



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년09월02일

(11) 등록번호 10-2298018

(24) 등록일자 2021년08월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02F 1/137 (2019.01) *G02B 27/01* (2006.01)
G02F 1/01 (2006.01) *G02F 1/1335* (2019.01)
G02F 1/29 (2006.01) *G06F 3/038* (2006.01)

(52) CPC특허분류
G02F 1/13718 (2013.01)
G02B 27/0172 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2019-7018226

(22) 출원일자(국제) 2017년12월07일
심사청구일자 2020년12월07일

(85) 번역문제출일자 2019년06월24일

(65) 공개번호 10-2019-0089021

(43) 공개일자 2019년07월29일

(86) 국제출원번호 PCT/US2017/065182

(87) 국제공개번호 WO 2018/106963
국제공개일자 2018년06월14일

(30) 우선권주장
62/431,745 2016년12월08일 미국(US)
62/431,752 2016년12월08일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌
US04991924 A
US05808797 A
US06188462 B

(73) 특허권자
매직 립, 인코포레이티드
미국 플로리다 플랜타이온 웨스트 선라이즈 블러바드 7500 (우: 33322)

(72) 발명자
오, 철우
미국 33322 플로리다 플랜테이션 웨스트 선라이즈 블러바드 7500

(74) 대리인
특허법인 남앤남

전체 청구항 수 : 총 23 항

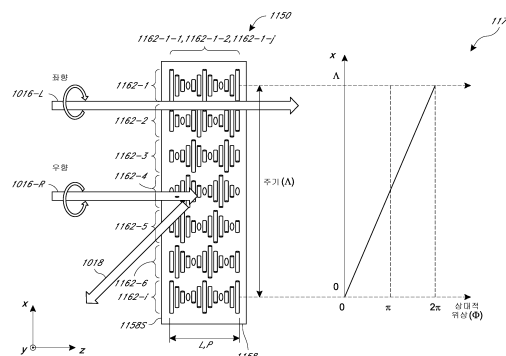
심사관 : 한상일

(54) 발명의 명칭 콜레스테릭 액정에 기초한 회절 디바이스들

(57) 요약

회절 디바이스들의 예들은 복수의 키랄 구조들을 포함하는 CLC(cholesteric liquid crystal) 층을 포함하며, 각각의 키랄 구조는, 적어도 나선형 피치만큼 층 깊이 방향으로 연장되고 제1 회전 방향으로 연속적으로 회전되는 복수의 액정 분자들을 포함한다. 키랄 구조들의 액정 분자들의 어레이지먼트들은 회절 격자를 제공하기 위해 층 깊이 방향에 수직인 측방향으로 주기적으로 변동된다. 회절 디바이스들은 특정 파장 범위를 갖는 광을 반사하고 원형 편광을 감지하도록 구성될 수 있다. 회절 디바이스들은 증강 또는 가상 현실 시스템들의 도파관들 및 이미징 시스템들에 사용될 수 있다.

대표도 - 도11



(52) CPC특허분류

G02F 1/011 (2021.01)

G02F 1/133504 (2013.01)

G02F 1/29 (2013.01)

G02F 1/292 (2013.01)

G06F 3/038 (2013.01)

G02B 2027/0134 (2013.01)

G02B 2027/0185 (2013.01)

G02F 2201/343 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

복수의 키랄 구조(chiral structure)들을 포함하는 CLC(cholesteric liquid crystal) 층을 포함하고,

각각의 키랄 구조는, 적어도 나선형 피치만큼 층 깊이 방향으로 연장되고 제1 회전 방향으로 연속적으로 회전되는 복수의 액정 분자들을 포함하고,

상기 나선형 피치는 상기 제1 회전 방향으로 한 번의 풀 회전(full rotation)에 의한 상기 키랄 구조들의 액정 분자들의 순 회전각(net rotation angle)에 대응하는 층 깊이 방향의 길이이고,

상기 키랄 구조들의 액정 분자들의 어레이먼트(arrangement)들은 상기 층 깊이 방향에 수직인 측방향으로 주기적으로 변동되고, 그리고

상기 키랄 구조들은 복수의 제2 액정 분자들 위에 스택되는 복수의 제1 액정 분자들을 포함하고, 상기 제1 액정 분자들 및 상기 제2 액정 분자들은 상이한 나선형 피치들에서 상기 층 깊이 방향으로 연장하는,

회절 격자.

청구항 2

제1 항에 있어서,

각각의 키랄 구조는 상이한 신장(elongation) 방향들을 따라 신장되는 적어도 3개의 칼라미틱(calamitic) 액정 분자들을 포함하는,

회절 격자.

청구항 3

제1 항에 있어서,

상기 CLC 층은, 상기 층 깊이 방향에서 볼 때, 상기 제1 회전 방향에 매칭되는 편광의 헨디드니스(handedness of polarization)를 갖는 타원형 또는 원형 편광된 광을 실질적으로 브래그-반사(Bragg-reflect)하도록 구성되는 반면, 상기 층 깊이 방향에서 볼 때, 상기 제1 회전 방향과 상반되는 편광의 헨디드니스를 갖는 타원형 또는 원형 편광된 광을 실질적으로 투과시키도록 구성되는,

회절 격자.

청구항 4

제1 항에 있어서,

상기 측방향으로 주기적으로 변동되는 상기 액정 분자들의 어레이먼트들은, 상기 층 깊이 방향으로 동일한 깊이의 연속적으로 측방향으로 인접한 키랄 구조들의 액정 분자들이 $360^\circ/n$ 만큼 제2 회전 방향으로 연속적으로 회전되도록 이루어지며, 여기서 n 은 정수인,

회절 격자.

청구항 5

제1 항에 있어서,

상기 측방향으로 주기적으로 변동되는 상기 액정 분자들의 어레이먼트들은, 상기 측방향으로 인접한 키랄 구조들에 의해 브래그-반사되는 타원형 또는 원형 편광된 광이 상기 측방향으로 인접한 키랄 구조들 사이에서 제2 회전 방향의 회전의 각도에 비례하는 각도만큼 위상-시프트되도록 이루어지는,

회절 격자.

청구항 6

제1 항에 있어서,
상기 키랄 구조들은 실질적으로 동일한 나선형 피치를 갖는,
회절 격자.

청구항 7

제1 항에 있어서,
상기 키랄 구조들은,
적어도 제1 나선형 피치만큼 층 깊이 방향으로 연장되고 상기 제1 회전 방향으로 연속적으로 회전되는
상기 복수의 제1 액정 분자들; 및
적어도 제2 나선형 피치만큼 상기 층 깊이 방향으로 연장되고 상기 제1 회전 방향으로 연속적으로 회전
되는 상기 복수의 제2 액정 분자들
을 포함하고,
상기 제1 나선형 피치 및 상기 제2 나선형 피치는, 제1 복수의 키랄 구조들 및 제2 복수의 키랄 구조들이 상이
한 오프-축 입사각(off-axis incident angle)들을 갖는 광을 브래그-반사하도록 구성되게 이루어지는,
회절 격자.

청구항 8

제7 항에 있어서,
상기 제1 복수의 키랄 구조들은 제1 CLC(cholesteric liquid crystal) 층에 형성되고, 상기 제2 복수의 키랄
구조들은, 상기 제1 CLC 층 위에 형성되고 상기 층 깊이 방향으로 스택되는 제2 CLC(cholesteric liquid
crystal) 층에 형성되는,
회절 격자.

청구항 9

제7 항에 있어서,
상기 제1 복수의 키랄 구조들은 상기 CLC(cholesteric liquid crystal) 층의 제1 구역에 형성되고, 상기 제2
복수의 키랄 구조들은 상기 층 깊이 방향으로 상기 제1 구역 위에 형성되는 상기 CLC(cholesteric liquid
crystal) 층의 제2 구역에 형성되는,
회절 격자.

청구항 10

제7 항에 있어서,
상기 제1 복수의 키랄 구조들은 상기 CLC(cholesteric liquid crystal) 층의 제1 구역에 형성되고, 상기 제2
복수의 키랄 구조들은 상기 CLC(cholesteric liquid crystal) 층의 제2 구역에 형성되고, 상기 제1 구역 및 상
기 제2 구역은 측방향으로 측방향 인접한 구역들인,
회절 격자.

청구항 11

제7 항에 있어서,
상기 제1 복수의 키랄 구조들 및 상기 제2 복수의 키랄 구조들 중 하나 또는 둘 모두는 상기 층 깊이 방향 및
상기 측방향 중 하나 또는 둘 모두로 상기 나선형 피치에서 구배(gradient)를 형성하는,

회절 격자.

청구항 12

복수의 키랄 구조들을 각각 포함하는 하나 이상의 CLC(cholesteric liquid crystal) 층들 — 각각의 키랄 구조는, 층 깊이 방향으로 연장되고 제1 회전 방향으로 연속적으로 회전되는 복수의 액정 분자들을 포함하고, 상기 키랄 구조들의 액정 분자들의 어레이먼트들은 상기 층 깊이 방향에 수직인 측방향으로 주기적으로 변동되어서, 상기 하나 이상의 CLC 층들이 입사광을 브래그-반사(Bragg-reflect)하도록 구성되게 함 — ; 및

상기 하나 이상의 CLC 층들 위에 형성되며, 그리고 상기 하나 이상의 CLC 층들로부터의 브래그-반사된 광을 광학적으로 커플링하여서, 상기 브래그-반사된 광이 TIR(total internal reflection)에 의해 상기 층 깊이 방향에 수직인 측방향으로 이동하게 하도록 구성되는 하나 이상의 도파관들을 포함하고,

상기 하나 이상의 CLC 층들 및 상기 하나 이상의 도파관들은 동일한 광학 경로에 있도록 구성되고, 그리고

상기 키랄 구조들은 복수의 제2 액정 분자들 위에 스택되는 복수의 제1 액정 분자들을 포함하고, 상기 제1 액정 분자들 및 상기 제2 액정 분자들은 상이한 나선형 피치들에서 상기 층 깊이 방향으로 연장하는,

광도파 디바이스(wave-guiding device).

청구항 13

제12 항에 있어서,

상기 복수의 키랄 구조들 각각은 적어도 나선형 피치만큼 층 깊이 방향으로 연장되고, 상기 나선형 피치는 상기 제1 회전 방향으로 한 번의 풀 회전에 의한 상기 키랄 구조들의 액정 분자들의 순 회전각(net rotation angle)에 대응하는 층 깊이 방향의 길이인,

광도파 디바이스.

청구항 14

제12 항에 있어서,

복수의 CLC 층들을 포함하고, 상기 CLC 층들 각각의 CLC 층은, 상기 CLC 층들 중의 다른 CLC 층들과 상이한 파장을 갖는 입사광을, 상기 CLC 층들 중의 다른 CLC 층들과 상이한 브래그-반사각으로 선택적으로 브래그-반사하도록 구성되는 상이하게 배열된 키랄 구조들을 갖는,

광도파 디바이스.

청구항 15

제12 항에 있어서,

상기 광도파 디바이스는 복수의 CLC 층들을 포함하고, 상기 키랄 구조들의 액정 분자들의 주기적으로 변동되는 측방향 어레이먼트들은 주기에 의해 특징화되고, 상기 CLC 층들의 각각의 CLC 층은 상기 CLC 층들 중의 다른 CLC 층들과 상이한 주기를 갖는,

광도파 디바이스.

청구항 16

제12 항에 있어서,

상기 CLC 층들의 각각의 CLC 층은 가시 스펙트럼의 파장을 갖는 입사광을 선택적으로 브래그-반사하도록 구성되는,

광도파 디바이스.

청구항 17

제12 항에 있어서,

상기 CLC 층들의 각각의 CLC 층은 적외선 스펙트럼의 파장을 갖는 입사광을 선택적으로 브래그-반사하는 반면, 가시 스펙트럼의 파장을 갖는 광을 투과시키도록 구성되는,

광도파 디바이스.

청구항 18

제12 항에 있어서,

복수의 도파관들을 포함하며, 각각의 도파관은 상기 각각의 도파관 상에 형성되어 있는 상기 CLC 층들 중 하나에 광학적으로 커플링되는,

광도파 디바이스.

청구항 19

제12 항에 있어서,

상기 복수의 CLC 층들은 스택을 형성하고, 단일 도파관은 상기 스택 내의 CLC 층들의 각각의 CLC 층에 광학적으로 커플링되는,

광도파 디바이스.

청구항 20

제12 항에 있어서,

편광 반사기를 더 포함하고,

상기 하나 이상의 도파관들은, 하나 이상의 CLC 층들과 상기 편광 반사기 사이에 개재되고, 그리고 상기 하나 이상의 CLC 층들을 통해 그리고 추가로 상기 도파관을 통해 투과되는 타원형 또는 원형 편광된 입사광이 타원형 또는 원형 편광된 입사광에 대해 상반되는 편광 핸디드니스를 갖는 반사된 광으로서 상기 편광 반사기에 의해 반사되도록 구성되는,

광도파 디바이스.

청구항 21

제12 항에 있어서,

도파관과 함께 스택을 형성하는 제1 CLC 층 및 제2 CLC 층을 포함하고,

상기 제1 CLC 층 및 상기 제2 CLC 층의 키랄 구조들은 상반되는 회전 방향으로 연속적으로 회전되는,

광도파 디바이스.

청구항 22

제21 항에 있어서,

상기 제1 CLC 층 및 상기 제2 CLC 층은 상기 도파관 상에 스택되는,

광도파 디바이스.

청구항 23

제21 항에 있어서,

상기 제1 CLC 층 및 상기 제2 CLC 층은 상기 도파관에 의해 개재되는,

광도파 디바이스.

발명의 설명

기술분야

- [0001] [0001] 본 출원은 2016년 12월 8일자에 출원되고 발명의 명칭이 "DIFFRACTIVE DEVICES BASED ON CHOLESTERIC LIQUID CRYSTAL"인 미국 가특허 출원 번호 제6 2/431,752호 및 2016년 12월 8일에 출원되고 발명의 명칭이 "DIFFRACTIVE DEVICES BASED ON CHOLESTERIC LIQUID CRYSTAL"인 미국 가특허 출원 번호 제6 2/431,745호의 우선권의 이익을 주장하며, 이로써 이 출원들의 내용들은 그 전체가 인용에 의해 본원에 포함된다.
- [0002] [0001] 본 개시내용은 디스플레이 시스템들에 관한 것으로, 보다 상세하게는 콜레스테릭 액정에 기초한 회절 디바이스들을 포함하는 증강 현실 디스플레이 시스템들에 관한 것이다.

배경기술

- [0003] [0002] 현대 컴퓨팅 및 디스플레이 기술들은 소위 "가상 현실" 또는 "증강 현실" 경험들을 위한 시스템들의 개발을 용이하게 했으며, 여기서 디지털 방식으로 재생된 이미지들 또는 이미지들의 부분들은, 그들이 실제인 것으로 보이거나, 실제로서 지각될 수 있는 방식으로 사용자에게 제시된다. 가상 현실, 또는 "VR" 시나리오는 통상적으로 다른 실제 세계 시각적 입력에 대한 투명성(transparency) 없는 디지털 또는 가상 이미지 정보의 프리젠테이션(presentation)을 수반하고; 증강 현실, 또는 "AR" 시나리오는 통상적으로 사용자 주위 실제 세계의 시각화에 대한 증강으로서 디지털 또는 가상 이미지 정보의 프리젠테이션을 수반한다. 혼합 현실, 또는 "MR" 시나리오는 AR 시나리오의 유형이고 통상적으로 자연 세계에 통합되고 이에 응답하는 가상 객체들을 수반한다. 예컨대, MR 시나리오에서, AR 이미지 콘텐츠는 실제 세계의 객체들에 의해 차단되거나, 그렇지 않으면, 실제 세계의 객체들과 상호작용하는 것으로 지각될 수 있다.
- [0004] [0003] 도 1을 참조하면, 증강 현실 장면(scene)(1)이 도시되며, 여기서 AR 기술의 사용자는 배경에 있는 사람들, 나무들, 빌딩들, 및 콘크리트 플랫폼(1120)을 특징으로 하는 실세계 공원-형 세팅(1100)을 본다. 이들 아 이템들에 더하여, AR 기술의 사용자는 또한, 그가 "가상 콘텐츠", 이를테면, 실세계 플랫폼(1120) 상에 서 있는 로봇 동상(1110), 및 호박벌의 의인화인 것으로 보여지는 날고 있는 만화-형 아바타 캐릭터(1130)를 "보는 것"을 지각하지만, 이들 엘리먼트들(1130, 1110)은 실세계에 존재하지 않는다. 인간 시각 지각 시스템은 복잡하기 때문에, 다른 가상 또는 실세계 이미저리 엘리먼트들 사이에서 가상 이미지 엘리먼트들의 편안하고, 자연스럽고, 풍부한 프리젠테이션을 용이하게 하는 AR 기술을 생성하는 것은 난제이다.
- [0005] [0004] 본원에서 개시된 시스템들 및 방법들은 AR 및 VR 기술에 관련된 다양한 난제들을 해결한다.

발명의 내용

- [0006] [0005] 일 양상에서 회절 격자는 복수의 키랄 구조(chiral structure)들을 포함하는 CLC(cholesteric liquid crystal) 층을 포함하며, 각각의 키랄 구조는, 적어도 나선형 피치만큼 층 깊이 방향으로 연장되고 제1 회전 방향으로 연속적으로 회전되는 복수의 액정 분자들을 포함한다. 나선형 피치는, 제1 회전 방향의 한 번의 풀 회전(full rotation)에 의한 키랄 구조들의 액정 분자들의 순 회전각(net rotation angle)에 대응하는 층 깊이 방향의 길이이다. 키랄 구조들의 액정 분자들의 어레인지먼트들은 층 깊이 방향에 수직인 측방향으로 주기적으로 변동된다.
- [0007] [0006] 다른 양상에서, HMD(head-mounted display device)는 증강 현실 이미지 콘텐츠를 디스플레이하기 위해 사용자의 눈에 광을 프로젝팅하도록 구성된다. HMD는 사용자의 머리에 지지되도록 구성된 프레임을 포함하는 머리-장착 디스플레이 디바이스를 포함한다. HMD는 프레임 상에 배치된 디스플레이를 포함하며, 디스플레이의 적어도 부분은 하나 이상의 도파관들을 포함한다. 하나 이상의 도파관들은 투명하며, 사용자가 머리-장착 디스플레이 디바이스를 착용할 때, 사용자의 눈 전방의 위치에 배치되어서, 투명한 부분은 사용자 전방의 환경의 부분으로부터의 광을 사용자의 눈으로 투과시켜 사용자 전방의 환경의 분의 뷰(view)를 제공한다. 디스플레이는 하나 이상의 광원들, 및 광원들로부터의 광을 하나 이상의 도파관들에 커플링하거나, 또는 하나 이상의 도파관들 밖으로 광을 커플링하도록 구성된 적어도 하나의 회절 격자를 더 포함하고, 여기서 적어도 하나의 회절 격자는 본 명세서의 다른 곳에서 설명된 양상들에 따른 회절 격자를 포함한다.
- [0008] [0007] 다른 양상에서, 광도파 디바이스는 복수의 키랄 구조들을 각각 포함하는 하나 이상의 CLC(cholesteric liquid crystal) 층을 포함하며, 각각의 키랄 구조는, 층 깊이 방향으로 연장되고 제1 회전 방향으로 연속적으로 회전되는 복수의 액정 분자들을 포함하고, 여기서 키랄 구조들의 액정 분자들의 어레인지먼트들은 층 깊이 방향에 수직인 측방향으로 주기적으로 변동되어서, 하나 이상의 CLC 층들은 입사광을 브래그-반사(Bragg-

reflect)하도록 구성되게 한다. 하나 이상의 도파관들은 하나 이상의 CLC 층들 위에 형성되고, 브래그-반사된 광이 TIR(total internal reflection)에 의해 층 깊이 방향에 수직인 측방향으로 이동하도록 브래그-반사된 광을 광학적으로 커플링하게 구성된다. 하나 이상의 CLC 층들 및 하나 이상의 도파관들은 동일한 광학 경로에 있도록 구성된다.

[0009] [0008] 다른 양상에서, CLCR(wavelength-selective cholesteric liquid crystal reflector)은 복수의 키랄 구조들을 각각 포함하는 하나 이상의 CLC(cholesteric liquid crystal) 층을 포함하며, 각각의 키랄 구조는, 층 깊이 방향으로 연장되고 제1 회전 방향으로 연속적으로 회전되는 복수의 액정 분자들을 포함한다. 키랄 구조들의 액정 분자들의 어레이먼트들은 층 깊이 방향에 수직인 측방향으로 주기적으로 변동되어서, 하나 이상의 CLC 층들은 제2 파장을 갖는 제2 입사광을 실질적으로 투과시키면서, 제1 파장을 갖는 제1 입사광을 실질적으로 브래그-반사하도록 구성되게 한다.

[0010] [0009] 다른 양상에서, 사용자의 머리에 착용되도록 구성된 HMD(head mounted display)는, 한 쌍의 귀 스템(stem)들을 포함하는 프레임; 한 쌍의 광학 엘리먼트들 각각이 사용자의 눈 전방에 배치될 수 있도록 프레임에 의해 지지되는 한 쌍의 광학 엘리먼트들; 한 쌍의 귀 스템들 중 하나에 장착된 전향 이미지; 및 복수의 키랄 구조들을 각각 포함하는 하나 이상의 CLC(cholesteric liquid crystal) 층들을 포함하는 CLC(cholesteric liquid crystal) 오프-축 미러를 포함한다. 각각의 키랄 구조는, 층 깊이 방향으로 연장되고 제1 회전 방향으로 연속적으로 회전되는 복수의 액정 분자들을 포함하고, 키랄 구조들의 액정 분자들의 어레이먼트들은 층 깊이 방향에 수직인 측방향으로 주기적으로 변동되어서, 하나 이상의 CLC 층들이 입사광을 브래그-반사(Bragg-reflect)하도록 구성되게 한다. CLC(cholesteric liquid crystal) 오프-축 미러는 한 쌍의 광학 엘리먼트들 중 하나 내에 또는 그 상에 배치되고, 반사 엘리먼트에 의해 반사된 적외선을 수신하도록 구성된 전향 이미지를 향해 적외선을 반사하도록 구성된다.

[0011] [0010] 다른 양상에서, 광도파 디바이스는 복수의 키랄 구조들을 각각 포함하는 하나 이상의 CLC(cholesteric liquid crystal) 층들을 포함하고, 각각의 키랄 구조는, 층 깊이 방향으로 연장되고 제1 회전 방향으로 연속적으로 회전되는 복수의 액정 분자들을 포함하고, 키랄 구조들의 액정 분자들의 어레이먼트들은 층 깊이 방향에 수직인 측방향으로 주기적으로 변동되어서, 하나 이상의 CLC 층들이 입사광을 브래그-반사하도록 구성되게 한다. 광도파 디바이스는 부가적으로, 하나 이상의 CLC 층들 위에 형성되고, 하나 이상의 CLC 층들로부터의 브래그-반사된 광을 광학적으로 커플링하여서, 브래그-반사된 광이 TIR(total internal reflection)에 의해 층 깊이 방향에 수직인 측방향으로 이동하게 하도록 구성되는 하나 이상의 도파관들을 포함한다. 광도파 디바이스는 회절 효율이 25%보다 큰, 20° 를 초과하는 FOV(field of view)를 갖도록 구성된다.

[0012] [0011] 또 다른 양상에서, 디스플레이 디바이스는 도파관 및 도파관 상에 형성된 인커플링 광학 엘리먼트를 포함한다. 인커플링 광학 엘리먼트는 거기에 입사되는 광을 도파관의 제1 측 내로 인커플링하도록 구성되며, 인커플링 광학 엘리먼트 및 도파관은, 도파관 내로 인커플링된 광이 TIR(total internal reflection)에 의해 도파관의 면내 방향(in-plane direction)으로 도파관에서 전파되도록 구성된다. 디스플레이 디바이스는 부가적으로, 도파관 상에 형성되고 도파관으로부터 거기에 입사되는 광을 아웃커플링하도록 구성되는 아웃커플링 광학 엘리먼트를 포함한다. 광 아웃-커플링 엘리먼트는 복수의 키랄 구조들을 포함하는 CLC(cholesteric liquid crystal) 층을 포함하고, 키랄 구조들 각각은 CLC 층의 층 깊이 방향으로 연장되고 제1 회전 방향으로 연속적으로 회전되는 복수의 액정 분자들을 포함하고, 키랄 구조들의 액정 분자들의 어레이먼트들은 층 깊이 방향에 수직인 측방향으로 주기적으로 변동되어서, 하나 이상의 CLC 층들이 거기에 입사되는 광을 도파관으로부터 제1 측을 향해 브래그-반사하도록 구성되게 한다.

[0013] [0012] 본 명세서에서 설명되는 청구 대상의 하나 이상의 구현들의 세부사항들은, 아래의 첨부 도면들 및 설명에서 기술된다. 다른 특징들, 양상들, 및 이점들은 설명, 도면들, 및 청구항들로부터 명백해질 것이다. 이 개요 또는 다음의 상세한 설명 어느 것도, 본 발명의 청구 대상의 범위를 한정하거나 제한하는 것으로 의도되지 않는다.

