(또는 반경방향, 나선 또는 별모양과 같은 다른 패턴)의 중심 또는 주위에서 작은 개수의 스캔 지점으로서 안착되게 되어, 각막 굴절지수 및/또는 렌즈(자연 또는 인공) 굴절지수의 결정 또는 측정이 가능하게 된다.

[0113] 이러한 지점에서, 파면을 시프팅하고 SLD 을 스캐팅하기 위하여 사용되는 빔 스캐너는 다이내믹한 DC 오프셋을 가지게 되어 본 발명에 추가적인 장점을 부여하게 된다. 본 발명의 일특징에서, 파면을 시프팅하거나 스캐팅하는데 사용되는 스캐너는 파면 샘플링 개구에 대하여 스캔된 파면 빔이 회전 대칭이 되록 기계적 진동 또는 온도와 같은 환경 변화의 결과로서 광학 부재의 오정렬부에 대한 보상을 하는데 사용된다.

[0114] 반면, 위치 센싱 디텍터(PSD) 상의 기준 지점은 캘리브레이션을 통하여 보상된 이미지 스팟 위치에 대하여 필요하다면 조절될 수 있다. 만약 위치 센싱 장치/디텍터(PSD)에 대한 샘플링된 이미지 스팟 빔의 각을 이룬 DC 오프셋이 존재한다면, 이것은 캘리브레이션 또는 데이터 처리에 의해 처리될 수 있다.

[0115] SLD 빔을 스캔하는데 사용되는 스캐너는 이미지 센서로부터의 피드백 신호를 통하여 임의의 범위 내에서 눈동공 운동을 따르게 하도록 채용될 수 있다. 파면 센서 모듈에 대하여 눈이 움직일 때, 눈이 파면 센서 모듈에 대하여 중심이 잘 맞춰질 때와 같이 SLD 빔이 동일한 각도로 동일한 각막 위치를 통하여 눈에 유입되더라도, 눈으로부터 복귀된 파면 빔은 파면 센서 모듈의 광축에 대하여 횡방향으로 배치된다. 그 결과, 전달된 파면은 횡방향으로 배치된다. 그 결과, 파면을 시프팅하는데 사용되는 스캐너의 DC 오프셋은 이러한 변위에 대한 보상을 위하여 채용될 수 있으며, 파면 샘플링 개구에 대하여 스캔된 파면 빔이 회전 대칭이 되게 한다. 이 경우, 눈 동공 횡방향 위치에 대한 위치 센싱 장치/디텍터(PSD)에 대한 샘플링된 이미지 스팟 빔이 각지게 DC 오프셋되게 되어, 다시, 이러한 것은 캘리브레이션 및 데이터 처리를 통하여 처리된다.

[0116] 상기 이미지 센서, 파면 센서, 정반사 디텍터 및/또는 저간섭성 간섭계에 의해 제공된 정보의 조합으로써, 데이터 처리 알고리즘 및/또는 올바른 캘리브레이션 커브를 자동적으로 선택하게 하는 모든 정보를 조합하는 것이 가능하게 된다. 반면에, 데이터 통합 인디케이터, 또는 신뢰도 인디케이터, 또는 백내장 불투명성 정도 인디케이터, 또는 광학적 기포의 존재에 대한 인디케이터는 음성 또는 영상 또는 다른 수단을 통하여 의사 또는 의료진에게 보여지게 된다. 결합된 정보는 안구 내압(IOP) 탐지, 측정 및/또는 캘리브레이션을 위하여 사용될 수 있다. 이러한 결합된 정보는 다중 초점 렌즈와 같은 이식된 안구내 렌즈(IOL)의 중심 맞춤 및/또는 경사 여부를 탐지하거나 확인하는데 사용된다. 결합된 정보는 유수정체, 무수정체 및 반유수정체를 포함하는 눈의 상태를 탐지하는데 사용된다. 파면 센서 신호는 안구 시스템의 광학 매체 또는 눈 렌즈의 불투과도 및/또는 광산란 정도를 나타내도록 OLC/OCT 신호와 결합될 수 있다.

[0117] 다시, 눈 수술 광원으로서 레이저(도 13에 미도시)는 SLD 와 결합되며 동일한 광섬유를 통하여 또는 다른 자유공간 광빔 컴바이터 및 SLD 빔에 대한 동일한 스캐너 또는 다른 스캐너를 통하여 눈으로 전달되어, 눈 수술 레이저 빔은 눈의 굴절성 수술 또는 망막 수술을 수행할 뿐만 아니라 광조절식 렌지의 IOL 지수를 미세하게 조정하거나 또는 펌프-초 레이저 또는 침습 기술인 LRI/AK 또는 레이저를 사용하는 슬릿 램프 생체 현미경에서 수술 후에 행해지는 바와 같이 T-절개를 행하거나 미세 조정하기 위하여 스캔된다. 동일한 레이저 빔 또는 가시 파장 길이를 가진 다른 레이저는 눈을 "표시"하는데 사용되거나, 의사를 "안내"하는데 사용되는데, 즉, 눈 이미지 또는 눈에 "가로놓이게" 되어, 의사는 수술용 현미경을 통하여 또는 디스플레이 스크린 상에서 레이저 표시를 보게 된다.

