



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2025년07월11일
(11) 등록번호 10-2833128
(24) 등록일자 2025년07월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02B 27/01 (2006.01) G02B 27/00 (2020.01)
(52) CPC특허분류
G02B 27/0172 (2013.01)
G02B 27/0081 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-7013361
(22) 출원일자(국제) 2021년09월17일
심사청구일자 2024년08월26일
(85) 번역문제출일자 2023년04월19일
(65) 공개번호 10-2023-0088726
(43) 공개일자 2023년06월20일
(86) 국제출원번호 PCT/GB2021/052417
(87) 국제공개번호 WO 2022/058740
국제공개일자 2022년03월24일
(30) 우선권주장
2014845.8 2020년09월21일 영국(GB)
(56) 선행기술조사문헌
KR1020100092059 A*
US09733475 B1*
W02011089433 A1*
W02019038374 A1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
트루라이프 옵틱스 리미티드
영국, 런던 그레이터 런던 이14 0에프알, 79 트리
니티 부오이 왈프, 피팅 샵 빌딩
(72) 발명자
볼코프, 안드리
영국, 런던 그레이터 런던 이14 0에프알, 79 트리
니티 부오이 왈프, 피팅 샵 빌딩, 트루라이프 옵
틱스 리미티드 내
(74) 대리인
특허법인성암

전체 청구항 수 : 총 25 항

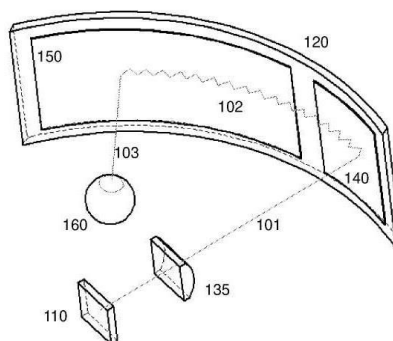
심사관 : 김대용

(54) 발명의 명칭 원통형 도파관을 갖는 광학 시스템

(57) 요약

광학 시스템은, 공통 원통 축을 규정하는 동심원적 내부 및 외부 표면을 갖는 원통형 도파관; 및 이미지 소스로 부터의 광을 받아들이도록 그리고 광을 원통형 도파관에 들어가게 하도록 배열된 -따라서 이미지 소스의 동일한 픽셀로부터 발생하는 모든 광선이 표면 법선에 대해 동일한 각도로 그리고 원통 축에 수직인 평면에 대해 동일한 각도로 원통형 도파관의 표면에 입사하며, 그에 의하여 각 입사 지점에서, 인-커플링된 광은 원통 도파관을 따라 전파됨에 따라 그의 방향 각도를 유지함- 입력 광학계를 포함한다. 헤드-장착형 디스플레이의 일부를 형성할 수 있는 광학 디스플레이 디바이스는 광학 시스템을 이용하여 제공될 수 있다.

대표도



(52) CPC특허분류

G02B 27/0101 (2013.01)

G02B 2027/0178 (2013.01)

G02B 2027/0185 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

광학 시스템에 있어서,

공통 원통 축을 규정하는 동심원적 내부 및 외부 표면을 갖는 원통형 도파관;

이미지 소스로부터의 광을 받아들이도록 그리고 광을 상기 원통형 도파관에 들어가게 하도록 배열된 -따라서 상기 이미지 소스의 동일한 픽셀로부터 발생하는 모든 광선이 표면 법선에 대해 동일한 각도로 그리고 상기 원통 축에 수직인 평면에 대해 동일한 각도로 상기 원통형 도파관의 표면에 입사하며, 그에 의하여 각 입사 지점에서, 인-커플링된 광은 상기 공통 원통 축 주위의 방향에서 상기 원통형 도파관을 따라 전파됨에 따라 그 방향 각도를 유지함- 입력 광학계;

를 포함하는 광학 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 입력 광학계는 광을 상기 원통형 도파관의 표면에 커플링시키도록 구성된 인-커플링 광학계를 포함하는 광학 시스템.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 인-커플링 광학계는 일정한 주기를 갖고, 곡면형 표면에 적용되며 또한 받아들여진 광을 상기 원통형 도파관에 커플링시키도록 배열된 인-커플링 선형 회절 격자를 포함하는 광학 시스템.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 광학 시스템은,

상기 인-커플링 선형 회절 격자는 가요성 홀로그램 재료로 만들어지는 것;

상기 인-커플링 선형 회절 격자는 상기 원통형 도파관의 상기 내부 또는 외부 표면에 부착되는 것; 및

상기 인-커플링 선형 회절 격자는 전환 가능한 것;

중 하나 이상을 만족하는 것인 광학 시스템.

청구항 5

제3항에 있어서, 상기 광학 시스템은,

상기 인-커플링 선형 회절 격자의 격자 두께 및 각도 대역폭은 상기 인-커플링 선형 회절 격자의 폭에 걸친 균일한 가시 범위 색 투과를 위해 구성되는 것;

상기 인-커플링 선형 회절 격자는 직선형 격자를 가지는 것;

상기 인-커플링 선형 회절 격자는 받아들여진 광을 그룹들로 분할시키도록 구성되어 각 그룹 내에서 광선의 동일한 상대 각도를 유지시키는 것; 및

상기 인-커플링 선형 회절 격자는 받아들여진 광을 전향하도록 구성되는 것;

중 하나 이상을 만족하는 것인 광학 시스템.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 입력 광학계는 받아들여진 광을 단일 평면에서만 시준하도록 구성된 파면 성형 디바이스를 포함하는 광학 시스템.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 파면 성형 디바이스는 상기 단일 평면이 상기 원통형 도파관의 상기 원통 축을 통과하도록 구성된 광학 시스템.

청구항 8

제6항에 있어서, 상기 파면 성형 디바이스는 원통형 형상을 갖는 광학 시스템.

청구항 9

제8항에 있어서, 상기 파면 성형 디바이스의 원통형 형상의 배향은 상기 원통형 도파관의 배향과 비교하여 직교적인 광학 시스템.

청구항 10

제6항에 있어서, 상기 파면 성형 디바이스는 다중-요소 렌즈 또는 미러를 포함하는 광학 시스템.

청구항 11

제1항 내지 제10항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 입력 광학계는 상기 원통형 도파관과 일체인 도파관 부분을 더 포함하는 광학 시스템.

청구항 12

제1항 내지 제10항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 입력 광학계는 상기 원통 축에 수직인 평면에 대해, 상기 원통형 도파관의 표면에 입사하는 상기 이미지 소스의 상기 동일한 픽셀에서 발생하는 모든 광선의 각도를 설정하도록 구성되며, 따라서 광선은 상기 원통형 도파관을 통하여 상기 원통 축에 평행한 방향 또는 상기 원통 축에 수직인 방향 또는 상기 원통 축에 평행한 방향과 수직인 방향 사이에 있는 벡터에 의해 규정된 방향으로 전파되는 광학 시스템.

청구항 13

제1항 내지 제10항 중 어느 한 항에 있어서,

이미지 소스; 및

상기 이미지 소스의 중앙 픽셀에 대한 위치를 규정하는 상기 이미지 소스 마운팅;

중 어느 하나 또는 둘 다를 더 포함하며,

상기 이미지 소스의 상기 중앙 픽셀에 대한 위치와 상기 원통형 도파관 사이의 광학 경로 길이는 상기 원통형 도파관의 곡률 반경과 실질적으로 동일한 광학 시스템.

청구항 14

제1항 내지 제10항 중 어느 한 항에 있어서,

원통형 도파관의 내부 표면보다 원통형 도파관의 외부 표면에 더 가깝게 위치한 이미지 소스; 및

상기 원통형 도파관의 상기 내부 표면보다 상기 원통형 도파관의 상기 외부 표면에 더 가깝게 위치한 이미지 소스 마운팅;

중 어느 하나 또는 둘 다를 더 포함하며,

상기 광학 시스템은, 상기 이미지 소스로부터의 광을 받아들이고 받아들여진 광을 상기 원통형 도파관을 향하여 반사시키도록 배열된 미러를 더 포함하는

광학 시스템.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 광학 시스템이 이미지 소스를 포함하는 경우, 상기 미러와 상기 이미지 소스는 상기 이미지 소스로부터의

광이 상기 미러에 도달하기 전에 상기 원통형 도파관을 통과하도록 구성되고,

상기 광학 시스템이 이미지 소스 마운팅을 포함하는 경우, 상기 미러와 상기 이미지 소스 마운팅은 상기 이미지 소스로부터의 광이 상기 미러에 도달하기 전에 상기 원통형 도파관을 통과하도록 구성되며,

상기 광학 시스템이 이미지 소스와 이미지 소스 마운팅을 모두 포함하는 경우, 상기 미러, 상기 이미지 소스 및 상기 이미지 소스 마운팅은 상기 이미지 소스로부터의 광이 상기 미러에 도달하기 전에 상기 원통형 도파관을 통과하도록 구성되는,

광학 시스템.

청구항 16

제6항에 있어서,

원통형 도파관의 내부 표면보다 원통형 도파관의 외부 표면에 더 가깝게 위치한 이미지 소스; 및

상기 원통형 도파관의 상기 내부 표면보다 상기 원통형 도파관의 상기 외부 표면에 더 가깝게 위치한 이미지 소스 마운팅;

중 어느 하나 또는 둘 다를 더 포함하며,

상기 파면 성형 디바이스는 상기 이미지 소스로부터 광을 수신하고 수신된 광을 상기 원통형 도파관을 향하여 반사하도록 배열된 미러인,

상기 미러는 파면 성형 디바이스인 광학 시스템.

청구항 17

제1항 내지 제10항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 원통형 도파관을 따라 전파되는 광을 받아들이도록 그리고 광을 이미지로서 객체에 제시하도록 배열된 아웃-커플링 광학계를 더 포함하는 광학 시스템.

청구항 18

제17항에 있어서, 상기 아웃-커플링 광학계는 아웃-커플링 회절 격자를 포함하는 광학 시스템.

청구항 19

제18항에 있어서, 상기 아웃-커플링 회절 격자는 원통형 렌즈로서 작용하기 위한 구성; 곡면형 격자; 평면에서 받아들여진 광을 시준하도록 또는 예정된 거리에서 집선 및 시상 평면에서 받아들여진 광을 집속시키도록 배열된 내부 격자 각도; 받아들여진 광을 굴절시키도록 배열된 내부 격자 각도; 25% 이하의 입력 광학계로부터 받아들여진 광에 가장 가까운 상기 아웃-커플링 회절 격자의 종단에서의 회절 효율; 상기 아웃-커플링 회절 격자의 길이를 따른 가변 회절 효율; 및 전환 가능한 회절 격자 구성 중 하나 이상을 갖는 광학 시스템.

청구항 20

제17항에 있어서, 상기 광학 시스템은,

상기 입력 광학계는 구면 렌즈를 더 포함하는 것;

상기 아웃-커플링 광학계는 구면 렌즈를 더 포함하는 것; 및

상기 아웃-커플링 광학계는 원통형 부 렌즈를 더 포함하는 것;

중 하나 이상을 만족하는 것인

광학 시스템.

청구항 21

제17항에 있어서, 상기 원통형 도파관 근위의 상기 입력 광학계와 아웃-커플링 광학계의 각각 부분들은 상기 원통형 도파관의 대향 측면들에 있는 광학 시스템.

청구항 22

제17항에 있어서, 상기 원통형 도파관 내의 중간 선형 광학 격자를 더 포함하며, 상기 중간 선형 광학 격자는 상기 아웃-커플링 광학계 전에 광을 전향; 회절; 및 분할하는 것 중 하나 이상을 수행하도록 배열되는 반면에, 상기 이미지 소스의 동일한 픽셀에서 발생하는 모든 광선은 각 입사 지점에서 표면 법선에 대해 동일한 각도 및 원통 축에 수직인 평면에 대해 동일한 각도로 상기 원통형 도파관의 표면에 입사한다는 특성을 유지시키는 광학 시스템.

청구항 23

제1항 내지 제10항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 원통형 도파관은 제1 원통형 도파관이며, 상기 광학 시스템은 중심원적 내부 및 외부 표면을 갖는 제2 원통형 도파관 -상기 입력 광학계는 받아들여진 광의 일부가 상기 제1 원통형 도파관에 들어가게 하도록 그리고 받아들여진 광의 일부가 상기 제2 원통형 도파관에 들어가게 하도록 배열되며, 따라서 각 원통형 도파관에 대해, 이미지 소스의 동일한 픽셀로부터 발생하는 모든 광선이 표면 법선에 대해 동일한 각도로 그리고 각각의 원통 축에 수직인 평면에 대해 동일한 각도로 각각의 원통형 도파관의 표면에 입사하며, 그에 의하여 각 입사 지점에서, 인-커플링된 광은 각각의 원통형 도파관을 따라 전파됨에 따라 그의 방향 각도를 유지함-; 및

상기 제1 원통형 도파관을 따라 전파되는 광을 제1 초점에 집속시키도록 그리고 상기 제2 원통형 도파관을 따라 전파되는 광을 상이한 제2 초점에 집속시키도록 배열된 아웃-커플링 광학계

를 더 포함하는 광학 시스템.

청구항 24

광학 디스플레이 디바이스에 있어서,

제2항 내지 제5항 중 어느 한 항의 광학 시스템을 포함하고, 상기 광학 시스템은: 광을 인-커플링 광학계로 향하게 하도록 구성된 이미지 소스와, 원통형 도파관을 따라 전파되는 광을 받아들이고 객체에 광을 이미지로서 제시하도록 배열된 아웃-커플링 광학계, 및 사용자에게 의하여 착용 가능하도록, 그리고 상기 아웃-커플링 광학계가 광을 이미지로서 사용자의 눈에 제시하기 위해 상기 광학 시스템을 위치시키도록 구성된 장착 배열체

를 포함하는 광학 디스플레이 디바이스.

청구항 25

헤드-장착형 디스플레이에 있어서,

제24항의 광학 디스플레이 디바이스를 포함하고, 상기 장착 배열체는 안경 또는 바이저 구성 요소를 포함하며, 상기 원통형 도파관은 상기 안경 또는 바이저 구성 요소와 통합, 이에 내장 또는 이에 부착되는 것인, 헤드-장착형 디스플레이.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 광학 디스플레이 디바이스, 예를 들어 헤드-장착형 디스플레이의 일부를 형성할 수 있는 광학 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 증강 현실 분야에서, 투영기에서 사용자의 눈으로 이미지를 전향시키는 투명 콤바이너(transparent combiner)를 사용하여, 현세계에 오버레이된 사용자에게 가상 이미지가 디스플레이된다. 현재의 해결책은 일반적으로 글라스 또는 플라스틱 기판으로 만들어진 편평한 또는 평면형 투명 도파관을 사용하며, 여기서 광은 회절 격자 (또는 유사한 것)를 통해 도파관에 인-커플링되고 유사한 아웃-커플러로 (전반사에 의하여) 도파관 내부를 가로지르며, 여기서 이 아웃-커플러는 사용자의 눈에 아웃-커플링된다. 이 분야에서, 도파관의 두께는 전형적으로 몇 밀리미터이며, 이는 “광 가이드(lightguide)” 로도 지칭된다.