도면의 간단한 설명

[0014] [0013] 도 1은 AR(augmented reality) 디바이스를 통한 AR의 사용자의 뷰를 예시한다.

[0014] 도 2는 착용 가능 디스플레이 시스템의 예를 예시한다.

[0015] 도 3은 사용자에 대한 3차원 이미지를 시뮬레이팅하기 위한 종래의 디스플레이 시스템을 예시한다.

- [0016] 도 4는 다중 깊이 평면들을 사용하여 3-차원 이미저리를 시뮬레이팅하기 위한 접근법의 양상들을 예시한다.
- [0017] 도 5a 내지 도 5c는 곡률의 반경과 초점 반경 간의 관계들을 예시한다.
- [0018] 도 6은 이미지 정보를 사용자에게 출력하기 위한 도파관 스택의 예를 예시한다.
- [0019] 도 7은 도파관에 의해 출력된 출사 빔들의 예를 예시한다.
- [0020] 도 8은 각각의 깊이 평면이 다수의 상이한 컴포넌트 컬러들을 사용하여 형성된 이미지들을 포함하는 스택된 도파관 어셈블리의 예를 예시한다.
- [0021] 도 9a는 인커플링 광학 엘리먼트를 각각 포함하는 스택된 도파관들의 세트의 예의 측 단면도를 예시한다.
- [0022] 도 9b는 도 9a의 복수의 스택된 도파관들의 예의 사시도를 예시한다.
- [0023] 도 9c는 도 9a 및 도 9b의 복수의 스택된 도파관들의 예의 하향식 평면도를 예시한다.
- [0024] 도 10은 복수의 균일한 키랄 구조를 갖는 CLCG(cholesteric liquid crystal diffraction grating)의 예의 측 단면도를 예시한다.
- [0025] 도 11은 측방향으로 상이하게 배열된 키랄 구조들을 갖는 CLCG의 예의 측 단면도를 예시한다.
- [0026] 도 12는 오프-축 입사각에서 브래그-반사(Bragg reflection)를 위해 구성된 CLC 층의 예의 측 단면도를 예시한다.
- [0027] 도 13a는 제1 오프-축 입사각에서 브래그-반사를 위해 구성되고 제1 나선형 피치를 갖는 CLC 층의 예의 측 단면도를 예시한다.
- [0028] 도 13b는 제2 오프-축 입사각에서 브래그-반사를 위해 구성되고 제2 나선형 피치를 갖는 CLC 층의 예의 측 단면도를 예시한다.
- [0029] 도 13c는 복수의 오프-축 입사각들 및 높은 회절 대역폭에서의 브래그-반사를 위해, 스택된 구성에서 상이한 나선형 피치들을 갖는, 도 13a 및 도 13b의 CLC 층들을 포함하는 CLCG의 예의 측 단면도를 예시한다.
- [0030] 도 14는 복수의 오프-축 입사각들 및 높은 회절 대역폭에서의 브래그-반사를 위해 깊이 방향을 따라 상이한 나선형 피치들을 갖는 수직 구역들을 갖는 CLC 층을 포함하는 CLCG의 예의 측 단면도를 예시한다.
- [0031] 도 15는 공간적으로 변동되는 브래그-반사를 위해 측방향을 따라 상이한 나선형 피치들을 갖는 측방향 구역들을 갖는 CLC 층을 포함하는 CLCG의 예의 측 단면도를 예시한다.
- [0032] 도 16은 CLCG에 커플링되고 TIR(total internal reflection)에 의해 광을 전파시키도록 구성된 도파관을 포함하는 광학 광도파 디바이스의 예를 예시한다.
- [0033] 도 17a는 CLCG에 커플링되고 TIR(total internal reflection)에 의해 파장을 갖는 광을 선택적으로 전파시키도록 구성된 도파관을 포함하는 광학 광도파 디바이스의 예를 예시한다.
- [0034] 도 17b는 CLCG에 커플링되고 TIR(total internal reflection)에 의해 파장을 갖는 광을 선택적으로 전파시키도록 구성된 도파관을 각각 포함하는, 동일한 광학 경로의 복수의 광학 광도파 디바이스들의 예를 예시한다.
- [0035] 도 17c는 CLCG에 커플링되고 TIR(total internal reflection)에 의해 파장을 갖는 광을 선택적으로 전파시키도록 구성된 도파관을 각각 포함하는, 동일한 광학 경로의 복수의 광학 광도파 디바이스들의 예를 예시한다.
- [0036] 도 18은 복수의 CLCG들에 커플링되고 TIR(total internal reflection)에 의해 복수의 파장들을 갖는 광을 선택적으로 전파시키도록 구성된 공통 도파관을 포함하는 광학 광도파 디바이스의 예를 예시한다.
- [0037] 도 19는 CLCG에 커플링되고 TIR(total internal reflection)에 의해 광을 전파시키도록 구성된 도파관을 포함하는 광학 광도파 디바이스의 예를 예시한다.
- [0038] 도 20은 CLCG에 커플링된 도파관 및 편광 변환 반사기를 포함하는 광학 광도파 디바이스의 예를 예시하

며, 여기서 CLCG는 입사광을 수신하도록 구성되고, 도파관은 TIR(total internal reflection)에 의해 CLCG로부터 브래그-반사된 광을 전파시키도록 구성된다.

[0039] 도 21a는 도 20의 광학 광도와 디바이스를 예시하며, 여기서, CLCG는 선형으로 편광되거나 또는 편광되지 않은 입사광을 수신하도록 구성되고 도파관은 CLCG로부터 브래그-반사된 광 및 TIR(total internal reflection)로 반사기에 의해 반사된 광을 전파시키도록 구성된다.

[0040] 도 21b는 도 20의 광학 광도와 디바이스를 예시하며, 여기서, CLCG는 직교 타원형 또는 원형 편광된 광 빔들로 편광되는 입사광을 수신하도록 구성되고 도파관은 CLCG로부터 브래그-반사된 광 및 TIR(total internal reflection)로 반사기에 의해 반사된 광을 전파시키도록 구성된다.

[0041] 도 22a는, 입사광 빔이 선형으로 편광되거나 편광되지 않은 조건 하에서, 제1 회전 방향을 갖는 키랄 구조들을 갖는 제1 CLC 층 및 제1 회전 방향에 상반되는 제2 회전 방향을 갖는 키랄 구조들을 갖는 제2 CLC 층을 포함하는, 공통 도파관에 커플링된 복수의 CLC 층들을 포함하는 광학 광도와 디바이스의 예를 예시한다.

[0042] 도 22b는 입사광이 직교 타원형 또는 원형 편광된 광 빔들로 편광되는 조건 하에서 도 22a의 광학 광도와 디바이스를 예시한다.

[0043] 도 22c는, 입사광 빔이 선형으로 편광되거나 편광되지 않은 조건 하에서, 제1 회전 방향을 갖는 키랄 구조들을 갖는 제1 CLC 층 및 제1 회전 방향에 상반되는 제2 회전 방향을 갖는 키랄 구조들을 갖는 제2 CLC 층을 포함하는, 2개의 CLC 층들 사이에 개재된 공통 도파관에 커플링된 복수의 CLC 층들을 포함하는 광학 광도와 디바이스의 예를 예시한다.

[0044] 도 23은 CLC(cholesteric liquid crystal) 오프-축 미러를 사용하여 착용자의 눈을 이미징하도록 구성된 전방-대면 카메라를 포함하는 이미징 시스템의 예를 예시한다.

[0045] 도 24a 내지 도 24f는 CLC 오프-축 미러를 사용하여 착용자의 눈을 이미징하도록 구성된 전방-대면 카메라를 포함하는 이미징 시스템의 예를 예시한다.

[0046] 도 24g 및 도 24h는 하나 이상의 CLC 오프-축 미러를 포함하는 복수의 세그먼트들(세그먼트들 각각은 상이한 광학 성질들을 가질 수 있음)을 포함하는 회절 광학 엘리먼트를 사용하여 착용자의 눈을 이미징하도록 구성된 전향(forward-facing) 카메라를 포함하는 이미징 시스템들의 예를 예시한다.

[0047] 도 25는 CLCG에 커플링되고 TIR(total internal reflection)에 의해 광을 전파시키도록 구성된 도파관을 포함하는, 매우 넓은 시야에 대해 최적화된 예시적인 광학 광도와 디바이스를 예시한다.

[0048] 도 26은 CLCG에 커플링되고 TIR(total internal reflection)에 의해 광을 전파시키도록 구성된 도파관을 포함하는, 아웃커플링 광학 엘리먼트로서 구성되는 예시적인 광학 광도와 디바이스를 예시한다.

[0049] 도면들 전체에 걸쳐, 참조 번호들은 참조된 엘리먼트들 사이의 대응성(correspondence)을 표시하는 데 재사용될 수 있다. 도면들은 본원에서 설명된 예시적인 실시예들을 예시하기 위해 제공되며 본 개시내용의 범위를 제한하려는 의도는 아니다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0015] [0050] AR 시스템들은 사용자가 자신 주위의 세계를 계속해서 볼 수 있게 하면서, 가상 콘텐츠를 사용자 또는 뷰어에 디스플레이할 수 있다. 바람직하게는, 이 콘텐츠는 사용자의 눈들에 이미지 정보를 프로젝팅하는, 예컨대, 안경류의 부분으로서 머리-장착 디스플레이 상에 디스플레이된다. 게다가, 디스플레이는 또한 주변 환경의 뷰를 허용하기 위해 주변 환경으로부터 사용자의 눈으로 광을 투과시킬 수 있다. 본원에서 사용되는 바와 같이, "머리-장착" 디스플레이는 뷰어의 머리 상에 장착될 수 있는 디스플레이라는 것이 인지될 것이다.

[0016] [0051] 도 2는 웨어러블 디스플레이 시스템(80)의 예를 예시한다. 디스플레이 시스템(80)은 디스플레이(62), 및 그 디스플레이(62)의 기능을 지원하기 위한 다양한 기계 및 전자 모듈들 및 시스템들을 포함한다. 디스플레이(62)는, 디스플레이 시스템 사용자 또는 뷰어(60)에 의해 착용 가능하고 사용자(60)의 눈들의 전방에 디스플레이(62)를 포지셔닝하도록 구성된 프레임(64)에 커플링될 수 있다. 디스플레이(62)는 일부 실시예들에서, 안경류(eyewear)로 고려될 수 있다. 일부 실시예들에서, 스피커(66)는 프레임(64)에 커플링되고 사용자(60)의 외이도에 인접하게 포지셔닝된다(일부 실시예들에서, 도시되지 않은 다른 스피커가 사용자의 다른 외이도에 인접하게 포지셔닝되어 스테레오/형상화가능(shapeable) 사운드 제어를 제공함). 일부 실시예들에서, 디스플레이 시스템은 또한 하나 이상의 마이크로폰들(67) 또는 사운드를 검출하기 위한 다른 디바이스들을 포함할 수 있다.

일부 실시예들에서, 마이크로폰은 사용자가 시스템(80)에 입력들 또는 커맨드들(예컨대, 음성 메뉴 커맨드들의 선택, 자연어 질문 등)을 제공할 수 있도록 구성되고, 그리고/또는 다른 사람들(예컨대, 유사한 디스플레이 시스템들의 다른 사용자들)과의 오디오 통신을 허용할 수 있다. 마이크로폰은 또한, 오디오 데이터를 계속해서 수집하기 위해(예컨대, 사용자 및/또는 환경으로부터 수동적으로 수집하기 위해) 주변 센서로서 구성될 수 있다. 이러한 오디오 데이터는 사용자 사운드들, 이를테면, 거친 숨, 또는 환경 사운드들, 이를테면, 근처의 이벤트를 나타내는 큰 굉음(loud bang)을 포함할 수 있다. 디스플레이 시스템은 또한, 프레임(64)과 별개이고 사용자(60)의 신체(예컨대, 사용자(60)의 머리, 몸통, 손발(extremity) 등)에 부착될 수 있는 주변 센서(30a)를 포함할 수 있다. 주변 센서(30a)는 본원에서 추가로 설명된 바와 같이, 일부 실시예들에서, 사용자(60)의 생리적인 상태를 특징화하는 데이터를 취득하도록 구성될 수 있다. 예컨대, 센서(30a)는 전극일 수 있다.

[0017] [0052] 도 2를 계속 참조하면, 디스플레이(62)는, 다양한 구성들로 장착될 수 있는, 예컨대, 프레임(64)에 고정적으로 부착되거나, 사용자에게 의해 착용된 헬멧 또는 모자에 고정적으로 부착되거나, 헤드폰들에 임베딩되거나, 그렇지 않으면 사용자(60)에게 제거 가능하게 부착되는(예컨대, 백팩(backpack)-스타일 구성으로, 벨트-커플링 스타일 구성으로) 로컬 데이터 프로세싱 모듈(70)에 통신 링크(68)에 의해, 예컨대, 유선 리드 또는 무선 연결성에 의해, 동작 가능하게 커플링된다. 유사하게, 센서(30a)는 통신 링크(30b), 예컨대, 유선 리드 또는 무선 연결성에 의해 로컬 프로세서 및 데이터 모듈(70)에 동작 가능하게 커플링될 수 있다. 로컬 프로세싱 및 데이터 모듈(70)은 하드웨어 프로세서뿐 아니라, 디지털 메모리 예컨대, 비-휘발성 메모리(예컨대, 플래시 메모리 또는 하드 디스크 드라이브들)를 포함할 수 있고, 이 둘 모두는 데이터의 프로세싱, 캐싱(caching) 및 저장을 보조하기 위해 활용될 수 있다. 데이터는 a) 센서들(예컨대 프레임(64)에 동작 가능하게 커플링되거나 그렇지 않으면 사용자(60)에게 부착될 수 있음), 예컨대, 이미지 캡처 디바이스들(예컨대, 카메라들), 마이크로폰들, 관성 측정 유닛들, 가속도계들, 컴퍼스(compass)들, GPS 유닛들, 라디오 디바이스들, 자이로(gyro)들 및/또는 본원에서 개시된 다른 센서들로부터 캡처되고; 및/또는 b) 원격 프로세싱 모듈(72) 및/또는 원격 데이터 리포지토리(repository)(74)(가상 콘텐츠에 관련된 데이터를 포함함)를 사용하여 취득 및/또는 프로세싱되는(어쩌면, 이러한 프로세싱 또는 리트리벌(retrieval) 후 디스플레이(62)에 전달하기 위한) 데이터를 포함한다. 로컬 프로세싱 및 데이터 모듈(70)은 통신 링크들(76, 78)에 의해, 예컨대, 유선 또는 무선 통신 링크들을 통하여, 원격 프로세싱 모듈(72) 및 원격 데이터 리포지토리(74)에 동작 가능하게 커플링될 수 있어서, 이들 원격 모듈들(72, 74)은 서로 동작 가능하게 커플링되고 로컬 프로세싱 및 데이터 모듈(70)에 대한 자원들로서 이용 가능하다. 일부 실시예들에서, 로컬 프로세싱 및 데이터 모듈(70)은 이미지 캡처 디바이스들, 마이크로폰들, 관성 측정 유닛들, 가속도계들, 컴퍼스들, GPS 유닛들, 라디오 디바이스들 및/또는 자이로들 중 하나 이상을 포함할 수 있다. 일부 다른 실시예들에서, 이들 센서들 중 하나 이상은 프레임(64)에 부착될 수 있거나, 또는 유선 또는 무선 통신 통로들에 의해 로컬 프로세싱 및 데이터 모듈(70)과 통신하는 자립형 구조들일 수 있다.

[0018] [0053] 도 2를 계속 참조하면, 일부 실시예들에서, 원격 프로세싱 모듈(72)은 데이터 및/또는 이미지 정보를 분석 및 프로세싱하도록 구성된 하나 이상의 프로세서들을 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 원격 데이터 리포지토리(74)는 "클라우드" 자원 구성에서 인터넷 또는 다른 네트워킹 구성을 통하여 이용 가능할 수 있는 디지털 데이터 저장 설비를 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 원격 데이터 리포지토리(74)는 정보, 예컨대, 증강 현실 콘텐츠를 생성하기 위한 정보를 로컬 프로세싱 및 데이터 모듈(70) 및/또는 원격 프로세싱 모듈(72)에 제공하는 하나 이상의 원격 서버들을 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 모든 데이터는 저장되고 모든 컴퓨테이션들은 로컬 프로세싱 및 데이터 모듈에서 수행되어, 원격 모듈로부터 완전히 자율적인 사용을 허용한다.

[0019] [0054] "3-차원" 또는 "3-D"인 것으로서 이미지의 지각은 뷰어의 각각의 눈에 이미지의 약간 상이한 프리젠테이션들을 제공함으로써 달성될 수 있다. 도 3은 사용자에게 대한 3차원 이미저리를 시뮬레이팅하기 위한 종래의 디스플레이 시스템을 예시한다. 2개의 별개의 이미지들(5 및 7)(각각의 눈(4 및 6)에 대해 하나씩)이 사용자에게 출력된다. 이미지들(5, 7)은 뷰어의 시선과 평행한 광학 또는 z-축을 따라 거리(10) 만큼 눈들(4, 6)로부터 이격된다. 이미지들(5, 7)은 편평하고 눈들(4, 6)은 단일 원근조절된 상태를 가정함으로써 이미지들에 포커싱될 수 있다. 그러한 시스템들은 조합된 이미지에 대한 스케일 및/또는 깊이의 지각을 제공하기 위하여 이미지들(5, 7)을 조합하는데 인간 시각 시스템에 의존한다.

[0020] [0055] 그러나, 인간 시각 시스템은 더 복잡하고 현실적인 깊이의 지각을 제공하는 것이 더 어렵다는 것이 인지될 것이다. 예컨대, 종래의 3-D 디스플레이 시스템들의 많은 뷰어들은 그런 시스템들이 불편하다는 것을 발견하거나, 깊이 감을 전혀 지각하지 못할 수 있다. 이론에 의해 제한됨이 없이, 객체의 뷰어들은 이점운동 및 원근조절의 조합으로 인해 객체를 3-차원인 것으로 지각할 수 있다고 여겨진다. 서로에 대한 두 눈들의 이점운

동(vergence) 움직임들(즉, 동공들이 객체를 응시하기 위해 눈들의 시선들을 수렴하도록 서로를 향해 또는 서로 멀어지게 움직이도록 하는 눈들의 회전)은 눈들의 동공들 및 렌즈들의 포커싱(또는 원근조절)과 밀접하게 연관된다. 정상 조건들하에서, 하나의 객체로부터 상이한 거리에 있는 다른 객체로 포커스를 변화시키기 위하여, 눈들의 렌즈들의 포커스를 변화시키거나, 또는 눈들을 원근조절하는 것은 "원근조절-이접운동 반사(accommodation-vergence reflex)"로서 알려진 관계하에서, 동일한 거리에 대한 이접운동에서의 매칭하는 변화는 물론 동공 팽창 및 수축을 자동으로 유발할 것이다. 마찬가지로, 이접운동에서의 변경은 정상 조건들하에서, 렌즈 형상 및 동공 사이즈의, 원근조절에서의 매칭하는 변경을 트리거할 것이다. 본원에서 언급되는 바와 같이, 다수의 입체 또는 "3-D" 디스플레이 시스템들은, 3-차원 관점이 이 인간 시각 시스템에 의해 지각되도록 각각의 눈에 약간 상이한 프리젠테이션들(그리고 따라서, 약간 상이한 이미지들)을 사용하여 장면을 디스플레이한다. 그러나, 그러한 시스템들은 많은 뷰어들에게 불편한데, 그 이유는 다른 것들 중에서, 그러한 시스템들이 단순히 장면의 상이한 프리젠테이션을 제공하지만, 눈들이 단일 원근조절된 상태에서 모든 이미지 정보를 보고, 그리고 원근조절-이접운동 반사에 반하여 작동하기 때문이다. 원근조절과 이접운동 사이의 더 양호한 매칭을 제공하는 디스플레이 시스템들은, 증가된 착용 지속기간 및 결국, 진단 및 치료 프로토콜들에 대한 준수에 기여하는, 3-차원 이미저리의 더 현실적이고 편안한 시뮬레이션들을 형성할 수 있다.

[0021] [0056] 도 4는 다중 깊이 평면들을 사용하여 3-차원 이미저리를 시뮬레이팅하기 위한 접근법의 양상들을 예시한다. 도 4를 참조하면, z-축 상에서 눈들(4, 6)로부터의 다양한 거리들에 있는 객체들은, 이들 객체들이 인 포커싱(in focus)되도록 눈들(4, 6)에 의해 원근조절된다. 눈들(4 및 6)은 z-축을 따라 상이한 거리들에 있는 객체들에 포커싱을 맞추게 하는 특정 원근조절된 상태들을 가정한다. 결과적으로, 특정 원근조절된 상태는 연관된 초점 거리를 갖는 깊이 평면들(14) 중 특정한 하나의 깊이 평면과 연관되는 것으로 말할 수 있어서, 특정 깊이 평면의 객체들 또는 객체들의 부분들은, 눈이 해당 깊이 평면에 대해 원근조절된 상태에 있을 때 인 포커싱된다. 일부 실시예들에서, 3-차원 이미저리는 눈들(4, 6) 각각에 대해 이미지의 상이한 프리젠테이션들을 제공함으로써, 그리고 또한 깊이 평면들 각각에 대응하는 이미지의 상이한 프리젠테이션들을 제공함으로써 시뮬레이팅될 수 있다. 예시의 명확성을 위해 별개인 것으로 도시되지만, 눈들(4, 6)의 시야들은 예컨대, z-축을 따른 거리가 증가함에 따라 겹쳐질 수 있다는 것이 인지될 것이다. 게다가, 예시의 용이함을 위해 평평한 것으로 도시되지만, 깊이 평면의 윤곽들은 물리적 공간에서 만곡될 수 있어서, 깊이 평면의 모든 특징들은 특정 원근조절된 상태에서 눈과 인 포커싱된다는 것이 인지될 것이다.

[0022] [0057] 객체와 눈(4 또는 6) 간의 거리는 또한, 그 눈으로 볼 때, 그 객체로부터 광의 발산(divergence)의 양을 변화시킬 수 있다. 도 5a 내지 도 5c는 광선들의 거리와 발산 간의 관계들을 예시한다. 객체와 눈(4) 간의 거리는, 거리가 감소하는 순서로 R1, R2 및 R3에 의해 표현된다. 도 5a 내지 도 5c에 도시된 바와 같이, 광선들은, 객체에 대한 거리가 감소함에 따라 더 많이 발산하게 된다. 거리가 증가함에 따라, 광선들은 더욱 시준된다. 다른 말로 하면, 포인트(객체 또는 객체의 일부)에 의해 생성된 광 필드가 구체 파면 곡률을 가지는 것으로 말해질 수 있고, 구체 파면 곡률은, 포인트가 사용자의 눈으로부터 얼마나 멀리 떨어져 있는지의 함수이다. 곡률은 객체와 눈(4) 간의 거리가 감소함에 따라 증가한다. 결과적으로, 상이한 깊이 평면들에서, 광선들의 발산 정도는 또한 상이하고, 발산 정도는, 깊이 평면들과 뷰어의 눈(4) 간의 거리가 감소함에 따라 증가한다. 단지 하나의 눈(4)이 도 5a 내지 도 5c 및 본원의 다른 도면들에서 예시의 명확성을 위해 예시되지만, 눈(4)에 대한 논의들이 뷰어의 양쪽 눈들(4 및 6)에 적용될 수 있다는 것이 인지될 것이다.

[0023] [0058] 이론에 의해 제한됨이 없이, 인간 눈이 통상적으로 깊이 지각을 제공하기 위하여 유한 수의 깊이 평면들을 해석할 수 있다고 여겨진다. 결과적으로, 지각된 깊이의 매우 믿을 만한 시뮬레이션은, 눈에, 이들 제한된 수의 깊이 평면들 각각에 대응하는 이미지의 상이한 프리젠테이션들을 제공함으로써 달성될 수 있다. 상이한 프리젠테이션들이 뷰어의 눈들에 의해 별개로 포커싱될 수 있고, 그리하여, 상이한 깊이 평면 상에 로케이팅되는 장면에 대한 상이한 이미지 특징들에 포커스를 맞추도록 요구되는 눈의 원근조절에 기초하여 그리고/또는 상이한 깊이 평면들 상의 상이한 이미지 특징들이 아웃 포커스(out of focus)되는 것을 관찰하는 것에 기초하여 깊이 단서들을 사용자에게 제공하는 것을 돕는다.

[0024] [0059] 도 6은 이미지 정보를 사용자에게 출력하기 위한 도파관 스택의 예를 예시한다. 디스플레이 시스템(1000)은 복수의 도파관들(1182, 1184, 1186, 1188, 1190)을 사용하여 3-차원 지각을 눈/뇌에 제공하기 위하여 활용될 수 있는 도파관들의 스택, 또는 스택된 도파관 어셈블리(1178)를 포함한다. 일부 실시예들에서, 디스플레이 시스템(1000)은 도 2의 시스템(80)이고, 도 6은 그 시스템(80)의 일부 부분들을 더 상세히 개략적으로 보여준다. 예컨대, 도파관 어셈블리(1178)는 도 2의 디스플레이(62)의 부분일 수 있다. 디스플레이 시스템(1000)은 일부 실시예들에서 광 필드(light field) 디스플레이로서 간주될 수 있다는 것이 인지될 것이다.