[0118] 이러한 점에서, 본 발명에서, 시력 교정 수술에 특히 적합한 광범위한 다옴터 범위의 순차 파면 센서가 설명되었다. 그것은 하나 이상의 파면 릴레이 스테이지, 최종 파면 릴레이 이미지 평면이나 그 근처에 위치된 파면 샘플링 개구, 개구 전후의 서브 파면 초점 렌즈, 상기 서브 파면 초점 렌즈 뒤에 배치되는 이미지 스팟 위치 센싱 장치, 상기 치중 파면 이미지 평면에서 횡방향으로 파면을 시프팅하는 프리에 변환 공간이나 파면 이미지 공간 어디에도 배치되는 파면 시프팅 장치(예를 들어 광 빔 스캐너)를 포함하는 광학 파면 릴레이 시스템을 포함한다. 본 발명의 다른 특징은 입사 파면의 큰 다옴터 범위에서 파면 빔이 파면 시프팅 장치에 의해 완전히 포섭되도록 파면 시프팅 장치가 선택되고 위치되는 것이다. 바람직하게는, 전달된 파면 빔은 파면 시프팅 장치 공간에서 횡방향 치수면에서 축소되어, 파면 시프팅 장치 공간에서의 임의의 축방향 거리 범위에서 파면 빔 폭은 예를 들어 소형 빔 스캐터에 의해 빔이 완전히 시프팅되도록 비교적 작게 유지된다(눈으로부터의 입사 파면이 큰 다옴터 범위에서 변화 되는 경우에도).

[0119] 그러나, 파면 릴레이 시스템은 공지의 4-F 파면 릴레이 구조에 제한되지 않는다. 물체 평면으로부터 이미지 평면으로 광 파면을 전달하는 기능을 수행하는 한 임의의 광 구조도 가능하다. 예를 들어, 2개의 포지티브 렌즈들 사이에 배치되는 네거티브 렌즈를 구비한 3개의 렌즈를 포함하는 US20100208203에 설명된 파면 릴레이 구조

는 본 발명에서 한번 이상 사용될 수 있다.

[0120] 상기 파면 빔은 파면 시프팅 장치 공간에서 축소될 필요는 없다. 그것은 1:1 비율 파면 릴레이 시스템이거나 확대 파면 릴레이 시스템일 수도 있다.

[0121] 파면 시프팅 장치 공간은 파면 시프팅 장치가 위치되는 부피로서 해석되어야 하며, 이것은 파면 이미지 공간 또는 퓨리에 변환 공간이 될 수 있다. 파면 시프팅 장치는 모든 유형의 광 빔 스캐너 및 디스플레이서를 포함하는, 순차적으로 파면을 효과적으로 시프팅하는 기능을 수행할 수 있는 임의의 장치로 해석되어야 한다. 상기 파면 시프팅 장치는 파면을 횡방향으로 효과적으로 시프팅하는 한 하나 이상의 파면 릴레이 스테이지의 퓨리에 변환 공간이나 하나의 파면 릴레이 스테이지의 파면 이미지 공간에 배열된다. 핵심 사항은 원하는 디오퍼 범위 에 대하여 파면 빔이 파면 시프팅 장치에 의해 완전히 포섭될 수있다는 것이다. 파면 시프팅은 빔 전파 방향을 변화시키거나 상기 빔을 횡방향으로 변위시킴으로써 또는 결합된 효과를 통하여 또는 점진적으로 파면 빔을 만족하는 것과 같은 다른 수단을 통하여 달성된다. 상기 빔 스캐너는 본질적으로 투과형이거나 반사형이며, 빔 스캐너는 꺾여진 광빔 스캐너 또는 광빔 횡방향 변위 스캐너 또는 그 결합일 수 있다.

[0122] 상기 파면 샘플링 개구는 고정된 개구 크기를 가지거나 예를 들어 0mm 내지 6mm 로 조절가능한 크기와 형상을 가진 가변적인 개구일 수 있으며, 필요하다면, 다이내믹하게 축방향이나 횡방향으로 이동할 수 있다. 상기 개구는 상이한 크기, 형상 또는 직경으로된 드롭-인(drop-in) 개구일 수 있다. 상기 개구는 서브 파면 초점 렌즈의 전방에 배치될 필요는 없으며 파면을 샘플링하는 기능을 수행하는 한 파면 시프팅 장치 뒤의 어디에도 배치될 수 있다.

[0123] 상기 서브 파면 초점 렌즈는 절대적으로 필요한 것은 아니며 선택적일 수 있다. 그것은 가별 초점 렌즈일 수 있으며(또는 초점 거리를 가진 렌즈일수도 있으며), 눈의 상태에 대하여 상이한 초점 거리의 다이내믹 드롭-인 렌즈(예를들어 유수정체, 무수정체 또는 반유수정체)일 수도 있다. 상기 개구에 바로 인접하게 배치될 필요는 없으며 예를 들어 위치 센싱 장치/디텍터(PSD) 전후의 공간의 위치로 개구에서 샘플링된 파면을 전달하도록 개구 전후에 개구로부터 이격되어 배치될 수 있다. 상기 서브 파면 초점 렌즈가 없다면, 상기 시스템은 하트만 파면 센서 대 하트만 삭 파면 센서의 경우에도 작동할 수 있다. 필요하다면, 상기 서브 파면 초점 렌즈의 초점은 다이내믹하게 변화될 수 있으며, 이를 통하여 파면 샘플링 개구의 크기에 따른 실시간 초점 길이를 조절할 수 있게 되어, 위치 센싱 장치/디텍터 상으로 안착되는 이미지 스팟은 입사 파면의 보다 높은 정확도의 측정을 위하여 원하는 크기로 조절될 수 있다.

[0124] PSD 는 다분면 디텍터, 측면 효과 위치 센싱 디텍터, 2차원 디텍터, 2개의 수직 선형 디텍터 배열, 또는 광선의 위치를 감지하는 임의의 장치일 수 있다.

[0125] 전술한 실시예에서 설명된 광학적 구조 및 관련된 파라미터들은 예시적인 것이다. 실제로는, 상기 파면 센서 모듈이 수술용 현미경이나 슬릿 램프 생체 현미경에 일체로 될 때, 상기 광학적 구조 및 광빔 경로의 꺾여진 구조는 상이한 인자들을 고려함으로써 달라질 수 있다.