[0003] 도 1을 참조하면, 평면형 도파관을 포함하는 이러한 광학 시스템의 개략도가 보여지고 있다. 광학 시스템은 객체 디스플레이 (이미지 소스)(10); 시준 렌즈(20); 평면형 도파관(30); 인-커플러(40) (예를 들어, 격자); 및

아웃-커플러(50)를 포함한다. 객체 디스플레이(10) 상의 한 지점으로부터의 광선(60)이 보여지고 있다. 광선은 도파관 표면에 수직으로 입사된다. 도파관(30)을 통과하고 아웃-커플러(50)를 통하여 사용자 눈(80)으로의 단일 광선(70)의 경로가 또한 보여지고 있다. 도파관(30)의 두께는 대략 수 밀리미터의 크기이며, 인-커플러(40)와 아웃-커플러(50) 간의 간격은 대략 센티미터 크기이고, 인-커플러(40)의 격자의 측 방향 주기는 대략 몇 분의 일 마이크로미터의 크기이다.

- [0004] 이러한 전형적인 평면형 도파관 설계에서, 객체 디스플레이(10)는 렌즈(20)의 초점 거리에서 시준 렌즈(20)에 의해 이미지화된다. 이는 수평 및 수직 (접선 및 시상) 평면 모두에서 이미지-함유 광을 시준한다.
- [0005] 시준된 광은 인-커플러(40)에 의해 도파관에 커플링되며, 인-커플러는 선형 회절 격자 또는 홀로그래프 격자일 수 있다 (다른 옵션은 프리즘과 같은 굴절 광학계를 포함한다). 이는 임계각보다 큰 각도로 글라스 또는 플라스틱 도파관 또는 기관(30)으로 광을 회절시킨다.
- [0006] 본 명세서에서 고려되는 디자인에서, 회절 격자, 홀로그래프 격자, 홀로그래프, 표면 홀로그래프, 엠보싱형 홀로그래프, 리소그래피적으로 생성된 격자, 체적 격자 또는 경사형 격자가 상호교환적으로 그리고 상호 운용적으로 사용될 수 있다. 광선 추적(ray tracing)의 목적을 위하여, 중요한 것은 격자 k -벡터 또는 모멘텀 벡터의 격자 주기의 측 방향 성분이다. 특정 재료 선택, 생산 수단 및 단면은 회절 효율, 회절 차수, 기계적 유연성 및 파장 대역폭에 영향을 미칠 수 있지만 수차 및 분해능에는 영향을 미치지 않는다. 선형 격자가 시준된 광을 받아들이면, 광을 회절시키지만 시준은 보존하며, 즉 주어진 픽셀로부터의 모든 광선은 방향을 바꾸지만 서로 평행을 유지한다.
- [0007] 광이 도파관의 외부 표면에 부딪히면, 전반사(TIR)로 인하여 광은 내부로 다시 반사된다. 이 각도는 도파관의 굴절률(n)에 의해 결정된다. 전형적인 값은 $n=1.5$ 이며, 임계각은 42도이고, 안내 각도는 법선에 대해 아마도 60 내지 70도이다. 더 높은 굴절률의 글라스는 더 낮은 임계 각도로 인하여 더 큰 시야(FOV)를 허용할 것이다.
- [0008] 이 접근법의 장점은 주어진 픽셀로부터의 모든 광선이 편평한 도파관 내부에서 동일한 각도로 이동한다는 것이다. 따라서 광선은 이중 또는 고스트 이미지 문제를 야기하지 않고 도파관 내부에서 중첩 또는 교환되는 것이 허용된다.
- [0009] 이는 도파관의 주요 기능; 픽셀 복제를 실현하기 위한 핵심일 수 있다. 증강 현실(AR) 분야에서, 더 작은 광학계가 매우 바람직하다. 이는 소형 투영기(projector)를 사용하는 것을 의미한다. 소형 투영기는 작은 픽셀 (본질적으로 동일한 픽셀에서 발생하는 광선 번들)을 생성하며, 이는 예를 들어 일반적인 쌍안경의 작은 픽셀 (접안 렌즈 위에 떠 있는 작은 밝은 스폿)을 보면 인식될 수 있다.
- [0010] 아웃 커플러(50) (도파관 출력 격자)는 100% 미만의 회절 효율 (분율 회절 효율로 불림)로 광의 부분 추출에 의해 픽셀을 복제할 수 있다. 예를 들어, 10% 회절 효율은 10%의 광을 추출하고 나머지 90%를 더 전파되도록 할 것이다. 이 과정은 전파된 광이 출력 격자(50)와 다음에 만날 때 반복될 것이다. 보다 발전된 가변 회절 효율 격자는 상이한 픽셀 복제들 사이에서 광 세기의 균형을 맞추는 데 도움이 된다.
- [0011] 이는, 출력 격자가 특정 위치에 위치될 필요가 없다는 점에서 출력 격자에 의한 광 추출의 작업을 견고하게 만든다. 도파관의 출구 픽셀은 출력 격자(50)의 전체에 걸쳐 연장되는 하나의 연속적인 픽셀로서 취급될 수 있다. 마찬가지로, 확장된 픽셀은 필드 (디스플레이 상에서의 원래 픽셀의 위치)의 함수로서 출력 격자를 따라 이동하지 않는다.
- [0012] 2차원 픽셀 확장은, 먼저 중간 선형 격자에 의하여 그리고 두 번째로 출력 선형 격자에 의하여, 픽셀을 부분 회절에 의해 한 방향으로 복제하고 뒤이어 또 다른 방향으로 복제함으로써 실현된다. 전체로, Microsoft Corporation에서 판매하는 HoloLens(RTM)의 도파관과 WaveOptics, Ltd.에서 판매하는 도파관에서 실현되는 것과 같이 3개 이상의 격자가 사용될 것이다.
- [0013] 이 접근법의 한계는 도파관(30)의 글라스는 편평해야 하는 반면 소비자들은 만곡된 글라스에 익숙하다는 것이다. 유닛을 더 크게 만들지 않고 편평한 도파관을 만곡형 처방 글라스와 결합하는 것 또한 어렵다. 예를 들어 오토바이 헬멧용 바이저, 군용 바이저, 전투기 파일럿 헬멧, 잠수 고글, 소방 열 바이저, 의료 보호기, 용접 마스크, 비행기 윈드스크린, 자동차 또는 스쿠터 윈드스크린 등과 같은, 고 만곡형 글라스가 사용되는 적용 분야가 또한 있다. 사용자와 바이저 사이의 사용 가능한 제한된 공간 내에 편평한 도파관을 맞추려는 시도는 어렵다.
- [0014] 자유 공간 반사형 광학계를 기반으로 하는 컴바이너 해결책도 있지만, 이는 일반적으로 작은 아이박스(eyebow)

(이미지가 보여질 수 있는 영역)를 갖는다. 이는 일부 응용 적용에 적합하지 않은 반면, 도파관 해결책은 전형적으로 이를 바람직하게 만드는 대형 아이박스를 갖는다. 대형 아이박스는 AR 글라스의 디자인의 단일 변형이 대부분의 대중에 맞고 사용자가 가상 이미지를 쉽게 볼 수 있다는 것을 의미한다. 소형 아이박스는, 사용자의 퓨필 간 거리(IPD) 변화로 인하여 AR 글라스가 기계적으로 조정되거나 특정 사용자에게 맞춰질 필요가 있을 수 있어 비용 및 복잡성을 증가시킨다는 것을 의미한다.

[0015] 곡면형 도파관의 사용은 다양한 문헌, 예를 들어 WO/2006/064301 A1, US/2010/031571 U9, DE-102017119440 A1, US8,842,368 B2, US8,810,913 B2, US9,733,475 B1, US2018/0292593 A1, US2019/0317261 A1, GB2553382 B, US 10,048,647 B2, US2016/0195720 A1, US2019/0072767 A1, US2018/0373115 A1, US2019/0369403 A1 및 US2018/0348527 A1에 제안되었다. 유사한 제안이 Kalinina, Anastasiia, 와 Andrey Putilin, "Wide-field-of-view augmented reality eyeglasses using curved wedge waveguide (Conference Presentation)", Digital Optics for Immersive Displays II. Vol. 11350, International Society for Optics and Photonics, 2020; 및 DeHoog, Edward, Jason Holmstedt, 및 Tin Aye, "Field of view of limitations in see-through HMD using geometric waveguides", Applied optics 55.22 (2016): 5924-5930에 논의되고 있다.

[0016] 이 문헌들 중 일부는 곡면형 도파관에 대해서만 간단히 언급하고 있다. 다른 문헌들은 만곡형 도파관에 대해 더 자세히 논의하고 있지만, 무한원에서 투영될 때 광선이 동일한 픽셀로부터 발산하지 않고 연속적인 방식으로 퓨필을 복제하는 방법을 어느 문헌도 설명하지 않는다. 이 접근법의 경우, 일반적으로 퓨필 확장을 허용하지 않는 도파관을 통해 전파되는 단일 퓨필만이 있다. 다른 설계는 시선 추적에 의존한다. 이 설계는 전형적으로 수차를 갖는 출력(aberrated output)을 생성하며 입력 이미지를 사전 왜곡하기 위해 복잡한 소프트웨어를 필요로 한다. 따라서 이러한 해결책은 비용이 많이 들고 제조하기 복잡할 것이다.

[0017] 시장에는 많은 기존 평면형 도파관 기반 접근법이 있지만, 위에서 논의된 것을 포함하는 많은 제안된 구현 형태에도 불구하고 시장에서 사용할 수 있는 만곡형 또는 원통형 도파관 제품은 없다. 이는 사용자에게 출력할 때 이미지가 크게 벗어나지 않고 (열악한 품질을 야기하지 않고) 도파관을 통해 광을 전파하는 데 있어서의 어려움 때문인 것으로 보인다.

[0018] 대량 생산 제품 시장용으로 제조될 수 있는 제품을 달성하면서 이 문제를 완화시키는 것은 여전히 어려운 과제로 남아 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0019] 이 배경에 대하여, 제1항에 따른 광학 시스템, 제24항에 의해 규정된 바와 같은 광학 디스플레이 디바이스 및 제25항에 따른 헤드-장착형 디스플레이가 제공된다. 다른 바람직하고 선택적인 특징은 다른 청구항 및 본 명세서의 다른 부분에서 규정된다.

과제의 해결 수단

[0020] 광학 시스템은 동심원적 (내부 및 외부) 표면들을 갖는 원통형 도파관을 이용하는 것으로 고려된다. 이러한 구조의 원통형 도파관을 이용하는 것은 광이 수차 없이 곡면형 표면들 사이를 이동하는 것을 허용할 수 있다. 이는 유리하게는, 이미지 소스 (특히, 픽셀화된 이미지 소스 또는 적어도 개념적으로 픽셀로 분할될 수 있는 광출력을 갖는 이미지 소스)로부터의 광을 받아들이도록 그리고 광을 원통형 도파관으로 제공하도록 배열된 입력 광학계와 함께 구현된다. 이미지 소스의 동일한 픽셀로부터의 모든 광선은 각 입사 지점에서 입사 표면 법선에 대해 동일한 각도로 원통형 도파관에 입사된다. 따라서 이미지 소스의 중앙 픽셀로부터의 모든 광선은 원통형 표면에 수직인, 원통형 도파관의 모든 지점에서 입사된다. 비 중심 픽셀로부터의 광선은 각 입사 지점에서 표면 법선에 대해 동일한 각도로 입사된다. 또한, 이미지 소스의 동일한 픽셀로부터의 모든 광선은 각 입사 지점에서 원통 축에 수직인 평면에 대해 동일한 각도로 원통형 도파관에 입사된다. 따라서 모든 광선의 전파 방향은 동일하게 유지된다.

[0021] 입력 광학계 및 도파관 구조의 관점에서, 원통형 도파관 (일반적으로 원통형 도파관에 인-커플링됨)에서 받아들여진 광은 원통형 도파관을 따라 전파됨에 따라 방향각을 유지한다. 즉, 주어진 픽셀로부터의 모든 광선은 얼마나 멀리 전파되는지에 상관없이, 각 광선의 입사 지점에서 광선과 표면 사이에서 측정된 것과 동일한 각도로 출력 격자에 접근할 것이다.

