(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0024373
(43) 공개일자 2024년02월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02B 6/293 (2022.01) *G02B 27/00* (2020.01)
G02B 27/10 (2006.01) *G02B 27/42* (2006.01)
G02B 27/44 (2022.01) *G02B 5/18* (2006.01)
G02B 6/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G02B 6/29361 (2013.01)
G02B 27/0081 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2024-7005304(분할)
(22) 출원일자(국제) 2017년12월21일
심사청구일자 2024년02월15일
(62) 원출원 특허 10-2019-7021084
원출원일자(국제) 2017년12월21일
심사청구일자 2020년12월16일
(85) 번역문제출일자 2024년02월15일
(86) 국제출원번호 PCT/US2017/067799
(87) 국제공개번호 WO 2018/119181
국제공개일자 2018년06월28일
(30) 우선권주장
62/438,315 2016년12월22일 미국(US)

(71) 출원인
매직 립, 인코포레이티드
미국 플로리다 플랜타티온 웨스트 선라이즈 블러바드 7500 (우: 33322)
(72) 발명자
여, 이반 리 추엔
미국 33322 플로리다 플랜테이션 웨스트 선라이즈 불러바드 7500
에드윈, 라이오넬 어니스트
미국 33322 플로리다 플랜테이션 웨스트 선라이즈 불러바드 7500
청, 후이-추안
미국 33322 플로리다 플랜테이션 웨스트 선라이즈 불러바드 7500
(74) 대리인
특허법인 남앤남

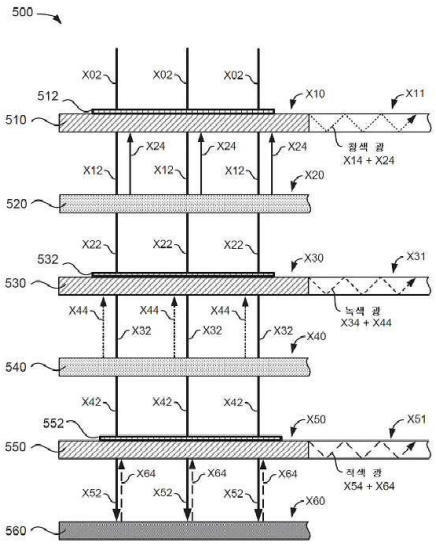
전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 발명의 명칭 **이색 필터들을 사용하는 도파관들에서의 컬러 분리**

(57) 요 약

뷰어의 눈에 이미지를 투영하기 위한 아이피스는 제1 측 평면에 위치된 제1 평면 도파관, 제1 측 평면에 인접한 제2 측 평면에 위치된 제2 평면 도파관, 및 제2 측 평면에 인접한 제3 측 평면에 위치된 제3 평면 도파관을 포함한다. 제1 도파관은 제1 도파관에 결합되고 측면 위치에 배치된 제1 회절 광학 요소(DOE)를 포함한다. 제2 도파관은 제2 도파관에 결합되고 측면 위치에 배치된 제2 DOE를 포함한다. 제3 도파관은 제3 도파관에 결합되고 측면 위치에 배치된 제3 DOE를 포함한다. 아이피스는 측면 위치에서 제1 도파관과 제2 도파관 사이에 배치된 제1 광학 필터 및 측면 위치에서 제2 도파관과 제3 도파관 사이에 위치된 제2 광학 필터를 더 포함한다.

대 표 도 - 도5



(52) CPC특허분류
G02B 27/1086 (2013.01)
G02B 27/4205 (2013.01)
G02B 27/4277 (2013.01)
G02B 27/44 (2022.01)
G02B 5/1814 (2013.01)
G02B 5/1876 (2013.01)
G02B 6/0016 (2013.01)

명 세 서

청구범위

청구항 1

제1 측 평면에 위치된 제1 평면 도파관 - 상기 제1 평면 도파관은 상기 제1 평면 도파관에 광학적으로 결합된 제1 인커플링 요소(incoupling element)를 포함하고, 상기 제1 인커플링 요소는 제1 파장을 중심으로 하는 제1 파장 범위의 이미지 광을 회절시키도록 구성됨 -;

상기 제1 측 평면에 인접한 제2 측 평면에 위치된 제2 평면 도파관 - 상기 제2 평면 도파관은 상기 제2 평면 도파관에 광학적으로 결합된 제2 인커플링 요소를 포함하고, 상기 제2 인커플링 요소는 상기 제1 파장과 상이한 제2 파장을 중심으로 하는 제2 파장 범위의 이미지 광을 회절시키도록 구성됨 -; 및

상기 제1 인커플링 요소와 측면으로 정렬하여 상기 제1 평면 도파관과 상기 제2 평면 도파관 사이에 배치되는 제1 광학 요소를 포함하며,

상기 제1 광학 요소는 상기 제1 파장 범위 내에서 이미지 광을 반사하도록 구성되는,

뷰어(viewer)의 눈에 이미지를 투영하기 위한 아이피스(eyepiece).

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제1 평면 도파관은 제1 표면 및 상기 제1 표면에 대향하는 제2 표면을 포함하고, 상기 제2 평면 도파관은 제1 표면 및 상기 제1 표면에 대향하는 제2 표면을 포함하고,

상기 제2 평면 도파관의 제1 표면은 상기 제1 평면 도파관의 제2 표면에 대면하는,

뷰어의 눈에 이미지를 투영하기 위한 아이피스.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 제1 인커플링 요소는 상기 제2 평면 도파관의 제1 표면에 인접한 상기 제1 평면 도파관의 제2 표면 상에 배치되는,

뷰어의 눈에 이미지를 투영하기 위한 아이피스.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 제2 인커플링 요소와 측면으로 정렬하여 상기 제2 평면 도파관의 제2 표면에 인접하게 위치된 제2 광학 요소를 더 포함하고,

상기 제2 광학 요소는 상기 제2 파장 범위의 이미지 광을 반사하도록 구성되는,

뷰어의 눈에 이미지를 투영하기 위한 아이피스.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 제2 인커플링 요소는 상기 제1 인커플링 요소로부터 측면으로 오프셋되어 위치되는,

뷰어의 눈에 이미지를 투영하기 위한 아이피스.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 제1 광학 요소는 상기 제2 파장 범위의 이미지 광을 반사하도록 추가로 구성되는,

뷰어의 눈에 이미지를 투영하기 위한 아이피스.

청구항 7

제4항에 있어서,

상기 제2 측 평면에 인접한 제3 측 평면에 위치된 제3 평면 도파관을 더 포함하고,

상기 제3 평면 도파관은 상기 제3 평면 도파관에 결합된 제3 인커플링 요소를 포함하고,

상기 제3 인커플링 요소는 상기 제1 파장 및 상기 제2 파장과는 다른 제3 파장을 중심으로 하는 제3 파장 범위의 이미지 광을 회절시키도록 구성되는,

뷰어의 눈에 이미지를 투영하기 위한 아이피스.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 제2 인커플링 요소는 상기 제3 인커플링 요소와 측면으로 정렬하여 위치되는,

뷰어의 눈에 이미지를 투영하기 위한 아이피스.

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 제2 광학 요소는 상기 제2 파장 범위에서 약 90%보다 큰 반사율 값을 갖도록 구성되는,

뷰어의 눈에 이미지를 투영하기 위한 아이피스.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 제2 광학 요소는 상기 제3 파장 범위에서 약 90%보다 큰 투과율 값을 갖도록 추가로 구성되는,

뷰어의 눈에 이미지를 투영하기 위한 아이피스.

청구항 11

제9항에 있어서,

상기 제3 인커플링 요소와 측면으로 정렬하여 위치된 제3 광학 요소를 더 포함하고,

상기 제3 광학 요소는 상기 제3 파장 범위의 이미지 광을 반사하도록 구성되는,

뷰어의 눈에 이미지를 투영하기 위한 아이피스.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 제3 광학 요소는 상기 제2 파장 범위의 이미지 광을 반사하도록 추가로 구성되는,

뷰어의 눈에 이미지를 투영하기 위한 아이피스.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본원은 2016년 12월 22일자로 출원된 미국 특허 가출원 제62/438,315호의 이익을 주장하며, 그 내용은 그 전체가 참고로 통합된다.

배 경 기 술

[0002] 현대의 컴퓨팅 및 디스플레이 기술들은 디지털 방식으로 재생된 이미지들 또는 그 이미지들의 부분들이 진짜인 것처럼 보이거나 인식될 수 있는 방식으로 뷰어(viewer)에게 제시되는 소위 "가상 현실" 또는 "증강 현실" 경험을 위한 시스템들의 개발을 용이하게 하였다. 가상 현실 또는 "VR" 시나리오는 일반적으로 다른 실제 실세계 시각 입력에 대한 투명성 없이 디지털 또는 가상 이미지 정보의 제시를 포함하며; 증강 현실 또는 "AR" 시나리오는 일반적으로 뷰어 주위의 실제 세계의 시각화에 대한 증강으로서의 디지털 또는 가상 이미지 정보의 제시를 포함한다.

[0003] 이러한 디스플레이 기술들에서 이루어진 진보에도 불구하고, 본 기술 분야에서는 증강 현실 시스템들과 관련된 개선된 방법들 및 시스템들이 필요하다.

발명의 내용

[0004] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 뷰어의 눈에 이미지를 투영하는 아이피스(eyepiece)는 제1 측 평면에 위치된 제1 평면 도파관, 제1 측 평면에 인접한 제2 측 평면에 위치된 제2 평면 도파관, 및 제2 측 평면에 인접한 제3 측 평면에 위치된 제3 평면 도파관을 포함한다. 제1 도파관은 제1 도파관에 결합되고 측면 위치에 배치된 제1 회절 광학 요소(DOE)를 포함한다. 제1 DOE는 제1 파장을 중심으로 하는 제1 파장 범위의 이미지 광을 회절시키도록 구성된다. 제2 도파관은 제2 도파관에 결합되고 측면 위치에 배치된 제2 DOE를 포함한다. 제2 DOE는 제1 파장보다 긴 제2 파장을 중심으로 하는 제2 파장 범위의 이미지 광을 회절시키도록 구성된다. 제3 도파관은 그것에 결합되고 측면 위치에 배치된 제3 DOE를 포함한다. 제3 DOE는 제2 파장보다 긴 제3 파장을 중심으로 하는 제3 파장 범위의 이미지 광을 회절시키도록 구성된다. 아이피스는 측면 위치에서 제1 도파관과 제2 도파관 사이에 배치된 제1 광학 필터 및 측면 위치에서 제2 도파관과 제3 도파관 사이에 위치된 제2 광학 필터를 더 포함한다. 제1 광학 필터는 제1 파장 범위에서 제1 투과율 값, 제2 파장 범위 및 제3 파장 범위에서 제1 투과율 값보다 큰, 제2 투과율 값, 그리고 제1 파장에서 약 90%보다 큰 제1 반사율 값을 갖도록 구성된다. 제2 광학 필터는 제1 파장 범위 및 제2 파장 범위에서 제3 투과율 값, 제3 파장 범위에서 제3 투과율 값보다 큰 제4 투과율 값, 그리고 제2 파장에서 약 90%보다 클 수 있는 제2 반사율 값을 갖도록 구성된다. 일부 예들에서, 제1 투과율 값 및 제3 투과율 값 각각은 약 10% 미만일 수 있고, 제2 투과율 값 및 제4 투과율 값 각각은 약 90%보다 클 수 있다. 일부 다른 예들에서, 제1 투과율 값 및 제3 투과율 값 각각은 약 20% 미만일 수 있고; 제2 투과율 값 및 제4 투과율 값 각각은 약 80%보다 클 수 있다. 일부 예들에서, 제1 광학 필터는 약 0도 내지 약 45도 범위의 입사각들에 대해 제1 투과율 값 및 제2 투과율 값을 갖도록 구성될 수 있고, 제2 광학 필터는 약 0도 내지 약 45도 범위의 입사각들에 대해 제3 투과율 값 및 제4 투과율 값을 갖도록 구성될 수 있다. 일부 다른 예들에서, 제1 광학 필터는 약 0도 내지 약 25도 범위의 입사각들에 대해 제1 투과율 값 및 제2 투과율 값을 갖도록 구성될 수 있고, 제2 광학 필터는 약 0도 내지 약 25도 범위의 입사각들에 대해 제3 투과율 값 및 제4 투과율 값을 갖도록 구성될 수 있다.