[0126] 도 14는 수술용 현미경(14100)을 구비한 설명되어진 파면 센서 모듈이 통합된 실시예를 도시한다. 이 실시예에서, 제1, 4-F 릴레이의 제 1 렌즈(1404)는 파면 센서 모듈의 바로 제 1 광입력 포트에 배치된다. 상기 제 1 렌즈(1404)는 수술용 현미경(14100)(또는 슬릿 램프 생체 현미경) 및 하면 센서 모듈에 의해 공유된다. 환자의 눈에 가급적 가깝게 제1, 4-F 릴레이의 제 1 렌즈(1404)를 배치하는 장점은 이러한 제 1 렌즈(1404)의 설계된 초점 거리가 4-F 파면 릴레이의 요구 조건에 대하여 최단이기 때문이며, 따라서, 전체 광경로 길이는 최단으로 형성된다. 이러한 파면 빔 경로가 추가로 꺾여진 형태와 결합됨으로써 파면 센서 모듈은 소형화된다. 또한, 상기 눈으로부터의 파면의 큰 디오퍼 범위는 동일한 직경의 렌즈에 비교할 때 커버되지만, 파면 빔 광경로의 추가적 하향 방향으로 배치된다. 또한, 이러한 위치에서 파면 센서가 광 윈도우를 가질 필요가 항상 있기 때문에, 따라서 제 1 렌즈(1404)는 상기 제 1 파면 릴레이 스테이지의 제 1 렌즈 및 윈도우에 대한 두가지 목적을 수행하게 된다.

[0127] 도 14에 도시된 바와 같이 다이크로의 또는 단경로 빔 스플리터(1461)는 근적외선 파면 빔을 파면 센서 모듈로 효과적으로 굴절시키는데 사용되며, 이때 수술용 현미경으로 가시 광선의 대부분이 통과하게 한다. 다이크로익 또는 단경로 스플리터(1461)는 눈으로부터의 가시 광선의 작은 부분(따는 그러한 부분이 있다면 SLD 스펙트럼 범위 외측에 근적외선 광의 큰 부분)이 파면 센서 모듈에 탐지되게 하도록 설계되어, 환자 눈의 전방의 선명한 실제 이미지는 전술한 바와 같은 이미지 센서에 의해 포착된다. 도 14에 도시된 바와 같은 파면 센서 모듈의 나머지는 사용가능하게 되는 다양한 잠재적인 광 구조 중 하나를 나타낸다. 파면 센서 모듈의 해석은 전술

한 가능한 모든 구조를 커버해야 한다.

- [0128] *다이크로익 또는 단경로 빔 스플리터(1461) 위의 보상 렌즈(14102)는 몇가지 기능을 충족하는데 사용된다. 우선, 수술용 현미경에 의해 의사에게 보여지게 되는 수술 장면이 제1, 4-F 릴레이의 제 1 렌즈(1404)를 사용하기 때문에 영향을 받지 않게 되도록 하기 위하여, 이러한 보상 렌즈(14102)는 공유된 렌즈(제1, 4-F 릴레이(1404)의 제 1 렌즈)의 효과를 보상하도록 설계될 필요가 있다. 둘째로, 상기 보상 렌즈(14102)는 먼지나 습기가 파면 센서 모듈로 유입되는 것을 방지하는데 필요한 상부 광 윈도우로서 기능하게 된다. 상기 보상 렌즈(14102)의 제 3 기능은 광축으로부터 멀어지도록 수술용 현미경으로부터의 조명 빔을 가이드하여, 상기 조명 빔이 공유된 렌즈(제1, 4-F 릴레이(1404)의 제 1 렌즈)에 도달하면 공유된 렌즈로부터의 정반사는 수술 장면에서의 의사의 시각을 간섭하지 않도록 수술용 현미경의 두가지 입체적 시각으로 되돌려 배향되지 않게 된다. 최종적으로, 상기 보상 렌즈(14102)는 가시광 스펙트럼만이 통과되도록 코팅된다. 이러한 방식으로, 조명원으로부터 SLD 스펙트럼에 대응하는 조명광의 근적외선 스펙트럼부 또는 UV 는 눈에 안착되지 않게 되어, 파면 센서 모듈로 유입되는 눈으로 복귀된 근적외선 배경광을 생성하게 되고 동시에 위치 센싱 장치/디텍터를 포화시키거나 배경 노이즈를 생성하게 된다.
- [0129] 상기 보상 렌즈(14102)는 특별히 설계되거나, 프리즘/미러(15104)가 추가되어, 수술용 현미경의 조명 빔 출구 포트 바로 아래의 보상 렌즈의 일부는 조명빔을 더욱 구부러지게 하고, 다른 프리즘(15105) 또는 미러는 도 15에 도시된 바와 같이 환자 눈으로 조명 빔을 되돌려 재배향하도록 저부 렌즈에 인접하게 추가된다.
- [0130] 도 14 및 도 15에 도시된 실시예에서, 상기 수술용 현미경의 원래 대물 렌즈(14101, 15101)는 제거되지 않고 유지된다. 그러나, 선택적인 사항으로서, 상기 수술용 현미경의 대물 렌즈(14101, 15101)는 제거될 수 있으며, 그 초점 기능은 단지 4-F 릴레이 스테이지만을 가지는 도 16에 도시된 바와 같은 파면 센서 모듈의 입력 포트에서 공유된 렌즈(1604)에 의해 부분적으로 또는 완전히 그 기능이 수행된다. 이 경우, 공유된 상기 렌즈(1604)가 적절히 설계된다면, 도 14 및 도 15에 도시된 바와 같은 보상 렌즈(14102, 15102)는 진술한 바와 같은 조명 빔을 가이드하는 프리즘부 또는 분리된 프리즘(16104)에 대한 필요가 여전히 있음에도 불구하고 간단한 광 윈도우(16106)에 의해 교체될 수 있다. 따라서, 상기 보상 렌즈(14102/15102)의 의미는 보상의 개념이 조명빔에 제공되는 광 기능을 포함해야 하듯이, 조명 빔 만곡부를 구비한 광 윈도우도 포함하여야 한다. 추가하여, 상부 광 윈도우는 가시 광선 스펙트럼만이 통과되도록 코팅된다. 이러한 방식으로 광의 근적외선 스펙트럼부는 환자의 눈에 도달하지 않게 되어, 배경 노이즈를 생성하거나 디텍터를 포화시키도록 파면 센싱 디텍터로 유입되는 눈으로 복귀된 근적외선 배경광을 생성하게 된다.
- [0131] 이러한 지점에서, 도 14, 도 15 및 도 16의 실시예에 있어서, 상기 파면 센서 모듈의 입력 포트에서 제 1 렌즈가 공유되기 때문에, 가시광선 및 근적외선 스펙트럼광 모두를 통과시킬 필요가 있고 더욱 바람직하게는 추가 수차를 최소화하도록 할 필요가 있다. 이러한 렌즈에 대한 바람직한 선택은 가시 광선 및 근적외선 스펙트럼에 대하여 작용하도록 설계되는 색지움 렌즈(achromatic lens)이다. 필요하다면, 비구면 색지움 렌즈가 사용될 수 있다. 폭이 좁은 밴드 필터가 제1, 4-F 릴레이 스테이지의 제 2 렌즈의 전방에 사용되므로, 상기 제 2 렌즈 및 그 다음의 임의의 렌즈는 SLD 소스 근적외선 스펙트럼 범위에서만 기능하도록 설계되는 것일 수 있다. 이러한 렌즈들은 구면 렌즈일 수 있다.
- [0132] 다른 선택적인 실시예로서, 도 14, 도 15, 도 16에 도시된 바와 같은 다이크로익 또는 단경로 빔 스플리터(1461, 1561, 1661)는 도 17에 도시된 바와 같은 4-F 릴레이 스테이지의 제 1 렌즈로서 작용하는 특히 45°의 근적외선 초점 미러(17108: SLD 스펙트럼만을 반사하도록 코팅됨)로 교체될 수 있다. 반면에, 수술용 현미경에 대한 가시 스펙트럼에 대하여 그것은 투명한 플레이트로서 작용한다. 이 경우, 수술용 현미경(17101)의 원래의 물체는 남게 되어, 상부 광 윈도우(17110) 및 하부 광 윈도우(17112)는 현미경으로부터 멀어지도록 조명광의 정반사를 안내하도록 경사진 저부 플레이트를 구비한 2개의 유리 플레이트로 형성된다. 상기 45° 근적외선 초점 미러(17108)는 4-F 릴레이의 제 1 렌즈로서 기능하게 되며, 그 축방향 위치는 환자의 눈으로부터 더 후방으로 이동하게 되기 때문에, 4-F 릴레이의 제 2 렌즈(1716) 및 파면 센서 광학계의 나머지는 이에 따라 조절될 필요가 있다. 이러한 실시예의 장점은 현미경의 화면이 최소한 영향을 받게 된다는 것이다.
- [0133] 도 18은 수술용 현미경(18100)에 이제 설명되게 되는 파면 센서 모듈을 통합한 다른 실시예를 도시한다. 이러한 실시예에서, 다이크로익 또는 단경로 빔 스플리터(1861)는 상기 파면 센서 모듈로 SLD 스펙트럼의 근적외선 파면빔을 안내하고, 수술용 현미경에 대하여 가시광 스펙트럼을 통과시키도록 사용된다. 저부 광 윈도우(18112)는 현미경 입체 영상으로 정반사된 가시광이 유입되는 것을 회피하도록 다시 경사지게 된다. 상부 광