- [0022] 전형적으로, 입력 광학계는 인-커플링 (주입(injection)) 광학계를 포함한다.
- [0023] 아웃-커플링 광학계는 원통형 도파관을 따라 전파되는 광을 받아들이도록 그리고 객체 (특히 사용자의 눈, 즉 뷰어)에 광을 이미지로서 제시하도록 배열될 수 있다. 일부 실시예에서 이미지 소스 (예를 들어, 전자 디스플레이) 및/또는 (이미지 소스가 배치될 수 있는) 이미지 소스 마운팅은 광학 시스템의 일부를 형성할 수 있다.
- [0024] 광학 시스템은 광학 디스플레이 디바이스 (예를 들어, 헤드-장착형 디스플레이)를 구현하기 위해 사용될 수 있다. 유익하게도, 이미지 소스는 광이 인-커플링 광학계를 향하게 하도록 구성된다. 사용자가 착용할 수 있도록 구성된 (예를 들어, 헤드셋, 바이저 광학 글라스의 일부를 형성하는) 장착 배열체는 광학 시스템을 위치시키기 위해 사용될 수 있으며, 따라서 적어도 아웃-커플링 광학계가 사용자의 눈에 광을 이미지로서 제시한다. 바람직한 실시예에서, 원통형 도파관은 장착 배열체의 안경 또는 바이저 구성 요소와 통합, 이에 내장 또는 이에 부착된다.
- [0025] 받아들여진 광을 원통형 도파관에 커플링하기 위한 인-커플링 광학계의 특정 패싯(facet)은 회절 격자이다. 유리하게는, 일정한 주기를 갖는 선형 회절 격자가 사용된다. 주기는 격자 표면을 따라 측 방향으로 측정된다. 인-커플링 선형 회절 격자는 곡면형 표면에 유리하게 적용된다. 이 인-커플링 선형 회절 격자의 바람직한 구현 형태는 가요성 홀로그램 재료를 사용한다. 인-커플링 선형 회절 격자는 원통형 도파관의 표면에 부착될 수 있다 (또한 바람직하게는 공기 갭이 없이 표면에 일치한다). 인-커플링 격자 (또는 이 형태 중 적어도 하나)를 사용하지 않는 대안적인 구조체가 고려될 수 있다. 예를 들어, 도파관은 완전히 원통형일 필요는 없으며, 따라서 도파관의 일부만이 위에서 논의된 특성을 갖는 원통형이다. 광은 또 다른 부분을 통해 도파관에 들어갈 수 있으며, 따라서 이는 입력 광학계의 일부를 형성할 수 있다.
- [0026] 편평한 도파관을 위하여 사용되는 전통적인 시준 광학계와 달리, 본 발명에서 제안된 입력 광학계는 픽셀로부터의 광선들이 평행하지 않기 때문에 고전적인 광학 설계 용어에서 시준기로 정확하게 지칭되지 않을 것이다. 오히려, 바람직한 인-커플링 (투영기) 광학계는 통과하는 (즉, 평행하지도 않고 완전히 포함하지도 않는) 그리고 더 바람직하게는 원통 축에 수직인 평면에서 광을 시준하거나 맞추도록 배열된 광학 디바이스를 포함한다. 예를 들어 글라스와 헬멧의 경우, 원통 축은 수직이며 평면은 바람직하게는 수평이다. 이렇게 하여 광선들은 이 평면에서 동일한 각도로 입력 격자에 입사된다. 파면 성형 디바이스, 예를 들어 원통형 렌즈 및/또는 미러가 이 작업을 위해 사용될 수 있다. 광학 설계 모범 사례에서 일반적으로 중앙 픽셀 광선은 유리하게는 도파관의 표면에 수직한 각도로 입사하여 대칭으로 인해 수차 관리를 더 쉽게 할 것이다. 이 평면의 다른 픽셀은 다른 각도에서 입력 격자에 입사하는 광선을 생성할 것이지만, 동일한 픽셀로부터의 다른 광선과 평행할 것이다.
- [0027] 그러나 원통 축에 직교하는 평면 (예를 들어, 수평 평면)에서, 광은 시준될 수 없으며, 오히려 동일한 픽셀로부터의 광선들이 표면 법선에 대해 동일한 입사각을 갖는 방식으로 성형될 수 있으며, 여기서 이 법선은 각각의 상이한 입사 지점에 대해 개별적으로 고려된다. 모든 표면 법선은 원통 축을 향한다.
- [0028] 이 조건을 만족하는 가장 단순한 파면 형상은 도파관의 원통형 형상과 동심원적인 원통형 파면이다. 그러면 중앙 픽셀로부터의 광선이 도파관 원통 축으로부터 반경 방향으로 전파되고 수직 입사로 표면에 접근할 것이다. 이 파면은 유리하게는 이미지 소스 (디스플레이)를 위치시키면서 이미지 소스의 중심을 도파관 축에 있게 함으로써 형성된다. 그 후 원통형 렌즈 또는 미러는 수직 평면에서만 광학적 집속력을 갖도록 배열된다.
- [0029] 선택적으로, 예를 들어 더 많은 또는 모든 픽셀에 대한 성능을 최적화하고 및/또는 투영기의 체적을 최소화하기 위해 추가 또는 다른 입력 광학계가 제공될 수 있다. 이는 디스플레이를 더 가깝게 가져가기 위하여 수평 평면에 집속하는 광학계를 활용하는 것을 포함할 수 있다. 오목 미러가 사용되는 경우, 이미지 소스 및/또는 인-커플링 광학계는 광이 반사되고 회전되기 전에 미러로부터 도파관의 반대 측면에서 도파관에 접근하도록 배열될 수 있다.
- [0030] 광은 (예를 들어, 인-커플링 광학계와 아웃-커플링 광학계 사이의) 원통형 도파관을 통해 원통 축에 평행한 (벡터에 의하여 규정된) 방향 (예를 들어, 수직)으로, 또는 (특히 도파관의 원주 주위에서 수평일 수 있는) 원통 축에 수직인 (벡터에 의하여 규정된) 방향으로, 또는 원통 축에 평행인 것과 수직인 것 사이인, 벡터에 의하여 규정된 방향 (일반적으로 대각선)으로 전파될 수 있다.
- [0031] 아웃-커플링 광학계는 전형적으로 아웃-커플링 회절 격자를 포함한다. 원칙적으로 선형 격자가 사용될 수 있다. 그러나 도파관의 실제 사용은 뷰어에 의해 원통 내부에서 일어난다. 따라서 간단한 선형 격자는 이러한 상황에서 광을 추출하는 데 적합하지 않을 수 있으며, 뷰어의 훨씬 앞이 아니라 원통 축의 수평 평면에 광을 집속하기 때문이다 (광의 수직 라인을 야기함). 대조적으로, 발산 렌즈 특성은 광을 수평 방향으로 시준할 수 있다 (수직

방향으로는 이미 시준됨). 이는 음의 광학 파워를 출력 격자에 수평 방향으로 부가시킴으로써 달성될 수 있다. 유추하면, 격자는 프리즘 기능과 원통형 부 렌즈 기능의 합이다. 그러한 격자를 기록하는 방법에 대한 많은 공지된 예가 있다. 이러한 격자는 입력 격자와 달리 “선형”으로 불리지 않을 것이다. 출력 격자는 양 평면에 더 많은 집속을 추가함으로써 뷰어로부터 임의의 거리를 두고 디지털 이미지를 배치하도록 선택될 수 있다.

[0032] 원통형 도파관이 이미 사용자의 시력을 보정하는 헤드-장착형 구조체 (예를 들어, 처방 글라스) 내부에 내장된 경우 입력 및 출력 격자 또한 연결되어 이를 고려할 수 있다. 주요 요인은 광이 전체 스택의 “샌드위치 (sandwich)” 에 어떻게 접근하고 나가는지에 관계없이 광이 도파관 내부에서 전파될 때 앞서 언급한 광의 조건을 보존하는 것이다.

[0033] 바람직한 실시예에서, 이미지 소스 및/또는 이미지 소스 마운팅은 (원통 축에 더 가까운) 원통형 도파관의 내부 표면의 측면에 위치될 수 있으면서, 인-커플링 광학계는 이미지 소스와 원통형 도파관의 내부 표면 사이에 위치된다. 대안적으로, 이미지 소스 및/또는 이미지 소스 마운팅은 원통형 도파관의 외부 표면의 측면 (원통 축 원위)에 위치될 수 있다. 그 후, 이미지 소스로부터 광을 받아들이고 받아들여진 광을 원통형 도파관을 향하여 반사시키도록 (위에서 논의된 바와 같이, 입력 파면 성형 디바이스로서의 역할을 할 수도 있는) 미러가 배열될 수 있다. 이러한 실시예에서, 이미지 소스로부터의 광은 미러에 도달하기 전에 원통형 도파관을 통과할 수 있다.

[0034] 원통형 도파관 내의 중간 광학 격자 (또는 하나보다 많은 중간 광학 격자)는 아웃-커플링 광학계 전에 광을 전향, 회절 및/또는 분할할 수 있다. 유리하게는, 하나 이상의 중간 광학 격자 각각은 선형 격자일 수 있어 전파하는 광의 각도 특성 (TIR 조건 및 동일 픽셀로부터의 모든 광선이 표면 법선에 대해 동일한 각도로 그리고 원통 축에 수직인 평면에 대해 동일한 각도로 원통형 도파관 표면에 입사한다는 것)을 보존할 수 있으며, 이에 의하여 수차 없이 2차원 플립 확장을 허용한다.

[0035] 다수의 원통형 도파관이 사용될 수 있다. 그후, 아웃-커플링 광학계는 각 도파관으로부터의 광에 대해 상이한 초점들을 생성할 수 있다.

[0036] 위에서 그리고 본 명세서의 다른 부분에서 설명된 특징들의 다양한 조합이 또한 고려될 수 있다. 광학 시스템 또는 광학 디스플레이 디바이스를 제조 및/또는 작동하는 방법 또한 고려될 수 있다. 이들은 본 명세서에서 논의된 것과 대응하는 구조적 특징을 가질 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0037] 본 발명은 다수의 방식으로 실행될 수 있으며 바람직한 실시예는 단지 예로서 그리고 첨부된 도면을 참조하여 이제 설명될 것이다:

도 1은 평면형 도파관을 포함하는 기존 광학 시스템의 개략도를 보여주고 있다.

도 2는 본 발명과 함께 사용하기 위한 원통형 도파관을 개략적으로 도시하고 있다.

도 3은 본 발명과 함께 사용하기 위한 도 2의 원통형 도파관의 특성을 개략적으로 도시하고 있다.

도 4는 본 발명의 제1 실시예에 따른 광학 시스템의 개략적인 평면도를 도시하고 있다.

도 5a는 도 4에 따른 실시예의 사시도를 보여주고 있다.

도 5b는 도 5a의 실시예의 평면도를 도시하고 있다.

도 5c는 도 5a의 실시예의 측면도를 도시하고 있다.

도 6은 본 발명의 실시예와 함께 사용하기 위한 원통형 도파관의 개략적인 평면도 및 아웃-커플링 광학계의 단 순화를 도시하고 있다.

도 7은 본 발명에 따른 작동 공정에 대한 예시적인 흐름도를 도시하고 있다.

도 8은 본 발명의 제2 실시예에 따른 광학 시스템의 개략적인 평면도를 도시하고 있다.

명세서 전반에 걸쳐, 동일한 특징들이 다른 도면에서 보여지는 경우, 동일한 참조 번호가 사용된다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0038] 본 발명에서 제안된 새로운 접근법은 유리하게는 증강 현실 헤드 장착형 디바이스를 위한 것이다. 이 접근법은 원통형 도파관을 기반으로 하며 시스템을 전체로서 고려한다. 특히, 이는 도파관의 곡률을 입력 광의 파면에 일

치시키는 것을 포함할 수 있다. 이 시스템은 또한 간단하며 제조 및 정렬하기에 저렴하다. 또한, 편평한 도파관 플레이트보다 구형 표면들 사이에 원통을 맞추는 것이 더 쉽기 때문에 도파관의 원통형 형상은 처방 글라스 (prescription glass)의 형상 내부에 더 잘 맞는다. 이는 전체 두께를 약 15mm에서 약 5mm에 이르기까지 줄일 수 있다. 공기 갭(air gap) 또는 굴절을 변화를 사용함으로써 처방 글라스 내에 도파관을 내장하는 것도 가능하다 (예를 들어, US2018/0348527를 참조하며, 이 문헌의 세부 사항은 원용에 의해 본 명세서에 포함된다).

[0039] 먼저 도 2를 참조하면, 본 발명과 함께 사용하기 위한 원통형 도파관이 개략적으로 도시되어 있다. 이미지 소스 (개체 디스플레이)(110); 및 원통형 도파관(120)이 보여지고 있다. 원통형 도파관(120)은 2개의 동심원적인 표면을 가지며, 표면들 사이에 일정한 두께(t)를 갖는다. 이미지 소스(110)는 원통형 도파관(120)의 곡률 중심(100)에 위치된다. 원통형 도파관(120)의 곡률 중심(100)과 내부 표면 사이의 거리(R_1); 및 원통형 도파관(120)의 곡률 중심과 외부 표면 사이의 거리(R_2)가 보여진다. $R_2=R_1+t$ 이며 그리고 이는 원통형 도파관(120) 상에서 이 2개의 거리가 측정되는 위치에 관계없이 적용된다는 것은 분명하다. 즉, 이러한 원통형 도파관(120)은 공통의 곡률 중심을 가지며 원통형 도파관(120)의 내부 표면과 외부 표면의 반경들은 도파관의 두께(t)만큼 이격된다. 이러한 원통형 도파관(120)의 단순한 동심원적인 형상은 대량 생산을 위해 제조를 더 저렴하게 하고 허용 오차를 더 쉽게 만든다.

[0040] 다음으로 도 3을 참조하면, 본 발명과 함께 사용하기 위한 도 2의 원통형 도파관의 특성이 개략적으로 도시되어 있다. 부가적으로, 원통형 렌즈(135); 및 회절 격자(140)가 보여지고 있다. (원통형 도파관(120)의 동심원적인 표면들의 곡률 반경의 중심에 위치된) 이미지 소스(110)의 중심 픽셀로부터의 광선은 파면 성형(wavefront shaping)으로 불릴 수 있는 집속을 통해 원통형 렌즈(135)에 의해 하나의 평면에서 시준된다. 이러한 파면 성형을 갖는 광선은 그 후 회절 격자(140)에 의해 각도(β)로 원통형 도파관(120)에 커플링된다. 입사 광선은 격자 표면을 따라 모든 지점에서 입력 격자 표면에 수직이다. 각도는 법선과 내부 광선 사이의 각도가 도파관에 대한 임계각보다 작도록 하며, 따라서 β 는 일반적으로 48도 미만, 보다 바람직하게는 적어도 30도이고 최대 40도일 것이다. 중앙 픽셀 이외의 픽셀은 약간 다른 각도, 예를 들어 $\beta+1$ 로 도파관에 결합되지만, 이 각도는 격자 표면을 따라 모든 지점에서 일정할 것이다.

[0041] 위에서 참조된 DeHoog 등에 의해 저술된 논문 ("Field of view of limits in see-through HMD using Geometric Waveguides")은, 원통형 도파관의 2개의 표면이 동심원적인 경우 (그리고 오직 그러한 경우), 도 2 및 도 3의 도파관(120)에 의하여 보여지는 바와 같이, 외부 표면에서의 광선의 입사각이 내부 표면 상에서 한 번 반사(bounce)된 후와 동일하다는 것을 보여주고 있다. 따라서 도파관을 따라 전파될 때 광선은 그의 방향각을 유지할 것이며, 이는 표면 반경의 임의의 다른 선택의 경우에는 해당되지 않는다. 도 3에서 보여지는 바와 같이, 광선이 외부 표면에서 반사될 때 각도가 α 이면, 이는 내부 표면과 β 의 각도를 만들지만 그 후 외부 표면에서의 다음 반사에서 α 의 각도를 만들 것이다. 즉, 도파관 내부의 입사각은 도파관의 표면에서의 모든 다른 반사시 동일하다. 격자의 좌측, 중앙 또는 우측에 입사하는 픽셀로부터의 광선은 외부 표면에서의 반사 후 도파관 전체에서 동일한 각도로 내부 표면에 접근할 것이다. 중앙 픽셀 이외의 픽셀은 α 및 β 의 다른 값을 가질 것이지만, 위에서 식별된 관계는 여전히 유지된다. 이 속성은 pupils 복제(pupil replication)를 허용한다.

[0042] 이러한 이미지 소스 상의 동일한 지점으로부터의 모든 광선이 동일한 각도로 원통형 도파관(120)에 입사되도록 함으로써, 고성능의 그리고 콤팩트한 광학 시스템이 구현될 수 있다는 것이 인식되었다. 인-커플링 광학계(in-coupling optics), 예를 들어 원통형 렌즈(135)와 회절 격자(140)는 이 요구 사항을 충족하도록 구성될 수 있다.