[0005] 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 뷰어의 눈에 이미지를 투영하는 아이피스는 제1 측 평면에 위치된 제1 평면 도파관을 포함한다. 제1 도파관은 제1 측면 영역 및 제2 측면 영역을 갖는다. 제1 측면 영역은 측면 위치에 배치되고, 제1 측면 영역의 제1 측 표면에 입사하는 이미지 광을 수신하도록 구성된다. 이미지 광은 제1 파장을 중심으로 하는 제1 파장 범위의 이미지 광, 제1 파장보다 긴 제2 파장을 중심으로 하는 제2 파장 범위의 이미지 광, 및 제2 파장보다 긴 제3 파장을 중심으로 하는 제3 파장 범위의 이미지 광을 포함한다. 아이피스는 제1 도파관의 제1 측면 영역에 광학적으로 결합되고, 제1 파장 범위의 이미지 광을 제1 도파관으로 회절시켜 제1 도파관의 제2 측면 영역을 향해 안내되게 하도록 구성된 제1 회절 광학 요소(DOE)를 더 포함한다. 이미지 광의 제1 부분은 제1 도파관을 통해 투과된다. 아이피스는 측면 위치에서 제1 측 평면에 인접한 제2 측 평면에 위치되고 이미지 광의 제1 부분을 수신하도록 구성된 제1 광학 필터를 더 포함한다. 제1 광학 필터는 제1 파장 범위에 대한 제1 투과율 값 및 제1 투과율 값보다 큰, 제2 파장 범위 및 제3 파장 범위에 대한 제2 투과율 값을 갖도록 추가로 구성된다. 아이피스는 제2 측 평면에 인접한 제3 측 평면에 위치된 제2 평면 도파관을 더 포함한다. 제2 도파관은 제1 측면 영역 및 제2 측면 영역을 갖는다. 제1 영역은 측면 위치에 배치되며, 제1 광학 필터를 통해 투과되고 제1 영역의 제1 측 표면에 입사하는 이미지 광을 수신하도록 구성된다. 아이피스는 제2 도파관의 제1 측면 영역에 광학적으로 결합되고, 제2 파장 범위의 이미지 광을 제2 도파관으로 회절시켜 제2 도

파관의 제2 측면 영역을 향해 안내되게 하도록 구성된 제2 DOE를 더 포함한다. 이미지 광의 제2 부분은 제2 도파관을 통해 투과된다. 아이피스는 측면 위치에서 제3 측 평면에 인접한 제4 측 평면에 위치되고, 이미지 광의 제2 부분을 수신하도록 구성된 제2 광학 필터를 더 포함한다. 제2 광학 필터는 제1 파장 범위 및 제2 파장 범위에 대한 제3 투과율 값 및 제3 투과율 값보다 큰, 제3 파장 범위에 대한 제4 투과율 값을 갖도록 구성된다. 아이피스는 제4 측 평면에 인접한 제5 측 평면에 위치된 제3 평면 도파관을 더 포함한다. 제3 도파관은 제1 측면 영역 및 제2 측면 영역을 갖는다. 제1 측면 영역은 측면 위치에 배치되고, 제2 광학 필터를 통해 투과되고 제1 측면 영역의 제1 측 표면에 입사하는 이미지 광을 수신하도록 구성된다. 아이피스는 제3 도파관의 제1 측면 영역에 광학적으로 결합되고, 제3 파장 범위의 이미지 광을 제3 도파관으로 회절시켜 제3 도파관의 제2 측면 영역을 향해 안내되게 하도록 구성된 제3 DOE를 더 포함한다.

[0006] 본 발명의 또 다른 실시예에 따르면, 뷰어의 눈에 이미지 광을 투영하는 아이피스는 제1 평면 도파관을 포함한다. 제1 도파관은 제1 도파관에 광학적으로 결합된 제1 회절 광학 요소(DOE)를 포함한다. 제1 DOE는 이미지 광의 광학 경로를 따라 위치되고, 제1 파장을 중심으로 하는 제1 파장 범위의 이미지 광의 일부를 제1 평면 도파관 내로 결합하여 제1 평면 도파관 내에서 전파되게 하도록 구성된다. 아이피스는 제1 DOE로부터 아래로 광학 경로를 따라 위치된 제1 광학 필터를 더 포함한다. 제1 광학 필터는 제1 광학 필터 위에 입사하는 제1 파장 범위의 이미지 광을 감쇠시키도록 구성된다. 아이피스는 제2 평면 도파관을 더 포함한다. 제2 도파관은 제2 도파관에 광학적으로 결합된 제2 DOE를 포함한다. 제2 DOE는 제1 광학 필터로부터 아래로 광학 경로를 따라 위치되고, 제1 파장과는 다른 제2 파장을 중심으로 하는 제2 파장 범위의 이미지 광의 일부를 제2 평면 도파관 내로 결합하여 제2 평면 도파관 내에서 전파되게 하도록 구성된다. 아이피스는 제1 평면 도파관에 결합된 제2 광학 필터를 더 포함한다. 제2 광학 필터는 제1 평면 도파관 내에서 전파하는 제2 파장 범위의 이미지 광을 흡수하도록 구성된다.

[0007] 본 발명의 추가 실시예에 따르면, 뷰어의 눈에 이미지를 투영하는 아이피스는 제1 측 평면에 위치된 제1 평면 도파관, 제1 측 평면에 인접한 제2 측 평면에 위치된 제2 평면 도파관, 및 제2 측 평면에 인접한 제3 측 평면에 위치된 제3 평면 도파관을 포함한다. 제1 도파관은 제1 도파관에 결합되고 제1 측면 위치에 배치된 제1 회절 광학 요소(DOE)를 포함한다. 제2 도파관은 제2 도파관에 결합되고 제2 측면 위치에 배치된 제2 DOE를 포함한다. 제3 도파관은 제3 도파관에 결합되고 제2 측면 위치에 배치된 제3 DOE를 포함한다. 아이피스는 제2 측면 위치에서 제2 도파관과 제3 도파관 사이에 위치된 광학 필터를 더 포함한다.

[0008] 본 발명의 일부 다른 실시예들에 따르면, 뷰어의 눈에 이미지를 투영하는 아이피스는 제1 측 평면에 위치된 제1 평면 도파관을 포함한다. 제1 도파관은 제1 도파관에 광학적으로 결합된 제1 인커플링 요소(incoupling element)를 포함한다. 제1 인커플링 요소는 제1 파장을 중심으로 하는 제1 파장 범위의 이미지 광을 회절시키도록 구성된다. 아이피스는 제1 측 평면에 인접한 제2 측 평면에 위치된 제2 평면 도파관을 더 포함한다. 제2 도파관은 제2 도파관에 광학적으로 결합된 제2 인커플링 요소를 포함한다. 제2 인커플링 요소는 제1 파장과는 다른 제2 파장을 중심으로 하는 제2 파장 범위의 이미지 광을 회절시키도록 구성된다. 아이피스는 제1 인커플링 요소와 측면으로 정렬하여 제1 도파관과 제2 도파관 사이에 위치된 제1 광학 요소를 더 포함한다. 제1 광학 요소는 제1 파장 범위의 이미지 광을 반사하도록 구성된다.

도면의 간단한 설명

[0009] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른, 뷰어에 디지털 또는 가상 이미지를 제시하는 데 사용될 수 있는 뷰잉 광학 어셈블리(VOA)의 일부 내의 광 경로들을 개략적으로 도시한다.

도 2는 가상 이미지를 보기 위한 아이피스에서의 컬러 분리의 한 방법을 개략적으로 도시한다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른, 가상 이미지를 보기 위한 아이피스에서의 컬러 분리의 다른 방법을 개략적으로 도시한다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 아이피스의 평면도를 개략적으로 도시한다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 아이피스의 부분 단면도를 개략적으로 도시한다.

도 6a-6d는 본 발명의 일 실시예에 따른, 필터를 갖지 않는 아이피스에 의해 형성된 일부 예시적인 이미지들을 도시한다.

도 6e-6h는 본 발명의 일 실시예에 따른, 이색 필터를 갖는 아이피스에 의해 형성된 일부 예시적인 이미지들을 도시한다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 광학 필터의 투과율/반사율 곡선을 개략적으로 도시한다.

도 8은 본 발명의 다른 실시예에 따른 광학 필터의 투과율/반사율 곡선을 개략적으로 도시한다.

도 9a는 본 발명의 일 실시예에 따른, 그에 결합된 단파장 통과 필터(short-pass filter)를 포함하는 도파관의 부분 단면도를 개략적으로 도시한다.

도 9b는 본 발명의 일 실시예에 따른 단파장 통과 필터의 단면도를 개략적으로 도시한다.

도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른, 그에 결합된 단파장 통과 필터를 포함하는 도파관의 부분 단면도를 개략적으로 도시한다.

도 11a-11d는 아이피스 내의 도파관들의 파장 교차 결합 효과를 도시한다.

도 12a-12c는 본 발명의 일 실시예에 따른, 그에 결합된 단파장 통과 필터를 포함하는 도파관들의 부분 단면도들을 개략적으로 도시한다.

도 13a-13c는 본 발명의 다양한 실시예들에 따른 아이피스들의 부분 단면도들을 개략적으로 도시한다.

도 14는 본 발명의 일 실시예에 따른 광학 필터의 투과율/반사율 곡선을 개략적으로 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0010] 본 개시내용은 일반적으로 가상 현실 및 증강 현실 시각화 시스템들에 사용될 수 있는 아이피스들에 관한 것이다. 보다 상세하게는, 본 발명은 상이한 도파관들 사이의 컬러 분리를 위한 하나 이상의 장파장 통과 이색 필터(long-pass dichroic filter)를 포함하는 아이피스에 관한 것이다. 아이피스는 또한 파장 교차 결합을 더 감소시키기 위한 하나 이상의 단파장 통과 이색 필터를 포함할 수 있다. 이러한 아이피스는 종래의 아이피스들에 비해 더 간소한 폼 팩터 및 광 필드들의 향상된 휘도 및 콘트라스트는 물론, 감소된 파장 교차 결합을 제공할 수 있다.

[0011] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른, 뷰어에 디지털 또는 가상 이미지를 제시하는 데 사용될 수 있는 뷰잉 광학 어셈블리(VOA)의 일부 내의 광 경로들을 개략적으로 도시한다. VOA는 뷰어의 눈 주위에 착용될 수 있는 프로젝터(101) 및 아이피스(100)를 포함한다. 일부 실시예들에서, 프로젝터(101)는 적색 LED들의 그룹, 녹색 LED들의 그룹 및 청색 LED들의 그룹을 포함할 수 있다. 예컨대, 프로젝터(101)는 일 실시예에 따라 2개의 적색 LED, 2개의 녹색 LED 및 2개의 청색 LED를 포함할 수 있다. 아이피스(100)는 하나 이상의 아이피스 층을 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 아이피스(100)는 3개의 아이피스 층, 즉 삼원색인 적색, 녹색 및 청색 각각에 대해 하나씩의 아이피스 층을 포함한다. 다른 실시예에서, 아이피스(100)는 6개의 아이피스 층, 즉 하나의 깊이 평면에 가상 이미지를 형성하도록 구성된 삼원색 각각에 대한 아이피스 층들의 한 세트 및 다른 깊이 평면에 가상 이미지를 형성하도록 구성된 삼원색 각각에 대한 아이피스 층들의 다른 세트를 포함할 수 있다. 다른 실시예들에서, 아이피스(100)는 3개 이상의 상이한 깊이 평면에 대한 삼원색 각각에 대한 3개 이상의 아이피스 층을 포함할 수 있다. 각각의 아이피스 층은 평면 도파관을 포함하고, 인커플링 그레이팅(incoupling grating)(107), 직교 동공 확장기(OPE: orthogonal pupil expander) 영역(108) 및 출사 동공 확장기(EPE: exit pupil expander) 영역(109)을 포함할 수 있다.