원도우(18110)는 가시광 스펙트럼만이 통과하도록 코팅된다. 4-F 릴레이의 제 1 렌즈(1804)는 그것이 수술용 현미경의 조명 및 시각 경로로 개입되는 한 기계적으로 가능한 한 눈에 인접하게 배치될 수 있다. 4-F 릴레이의 제 1 렌즈(1804)와 눈 사이의 증가된 거리로 인하여, 4-F 릴레이의 제 2 렌즈(1816) 및 파면 센서 광학계의 나머지는 이전의 경우와 비교하여 후방으로 더 밀려날 필요가 있다. 이로 인하여 파면 센서 모듈은 그 부피가 더 커지게 되며, 눈 파면의 동일한 디오프터 범위를 커버하기 위한 4-F 릴레이의 제 1 렌즈의 필요한 디오프터는 더 커지게 된다. 그러나, 그 장점은 상기 현미경의 영상이 다른 실시예와 비교하여 영향을 덜 받게 된다는 것이다.

[0134] 본 발명의 추가적인 특징으로서, 실제의 경우, 스펙트랄론 플레이트(spectralon plate)와 같은 분산된 반사면은 상기 SLD 빔을 분산시켜 반사하도록 광경로에 들어오게 되어, 파면 센서 모듈은 SLD 빔의 광정렬, SLD 빔의 광지수 및 광부재의 광정렬을 체크하는데 사용될 수 있게 되는 캘리브레이션 파면을 형성하게 된다.

[0135] 모든 실시예에서, SLD 스펙트럼은 근적외선 범위 내에 있게 된다고 언급된 바 있다. 그러나, 이것은 다른 스펙트럼 범위도 사용될 수 있으므로 제한적으로 이해되어서는 않된다. 비록 파면 센싱을 위한 근적외선 광원이 사람의 눈에는 보이지 않는다는 점에서 바람직하다고 하더라도, 파면 센싱을 위한 가시광원은 SLD 빔이 고정광원으로서 바로 사용될 수 있고 파면 측정은 눈이 가시광만을 볼 수 있으므로 더욱 정확하게 된다는 점에서도 바람직하다.