[0043] 중심 광선 각도가 일반적으로 논의되지만, 이미지 소스 객체(110) (예를 들어, 마이크로 디스플레이)에 의해 생성된 다른 각도들이 있으며, 이는 사용자에게 이미지의 시야를 생성한다. 이 다른 광선 각도는 원통형 도파관(120)을 통해 동일한 방식으로 전파된다. 필드의 에지 (객체의 에지)로부터의 광선의 일부의 약간의 수차 (이미지 품질 손실)가 있을 것이지만, 이는 사용자에게 크게 눈에 띄지 않을 것이며 (본 기술 분야에서 잘 알려진 바와 같은) 광학적 수단에 의하여 보상될 수 있다 이상적으로, 수차는 인간의 시력인 1분각(arc minute) 미만으로 유지되어야 한다.

[0044] 여기서 이러한 수차는 반사(bounce)의 횟수와 함께 누적되지 않는다는 점이 이해되어야 한다. 예를 들어, 주어진 픽셀로부터의 광선이 60.0 ± 0.1 도의 각도 범위에서 도파관으로 회절하면, 아무리 이 광선들이 바뀌거나 섞일 지라도 임의의 수의 반사 및 pupils 복제 후에 전체 시스템의 각도 분해능은 여전히 ± 0.1 도 분해능을 지원할 것이다. 이는 전송을 따라 수차를 축적하는 도파관과 대조를 이룬다.

- [0045] 일반적인 의미에서 그리고 한 양태에 따르면, 입력 광학계를 갖는 원통형 도파관을 포함하는 광학 시스템이 따라서 고려될 수 있다. 원통형 도파관은 동심원적인 (오목한) 내부 및 외부 표면을 가지며, 그에 의하여 원통형 도파관을 통해 전파되는 광의 각도를 보존하게 한다. 동심원적인 표면들은 공통 원통 축 (공통 중심선)을 규정한다. 입력 광학계는 이미지 소스로부터의 광을 받아들이도록 그리고 광이 원통형 도파관에 들어가게 하도록 배열되며, 따라서 이미지 소스의 동일한 지점에서 발생하는 모든 광선이 입사 지점에서 표면 법선에 대하여 동일한 각도로 원통형 도파관의 표면에 입사된다. 입력 광학계는 또한 이미지 소스의 동일한 지점에서 발생하는 모든 광선이 입사 지점에서 원통 축에 수직인 평면에 대해 동일한 각도로 원통형 도파관에 입사하도록 배열된다. 이 특징들의 조합은 원통형 도파관에 들어가는 광이 원통형 도파관을 따라 전파될 때 그의 방향각을 유지한다는 것을 의미한다.
- [0046] 바람직하게는, 입력 광학계는 원통형 도파관의 표면 (바람직한 실시예에서, 내부 표면)으로 광을 커플링하도록 구성된 인-커플링 광학계를 포함한다. 유리하게는, 아웃-커플링(out-coupling) 광학계가 배열되어 원통형 도파관을 따라 전파되는 광을 받아들이고 광을 이미지로서 객체에 제시한다. 선택적으로 광학 시스템은, 이미지 소스 (디스플레이, 예를 들어 마이크로-디스플레이) 및/또는 이미지 소스용 마운팅(mounting) (이미지 소스 마운팅)을 포함할 수 있다.
- [0047] 본 발명에 따른 추가 양태가 고려될 수 있다. 예를 들어, 광학 디스플레이 디바이스는 광을 인-커플링 광학계를 향하도록 구성되는 이미지 소스를 포함하는, 본 명세서에 설명된 바와 같은 광학 시스템; 및 특히 사용자가 착용할 수 있도록 구성된 장착 배열체를 포함할 수 있다. 장착 배열체는 아웃-커플링 광학계가 광을 이미지로서 사용자의 눈에 제시하도록 광학 시스템을 위치시킬 수 있다. 예를 들어, 이는 글라스 프레임, 바이저 또는 헬멧 구조체 또는 기타 착용 가능한 마운팅을 포함할 수 있다. 선택적으로, 이러한 광학 디스플레이 디바이스를 포함하는 헤드-장착형 디스플레이가 고려될 수 있다. 이 경우, 장착 배열체는 안경 또는 바이저 구성 요소를 포함할 수 있다. 유리하게는, 원통형 도파관은 안경 또는 바이저 구성 요소와 통합, 이에 내장 또는 이에 부착된다.
- [0048] 이러한 광학 시스템을 제조 및/또는 작동시키는 방법에서 또 다른 양태가 고려될 수 있다. 예를 들어, 광학 시스템을 제조하는 방법은 동심원적인 내부 및 외부 표면을 갖는 원통형 도파관을 제공하는 것; 및 이미지 소스로부터의 광을 받아들이고 광이 원통형 도파관에 들어가게 하도록 입력 광학계 (예를 들어, 인-커플링 광학계를 포함하는) 입력 광학계를 배열하는 것을 포함할 수 있으며, 따라서 이미지 소스의 동일한 지점에서 발생하는 모든 광선은 입사 지점에서 표면 법선에 대해 동일한 각도로 그리고 원통 축에 수직인 평면에 대해 동일한 각도로 원통형 도파관의 표면에 입사된다. 본 방법은 원통형 도파관을 따라 전파되는 광을 받아들이고 광을 이미지로서 객체에 제시하도록 아웃-커플링 광학계를 구성하는 것을 더 포함할 수 있다. 유사하게, 광학 시스템을 작동시키는 방법은 이미지 소스로부터의 광을 원통형 도파관의 입력 광학계로 지향시키는 것을 포함할 수 있으며, 따라서 이미지 소스의 동일한 지점에서 발생하는 모든 광선은 입사 지점에서 표면 법선에 대해 동일한 각도로 그리고 원통 축에 수직인 평면에 대해 동일한 각도로 원통형 도파관의 표면에 입사된다. 바람직하게는, 원통형 도파관을 따라 전파되는 광은 (아웃-커플링 광학계에 의하여) 이미지로서 객체에 제시된다.
- [0049] 본 명세서 내의 본 발명의 모든 양태에 특히 적용 가능한 추가의 바람직하고 선택적이며 유리한 특징이 아래에서 논의될 것이다. 특정 실시예가 먼저 논의된다.
- [0050] 이제 도 4에 대한 참조가 이루어지며, 도 4에서 본 발명의 제1 실시예에 따른 광학 시스템의 개략적인 평면도가 도시되어 있다. 이 도면에서, 이 페이지의 평면 (및 임의의 평행한 평면)은 수평인 것으로 간주되고 페이지에서 나오는 수직 평면 (및 임의의 평행한 평면)은 수직인 것으로 간주된다. 따라서 원통형 도파관(120)은, 예를 들어 평평한 표면 상의 원통적으로 형상화된 바이저처럼 가시화될 수 있다. 부가적으로, 이 도면에서 아웃-커플링 회절 격자(150)가 보여지고 있다. 이미지 소스(110)는 도파관의 곡률 반경과 동일한, 원통형 도파관(120)으로부터 거리를 두고 배치된다. 위에서 설명된 바와 같이, 원통형 렌즈(135)는 입력 광을 하나의 평면에서만 시준 (또는 파위를 따르거나 추가)하며, 구체적으로 수직 평면에 파위를 추가한다. 이는 그후 입력으로서 선형 회절 격자(140)와 정합되며, 회절 격자는 원통형 도파관(120)의 곡면형 표면에 적용될 때 회전 대칭으로 도파관을 따라 이미지 함유 광을 전파한다 (즉, 도파관의 픽처(picture)는 원통 축을 중심으로 회전할 될 수 있으며 주어진 픽셀로부터의 광선은 도파관 표면에 대해 동일한 각도를 유지할 것이다). 이는 출력 회절 격자(150)의 배치에 시스템을 변하지 않게 하여 정확한 정렬에 대한 필요성을 제거한다. 출력 회절 격자(150)는 반대 평면 (수평면)에서 광에 음의 집속 파워(negative focusing power)를 인가 (즉, 발산)함으로써 보상하여 무한원에서 설정된 출력을 갖는 확장된 아이박스(eyebow)를 사용자 (보이지 않음)에게 제공한다. 이는 필드 복제가 아이박스를 확대하는 것을 허용한다.

- [0051] 따라서 이 디자인은 전체 도파관을 따라 회절 대칭으로 전파할 수 있는 원통형 도파관(120) 내에 파면을 생성한다. 포인트 소스(110)에서 방출된 구형 파면은 자체적으로 도파관(120)의 곡률에 수평 평면 (위에서 언급한 바와 같이, 도 4의 페이지의 평면)에 일치되며 파워가 원통형 렌즈(135)에 의하여 수직 평면 (위에서 언급된 바와 같이, 도 4의 페이지로부터 나오는 방향의 평면)에서 추가된다. 이는 두 번 반사된 후 광선의 각도가 다시 자체로 매핑되고 이것이 무한정 반복한다는 것을 의미한다. 따라서 펄필이 복제 (여러 번 추출)되어 아이박스를 1차원 (수평)으로 확장할 수 있다. 수직 아이박스의 크기는 원통형 렌즈(135)의 수직 크기에 의해 설정된다. (입력 펄필에 대한 아웃-커플러의 위치가 중요하지 않기 때문에) 이는 또한 정렬 허용 오차, 도파관의 두께 및 중앙 광선 안내 각도의 선택을 완화시킨다.
- [0052] 다음으로 도 5a를 참조하면, 도 4에 따른 실시예의 사시도가 보여지고 있다. 도 5b에는 도 5a의 실시예의 평면도가 도시되어 있고, 도 5c에는 도 5a의 실시예의 측면도가 도시되어 있다. 하나의 평면에서 시준된 광(101)은 원통형 도파관(120)에 커플링되고, 광선(102)은 도파관(120)을 통해 전파되며 회절 격자(150)에 의해 커플링되어 투영된 광(103)을 사용자 눈(160)에 제공한다.
- [0053] 이 특정 실시예에서, 이미지 소스 또는 객체(110)는 마이크로-디스플레이이며 원통형 도파관(120)으로부터, 도파관의 곡률 반경과 동일한 거리에 있다. 이것은 이미지 소스(110)를 이 거리에 물리적으로 위치시킴으로써 또는 광학 수단 (예를 들어, 렌즈)에 의해 이 거리에 이미지 소스(110)를 가상적으로 배치시킴으로써 달성된다. 이미지는 원통형 도파관(120)의 오목한 내부 표면에 위치한 인-커플러 회절 격자(140) 상의 원통형 평면 볼록 렌즈(135)에 의해 하나의 평면에서 시준된다. 원통형 렌즈(135)는 원통형 렌즈(135)의 집속 파워가 원통형 도파관(120)과 비교하여 대향 평면에 있도록 배향된다. 예를 들어, 곡면형 도파관이 수평적으로 배향 (헬멧 바이저와 같이 또는 테이블 상에 배치된 바와 같이 배향)된다면, 이는 수평 평면에서 파워를 가지며 또한 곡률 반경에서의 점 광원으로부터의 광을 수직 라인으로 반사시킬 것이다. 원통형 렌즈(135)는 그 후 대향 수직 평면에 배향되며, 수직 평면에서 파워를 가지고, 또한 곡률 반경에서의 점 광원으로부터의 광을 수평 라인으로 집속시킬 것이다.
- [0054] 따라서 이미지 함유 광은 도파관에 진입하기 전에 하나의 평면 (수평 평면)에서만 시준되며, 원통형 도파관(120)의 곡률은 직교 (수직) 평면에서 광을 일치시킨다. 이는 도파관에 들어가는 광의 전체 펄필이 도파관을 따라 전파되는 것을 허용하여 출력의 펄필 확장을 허용한다.
- [0055] 원통형 렌즈(135)의 초점 거리는 객체의 배율을 결정하며, 렌즈(135)는 객체(110)에서 떨어진 한 초점 길이의 거리에 설정된다. 원통형 렌즈(135)가 원통형 도파관(120) 옆에 배치되면, 이는 도파관의 곡률 반경과 거의 동일한 초점 거리를 가질 것이다. 예를 들어, 200mm의 바이저 형상의 도파관의 전형적인 곡률 반경은 객체가 200mm 떨어져 있었으며 원통형 렌즈가 200mm의 초점 거리를 가졌다는 것을 의미할 것이다. 미러를 갖는 광학 경로를 접거나 렌즈를 이용하여 가상으로 객체 거리를 광학적으로 설정함으로써 도파관에서 객체까지의 200mm의 거리는 소형화를 위해 감소될 수 있다.
- [0056] 원통형 렌즈(135)의 선택 (직경 및/또는 초점 거리)은 (렌즈의 직경에 의해 결정된) 수직 아이박스의 크기를 결정하며 초점 거리는 디스플레이(110)의 배율 그리고 따라서 (디스플레이 크기와 함께) 이미지의 시야(field of view)(FOV)를 결정한다. 전형적으로, 다중 요소 렌즈는 전체 FOV (전체 필드에 걸친 작은 스폿 크기 RMS)에 걸쳐 우수한 이미지 품질을 제공하는 (카메라에 사용되는 것과 같은) 원통형 렌즈(135)를 위하여 사용된다. 이는 펄필 복제 시스템이 펄필들을 정확하게 중첩시키고 고-분해능 이미지를 제공하는 데 특히 바람직하다. 단색 솔루션(monochrome solution)도 가능하지만 렌즈 시스템은 풀 컬러 마이크로-디스플레이에 대해 이상적으로는 무채색이다. 곡면형 도파관(120)의 FOV는 대체로 유사한 요인에 의해 결정될 수 있지만, 사용자 주변의 곡면 특성으로 인하여 평면형 도파관과 비교하여 FOV가 확장될 것이다. 이는 위에서 참조된 DeHoog 등에 의해 저술된 논문 ("Field of view of limits in see-through HMD using geometric waveguides")에서 보여진 바와 같다.
- [0057] 회절 격자 인-커플러(140)는 격자 라인들 사이에 동일한 표면 간격(피치) (또는 동등하게, 체적 홀로그램 격자에서 동일한 프린지 간격)을 갖는 선형 격자이다. 격자는 리소그래피적으로 또는 간섭 측정으로 만들어질 수 있다. 격자 표면의 폭을 가로질러 수직적으로 입사 (표면에 대해 90도)되는, 한 평면에 시준되는 모든 광선은 그 후 도파관 내부에서 동일한 각도로 회절되며, 이는 펄필 복제를 허용한다.
- [0058] 곡면형 도파관의 격자는 전형적으로 시준된 광이 도파관의 만곡으로 인하여 일반적으로 격자 폭을 가로질러 입사하지 않는다는 것을 의미한다. 이에 대한 전형적인 해결책은 이를 보상하기 위해 격자의 피치를 변경하는 것, 곡면형 표면 상에 직접 홀로그램을 기록하는 것 또는 곡면형 표면에 리소그래피적으로 에칭하는 것을 포함하며, 이는 복잡하고 고가이다. 본 발명에 따른 바람직한 실시예에서, 인-커플링 격자(140)는 (본 기술 분야에서 잘

알려진 바와 같은 그리고, 가변적인 격자와 비교하여 상대적으로 저렴하고 제조가 간단한) 편평한 기관 상의 평면형 선형 격자로서 제조된다. 격자(140)는 임의의 가요성 홀로그램 재료, 예를 들어 광중합체 (예를 들어, Covestro AG에 의해 판매되는 것과 같은 Bayfol(RTM) 또는 할로젠화은 필름) 상에 만들어질 수 있으며, 그 후 도파관의 원통형 표면 상으로 부착(적층)되어, 원통형 표면에 맞춰진다. 격자(140)는 바람직하게는 라미네이션 (또는 또 다른 굴절률 정합(index matching) 접착제 또는 액체)에 의해 굴절률 정합되며, 따라서 격자는 원통형 표면의 형상에 맞춰지고 바람직하게는 따라서 공기 갭이 없다. 편평한 기관 상에 홀로그램을 기록하고 그 후 (1차원으로만 만족된) 평면형 또는 원통형 기관에 가요성 홀로그램 재료를 제거하고 라미네이트하는 것은 간단하고 저렴하지만, 곡면형 표면 상에 기록하거나 (2차원으로 만족된) 구형 표면에 라미네이트하는 것은 더 어렵다.