[0012] 도 1을 계속 참조하면, 프로젝터(101)는 아이피스 층(100) 내의 인커플링 그레이팅(107) 상에 이미지 광을 투영한다. 인커플링 그레이팅(107)은 프로젝터(101)로부터의 이미지 광을 OPE 영역(108)을 향하는 방향으로 전파하는 평면 도파관 내로 결합한다. 도파관은 이미지 광을 내부 전반사(TIR: total internal reflection)에 의해 수평 방향으로 전파한다. 아이피스 층(100)의 OPE 영역(108)은 또한 도파관에서 전파하는 이미지 광의 일부를 결합하여 EPE 영역(109)을 향해 재지향시키는 회절 요소를 포함한다. EPE 영역(109)은 도파관에서 전파하는 이미지 광의 일부를 결합하여 뷰어의 눈(102)을 향해 아이피스 층(100)의 평면에 대략 수직인 방향으로 지향시키는 회절 요소를 포함한다. 이러한 방식으로, 프로젝터(101)에 의해 투영된 이미지는 뷰어의 눈(102)에 보일 수 있다. 도 1에 도시된 VOA의 부분은 뷰어의 한쪽 눈을 위한 "단안경"을 구성할 수 있다. 전체 VOA는 뷰어의 각각의 눈마다 하나씩인 그러한 2개의 단안경들을 포함할 수 있다.

[0013] 전술한 바와 같이, 프로젝터에 의해 생성된 이미지 광은 삼원색, 즉 청색(B), 녹색(G) 및 적색(R)의 광을 포함할 수 있다. 이러한 이미지 광은 구성 컬러들로 분리될 필요가 있을 것이며, 따라서 각각의 구성 컬러의 이미지 광은 아이피스 내의 각각의 도파관에 결합될 수 있다. 도 2는 "분할 동공(split pupil)" 접근법을 사용하는 한 가지 컬러 분리 방법을 개략적으로 도시한다. 이 예에서, 아이피스(230)는 청색 도파관(240), 녹색 도파관

(250) 및 적색 도파관(260)을 포함한다. 각각의 도파관(240, 250 또는 260)은 인커플링 그레이팅(ICG: incoupling grating)(242, 252 또는 262), 직교 동공 확장기(OPE) 영역(244, 254 또는 264) 및 출사 동공 확장기(EPE) 영역(246, 256 또는 266)을 포함할 수 있다. 각각의 도파관 내의 ICG, OPE 및 EPE는 특정 파장 범위를 위해 설계된다. 예컨대, 청색 도파관(240) 내의 ICG(242)는 주로 청색 광을 청색 도파관(240)으로 회절시켜 OPE 영역(244)을 향해 안내되게 하도록 구성된 회절 광학 요소(DOE)를 포함할 수 있다. 청색 도파관(240)의 OPE 영역(244)은 주로 청색 광을 EPE 영역(246)을 향해 회절시키도록 구성된 DOE를 포함할 수 있다. 청색 도파관(240)의 EPE 영역(246)은 주로 청색 광을 뷰어의 눈(270)을 향해 회절시키도록 구성된 DOE를 포함할 수 있다.

[0014] 도 2에 도시된 예에서, 컬러 분리기(220)는 프로젝터 서브시스템(210)에 의해 생성된 청색, 녹색 및 적색 컬러들의 이미지 광을 3개의 공간적으로 분리된 광 경로들, 즉 청색 광 경로(248), 녹색 광 경로(258) 및 적색 광 경로(268)로 분리할 수 있다. 청색, 녹색 및 적색 도파관들(240, 250, 260) 내의 ICG들(242, 252, 262)은 서로 측면으로 오프셋될 수 있으며, 따라서 청색 도파관(240)에 대한 ICG(242)는 청색 광 경로(248)와 정렬될 수 있고, 녹색 도파관(250)에 대한 ICG(252)는 녹색 광 경로(258)와 정렬될 수 있고, 적색 도파관(260)에 대한 ICG(262)는 적색 광 경로(268)와 정렬될 수 있다. 도 2에 도시된 아이피스(230)는 3개의 도파관(240, 250, 260) 내의 ICG들(242, 252, 262)이 서로에 대해 측면으로 변위될 필요가 있으므로 비교적 큰 폼 팩터를 가질 수 있다.

[0015] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 "인라인" 접근법을 사용하는 다른 컬러 분리 방법을 개략적으로 도시한다. 이 예에서, 아이피스(330)는 또한, 청색 도파관(340), 녹색 도파관(350) 및 적색 도파관(360)을 포함할 수 있다. 각각의 도파관(340, 350 또는 360)은 ICG(342, 352 또는 362), OPE 영역(344, 354 또는 364) 및 EPE 영역(346, 356 또는 366)을 포함할 수 있다. 여기서, 프로젝터 서브시스템(310)에 의해 생성된 청색, 녹색 및 적색 컬러들의 이미지 광은 서로 공간적으로 분리되지 않으며, 청색, 녹색 및 적색 도파관들(340, 350, 360) 내의 ICG들(342, 352, 362)은 서로에 대해 측면으로 정렬된다. 따라서, 이미지 광은 "직렬" 방식으로 순차적으로 각각의 도파관을 통과한다. 아이피스(330)는 청색 도파관(340) 내의 ICG(342)와 녹색 도파관(350) 내의 ICG(352) 사이에 위치된 제1 파장 선택 광학 요소(392) 및 녹색 도파관(350) 내의 ICG(352)와 적색 도파관(360) 내의 ICG(362) 사이에 위치된 제2 파장 선택 광학 요소(394)를 더 포함할 수 있다. 제1 및 제2 파장 선택 광학 요소들(392, 394)은 예컨대 파장 선택 광학 필터들(즉, 특정 범위의 파장들의 광을 선택적으로 투과하는 광학 요소들) 및/또는 파장 선택 광학 반사기들(즉, 특정 범위의 파장들의 광을 선택적으로 반사하는 미러들 및 다른 광학 요소들)을 나타낼 수 있다. 아래에서 더 상세히 설명되는 바와 같이, 이색 필터는 파장에 기초하여 광을 선택적으로 투과할 뿐만 아니라 반사하도록 구성된 광학 요소의 일례이다. 아래에서, 제1 및 제2 파장 선택 광학 요소들(392, 394)은 각각 "광학 필터(392)" 및 "광학 필터(394)"로도 지칭될 수 있다. 유사하게, 도 4-14 중 임의의 도면을 참조하여 설명되는 다른 파장 선택 광학 요소들은 본 명세서에서 "광학 필터들"로 또한 지칭될 수 있다.

[0016] 도 3에 도시된 바와 같이, 모두 3개의 컬러의 이미지 광이 청색 도파관(340) 내의 ICG(342) 상에 입사한다. 청색 도파관(340) 내의 ICG(342)는 주로 청색 파장 범위의 이미지 광의 일부를 청색 도파관(340) 내로 결합하여 OPE 영역(344)을 향해 안내되게 할 수 있다. 청색 도파관(340) 내의 ICG(342)는 또한, 나중에 추가로 논의되는 바와 같이 소량의 녹색 이미지 광 및 심지어 더 소량의 적색 광을 청색 도파관(340) 내로 결합할 수 있다. 청색 도파관(340) 내로 결합되지 않은 이미지 광은 청색 도파관(340)을 통해 투과되어 제1 광학 필터(392)에 입사한다. 제1 광학 필터(392)는 녹색 및 적색 파장 범위들에서 높은 투과율 값을 갖고, 청색 파장 범위에서 낮은 투과율 값을 갖도록 구성될 수 있다. 따라서, 제1 광학 필터(392)에 의해 투과되고 녹색 도파관(350) 내의 ICG(352) 상에 입사하는 이미지 광은 주로 녹색 이미지 광 및 적색 이미지 광을 포함할 수 있고, 청색 이미지 광은 거의 또는 전혀 포함하지 않을 수 있다.

[0017] 도 3을 계속 참조하면, 녹색 도파관(350) 내의 ICG(352)는 주로 녹색 파장 범위의 이미지 광의 일부를 녹색 도파관(350) 내로 결합하여 OPE 영역(354)을 향해 안내되게 할 수 있다. 녹색 도파관(350) 내의 ICG(352)는 또한, 나중에 추가로 논의되는 바와 같이 소량의 적색 이미지 광을 녹색 도파관(350) 내로 결합할 수 있다. 녹색 도파관(350) 내로 결합되지 않은 이미지 광은 녹색 도파관(350)을 통해 투과되고, 제2 광학 필터(394) 상에 입사할 수 있다. 제2 광학 필터(394)는 적색 파장 영역에서 높은 투과율 값을 갖고, 녹색 및 청색 파장 범위들에서 낮은 투과율 값을 갖도록 구성될 수 있다. 따라서, 제2 광학 필터(394)에 의해 투과되어 적색 도파관(360) 내의 ICG(362)에 입사하는 이미지 광은 주로 적색 이미지 광을 포함할 수 있고, 녹색 이미지 광 및 청색 이미지 광은 거의 또는 전혀 포함하지 않을 수 있다. 적색 도파관(360) 내의 ICG(362)는 주로 적색 파장 범위의 이미지 광의 일부를 적색 도파관(360) 내로 결합하여 OPE 영역(364)을 향해 안내되게 할 수 있다.

[0018] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 아이피스(400)의 평면도를 개략적으로 도시한다. 아이피스(400)는 인접한 측 평면들에 적층된 청색 도파관(440), 녹색 도파관(450) 및 적색 도파관(460)을 포함할 수 있다. 각각의 도파관(440, 450 또는 460)은 ICG 영역(410), OPE 영역(420) 및 EPE 영역(430)을 포함할 수 있다. 3개의 도파관(440, 450, 460)에 대한 ICG 영역들(410)은 동일한 측면 위치에 배치될 수 있고, 따라서 동일한 광학 경로를 따라 적층된다. 제1 광학 필터(492)는 청색 도파관(440)의 ICG(410)와 녹색 도파관(450)의 ICG(410) 사이에 위치될 수 있다. 제2 광학 필터(492)는 녹색 도파관(450)의 ICG(410)와 적색 도파관(460)의 ICG(410) 사이에 위치될 수 있다. 도 4에 도시된 아이피스(400)는 실질적으로 도 3과 관련하여 전술한 바와 같이 기능할 수 있다. 도 3 및 4에 도시된 아이피스는 도 2에 도시된 아이피스(230)에 비해 더 작은 폼 팩터를 가질 수 있는데, 그 이유는 3개의 도파관(440, 450, 460) 내의 ICG들(410)이 서로 측면으로 변위되는 대신에 동일한 측면 위치에 배치되기 때문이다.

[0019] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 아이피스(500)의 부분 단면도를 개략적으로 도시한다. 아이피스(500)는 제1 측 평면에 배치된 제1 평면 도파관(510)을 포함할 수 있다. 제1 도파관(510)은 제1 측면 영역(X10으로 표시됨) 및 제2 측면 영역(X11로 표시됨)을 포함할 수 있다. 제1 측면 영역(X10)은 측면 위치에 배치되고, 제1 측면 영역의 제1 측 표면에 입사하는 이미지 광(X02)을 수신하도록 구성될 수 있다. 이미지 광(X02)은 제1 파장 범위의 이미지 광, 제2 파장 범위의 이미지 광 및 제3 파장 범위의 이미지 광을 포함할 수 있다. 예컨대, 제1 파장 범위는 청색 광에 대응하는 약 462㎚ 파장을 중심으로 할 수 있고, 제2 파장 범위는 녹색 광에 대응하는 약 528㎚ 파장을 중심으로 할 수 있으며, 제3 파장 범위는 적색 광에 대응하는 약 635㎚ 파장을 중심으로 할 수 있다.

[0020] 아이피스(500)는 제1 도파관(510)의 제1 측면 영역(X10)에 광학적으로 결합된 제1 회절 광학 요소(DOE)(512)를 더 포함할 수 있다. 제1 DOE(512)는 (도 5에 도시된 바와 같은) 제1 도파관(510)의 제1 표면 또는 제1 표면에 대향하는 제1 도파관(510)의 제2 표면 상에 형성된 인커플링 그레이팅(ICG)을 포함할 수 있다. 제1 DOE는 제1 파장 범위의 이미지 광, 예컨대 청색 이미지 광(X14)을 제1 도파관(510)으로 회절시켜 제1 도파관(510)의 제2 측면 영역(X11)을 향해 안내되게 하도록 구성될 수 있다. 제2 측면 영역(X11)은 ICG와 OPE(도시되지 않음) 사이의 영역일 수 있다. 제1 도파관(510) 내로 결합되지 않은 이미지 광(X12)의 일부는 제1 도파관(510)을 통해 투과될 수 있다.