[0136] 또한, 파면 센싱 및 또는 OLC/OCT 측정을 위하여 사용되는 파장은 스캔되거나 조정될 수 있다. 파장을 조정하거나 스캔하는 잇점은 눈의 색수차가 측정될 수 있다는 것이다. 다른 잇점은 파장을 조정함으로써, 각막, 눈 렌즈, 법랑 또는 크로이드(chroid)를 포함하는 눈의 조직을 분광 분석 측정함으로써 결정될 수 있다는 것이다. 또다른 잇점은 스윙핑된 소스 기관 OLC/OCT 탐지 계획이 직접 채용될 수 있다는 점이다. 파장 조정은 전체 가시 스펙트럼 범위 및 필요한 바와 같은 전체 근적외선 스펙트럼 범위를 포함하는 큰 스펙트럼 범위를 커버할 수 있게 된다.

[0137] 여기서 설명되었던 파면 센서 모듈은 넓은 적용 범위를 위하여 다양한 다른 안과 장비와 결합될 수 있다. 예를 들어, 이것은 라식 또는 눈 렌즈 굴절 및 각막 침습/절개에 사용되는 엑시머 레이저 또는 펄스초 레이저에 통합될 수 있다. 실제 이미지, OLC/OCT 및 파면 신호는 광학적 기포 또는 다른 광학적 불균일성이 눈 수술 전후에 눈 렌즈나 전방 챔버에 존재하는지를 나타내도록 결합될 수 있다.

[0138] 본 발명은 적응성 광학계 시스템에 통합되거나 결합된다. 변형가능한 미러 또는 액정 계 투과성 파면 보상기는 파면 오차를 보상하도록 실시간 파면 조작을 수행하기 위하여 사용될 수 있다.

[0139] 이러한 실시예들은 광학계, 안경, IOL을 측정하거나 광학계를 절개 가공하는 장치를 안내하는데 채용될 수 있다.

[0140] 이러한 실시예들은 세포 및/또는 분자 분석 또는 다른 측정 장비를 위하여 현미경에 적용될 수 있다.

[0141] 본 발명은 렌즈 가공, 안경 확인, 마이크로 생체 분야 등에 사용될 수 있다.

[0142] 본 발명의 교시 내용을 포함하는 다양한 실시예가 상세하게 도시되었지만, 통상의 기술자는 이러한 교시 내용을 포함하는 다른 변화된 실시예도 용이하게 고안할 수 있다.

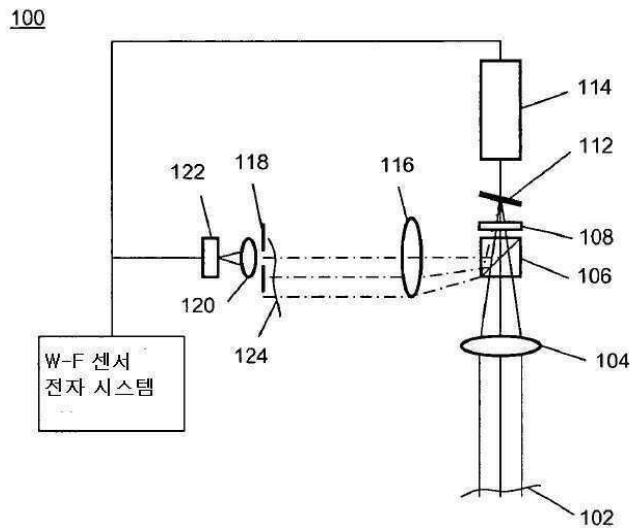
부호의 설명

[0143]

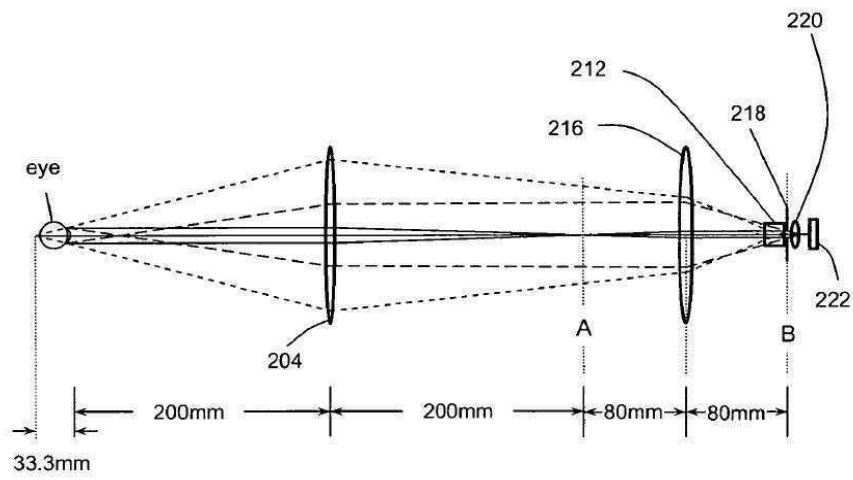
100: 순차 파면 센서	102: 파면
104: 제 1 렌즈	106: 편광 빔 스플리터
108: 1/4 파장 플레이트	112: 스캐닝 미러
114: 모터	116: 제 2 렌즈