- [0025] [0060] 도 6을 계속 참조하면, 도파관 어셈블리(1178)는 또한 도파관들 사이에 복수의 특징들(1198, 1196, 1194, 1192)을 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 특징들(1198, 1196, 1194, 1192)은 하나 이상의 렌즈들일 수 있다. 도파관들(1182, 1184, 1186, 1188, 1190) 및/또는 복수의 렌즈들(1198, 1196, 1194, 1192)은 다양한 레벨들의 파면 곡률 또는 광선 발산으로 이미지 정보를 눈에 전송하도록 구성될 수 있다. 각각의 도파관 레벨은 특정 깊이 평면과 연관될 수 있고 그 깊이 평면에 대응하는 이미지 정보를 출력하도록 구성될 수 있다. 이미지 주입 디바이스들(1200, 1202, 1204, 1206, 1208)은 도파관들에 대한 광의 소스로서 기능할 수 있고, 이미지 정보를 도파관들(1182, 1184, 1186, 1188, 1190)에 주입하기 위하여 활용될 수 있으며, 도파관들 각각은, 본원에 설명된 바와 같이, 눈(4)을 향하여 출력하기 위해 각각의 개별 도파관에 걸쳐 인입 광을 분산시키도록 구성될 수 있다. 광은 이미지 주입 디바이스들(1200, 1202, 1204, 1206, 1208)의 출력 표면(1300, 1302, 1304, 1306, 1308)을 나가고 도파관들(1182, 1184, 1186, 1188, 1190)의 대응하는 입력 표면(1382, 1384, 1386, 1388, 1390)에 주입된다. 일부 실시예들에서, 입력 표면들(1382, 1384, 1386, 1388, 1390) 각각은 대응하는 도파관의 에지일 수 있거나, 또는 대응하는 도파관의 주 표면의 일부일 수 있다(즉, 도파관 표면들 중 하나는 직접적으로 세계(1144) 또는 뷰어의 눈(4)을 향함). 일부 실시예들에서, 단일 광 빔(예컨대, 시준된 빔)은 특정 도파관과 연관된 깊이 평면에 대응하는 특정 각도들(및 발산의 양들)로 눈(4)을 향하여 지향되는 시준된 클론 빔(cloned collimated beam)들의 전체 필드를 출력하기 위하여 각각의 도파관으로 주입될 수 있다. 일부 실시예들에서, 이미지 주입 디바이스들(1200, 1202, 1204, 1206, 1208) 중 하나의 이미지 주입 디바이스가 복수(예컨대, 3개)의 도파관들(1182, 1184, 1186, 1188, 1190)과 연관되고 그에 광을 주입할 수 있다.
- [0026] [0061] 일부 실시예들에서, 이미지 주입 디바이스들(1200, 1202, 1204, 1206, 1208)은 각각 대응하는 도파관(1182, 1184, 1186, 1188, 1190)에 주입을 위한 이미지 정보를 각각 생성하는 이산 디스플레이들이다. 일부 다른 실시예들에서, 이미지 주입 디바이스들(1200, 1202, 1204, 1206, 1208)은 예컨대, 이미지 정보를 하나 이상의 광학 도관들(예컨대, 광섬유 케이블들)을 통하여 이미지 주입 디바이스들(1200, 1202, 1204, 1206, 1208) 각각에 파이핑(pipe)할 수 있는 단일 멀티플렉싱된 디스플레이의 출력 단부들이다. 이미지 주입 디바이스들(1200, 1202, 1204, 1206, 1208)에 의해 제공되는 이미지 정보는 상이한 파장들 또는 컬러들(예컨대, 본원에서 논의된 바와 같이 상이한 컴포넌트 컬러들)의 광을 포함할 수 있다는 것이 인지될 것이다.
- [0027] [0062] 일부 실시예들에서, 도파관들(1182, 1184, 1186, 1188, 1190)로 주입된 광은 LED(light emitting diode)와 같은 광 이미터를 포함할 수 있는 광 모듈(2040)을 포함하는 광 프로젝터 시스템(2000)에 의해 제공된다. 광 모듈(2040)로부터의 광은 빔 분할기(2050)를 통해 광 변조기(2030), 예컨대, 공간 광 변조기에 지향되고 그에 의해 수정될 수 있다. 광 변조기(2030)는 도파관들(1182, 1184, 1186, 1188, 1190) 내로 주입되는 광의 지각된 세기를 변화시키도록 구성될 수 있다. 공간 광 변조기들의 예들은, LCOS(liquid crystal on silicon) 디스플레이들을 포함하는 LCD(liquid crystal display)들을 포함한다.
- [0028] [0063] 일부 실시예들에서, 디스플레이 시스템(1000)은 광을 다양한 패턴들(예컨대, 래스터 스캔, 나선형 스캔, 리사주(Lissajous) 패턴 등)로 하나 이상의 도파관들(1182, 1184, 1186, 1188, 1190) 내로 그리고 궁극적으로 뷰어의 눈(4)으로 프로젝팅하도록 구성된 하나 이상의 스캐닝 섬유들을 포함하는 스캐닝 섬유 디스플레이일 수 있다. 일부 실시예들에서, 예시된 이미지 주입 디바이스들(1200, 1202, 1204, 1206, 1208)은 하나 또는 복수의 도파관들(1182, 1184, 1186, 1188, 1190) 내로 광을 주입하도록 구성된 단일 스캐닝 섬유 또는 스캐닝 섬유들의 번들(bundle)들을 개략적으로 표현할 수 있다. 일부 다른 실시예들에서, 예시된 이미지 주입 디바이스들(1200, 1202, 1204, 1206, 1208)은 복수의 스캐닝 섬유들 또는 스캐닝 섬유들의 복수의 번들들을 개략적으로 표현할 수 있으며, 이들 각각은 도파관들(1182, 1184, 1186, 1188, 1190) 중 연관된 하나 내로 광을 주입하도록 구성된다. 하나 이상의 광섬유들이 광 모듈(2040)로부터 하나 이상의 도파관들(1182, 1184, 1186, 1188, 1190)로 광을 송신하도록 구성될 수 있다는 것이 인지될 것이다. 예컨대, 스캐닝 섬유에서 나오는 광을 하나 이상의 도파관들(1182, 1184, 1186, 1188, 1190)로 재지향시키도록, 스캐닝 섬유 또는 섬유들과 하나 이상의 도파관들(1182, 1184, 1186, 1188, 1190) 사이에 하나 이상의 개재된 광학 구조들이 제공될 수 있다는 것이 인지될 것이다.
- [0029] [0064] 제어기(1210)는 이미지 주입 디바이스들(1200, 1202, 1204, 1206, 1208), 광 소스(2040) 및 광 변조기(2030)의 동작을 포함한, 스택된 도파관 어셈블리(1178)의 하나 이상의 도파관들의 동작을 제어한다. 일부 실시예들에서, 제어기(1210)는 로컬 데이터 프로세싱 모듈(70)의 부분이다. 제어기(1210)는 예컨대, 본원에서 개시된 다양한 방식들 중 임의의 방식에 따라 도파관들(1182, 1184, 1186, 1188, 1190)에 대한 이미지 정보의 타이밍 및 제공을 조절하는 프로그래밍(예컨대, 비-일시적 매체의 명령들)을 포함한다. 일부 실시예들에서, 제어기는 단일 통합 디바이스, 또는 유선 또는 무선 통신 채널들에 의해 연결되는 분산 시스템일 수 있다. 제어기

(1210)는 일부 실시예들에서, 프로세싱 모듈들(70 또는 72)(도 1)의 부분일 수 있다.

[0030] [0065] 도 6을 계속 참조하면, 도파관들(1182, 1184, 1186, 1188, 1190)은 TIR(total internal reflection)에 의해 각각의 개별 도파관 내에서 광을 전파시키도록 구성될 수 있다. 도파관들(1182, 1184, 1186, 1188, 1190)은 각각 평면형이거나 다른 형상(예컨대, 곡선)을 가질 수 있으며, 주 최상부 및 최하부 표면들 및 이들 주 최상부와 최하부 표면들 사이에서 연장되는 에지들을 갖는다. 예시된 구성에서, 도파관들(1182, 1184, 1186, 1188, 1190)은 이미지 정보를 눈(4)에 출력하기 위해 각각의 개별 도파관 내에서 전파되는 광을 도파관 밖으로 재지향시킴으로써 도파관 밖으로 광을 추출하도록 구성된 아웃커플링 광학 엘리먼트들(1282, 1284, 1286, 1288, 1290)을 각각 포함할 수 있다. 추출된 광은 아웃커플링된 광으로서 또한 지칭될 수 있고, 아웃커플링 광학 엘리먼트들은 또한 광 추출 광학 엘리먼트들로서 지칭될 수 있다. 추출된 광 빔은, 도파관 내에서 전파되는 광이 광 추출 광학 엘리먼트에 부딪치는 위치들에서 도파관에 의해 출력된다. 아웃커플링 광학 엘리먼트들(1282, 1284, 1286, 1288, 1290)은 예컨대, 본원에서 추가로 논의되는 바와 같이, 회절성 광학 특징들을 포함하는 격자 들일 수 있다. 설명의 용이함 및 도면 명확성을 위하여 도파관들(1182, 1184, 1186, 1188, 1190)의 최하부 주 표면들에 배치된 것으로 예시되지만, 일부 실시예들에서, 아웃커플링 광학 엘리먼트들(1282, 1284, 1286, 1288, 1290)은 본원에서 추가로 논의되는 바와 같이, 최상부 및/또는 최하부 주 표면들에 배치될 수 있고, 그리고/또는 도파관들(1182, 1184, 1186, 1188, 1190)의 볼륨에 직접 배치될 수 있다. 일부 실시예들에서, 아웃커플링 광학 엘리먼트들(1282, 1284, 1286, 1288, 1290)은 도파관들(1182, 1184, 1186, 1188, 1190)을 형성하기 위해 투명 기판에 부착된 재료 층에 형성될 수 있다. 일부 다른 실시예들에서, 도파관들(1182, 1184, 1186, 1188, 1190)은 재료의 모놀리식 피스(piece)일 수 있고 아웃커플링 광학 엘리먼트들(1282, 1284, 1286, 1288, 1290)은 재료의 해당 피스의 표면 상에 그리고/또는 그 내부에 형성될 수 있다.

[0031] [0066] 도 6을 계속 참조하면, 본원에 논의된 바와 같이, 각각의 도파관(1182, 1184, 1186, 1188, 1190)은 특정 깊이 평면에 대응하는 이미지를 형성하기 위해 광을 출력하도록 구성된다. 예컨대, 눈에 가장 가까운 도파관(1182)은, 그러한 도파관(1182)에 주입된 시준된 광을 눈(4)에 전달하도록 구성될 수 있다. 시준된 광은 광학 무한대 초점 평면을 나타낼 수 있다. 위의 다음 도파관(1184)은, 시준된 광이 눈(4)에 도달할 수 있기 전에 제1 렌즈(1192)(예컨대, 네거티브 렌즈)를 통과하는 시준된 광을 전송하도록 구성될 수 있고; 그러한 제1 렌즈(1192)는 약간 볼록한 파면 곡률을 생성하도록 구성될 수 있어서, 눈/뇌는 위의 다음 도파관(1184)으로부터 오는 광을, 광학적 무한대로부터 눈(4)을 향하여 안쪽으로 더 가까운 제1 초점 평면으로부터 오는 것으로 해석한다. 유사하게, 위의 제3 도파관(1186)은 자신의 출력 광을 눈(4)에 도달하기 전에 제1(1192) 및 제2(1194) 렌즈들 둘 모두를 통과시키고; 제1(1192) 및 제2(1194) 렌즈들의 조합된 광 파워(optical power)는 다른 증분 양의 파면 곡률을 생성하도록 구성될 수 있어서, 눈/뇌는 제3 도파관(1186)으로부터 오는 광을, 위의 다음 도파관(1184)으로부터의 광보다는 광학적 무한대로부터 사람을 향하여 안쪽으로 훨씬 더 가까운 제2 초점 평면으로부터 오는 것으로 해석한다.

[0032] [0067] 다른 도파관 층들(1188, 1190) 및 렌즈들(1196, 1198)은 유사하게 구성되는데, 스택에서 가장 높은 도파관(1190)은 자신의 출력을, 사람과 가장 가까운 초점 평면을 나타내는 어그리게이트 초점 전력에 대해 자신과 눈 사이의 렌즈들 모두를 통하여 전송한다. 스택된 도파관 어셈블리(1178)의 다른 측 상에서 세계(114)로부터 오는 광을 보거나/해석할 때 렌즈들(1198, 1196, 1194, 1192)의 스택을 보상하기 위하여, 보상 렌즈 층(1180)은 아래의 렌즈 스택(1198, 1196, 1194, 1192)의 어그리게이트 전력을 보상하기 위하여 스택의 최상부에 배치될 수 있다. 이러한 구성은 이용 가능한 도파관/렌즈 쌍들이 존재하는 만큼 많은 지각된 초점 평면들을 제공한다. 도파관들의 아웃커플링 광학 엘리먼트들 및 렌즈들의 포커싱 양상들 둘 모두는 정적(즉, 동적이거나 전자-활성 이지 않음)일 수 있다. 일부 대안적인 실시예들에서, 어느 하나 또는 둘 모두는 전자-활성 특징들을 사용하여 동적일 수 있다.

[0033] [0068] 일부 실시예들에서, 도파관들(1182, 1184, 1186, 1188, 1190) 중 둘 또는 그 초과는 동일한 연관된 깊이 평면을 가질 수 있다. 예컨대, 다수의 도파관들(1182, 1184, 1186, 1188, 1190)은 동일한 깊이 평면으로 세팅된 이미지들을 출력하도록 구성될 수 있거나, 또는 도파관들(1182, 1184, 1186, 1188, 1190)의 다수의 서브세트들은 동일한 복수의 깊이 평면들로 세팅된 이미지들(각각의 깊이 평면에 대해 하나의 이미지가 세팅됨)을 출력하도록 구성될 수 있다. 이는 그러한 깊이 평면들에서 확장된 시야를 제공하기 위해 타일 이미지(tiled image)를 형성하는 이점들을 제공할 수 있다.

[0034] [0069] 도 6을 계속 참조하면, 아웃커플링 광학 엘리먼트들(1282, 1284, 1286, 1288, 1290)은 자신의 개별 도파관들 밖으로 광을 재지향시키고 그리고 또한 도파관과 연관된 특정 깊이 평면에 대해 적절한 양의 발산 또는 시준으로 이 광을 출력하도록 구성될 수 있다. 결과로서, 상이한 연관된 깊이 평면들을 가진 도파관들은 상이

한 구성들의 아웃커플링 광학 엘리먼트들(1282, 1284, 1286, 1288, 1290)을 가질 수 있고, 이러한 아웃커플링 광학 엘리먼트들(1282, 1284, 1286, 1288, 1290)은 연관된 깊이 평면에 따라 상이한 양의 발산으로 광을 출력한다. 일부 실시예들에서, 광 추출 광학 엘리먼트들(1282, 1284, 1286, 1288, 1290)은 특정 각도들로 광을 출력하도록 구성될 수 있는 볼류메트릭(volumetric) 또는 표면 특징들일 수 있다. 예컨대, 광 추출 광학 엘리먼트들(1282, 1284, 1286, 1288, 1290)은 볼륨 홀로그래프들, 표면 홀로그래프들, 및/또는 회절 격자들일 수 있다. 일부 실시예들에서, 특징들(1198, 1196, 1194, 1192)은 렌즈들이 아닐 수 있고; 오히려, 이들은 단순히 스페이서들(예컨대, 공기 갭들을 형성하기 위한 클래딩(cladding) 층들 및/또는 구조들)일 수 있다.

[0035] [0070] 일부 실시예들에서, 아웃커플링 광학 엘리먼트들(1282, 1284, 1286, 1288, 1290)은 회절 패턴 또는 회절 광학 엘리먼트(또한 본원에서 DOE로서 지칭됨)를 형성하는 회절 특징들이다. 바람직하게는, DOE들은 충분히 낮은 회절 효율(회절된 빔 세기 대 입사 빔 세기의 비)을 가져서, 단지 광의 일부만이 DOE의 각각의 교차로 인해 눈(4)을 향하여 편향되지만, 나머지는 TIR(total internal reflection)을 통하여 도파관을 통해 계속 이동한다. 따라서, 이미지 정보를 전달하는 광은 다수의 위치들에서 도파관을 나가는 다수의 관련된 출사 빔들로 분할되고 그 결과는 이런 특정 시준된 빔이 도파관 내에서 이리저리 바운딩되기 때문에 눈(4)을 향하는 상당히 균일한 출사 방출 패턴이다.

[0036] [0071] 일부 실시예들에서, 하나 이상의 DOE들은, 그것들을 활발하게 회절시키는 "온" 상태들과 그것들을 크게 회절시키지 않는 "오프" 상태들 간에 스위칭 가능할 수 있다. 예컨대, 스위칭 가능 DOE는, 마이크로액적들이 호스트 매질에서 회절 패턴을 포함하는 중합체 분산형 액정 층을 포함할 수 있고, 마이크로액적들의 굴절률은 호스트 매질의 굴절률에 실질적으로 매칭하도록 스위칭될 수 있거나(이 경우에 패턴은 입사광을 현저하게 회절시키지 않음) 또는 마이크로액적은 호스트 매질의 인덱스에 매칭하지 않는 인덱스로 스위칭될 수 있다(이 경우 패턴은 입사광을 활발하게 회절시킴).

[0037] [0072] 일부 실시예들에서, 예컨대, 사용자 입력들을 검출하고 그리고/또는 사용자의 생리적인 상태를 모니터링하기 위해 눈(4) 및/또는 눈(4) 주위 조직의 이미지들을 캡처하도록 카메라 어셈블리(500)(예컨대, 가시광 및 적외선 카메라들을 포함하는 디지털 카메라)가 제공될 수 있다. 본원에서 사용된 바와 같이, 카메라는 임의의 이미지 캡처 디바이스일 수 있다. 일부 실시예들에서, 카메라 어셈블리(500)는 이미지 캡처 디바이스 및 눈에 광(예컨대, 적외선)을 프로젝팅하기 위한 광 소스를 포함할 수 있으며, 이 광은 그 후 눈에 의해 반사되고 이미지 캡처 디바이스에 의해 검출될 수 있다. 일부 실시예들에서, 카메라 어셈블리(500)는 프레임(64)(도 2)에 부착될 수 있고, 예컨대, 본원에서 논의된 바와 같이 사용자의 생리적인 상태에 관한 다양한 결정들을 내리기 위해 카메라 어셈블리(500)로부터의 이미지 정보를 프로세싱할 수 있는 프로세싱 모듈들(70 및/또는 72)과 전기 통신할 수 있다. 사용자의 생리적인 상태에 관한 정보는 사용자의 행동 또는 감정 상태를 결정하는 데 사용될 수 있다는 것이 인지될 것이다. 이러한 정보의 예들은 사용자의 움직임들 및/또는 사용자의 얼굴 표정들을 포함한다. 사용자의 행동 또는 감정 상태는 그 후, 행동 또는 감정 상태, 생리적인 상태 및 환경적 또는 가상적 콘텐츠 데이터 간의 관계들을 결정하도록 수집된 환경적 및/또는 가상 콘텐츠 데이터로 삼각측량될 수 있다. 일부 실시예들에서, 하나의 카메라 어셈블리(500)가 각각의 눈을 별개로 모니터링하기 위해 각각의 눈에 대해 활용될 수 있다.

[0038] [0073] 이제 도 7을 참조하면, 도파관에 의해 출력된 출사 빔들의 예가 도시된다. 하나의 도파관이 예시되지만, 도파관 어셈블리(1178)(도 6) 내의 다른 도파관들이 유사하게 기능할 수 있다는 것이 인지될 것이며, 여기서 도파관 어셈블리(1178)는 다수의 도파관들을 포함한다. 광(400)은 도파관(1182)의 입력 표면(1382)에서 도파관(1182)으로 주입되고 TIR에 의해 도파관(1182) 내에서 전파된다. 광(400)이 DOE(1282)에 충돌하는 포인트들에서, 광의 일부는 출사 빔들(402)로서 도파관을 나간다. 출사 빔들(402)은 실질적으로 평행한 것으로 예시되지만, 본원에 논의된 바와 같이, 이들 출사 빔들(402)은 또한 도파관(1182)과 연관된 깊이 평면에 따라, 임의의 각도로 눈(4)으로 전파되도록 재지향될 수 있다(예컨대, 발산하는 출사 빔들을 형성함). 실질적으로 평행한 출사 빔들은, 눈(4)으로부터 먼 거리(예컨대, 광학적 무한대)에 있는 깊이 평면 상에 세팅된 것으로 보이는 이미지들을 형성하도록 광을 아웃커플링하는 아웃커플링 광학 엘리먼트들을 갖는 도파관을 나타낼 수 있다는 것이 인지될 것이다. 다른 도파관들 또는 아웃커플링 광학 엘리먼트들의 다른 세트들은 더 발산하는 출사 빔 패턴을 출력할 수 있고, 이는 눈(4)이 망막 상에 포커싱을 맞추게 하기 위해 더 가까운 거리로 원근조절하는 것을 요구할 것이고 광학적 무한대보다 눈(4)에 더 가까운 거리로부터의 광으로서 뇌에 의해 해석될 것이다.

[0039] [0074] 일부 실시예들에서, 풀(full) 컬러 이미지는 컴포넌트 컬러들, 예컨대, 3개 또는 그 초과 컴포넌트 컬러들 각각에 이미지들을 오버레이시킴으로써 각각의 깊이 평면에 형성될 수 있다. 도 8은 각각의 깊이 평면이 다수의 상이한 컴포넌트 컬러들을 사용하여 형성된 이미지들을 포함하는 스택된 도파관 어셈블리의 예를 예

시한다. 예시된 실시예는 깊이 평면들(14a-14f)을 도시하지만, 더 많거나 더 적은 깊이들이 또한 고려될 수 있다. 각각의 깊이 평면은, 자신과 연관된 3개의 컴포넌트 컬러 이미지들, 즉 제1 컬러(G)의 제1 이미지; 제2 컬러(R)의 제2 이미지; 및 제3 컬러(B)의 제3 이미지를 가질 수 있다. 상이한 깊이 평면들은 G, R 및 B 문자들 다음에 오는 디오퍼들(dpt)에 대한 상이한 숫자들에 의해 도면에 표시된다. 단지 예들로서, 이들 문자들 각각 다음에 오는 숫자들은 디오퍼들(1/m) 또는 뷰어로부터의 깊이 평면의 역 거리(inverse distance)를 표시하며, 도면들에서 각각의 박스는 개별 컴포넌트 컬러 이미지를 나타낸다. 일부 실시예들에서, 상이한 파장들의 광의 눈의 포커싱에서의 차이를 참작하기 위해, 상이한 컴포넌트 컬러들에 대한 깊이 평면들의 정확한 배치는 변동될 수 있다. 예컨대, 주어진 깊이 평면에 대한 상이한 컴포넌트 컬러 이미지들은 사용자로부터의 상이한 거리들에 대응하는 깊이 평면들 상에 배치될 수 있다. 이러한 어레이먼트는 시력 및 사용자의 편안함을 증가시킬 수 있고 그리고/또는 색수차들을 감소시킬 수 있다.

[0040] [0075] 일부 실시예들에서, 각각의 컴포넌트 컬러의 광은 하나의 전용 도파관에 의해 출력될 수 있고, 결과적으로, 각각의 깊이 평면은 그것과 연관된 다수의 도파관들을 가질 수 있다. 이러한 실시예들에서, 문자들 G, R 또는 B를 포함하는 도면들 내의 각각의 박스는 개별 도파관을 나타내는 것으로 이해될 수 있고, 3개의 도파관들이 깊이 평면 당 제공될 수 있으며, 여기서 3개의 컴포넌트 컬러 이미지들이 깊이 평면 당 제공된다. 각각의 깊이 평면과 연관된 도파관들이 설명의 용이함을 위해 이 도면에서 서로 인접한 것으로 도시되지만, 물리적 디바이스에서, 도파관들은 모두 레벨 당 하나의 도파관을 갖는 스택으로 배열될 수 있다는 것이 인지될 것이다. 일부 다른 실시예들에서, 다수의 컴포넌트 컬러들이 동일한 도파관에 의해 출력될 수 있어서, 예컨대, 단지 단일 도파관이 깊이 평면 당 제공될 수 있다.