[0021] 아이피스(500)는 제1 도파관(510)의 제1 측면 영역(X10)과 동일한 측면 위치에서 제1 측 평면에 인접한 제2 측 평면에 위치된 제1 광학 필터(520)를 더 포함할 수 있다. 제1 광학 필터(520)는 제1 도파관(510)을 통해 투과된 이미지 광(X12)의 일부를 수신하도록 구성될 수 있다. 일 실시예에서, 제1 광학 필터(520)는 녹색 및 적색 광에 대응하는 파장 범위들에 대해 높은 투과율 값들을 갖고 청색 광에 대응하는 파장 범위에 대해 낮은 투과율 값들을 갖도록 장파장 통과 필터로서 구성될 수 있다. 따라서, 제1 광학 필터(520)에 의해 투과된 이미지 광(X22)은 주로 녹색 및 적색 이미지 광을 포함할 수 있다.

[0022] 아이피스(500)는 제2 측 평면에 인접한 제3 측 평면에 위치된 제2 평면 도파관(530)을 더 포함할 수 있다. 제2 도파관(530)은 제1 측면 영역(X30) 및 제2 측면 영역(X31)을 가질 수 있다. 제1 측면 영역(X30)은 제1 도파관(510)의 제1 측면 영역과 동일한 측면 위치에 배치될 수 있으며, 제1 측면 영역의 제1 측 표면 상에 입사된, 제1 광학 필터(520)에 의해 투과된 이미지 광(X22)을 수신하도록 구성될 수 있다.

[0023] 아이피스는 제2 도파관(530)의 제1 측면 영역(X30)에 광학적으로 결합된 제2 회절 광학 요소(DOE)(532)를 더 포함할 수 있다. 제2 DOE(532)는 (도 5에 도시된 바와 같은) 제2 도파관(530)의 제1 표면 또는 제1 표면에 대향하는 제2 도파관(530)의 제2 표면 상에 형성된 인커플링 그레이팅(ICG)을 포함할 수 있다. 제2 DOE(532)는 제2 파장 범위의 이미지 광, 예컨대 녹색 이미지 광(X34)을 제2 도파관(530)으로 회절시켜 제2 도파관(530)의 제2 측면 영역(X31)을 향해 안내되게 하도록 구성될 수 있다. 제2 측면 영역(X31)은 ICG와 OPE(도시되지 않음) 사이의 영역일 수 있다. 제2 도파관(530) 내로 결합되지 않은 이미지 광(X32)의 일부는 제2 도파관(530)을 통해 투과될 수 있다.

[0024] 아이피스는 제2 도파관(530)의 제1 측면 영역(X30)과 동일한 측면 위치에서 제3 측 평면에 인접한 제4 측 평면에 위치된 제2 광학 필터(540)를 더 포함할 수 있다. 제2 광학 필터(540)는 제2 도파관(530)을 통해 투과된 이미지 광(X32)의 일부를 수신하도록 구성될 수 있다. 일 실시예에서, 제2 광학 필터(540)는 적색 광에 대응하는 파장 범위에 대해 높은 투과율 값들을 갖고 청색 및 녹색 광에 대응하는 파장 범위들에 대해 낮은 투과율 값들을 갖도록 장파장 통과 필터로서 구성될 수 있다. 따라서, 제2 광학 필터(540)에 의해 투과된 이미지 광(X42)은 주로 적색 이미지 광을 포함할 수 있다.

[0025] 아이피스(500)는 제4 측 평면에 인접한 제5 측 평면에 위치된 제3 평면 도파관(550)을 더 포함할 수 있다. 제3 도파관(550)은 제1 측면 영역(X50) 및 제2 측면 영역(X51)을 가질 수 있다. 제1 측면 영역(X50)은 제2 도파관(530)의 제1 측면 영역(X30)과 동일한 측면 위치에 배치될 수 있으며, 제1 측면 영역의 제1 측 표면 상에 입사된, 제2 광학 필터(540)에 의해 투과된 이미지 광(X42)을 수신하도록 구성될 수 있다.

[0026] 아이피스(500)는 제3 도파관(550)의 제1 측면 영역(X50)에 광학적으로 결합된 제3 회절 광학 요소(DOE)(552)를 더 포함할 수 있다. 제3 DOE(552)는 (도 5에 도시된 바와 같은) 제3 도파관(550)의 제1 표면 또는 제1 표면에 대향하는 제3 도파관(550)의 제2 표면 상에 형성된 인커플링 그레이팅(ICG)(도시되지 않음)을 포함할 수 있다. 제3 DOE(552)는 제3 파장 범위의 이미지 광, 예컨대 적색 이미지 광(X54)을 제3 도파관(550)으로 회절시켜 제3 도파관(550)의 제2 측면 영역(X51)을 향해 안내되게 하도록 구성될 수 있다. 제2 측면 영역(X51)은 ICG와 OPE(도시되지 않음) 사이의 영역일 수 있다. 제3 도파관(550)에 결합되지 않은 이미지 광(X52)의 일부는 제3 도파관(550)을 통해 투과될 수 있다.

[0027] 일부 다른 실시예들에 따르면, 적색-녹색-청색 도파관들(510, 530, 550)의 순서는 도 5에 도시된 것과 다를 수 있다. 또한, 일부 실시예들에 따르면, 아이피스(500)는 3개 미만의 도파관(예컨대, 2개의 도파관) 또는 3개보다 많은 도파관(예컨대, 각각의 컬러에 대해 3개씩인 9개의 도파관)을 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 아이피스(500)는 적색, 녹색 및 청색 이외의 컬러들에 대한 도파관들을 포함할 수 있다. 예컨대, 아이피스는 적색, 녹색 및 청색 대신 또는 이들에 더하여 마젠타 및 시안에 대한 도파관들을 포함할 수 있다.

[0028] 일부 실시예들에서, 제1 광학 필터(520)는 녹색 및 적색 광을 투과하고 청색 광을 반사하는 이색 장파장 통과 필터로서 구성될 수 있다. 따라서, 청색 파장 영역(X24)에 있는, 제1 도파관(510)을 통해 투과된 이미지 광(X12)의 일부는 제1 도파관(510)을 향해 다시 반사되고, 제1 DOE에 의해 제1 도파관(510)으로 회절되어 제1 도파관(510) 내의 OPE 및 EPE로 안내되어 뷰어에게 출력될 수 있다. 따라서, 뷰어에게 출력되는 청색 광 필드의 휘도 및 콘트라스트가 향상될 수 있다.

[0029] 유사하게, 제2 광학 필터(540)는 적색 광을 투과하고 청색 및 녹색 광을 반사하는 이색 장파장 통과 필터로서 구성될 수 있다. 따라서, 녹색 파장 영역(X44)에 있는, 제2 도파관(530)을 통해 투과된 이미지 광(X32)의 일부는 제2 도파관(530)을 향해 다시 반사되고, 제2 DOE에 의해 제2 도파관(530)으로 회절되어 제2 도파관(530) 내의 OPE 및 EPE로 안내되어 뷰어에게 출력될 수 있다. 따라서, 뷰어에게 출력되는 녹색 광 필드의 휘도 및 콘트라스트가 향상될 수 있다.

[0030] 일부 실시예들에서, 아이피스는 제3 도파관(550)의 제2 측면 영역(X50)과 동일한 측면 위치에서 제5 측 평면에 인접한 제6 측 평면에 위치된 광학 반사기(560)를 더 포함할 수 있다. 전술한 이색 장파장 통과 필터들과 같이, 광학 반사기(560)는 제3 도파관(550)을 통해 투과된 이미지 광(X52)을 다시 제3 도파관(550)을 향해 반사하도록 구성될 수 있다. 적색 파장 범위에서 광학 반사기(560)에 의해 반사된 이미지 광(X64)의 일부는 제3 DOE에 의해 제3 도파관(550)으로 회절되어 제3 도파관(550)의 OPE 및 EPE로 안내되고 뷰어에게 출력될 수 있다. 일부 예들에서, 광학 반사기(560)는 적어도 적색 파장 범위의 광을 반사하도록 구성된 이색 필터와 같은 파장 선택 광학 요소로서 구현될 수 있다. 다른 예들에서, 광학 반사기(560)는 비교적 넓은 범위의 파장들을 반사하도록 구성된 미러 또는 다른 광학 요소로서 구현될 수 있다. 어느 경우에나, 뷰어에게 출력되는 적색 광 필드의 휘도 및 콘트라스트가 향상될 수 있다.

[0031] 도 6a-6d는 일 실시예에 따른, 이색 필터를 갖지 않는 아이피스에 의해 형성된 일부 예시적인 이미지들을 도시한다. 도 6a는 적색 이미지 광, 녹색 이미지 광 및 청색 이미지 광을 포함하는 이미지 광에 의해 형성된 이미지이다. 도 6b-6d는 각각 적색 이미지 광, 녹색 이미지 광 및 청색 이미지 광에 의해 형성된 이미지들이다. 도 6e-6h는 일 실시예에 따른, 도 5에 도시된 아이피스(500)와 같은 이색 필터들을 갖는 아이피스에 의해 형성된 일부 예시적인 이미지들을 도시한다. 도 6e는 적색 이미지 광, 녹색 이미지 광 및 청색 이미지 광을 포함하는 이미지 광에 의해 형성된 이미지이다. 도 6f-6h는 각각 적색 이미지 광, 녹색 이미지 광 및 청색 이미지 광에 의해 형성된 이미지들이다. 알 수 있듯이, 이색 필터들을 갖는 아이피스에 의해 형성된 이미지들은 이색 필터를 갖지 않는 아이피스에 의해 형성된 것들보다 밝을 수 있다. 사실상, 이색 필터들의 반사 특성들은 도파관 기반 아이피스들에서 휘도를 향상시키는 역할을 할 수 있다.

[0032] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 제1 광학 필터(520)에 대한 투과율/반사율 곡선을 개략적으로 도시한다. 제1 광학 필터(520)는 임계 파장(예컨대, 510㎚)보다 긴 파장들에 대해 높은 투과율 값들(예컨대, 100%에 가까움) 및 낮은 반사율 값들(예컨대, 0%에 가까움)을 갖고 임계 파장보다 짧은 파장들에 대해 낮은 투과율 값들(예컨대, 0%에 가까움) 및 높은 반사율 값들(예컨대, 100%에 가까움)을 갖는 장파장 통과 필터로서 구성될 수

있다.

[0033] 일부 실시예들에서, 제1 광학 필터(520)는 임계 파장(예컨대, 510㎚)보다 긴 파장들에 대해 약 90%보다 큰 투과율 값들을 갖고, 임계 파장보다 짧은 파장들에 대해 약 10% 미만의 투과율 값들을 갖도록 구성될 수 있다. 일부 다른 실시예들에서, 제1 광학 필터(520)는 임계 파장(예컨대, 510㎚)보다 긴 파장들에 대해 약 80%보다 큰 투과율 값들을 갖고, 임계 파장보다 짧은 파장들에 대해 약 20% 미만의 투과율 값들을 갖도록 구성될 수 있다 파장. 제1 광학 필터(520)는 다른 투과율 값 범위들을 가질 수 있다. 컬러 콘트라스트는 투과율 값 범위들에 따라 다를 수 있다.