도면

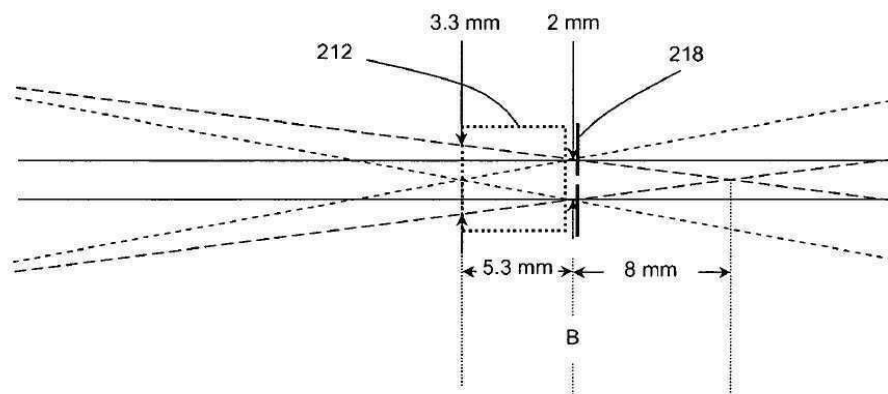
도면1



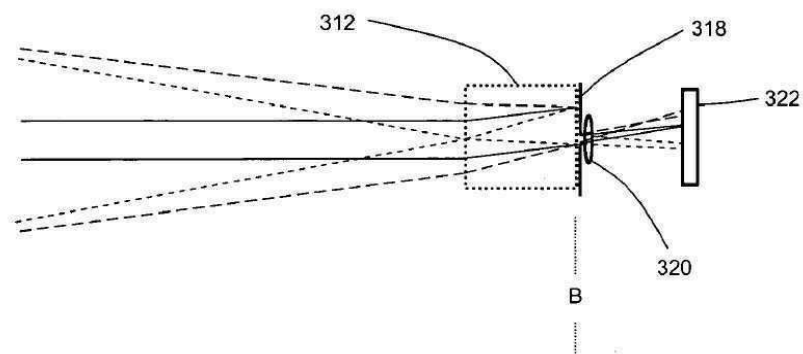
도면2a



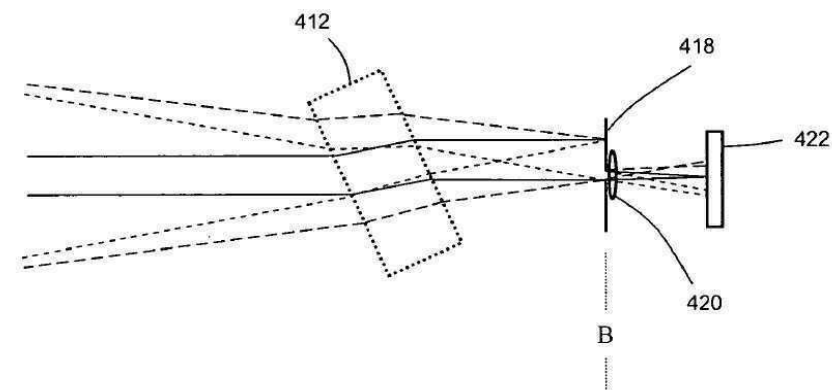
도면2b



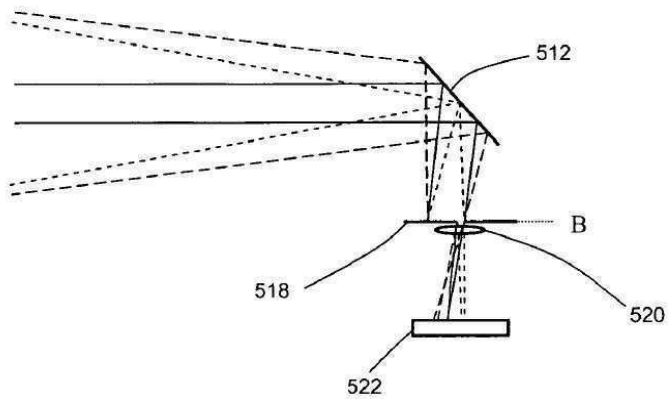
도면3



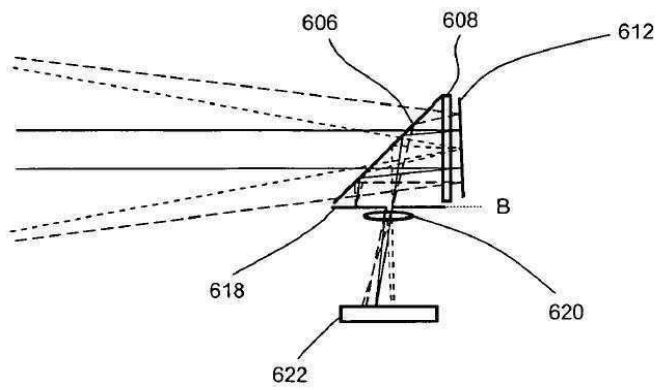
도면4



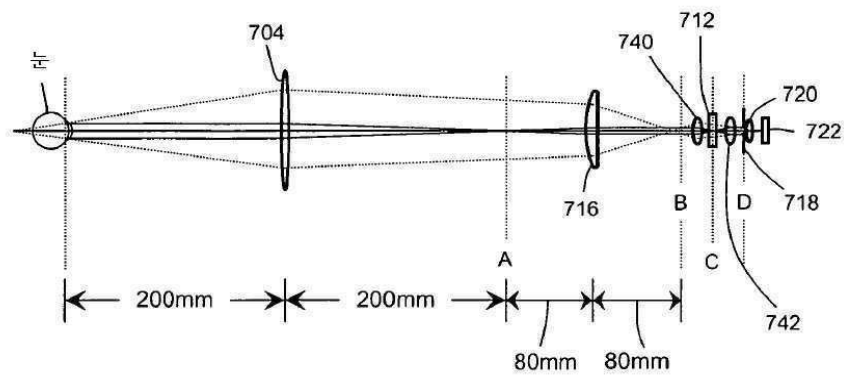