[0059] 기울어진 격자를 예칭하고 엠보싱 또는 UV-경화 수지 기술을 사용하는 것이 또한 가능하다. 격자는 그 후 원통형 도파관으로 이송될 수 있다.

[0060] 격자 피치는 마이크로-디스플레이(110)의 중심 과장을 원하는 내부 각도에서 회절시키도록 설계된다. 격자는 수직 입사광을 특정 각도로 회절시키도록 명목상 설계되기 때문에 격자는 경사 각도를 가지며 피치는 일반적으로 격자의 평면형 표면을 따라 측정된 바와 같은 격자들 사이의 간격으로 지정된다. 이는, 즉 선형 격자는 입력 커플러에 대해 일정하게 유지된다.

[0061] 평면형 도파관에 대하여, 양 커플러는 전형적으로 선형이며 동일하다. 시스템은 그 후 페리스코프(periscope)처럼 거동하며 마이크로-디스플레이의 확대 이미지가 실세계에서 오버레이된 뷰어에게 제시된다. 전체적으로 시스템의 설계는 디스플레이의 위치 픽셀 정보가 시준을 통해 각도 정보로 변환되며 그 후 인간 망막에서 위치 정보로 복귀된다는 것을 의미한다.

[0062] 전형적으로, 편평한 도파관의 경우, 입력 및 출력 격자는 선형이며 평행하며 색수차를 상쇄하기 위해 동일한 주기를 갖는다. 이는 광대역 광원, 예를 들어 발광 다이오드(LED)와의 사용을 위하여 중요하다. 본 발명에 따른 출력 격자는 도파관을 따라 가변 주기를 가지며 또한 모든 곳에서 색수차를 상쇄시키지 않는다. 그러나 중앙에서의 출력 격자 주기는 입력 격자 주기와 동일하게 선택되어 이 수차를 최소화할 수 있다.

[0063] 대안적으로, 레이저 광원, 초발광 발광 다이오드(SLED) 또는 노치 필터링된 협대역 LED와 같은 협대역 소스가 사용될 수 있다. 협대역 소스는 색수차를 최소화하는 데 도움이 될 수 있다. 이들은 또한 출력 이미지의 FOV를 제한할 수 있지만 얇은 홀로그램 체적 격자가 사용되어 이를 완화할 수 있다. 예를 들어, 홀로그램 체적 격자의 전형적인 두께는 적어도 3미크론 그리고 최대 6미크론일 수 있다. 이는 약 20nm 반치전폭(FWHM)의 일반적인 스펙트럼 대역폭 그리고 약 6도 FWHM의 공기 내 각도 대역폭을 제공할 수 있다.

[0064] 원통형 도파관은 이미 사용자의 시력을 보정하는 헤드-장착형 구조체 (예를 들어, 처방 글라스)의 일부를 형성할 수 있다. 그 후, 인-커플링 격자(140) 및 아웃-커플러 회절 격자(150)는 도파관 내부에서의 광 전파 및 그 효과적인 아웃-커플링에 영향을 미치지 않고 이를 고려할 수 있다.

[0065] 예로서, 도파관이 다른 전형적인 처방 메니스커스 포지티브 렌즈(rescription meniscus positive lens,) 내에 내장될 때 외부 커버링 렌즈는 볼록한 구형 표면과 오목한 원통형 표면을 가질 수 있다. 내부 라이너 렌즈는 볼록한 원통형 표면과 오목한 구형 표면을 가질 수 있다. 결과적으로, 씨-스루 광학 특성은 착용자의 처방에 맞게 선택되는 최외측 볼록 표면 및 최내측 오목 표면에 의하여 규정된다. 원통형 도파관을 통해 제공되는 디지털 이미지의 초점은 출력 격자 광학 특성 (광학 파워)과 함께 가장 안쪽의 표면에 의해 독립적으로 규정된다. 현장의 숙련된 자는 마찬가지로 광학 기술자의 처방에 맞게 씨-스루(see-through) 및 디지털 이미지에 비점수차를 포함시킬 것이다.

[0066] 출력 격자가 선택되어 양 평면에 더 많은 집속을 추가함으로써 뷰어로부터의 임의의 거리에서 디지털 이미지를 배치할 수 있다. 수직 평면에서, 도파관에 인-커플링된 광은 시준되지만, 아웃-커플링 격자에서 출력된 광은 시준될 필요가 없다. 다중 픽셀 추출을 허용하기 위해, 광의 일부만이 아웃-커플러 격자(150)의 제1 부분에서 추출될 수 있다. 아웃-커플러 격자(150)를 가로질러 추출된 광의 균일성의 균형을 맞추기 위해, 아웃-커플러 격자(150)의 먼 종단 (인-커플링 격자(140) 참조)은 바람직하게는 가까운 (반아들임) 종단보다 더 높은 효율을 갖는다. 출력 격자의 회절 효율은 유리하게는 출력 격자(150)의 반아들임 종단에서 충분한 픽셀 복제 (예를 들어, 5 내지 25%)를 허용하기에 충분히 낮게, 그러나 만족스러운 휘도 (예를 들어, 20 내지 100%)를 위하여 먼 종단에서 충분히 높게 선택된다.

[0067] 위에서 논의된 양태의 일반화된 의미로 돌아가서, 인-커플링 광학계는 반아들여진 광을 원통형 도파관에 커플링되도록 배열된 인-커플링 선형 회절 격자를 포함할 수 있다는 점이 이해될 수 있다. 이는 유리하게는 일정한 주

기(period)를 갖는다. 인-커플링 선형 회절 격자는 곡면형 표면, 특히 굴절률-정합된 표면 (공기 갭 없음)에 유리하게 적용된다.

[0068] 또 다른 일반화된 의미에서, 추가 양태에 따르면, 동심원적 내부 및 외부 표면을 갖는 원통형 도파관; 및 곡면형 표면에 적용되고 받아들여진 광을 원통형 도파관에 커플링하도록 배열된 인-커플링 선형 회절 격자를 포함하는 광학 시스템이 고려될 수 있다. 선택적으로, 이 광학 시스템은 원통형 도파관을 따라 전파되는 광을 받아들이고 광을 이미지로서 객체에 제시하도록 배열된 아웃-커플링 선형 회절 격자를 더 포함할 수 있다. 바람직한 실시예에서, 파면 성형 디바이스는 받아들여진 광을 단일 평면에서 시준 또는 맞추도록 그리고 시준된 광을 인-커플링 선형 회절 격자로 지향시키도록 구성될 수 있다. 이러한 광학 시스템을 제조 및/또는 작동하는 방법은, 예를 들어 아래에서 논의되는 바와 같이 추가로 고려될 수 있다. 아래의 추가 특징은 본 명세서에 개시된 양태들 중 임의의 양태에 적용될 수 있다.

[0069] 또 다른 양태에서, 곡면형 선형 회절 격자를 제조하는 방법이 고려될 수 있다. 본 방법은 평면형 표면 상에 선형 회절 격자를 형성하는 것; 및 선형 회절 격자들 (원통형) 기관의 곡면형 표면에 부착하는 것을 포함하며, 따라서 선형 회절 격자는 곡면형 표면에 일치한다. 본 명세서에서 고려되는 다른 양태와 유사하게, 아래에서 (그리고 본 명세서의 다른 곳에서) 논의되는 추가 특징이 이 양태에 유사하게 적용될 수 있다 이 본 측면에 유사하게 적용될 수 있다.

[0070] 모든 양태에 적용 가능한 추가적인 특징이 이제 논의된다. 예를 들어, 인-커플링 선형 회절 격자는 가요성 홀로그래프 재료로 만들어질 수 있다. 선택적으로, 인-커플링 선형 회절 격자는 원통형 도파관의 내부 표면에 부착 (및/또는 일치)된다. 바람직한 실시예에서, 인-커플링 선형 회절 격자는 일자형 격자를 갖는다. 인-커플링 선형 회절 격자의 격자 두께 및 각도 대역폭은 인-커플링 선형 회절 격자의 폭에 걸친 (실질적으로) 균일한 가시 범위 색 투과(colour transmission)를 위해 구성될 수 있다.

[0071] 바람직하게는, 입력 광학계는 단일 평면에서만 받아들여진 광을 시준하거나 일치시키도록 구성된 (시준기(collimator)의 형태로 간주될 수 있는) 파면 성형 디바이스를 포함한다. 보다 바람직하게는, (입력) 파면 성형 디바이스는 단일 평면이 원통형 도파관의 원통 축을 통과하도록 구성된다. 예를 들어, 파면 성형 디바이스는 원통형일 수 있다. 바람직한 실시예에서, 파면 성형 디바이스는 평면 볼록 렌즈 및/또는 다중-요소 렌즈를 포함한다.

[0072] 유리하게도, 파면 성형 디바이스의 배향은 원통형 도파관의 배향과 비교하여 직교한다.

[0073] 더 일반화된 특징들이 아래에서 다시 논의된다. 본 발명에 따른 추가적인 특정 예가 이제 설명된다.

[0074] 도 6을 참조하면, 아웃-커플링 회절 격자(150)를 포함하는 원통형 도파관(120) 및 아웃-커플링 광학계의 단순화의 개략적인 평면도가 도시되어 있다. 도 4와 같이, 이 도면의 페이지의 평면 (및 임의의 평행한 평면)은 수평인 것으로 간주되고 페이지에서 나오는 수직 평면 (및 임의의 평행한 평면)은 수직인 것으로 간주된다. 따라서 원통형 도파관(120)은 예를 들어 평평한 표면 상의 원통적으로 형상화된 바이저처럼 가시화될 수 있다. 또한 아래에서 더 논의될 바와 같이, 원통형 부 렌즈(negative lens)(155)가 이 단순화에서 보여지고 있다. 아웃-커플링 회절 격자(150)로부터 출력된 광선(151)은, 라인 152에 의해 표시된 바와 같이 수직 평면에서 시준되고 수평 평면에서 집속된다. 원통형 부 렌즈(155)로부터 출력된 광선(156)은 수평 평면과 수직 평면 모두에서 시준되고 무한 초점을 갖는다. 원통형 부 렌즈(155)가 아웃-커플링 회절 격자(150) 내에 실제로 광학적으로 통합되기 때문에, 이는 단순화이다. 그에 의하여 파워는 아웃-커플러 내의 홀로그래프에 포함되어 출력에서의 양 평면에서 시준을 보상하고 달성한다. 이에 의하여 아웃-커플링 회절 격자(150)는 원통형 렌즈로서 기능하여 인-커플링 광학장치에 의해 도입된 원통형 곡률을 보상하며, 그리고 이러한 방식으로 아래에 설명된 바와 같이 기본적으로 무한원에서 이미지를 시준한다.

[0075] 인-커플링 광학계에서의 비대칭 시준으로 인하여, 아웃-커플링 광학계는 수평 (가까운) 및 수직 (먼 또는 무한한) 출력 이미지 평면들의 상이한 초점 위치들을 보상하여 양 평면에서 무한원에서 집속된 이미지를 제공하며, 그에 의하여 고품질 이미지를 뷰어에게 제공한다. 보상은 광학 파워를 출력 격자로 인코딩함으로써 달성된다. 이 접근법은 본 기술 분야에서 알려져 있지만 이 목적을 위한 것은 아니다. 도 6에서 보여지는 바와 같이, 이는 평면형 출력 격자와 사용자 사이에 도파관의 곡률 반경과 동일한 음의 파워를 갖는 발산 원통형 렌즈(155)를 배치하는 것과 동일하다 (평면 오목 원통형 렌즈; 도파관의 곡률 반경이 200mm인 경우 렌즈의 초점 거리는 -200mm 일 것이다). 렌즈(155)는 입력 원통형 렌즈(135)에 수직으로 배향된다. 입력 렌즈(135)가 수직 평면에 집속하면 (또는 파워를 가지면) 출력 보상 렌즈/격자는 구형으로 시준된 출력을 생성하기 위해 수평 평면에서 집속할 것

이다 (또는 파워를 갖는다). 위에서 논의된 바와 같이, 아웃-커플링 격자(150)의 중심은 입력 격자와 동일한 표면 피치 (또한 측면 또는 면내 피치(in-plane pitch)로 알려짐)를 가져 색 분산 보상을 허용한다.

[0076] 이미지는 무한원에서 사용자(160)에게 나타난다. 이것은 일반적으로 원하는 사용 사례이며, 예를 들어 전투기 조종사 또는 오토바이 라이더와 같이 바이저를 사용할 때 일반적인 것과 같이, 이는 사용자가 실세계에서 멀리 있는 객체에 초점을 맞출 때 가상 이미지가 초점이 맞춰져 나타날 것이라는 것을 의미하기 때문이다. 필필 확장을 갖는 평면형 도파관을 사용하는 소비자 디바이스도 무한원에서의 이미지를 갖는다.

[0077] 출력 격자는 다양한 회절 격자 효율 또는 상대적으로 낮은 출력 효율 (예를 들어, 10%)을 가질 수 있다. 이는 홀로그램 아웃-커플러의 기록 동안 달성될 수 있다. 입력 격자(140)가 (그에 입사하는 광의 대부분이 도파관에 인-커플링된다는 것을 의미하는) 최대 회절 효율을 갖는 것이 바람직하지만, 출력 격자(150)는 낮은 또는 가변적인 효율을 가질 수 있어 필필 확장을 허용한다. 광의 작은 부분은 출력 격자(150)와의 제1 상호작용에서 아웃-커플링되는 반면, 많은 부분은 도파관 아래로 반사되는 것을 계속하며 그 광의 일부는 제2 상호작용 등에서 출력된다. 이는 수평 평면에서의 확장된 아이박스를 허용한다.