[0034] 제1 광학 필터(520)는 예컨대 다층 박막 필터를 포함할 수 있다. 다층 박막 필터의 투과율/반사율 곡선은 일반적으로 입사각에 민감하다. 예컨대, 제1 광학 필터(520)는 0도의 입사각(즉, 수직 입사)에 대해 실선(710)으로 표현된 투과율/반사율 곡선을 갖도록 설계될 수 있으며, 여기서 임계 파장은 약 510㎚이다. 입사각이 증가하는 경우, 임계 파장은 더 짧은 파장들로 시프트될 수 있다. 예컨대, 임계 파장은 점선(720)으로 표현된 바와 같이 45도 입사각에 대해 약 459㎚로 시프트될 수 있다. 일부 실시예들에서, 제1 광학 필터(520)는 임계 파장이 미리 결정된 입사각들의 범위에 대해 녹색 이미지 광의 중심 파장(예컨대, 528㎚) 아래에 그리고 청색 이미지 광의 중심 파장(예컨대, 462㎚) 위에 유지되도록 설계될 수 있다. 일 실시예에서, 미리 결정된 입사각들의 범위는 90도 시야(FOV: field of view)에 대해 약 0도 내지 약 45도일 수 있다. 다른 실시예에서, 미리 결정된 입사각들의 범위는 50도 FOV에 대해 약 0도 내지 약 25도일 수 있다. 그러한 필터 설계는 제1 광학 필터(520)에 대한 각도에 둔감한 동작을 가능하게 할 수 있다. 즉, 제1 광학 필터(520)는 이미지 광의 입사각이 미리 결정된 범위 내에 있는 한은 녹색 및 적색 광을 투과하고 청색 광을 반사할 것이다.

[0035] 도 8은 본 발명의 다른 실시예에 따른 제1 광학 필터(520)의 투과율/반사율 곡선을 개략적으로 도시한다. 여기서, 제1 광학 필터(520)는 45도 입사각에 대해 실선(810)으로 표현된 투과율/반사율 곡선을 갖도록 설계될 수 있으며, 여기서 임계 파장은 약 459㎚이다. 입사각이 감소하는 경우, 임계 파장은 더 긴 파장들로 시프트될 수 있다. 예컨대, 임계 파장은 점선(820)으로 표현된 바와 같이 0도의 입사각에 대해 약 510㎚로 시프트될 수 있다. 제1 광학 필터(520)는 각도에 둔감한 동작을 위해 임계 파장이 미리 결정된 입사각들의 범위에 대해 녹색 이미지 광의 중심 파장(예컨대, 528㎚) 아래에 그리고 청색 이미지 광의 중심 파장(예컨대, 462㎚) 위에 유지되도록 설계될 수 있다.

[0036] 제2 광학 필터(540)는 또한 각도에 둔감한 동작을 위해 설계될 수 있다. 예컨대, 제2 광학 필터(540)는 미리 결정된 입사각들의 범위에 대해 적색 이미지 광의 중심 파장(예컨대, 635㎚) 아래에 그리고 녹색 이미지 광의 중심 파장(예컨대, 528㎚) 위에 임계 파장을 갖는 장파장 통과 필터로서 설계될 수 있다.

[0037] 도 5를 참조하면, 일부 다른 실시예들에서, 적색-녹색-청색 도파관들(510, 530, 550)은 상이하게 배열될 수 있다. 예컨대, 제1 도파관(510)은 적색 도파관으로서 구성될 수 있고, 제2 도파관(530)은 녹색 도파관으로서 구성될 수 있으며, 제3 도파관(550)은 청색 도파관으로서 구성될 수 있다. 이 경우, 제1 광학 필터(520)는 청색 및 녹색 파장 범위들에서 높은 투과율 값들을 갖고 적색 파장 범위에서 낮은 투과율 값을 갖는 단파장 통과 필터로서 구성될 수 있다. 유사하게, 제2 광학 필터(550)는 청색 파장 범위에서 높은 투과율 값을 갖고 녹색 및 적색 파장 범위들에서 낮은 투과율 값들을 갖는 단파장 통과 필터로서 구성될 수 있다.

[0038] 다른 예로서, 제1 도파관(510)은 청색 도파관으로서 구성될 수 있고, 제2 도파관(530)은 적색 도파관으로서 구성될 수 있으며, 제3 도파관(550)은 녹색 도파관으로서 구성될 수 있다. 이 경우, 제1 광학 필터(520)는 녹색 및 적색 파장 범위들에서 높은 투과율 값들을 갖고 청색 파장 범위에서 낮은 투과율 값을 갖는 장파장 통과 필터로서 구성될 수 있다. 제2 광학 필터(540)는 녹색 파장 범위에서 높은 투과율 값을 갖고 적색 파장 범위에서 낮은 투과율 값을 갖는 단파장 통과 필터로서 구성될 수 있다.

[0039] 도 5를 참조하면, 앞서 설명한 바와 같이, 제1 도파관(510)의 제1 측면 영역(X10)에 결합된 제1 DOE(512)(ICG로도 또한 지칭됨)는 주로 청색 광을 제1 도파관(510)으로 회절시키도록 설계될 수 있다. 실제로, 제1 DOE(512)는 또한 소량의 녹색 광을 제1 도파관(510)으로 회절(즉, 교차 결합)시킬 수 있다. 도 9a는 이러한 상황을 도시한다. 여기서는, 청색 이미지 광, 녹색 이미지 광 및 적색 이미지 광이 제1 도파관(510) 상에 입사한다. 제1 DOE(512)는 주로 청색 광을 제1 도파관(510)으로 회절시켜 제2 측면 영역(X11)을 향하여 안내되게 하지만, 소량의 녹색 이미지 광이 또한 제1 DOE(512)에 의해 제1 도파관(510)으로 회절될 수 있다.

[0040] 유사하게, 제2 도파관(530)의 제1 측면 영역(X30)에 결합된 제2 DOE(532)는 주로 녹색 광을 제2 도파관(530)으로 회절시키도록 설계될 수 있다. 실제로, 제2 DOE(532)는 또한 소량의 적색 광을 제2 도파관(530) 내로 교차

결합시킬 수 있다. 도 10은 이러한 상황을 도시한다. 여기서는, 녹색 이미지 광 및 적색 이미지 광이 장파장 통과 필터(520)에 의해 투과되어 제2 도파관(530) 상에 입사할 수 있다. 제2 DOE(532)는 주로 녹색 광을 제2 도파관(530)으로 회절시켜 제2 측면 영역(X31)을 향해 안내되게 하지만, 소량의 적색 이미지 광이 또한 제2 DOE에 의해 제2 도파관(530)으로 회절될 수 있다.

[0041] 도 11a-11d는 파장 "교차 결합" 효과를 도시한다. 도 11a는 청색 도파관에 의해 형성된 청색 광 필드의 이미지를 도시한다. 도 11b는 청색 도파관에 의해 교차 결합된 녹색 광 필드의 이미지를 도시한다. 도 11c는 녹색 도파관에 의해 형성된 녹색 광 필드의 이미지를 도시한다. 도 11d는 녹색 도파관에 의해 교차 결합된 적색 광 필드의 이미지를 도시한다.

[0042] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 제1 도파관(510)은 도 9a에 도시된 바와 같이 제1 도파관(510)의 제2 측면 영역(X11)에 결합된 제1 단파장 통과 필터(518)를 포함할 수 있다. 제1 단파장 통과 필터(518)는 청색 광을 통과시키고 녹색 광을 흡수하도록 구성될 수 있으므로, 제1 도파관(510) 내로 교차 결합된 녹색 이미지 광은 제1 단파장 통과 필터(518)에 의해 흡수될 수 있으며, 따라서 제1 도파관(510)의 OPE 및 EPE 영역들로 전파되는 것이 방지될 수 있다.

[0043] 일 실시예에 따르면, 제2 도파관(530)은 또한 도 10에 도시된 바와 같이 제2 도파관(530)의 제2 측면 영역(X31)에 결합된 제2 단파장 통과 필터(538)를 포함할 수 있다. 제2 단파장 통과 필터(538)는 녹색 광을 통과시키고 적색 광을 흡수하도록 구성될 수 있으므로, 제2 도파관(530) 내로 교차 결합된 적색 이미지 광은 제2 단파장 통과 필터(538)에 의해 흡수될 수 있으며, 따라서 제2 도파관(530)의 OPE 및 EPE 영역들로 전파되는 것이 방지될 수 있다.

[0044] 도 9b는 본 발명의 일 실시예에 따른 단파장 통과 필터(518)의 단면도를 개략적으로 도시한다. 단파장 통과 필터(518)는 제1 도파관(510)의 제2 측면 영역(X11)의 외면 상에 배치될 수 있다. 일부 실시예들에서, 단파장 통과 필터(518)는 제1 도파관(510)의 외면 상에 배치된 이색 층(910)을 포함할 수 있다. 이색 층(910)은 예컨대 도 7에 도시된 것과 유사한 투과율/반사율 곡선을 갖도록 설계된 다층 박막을 포함할 수 있으며, 여기서 임계 파장은 미리 결정된 입사각 범위에 대해 녹색 이미지 광의 중심 파장(예컨대, 528㎚) 아래에 그리고 청색 이미지 광의 중심 파장(예컨대, 462㎚) 위에 있다. 따라서, 이색 층(910)은 그 위에 입사된 청색 이미지 광을 다시 제1 도파관(510)으로 반사하여 EPE 영역을 향하여 안내되게 하고, 그 위에 입사된 녹색 이미지 광을 투과할 수 있다. 단파장 통과 필터(518)는 이색 층(910) 상에 배치된 종단 기판(920)(예컨대, 유리 층) 및 종단 기판(920) 상에 배치된 흡수 층(930)을 더 포함할 수 있다. 흡수 층(930)은 이색 층(910)에 의해 투과된 광을 흡수하도록 구성될 수 있다.

[0045] 도 12a는 일부 실시예들에 따른 도파관(1200)을 개략적으로 도시한다. 도파관(1200)은 제1 측면 영역(1202) 및 제2 측면 영역(1204)을 포함할 수 있다. 도파관(1200)은 또한 제1 측면 영역(1202)에 광학적으로 결합되고 입사 광(Y02a)의 일부를 도파관(1200)으로 회절시키도록 구성된 회절 광학 요소(DOE)(1203)를 포함할 수 있다. 예컨대, DOE(1203)는 주로 청색 광을 제1 도파관(1200)으로 회절시키도록 설계될 수 있다. 실제로, DOE는 또한 앞서 논의한 바와 같이 소량의 녹색 광을 제1 도파관(1200)으로 회절(즉, 교차 결합)시킬 수 있다.

[0046] 도파관(1200)은 또한 도파관(1200)의 제2 측면 영역(1204)에 결합된 단파장 통과 필터(1210)를 포함할 수 있다. 단파장 통과 필터(1210)는 예컨대 기판 도핑 프로세스에 의해 도파관(1200) 내에 매립된 굴절률 매칭 특성들을 갖는 입자들을 포함할 수 있다. 입자들은 예컨대 녹색 광, 또는 청색 광보다 긴 파장을 갖는 광을 흡수하고, 청색 광을 투과할 수 있다. 일부 실시예들에서, 굴절률 매칭은 엄격한 요건이 아닐 수 있다. 그러한 경우들에서, 광은 입자들과 도파관 매체 사이의 계면들에서 굴절될 수 있지만, 그럼에도 불구하고 원래의 각도들로 계속 전파할 수 있다. 불연속 점들에서의 산란을 최소화하는 것이 바람직할 수 있다.

[0047] 도 12b는 일부 다른 실시예들에 따른 도파관(1200)을 개략적으로 도시한다. 도파관(1200)은 도파관(1200)의 제2 측면 영역(1204)에 결합된 단파장 통과 필터(1220)를 포함할 수 있다. 여기서, 단파장 통과 필터(1220)는 도파관(1200)의 제2 측면 영역(1204) 내의 공동을 포함할 수 있으며, 공동의 최상부 표면은 도파관(1200)의 외면과 같은 높이에 있다. 공동은 녹색 광, 또는 청색 광보다 긴 파장을 갖는 광을 흡수하는 굴절률 매칭 염료로 채워질 수 있다. 일부 실시예들에서, 공동을 형성하고 채우는 대신에, 도파관(1200)의 표면을 통해 염료를 확산시켜 도파관(1200) 내에 부분적으로 또는 완전히 염색된(또는 "도핑된") 볼륨을 생성함으로써 필터가 생성될 수 있다. 일 실시예에서, 염료의 굴절률은 도파관(1200)의 굴절률에 매칭될 수 있으며, 따라서 염료는 내부 전반사(TIR)에 의한 도파관(1200)에서의 청색 이미지 광의 전파에 영향을 주지 않는다. 일부 다른 실시예들에서, 소정의 굴절률 미스매치는 그것이 전파에 영향을 주지 않고 계면들에서의 산란이 어느 정도 제어되는 한은 허용

될 수 있다.