도면5



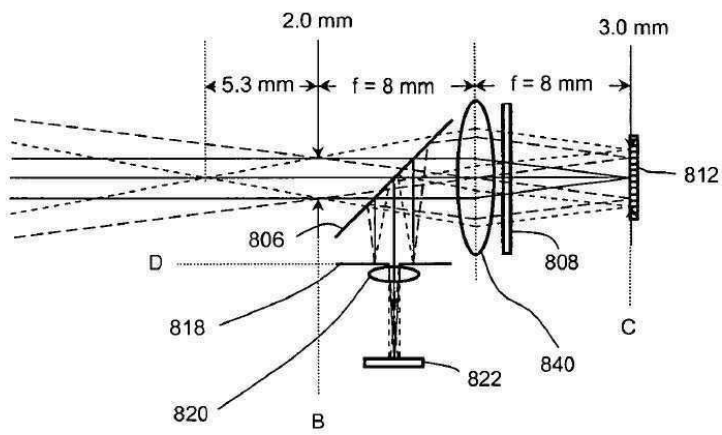
도면6



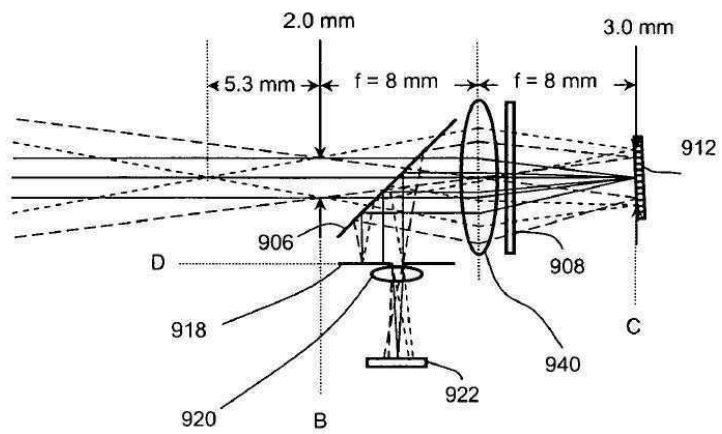
도면7



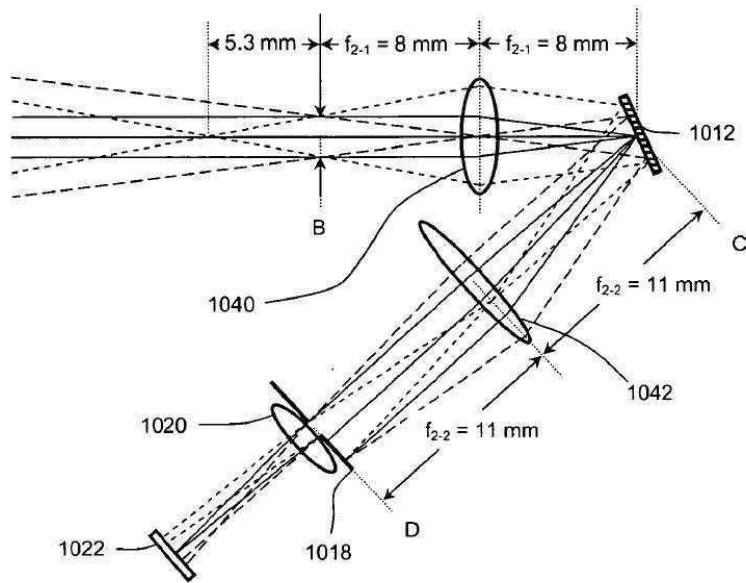
도면8



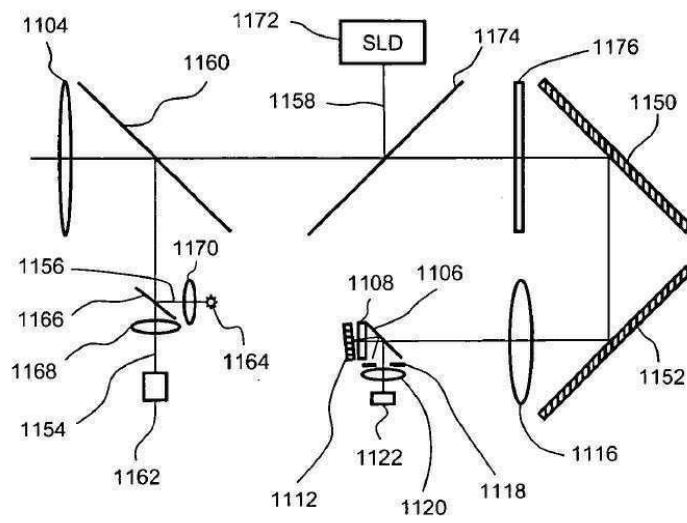
도면9



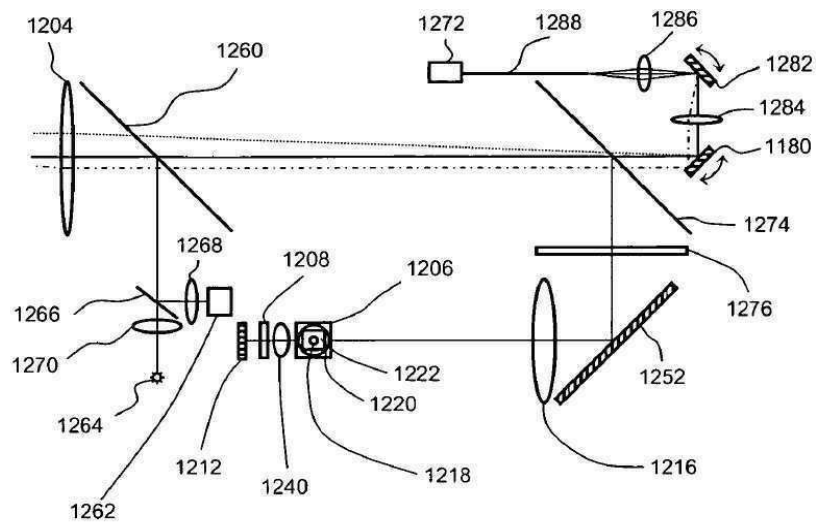
도면10