[0041] [0076] 도 8을 계속 참조하면, 일부 실시예들에서, G는 녹색 컬러이고, R은 적색 컬러이고, B는 청색 컬러이다. 일부 다른 실시예들에서, 마젠타 및 시안을 포함하는, 다른 광의 파장들과 연관되는 다른 컬러들이 적색, 녹색 또는 청색 중 하나 이상을 대체할 수 있거나, 또는 이에 추가로 사용될 수 있다. 일부 실시예들에서, 특정들(198, 196, 194 및 192)은 주위 환경으로부터 시청자의 눈들로의 광을 선택적으로 차단하도록 구성된 능동 또는 수동 광학 필터들일 수 있다.

[0042] [0077] 본 개시내용 전반에 걸쳐 주어진 컬러의 광에 대한 참조는 그 주어진 컬러인 것으로서 뷰어에 의해 지각되는 광의 파장들의 범위 내의 하나 이상의 파장들의 광을 포함하는 것으로 이해될 것인 점이 인지될 것이다. 예컨대, 적색 광은 약 620-780nm 범위의 하나 이상의 파장들의 광을 포함할 수 있고, 녹색 광은 약 492-577nm 범위의 하나 이상의 파장들의 광을 포함할 수 있으며, 청색 광은 약 435-493nm 범위의 하나 이상의 파장들의 광을 포함할 수 있다.

[0043] [0078] 일부 실시예들에서, 광 소스(2040)(도 6)는 뷰어의 시각적 지각 범위 밖의 하나 이상의 파장들, 예컨대, 적외선 및/또는 자외선 파장들의 광을 방출하도록 구성될 수 있다. 또한, 디스플레이(1000)의 도파관들의 인커플링, 아웃커플링 및 다른 광 재지향 구조들은 예컨대, 이미징 및/또는 사용자 자극 애플리케이션들을 위해 사용자의 눈(4)을 향하여 디스플레이 밖으로 이 광을 지향 및 방출하도록 구성될 수 있다.

[0044] [0079] 이제 도 9a를 참조하면, 일부 실시예들에서, 도파관에 충돌하는 광은 도파관 내로 그 광을 인커플링하기 위해 재지향될 필요가 있을 수 있다. 인커플링 광학 엘리먼트는 광을 그의 대응하는 도파관으로 재지향 및 인커플링하는 데 사용될 수 있다. 도 9a는 인커플링 광학 엘리먼트를 각각 포함하는 복수의 스택된 도파관들 또는 스택된 도파관들의 세트(1200)의 예의 측 단면도를 예시한다. 도파관들은 각각 하나 이상의 상이한 파장들, 또는 하나 이상의 상이한 파장들의 범위들의 광을 출력하도록 구성될 수 있다. 스택(1200)은 스택(1178)(도 6)에 대응할 수 있고, 스택(1200)의 예시된 도파관들은, 이미지 주입 디바이스들(1200, 1202, 1204, 1206, 1208) 중 하나 이상으로부터의 광이 인커플링을 위해 광이 재지향되도록 요구하는 포지션으로부터 도파관들로 주입되는 것을 제외하면, 복수의 도파관들(1182, 1184, 1186, 1188, 1190)의 부분에 대응할 수 있다는 것이 인지될 것이다.

[0045] [0080] 스택된 도파관들의 예시된 세트(1200)는 도파관들(1210, 1220, 및 1230)을 포함한다. 각각의 도파관은, (도파관 상의 광 입력 영역으로서 또한 지칭될 수 있는) 연관된 인커플링 광학 엘리먼트를 포함하며, 예컨대, 인커플링 광학 엘리먼트(1212)는 도파관(1210)의 주 표면(예컨대, 상위 주 표면) 상에 배치되고, 인커플링 광학 엘리먼트(1224)는 도파관(1220)의 주 표면(예컨대, 상위 주 표면) 상에 배치되며, 인커플링 광학 엘리먼트(1232)는 도파관(1230)의 주 표면(예컨대, 상위 주 표면) 상에 배치된다. 일부 실시예들에서, 인커플링 광학 엘리먼트들(1212, 1222, 1232) 중 하나 이상은 각각의 도파관(1210, 1220, 1230)의 최하부 주 표면 상에 배치될 수 있다(특히, 하나 이상의 인커플링 광학 엘리먼트들은 반사성 편향 광학 엘리먼트들인 경우). 예시된

바와 같이, 인커플링 광학 엘리먼트들(1212, 1222, 1232)은, 이러한 인커플링 광학 엘리먼트들이 투과성 편향 광학 엘리먼트들인 경우, 그의 각각의 도파관(1210, 1220, 1230)의 상위 주 표면(또는 다음 하위 도파관의 최상부) 상에 배치될 수 있다. 일부 실시예들에서, 인커플링 광학 엘리먼트들(1212, 1222, 1232)은 각각의 도파관(1210, 1220, 1230)의 바디에 배치될 수 있다. 일부 실시예들에서, 본원에서 논의된 바와 같이, 인커플링 광학 엘리먼트들(1212, 1222, 1232)은 파장 선택적이어서, 이들은 하나 이상의 광 파장들을 선택적으로 재지향시키면서 다른 광 파장들을 투과시킨다. 그의 각각의 도파관(1210, 1220, 1230)의 한 측 또는 코너 상에서 예시되지만, 인커플링 광학 엘리먼트들(1212, 1222, 1232)은 일부 실시예들에서, 그의 각각의 도파관(1210, 1220, 1230)의 다른 영역들에 배치될 수 있다는 것이 인지될 것이다.

[0046] [0081] 예시된 바와 같이, 인커플링 광학 엘리먼트들(1212, 1222, 1232)은 서로 측방향으로 오프셋될 수 있다. 일부 실시예들에서, 각각의 인커플링 광학 엘리먼트는, 광이 다른 인커플링 광학 엘리먼트를 통과하지 않고 자신이 그 광을 수신하도록 오프셋될 수 있다. 예컨대, 각각의 인커플링 광학 엘리먼트(1212, 1222, 1232)는 도 6에 도시된 바와 같이 상이한 이미지 주입 디바이스(1200, 1202, 1204, 1206, 및 1208)로부터 광을 수신하도록 구성될 수 있고, 다른 인커플링 광학 엘리먼트들(1212, 1222, 1232)로부터 분리(예컨대, 측방향으로 이격)될 수 있어서, 그것은 인커플링 광학 엘리먼트들(1212, 1222, 1232) 중 다른 것들로부터의 광을 실질적으로 수신하지 않는다.

[0047] [0082] 각각의 도파관은 또한 연관된 광 분배 엘리먼트들을 포함하며, 예컨대, 광 분배 엘리먼트들(1214)은 도파관(1210)의 주 표면(예컨대, 최상부 주 표면) 상에 배치되고, 광 분배 엘리먼트들(1224)은 도파관(1220)의 주 표면(예컨대, 최상부 주 표면) 상에 배치되며, 광 분배 엘리먼트들(1234)은 도파관(1230)의 주 표면(예컨대, 최상부 주 표면) 상에 배치된다. 일부 다른 실시예들에서, 광 분배 엘리먼트들(1214, 1224, 1234)은 연관된 도파관들(1210, 1220, 1230)의 최하부 주 표면 상에 각각 배치될 수 있다. 일부 다른 실시예들에서, 광 분배 엘리먼트들(1214, 1224, 1234)은 연관된 도파관들(1210, 1220, 1230)의 최상부 및 최하부 주 표면 둘 모두 상에 각각 배치될 수 있거나; 또는 광 분배 엘리먼트들(1214, 1224, 1234)은 상이한 연관된 도파관들(1210, 1220, 1230)의 최상부 및 최하부 주 표면들 중 상이한 것들 상에 각각 배치될 수 있다.

[0048] [0083] 도파관들(1210, 1220, 1230)은 예컨대, 기체, 액체 및/또는 고체 재료 층들에 의해 이격되고 분리될 수 있다. 예컨대, 예시된 바와 같이, 층(1218a)은 도파관들(1210, 1220)을 분리할 수 있고; 층(1218b)은 도파관(1220 및 1230)을 분리할 수 있다. 일부 실시예들에서, 층들(1218a 및 1218b)은 저 굴절률 재료들(즉, 도파관들(1210, 1220, 1230) 중 바로 인접한 하나를 형성하는 재료보다 낮은 굴절률을 갖는 재료들)로 형성된다. 바람직하게는, 층들(1218a, 1218b)을 형성하는 재료의 굴절률은 도파관들(1210, 1220, 1230)을 형성하는 재료의 굴절률보다 0.05 이상으로 작거나 또는 0.10 이상으로 작다. 유리하게는, 더 낮은 굴절률 층들(1218a, 1218b)은 도파관들(1210, 1220, 1230)을 통한 광의 TIR(total internal reflection)(예컨대, 각각의 도파관의 최상부 및 최하부 주 표면들 사이의 TIR)을 용이하게 하는 클래딩 층들로서 기능할 수 있다. 일부 실시예들에서, 층들(1218a, 1218b)은 공기로 형성된다. 예시되지는 않았지만, 예시된 도파관들의 세트(1200)의 최상부 및 최하부는 바로 이웃한 클래딩 층들을 포함할 수 있다는 것이 인지될 것이다.

[0049] [0084] 바람직하게는, 제조의 용이함 및 다른 고려사항들을 위해, 도파관들(1210, 1220, 1230)을 형성하는 재료는 유사하거나 동일하며, 층들(1218a, 1218b)을 형성하는 재료는 유사하거나 동일하다. 일부 실시예들에서, 도파관들(1210, 1220, 1230)을 형성하는 재료는 하나 이상의 도파관들 간에 상이할 수 있고, 그리고/또는 층들(1218a, 1218b)을 형성하는 재료는 여전히 위에서 언급된 다양한 굴절률 관계들을 유지하면서 상이할 수 있다.

[0050] [0085] 도 9a를 계속 참조하여, 광선들(1240, 1242, 1244)이 도파관들의 세트(1200) 상에 입사된다. 광선들(1240, 1242, 1244)은 하나 이상의 이미지 주입 디바이스들(1200, 1202, 1204, 1206, 1208)(도 6)에 의해 도파관들(1210, 1220, 1230) 내로 주입될 수 있다는 것이 인지될 것이다.

[0051] [0086] 일부 실시예들에서, 광선들(1240, 1242, 1244)은 상이한 성질들, 예컨대, 상이한 파장들 또는 상이한 파장들의 범위들을 가지며, 이는 상이한 컬러들에 대응할 수 있다. 인커플링 광학 엘리먼트들(1212, 1222, 1232)은 각각, 입사광이 TIR에 의해 도파관들(1210, 1220, 1230) 중 각각의 하나를 통해 전파되도록 광을 편향시킨다.

[0052] [0087] 예컨대, 인커플링 광학 엘리먼트(1212)는 제1 파장 또는 파장들의 범위를 갖는 광선(1240)을 편향시키도록 구성될 수 있다. 유사하게, 투과된 광선(1242)은 제2 파장 또는 파장들의 범위의 광을 편향시키도록 구성된 인커플링 광학 엘리먼트(1222)에 충돌하고 그에 의해 편향된다. 마찬가지로, 광선(1244)은 제3 파장 또는

파장들의 범위의 광을 선택적으로 편향시키도록 구성된 인커플링 광학 엘리먼트(1232)에 의해 편향된다.

- [0053] [0088] 도 9a를 계속 참조하면, 편향된 광선들(1240, 1242, 1244)은, 이들이 대응하는 도파관(1210, 1220, 1230)을 통해 전파되도록 편향되는데; 즉, 각각의 도파관의 인커플링 광학 엘리먼트들(1212, 1222, 1232)은 해당 대응하는 도파관(1210, 1220, 1230) 내로 광을 인커플링하도록 해당 대응하는 도파관 내로 광을 편향시킨다. 광선들(1240, 1242, 1244)은 광이 TIR에 의해 각각의 도파관(1210, 1220, 1230)을 통해 전파되게 하는 각도들로 편향된다. 광선들(1240, 1242, 1244)은, 도파관의 대응하는 광 분배 엘리먼트들(1214, 1224, 1234)에 충돌할 때까지 TIR에 의해 각각의 도파관(1210, 1220, 1230)을 통해 전파된다.
- [0054] [0089] 이제 도 9b를 참조하면, 도 9a의 복수의 스택된 도파관들의 예의 사시도를 예시한다. 위에서 언급된 바와 같이, 인커플링된 광선들(1240, 1242, 1244)은 인커플링 광학 엘리먼트들(1212, 1222, 1232)에 의해 각각 편향되고, 그 후 도파관들(1210, 1220, 1230) 내에서 TIR에 의해 각각 전파된다. 그 후, 광선들(1240, 1242, 1244)은 광 분배 엘리먼트들(1214, 1224, 1234)에 각각 충돌한다. 광 분배 엘리먼트들(1214, 1224, 1234)은, 광선들(1240, 1242, 1244)이 아웃커플링 광학 엘리먼트(1250, 1252, 1254)를 향해 각각 전파되도록 이들을 편향시킨다.
- [0055] [0090] 일부 실시예들에서, 광 분배 엘리먼트들(1214, 1224, 1234)은 OPE(orthogonal pupil expander)들이다. 일부 실시예들에서, OPE들은 아웃커플링 광학 엘리먼트들(1250, 1252, 1254)로 광을 편향시키거나 분배하고, 광이 아웃커플링 광학 엘리먼트들로 전파될 때 이 광의 빔 또는 스폿 크기를 또한 증가시킬 수 있다. 일부 실시예들에서, 예컨대, 빔 크기가 이미 원하는 크기인 경우, 광 분배 엘리먼트들(1214, 1224, 1234)은 생략될 수 있고, 인커플링 광학 엘리먼트들(1212, 1222, 1232)은 아웃커플링 광학 엘리먼트들(1250, 1252, 1254)에 광을 직접 편향시키도록 구성될 수 있다. 예컨대, 도 9a를 참조하면, 광 분배 엘리먼트들(1214, 1224, 1234)은 아웃커플링 광학 엘리먼트(1250, 1252, 1254)로 각각 대체될 수 있다. 일부 실시예들에서, 아웃커플링 광학 엘리먼트들(1250, 1252, 1254)은 뷰어의 눈(4)(도 7)에 광을 지향시키는 EP(exit pupil)들 또는 EPE(exit pupil expander)들이다.
- [0056] [0091] 따라서, 도 9a 및 도 9b를 참조하면, 일부 실시예들에서, 도파관들의 세트(1200)는 각각의 컴포넌트 컬러에 대해 도파관들(1210, 1220, 1230; 인커플링 광학 엘리먼트들(1212, 1222, 1232); 광 분배 엘리먼트(예컨대, OPE들)(1214, 1224, 1234); 및 아웃커플링 광학 엘리먼트들(예컨대, EP들)(1250, 1252, 1254)을 포함한다. 도파관들(1210, 1220, 1230)은 각각의 도파관 사이에 에어 갭/클래딩 층을 갖도록 스택될 수 있다. 인커플링 광학 엘리먼트들(1212, 1222, 1232)은 (상이한 인커플링 광학 엘리먼트들이 상이한 파장들의 광을 수신하므로) 입사광을 자신의 도파관으로 재지향 또는 편향시킨다. 그 후, 광은 각각의 도파관(1210, 1220, 1230) 내에서 TIR을 초래할 각도로 전파된다. 도시된 예에서, 광선(1240)(예컨대, 청색 광)은 제1 인커플링 광학 엘리먼트(1212)에 의해 편향되고, 그 후 도파관을 따라 계속 바운싱(bounce)하여, 앞서 설명된 방식으로, 광 분배 엘리먼트(예컨대, OPE들)(1214) 및 그 후 아웃커플링 광학 엘리먼트(예컨대, EP들)(1250)와 상호작용한다. 광선들(1242 및 1244)(예컨대, 각각 녹색 및 적색 광)은 도파관(1210)을 통과할 것이고, 광선(1242)은 인커플링 광학 엘리먼트(1222)에 충돌하고 그에 의해 편향된다. 그 후, 광선(1242)은 TIR을 통해 도파관(1220)을 따라 바운싱되어, 자신의 광 분배 엘리먼트(예컨대, OPE들)(1224)로 그리고 그 후 아웃커플링 광학 엘리먼트(예컨대, EP들)(1252)로 진행된다. 마지막으로, 광선(1244)(예컨대, 적색 광)은 도파관(1220)을 통과하여 도파관(1230)의 광 인커플링 광학 엘리먼트들(1232)에 충돌한다. 광 인커플링 광학 엘리먼트들(1232)은, 광선(1244)이 TIR에 의해 광 분배 엘리먼트(예컨대, OPE들)(1234)로, 그리고 그 후 TIR에 의해 아웃커플링 광학 엘리먼트(예컨대, EP들)(1254)로 전파되도록 그 광선을 편향시킨다. 그 후, 아웃커플링 광학 엘리먼트(1254)는 최종적으로 광선(1244)을 뷰어에 아웃커플링하며, 이 뷰어는 또한 다른 도파관들(1210, 1220)로부터 아웃커플링된 광을 수신한다.
- [0057] [0092] 도 9c는 도 9a 및 도 9b의 복수의 스택된 도파관들의 예의 하향식 평면도를 예시한다. 예시된 바와 같이, 각각의 도파관의 연관된 광 분배 엘리먼트(1214, 1224, 1234) 및 연관된 아웃커플링 광학 엘리먼트(1250, 1252, 1254)와 함께, 도파관들(1210, 1220, 1230)은 수직으로 정렬될 수 있다. 그러나, 본원에서 논의된 바와 같이, 인커플링 광학 엘리먼트들(1212, 1222, 1232)은 수직으로 정렬되지 않고; 오히려, 인커플링 광학 엘리먼트들은 바람직하게는, 중첩되지 않는다(예컨대, 하향식도에서 보여지는 바와 같이 측방향으로 이격됨). 본원에서 추가로 논의되는 바와 같이, 이러한 중첩되지 않는 공간적 어레이지먼트는 일대일 기반으로 상이한 자원들로부터 상이한 도파관으로의 광의 주입을 용이하게 하고, 그리하여 특정 광 소스가 특정 도파관에 고유하게 커플링되도록 허용한다. 일부 실시예들에서, 중첩되지 않는 공간적으로-분리된 인커플링 광학 엘리먼트들을 포함하는 어레이지먼트들은 시프트된 동공 시스템으로서 지칭될 수 있고, 이러한 어레이지먼트들의 인커플링 광학 엘

리먼트들은 서브 동공들에 대응할 수 있다.

[0058] 액정들에 기초한 브래그-반사 또는 회절 구조들

[0059] [0093] 일반적으로, 액정들은 종래의 유체들과 고체들의 중간일 수 있는 물리적 성질들을 갖는다. 액정들이 일부 양상들에서 유체와 비슷하지만, 대부분의 유체들과 달리, 액정들 내의 분자들의 어레인지먼트는 일부 구조적인 순서를 나타낸다. 상이한 유형들의 액정들은 서모트로픽(thermotropic), 레오토로픽(lyotropic) 및 중합체 액정들을 포함한다. 본원에서 개시된 서모트로픽 액정들은 다양한 물리적 상태들, 예컨대, 네마틱 상태/상(state/phase), 스멕틱 상태/상, 키랄 네마틱 상태/상 또는 키랄 스멕틱 상태/상을 포함하는 상들로 구현될 수 있다.

[0060] [0094] 본원에서 설명된 바와 같이, 네마틱 상태 또는 상의 액정들은 장거리 방향적 순서(long-range directional order)(그의 장축은 대략 평행함)를 가지면서, 비교적 적은 포지션 순서를 갖는 칼라미틱(막대-형상) 또는 디스크틱(discotic)(디스크-형상) 유기 분자들을 가질 수 있다. 따라서, 유기 분자들은 그들의 장거리 방향적 순서를 여전히 유지하면서, 질량 포지션들의 중심이 액체에서와 같이 랜덤으로 분배된 채로, 자유롭게 유동할 수 있다. 일부 구현들에서, 네마틱 상의 액정들은 단축(uniaxial)일 수 있는데; 즉, 액정들은 더 길고 선호되는 하나의 축을 가지며, 다른 두 개는 대략 등가이다. 다른 구현들에서, 액정들은 2축(biaxial)일 수 있는데; 즉, 그의 장축을 배향시키는 것 이외에도, 액정들은 또한 2차 축을 따라 배향될 수 있다.

[0061] [0095] 본원에서 설명된 바와 같이, 스멕틱 상태 또는 상의 액정들은 서로 미끄러질 수 있는 비교적 잘 정의된 층들을 형성하는 유기 분자들을 가질 수 있다. 일부 구현들에서, 스멕틱 상의 액정들은 일 방향을 따라 포지션적으로 순서화될 수 있다. 일부 구현들에서, 분자들의 장축들은 액정 층의 평면에 실질적으로 수직인 방향을 따라 배향될 수 있는 반면, 다른 구현들에서, 분자들의 장축들은 층의 평면에 수직인 방향에 대해 기울어질 수 있다.

[0062] [0096] 본원에서 그리고 본 개시내용 전반에 걸쳐, 네마틱 액정들은 이웃 분자들의 장축들이 대략적으로 서로 정렬되어 있는 막대-형 분자들로 구성된다. 이 이방성 구조를 설명하기 위해, 디렉터(director)라고 불리는 무차원 유닛 벡터($\underline{n}$)가 액정 분자들의 바람직한 배향의 방향을 설명하는 데 사용될 수 있다.

[0063] [0097] 본원에서 그리고 본 개시내용 전반에 걸쳐, 경사각 또는 전경사각(Φ)은 액정 층들의 또는 기관의 주 표면(x-y 평면)에 수직인 평면, 예컨대, x-z 평면에서 측정되고, 정렬 방향과 주 표면 또는 주 표면에 평행한 방향, 예컨대 x-방향 사이에서 측정된 각도를 지칭할 수 있다.

[0064] [0098] 본원에서 그리고 본 개시내용 전반에 걸쳐, 방위각 또는 회전각(ϕ)은 층 법선 방향, 또는 액정 층의 주 표면에 수직인 축을 중심으로 한 회전의 각도를 설명하는 데 사용되며, 이는 액정 층들의 또는 기관의 주 표면에 평행한 평면 예컨대, x-y 평면에서 측정되고, 정렬 방향, 예컨대, 신장 방향 또는 디렉터(director)의 방향과 주 표면에 평행한 방향, 예컨대 y-방향 사이에서 측정된다.

[0065] [0099] 본원에서 그리고 본 개시내용 전반에 걸쳐, 전경사각(Φ) 또는 회전각(ϕ)과 같은 각도가 상이한 구역들 사이에서 실질적으로 동일한 것으로 지칭될 때, 평균 정렬각들은 예컨대, 서로 약 1%, 약 5% 또는 약 10% 내에 있을 수 있지만, 일부 경우들에서, 평균 정렬은 더 클 수 있다는 것이 이해될 것이다.

[0066] [0100] 본원에서 그리고 본 명세서 전반에 걸쳐, 듀티 사이클은, 예컨대, 제1 정렬 방향으로 정렬된 액정 분자들을 갖는 제1 구역의 제1 측방향 치수와 제1 구역을 갖는 존의 격자 주기 사이의 비를 지칭할 수 있다. 응용 가능한 경우, 제1 구역은 액정들의 정렬이 상이한 존들 사이에서 변동되지 않는 구역에 대응한다.

[0067] [0101] 본원에서 설명된 바와 같이, 네마틱 상태 또는 스멕틱 상태의 액정은 또한 키랄성을 나타낼 수 있다. 이러한 액정들은 키랄 상 또는 콜레스테릭 상으로 있을 수 있는 것으로서 지칭된다. 키랄 상 또는 콜레스테릭 상에서, 액정들은 디렉터에 수직인 분자들의 트위스팅(twisting)을 나타낼 수 있으며, 분자 축은 디렉터와 평행하다. 인접한 분자들 사이의 유한 트위스트 각은 그들의 비대칭 패키징에 기인하며, 이는 장거리 키랄 순서를 초래한다.

[0068] [0102] 본원에서 설명된 바와 같이, 키랄 스멕틱 상태 또는 상의 액정들은 액정 분자들이 레이어드(layered) 구조에서 포지션 순서를 갖도록 구성될 수 있으며, 분자들은 층 법선에 대해 유한 각도로 기울어진다. 또한, 키랄성(chirality)은 하나의 액정 분자로부터 다음 액정 분자까지의 층 법선에 수직인 방향에 대해 액정 분자들의 연속적 방위 트위스트들을 층 법선 방향으로 유도할 수 있고, 그리하여 층 법선을 따라 분자 축의 나선형 트위스팅을 생성한다.