[0048] 도 12c는 일부 추가 실시예들에 따른 도파관(1200)을 개략적으로 도시한다. 도파관(1200)은 도파관(1200)의 제2 측면 영역(1204)의 외면에 도포된 염료 층(1230)을 포함할 수 있다. 염료 층(Y13c)은 녹색 광, 또는 청색 광보다 긴 파장을 갖는 광을 흡수할 수 있고, 청색 광을 반사한다.

[0049] 도 13a는 본 발명의 다른 실시예에 따른 아이피스의 부분 단면도를 도시한다. 아이피스는 제1 측 평면에 위치된 제1 평면 도파관(1310), 제1 측 평면에 인접한 제2 측 평면에 위치된 제2 평면 도파관(1340), 및 제2 측 평면에 인접한 제3 측 평면에 위치된 제3 평면 도파관(1370)을 포함할 수 있다. 입력 이미지 광은 2개의 광학 경로로 분할되고, 청색 및 적색 이미지 광은 제1 측면 위치에서 아이피스에 입사하고, 녹색 이미지 광은 제1 측면 위치로부터 변위된 제2 측면 위치에서 아이피스 상에 입사한다.

[0050] 아이피스는 제2 측면 위치에서 제1 도파관(1310)의 제1 표면 상에 배치된 인커플링 그레이팅(ICG)과 같은 제1 회절 광학 요소(DOE)(1320)를 더 포함할 수 있다. 제1 DOE는 그 위에 입사하는 녹색 이미지 광의 일부를 수신하여 제1 도파관(1310)으로 회절시켜 제1 도파관(1310)의 OPE 및 EPE 영역들로 안내되게 하도록 구성된다. 아이피스는 제2 측면 위치에서 제1 도파관(1310)의 제2 표면 상에 배치된 제1 광학 반사기(1330)를 더 포함할 수 있다. 일부 예들에서, 광학 반사기(1330)는 적어도 녹색 파장 범위의 광을 반사하도록 구성된 이색 필터와 같은 파장 선택 광학 요소로서 구현될 수 있다. 다른 예들에서, 광학 반사기(1330)는 비교적 넓은 범위의 파장들을 반사하도록 구성된 미러 또는 다른 광학 요소(예컨대, 알루미늄 도금 재료)로서 구현될 수 있다. 결과적으로, 어느 경우에나, 제1 광학 반사기(1330)는 최초 통과시에 제1 DOE(1320)에 의해 제1 도파관(1310) 내로 결합되지 않은 녹색 이미지 광을 제1 DOE(1320)를 향해 다시 반사하도록 구성될 수 있다. 제1 광학 반사기(1330)에 의해 반사된 녹색 이미지 광의 일부는 제1 DOE(1320)에 의해 제1 도파관(1310)으로 회절될 수 있다. 따라서, 뷰어에게 출력되는 녹색 광 필드의 휘도 및 콘트라스트가 향상될 수 있다.

[0051] 아이피스는 제1 측면 위치에서 제2 도파관(1340)의 제1 표면 상에 배치된 제2 DOE(1350)를 더 포함할 수 있다. 제2 DOE(1350)는 그 위에 입사하는 청색 이미지 광의 일부를 수신하여 제2 도파관(1340)으로 회절시켜 제2 도파관(1340)의 OPE 및 EPE 영역을 향해 안내되게 하도록 구성될 수 있다. 아이피스는 제1 측면 위치에서 제2 도파관(1340)의 제2 표면 상에 배치된 광학 필터(1360)(즉, 파장 선택 광학 요소)를 더 포함할 수 있다. 광학 필터(1360)는 적색 이미지 광에 대해 높은 투과율 값을 갖고, 청색 이미지 광에 대해 낮은 투과율 값 및 높은 반사율 값을 갖도록 구성된 이색 장파장 통과 필터를 포함할 수 있다. 따라서, 최초 통과시에 제2 DOE(1350)에 의해 제2 도파관(1340) 내로 결합되지 않은 청색 이미지 광의 일부는 제2 DOE(1350)를 향해 다시 반사되고, 제2 DOE(1350)에 의해 제2 도파관(1340) 내로 결합될 수 있다. 따라서, 뷰어에게 출력되는 청색 광 필드의 휘도 및 콘트라스트가 향상될 수 있다. 광학 필터(1360)에 의해 투과된 적색 이미지 광은 제3 도파관(1370) 상에 입사한다.

[0052] 아이피스는 제1 측면 위치에서 제3 도파관(1370)의 제1 표면 상에 배치된 제3 DOE(1380)를 더 포함할 수 있다. 제3 DOE(1380)는 그 위에 입사된 적색 이미지 광의 일부를 수신하여 제3 도파관(1370)으로 회절시켜 제3 도파관(1370)의 OPE 및 EPE 영역을 향해 안내되게 하도록 구성될 수 있다. 아이피스는 제1 측면 위치에서 제3 도파관(1370)의 제2 표면 상에 배치된 제2 광학 반사기(1390)를 더 포함할 수 있다. 일부 예들에서, 광학 반사기(1390)는 적어도 적색 파장 범위의 광을 반사하도록 구성된 이색 필터와 같은 파장 선택 광학 요소로서 구현될 수 있다. 다른 예들에서, 광학 반사기(1390)는 비교적 넓은 범위의 파장들을 반사하도록 구성된 미러 또는 다른 광학 요소(예컨대, 알루미늄 도금 재료)로서 구현될 수 있다. 어느 경우에나, 제2 광학 반사기(1390)는 최초 통과시에 제3 DOE(1380)에 의해 제3 도파관(1370) 내로 결합되지 않은 적색 이미지 광을 제3 DOE(1380)를 향하여 다시 반사하도록 구성될 수 있다. 제2 광학 반사기(1390)에 의해 반사된 적색 이미지 광의 일부는 제3 DOE(1380)에 의해 제3 도파관(1370)으로 회절될 수 있다. 따라서, 뷰어에게 출력되는 적색 광 필드의 휘도 및 콘트라스트가 향상될 수 있다.

[0053] 도 13b는 본 발명의 추가 실시예에 따른 아이피스의 부분 단면도를 도시한다. 도 13b에 도시된 아이피스는 제1 DOE가 제1 광학 반사기(1330)와 동일한 표면인 제1 도파관(1310)의 제2 표면 상에 배치되고, 제2 DOE(1350)가 광학 필터(1360)와 동일한 표면인 제2 도파관(1340)의 제2 표면 상에 배치되고, 제3 DOE(1380)가 제2 광학 반사기(1390)와 동일한 표면인 제3 도파관(1370)의 제2 표면 상에 배치된다는 점 외에는 도 13a에 도시된 아이피스와 유사하다.

[0054] 도 13c는 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 아이피스의 부분 단면도를 도시한다. 도 13c에 도시된 아이피스는 광학 필터(1360)가 제3 도파관(1370)의 제1 표면 상에 배치된다는 점 외에는 도 13b에 도시된 아이피스와 유사

하다.

[0055] 도 13a-13c에 도시된 실시예들 각각은 그 자신의 장단점을 가질 수 있다. 도 13a에 도시된 실시예에서, 제1 DOE, 제2 DOE 및 제3 DOE는 도파관의 제1 표면 상에 형성되므로, 이들은 투과 모드로 동작한다. 이에 비해, 도 13b 및 13c에 도시된 실시예들에서는, 제1 DOE, 제2 DOE 및 제3 DOE가 도파관의 제2 표면 상에 형성되며, 따라서 반사 모드로 동작한다. DOE들은 투과 모드에서보다 반사 모드에서 더 효율적일 수 있다. 반사 모드에서 DOE들을 알루미늄 도금하는 것은 회절 효율을 더 증가시킬 수 있다. DOE 및 이색 필터를 대향 표면들 상에 갖는 것은 양 표면들 상의 패터닝을 필요로 하므로, 제조를 더 어려워지게 할 수 있다.

[0056] 도 14는 본 발명의 일 실시예에 따른 광학 필터(1360)의 투과율/반사율 곡선을 개략적으로 도시한다. 광학 필터(1360)의 투과율/반사율 곡선은 임계값보다 긴 파장들에 대해 높은 투과율 값들(예컨대, 100%에 가까움) 및 낮은 반사율 값들(예컨대, 0%에 가까움)을 갖고 임계값보다 짧은 파장들에 대해 낮은 투과율 값들(예컨대, 0%에 가까움) 및 높은 반사율 값들(예컨대, 100%에 가까움)을 나타낸다는 점에서 도 7 및 8에 도시된 것들과 유사하다.

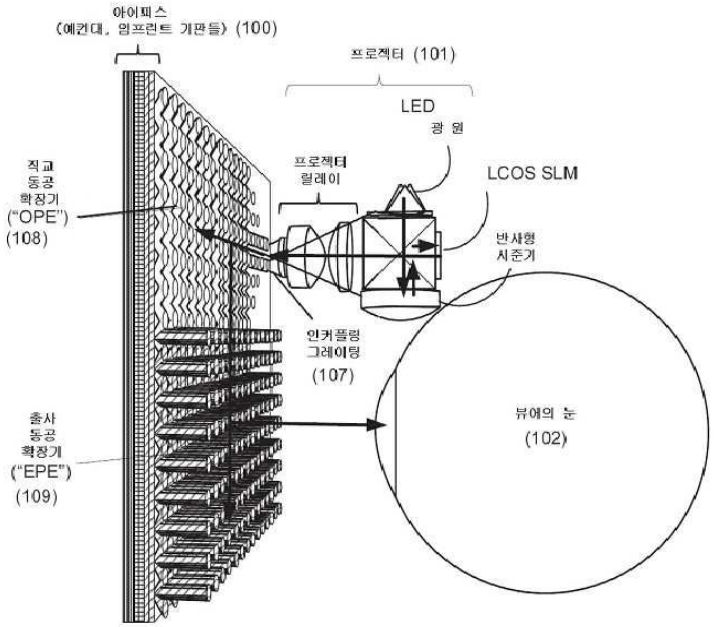
[0057] 광학 필터(1360)는 앞서 논의한 바와 같이 투과율/반사율 특성들이 입사각에 민감할 수 있는 다층 박막을 포함할 수 있다. 예컨대, 광학 필터(1360)는 45도의 입사각에 대해 실선(1410)으로 표현된 투과율/반사율 곡선을 갖도록 설계될 수 있다. 입사각이 감소하는 경우, 상승 에지는 더 긴 파장들로 시프트될 수 있다. 예컨대, 0도의 입사각에 대한 투과율/반사율 곡선은 점선(1420)으로 표시될 수 있다.

[0058] 앞서 논의한 바와 같이, 광학 필터(1360)에 대한 각도에 둔감한 동작을 가능하게 하기 위해, 투과율/반사율 곡선의 상승 에지는 미리 결정된 입사각 범위(예컨대, 약 0도 내지 약 45도)에 대해 적색 이미지 광의 중심 파장(예컨대, 635㎚) 아래에 그리고 청색 이미지 광의 중심 파장(예컨대, 462㎚) 위에 유지되는 것이 바람직할 수 있다. 여기서, 청색 및 적색 이미지 광만이 광학 필터(1360) 상에 입사하므로, 그리고 청색 이미지 광 및 적색 이미지 광의 중심 파장들이 서로 비교적 멀리 떨어져 있으므로, 투과율/반사율 프로파일에 대한 요건이 더 완화될 수 있다. 예컨대, 투과율/반사율 곡선의 상승 에지는 도 7 및 8에 도시된 것에 비하여 0도의 입사각과 45도의 입사각 사이에서 더 큰 파장 범위만큼 시프트될 수 있다. 또한, 투과율/반사율 곡선의 상승 에지는 도 7 및 8에 도시된 것들과 같은 정도로 급격할 필요가 없을 수 있다. 따라서, 도 13a-13c에 도시된 아이피스는 필터의 투과율/반사율 프로파일에 대한 덜 엄격한 요건을 가지면서, 청색-녹색-적색 이미지 광이 3개의 분리된 광 경로로 분리되는 도 2에 도시된 아이피스에 비해 더 작은 폼 팩터를 제공할 수 있다.