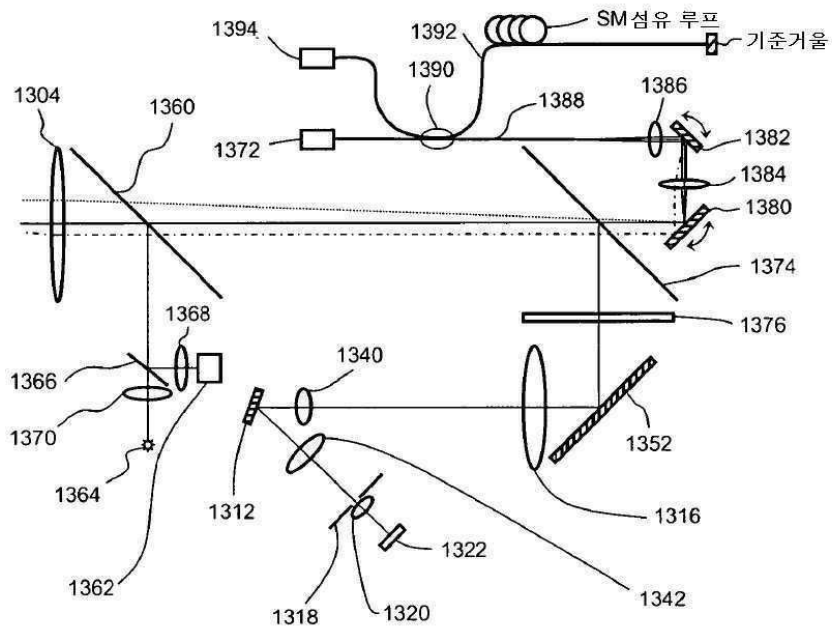
도면11



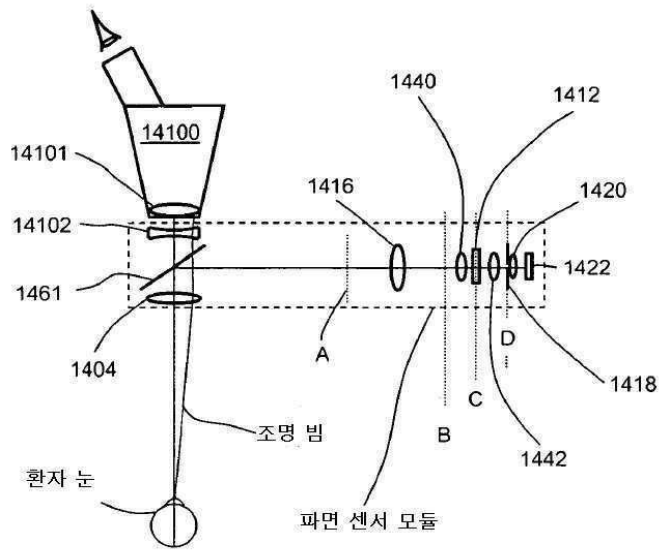
도면12



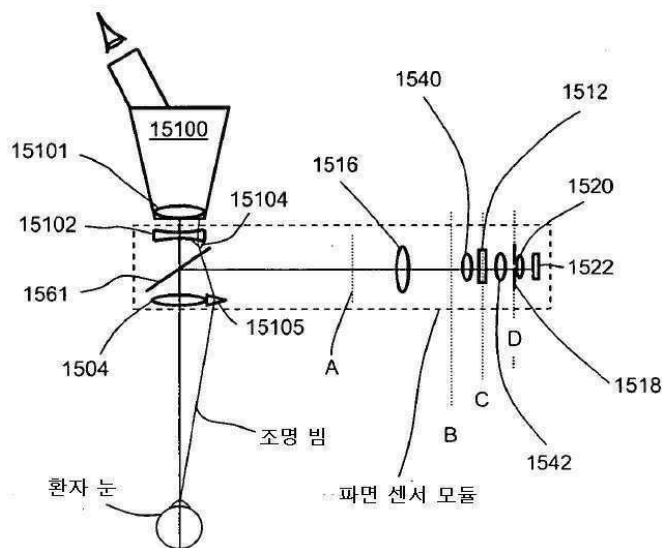
도면13



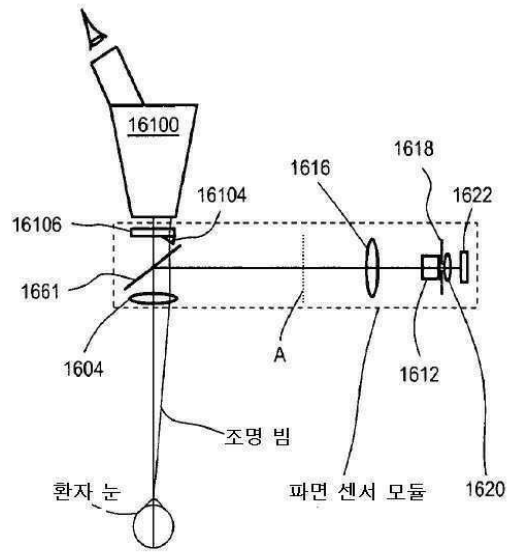
도면14



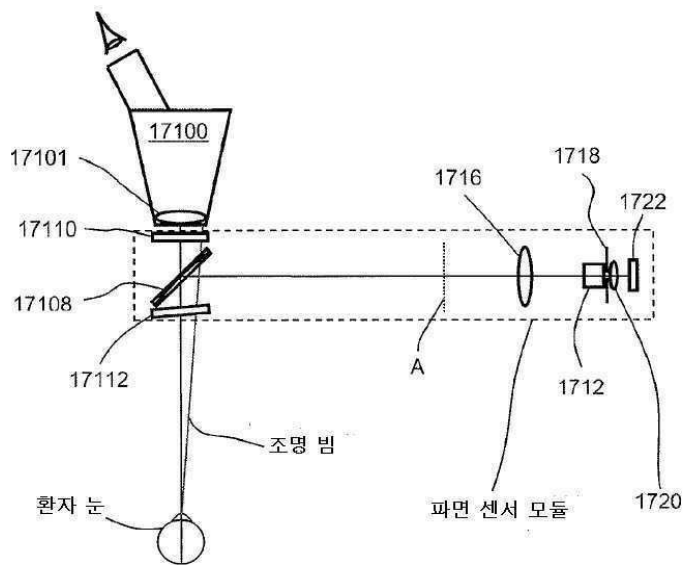
도면15



도면16



도면17



도면18