- [0069] [0103] 본원에서 그리고 본 개시내용 전반에 걸쳐 설명된 바와 같이, 키랄 구조는 방향, 예컨대, 층 깊이 방향과 같은 디렉터에 수직인 방향으로 연장되고, 회전 방향, 예컨대 시계 방향 또는 반시계 방향으로 연속적으로 회전 또는 트위스트되는, 콜레스테릭 상의 복수의 액정 분자들을 지칭한다. 일 양상에서, 키랄 구조의 액정 분자들의 디렉터들은 나선형 피치를 갖는 나선으로서 특징화될 수 있다.
- [0070] [0104] 본원에서 설명된 바와 같이, 키랄성을 디스플레이하는 콜레스테릭 상의 액정들은 제1 회전 방향으로 한 번의 풀 회전에 의한 키랄 구조들의 액정 분자들의 순 회전각에 대응하는 층 깊이 방향의 길이에 대응하는 키랄 피치 또는 나선형 피치(p)를 갖는 것으로서 설명될 수 있다. 즉, 나선형 피치는 액정 분자들이 풀 360° 트위스트를 경험하는 거리를 지칭한다. 나선형 피치(p)는 예컨대, 온도가 변경될 때 또는 다른 분자들이 액정 호스트에 첨가될 때 변할 수 있어(아키랄(achiral) 액체 호스트 재료는 키랄 재료로 도핑되는 경우, 키랄 상을 형성할 수 있음), 주어진 재료의 나선형 피치(p)가 상응하게 튜닝되게 할 수 있다. 일부 액정 시스템들에서, 나선형 피치는 가시 광의 파장과 동일한 차수이다. 본원에서 설명된 바와 같이, 키랄성을 디스플레이하는 액정들은 또한, 예컨대 층 법선 방향에서 연속적인 액정 분자들 사이의 상대적인 방위각 회전을 지칭할 수 있는 트위스트 각, 또는 회전각(Φ)을 갖는 것으로서, 그리고 예컨대, 특정된 길이, 예컨대 키랄 구조의 길이 또는 액정층의 두께에 걸쳐 최상위 액정 분자와 최하위 액정 분자 사이의 상대적 방위각 회전을 지칭할 수 있는 순 트위스트 각 또는 순 회전각을 갖는 것으로서 설명될 수 있다.
- [0071] [0105] 본원에서 설명된 다양한 실시예들에 따라, 위에서 설명된 바와 같은 다양한 상태들 또는 상들을 갖는 액정들은, 예컨대, 복굴절, 광학 이방성, 및 박막 프로세스들을 사용한 제조성을 포함하는 다양한 바람직한 재료 성질들을 제공하도록 구성될 수 있다. 예컨대, 액정 층들의 표면 조건들을 변경하고 그리고/또는 상이한 액정 재료들을 혼합함으로써, 공간적으로 변동되는 회절 성질들, 예컨대 구매 회절 효율들을 나타내는 격자 구조들이 제조될 수 있다.
- [0072] [0106] 본원에서 설명된 바와 같이, "중합 가능 액정(polymerizable liquid crystal)"들은 중합될 수 있는, 예컨대, 인-시추 광중합(in-situ photopolymerize)될 수 있는 액정 재료들을 지칭할 수 있으며, 또한 RM(reactive mesogens)로서 본원에서 설명될 수 있다.
- [0073] [0107] 액정 분자들은 일부 실시예들에서 중합 가능할 수 있고 일단 중합되면 다른 액정 분자들과 함께 대형 네트워크를 형성할 수 있다는 것이 인지될 것이다. 예컨대, 액정 분자들은 화학 결합(chemical bond)들에 의해 또는 화학 중들을 다른 액정 분자들과 링크시킴으로써 링크될 수 있다. 함께 결합되면, 액정 분자들은 함께 링크되기 전과 실질적으로 동일한 배향들 및 위치들을 갖는 액정 도메인들을 형성할 수 있다. 설명의 편의를 위해, "액정 분자"라는 용어는 본원에서, 중합 이전의 액정 분자들 및 중합 후에 이들 분자들에 의해 형성된 액정 도메인들 둘 모두를 지칭하는 데 사용된다.
- [0074] [0108] 본원에서 설명된 특정 실시예들에 따라, 광-중합 가능 액정 재료들은, 브래그-반사 또는 회절 구조들, 예컨대, 회절 격자를 형성하도록 구성될 수 있으며, 복굴절, 키랄성 및 다중-코팅에 대한 용이성을 포함하는 그의 재료 성질들이 활용되어 상이한 재료 성질들, 예컨대, 복굴절, 키랄성 및 두께를 갖는 회절 격자를 생성할 수 있으며, 이는 상이한 회절 성질들, 예컨대, 몇 개만 언급하자면, 회절 효율, 파장 선택성 및 오프-축 회절각도 선택성을 초래할 수 있다.
- [0075] [0109] 본원에서 설명된 바와 같이, "투과성" 또는 "투명" 구조, 예컨대, 투명 기관은, 입사광의 적어도 일부 예컨대, 적어도 20, 30 또는 50%를 통과시킬 수 있다는 것이 인지될 것이다. 따라서, 투명 기관은 일부 실시예들에서 유리, 사파이어 또는 중합체 기관일 수 있다. 대조적으로, "반사" 구조, 예컨대 반사 기관은 그로부터 입사광의 적어도 일부, 예컨대, 적어도 20, 30, 50, 70, 90% 이상을 반사시킬 수 있다.
- [0076] [0110] 격자의 광학 성질들은 격자의 물리적 구조들(예컨대, 주기성, 깊이 및 듀티 사이클)뿐만 아니라 격자의 재료 성질들(예컨대, 굴절률, 흡수 및 복굴절)에 의해 결정된다. 액정들이 사용될 때, 격자의 광학 성질들은 예컨대, 액정 재료들의 분자 배향 또는 분배를 제어함으로써 제어될 수 있다. 예컨대, 격자 영역에 걸친 액정 재료의 분자 배향 또는 분배를 변동시킴으로써, 격자는 등급화된 회절 효율들을 나타낼 수 있다. 이러한 접근법들은 도면들을 참조하여 아래에서 설명된다.
- [0077] CLCG(Cholesteric Liquid Crystal Diffraction Grating)
- [0078] [0111] 도 6 및 도 7을 참조하여 위에서 설명된 바와 같이, 본원에서 설명된 다양한 실시예들에 따른 디스플레이 시스템들은 회절 격자들을 포함할 수 있는 광학 엘리먼트들, 예컨대, 인커플링 광학 엘리먼트들, 아웃커플링 광학 엘리먼트들 및 광 분배 엘리먼트들을 포함할 수 있다. 예컨대, 도 7을 참조하여 위에서 설명된 바와

같이, 도파관(1182)의 입력 표면(1382)에서 도파관(1182) 내로 주입되는 광(400)은 TIR(total internal reflection)에 의해 도파관(1182) 내에서 전파된다. 광(400)이 아웃-커플링 광학 엘리먼트(1282)에 충돌하는 포인트들에서, 광의 부분은 출사 빔들(402)로서 도파관을 빠져나간다. 일부 구현들에서, 광학 엘리먼트(1182, 1282 또는 1382) 중 임의의 것은 회절 격자로서 구성될 수 있다.

[0079] [0112] 도파관(1182) 내로의 효율적인 광 인-커플링(또는 그로부터의 아웃-커플링)은, 예컨대, 가상/증강/혼합 디스플레이 애플리케이션들을 위한 도파관-기반 시-쓰루(see-through) 디스플레이들을 설계하는 데 있어 난제가 될 수 있다. 이들 및 다른 애플리케이션들에 있어서, 구조가 회절 성질들을 포함하는 다양한 광학 성질들을 최적화하도록 구성 가능한 재료로 형성된 회절 격자를 갖는 것이 바람직하다. 바람직한 회절 성질들은 다른 성질들 중에서도, 특히 편광 선택성, 스펙트럼 선택성, 각도 선택성, 높은 스펙트럼 대역폭 및 높은 회절 효율을 포함한다. 이들 및 다른 요구들을 해결하기 위해, 본원에서 개시된 다양한 실시예들에서, 광학 엘리먼트(1282)는 CLCG(cholesteric liquid crystal diffraction grating)로서 구성된다. 아래에 설명되는 바와 같이, 다양한 실시예들에 따른 CLCG들은 다른 것들 중에서도, 편광 선택성, 대역폭, 위상 프로파일, 회절 성질의 공간적 변동, 스펙트럼 선택성 및 높은 회절 효율들을 최적화하도록 구성될 수 있다.

[0080] [0113] 이하, 다양한 광학 성질에 대해 최적화된 CLC(cholesteric liquid crystal)를 포함하는 반사성 액정 회절 격자로서 구성된 CLCG들의 다양한 실시예들이 설명된다. 일반적으로 회절 격자들은 광을 상이한 방향으로 이동하는 여러 광 빔들로 분할 및 회절시키는 주기적 구조를 갖는다. 이들 빔들의 방향들은 다른 것들 중에서도, 주기적 구조의 주기 및 광의 파장에 의존한다. 아웃커플링 광학 엘리먼트(1282)(도 6, 도 7)와 같은 소정의 애플리케이션들에 대해 소정의 광학 성질들, 예컨대, 회절 효율들을 최적화하기 위해, CLC의 다양한 재료 성질들이 아래에서 설명되는 바와 같이 최적화될 수 있다.

[0081] [0114] 위에서 설명된 바와 같이, 키랄(네마틱) 상 또는 콜레스테릭 상에서의 CLC(cholesteric liquid crystal) 층의 액정 분자들은 액정 층의 법선 방향 또는 깊이 방향에서의 막의 포지션의 함수로서 디렉터의 연속적인 방위각 트위스트들을 갖도록 배열되는 복수의 액정 분자들을 특징으로 한다. 본원에서 설명된 바와 같이, 연속적인 방위각 트위스트들 갖도록 배열되는 액정 분자들은 본원에서 키랄 구조로서 집합적으로 지칭된다. 본원에서 설명된 바와 같이, 방위각 트위스트 또는 회전의 각도(Φ)는 위에서 설명된 바와 같이, 층 법선에 평행한 방향에 대해 액정 분자들의 디렉터들 사이의 각도로서 설명된다. 키랄 구조의 액정 분자들의 공간적으로 변동되는 디렉터는, 위에서 설명된 바와 같이 디렉터가 360° 만큼 회전한 (예컨대, 액정 층의 층 법선 방향에서의) 거리로서 나선형 피치(p)가 정의되는 나선형 패턴을 형성하는 것으로서 설명될 수 있다. 본원에서 설명된 바와 같이, 회절 격자로서 구성된 CLC 층은 액정들의 분자 구조들이 깊이 방향에 법선인 측방향에서 주기적으로 반복되는 측방향 치수를 갖는다. 측방향의 이러한 주기성은 격자 주기(Λ)로서 지칭된다.

[0082] [0115] 본원에서 설명된 다양한 실시예들에 따라, 회절 격자는 복수의 키랄 구조들을 포함하는 CLC(cholesteric liquid crystal) 층을 포함하며, 각각의 키랄 구조는, 적어도 나선형 피치만큼 층 깊이 방향으로 연장되고 제1 회전 방향으로 연속적으로 회전되는 복수의 액정 분자들을 포함한다. 나선형 피치는, 제1 회전 방향의 한 번의 풀 회전에 의한 키랄 구조들의 액정 분자들의 순 회전각에 대응하는 층 깊이 방향의 길이이다. 키랄 구조들의 액정 분자들의 어레인지먼트들은 층 깊이 방향에 수직인 측방향으로 주기적으로 변동된다.

[0083] [0116] 도 10은 실시예들에 따라 복수의 균일한 키랄 구조들을 포함하는 CLC(cholesteric liquid crystal) 층(1004)의 측 단면도를 예시한다. CLC(1004)는 복수의 키랄 구조들(1012-1, 1012-2, ... 1012-i)로서 배열된 액정 분자들을 포함하는 CLC 층(1008)을 포함하며, 여기서 각각의 키랄 구조는 복수의 액정 분자들을 포함하며, 여기서 i는 2보다 큰 임의의 적합한 정수이다. 예컨대, 키랄 구조(1012-1)는 층 법선 방향, 예컨대, 예시된 실시예에서, x-방향으로 연장되도록 배열된 복수의 액정 분자들(1012-1-1, 1012-1-2, ... 1012-1-j)을 포함하며, 여기서 j는 2보다 큰 임의의 적합한 정수이다. 각각의 키랄 구조의 액정 분자들은 제1 회전 방향으로 연속적으로 회전된다. 예시된 실시예에서, 액정 분자들은 양의 z-축 방향(즉, 축 화살표의 방향) 또는 입사광 빔들(1016-L, 1016-R)의 전파 방향에서 볼 때 시계 방향으로 연속적으로 회전된다. 예컨대, 예시된 실시예에서, 키랄 구조(1012-1)의 액정 분자들(1012-1-1, 1012-1-2, ... 1012-1-j)은 예컨대, 양의 x-방향에 대해 회전각들($\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_j$)만큼 연속적으로 회전된다. 예시된 실시예에서, 예시적인 목적으로, z-방향에서 대향 단부들 사이의 키랄 구조들(1012-1, 1012-2, ... 1012-i) 각각의 복수의 액정 분자들은 한 번의 풀 회전 또는 선회(turn)만큼 회전되어서, 액정 분자들의 순 회전각은 약 360° 가 된다. 결과적으로, 키랄 구조들(1012-1, 1012-2, ..., 1012-i)은 나선형 피치(p)와 동일한 z-방향의 길이(L)를 갖는다. 그러나, 실시예들을 이에 제한되지 않고, 키랄 구조들(1012-1, 1012-2, ... 1012-i)은 1보다 크거나 작은 임의의 수의 풀 회전들, 360° 보다 낮거나

나 높은 임의의 적합한 순 회전각, 및/또는 나선형 피치(p)보다 짧거나 긴 z-방향의 임의의 적합한 길이(L)를 가질 수 있다. 예컨대, 본원에서 설명된 다양한 실시예들에서, 키랄 구조들의 폴 선회들의 수는 다른 숫자들 중에서도, 1 내지 3, 2 내지 4, 3 내지 5, 4 내지 6, 5 내지 7, 6 내지 8, 7 내지 9, 또는 8 내지 10일 수 있다.

[0084] [0117] 여전히 도 10을 참조하면, z-방향에서의 인접한 액정 분자들 사이의 연속적인 회전각들 ($\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_j$)은 일부 실시예들에 따라 동일할 수 있거나, 또는 일부 다른 실시예들에 따라 상이할 수 있다. 예시로서, 예시된 실시예에서, 키랄 구조들(1012-1, 1012-2, ... 1012-i)의 길이는 약 p이고 순 회전각은 360° 이어서, z-방향에서의 인접한 액정 분자들은 약 $360^\circ / (m-1)$ 만큼 회전되게 하며, 여기서 m은 키랄 구조에서 액정 분자의 수이다. 예컨대, 예시 목적들로, 키랄 구조들(1012-1, 1012-2, ... 1012-i) 각각은 13개의 액정 분자들을 가져서, z-방향에서의 인접한 액정 분자들은 약 30° 만큼 서로에 대해 회전되게 한다. 물론, 키랄 구조들은 다양한 실시예들에서, 임의의 적합한 수의 액정 분자들을 가질 수 있다.

[0085] [0118] 따라서, 여전히 도 10을 참조하면, 측방향, 예컨대 x-방향으로 인접한 키랄 구조들은 유사하게 배열된 액정 분자들을 가진다. 예시된 실시예에서, 키랄 구조들(1012-1, 1012-2, ... 1012-i)은, 거의 동일한 깊이에서 상이한 키랄 구조들의 액정 분자들, 예컨대, 광 입사 표면(1004S)에 가장 근접한 액정 분자들이 동일한 회전각은 물론, 거의 동일한 깊이의 연속적인 액정 분자들의 연속적인 회전각들 뿐만 아니라, 각각의 키랄 구조의 액정 분자들의 순 회전각을 갖도록 유사하게 구성된다.

[0086] [0119] 이하, 도 10에 예시된 CLC 층(1004)은 실시예들에 따라 동작 중에서 추가로 설명된다. 설명된 바와 같이, CLC 층(1004)은 측방향, 예컨대 x-방향으로 균일한 어레인지먼트를 갖는 키랄 구조들(1012-1, 1012-2, ... 1012-i)을 포함한다. 동작에서, 좌향 원형 편광(left-handed circular polarization)을 갖는 광 빔들 및 우향 원형 편광(right-handed circular polarization)을 갖는 광 빔들의 조합을 갖는 입사광이 CLC 층(1008)의 표면(1004S) 상에 입사될 때, 브래그-반사 또는 회절에 의해, 하나의 원형 편광 핸디드니스를 갖는 광은 CLC 층(1004)에 의해 반사되는 반면, 상반되는 편광 핸디드니스를 갖는 광은 실질적으로 간섭 없이 CLC 층(1008)을 통해 투과된다. 본원에서 그리고 본 개시내용 전반에 걸쳐 설명된 바와 같이, 핸디드니스는 전파의 방향에서 본 것으로서 정의된다. 실시예들에 따라, 광 빔들(1016-L, 1016-R)의 편광의 방향 또는 편광의 핸디드니스가 매칭되어서, 그것이 키랄 구조들(1012-1, 1012-2, ... 1012-i)의 액정 분자들과 동일한 회전 방향을 가질 때, 입사광이 반사된다. 예시된 바와 같이, 좌향 원형 편광을 갖는 광 빔들(1016-L) 및 우향 원형 편광을 갖는 광 빔들(1016-R)이 표면(1004S) 상에 입사된다. 예시된 실시예에서, 키랄 구조들(1012-1, 1012-2, ... 1012-i)의 액정 분자들은, 입사광 빔들(1016-L, 1016-R)이 이동하는 방향 즉, 양의 x-방향에서 시계 방향으로 연속적으로 회전하며, 이는 우향 원형 편광을 갖는 광 빔들(1016-R)과 동일한 회전 방향이다. 그 결과, 우향 원형 편광을 갖는 광 빔들(1016-R)은 실질적으로 반사되는 반면, 좌향 원형 편광을 갖는 광 빔(1016-L)은 실질적으로 CLC 층(1004)을 통해 투과된다.

[0087] [0120] 어떠한 이론에도 얽매임 없이, 브래그-반사 또는 회절 조건 하에서, 입사광의 파장(λ)은 CLC 층의 평균치 또는 평균 굴절률(n) 및 나선형 피치(p)에 비례할 수 있고, 일부 상황들에서 다음의 조건을 만족시키는 것으로서 표현될 수 있다:

[0088]
$$\lambda \cong np \quad [1]$$

[0089] [0121] 또한, 브래그-반사 또는 회절 파장들의 대역폭($\Delta \lambda$)은 CLC 층(1004)의 복굴절(Δn)(예컨대, 광의 상이한 편광들 간의 굴절률의 차이) 및 나선형 피치(p)에 비례할 수 있고, 일부 상황들에서 다음의 조건을 만족시키는 것으로서 표현될 수 있다:

[0090]
$$\Delta \lambda = \Delta n \cdot p \quad [2]$$

[0091] [0122] 본 명세서에 설명된 다양한 실시예들에서, 대역폭($\Delta \lambda$)은 약 60nm, 약 80nm 또는 약 100nm이다.

[0092] [0123] 다양한 실시예들에 따라, 예컨대, 약 390nm 내지 약 700nm의 가시적 파장 범위 내의 또는 예컨대, 약 700nm 내지 약 2500nm의 근적외선 파장 범위 내의 피크 반사 세기는 약 60%, 약 70%, 약 80% 또는 약 90%를 초과할 수 있다. 또한, 다양한 실시예들에 따라, FWHM(full width at half maximum)은 약 100nm 미만, 약 70nm 미만, 약 50nm 미만 또는 약 20nm 미만일 수 있다.

[0093] [0124] 또한, 도 11은 실시예들에 따라 측방향으로 상이하게 배열된 키랄 구조들, 예컨대 측방향에서 변동되는

트위스트 각들을 갖는 CLCG(CLC grating)(1150)의 측 단면도를 예시한다. 도 10의 CLC 층(1004)과 유사하게, 회절 격자(1150)는 복수의 키랄 구조들(1162-1, 1162-2, ... 1162-i)로서 배열된 액정 분자들을 포함하는 CLC(cholesteric liquid crystal) 층(1158)을 포함하며, 여기서 각각의 키랄 구조는 복수의 액정 분자들을 포함한다. 예컨대, 키랄 구조(1162-1)는 예시된 실시예에서, z-방향으로서 표현되는 층 법선 방향으로 연장되도록 배열된 복수의 액정 분자들(1162-1-1, 1162-1-2, ... 1162-1-j)을 포함한다. 각각의 키랄 구조의 액정 분자들은 도 10과 관련하여 설명된 것과 유사한 방식으로 제1 회전 방향으로 연속적으로 회전된다. 또한, 길이 L, 액정 분자들에 의해 이루어진 폴 회전들의 수 및 키랄 구조 당 액정 분자들의 수를 포함하는 키랄 구조의 다양한 다른 파라미터들은 도 10과 관련하여 위에서 설명된 키랄 구조들과 유사하다.

[0094] [0125] 그러나, 도 10의 예시된 실시예와 대조적으로, 도 11의 예시된 실시예에서, 측방향, 예컨대 x-방향으로 인접한 키랄 구조들은 상이하게 배열된 액정 분자들을 가진다. 키랄 구조들(1162-1, 1162-2, ..., 1162-i)은, 거의 동일한 깊이에서 상이한 키랄 구조들의 액정 분자들이 상이한 회전각들을 갖도록 x-방향에서 상이하게 구성된다. 예컨대, 예시된 실시예에서, 키랄 구조들(1162-1, 1162-2, ... 1162-i)의 입사 표면들(1158S)에 가장 근접한 액정 분자들(1162-1-1, 1162-2-1, ... 1162-i-1)은 각각, 예컨대, 양의 x-방향에 대해 양의 x-축 방향으로서 회전각들($\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_j$)만큼 연속적으로 회전된다. 예시된 실시예에서, 회절 격자(1150)의 주기에 대응하는 측방향 길이(Λ)에 걸쳐 입사 표면(1158S)에 가장 근접한 액정 분자들(1162-1-1, 1162-2-1, ... 1162-i-1)의 순 회전각은 약 180° 의 회전각이다. 또한, 거의 동일한 깊이 레벨에 배치된 상이한 키랄 구조들의 액정 분자들(대부분의 액정 분자들)은 각각의 표면에 대해 거의 동일한 회전각만큼 회전된다.

[0095] [0126] 여전히 도 11을 참조하면, x-방향에서의 주기(Λ)에 걸쳐 동일한 깊이 레벨에 있는 액정 분자들의 연속적인 회전각($\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_j$)은 일부 실시예들에 따라 동일할 수 있거나, 또는 일부 다른 실시예들에 따라 상이할 수 있다. 예시된 실시예에서, 주기(Λ)동안, 순 회전각이 예시된 실시예에서와 같이 360° 일 때, x-방향에서 인접한 액정 분자들은 약 $360^\circ / (m-1)$ 만큼 회전되며, 여기서 m은 x-방향에서 주기(Λ)에 걸친 액정 분자들의 수이다. 예컨대, 예시 목적들을 위해, 주기(Λ)에 걸쳐 있는 7개의 액정 분자들이 존재할 수 있어서, x-방향에서 동일한 수직 레벨의 인접한 액정 분자들은 서로에 대해 약 30° 만큼 회전된다. 물론, 키랄 구조들은 다양한 실시예들에서, 임의의 적합한 수의 액정 분자들을 가질 수 있다.

[0096] [0127] 예시 목적들을 위해, CLC 층(1158)이 단지 하나의 주기(Λ)만을 갖는 것으로 예시된다는 것이 인지될 것이다. 물론, 실시예들은 이에 제한되지 않고, CLC 층(1158)은 x-방향에서 CLCG의 측방향 치수에 의해 결정되는 임의의 적합한 수의 주기들을 가질 수 있다.

[0097] [0128] CLCG(1150)에 의해 예시된 바와 같이, 측방향, 예컨대, x-방향에서 키랄 구조가 상이하게 배열될 때, 예컨대 연속적으로 회전될 때, 연속적으로 회전된 키랄 구조들은 x-방향을 따라 반사된 광의 상대적 위상들에서 시프트들을 유도한다. 이는, 하나의 주기(Λ)에 x-축 방향의 회전각들($\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_j$)만큼 연속적으로 회전되는 키랄 구조들로 인한 위상 변화(ϕ)를 플로팅하는 그래프(1170)와 관련하여 예시된다. 어떠한 이론에도 얽매임 없이, 반사된 광(1018)의 상대적 위상차($\Delta\phi$)는 $\Delta\phi(x) = (2\pi x/\Lambda)$ 로서 표현될 수 있으며, 여기서 x는 측방향을 따른 포지션이고, Λ 은 주기이다. 대역폭은 $\Delta\lambda \approx \Delta n \cdot p$ 로서 표현될 수 있다.

[0098] [0129] 다시 도 10 및 도 11 및 수식들 [1] 및 [2]를 참조하면, 다양한 실시예들에 따라, 브래그-반사된 파장은 키랄 구조들의 나선형 피치(p)를 변동시킴으로써 변동될 수 있다. 다양한 실시예들에서, 어떠한 이론에도 얽매임 없이, 나선형 피치(p)는, 위에서 설명된 바와 같이 회전각 또는 트위스트 각을 유도하는 키랄 화합물의 능력을 지칭하는 HTP(helical twisting power)를 증가 또는 감소시킴으로써 변동될 수 있다. HTP는 차례로, 비-키랄 화합물의 양에 대해 키랄 화합물의 양을 변화시킴으로써 변동될 수 있다. 다양한 실시예들에서, 키랄 화합물을 비-키랄 화합물, 예컨대 네마틱 화합물과 화학적으로 및/또는 기계적으로 혼합함으로써, 브래그-반사 파장 및 그에 따른 컬러는 나선형 피치와 키랄 화합물의 상대적 프랙션 간의 역 관계(inverse relationship)에 기초하여 변동될 수 있다. 본원에서 개시된 다양한 실시예들에서, 비-키랄 화합물의 양 대 키랄 화합물의 양의 비는 중량으로 약 20:1, 10:1, 5:1, 4:1, 3:1, 2:1, 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 1:5, 1:10 또는 약 1:20일 수 있다.