[0078] 홀로그램 도파관 격자 (선형 아웃-커플러 또는 파워형 아웃-커플러)는 본 기술 분야에서 공지된 바와 같이, 프리즘을 통해 재료에 커플링된 도파된 빔과 함께 2개의 간섭성 광 빔에 홀로그램 재료를 노출시킴으로써 제조될 수 있다. 3개의 상이한 다른 파장의 레이저 (예를 들어, 적, 녹 및 청, RGB)가 사용되어 3개의 격자를 단일 홀로그램 층으로 다중화할 수 있어 실질적으로 흰색 이미지가 RGB 마이크로-디스플레이로부터 뷰어에 의하여 보여지는 것을 허용할 수 있다. 대안적으로, 각 색상에 대해 하나씩, 3개의 개별 층이 적층될 수 있다.

[0079] 사용자에게 제공되는 FOV (균일하게 밝고 색채적으로 균일한 이미지는 이 FOV에 걸쳐 보여질 수 있다)는 다수의 격자를 단일 홀로그램 층으로 다중화함으로써 증가될 수 있다. 이는 기록 각도를 변경함으로써 달성될 수 있다.

[0080] 대안적으로, 다수의 각도적으로 다중화된 층들이 적층될 수 있다.

[0081] 입력 및 출력 격자는 반사 홀로그램, 전송 홀로그램 또는 이들의 임의의 조합일 수 있다. 원하는 효과가 격자 피치의 측면 구성 요소만을 기반으로 하기 때문에 이는 위의 이론으로부터 인식될 수 있다. 횡방향 (횡단면) 피치 또는 주기는 반사 또는 투과 격자 기하학적 구조에 맞도록 편리하게 선택될 수 있다. 위에서 언급된 선형 격자는 측 방향으로의 선형을 의미하지만 다양한 횡방향 특성을 가질 수 있다는 점 또한 인식될 수 있다.

[0082] 출력 광의 시준 특성은 큰 눈동자 거리(eye relief) (즉, 눈이 출력 표면 뒤에 있을 수 있고 이미지를 최적으로 볼 수 있는 거리)가 달성될 수 있다는 것을 의미한다. 이는 흔히 특히 글라스가 아닌 헬멧 바이저가 있는 적용에 대하여 바람직하다. 눈동자 거리가 클수록 전형적으로 FOV가 작아진다.

[0083] 실세계 시야(real world view)는 도파관의 곡면에 의해 크게 변하지 않을 것이다. 250mm의 곡률 반경은 글라스에 대해 정상이며, 바이저의 경우 150 내지 200mm이다. (여기 이 경우처럼) 100mm보다 큰 곡률은 사용자에게 의하여 실세계를 왜곡하는 것에 미치는 영향으로서 주목되지 않을 것이다. 부가적인 오버레이 렌즈 (또는 렌즈들)에 의하여 보상되지 않는 한 매우 작은 비점수차 효과만이 있을 것이다.

[0084] 본 발명의 일반화된 의미로 돌아가서, 아웃-커플링 광학계는 아웃-커플링 회절 격자를 포함하는 것으로 간주될 수 있다. 특히, 아웃-커플링 회절 격자는 원통형 렌즈로서의 역할을 하도록 구성될 수 있다 (예를 들어, 일 차원에만 집중). 부가적으로 또는 대안적으로, 아웃-커플링 선형 회절 격자는 곡면형 격자를 가질 수 있다. 바람직한 실시예에서, 아웃-커플링 선형 회절 격자는 받아들여진 광을 평면에서 시준하도록 또는 예정된 거리 및/또는 25% (선택적으로 20%, 15% 또는 10%) 이하의 입력 광학계로부터 받아들여진 광에 가장 가까운 아웃-커플링 회절 격자의 종단에서의 출력 또는 회절 효율에서 받아들여진 광을 접선 및 시상 평면에서 집중시키도록 배열된 내부 격자 각도들을 가질 수 있다.

[0085] 아웃-커플링 광학계는 입력 파면 성형 디바이스의 단일 평면에 직교하는 단일 평면에서 받아들여진 광을 시준하도록 구성된 출력 파면 성형 디바이스를 포함할 수 있다. 부가적으로 또는 대안적으로, 아웃-커플링 광학계는 원통형 부 렌즈를 포함할 수 있다. 바람직하게는, 이러한 양태는 아웃-커플링 회절 격자에 통합된다.

[0086] 아웃-커플링 선형 회절 격자는 인-커플링 선형 회절 격자와 동일한 표면 피치를 가질 수 있다. 일부 실시예에서, 아웃-커플링 선형 회절은 인-커플링 선형 회절 격자의 내부 격자 각도와 비교하여 반대로 배향된 내부 격자 각도를 가질 수 있다. 이는 특히 이미지 광원으로부터의 광 그리고 뷰어(viewer) (또는 인-커플링 광학계와 아웃-커플링 광학계)로의 광이 서로 동일한 측면에 있는 경우에 사용된다. 이는 "U" 격자로 불릴 수 있다. 대안적으로, 인-커플링 격자와 아웃-커플링 격자의 각도들은 반대로 배향되지 않으며, 적어도 일부 광은 인

-커플링된 광과 반대 측면 상에서 아웃-커플링될 것이다 (즉, 뷰어는 인-커플링 광과 비교하여 다른 측면 상에 있을 것이다). 이는 "Z" 격자로 볼릴 수 있다.

- [0087] 대안적인 관점에서, 대칭 면에 있어서 본 발명에 따른 접근법을 설명하는 것도 가능하다. 접근법은 원통형 도파관과 원통형 대칭 파면을 사용하며, 이 모두는 공통 축을 중심으로 회전적으로 대칭적이다.
- [0088] 디스플레이 또는 다른 이미지 생성 수단 상의 픽셀을 고려한다. 이 픽셀로부터의 광 파면을 원통으로 성형하는 것이 가능하다. 편평한 기판에 기록되고 원통형 도파관에 적층된 선형 회절 격자는 표면을 따라 일정한 주기를 가질 것이다. 그 후, 모든 광선은 동일한 각도만큼 편향될 것이며, 광 시야가 회전축을 중심으로 대칭인 결과로 이어진다. 위에서 설명된 바와 같이, 원통형 표면들 사이에서 발사된 광선은 임의의 수의 반사에서 2개의 표면에 대한 2개의 입사각을 유지한다. 이는 매 2번의 반사 후에 파동이 자신과 정확히 일치한다는 것을 의미한다. 그에 의하여 이중 이미지가 생성되지 않는다. 임의의 광선이 다른 광선과 달라지지 않으면서 이러한 광 시야(light field)는 임의의 거리를 전파될 수 있다.
- [0089] 또한 출력 격자에서의 퓨필 복제가 달성된다. 광의 부분적 아웃-커플링은 아웃-커플링 광학계와의 초기 상호작용에서 일어나며, 나머지 광은 다음 상호작용에서 전파되고 커플링 아웃된다. 이 경우, 상이한 상호작용이 고스트 이미지(ghost image)를 야기하지 않고 완벽하게 일치한다. 모든 광선이 아웃-커플링 격자에 도달하면, 격자의 위치 또는 임의의 한 광선의 위치에 관계없이 격자는 광선을 도파관 밖으로 회절시킬 수 있으며, 이는 광선들이 모두 똑같이 도달할 것이기 때문이다.
- [0090] 인-커플링 격자와 동일한 주기를 가진 선형 아웃-커플링 격자를 사용하는 것은 광선을 다시 새로운 원통형 파면으로 회절시킨다. 회절 광학 요소는 부가적인 방식으로 여러 기능을 조합할 수 있다는 것이 잘 알려져 있다. 아웃-커플링 격자는 또한 원통형 렌즈의 집속력과 같이, 한 차원에서 집속력을 갖고 있다. 이는 회절 광을 시준된 광으로 변환시킬 것이다. 이러한 광을 받아들이는 관찰자는 무한원에서 별(star)과 같은 지점을 경험할 것이다.
- [0091] 다른 픽셀에 대하여 위의 설명이 반복될 수 있다. 위에서 확인된 바와 같이, 이 다른 픽셀의 파면은 정확히 원통형일 필요는 없다. 이는 비중앙 픽셀로부터의 광선이 "완벽한" 법선 (수직) 각도와 약간 다른 각도로 인-커플링 광학계에 입사하기 때문에 발생한다. 그러나 각각의 교차점에서 표면 법선에 대해 실질적으로 동일한 각도로 인-커플러에 모두 부딪힘으로써, 결과적인 광선은 원통형 축 주위에 회전 대칭인 광선의 필드를 형성할 것이며 또한 구별할 수 없는 방식으로 전파될 것이다.
- [0092] 최신 광학 설계를 사용하면 작은 오차, 이상적으로는 1분각 (인간의 시력)으로 이러한 광 시야(light field)를 형성하는 투영기를 설계할 수 있다.
- [0093] 도 7을 참조하면, 본 발명에 따른 실시예에 대한 작동 공정에 대한 예시적인 흐름도를 도시하고 있다. 디스플레이 단계(210)에서, 동적 이미지가 이미지 소스(110) (예를 들어, 마이크로-디스플레이) 상에 디스플레이된다. 제1 시준 단계(220)에서, 이미지-함유 광은 수직 평면에서 파워를 갖는 원통형 렌즈(135) (또는 동등하게, 아래에서 설명될 바와 같이 원통형 미러)에 의하여 수직 평면에서 시준된다. 제1 입사 단계(230)에서, (단일 퓨필에 대한) 이미지-함유 광은 원통형 도파관(120)에 그의 표면 (전형적으로, 내부 표면)에 수직으로 부딪힌다. 인-커플링 단계(240)에서, 이미지-함유 광은 선형 회절 격자(140)를 통해 (동일한 픽셀로부터의 모든 광선에 대해) 일정한 각도로 인-커플링된다. 원통형 도파관(120)이 동심원적 내부 및 외부 표면을 갖기 때문에, 전파 단계(250)에서, 인-커플링된 광은 회전 대칭으로 동심원적 표면들 사이에서 전파된다. 초기 아웃-커플링 단계(260)에서, 이미지 함유-광의 제1 부분은 아웃-커플링 회절 격자(150)와의 초기 상호작용에서 추출된다. 그 후, 아웃-커플링 회절 격자(150)와의 후속 상호작용 (반사)은 추가 아웃-커플링 단계(270)에서의 전파된 광의 추가 추출을 야기하며, 그에 의하여 퓨필 복제를 제공한다. 제2 시준 단계(280)에서의 아웃-커플링 회절 격자(150)의 광학적 효과는 수평 평면에서 음의 원통형 파워를 추가한다. 마지막으로, 무한원에서의 구면적으로 시준된 이미지는 출력 단계(290)에서 실세계에서 오버레이된 사용자의 눈(160)에 의해 보여진다.
- [0094] 특정 실시예가 설명되었지만, 숙련된 자는 다양한 수정 및 변경이 가능하다는 것을 인식할 것이다. 특히, 인-커플링 및 아웃-커플링 광학계는 위에서 설명한 특정 설계와 상당히 다를 수 있다.
- [0095] 위에서 보여지는 바와 같이, 광원은 원통형 도파관의 내부 표면에 가장 가깝게 배치될 수 있으며 원통형 렌즈가 사용되어 광을 시준할 수 있다. 원통형 렌즈가 사용될 필요가 없다. 예를 들어 원통형 미러가 대신 사용될 수 있으며 잠재적으로 동일한 속성 및 이점 모두를 가질 수 있다. 광원은 외부 표면 및, 예를 들어 광이 도파관을 통과한 후 광을 시준하기 위해 사용되는 원통형 미러를 지나 동일하게 배치될 수 있다.
- [0096] 많은 디자인을 사용하여 모든 픽셀에 대한 성능을 최적화하고 투영기의 체적을 최소화할 수 있다. 이는 디스플레이

레이를 더 가깝게 하기 위해 수직 평면에 초점을 맞추는 광학계를 이용하는 것을 포함된다. 예를 들어, 오목 미러는 미러보다 반대 측면으로부터 도파관에 접근한 광이 반사되고 그 후 회절되기 전에 이 광과 함께 사용될 수 있다. 이는 전형적인 광학의 어포컬 시스템(afocal systems)의 수차 관리와 유사하다. 그러나 이 수차의 처리는 원통 좌표계에 대한 본 발명에서 재형성된다.

[0097] 도 8을 참조하면, 제2 실시예에 따른 광학 시스템의 개략적인 평면도가 도시되어 있다. 이 실시예에서, 원통형 렌즈(135)는 원통형 미러(136)로 대체된다. 이러한 미러를 사용하면 이미지 광원(110)이 원통형 도파관(120)의 내부 표면에 더 가깝게 위치될 필요가 없다. 단순함을 위하여 입력 회절 격자(140)는 보이지 않으며, 그러나 이는 도시된 다른 실시예에서와 동일한 위치에 존재한다. 보여지는 실시예에서, 이미지 소스(110)는 원통형 도파관(120)의 내부 표면보다 원통형 도파관(120)의 외부 표면에 더 가깝게 위치된다. 이미지 광원(110)에서 입력 회절 격자까지의 광학 경로 길이는 원통형 도파관(120)의 곡률 반경과 동일하게 유지된다. 예를 들어, 200mm의, 바이저 형상의 도파관의 일반적인 곡률 반경은 객체가 200mm 떨어져 있었으며 원통형 미러가 400mm의 곡률 반경을 가졌었다라는 것을 의미한다. 그러나 이미지 소스(110)와 입력 회절 격자 사이의 거리는 이 반경과 동일하지 않다. 입사 광선이 입력 격자의 표면에 대해 수직인 점이 다시 보여진다. 원통형 미러(136)는 기본적으로 원통형 렌즈(135)에 의해 영향을 받는 것과 동일한 파면에 영향을 미치며 따라서 유사한 특성을 갖는다. 모든 다른 변형 및 옵션은 본 명세서에 개시된 다른 실시예에 대한 것과 같이 본 실시예에 따른 구현 형태에 적용될 수 있다.

[0098] 원통형 도파관의 배향은 달라질 수 있다. 위에서 설명한 실시예는 바이저를 정렬하는 일반적인 방식이므로 원통형 도파관의 원통 축을 수직으로 배향하였다 (따라서 원통형 도파관은 수평 방향으로 연장됨). 그러나 이는 필요하지 않다. 다른 배향이 고려될 수 있다. 추가로 또는 대안적으로, 광은 예를 들어 도파관의 상이한 측면들 상의 상이한 표면들을 통해 원통형 도파관으로 들어오고 도파관을 나갈 수 있다. 인-커플링 격자 및 아웃-커플링 격자는 이에 따라 이를 달성하기 위해 적절하게 배치될 수 있다. 하나보다 많은 인-커플링 격자 및/또는 아웃-커플링 격자가 일부 실시예에서 제공될 수 있다.