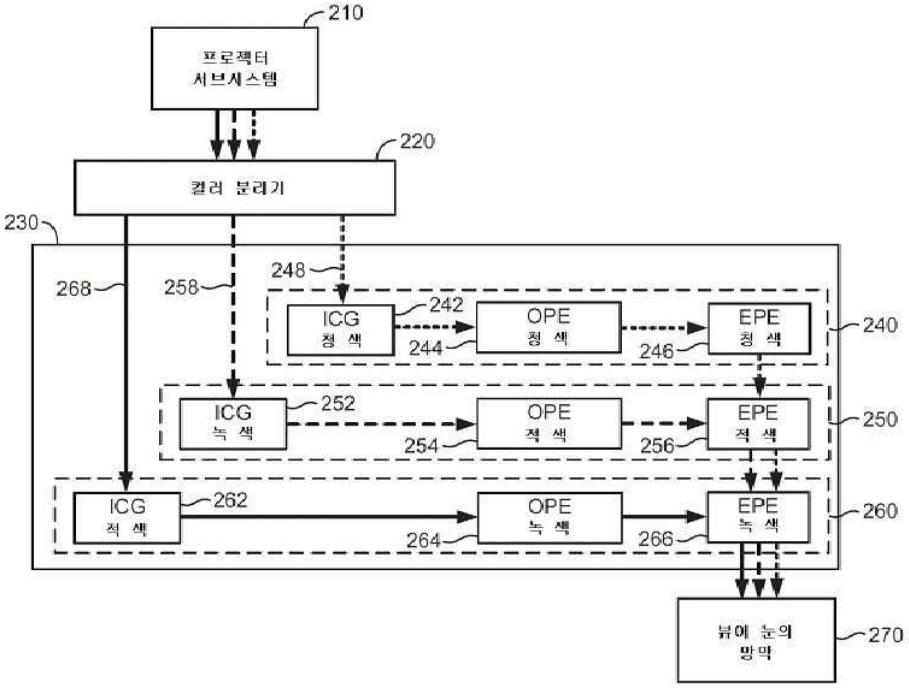
[0059] 본 명세서에 설명된 예들 및 실시예들은 예시의 목적을 위한 것일 뿐이며, 이들을 고려한 다양한 수정들 또는 변경들이 당해 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자들에게 제안될 것이며, 본 출원의 사상 및 범위 및 첨부된 청구항들의 범위 내에 포함되어야 한다고 이해된다.

도면

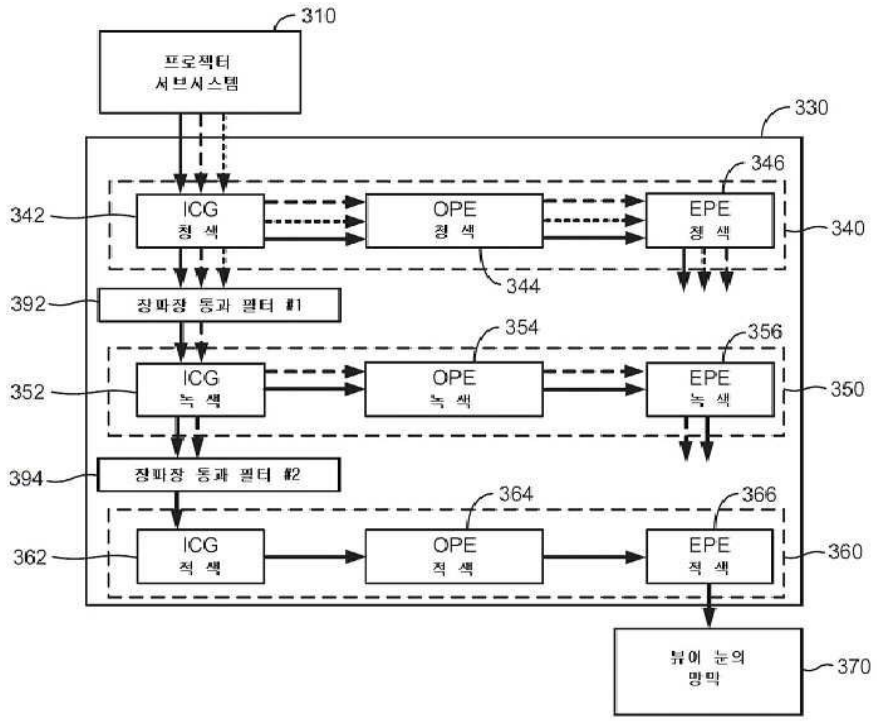
도면1


아이피스
(예컨대, 임프린트 기판들) (100)
프로젝터 (101)
LED
광 원
프로젝터
릴레이
LCOS SLM
직교
동공
확장기
("OPE")
(108)
반사형
시준기
인커플링
그레이팅
(107)
뷰어의 눈
(102)
출사
동공
확장기
("EPE")
(109)

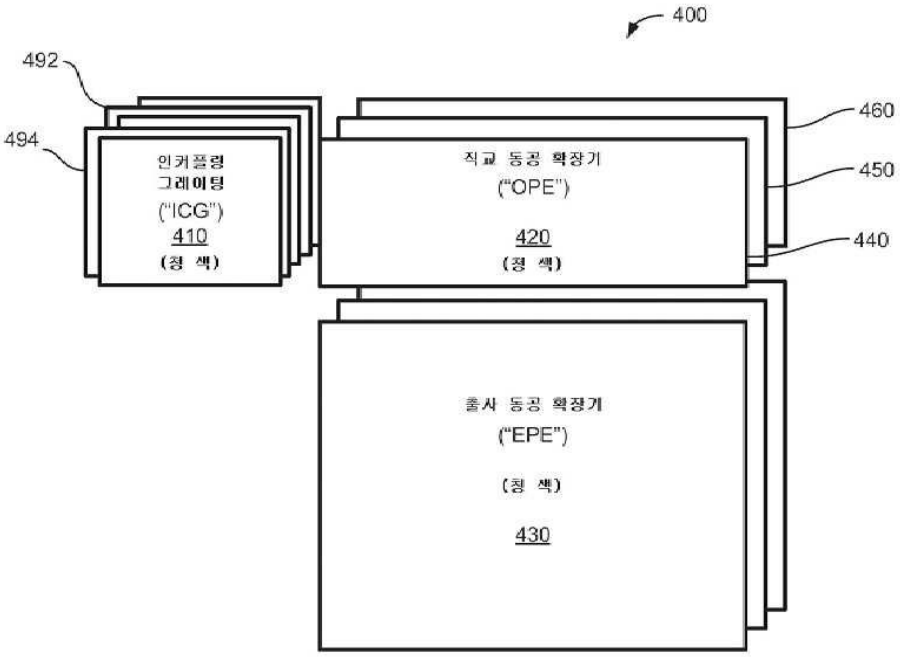
도면2


210
프로젝터
시브시스템
220
컬러 분리기
230
268
258
248
ICG
청 색
242
244
OPE
청 색
246
EPE
청 색
240
ICG
녹 색
252
254
OPE
적 색
256
EPE
적 색
250
ICG
적 색
262
264
OPE
녹 색
266
EPE
녹 색
260
뷰어 눈의
망막
270

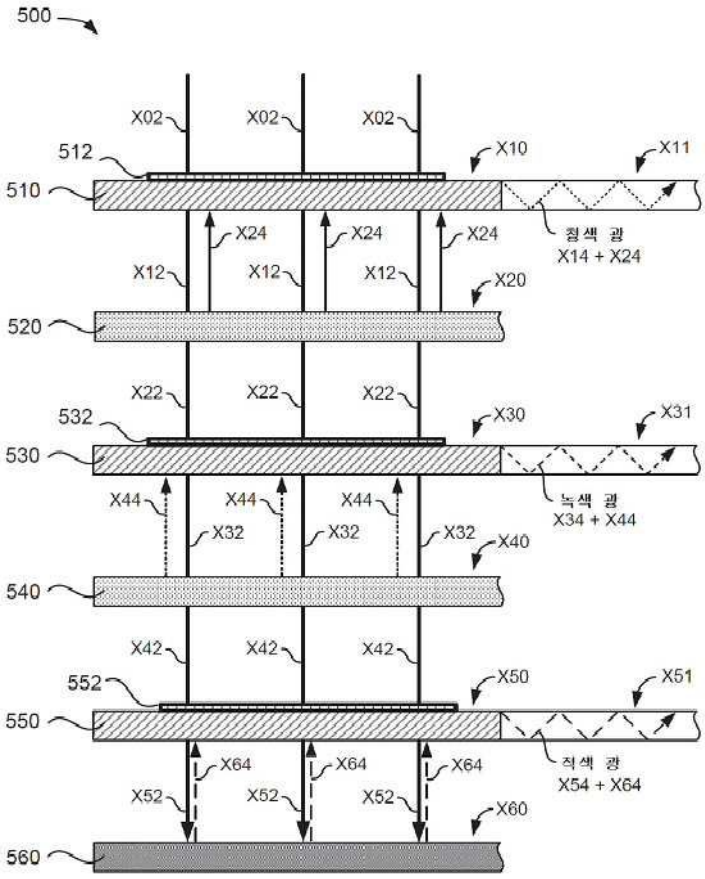
도면3


310
프로젝터
서브시스템
330
346
342
ICG
청 색
OPE
청 색
EPE
청 색
340
344
392
장파장 통과 필터 #1
354
356
352
ICG
녹 색
OPE
녹 색
EPE
녹 색
350
394
장파장 통과 필터 #2
364
366
362
ICG
적 색
OPE
적 색
EPE
적 색
360
뷰어 눈의
망막
370

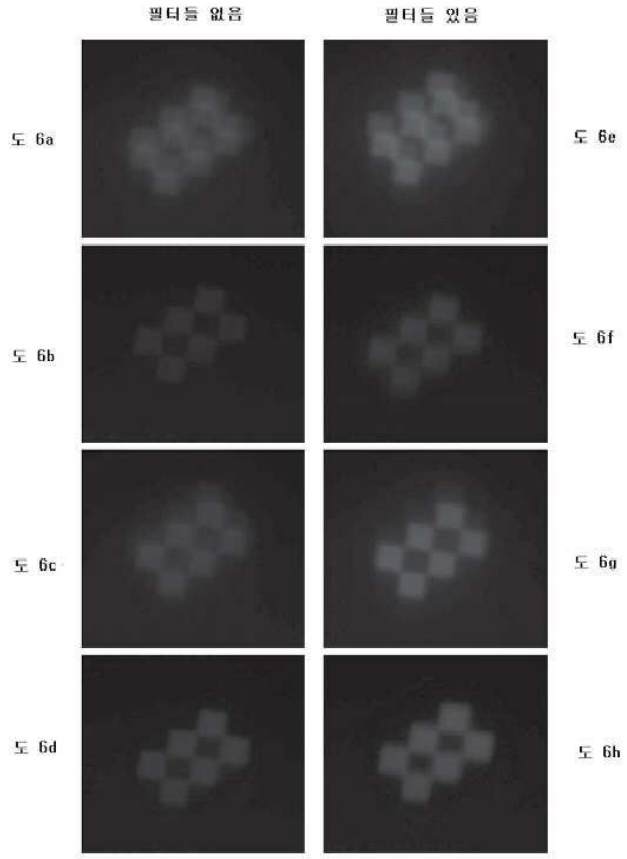
도면4


400
492
494
인커플링
그레이팅
("ICG")
410
(청 색)
직교 동공 확장기
("OPE")
420
(청 색)
460
450
440
출사 동공 확장기
("EPE")
(청 색)
430