[0099] [0130] 도 10 및 도 11에 관한 위의 설명에서, 입사광 빔들(1016-L, 1016-R)은 층 법선에 평행한 방향, 예컨대

z-방향으로 전파되는 것으로서 예시된다. 그러나, 예컨대, 도 6 및 도 7과 관련하여 위에서 설명된 바와 같이, 다양한 애플리케이션들에 있어서, 도파관(1182) 내에서 전파되는, 예컨대, TIR(total internal reflection)에 의해 전파되는 광은 오프-축 각도로 아웃커플링 광학 엘리먼트들(1282, 1284, 1286, 1288, 1290), 예컨대, 회절 격자들에 충돌한다. 본원에서 설명된 회절 격자들은 아래에서 설명되는 바와 같이, 이러한 구성들에 대한 대역폭 및 회절 효율을 최대화하도록 구성될 수 있다.

[0100] [0131] 도 10 및 도 11과 관한 위의 설명에서, 액정 분자들은 전경사지지 않는 것으로 예시된다. 그러나, 실시예들은 이에 제한되지 않고, 액정 분자들은 일부 실시예들에 따라, CLCG의 주 표면에 평행한 방향에 대해, 예컨대, x-y 평면에 대해 약 +/-60도 내지 약 +/-90도 또는 약 +/-65도 내지 약 +/-85도, 예컨대, 약 +/-75도; 약 +/-35도 내지 약 +/-65도 또는 약 +/-40도 내지 약 +/-60도, 예컨대, 약 +/-50도; 약 +/-10도 내지 약 +/-40도 또는 약 +/-15도 내지 약 +/-35도, 예컨대, 약 +/-25도인 전경사각(Φ)을 가질 수 있다. 일부 다른 실시예들에 따라, 전경사각(Φ)은 약±15도 사이 또는 약±10도 사이 또는 약±5 사이, 예컨대, 0도일 수 있다.

[0101] 오프-축 입사각에서 고 대역폭 반사를 위해 구성된 CLCG들

[0102] [0132] 도 12는 실시예들에 따라 오프-축 입사각에서 고 대역폭의 반사를 위해 구성된 CLC 층(1158)의 측 단면도를 예시한다. 본원에서 설명된 바와 같이, 오프-축 입사각은 비-제로 값을 갖는, 층 법선의 방향(예컨대, 도 12에서 z-방향)에 대한 입사 빔(1216)의 입사각(θ_{inc})(이는 반사각(θ)의 브래그-반사된 빔(1220)을 발생시킴)을 지칭한다. 일부 상황들에서, 반사각은 λ/Λ 를 변동시킴으로써 제한된 범위로 변동될 수 있다. 어떤 이론에 의해서도 제한됨이 없이, 일부 상황들에서, 오프-축 반사는 다음의 관계에 기초하여 설명될 수 있다 :

$$n \cdot \sin(\theta) = \lambda/\Lambda + \sin(\theta_{inc}) \quad [3]$$

[0104] 여기서, θ_{inc} 는 층 법선의 방향에 대한 입사각이고, θ 는 층 법선의 방향에 대한 반사각이고, n은 반사된 빔이 전파되는 매체의 반사율이다. CLC 층(1158)이 오프-축 각도의 입사 빔(1216)으로 조명될 때, 반사 스펙트럼은 더 짧은 파장들을 향해 시프트될 수 있다. 본원에서 개시된 다양한 실시예들에 따라, 비(λ/Λ)는 0.5 내지 0.8, 0.6 내지 0.9, 0.7 내지 1.0, 0.8 내지 1.1, 0.9 내지 1.2, 1.0 내지 1.6, 1.1 내지 1.5, 또는 1.2 내지 1.4의 값을 가질 수 있다.

[0105] [0133] 어떠한 이론에도 얽매임 없이, CLC 층(1158)이 높은 효율로 브래그-반사하도록 구성된 오프-축 각도는 또한 키랄 구조들의 나선형 피치(p)에 의존할 수 있다.

[0106] [0134] 도 13a 및 도 13b는 실시예들에 따른 오프-축 입사각들에서의 반사를 위해 구성된 CLC 층들의 측 단면도를 예시한다. 도 13a를 참조하면, 제1 CLC(cholesteric liquid crystal) 층(1358A)은 제1 나선형 피치(p_1)를 갖는 제1 복수의 키랄 구조들을 포함한다. 제1 CLC 층(1358A)은, 제1 입사광 빔(1316A)이 제1 오프-축 각도($\theta_{inc,1}$)로 CLC 층(1358A)의 입사 표면으로 지향될 때 브래그-반사가 최대가 되도록 하는 제1 나선형 피치(p_1)를 가지며, 이는 제1 반사각(θ_1)의 제1 반사된 광 빔(1320A)을 발생시킨다. 예시된 바와 같이, CLC 층(1358A)은 추가로, 비교적 높은 회절 효율이 획득될 수 있는 오프-축 입사각들의 제1 범위(1324A)를 갖도록 구성된다. 제1 범위(1324A)는 오프-축 입사각들의 범위에 대응할 수 있으며, 이 범위 외부에서, 제1 반사된 광 빔(1320A)의 세기는 예컨대, 1/e를 초과하여 떨어진다. 예컨대, 제1 범위(1324A)는 $\theta_{inc,1} \pm 3^\circ$, $\theta_{inc,1} \pm 5^\circ$, $\theta_{inc,1} \pm 7^\circ$, $\theta_{inc,1} \pm 10^\circ$ 또는 $\theta_{inc,1} \pm 20^\circ$ 의 값들을 가질 수 있다.

[0107] [0135] 도 13b를 참조하면, 제1 CLC 층(1358A)과 상이한 제2 CLC(cholesteric liquid crystal) 층(1358B)은 도 13a의 제1 CLC 층(1358A)의 제1 나선형 피치(p_1)와 상이한 제2 나선형 피치(p_2)를 갖는 제2 복수의 키랄 구조들을 포함한다.

[0108] [0136] 예시된 바와 같이, 제2 CLC 층(1358B)은, 제2 입사광 빔(1316B)이 제1 오프-축 각도(θ_{inc1})와 상이한 제2 오프-축 각도($\theta_{inc,2}$)에서 CLC 층(1358B)의 입사 표면으로 지향될 때, 제1 반사각(θ_1)과 상이한 제2 반사각(θ_2)을 갖는 제2 반사된 광 빔(1320B)이 생성되도록 구성된다. 예시된 바와 같이, CLC 층(1358B)은 추가로, 도 13a와 관련하여 위에서 설명된 제1 범위(1324A)와 유사한, 오프-축 각도들의 제2 범위(1324B)를 갖도록 구성된다.

[0109] [0137] 도 13c는 실시예들에 따라, 복수의 오프-축 입사각들 및 높은 회절 대역폭에서의 브래그-반사를 위해,

스택된 구성에서 상이한 나선형 피치들을 갖는 복수의 CLC 층들을 포함하는 CLCG(1358)의 측 단면도를 예시한다. CLCG(1358)는 실시예들에 따라, 다른 하나 위에, 예컨대, 스택된 구성으로 그리고 서로 접촉하게 형성되는, 도 13a 및 도 13b와 관련하여 위에서 설명된 CLC 층들(1358A, 1358B)을 각각 포함한다. 상이한 나선형 피치들을 포함하는 복수의 CLC 층들(1358A, 1358B)의 다양한 파라미터들은, CLCG(1358)가 복수의 오프-축 입사 각도들에서의 효율적인 반사를 위해 그리고 단 하나의 CLC를 이용하여 획득될 수 있는 것보다 더 넓은 범위의 오프-축 각도들에 걸친 높은 회절 효율을 위해 구성되도록 개선되거나 최적화될 수 있다. 예컨대, 예시된 실시예들에서, p_1 및 p_2 는, 결과적인 제1 및 제2 범위들(1324A 및 1324B)이 제1 및 제2 범위들(1324A 및 1324B)을 포함하는 인접한 파장 범위에 걸쳐 높은 회절 효율을 제공하기 위해 적어도 부분적으로 중첩되도록 선택될 수 있다. 그러나, 다른 실시예들에서, p_1 및 p_2 는 제1 및 제2 범위들(1324A 및 1324B)이 중첩되지 않도록 선택될 수 있다.

[0110] [0138] 동작에서, 제1 및 제2 CLC 층들(1358A 및 1358B)은 다른 하나 위에 형성되어서, 제1 및 제2 오프-축 각도들(θ_{inc1} , θ_{inc2})의 제1 및 제2 입사광 빔들(1316A, 1316B)이 제1 CLC 층(1358A)의 입사 표면으로 지향될 때, 제1 입사광 빔(1316A)은 제1 반사각(θ_1)에서 제1 CLC 층(1358A)에 의해 실질적으로 반사되는 반면, 제2 입사광 빔(1358B)은 제1 CLC 층(1358A)을 통해 제2 CLC 층(1358B)의 입사 표면을 향해 실질적으로 투과되고, 제2 반사각(θ_2)에서 제2 CLC 층(1358B)에 의해 실질적으로 반사되게 한다. 명료함을 위해 도시되진 않았지만, 위에서 설명된 개념들은 임의의 적합한 수의 CLC 층들로 확장될 수 있다는 것이 인지될 것이다.

[0111] [0139] 본원에서 그리고 본 명세서 전반에 걸쳐 설명된 바와 같이, 층을 통해 "실질적으로 투과"되는 광 빔은, 광이 층을 빠져나갈 때 입사광 세기의 적어도 20%, 30%, 50%, 70% 또는 90%가 남아있는 광을 지칭할 수 있다. 유사하게, 층에 의해 "실질적으로 반사"되는 광 빔은 반사된 광에 입사광 세기의 적어도 20%, 30%, 50%, 70% 또는 90%가 남아있는 광을 지칭할 수 있다.

[0112] [0140] 여전히 도 13c를 참조하면, 다양한 실시예들에서, 제1 및 제2 CLC 층들(1358A, 1358B)의 액정 분자들은, CLC 층들(1358A, 1358B)이 위에서 설명된 바와 같이 상이한 HTP(helical twisting power)를 갖도록 상이한 양의 동일한 키랄 화합물을 포함할 수 있다. 예컨대, 제2 CLC 층(1358B)은 제1 CLC 층(1358A)과 비교하면 동일한 키랄 화합물의 더 높은 상대적인 양을 가질 수 있다. 일부 실시예들에서, 피치(p)는 키랄 및 비키랄 화합물들을 포함하는 전체 액정 화합물에 대한 키랄 화합물의 프랙션(fraction)에 반비례할 수 있다. 그러나, 실시예들은 이에 제한되지 않고, 제1 및 제2 CLC 층들(1358A, 1358B)은 상이한 키랄 화합물들을 가질 수 있다.

[0113] [0141] 또한, 다양한 실시예들에서, 제1 및 제2 CLC 층들(1358A, 1358B)의 액정 분자는 동일하거나 상이한 키랄 화합물을 포함하여, CLC 층들(1358A, 1358B)이 상이한 비 λ/Λ_1 및 λ/Λ_2 를 각각 갖게 함으로써, CLC 층들(1358A, 1358B)이 상이한 입사각(θ_{inc1} , θ_{inc2})에서, 예컨대, 수식 [3]에 따라 높은 회절 효율을 갖도록 구성될 수 있다.

[0114] [0142] 여전히 도 13c를 참조하면, 제1 및 제2 CLC 층들(1358A, 1358B)은 일부 실시예들에 따라, 하나 바로 위에 다른 하나가 있는 식으로 제조될 수 있다. 예컨대, 제1 CLC 층(1358A)은 제1 CLC 층(1358A)에 대한 정렬 조건들을 제공하는 정렬 층 상에 증착될 수 있고, 후속적으로 제2 CLC 층(1358B)이 제1 CLC 층(1358B) 상에 증착될 수 있다. 이러한 제조 조건들 하에서, 제1 CLC 층(1358A)의 표면은 제2 CLC 층(1358B)에 대한 정렬 조건들을 제공할 수 있다. 일부 다른 실시예들에서, CLC 층들(1358A, 1358B) 각각은 별개의 정렬 층들을 이용하여 제조될 수 있다. 예컨대, 제1 CLC 층(1358A)은 제1 정렬 층 상에 형성될 수 있고, 제2 정렬 층은 제1 CLC 층(1358A) 상에 형성될 수 있고, 제2 CLC 층(1358B)이 제2 정렬 층 상에 있다. 일부 실시예들에 따라, 제2 정렬 층 및/또는 제2 CLC 층(1358B)을 형성하기 전에, 격리 층, 예컨대 얇은 산화물 층이 제1 CLC 층(1358A) 상에 형성될 수 있다. 또 다른 실시예들에서, 2개의 CLC 층들(1358A, 1358B)이 상이한 기판들 상에 개별적으로 제조되고 후속적으로 스택될 수 있다. 다양한 실시예들에서, 예컨대, 접착성을 향상시키기 위해 2개의 CLC 층들(1358A, 1358B) 사이에 중간층이 형성될 수 있다.

[0115] [0143] 상이한 오프-축 각도들에서 최적의 회절 효율을 위해 최적화된 복수의 CLC 층들을 갖는 CLCG들과 관련하여 위에서 설명된 개념들은 다른 대안적인 실시예들로 확장될 수 있다. 특히, 일부 실시예들에서, 복수의 층들을 형성하는 대신에, 단일 CLC 층이 상이한 오프-축 각도들에서 최적의 회절 효율을 위해 최적화된 상이한 구역들을 갖도록 구성될 수 있다.

- [0116] [0144] 도 14는 일부 실시예들에 따라, 높은 회절 대역폭을 갖는 상이한 수직 구역들에서 복수의 오프-축 입사각들의 브래그-반사를 위해 깊이 방향을 따라 상이한 나선형 피치들을 갖는 수직 구역들을 갖는 단일 CLC 층(1404)을 포함하는 CLCG(1400)의 측 단면도를 예시한다. CLC 층(1404)은, 깊이 방향에서 균일한 피치를 갖는 단 하나의 CLC 층만을 사용하여 획득될 수 있는 것보다 넓은 범위의 오프-축 각도들에 걸쳐 높은 회절 효율이 획득될 수 있도록 최적화되는 상이한 파라미터들, 예컨대, 상이한 나선형 피치들을 갖는 복수의 수직 구역들을 갖는다. 예시된 실시예에서, 단일 CLC 층(1404)은 상이한 나선형 피치들(p_1 , p_2 , p_3 및 p_4)을 각각 가질 수 있는 복수의 수직 구역들(1404A, 1404B, 1404C 및 1404D)을 포함한다. 도 13c와 관련하여 위에서 설명된 것과 유사하게, 나선형 피치들(p_1 , p_2 , p_3 및 p_4)은, 복수의 수직 구역들(1404A, 1404B, 1404C 및 1404D)이 각각, 입사각들(θ_{incA} , θ_{incB} , θ_{incC} 및 θ_{incD})에서 최적의 회절 효율을 위해 구성되도록 선택될 수 있으며, 이는 각각, 상이한 수직 깊이들에서 대응하는 반사각들(θ_A , θ_B , θ_C 및 θ_D)의 반사된 광 빔을 발생시킨다. 또한, 도 13c와 관련하여 위에서 설명된 것과 유사하게, CLC 층(1404)은 추가로, 비교적 높은 회절 효율이 획득될 수 있는 오프-축 각도들의 각각의 범위들을 갖도록 구성된다. 물론, 명확성을 위해 4개의 수직 구역들이 예시되지만, 임의의 적합한 수의 구역들이 CLC 층(1404)에 포함될 수 있다. 또한, 복수의 CLC 층들을 갖는 도 13c의 CLCG(1358)와 관련하여 위에서 설명된 상이한 변동들이 CLCG(1400)에 적용 가능할 수 있다.
- [0117] [0145] 도 14의 예시된 실시예에서, 나선형 피치들(p_1 , p_2 , p_3 및 p_4)의 값들은 입사 표면(1404S)으로부터의 깊이가 증가함에 따라 감소하여서, 나선형 피치의 감소하는 구배가 깊이 방향에서 생성된다(음의 z -방향). z -방향에서 층 깊이의 함수로서 나선형 피치의 감소 레이트가 CLC 층(1404)의 두께에 걸쳐 균일할 때, 깊이와 나선형 피치 사이의 선형 관계를 표현하는 그래프(1408)가 획득될 수 있다. 그러나, 실시예들을 이에 제한되지 않는다. 예컨대, 나선형 피치들(p_1 , p_2 , p_3 및 p_4)은 일부 다른 실시예들에 따라, 임의의 깊이에서 증가 또는 감소할 수 있고 층 깊이의 함수로서 상이한 레이트로 변할 수 있다.
- [0118] [0146] 나선형 피치의 구배를 갖는 CLC 층(1404)은 CLC 층의 상이한 깊이들에서 액정 분자들의 HTP(helical twisting power)를 변동, 예컨대 증가 또는 감소시킴으로써 제조될 수 있다. HTP는 차례로, 키랄 화합물의 상대적인 양을 변화시킴으로써 공간적으로 변동될 수 있다. 다양한 실시예들에서, 상이한 수직 깊이들에서 키랄 화합물을 비-키랄 화합물, 예컨대 네마틱 화합물과 화학적으로 및/또는 기계적으로 혼합함으로써, 수직 구역들(1404A, 1404B, 1404C 및 1404D)의 나선형 피치들은, 키랄 화합물의 상대적 프랙션과 나선형 피치 사이의 역관계에 기초하여, 각각 상이한 입사각들(θ_{incA} , θ_{incB} , θ_{incC} 및 θ_{incD})에서 최적의 회절 효율을 위해 구성될 수 있다. 예컨대, UV 조사 하에서 상이한 반응 레이트들로 중합 프로세스를 거치는 상이한 화학 컴포넌트들(예컨대, 키랄 다이-아크릴레이트 단량체들 및 네마틱/비-키랄 모노-아크릴레이트 단량체들)의 혼합물이 사용될 수 있다. 부가적으로 또는 대안적으로, HTP는 CLC 층의 상이한 깊이들에서 UV 조사의 조사 조건들(노출 세기 및/또는 노출 시간을 포함함)을 변화시킴으로써 공간적으로 변동될 수 있다. HTP는 또한 UV 조사 이전, 이후 그리고/또는 그 중간에 열 처리를 포함하는 UV 중합 프로세스의 사전/사후 프로세스를 변동시킴으로써 공간적으로 변동될 수 있다. 예컨대, UV 흡수 염료가 혼합물에 첨가될 때, CLC 층의 상이한 깊이에서 UV 광의 세기 구배가 생성될 수 있다. 예컨대, UV 세기 구배로 인해, 표면 근처의 중합은 CLC 층의 하부 구역에 비해 더 빠른 레이트로 진행될 수 있다. 예컨대, 콜레스테릭 컴포넌트들이 디-아크릴레이트일 때, 결과적인 중합체에 통합될 확률은, 네마틱 모노-아크릴레이트가 중합체에 통합될 확률보다 훨씬 더 높을 수 있는 데, 예컨대 2배만큼 높을 수 있다. 일부 상황들 하에서, 전반적인 중합 레이트는, CLC 층의 표면 구역 근처의 키랄 다이아크릴레이트의 고갈이 CLC 층의 깊이 방향에서 디-아크릴레이트 농도 구배를 생성하도록 제어된다. 이는 차례로, CLC 층의 표면 구역을 향한 디-아크릴레이트의 확산을 개시한다. 완전한 광-중합 후의 결과는, CLC 층의 표면 구역이 보다 많은 키랄 재료를 함유하고 이에 따라 비교적 더 많은 양의 비-키랄 화합물을 함유하는 CLC 층의 하부 구역에 비해 더 짧은 나선형 피치를 갖는다는 것일 수 있다. 일부 다른 상황들 하에서, 나선형 피치 구배를 제어하기 위해 중합 프로세스에서 UV 조사 이전/이후 또는 그 중간에 열처리가 부가될 수 있다. 따라서, 열처리 유무에 관계없이, 2개의 상이한 액정 단량체들 간의 비 및/또는 UV 조사량을 제어함으로써, CLC 층의 깊이 방향을 따른 나선형 피치 구배를 획득될 수 있다.
- [0119] [0147] 일부 애플리케이션들의 경우, 층 법선 방향에 직교하는 측방향을 따라 변동시키기 위해, 회절 격자의 소정의 광학 특성들, 이를테면, 다른 파라미터들 중에서도, 오프-축 회절 효율, 굴절률, 파장 선택성, 편광 선택성, 및 위상 선택성을 갖는 것이 바람직할 수 있다. 예컨대, 도 6 및 도 7과 관련하여 위에서 예시된 바와 같이, 예컨대, 격자가 도파관과 함께 스택될 때, 광이 측방향으로 전파되도록 측방향 변동이 바람직할 수 있다. 그러나, 이러한 구성 하에서, 광의 세기는 광이 도파관(예컨대, 도 7의 1182) 내에서 전파됨에 따라 감소될 수

있다. 이러한 구성들은 또한, 예컨대, 사용자 경험을 최대화하기 위해 인간 눈과 연관된 감지 효율의 공간적 및/또는 각도 변화에 적응하도록 격자(예컨대, 도 7의 1282)에 걸친 광 세기를 의도적으로 왜곡(skew)하는 것이 바람직할 수 있다. 따라서, 공간적으로 변동되는 광학 특성들을 갖는 광학 엘리먼트들, 예컨대 회절 격자에 대한 필요성이 존재한다.

[0120] [0148] 도 15는 일부 실시예들에 따라, 공간적으로 변동되는 브래그-반사를 위해 측방향을 따라 상이한 나선형 피치들을 갖는 측방향 구역들을 갖는 CLC 층을 포함하는 CLCG의 측 단면도를 예시한다. CLC 층(1424)은 측방향으로 변동되는 성질들, 예컨대, 브래그-반사를 위해 측방향으로 변동되는 오프-축 입사각들이 획득될 수 있도록, 상이한 액정 재료 파라미터들, 예컨대 나선형 피치들을 갖는 복수의 측방향 구역들을 갖는다. 예시된 실시예에서, CLC 층(1424)은 각각이 주기(Λ)를 갖고 각각의 나선형 피치들(p_1 , p_2 및 p_3)을 갖는 복수의 측방향 구역들(1424A, 1424B, 및 1424c)을 포함한다. 나선형 피치들(p_1 , p_2 및 p_3)은 복수의 수직 구역들(1424A, 1424B 및 1404C)이 각각 상이한 오프-축 입사각들(θ_{incA} , θ_{incB} 및 θ_{incC})에서 최적의 회절 효율을 위해 구성되도록 선택될 수 있으며, 이는 각각, 대응하는 반사각들(θ_A , θ_B 및 θ_C)에서의 반사된 광 빔들을 발생시킨다. 또한, 도 13c와 관련하여 위에서 설명된 것과 유사하게, CLC 층(1424)의 상이한 측방향 구역들은 추가로 비교적 높은 회절 효율이 획득될 수 있는 오프-축 각도들의 유사한 각각의 범위들을 갖도록 구성된다. 물론, 명확성을 위해 3개의 수직 구역들이 예시되지만, 임의의 적합한 수의 구역들이 CLC 층(1424)에 포함될 수 있다.

[0121] [0149] 도 15의 예시된 실시예에서, 나선형 피치들(p_1 , p_2 및 p_3)의 크기들은 나선형 피치의 구배가 생성되도록 측방향으로 단조적으로(monotonically) 변할 수 있다. x-방향에서 나선형 피치의 변화 레이트가 CLC 층(1424)의 폭 또는 길이에 걸쳐 균일할 때, 그래프(1428)에서 예시된 바와 같이, 길이 또는 폭과 나선형 피치 사이의 선형 관계가 획득될 수 있다. 그러나, 실시예들을 이에 제한되지 않는다. 예컨대, 나선형 피치들(p_1 , p_2 및 p_3)은 다양한 다른 실시예들에 따라, 임의의 측방향 포지션에서 증가 또는 감소할 수 있고 길이 또는 폭을 따라 x-방향에서 상이한 레이트로 변할 수 있다.

[0122] [0150] 다양한 실시예들에 따라, CLC 층들은, 예컨대, 액정 분자들의 공간적으로 변동되는 정렬 특성들 또는 다른 재료 성질들에 의해 측방향으로 변동되는 회절 특성들을 갖도록 제조될 수 있다. 예컨대, 도 14와 관련하여 위에서 설명된 것과 유사한 방식으로, 예컨대, 상이한 측방향 구역들에서 2개의 상이한 액정 단량체들 간의 비 및/또는 UV 조사량을 제어함으로써, 측방향 나선형 피치 구배가 측방향 치수를 따라 달성될 수 있다.