[0099] 인-커플링 및 아웃-커플링 격자는 각각 반사 또는 투과 격자일 수 있으며, 또한 도파관의 내부 또는 외부 표면 (또는 도파관의 또 다른 표면)에 배치될 수 있다. 숙련된 자는 본 명세서에서 보여지는 실시예에 대한 이러한 변형을 이해할 것이다.

[0100] 선형 입력 격자는 임의의 방향 각도를 가질 수 있다. 광은 (위에서 설명된 실시예에서 수평인 원통 축에 직교하는) 원통 원주 방향으로 전향될 필요가 없다. 광은 원통 축 (수직)을 따라 지향될 수 있다. 대안적으로, 광은 45도 또는 다른 대각선 방향으로 지향될 수 있다. 이는, 예를 들어 투영 모듈을 글라스(안경(eyeglass))의 템플(temple)에 편리하게 위치시키기 위한 디자인 자유를 허용한다. 이는 또한 2D 필름 확장을 위한 중간 격자의 실현에도 중요하다. 중간 선형 격자는 광을 전향 및/또는 분할할 수 있는 반면에, 전향된 광선들의 각각에 대한 각각의 각도를 동일 픽셀로부터의 광선에 대해 동일하게 유지시킬 수 있다.

[0101] 이 시스템은 레이저 또는 LED 광이 사용되는 것을 허용하며, 이는 유연성을 허용한다. 전형적으로, LED 광, 예를 들어 LCOS(실리콘 온 액정) 펄스 LED 또는 마이크로 LED 마이크로-디스플레이가 사용되지만, 고효율 및 그에 따른 고휘도가 필요한 경우 레이저 광도 사용될 수 있다. 레이저 빔 미러 스캐닝 시스템(MEMS, 미세 광전자 기계 시스템) 또한 사용될 수 있다. 레이저 광은 비용, 스펙클(speckle) (분해능의 손실) 및 눈 안전 문제 측면에서 몇 가지 단점을 갖고 있다.

[0102] 굴절 요소 (예를 들어, 프리즘)가 회절형 인-커플러 또는 아웃-커플러와 함께 인-커플러 또는 아웃-커플러로서 사용된다면, 보상되지 않은 색 분산은 협대역 소스 (예를 들어, 레이저)만이 사용될 수 있도록 하는 것일 수 있다. 부가적으로, 굴절형 커플러는 부피가 커지고 비싸지는 경향이 있다.

[0103] 도파관 출력에 구형 광학 파워를 추가함으로써 서로 다른 초점 거리들에서 가상 이미지를 설정하는 것이 가능하다. 도파관 전후에 추가 렌즈 쌍으로 초점 거리를 더 가깝게 설정하는 것이 또한 가능하다 (실세계에 미치는 제1 렌즈의 영향을 보상하기 위한 제2 렌즈). 추가 가능성은 전기적으로 다룰 수 있는 전환 가능한 (액정 기반) 홀로그래프 출력 격자를 추가하는 것이며, 이 출력 격자는 이미지에 대해 상이한 초점 평면을 제공하기 위해 켜지거나 꺼질 수 있다. 부가적으로 또는 대안적으로, 각도적으로 다중화된 격자로 달성될 수 있는 것과 같이, 입력 격자는 동일한 방식으로 전환되어 더 큰 FOV를 제공할 수 있다. 전환은 시간-다중화된 마이크로디스플레이와 동기화될 수 있다.

[0104] 선택적으로, 다수의 (적층된) 원통형 도파관을 사용함으로써 다수의 초점 평면이 실현될 수 있다. 광은 위에서

설명된 것과 같이 전파될 것이지만 상이한 초점들을 생성하는 격자를 이용하여 나갈 것이다. 이 접근법은 "증강, 가상 및 혼합 현실 헤드셋용 광학 아키텍처" (2020), B.C. Kress, SPIE press 내의 세부 사항과 같다.

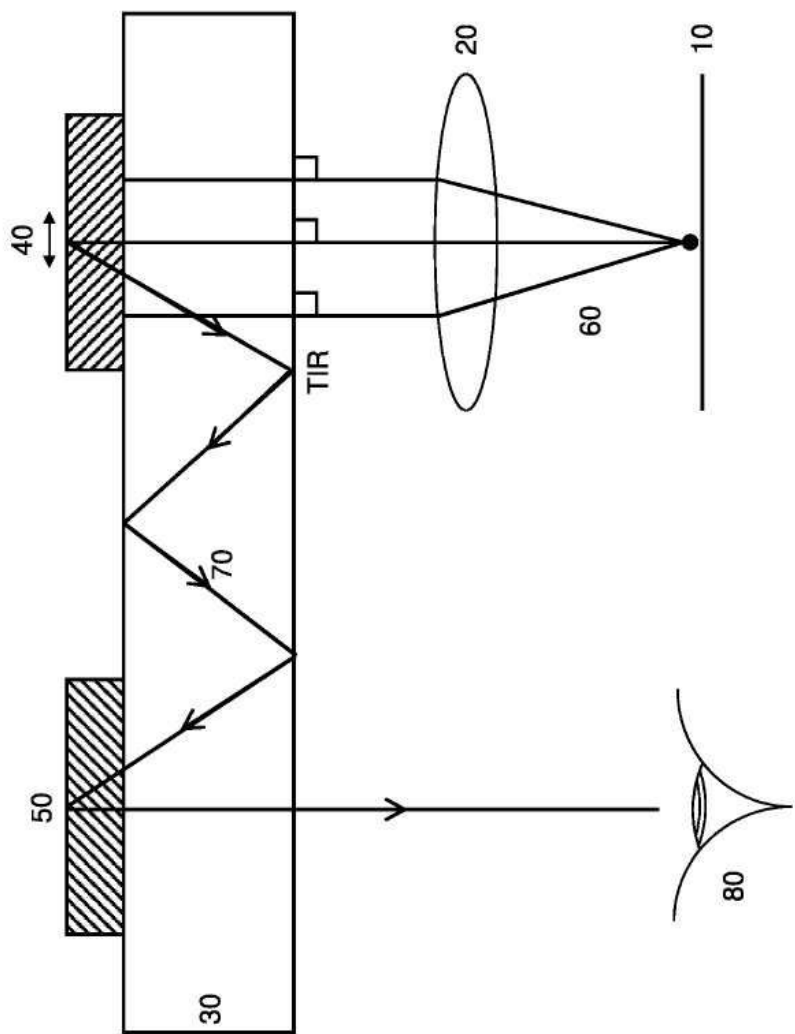
- [0105] 일반적인 구면 렌즈의 축 대칭적 파워와 같은 파워를 원통형 도파관의 출력에 추가하는 것은 한정된 거리, 즉 1m에서 포인트를 경험하는 결과를 야기할 것이다.
- [0106] 원통형 도파관은 더 큰 (일체형) 도파관 구조의 일부를 형성할 수 있으며, 그의 일부만이 원통형일 수 있다. 인-커플링 광학계가 필요하지 않은 실시예가 고려될 수 있다. 예를 들어, 광은 원통형이 아닌 도파관의 일부분에서 (예를 들어, 매립된 이미지 소스로 인하여) 도파관을 통해 도파관에 들어가거나 도파관에서 발생할 수 있으며 파면 성형이 이 부분에서 수행될 수 있다. 따라서 도파관의 이 부분은 입력 광학계의 일부를 형성할 수 있다.
- [0107] 수직 아이박스는 수직으로 배치된 다수의 입력 투영기에 의해 확장될 수도 있다. 평면형 도파관에서 수직 아이박스를 연장하기 위해 사용되는 전형적인 접근법은 2D 출구 필름 확장을 제공하기 위해 필름을 수직으로 전파하는 "턴(turn)" 격자를 이용한다. Vuzix Corporation 또는 DigiLens Inc의 제품에 구현된 것과 같은 입력, 턴 및 출력 격자를 포함하는, 아이박스를 수직으로 확장하는 다양한 방법이 있다. 대안은 "버터플라이(butterfly)" 턴 격자를 사용하는 것이며, (Microsoft Corporation에 의하여 판매되고 위에서 참조된 B. C. Kress의 저서에서 설명된 HoloLens(RTM)에 의해 사용된 바와 같이) 이 격자는 입력에서 FOV를 2개로 분할하고 출력에서 재조합시킴으로써 아이박스를 확장하고 또한 FOV를 확장한다. 추가 옵션은 상호 다중화된 격자를 사용하는 것이며, 이 격자는 광의 일부를 도파하고 (WaveOptics, Ltd의 제품에 사용된 바와 같이) 확장된 아이박스를 가로질러 광의 일부를 아웃-커플링한다.
- [0108] 이 모든 기존의 기술은 선형 격자 및 편평한 도파관에 의해 경로가 지정된 시준된 광의 사용으로부터 이점을 얻는다. 원통형 도파관을 사용하는 본 발명에 따르면, 광을 분할하고 중간 선형 격자에 의해 필름을 복제하는 이 기술은 원통형 도파관 내로의 광의 인-커플링 후에 구현될 수 있다. 그러면 광은 음의 원통형 집속 기능을 갖는 격자와 최종적으로 아웃-커플링(out-coupled)될 수 있다.
- [0109] 본 발명에 따른 실시예의 회전 대칭 구조체는 입력 격자 및 출력 격자가 동심원적 원통형 도파관의 어느 곳이나 배치되는 것을 허용한다. 예를 들어 위에서 논의된 전형적인 평면형 수평 구성뿐만 아니라 (예를 들어, 바이저 구현 형태에서) 배향은 수직일 수 있거나 도파관을 가로질러 각도를 이룰 수 있다. 이는 최종 디자인에서 투영기의 배치 및 아이박스 위치에서의 유연성을 허용한다. 이는 또한 이전 단락에서 논의된 필름 복제 및 수직 아이박스 확장 방법을 허용한다.
- [0110] 시선 추적은 AR 디바이스에 추가 기능을 추가할 수 있는 기존 기술이다. 이는 전형적으로 눈을 비추는 적외(IR) 광원 및 반사 광을 검출하고 눈의 응시 방향을 결정하는 카메라를 사용하여 달성된다. 공간 한정 영역 (예를 들어, 바이저 또는 글라스)에서, 이것이 가능하지 않을 수 있다. 도파관에 콤팩트한 눈 추적 기능을 추가하는 것은 위에서 설명된 입력 및 출력 격자로 달성될 수 있지만, 이들은 적외 광 (예를 들어, 850nm)을 회절시킨다. 격자는 단순히 IR 광을 눈으로 향하게 할 수 있거나, 눈에서 반사된 IR 광은 TIR을 통해 아이박스 위치에 있는 격자에서 출력 격자로, 그리고 그에 의하여 카메라로 커플링될 수 있다.
- [0111] 위에서 논의된 본 발명의 일반화된 의미에 대한 추가 참조가 이루어진다. 예를 들어, 바람직한 실시예에서, 원통형 도파관에 대한 곡률 반경은 적어도 100mm이다.
- [0112] 실시예에서, 파면 성형 디바이스는 오목한 (원통형) 미러를 포함할 수 있다. 선택적으로, 이미지 소스 및/또는 이미지 소스 마운팅은 원통형 도파관의 내부 표면보다 원통형 도파관의 외부 표면에 더 가깝게 위치될 수 있다. 그 후, (바람직하게는 파면 성형 디바이스인) 미러는 이미지 소스로부터의 광을 받아들이고 받아들이진 광을 원통형 도파관을 향하여 반사시키도록 배열될 수 있다. 일부 실시예에서, 미러 및 이미지 소스 및/또는 이미지 소스 마운팅은 이미지 소스로부터의 광이 미러에 도달하기 전에 원통형 도파관을 통과하도록 구성된다. 특정 실시예에서, 원통형 도파관에 근위인 입력 광학계 (예를 들어, 인-커플링 격자) 및 원통형 도파관에 근위인 아웃-커플링 광학계 (예를 들어, 아웃-커플링 격자)의 각각의 부분은 원통형 도파관의 대향 측들에 있다.
- [0113] 특정 실시예에서, 입력 광학계는 하나 이상의 구면 렌즈를 더 포함한다. 추가적으로 또는 대안적으로, 아웃-커플링 광학계는 하나 이상의 구면 렌즈를 더 포함한다. 구면 렌즈는 광의 광학 경로 길이를 변경하기 위해 및/또는 광의 집속을 변경하기 위해 사용될 수 있다.
- [0114] 실시예에서, 입력 광학계는 원통형 도파관과 일체인 도파관 부분을 더 포함할 수 있다. 유리하게는, 입력 광학계의 적어도 일부를 형성하는 도파관 부분은 비원통형이며 및/또는 동심원적인 표면들을 갖지 않는다. 일부 실

시에에서, 도파관 형상의 일부만이 원통형일 수 있다.