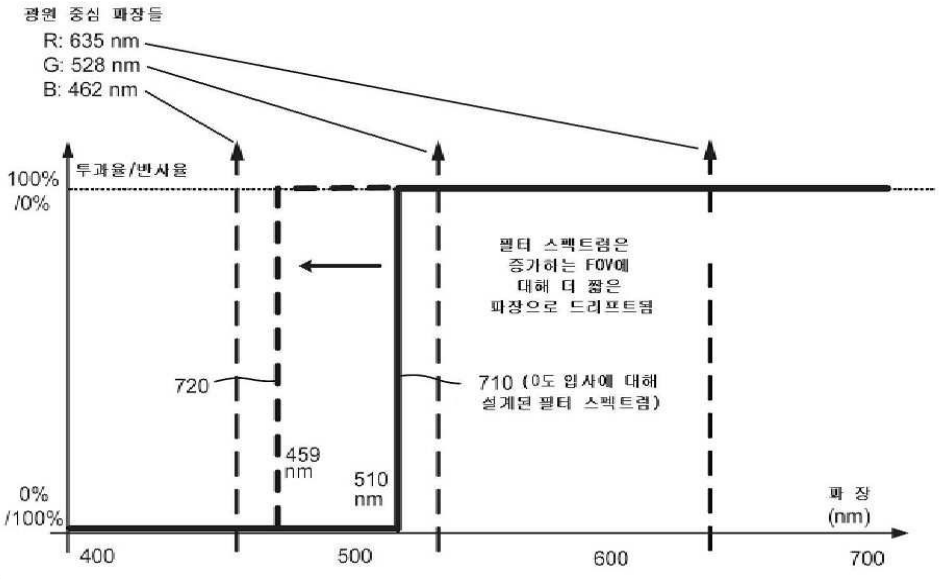
도면5


500
X02
X02
X02
512
X10
X11
510
청색 광
X14 + X24
X24
X24
X24
X12
X12
X12
X20
520
X22
X22
X22
532
X30
X31
530
녹색 광
X34 + X44
X44
X44
X44
X32
X32
X32
X40
540
X42
X42
X42
552
X50
X51
550
적색 광
X54 + X64
X64
X64
X64
X52
X52
X52
X60
560

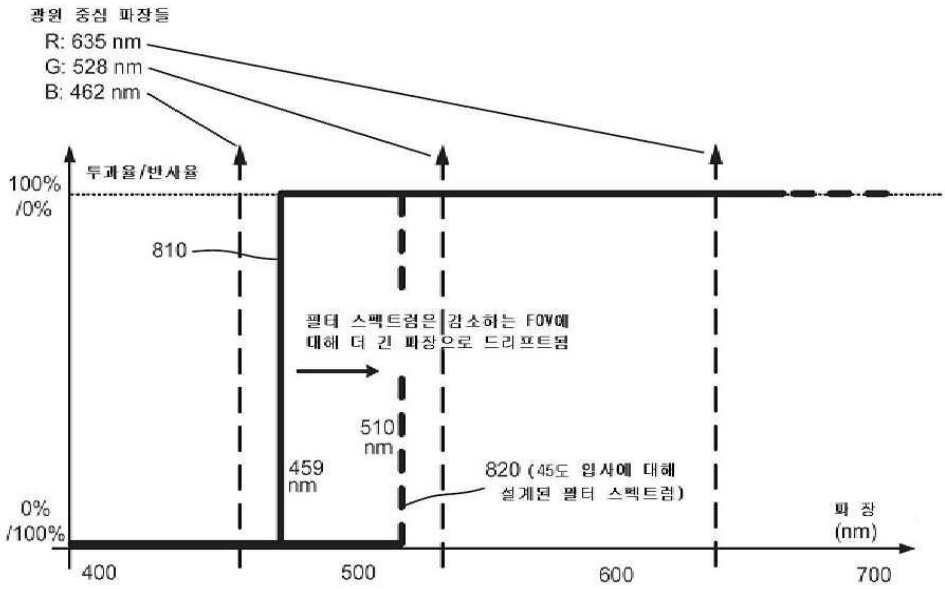
도면6


필터들 없음
필터들 있음
도 6a
도 6e
도 6b
도 6f
도 6c
도 6g
도 6d
도 6h

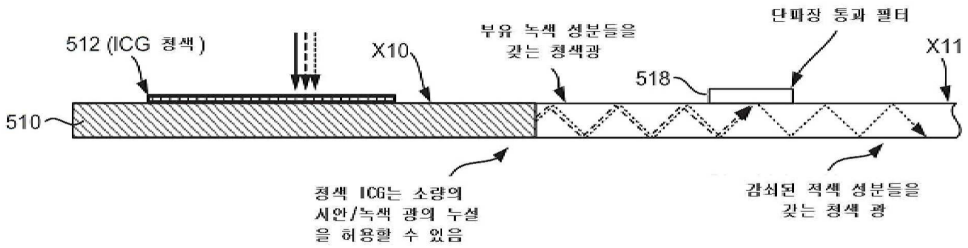
도면7


평원 중심 파장들
R: 635 nm
G: 528 nm
B: 462 nm
100%
/0%
투과율/반사율
필터 스펙트럼은
증가하는 FOV에
대해 더 짧은
파장으로 드리프트됨
720
710 (0도 입사에 대해
설계된 필터 스펙트럼)
459
nm
510
nm
0%
/100%
파 장
(nm)
400
500
600
700

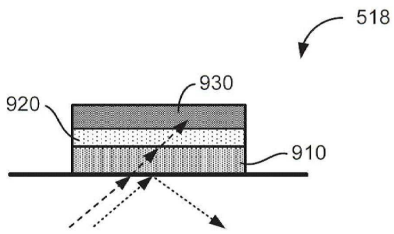
도면8



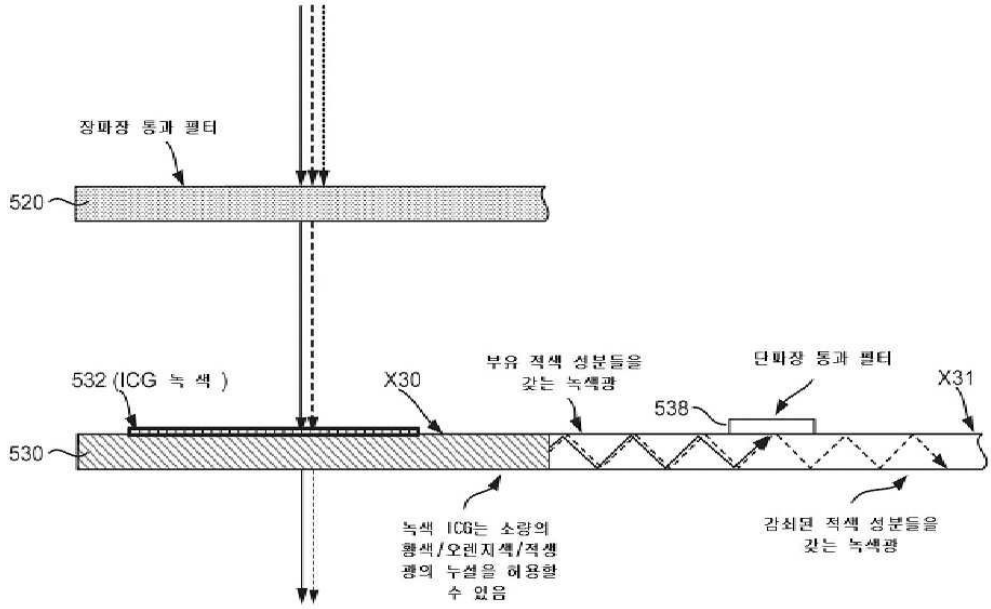
도면9a



도면9b



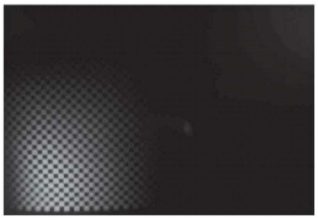
도면10



도면11a



도면11b



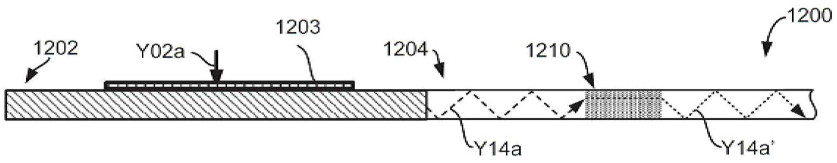
도면11c



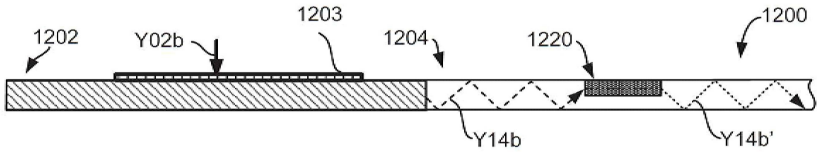
도면11d



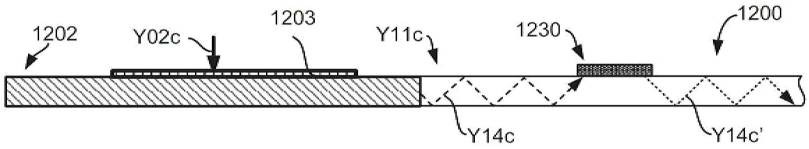
도면12a



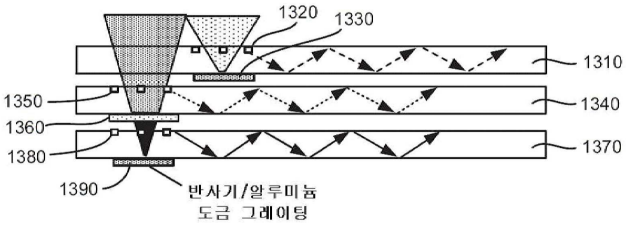
도면12b



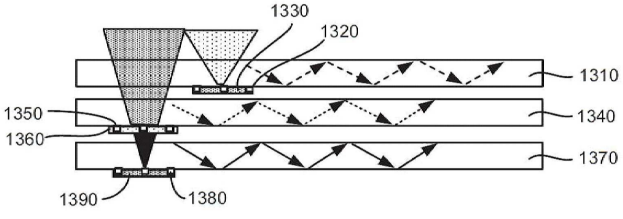
도면12c



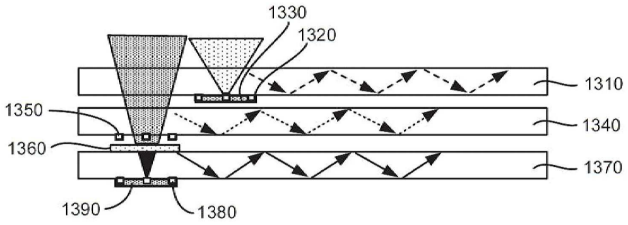
도면13a



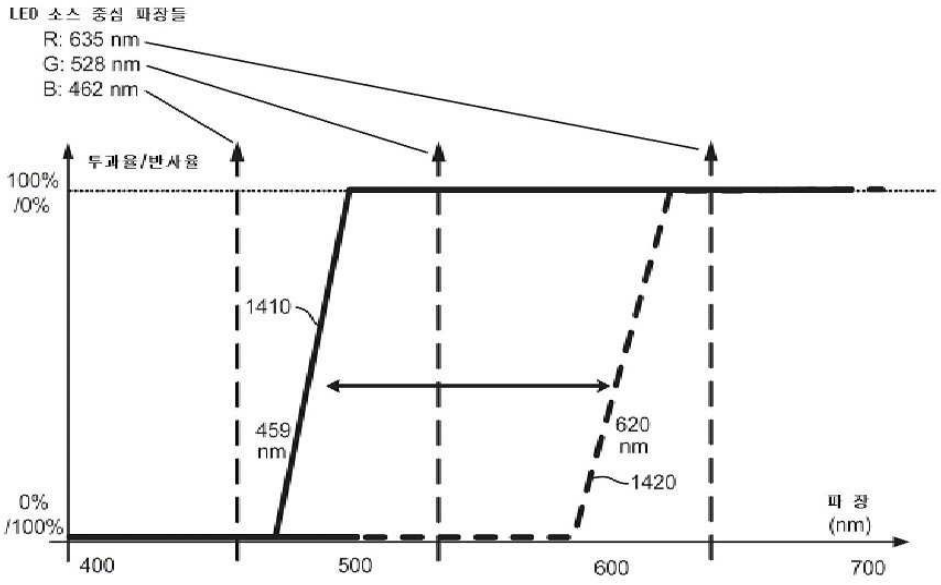
도면13b



도면13c


1330
1320
1310
1350
1340
1360
1370
1390
1380

도면14


LED 소스 중심 파장들
R: 635 nm
G: 528 nm
B: 462 nm
투과율/반사율
100%
/0%
1410
459
nm
620
nm
1420
0%
/100%
파 장
(nm)
400
500
600
700