[0123] 과장-선택적 광 커플링을 위해 CLCG에 커플링된 도파관들

[0124] [0151] 위에서 설명된 바와 같이, 광의 인커플링 및 아웃커플링을 포함하는 다양한 애플리케이션들에 대해, 도파관 디바이스는 TIR(total internal reflection)에 의해 광을 전파시키도록 구성될 수 있다. 도 16은 CLCG(1150)에 커플링된 도파관(1604)을 포함하는 광학 광도파 디바이스(1600)의 예를 예시한다. CLCG(1150)는 도 11과 관련하여 위에 설명된 키랄 구조들(1162-1, 1162-2, ... 1162-i)과 유사한 방식으로 복수의 키랄 구조들로서 배열되는 액정 분자들을 포함한다. 도파관(1604)은 CLCG(1150) 위에 배치되고 CLCG(1150)에 광학적으로 커플링된다. 타원형/원형 편광된 입사광(1016-R/L)이 키랄 구조들의 액정 분자들의 회전 방향과 매칭되는 편광 핸디드니스를 가질 때, 입사광(1016-R/L)은 CLCG(1150)에 의해 브래그-반사되고, 커플링된 광이 TIR(total internal reflection)에 의해 측방향(예컨대 x-방향)으로 이동하게 하는 각도로 도파관(1604) 내로 커플링된다. 어떠한 이론에도 얽매임 없이, TIR 조건은 회절 각(θ)이 도파관의 임계 각(θ_c)보다 클 때 만족될 수 있다. 일부 상황들 하에서, TIR 조건은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\sin(\theta_c) = 1/n_t \quad [4]$$

[0126] 여기서 n_t 는 도파관(1604)의 굴절률이다. 다양한 실시예들에 따라, n_t 는 약 1 내지 약 2, 약 1.4 내지 약 1.8 또는 약 1.5 내지 약 1.7일 수 있다. 예컨대, 도파관은 폴리카보네이트 또는 유리와 같은 중합체를 포함할 수 있다.

[0127] [0152] 도 17a는 제1 CLCG(1750A)에 커플링되고, $\theta > \theta_{c3}$ 일 때 TIR(total internal reflection)에 의해 제3 과장(λ_3)을 갖는 광을 전파시키도록 구성된 제1 도파관(1704A)을 포함하는 제1 광학 광도파 디바이스(1700A)를 예시한다. 제1 CLCG(1750A)는 제1 주기(Λ_1) 및 제1 나선형 피치(p_1)를 갖는다. 일부 실시예들에 따라, 제1

광도와 디바이스(1700A)는 가시 스펙트럼(예컨대, 약 400nm 내지 700nm의 파장들을 가짐)의 광을 TIR에 의해 전파시키도록 구성될 수 있다. 일부 다른 실시예들에 따라, 제1 광도와 디바이스(1700A)는 적외선 스펙트럼(예컨대, 약 700nm 내지 1400nm의 파장들을 갖는 스펙트럼의 근적외선 부분)의 광을 TIR에 의해 전파시키도록 구성될 수 있다. 도 10 및 도 11과 관련하여 위에서 설명된 바와 같이, 브래그-반사는 위의 수식 [1]에 의해 표현된 파장에서 그리고 위의 수식 [2]에 의해 표현된 파장의 대역폭($\Delta\lambda$) 내에서 발생한다. 예컨대, 제1 CLCG(1750A)는 청색 컬러(예컨대, 약 450nm), 녹색 컬러(예컨대, 약 550nm), 적색 컬러(예컨대, 약 650nm) 또는 적외선 중 하나에서 제3 파장(λ_3)을 갖는 제3 입사광(1736)을 TIR에 의해 커플링하도록 설계될 수 있다. 예시된 바와 같이, $\Delta\lambda$ 가 약 60nm, 약 80nm 또는 약 100nm일 때, 위에서 설명된 바와 같이, 제1 및 제2 파장들(λ_1 , λ_2)을 갖는 제1 및 제2 광(1716 및 1726)은 수식 [1]이 이러한 컬러들에 대해 만족되지 않기 때문에 실질적으로 투과되며, 이는 수식 [4]가 만족되지 않기 때문에 제1 도파관(1704) 내로 커플링되지 않는다.

[0128] [0153] 도 17b는 도 17a 관련하여 위에 예시된 제1 광학 광도와 디바이스(1700A)와 결합된 제2 광학 광도와 디바이스(1700B)를 예시한다. 광학 광도와 디바이스(1700B)는 광학 광도와 디바이스(1700A)에 후속하는 광학 경로에 배치되고, 제2 CLCG(1750B)에 커플링되고 $\Theta > \Theta_{c2}$ 일 때 TIR(total internal reflection)에 의해 제2 파장(λ_2)을 갖는 제2 광(1726)을 전파시키도록 구성되는 제2 도파관(1704B)을 포함한다. 제2 CLCG(1750B)는 제2 주기(Λ_2) 및 제2 나선형 피치(p_2)를 갖는다. 도 17a와 관련하여 위에서 설명된 바와 같이, 제1 및 제2 파장들(λ_1 , λ_2)을 갖는 제1 및 제2 광(1716 및 1726)은 실질적으로 제1 광학 광도와 디바이스(1700A)를 통해 투과된다. 투과된 제1 및 제2 광(1716 및 1726) 중에서, 제2 CLCG(1750B)이 $\Theta > \Theta_{c2}$ 일 때, 청색 컬러(예컨대, 약 450nm), 녹색 컬러(예컨대, 약 550nm), 적색 컬러(예컨대, 약 650nm) 또는 적외선 중 투과된 하나에서 제2 파장(λ_2)을 갖는 제2 입사광(1726)을 TIR에 의해 커플링하도록 설계될 수 있다. 따라서, 예시된 바와 같이, $\Delta\lambda$ 가 약 60nm, 약 80nm 또는 약 100nm일 때, 위에서 설명된 바와 같이, 제1 파장(λ_1)을 갖는 제1 광(1716)은 추가로 제2 광도와 디바이스(1700B)를 통해 실질적으로 투과된다.

[0129] [0154] 도 17c는 도 17b와 관련하여 위에 예시된 제1 및 제2 광학 광도와 디바이스들(1700A 및 1700B)와 결합된 제3 광학 광도와 디바이스(1700C)를 예시한다. 제3 광학 광도와 디바이스(1700C)는 제1 및 제2 광학 광도와 디바이스들(1700A 및 1700B)에 후속하는 광학 경로에 배치되고, 제3 CLCG(1750C)에 커플링되고 $\Theta > \Theta_{c1}$ 일 때 TIR(total internal reflection)에 의해 제1 파장(λ_2)을 갖는 제1 광(1716)을 전파시키도록 구성되는 제3 도파관(1704C)을 포함한다. 제3 CLCG(1750C)는 제3 주기(Λ_3) 및 제3 나선형 피치(p_3)를 갖는다. 도 17b와 관련하여 위에서 설명된 바와 같이, 제1 파장(λ_1)을 갖는 제1 광(1716)은 제1 및 제2 광도와 디바이스들(1700A 및 1700B)를 통해 실질적으로 투과된다. 제3 CLCG(1750C)는 $\Theta > \Theta_{c1}$ 일 때, 청색 컬러(예컨대, 약 450nm), 녹색 컬러(예컨대, 약 550nm), 적색 컬러(예컨대, 약 650nm) 또는 적외선 중 투과된 하나에서 제1 파장(λ_1)을 갖는 제1 입사광(1716)을 TIR에 의해 커플링하도록 설계될 수 있다. 따라서, 예시된 바와 같이, $\Delta\lambda$ 가 약 60nm, 약 80nm 또는 약 100nm일 때, 위에서 설명된 바와 같이, 제1 파장(λ_1)을 갖는 제1 광(1716)은 수식 [4]가 만족되기 때문에 제3 도파관(1704C) 내로 실질적으로 커플링된다.

[0130] [0155] 따라서, 도 17a 내지 도 17c와 관련하여 위에서 설명된 바와 같이, 제 1, 제2 및 제3 광학 광도와 디바이스들(1700A, 1700B 및 1700C) 중 하나 이상을 동일한 광학 경로에 배치함으로써, 상이한 파장들(λ_1 , λ_2 및 λ_3)을 갖는 제1 및 제2 및 제3 광(1716, 1726 및 1736) 중 하나 이상은 TIR에 의해, 각각, 제 1, 제2 및 제3 도파관들(1704A, 1704B 및 1704C) 중 하나에서 전파되도록 커플링될 수 있다. 도 17a 내지 도 17c 각각에서, 제1 내지 제3 광학 광도와 디바이스들(1704A, 1704B 및 1704C) 각각은, 각각 전용 제1 내지 제3 도파관들(1704A, 1704B 및 1704C) 및 전용 제1 내지 제3 CLCG들(1750A, 1750B 및 1750C)를 갖지만, 실시예들은 이에 제한되지 않는다. 예컨대, 단일 도파관은 도 18과 관련하여 아래에 예시되는 바와 같이, 복수의 CLCG들의 스택으로부터의 브래그-반사된 광을 TIR에 의해 커플링할 수 있다. 또한, 3 개보다 큰(또는 3개 미만의) 임의의 적합한 수의 광학 광도와 디바이스들이 또한 브래그-반사에 의한 추가의 선택적 커플링을 위해 결합될 수 있다.

[0131] [0156] 도 18은 복수의 CLCG들(1750)에 커플링된 공통 도파관(1704)을 포함하는 광학 광도와 디바이스(1800)를 예시한다. 복수의 CLCG들(1750)은 제1 내지 제3 CLCG들(1750A-1750C)을 포함하고, TIR(total internal reflection)에 의해, 제3, 제2 및 제1 파장들(λ_3 , λ_2 및 λ_1)을 각각 갖는 제3, 제2 및 제1 광들(1736, 1726

및 1716)을 전파시키도록 구성되는 스택으로서 구성된다. TIR은, 도 17a 내지 도 17c와 관련하여 위에서 설명된 것과 유사한 방식으로 제3, 제2 및 제1 광들(1736, 1726 및 1716) 중 하나 이상이 조건($\theta > \theta_{c3}$ $\theta > \theta_{c2}$ 및 $\theta > \theta_{c1}$)을 각각 만족할 때 발생한다. 또한, 유사한 방식으로, 제 1, 제2 및 제3 CLCG들(1750A, 1750B 및 1750C)은, $\theta > \theta_{c3}$ $\theta > \theta_{c2}$ 및 $\theta > \theta_{c1}$ 일 때 제3, 제2 및 제1 광(1736, 1726 및 1716)을 각각 선택적으로 브래그-반사하도록 구성된다. 물론, 3개 보다 크거나 작은(또는 3개 미만)의 임의의 적합한 수의 CLCG들이 브래그-반사에 의한 추가의 선택적 커플링을 위해 스택될 수 있다. 따라서, 도 17b 및 도 17c와 관련하여 위에서 설명된 실시예들과 비교하여, 공통 도파관(1704)을 이용함으로써 보다 콤팩트한 광도와 디바이스(1800)가 획득될 수 있다. 또한, (도 18에 도시된 바와 같이) 3개의 별도의 CLCG 층들 대신에, CLCG 층들의 스택은 p_1 내지 p_3 의 범위를 포함하는 나선형 피치 구배를 갖는 단일(또는 다중) 층들로서 배열될 수 있다.

[0132] [0157] 도 17a 내지 도 18과 관련하여 위에서 설명된 바와 같이, 제1 내지 제3 CLCG들(1750, 1750B, 1750C)은 각각 제1 내지 제3 주기들(Λ_1 , Λ_2 및 Λ_3) 및 각각 제1 내지 제3 나선형 피치들(p_1 , p_2 및 p_3)을 갖는다. 다양한 실시예들에서, CLCG들 각각은 파장/주기 비(λ/Λ)가 약 0.3 내지 2.3, 약 0.8 내지 1.8 또는 약 1.1 내지 약 1.5, 예컨대, 약 1.3이 되도록 구성될 수 있다. 대안적으로, 주기(Λ)는 CLCG들이 브래그-반사를 위해 구성되는 각각의 파장(λ)보다, 약 1nm 내지 250nm 더 작거나, 약 50nm 내지 200nm 더 작거나, 또는 약 80nm 내지 170nm 더 작게 되도록 구성될 수 있다. 예컨대, λ_1 , λ_2 및 λ_3 이 각각, 가시 범위 내에 있을 때, 예컨대 약 620nm 내지 약 780nm, 예컨대 약 650nm(적색), 약 492nm 내지 약 577nm, 예컨대 550(녹색), 및 약 435nm 내지 약 493nm, 예컨대 약 450nm(청색)일 때, 대응하는 주기들(λ_1 , λ_2 및 λ_3)은 각각, 약 450nm 내지 약 550nm, 예컨대 약 500nm, 약 373nm 내지 약 473nm, 예컨대 약 423nm 및 약 296nm 내지 약 396nm, 예컨대 약 346nm일 수 있다. 대안적으로, λ_1 , λ_2 및 λ_3 이 적외선 범위, 예컨대 약 750nm 내지 약 1400nm의 근적외선 범위, 예컨대, 약 850nm일 때, 대응하는 주기들(λ_1 , Λ_2 및 Λ_3)은 약 975nm 내지 약 1820nm, 예컨대 약 1105nm일 수 있다. 또한, 다양한 실시예들에서, CLCG들 각각은 파장/나선형 피치 비(λ/p)가 약 0.6 내지 2.6, 약 1.1 내지 2.1 또는 약 1.4 내지 약 1.8, 예컨대, 약 1.6이 되도록 구성될 수 있다. 대안적으로, 나선형 피치(p)는 CLCG들이 브래그-반사를 위해 구성되는 각각의 파장(λ)보다, 약 50nm 내지 350nm 더 작거나, 약 100nm 내지 300nm 더 작거나, 또는 약 140nm 내지 280nm 더 작게 되도록 구성될 수 있다. 예컨대, λ_1 , λ_2 및 λ_3 이 각각, 예컨대 약 620nm 내지 약 780nm, 예컨대 약 650nm(적색), 약 492nm 내지 약 577nm, 예컨대 550(녹색), 및 약 435nm 내지 약 493nm, 예컨대 약 450nm(청색)일 때, 대응하는 나선형 피치들(p_1 , p_2 및 p_3)은 각각, 약 350nm 내지 약 450nm, 예컨대 약 400nm, 약 290nm 내지 약 390nm, 예컨대 약 340nm 및 약 230nm 내지 약 330nm, 예컨대 약 280nm일 수 있다. 대안적으로, λ_1 , λ_2 및 λ_3 이 적외선 범위, 예컨대 약 750nm 내지 약 1400nm의 근적외선 범위, 예컨대, 약 850nm일 때, 대응하는 주기들(λ_1 , Λ_2 및 Λ_3)은 약 1200nm 내지 약 2240nm, 예컨대 약 1360nm일 수 있다.

[0133] 파장-선택적 광 커플링을 위해 CLCG 및 미러에 커플링된 도파관들

[0134] [0158] 도 19는 도 16과 관련하여 위에서 설명된 광학 광도와 디바이스와 유사하게, CLCG(1150)에 커플링된 도파관(1604)을 포함하는 광학 광도와 디바이스(1900)를 예시한다. 도 10 및 도 11과 관련하여 위에서 설명된 바와 같이, 동작에서, 타원형/원형 편광으로 입사광의 편광의 핸드드니스가 CLCG(1150)의 키랄 구조들의 액정 분자들과 동일한 회전 방향을 가질 때, CLCG(1150)는 실질적으로 입사광을 반사한다. 예시된 바와 같이, 좌향 원형 편광을 갖는 광 빔들(1016-L) 및 우향 원형 편광을 갖는 광 빔들(1016-R)이 표면(1050S) 상에 입사된다. 예시된 실시예에서, 키랄 구조들의 액정 분자들은, 입사광 빔들(1016-L, 1016-R)이 이동하는 방향 즉, 음의 z-방향에서 볼 때 시계 방향으로 연속적으로 회전되어서, 액정 분자들의 회전 방향이 우향 원형 편광을 갖는 광 빔들(1016-R)의 핸드드니스와 매칭되게 한다. 그 결과, 우향 원형 편광을 갖는 광 빔들(1016-R)은 CLCG(1150)에 의해 실질적으로 반사되는 반면, 좌향 원형 편광을 갖는 광 빔(1016-L)은 실질적으로 CLCG(1150)을 통해 투과된다.

[0135] [0159] 일부 애플리케이션들의 경우, 도 19와 관련하여 위에서 설명된 것과 유사한 광도와 디바이스 내로의 커플링 이전에 타원형 또는 원형 편광된 광의 편광 핸드드니스를 플립핑(flip)하는 것이 바람직할 수 있다. 예컨대, 입사된 타원형 또는 원형 편광된 광의 편광 핸드드니스가 CLCG의 키랄 구조들의 회전 방향과 매칭되지 않아

서, CLCG가 위에서 논의된 바와 같이 도파관 내로의 커플링을 위해 브래그-반사되도록 구성되지 않을 때가 바로 그 경우일 수 있다. 일부 다른 애플리케이션들의 경우, 입사된 타원형 또는 원형 편광된 광의 편광 헨디드니스 및 CLCG의 키랄 구조들의 회전 방향 간의 매칭의 결여로 인해 CLCG를 통해 투과되는 광을 재활용(recycle)하는 것이 바람직할 수 있다. 이들 및 다른 요구들을 해결하기 위해, 이하에서, 이러한 요구들을 해결하기 위해 편광 변환 반사기를 사용하는 광도파 디바이스들의 다양한 실시예들이 개시된다.

[0136] [0160] 도 20은 일부 실시예들에 따라, CLCG(1604)에 커플링된 도파관(1150) 및 편광 변환 반사기(2004)를 포함하는 광학 광도파 디바이스(2000)를 예시하며, 여기서 CLCG(1604)는 입사광을 수신하도록 구성되고, 도파관(1150)은 TIR(total internal reflection)에 의해 CLCG로부터 브래그-반사된 광을 전파시키도록 구성된다. 편광 변환 반사기(2004)는, 그로부터의 반사 시에, 입사된 타원형 또는 원형 편광된 광의 편광 헨디드니스가 상반되는 편광 헨디드니스로 플립핑(예컨대, 좌향-우향 또는 우향-좌향)되도록 구성된다. 광도파 디바이스(2000)는, 도파관(1150)을 통해 입사광 빔을 먼저 수신하도록 구성되는 대신에, 광도파 디바이스(2000)는 CLCG(1604)를 통해, 예컨대, 좌향 원형 편광을 갖는 입사광 빔(2016-L)을 먼저 수신하도록 구성된다는 것을 제외하면, 도 19와 관련하여 위에서 설명된 광도파 디바이스(1900)와 유사하다. 입사광 빔(2016-L)은 입사광 빔(2016-L)의 전파 방향(음의 z-방향)에서 볼 때 CLCG(1604)의 키랄 구조들의 회전 방향과 매칭되지 않는 편광 헨디드니스를 가져서, 그것은 CLCG(1604)에 의해 브래그-반사되지 않는다. 그 결과, 입사광 빔(2016-L)은 CLCG(1604)를 통해 실질적으로 투과되고, 편광 변환 반사기(2004)에 의해 후속적으로 반사된다. 예컨대, 우향 원형 편광을 갖는 반사된 광 빔(2016-R)은 그리하여 도파관(1150)의 표면(1150S) 상의 입사광 빔이 된다. 플립핑된 편광 헨디드니스로 인해, 이제 도파관(1150)의 표면(1150S) 상에 입사되는 반사된 광 빔(2016-R)은 반사된 광 빔(2016-R)의 전파 방향(양의 z-방향)에서 볼 때 CLCG(1604)의 키랄 구조들의 회전 방향과 매칭되는 편광의 헨디드니스를 가져서, 그것은 CLCG(1604)에 의해 브래그-반사된다. 층 법선 방향(z-축)에 대해 각도($\Theta > \Theta_c$)에서 반사된 추가의 반사된 빔(2018)으로서 반사되는 반사된 광 빔(2016-R)은 도파관(1150)에 커플링되고 측방향(예컨대, x-방향)으로 도파관(1150)을 통해 이동한다.

[0137] [0161] 도 21a는 입사광 빔(2116)이 선형으로 편광되거나 또는 편광되지 않는 조건 하에서 도 20과 관련하여 위에서 설명된 광학 광도파 디바이스(2000)를 예시하며, 그 각각은 좌향 및 우향 원형 편광 컴포넌트들 둘 모드를 포함하는 것으로서 취급될 수 있다. 이러한 조건들 하에서, 입사광 빔(2116)은 상반되는 측방향들에서 TIR에 의해 도파관 내로 커플링될 수 있다. 예컨대, 도 20과 관련하여 위에서 설명된 것과 유사하게, CLCG(1604)의 키랄 구조들의 회전 방향과 매칭되지 않는 편광 헨디드니스, 예컨대, 좌-헨디드니스(left-handedness)를 갖는 입사광 빔(2116)의 컴포넌트는 CLCG(1604)를 통해 실질적으로 투과되고, 편광 변환 반사기(2004)에 의해 후속적으로 반사되어, 편광 헨디드니스가 플립핑, 예컨대, 우-헨디드니스(right-handedness)로 플립핑되고, 도파관(1150) 내로 커플링되고 제1 측방향(예컨대, 양의 x-방향)으로 도파관(1150)을 통해 이동한다. 한편으로, 도 19와 관련하여 위에서 설명된 것과 유사하게, CLCG(1604)의 키랄 구조들의 회전 방향과 매칭되는 편광 헨디드니스, 예컨대 우-헨디드니스를 갖는 입사광 빔(2116)의 컴포넌트는, CLCG(1604)에 의해 실질적으로 직접 반사되고, 도파관(1150) 내로 후속적으로 커플링되고, 제1 측방향에 상반되는 제2 측방향(예컨대, 음의 x-방향)으로 도파관(1150)을 통해 이동한다.

[0138] [0162] 도 21b는, 입사광이 2개의 직교 타원형 또는 원형 편광된 광 빔들, 예컨대, 좌향 원형 편광을 갖는 광 빔들(1016-L) 및 우향 원형 편광을 갖는 광 빔들(1016-R)로 편광되는 조건 하에서 도 21a와 관련하여 위에서 설명된 광학 광도파 디바이스(2000)를 예시한다. 그러한 조건들 하에서, 입사광 빔들(1016-L, 1016-R)은 위에서 도 21a와 관련하여 설명된 것과 유사한 방식으로, 상반되는 측방향들에서 전파되기 위해 TIR에 의해 도파관 내로 커플링될 수 있다. 예컨대, CLCG(1604)의 키랄 구조들의 회전 방향과 매칭되지 않는 편광 헨디드니스, 예컨대, 좌-헨디드니스를 갖는 광 빔들(1016-L)의 컴포넌트는 CLCG(1604)를 통해 실질적으로 투과되고, 편광 변환 반사기(2004)에 의해 후속적으로 반사되어, 편광 헨디드니스가 플립핑, 예컨대, 우-헨디드니스로 플립핑되고, 도파관(1150) 내로 커플링되고 제1 측방향(예컨대, 양의 x-방향)으로 도파관(1150)을 통해 이동한다. 한편으로, CLCG(1604)의 키랄 구조들의 회전 방향과 매칭되는 편광 헨디드니스, 예컨대 우-헨디드니스를 갖는 입사광 빔들(1016-R)의 컴포넌트는, CLCG(1604)에 의해 실질적으로 직접 반사되고, 도파관(1150) 내로 후속적으로 커플링되고, 제1 측방향에 상반되는 제2 측방향(예컨대, 음의 x-방향)으로 도파관(1150)을 통해 이동한다.

[0139] [0163] 도 22a는 일부 실시예들에 따라, 제1 회전 방향을 갖는 키랄 구조들을 갖는 제1 CLCG(2204) 및 제1 회전 방향에 상반되는 제2 회전 방향을 갖는 키랄 구조들을 갖는 제2 CLCG(2208)를 포함하는, 예컨대, 스택으로서 배열되는 복수의 CLCG들에 커플링된 공통 도파관(2204)을 포함하는 광학 광도파 디바이스(2200)를 예시한다.

다양한 실시예들과 관련하여 위에서 설명된 바와 같이, 동작에서, 입사광 빔의 편광 방향의 방향이 CLCG의 키랄 구조들의 액정 분자들의 회전 방향과 매칭될 때, 입사광은 반사된다. 예시된 광학 광도파 디바이스(2200)는 입사광 빔(2116)이 선형으로 편광되거나 편광되지 않는 조건 하에 있다. 이러한 조건들 하에서, 입사광 빔(2116)은 상반되는 측방향들 둘 모두(양 및 음의 x 방향들)에서 TIR에 의해 도파관 내로 커플링될 수 있다. 예시된 실시예에서, 입사광(2116)이 이동하는 방향, 즉 음의 z-방향에서 볼 때, 제1 CLCG(2204)의 키랄 구조들의 액정 분자들은 시계 방향으로 연속적으로 회전되는 반면, 제2 CLCG(2204)의 키랄 구조들의 액정 분자들은 상반되는 반시계 방향으로 연속적으로 회전된다.