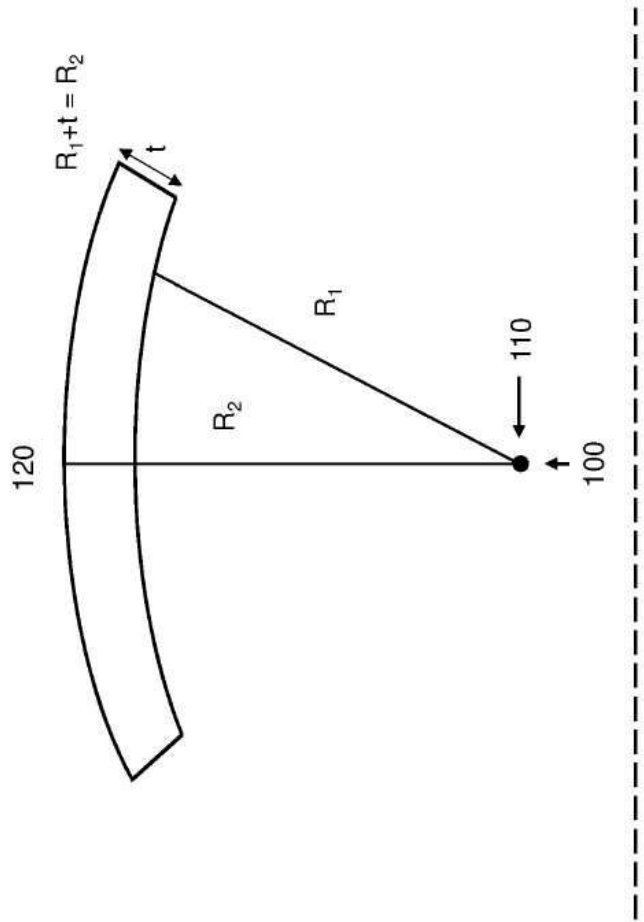
- [0115] 일부 실시예에서 원통형 도파관에 하나 이상의 중간 광학 격자가 제공될 수 있다. 하나 이상의 중간 광학 격자 중 하나, 일부 또는 모두는 선형일 수 있다. 중간 광학 격자 또는 격자는 아웃-커플링 광학계 전에 광을 전향, 회절 및/또는 분할하도록 배열될 수 있다. 그러나 동일한 픽셀로부터의 광선의 상대 각도는 유리하게는 동일하게 유지된다. 중간 광학 선형 격자는 유리하게는 전파하는 광의 각도 특성 (TIR 조건 및 동일한 픽셀로부터의 모든 광선이 표면 법선에 대해 동일한 각도로 그리고 원통 축에 수직인 평면에 대해 동일한 각도로 원통형 도파관 표면에 입사한다는 것)을 보존하며, 그에 의하여 수차 없이 2차원 픽셀 확장을 허용한다.
- [0116] 아웃-커플링 광학계는 받아들여진 광을 굴절시키도록 배열된 내부 격자 각도들; 아웃-커플링 회절 격자의 길이에 따른 가변 회절 효율; 및 (예를 들어, 출력 광의 변조를 허용하는) 전환 가능한 회절 격자 구성 중 하나 이상을 갖는 아웃-커플링 회절 격자를 포함할 수 있다. 선택적으로, 인-커플링 회절 격자는 전환 가능한 회절 격자 구성을 가질 수 있다.
- [0117] 다수의 원통형 도파관이 제공될 수 있다. 예를 들어 동심원적인 내부 표면 및 외부 표면을 갖는 제2 원통형 도파관이 제공될 수 있다. 제1 및 제2 (또는 다수의) 원통형 도파관은 적층될 수 있다. 다수의 원통형 도파관 중 일부 또는 모두는 공통 원통 축을 가질 수 있다. 그러한 모든 경우에, 입력 광학계는 받아들여진 광의 일부가 복수의 원통형 도파관의 각각에 들어가게 하도록 배열될 수 있고, 따라서 각 원통형 도파관에 대해, 이미지 소스의 동일한 픽셀로부터 발생하는 모든 광선이 표면 법선에 대해 동일한 각도로 그리고 각각의 원통 축에 수직인 평면에 대해 동일한 각도로 각각의 원통형 도파관의 표면에 입사하며, 그에 의하여 각 입사 지점에서, 인-커플링된 광은 각각의 원통 도파관을 따라 전파됨에 따라 그의 방향 각도를 유지한다. 유리하게는, 아웃-커플링 광학계는 각 원통형 도파관을 따라 전파되는 광을 상이한 초점들에 집속시키도록 배열될 수 있다. 예를 들어, 아웃-커플링 광학계는 제1 원통형 도파관을 따라 전파되는 광을 제1 초점에 집속시키도록 그리고 제2 원통형 도파관을 따라 전파되는 광을 상이한 제2 초점에 집속시키도록 배열될 수 있다.
- [0118] 다수의 이미지 소스를 갖는 실시예가 고려될 수 있으며, 이 이미지 소스들은 유리하게는 서로로부터 수직으로 변위된다.
- [0119] 본 명세서에 개시된 모든 특징은 이러한 특징들 및/또는 단계들 중 적어도 일부가 상호 배타적인 조합을 제외하고 임의의 조합으로 조합될 수 있다. 특히, 본 발명의 바람직한 특징은 본 발명의 모든 양태에 적용 가능하며 또한 임의의 조합으로 사용될 수 있다. 마찬가지로, 필수적이지 않은 조합으로 설명된 특징은 (조합이 아닌) 별도로 사용될 수 있다.

도면

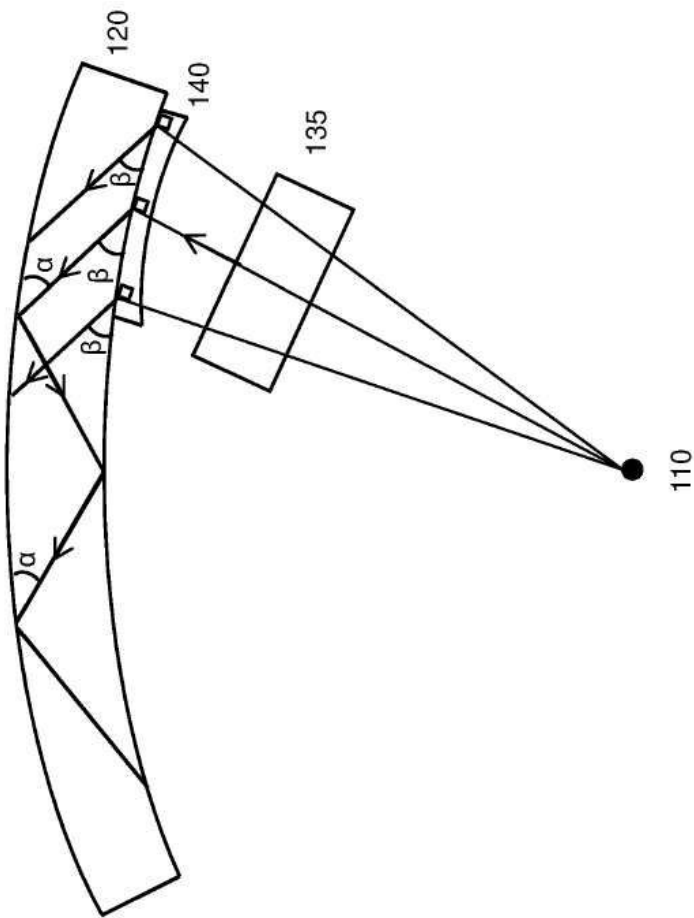
도면1



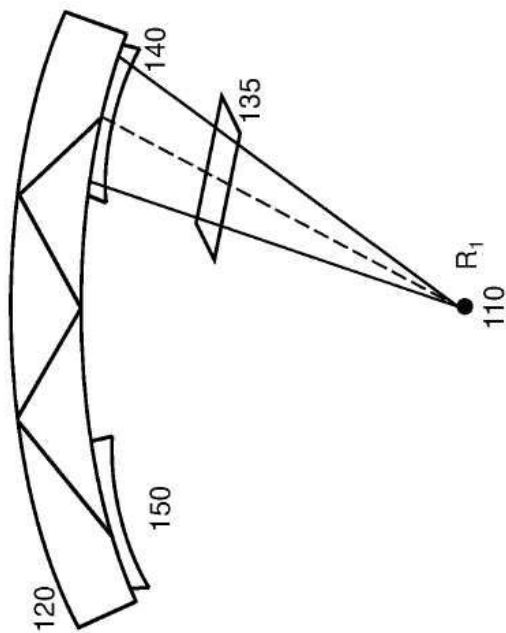
도면2



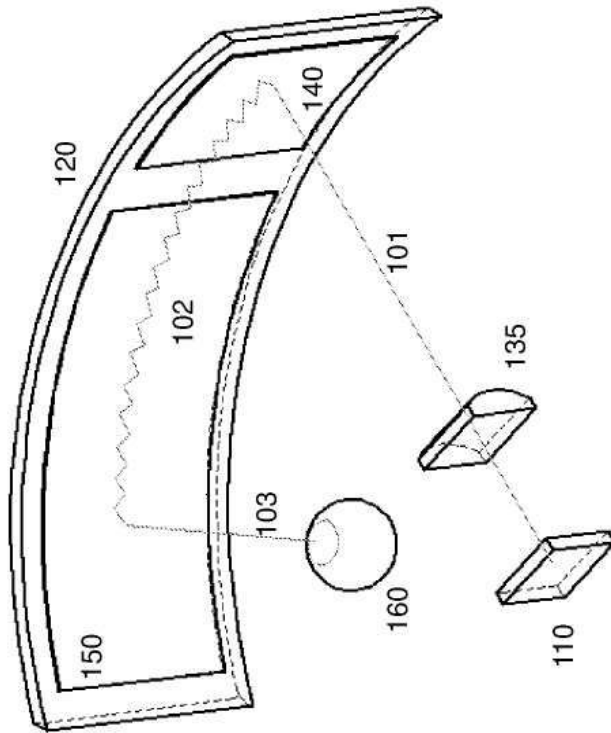
도면3



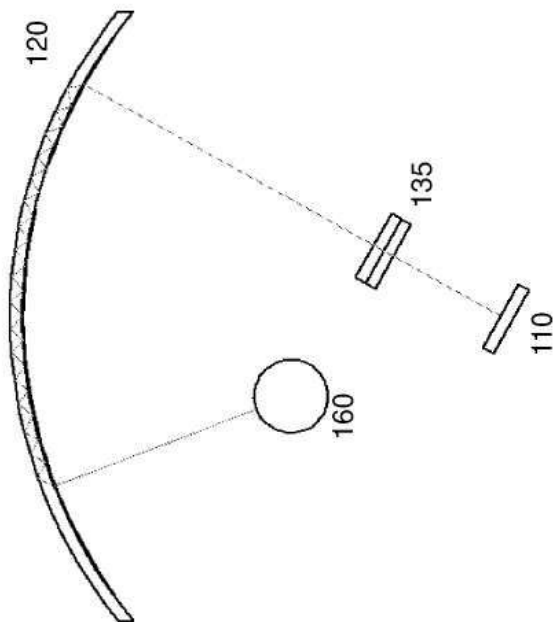
도면4



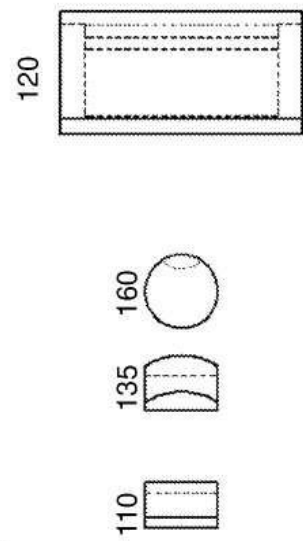
도면5a



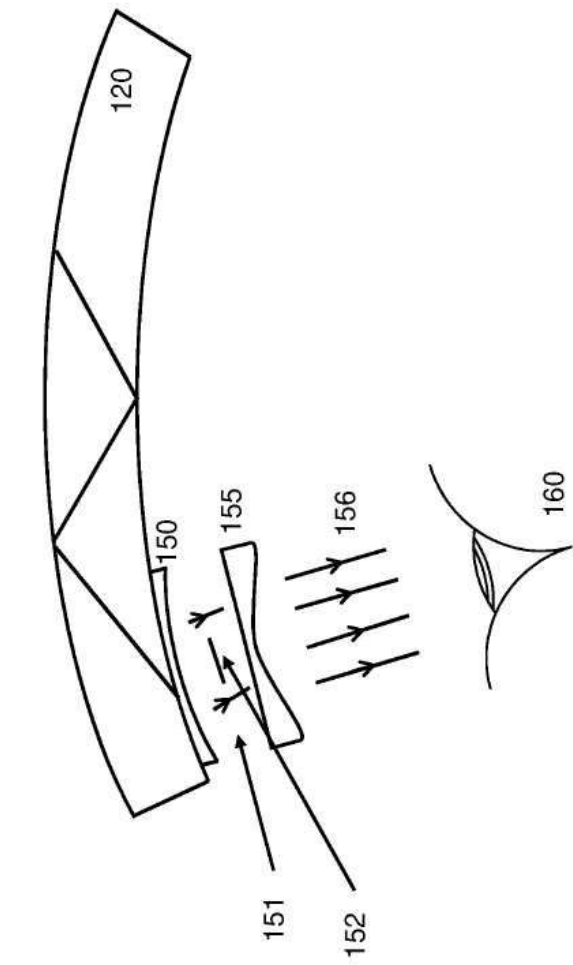
도면5b



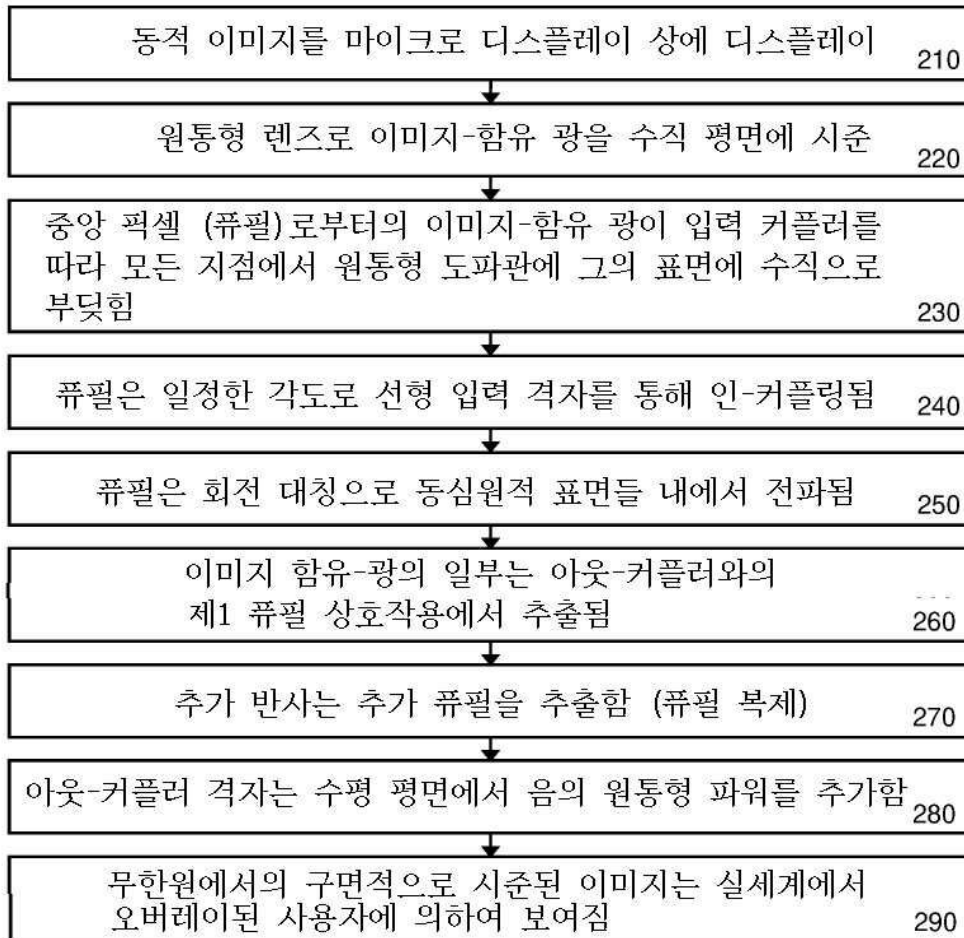
도면5c



도면6



도면7



도면8