[0140] [0164] 여전히 도 22a를 참조하면, 제1 CLCG(2204)의 키랄 구조들의 회전 방향, 예컨대, 시계 방향과 매칭되는 제1 편광 핸디드니스를 갖는 타원형 또는 원형 입사광 빔(2116)의 컴포넌트, 예컨대 우향 편광된 컴포넌트는, 제1 CLCG(2204)에 의해 실질적으로 반사되고, 그리하여 층 법선 방향(z-축)에 대해 각도($\theta > \theta_{c1}$)의 제1 반사된 빔(2118A)을 발생시키고, 공통 도파관(2204)에 커플링되고 제1 측방향(예컨대, 양의 x-방향)으로 공통 도파관(2204)을 통해 이동한다.

[0141] [0165] 여전히 도 22a를 참조하면, 한편으로, 제1 CLCG(2204)의 키랄 구조들의 회전 방향과 매칭되지 않는 제2 편광 핸디드니스를 갖는 타원형 또는 원형 입사광 빔(2116)의 컴포넌트, 예컨대 우향 편광된 컴포넌트는 제1 CLCG(2204)를 통해 실질적으로 투과된다. 제1 CLCG(2204)를 통해 투과된 후에, 제2 CLCG(2208)의 키랄 구조들의 회전 방향, 예컨대, 반시계 방향과 매칭되지 않는 제2 편광 핸디드니스(2116)를 갖는 타원형 또는 원형 입사광 빔(2116)은, 제2 CLCG(2208)에 의해 실질적으로 반사되고, 그리하여 층 법선 방향(z-축)에 대해 각도($\theta > \theta_{c2}$)의 제2 반사된 빔(2118B)을 발생시키고, 공통 도파관(2204)에 커플링되고 제2 측방향(예컨대, 음의 x-방향)으로 공통 도파관(2204)을 통해 이동한다.

[0142] [0166] 도 22b는, 예컨대, 입사광이 2개의 직교 타원형 또는 원형 편광된 광 빔들, 예컨대, 좌향 타원형/원형 편광을 갖는 광 빔들(1016-L) 및 예컨대, 우향 타원형/원형 편광을 갖는 광 빔들(1016-R)로 편광되는 상이한 조건 하에서 도 22a와 관련하여 위에서 설명된 광학 광도파 디바이스(2000)를 예시한다. 이러한 조건 하에서, 입사광 빔들(1016-L, 1016-R)은, 제1 및 제2 편광 핸디드니스, 예컨대, 좌-핸디드니스 및 우-핸디드니스를 갖는 입사광 빔들(1016-L, 1016-R)을 커플링하기 위해, 위에서 도 22a와 관련하여 설명된 것과 유사한 방식으로, 상반되는 측방향들에서 TIR에 의해 공통 도파관(2204) 내로 커플링될 수 있다.

[0143] [0167] 도 21b 및 도 22b와 관련하여 위에서 설명된 실시예들은 예컨대, 상이한 광 신호들(즉, 이미지들)이 직교 원형 편광들로 인코딩되는 소정의 애플리케이션들에서 특히 유리할 수 있다. 이러한 상황들 하에서, 광은 편광 핸디드니스에 의존하여 상반되는 방향들(예컨대, 양 및 음의 x-방향들)로 커플링될 수 있다.

[0144] [0168] 도 22c는 일부 실시예들에 따라, 제1 회전 방향을 갖는 키랄 구조들을 갖는 제1 CLCG(2204) 및 제1 회전 방향에 상반되는 제2 회전 방향을 갖는 키랄 구조들을 갖는 제2 CLCG(2208)를 포함하는, 예컨대, 스택으로서 배열되는 복수의 CLCG들에 커플링된 공통 도파관(2250)을 포함하는 광학 광도파 디바이스(2220)를 예시한다. 도 22a 및 도 22b와 관련하여 설명된 실시예들과 달리, 광도파 디바이스(2220)에서, 공통 도파관(2250)은 제1 및 제2 CLCG 층들(2204, 2208) 사이에 개재된다. 예시 목적들로, 예시된 광학 광도파 디바이스(2220)는 입사광 빔(2116)이 선형으로 편광되거나 편광되지 않는 조건 하에 있다. 이러한 조건들 하에서, 입사광 빔(2116)은 상반되는 측방향들에서 TIR에 의해 도파관 내로 커플링될 수 있다. 예시된 실시예에서, 입사광(2116)이 이동하는 방향, 즉 음의 z-방향에서 볼 때, 제1 CLCG(2204)의 키랄 구조들의 액정 분자들은 시계 방향으로 연속적으로 회전되는 반면, 제2 CLCG(2204)의 키랄 구조들의 액정 분자들은 상반되는 반시계 방향으로 연속적으로 회전된다. 물론, 상반되는 어레인지먼트가 가능하다.

[0145] [0169] 여전히 도 22c를 참조하면, 제1 CLCG(2204)의 키랄 구조들의 회전 방향, 예컨대, 시계 방향과 매칭되는 제1 편광 핸디드니스를 갖는 타원형 또는 원형 입사광 빔(2116)의 컴포넌트, 예컨대 우향 편광된 컴포넌트는, 제1 CLCG(2204)에 의해 실질적으로 반사되고, 그리하여 층 법선 방향(z-축)에 대해 각도($\theta > \theta_{c1}$)의 제1 반사된 빔(2118A)을 발생시키며, 이는 결국, 공통 도파관(2250)에 커플링되고 TIR에 의해 제1 측방향(예컨대, 음의 x-방향)으로 공통 도파관(2250)을 통해 이동하기 전에, 제1 CLCG(2204)의 외부 표면으로부터 반사된다.

[0146] [0170] 여전히 도 22c를 참조하면, 한편으로, 제1 CLCG(2204)의 키랄 구조들의 회전 방향, 예컨대, 시계 방향과 매칭되지 않는 제2 편광 핸디드니스를 갖는 타원형 또는 원형 입사광 빔(2116)의 컴포넌트, 예컨대 우향 편광된 컴포넌트는 실질적으로 제1 CLCG(2204)를 통해 그리고 추가로 공통 도파관(2204)을 통해 투과되고, 그 후 제2 CLCG(2208)에 의해 실질적으로 반사되고, 그리하여 층 법선 방향(z-축)에 대해 각도($\theta > \theta_{c2}$)의 제2 반사된

빔(2218B)을 발생시키고, 공통 도파관(2250)에 커플링되고 TIR에 의해 제2 측방향(예컨대, 양의 x-방향)으로 공통 도파관(2250)을 통해 이동한다.

[0147] 콜레스테릭 액정 오프-축 미러

[0171] 다양한 실시예들과 관련하여 위에서 설명된 바와 같이, 입사되는 타원형 또는 원형 편광된 광의 편광의 핸드드니스를 CLC 층의 키랄 구조들의 액정 분자들의 회전 방향과 매칭시킴으로써, CLC 층이 브래그-반사기로서 구성될 수 있다. 또한, 상이한 나선형 피치들을 갖는 하나 이상의 CLC 층들은 높은 대역폭을 갖는 파장 선택적 브래그-반사기로서 구성될 수 있다. 다양한 실시예들과 관련하여 본원에서 설명된 개념들에 기초하여, CLC 층들은 제1 파장 범위, 예컨대, 적외선 파장들(예컨대, 근적외선)을 선택적으로 반사시키면서 다른 파장 범위, 예컨대, 가시 파장을 투과시키도록 구성된 오프-축 미러로서 구성될 수 있다. 이하, 실시예들에 따라, 눈-추적 시스템들에서 구현된 CLC 오프-축 미러들의 다양한 실시예들의 애플리케이션이 개시된다.

[0172] 도 23은 다양한 실시예들에 따라 CLCR(cholesteric liquid crystal reflector), 예컨대 뷰어의 눈(302)을 이미징하도록 구성된 파장-선택적 CLCR(1150)을 사용하는 눈-추적 시스템(2300)의 예를 예시한다. 눈 추적은 다른 애플리케이션들 중에서도, 가상/증강/혼합 현실 디스플레이 애플리케이션들을 위한 웨어러블 디스플레이들, 예컨대, 도 2의 웨어러블 디스플레이 시스템(200) 또는 도 24a 내지 도 24h에 설명된 시스템들(700)을 포함하는 상호작용식 비전 또는 제어 시스템들에서 핵심적인 특징일 수 있다. 양호한 눈 추적을 달성하기 위해, 낮은 원근 각도에서 눈(302)의 이미지들을 획득하는 것이 바람직할 수 있으며, 이를 위해, 결국 뷰어의 눈들의 중앙 포지션 근처에 눈 추적 카메라(702b)를 배치하는 것이 바람직할 수 있다. 그러나, 카메라(702b)의 이러한 포지션은 사용자의 뷰를 방해할 수 있다. 대안적으로, 눈-추적 카메라(702b)는 더 낮은 포지션 또는 측에 배치될 수 있다. 그러나, 카메라의 이러한 포지션은, 눈 이미지들이 더 가파른 각도로 캡처되기 때문에 강건하고 정확한 눈 추적을 획득하는 어려움을 증가시킬 수 있다. 도 4에 도시된 바와 같이, 세계로부터의 가시 광(2304)을 투과시키면서, 눈(302)으로부터 적외선(IR) 광(2308)(예컨대, 850nm의 파장을 가짐)을 선택적으로 반사시키도록 CLCR(1150)을 구성함으로써, 카메라(702b)는 보통 또는 낮은 원근 각도에서 눈 이미지들을 캡처하는 동안 사용자의 부로부터 떨어져 배치될 수 있다. 이러한 구성은 가시 광이 반사되지 않기 때문에 사용자의 뷰를 방해하지 않는다. 동일한 CLCR(1150)은 또한 예시된 바와 같이 IR 조명 소스(2320)로서 구성될 수 있다. IR 조명기의 낮은 원근각은 예컨대, 눈썹들로부터 폐색들을 더 초래할 수 있으며, 이 구성은 정반사들의 보다 확실한 검출을 허용한다(이는 현대의 눈-추적 시스템들에서 핵심적인 특징일 수 있음).

[0173] 도 23을 계속 참조하면, 다양한 실시예들에 따라, CLCR(1150)은 위에서 설명된 바와 같이, 복수의 키랄 구조들을 각각 포함하는 하나 이상의 CLC(cholesteric liquid crystal) 층을 포함하며, 각각의 키랄 구조는, 층 깊이 방향(예컨대, z-방향)으로 연장되고 제1 회전 방향으로 연속적으로 회전되는 복수의 액정 분자들을 포함한다. 키랄 구조들의 액정 분자들의 어레이먼트들은 층 깊이 방향에 수직인 측방향으로 주기적으로 변동되어서, 하나 이상의 CLC 층들은 제2 파장(λ_2)을 갖는 제2 입사광을 실질적으로 투과시키면서, 제1 파장(λ_1)을 갖는 제1 입사광을 실질적으로 브래그-반사하도록 구성되게 한다. 본 명세서의 다른 곳에서 설명된 바와 같이, 하나 이상의 CLC 층들 각각은 층 깊이 방향에서 볼 때, 제1 회전 방향에 매칭되는 편광의 핸드드니스를 갖는 타원형 또는 원형 편광된 제1 및 제2 입사광을 실질적으로 브래그-반사하도록 구성되는 반면, 층 깊이 방향에서 볼 때, 제1 회전 방향에 상반되는 편광의 핸드드니스를 갖는 타원형 또는 원형 편광된 제1 및 제2 입사광을 실질적으로 투과시키도록 구성된다. 실시예들에 따라, 측방향에서 주기적으로 변동하는 액정 분자들의 어레이먼트들은, 제1 파장과 주기 사이의 비가 약 0.5 내지 약 2.0이 되도록 측방향에서의 주기를 갖게 배열된다. 실시예들에 따르면, 제1 파장은 약 600nm 내지 약 1.4 μm 의 근적외선 범위, 예컨대, 약 850nm이며, 제2 파장은 본 명세서의 다른 곳에서 설명된 바와 같이 하나 이상의 컬러들을 갖는 가시 범위에 있다. 실시예들에 따라, 키랄 구조들의 액정 분자들은 층 깊이 방향에 법선인 방향에 대해 전경사지지 않는다. 구성된 바와 같이, 하나 이상의 CLC 층들은, 제1 입사광이 예컨대, 위에서 설명된 수식 [3]에 기초하여, 층 깊이 방향에 대해 약 50° , 약 60° , 약 70° 또는 약 80° 를 초과하는 층 깊이 방향(z-방향)에 대한 각도(θ_R)에서 반사되도록 구성된다.

[0174] 다시 도 2를 참조하면, HMD(head mounted display)(예컨대, 도 2의 웨어러블 디스플레이 시스템(200))의 착용자의 눈들은 예컨대, HOE(Holographic Optical Element)일 수 있는 반사성 오프-축 DOE(Diffractive Optical Element)를 이용하여 이미징될 수 있다. 결과적인 이미지들은 눈 또는 눈들을 추적하고, 망막을 이미징하고, 3 차원으로 눈 형성을 재구성하고, 눈으로부터 바이오메트릭 정보를 추출(예컨대, 홍채 식별)하는 데 사용될 수 있다.

- [0152] [0175] HMD(head mounted display)가 착용자의 눈들의 상태에 대한 정보를 사용할 수 있는 다양한 이유들이 존재한다. 예컨대, 이 정보는 착용자의 시선 방향을 추정하거나 바이오메트릭 식별을 위해 사용될 수 있다. 그러나, HMD와 착용자의 눈들 사이의 짧은 거리로 인해 이 문제는 난제이다. 시선 추적은 더 넓은 시야를 필요로 하는 반면, 바이오메트릭 식별은 홍채에 관한 타겟 상에 비교적 많은 수의 픽셀들 필요로 한다는 사실에 의해 더욱 복잡해진다. 이들 목적들 둘 모두 달성하려고 시도하는 이미징 시스템의 경우, 2개의 작업들의 요건들이 크게 동떨어져 있다. 마지막으로, 두 문제들은 눈꺼풀들 및 속눈썹들에 의한 차폐에 의해 더욱 복잡해진다. 본원에서 설명된 이미징 시스템들의 실시예들은 이들 문제들 중 일부 또는 전부를 해결한다. 도 24a 내지 도 24f를 참조하여 본원에서 설명된 이미징 시스템들(700)의 다양한 실시예들은 본원에서 설명된 디스플레이 디바이스들을 포함하는 HMD(예컨대, 도 2에 도시된 웨어러블 디스플레이 시스템(200) 및/또는 도 6에 도시된 디스플레이 시스템(1000))와 함께 사용될 수 있다.
- [0153] [0176] 도 24a는 눈(304)을 뷰잉하는데 사용되고 착용자의 관자놀이 부근에(예컨대, 도 2의 웨어러블 디스플레이 시스템(200)의 프레임(64), 예컨대, 귀 스템(ear stem) 상에) 장착되는 이미저(702b)를 포함하는 이미징 시스템(700)의 예를 개략적으로 예시한다. 다른 실시예들에서, 각각의 눈이 개별적으로 이미징되도록 제2 이미저가 착용자의 다른 눈(302)에 대해 사용된다. 이미저(702b)는 적외선 방사에 민감한 적외선 디지털 카메라를 포함할 수 있다. 이미저(702b)는 (도 6에 도시된 카메라(500)에서와 같이) 후방을 향하고 눈(304)으로 지향되되 보다는, 그것이 전방(착용자의 비전 방향으로)을 향하도록 장착된다. 이미저(702b)를 착용자의 귀에 더 가깝게 배치함으로써, 이미저(702b)의 무게는 또한 귀에 더 가깝고, 이미저가 후향성이고 HMD의 전방에 더 가까이(예컨대 도 2의 디스플레이(62)에 근접함) 배치되는 HMD와 비교하여, 이 HMD는 착용하기가 더 쉬울 수 있다. 또한, 전향 이미저(702b)를 착용자의 관자놀이 근처에 배치함으로써, 착용자의 눈(304)으로부터 이미저까지의 거리는, HMD의 전방 근처에 배치된 후향 이미저와 비교해서(예컨대, 도 4에 도시된 카메라(500)와 비교) 대략 2 배만큼 크다. 이미지의 피사계 심도는 대략 이 거리에 비례하기 때문에, 전향 이미저(702b)에 대한 피사계 심도는 후향 이미저에 비해 대략 2 배만큼 크다. 이미저(702b)에 대한 더 큰 피사계 심도는 크거나 돌출된 코들, 눈썹 리지(brow ridge) 등을 갖는 착용자의 눈 구역을 이미징하는데 유리할 수 있다.
- [0154] [0177] 이미저(702b)는 다르게 투명한 광학 엘리먼트(706)의 내부 표면(704)을 뷰잉하도록 포지셔닝된다. 광학 엘리먼트(706)는 HMD의 디스플레이(708)(또는 안경 한점의 렌즈)의 부분일 수 있다. 광학 엘리먼트(706)는 광학 엘리먼트 상에 입사되는 가시 광의 적어도 10%, 20%, 30%, 40%, 50% 또는 그 이상을 투과시킬 수 있다. 다른 실시예들에서, 광학 엘리먼트(706)는 (예컨대, 가상 현실 디스플레이에서) 투명할 필요는 없다. 광학 엘리먼트(706)는 CLC 오프-축 미러(708)를 포함할 수 있다. CLC 오프-축 미러(708)는 제2 파장 범위(즉, 제1 파장 범위와 상이함)에 대해 실질적으로 투과성이면서 제1 파장 범위를 반사하는 표면일 수 있다. 제1 파장 범위는 적외선에 있을 수 있고, 제2 파장 범위는 가시적인 상태에 있을 수 있다. 예컨대, CLC 오프-축 미러(708)는 가시광을 투과시키면서 적외선을 반사하는 핫 미러(hot mirror)를 포함할 수 있다. 이러한 실시예들에서, 착용자로부터의 적외선(710a, 712a, 714a)은 광학 엘리먼트(706)로 전파되고 그리고 이로부터 반사되어, 이미저(702b)에 의해 이미징될 수 있는 반사된 적외선(710b, 712b, 714b)을 발생시킨다. 일부 실시예들에서, 이미저(702b)는 CLC 오프-축 미러(708)에 의해 반사된 제1 파장 범위의 적어도 서브세트(이들테면, 넌-엠프티 서브세트(non-empty subset) 및/또는 전부보다 적은 서브세트)를 캡처할 정도로 민감하거나 이를 캡처할 수 있을 수 있다. 예컨대, CLC 오프-축 미러(708)는 700nm 내지 1.5 μ m의 범위의 적외선을 반사할 수 있고, 이미저(702b)는 700nm 내지 900nm의 파장들에서 근적외선을 캡처할 정도로 민감하거나 이를 캡처할 수 있다. 다른 예로서, CLC 오프-축 미러(708)는 700nm 내지 1.5 μ m의 범위의 적외선을 반사할 수 있고, 이미저(702b)는 900nm 내지 1.5 μ m 범위의 적외선을 필터링하는 필터를 포함할 수 있어서, 이미저(702b)가 700nm 내지 900nm의 파장에서 근적외선을 캡처할 수 있게 한다.
- [0155] [0178] 외부 세계(1144, 도 6)로부터의 가시광은 광학 엘리먼트(706)를 통해 투과되고 착용자에 의해 지각될 수 있다. 사실상, 도 24a에 도시된 이미징 시스템(700)은, 착용자의 눈(304)을 향해 다시 지향되는 가상 이미저(702c)가 존재하는 것처럼 작용한다. 가상 이미저(702c)는 광학 엘리먼트(706)를 통해 착용자의 눈(704)으로부터 전파되는 가상 적외선(710c, 712c, 714c)(점선들로 도시됨)을 이미징할 수 있다. 핫 미러(또는 본원에서 설명된 다른 DOE)가 광학 엘리먼트(706)의 내부 표면(704) 상에 배치될 수 있지만, 이는 제한이 아니다. 다른 실시예들에서, 핫 미러 또는 DOE는 광학 엘리먼트(706)의 외부 표면 상에 또는 광학 엘리먼트(706) 내에 배치될 수 있다(예컨대, 볼륨 HOE).
- [0156] [0179] 도 24b는 이미징 시스템(700)의 다른 예를 개략적으로 예시한다. 이 실시예에서, 이미저(702b)와 함께 원근 제어 렌즈 어셈블리(716b)(예컨대, 시프트 렌즈 어셈블리, 틸트 렌즈 어셈블리 또는 틸트-시프트 렌즈 어

샘블리)를 사용함으로써 원근 왜곡이 감소되거나 제거될 수 있다. 일부 실시예들에서, 원근 제어 렌즈 어셈블리(716b)는 이미저(702b)의 렌즈의 부분일 수 있다. 원근 제어 렌즈(716b)는 이미저(702b)에 대한 법선이 DOE (또는 HOE) 또는 핫 미러를 포함하는 표면(704)의 구역에 대한 법선과 실질적으로 평행하도록 구성될 수 있다. 사실상, 도 24b에 도시된 이미징 시스템(700)은, 착용자의 눈(304)을 향해 다시 지향되는 가상 원근 제어 렌즈 어셈블리(716c)를 갖는 가상 이미저(702c)가 존재하는 것처럼 작용한다.

[0157] [0180] 부가적으로 또는 대안적으로, 도 24c에 개략적으로 도시된 바와 같이, 광학 엘리먼트(706)의 CLC 오프-축 미러(708)는 그의 표면(704) 상에, 반사된 광(710b, 712b, 714b)을 캡처하는 카메라 이미저(702b)에 의한 눈(304)의 뷰잉을 용이하게 하도록 광(710a, 712a, 714a)을 반사시키는 데 사용되는 OAHM(off axis holographic mirror)를 가질 수 있다. OAHM(708)은 광 파위를 또한 가질 수 있으며, 이 경우에, 그것은 도 24d에 개략적으로 도시된 바와 같이, OAVDOE(off-axis volumetric diffractive optical element)일 수 있다. 도 24d에 도시된 예에서, 가상 카메라(702c)의 효과적인 위치는 무한대에 있다(그리고 도 24d에서 도시되지 않음).

[0158] [0181] 일부 실시예들에서, HOE(예컨대, OAHM 또는 OAVDOE)는 복수의 세그먼트들로 분할될 수 있다. 이들 세그먼트들 각각은, 예컨대, 세그먼트들이 인입하는 (적외선) 광 또는 광 파위를 반사하는 반사각들을 포함하여 상이한 광학 성질들 또는 특성들을 가질 수 있다. 세그먼트들은 광이 각각의 세그먼트로부터 이미저(702b)를 향해 반사되도록 구성될 수 있다. 결과적으로, 이미저(702b)에 의해 획득된 이미지는 또한 각각이 상이한 각도로부터 눈을 효과적으로 뷰잉하는 세그먼트들의 대응하는 수로 분할될 것이다. 도 24e는, 각각이 상이한 각도 위치에서 눈(304)을 이미징하는 각각의 가상 카메라(702c1, 702c2, 702c3)로서 작용하는 3개의 세그먼트들(718a1, 718a2, 718a3)을 구비한 OAHM을 갖는 디스플레이 시스템(700)의 예를 개략적으로 예시한다.

[0159] [0182] 도 24f는 각각이 광학 전력(예컨대, 세그먼트된 OAVDOE)을 갖는 3개의 세그먼트들(718a1, 718a2, 718a3)을 구비한 OAHM을 갖는 디스플레이 시스템(700)의 다른 예를 개략적으로 예시하며, 각각의 세그먼트는 상이한 각도 위치에서 눈(304)을 이미징하는 무한대의 가상 카메라를 생성한다. 도 24e 및 도 24f에 3개의 세그먼트들이 개략적으로 예시되지만, 이는 예시를 위한 것이며 제한이 아니다. 다른 실시예들에서, 2개, 4개, 5개, 6개, 7개, 8개, 9개 또는 그 이상의 세그먼트들이 활용될 수 있다. HOE의 이러한 세그먼트들 중 어느 것도, 일부가 또는 전부가 광 파위를 가질 수 없다.

[0160] [0183] 3개의 세그먼트들(718a1, 718a2, 718a3)은 도 24e 및 도 24f에서 광학 엘리먼트(706)에 걸쳐 수평으로 이격된 것으로 도시된다. 다른 실시예들에서, 세그먼트들은 광학 엘리먼트(706) 상에서 수직으로 이격될 수 있다. 예컨대, 도 24g는 2개의 수직으로 이격된 세그먼트들(718a1 및 718a2)을 갖는 DOE(718)를 개략적으로 도시하며, 세그먼트(718a1)는 이미저(702b)(세그먼트(718a1)와 동일한 일반 수평면에 있을 수 있음)를 향해 광을 다시 반사시키도록 구성된 CLC 오프-축 미러를 포함하고 세그먼트(718a2)는 이미저(702b)를 향해 상향으로 광을 반사시키도록 구성된다. 이중 초점 렌즈들과 유사하게, 도 24g에 도시된 어레이먼트는, 이미징 시스템(700)이, 착용자가 HMD의 상위 부분을 통해 전방을 바라볼 때 상위 세그먼트(718a1)로부터 이미저(702b)에 의해 획득된 반사 이미저리를 사용하고(실선 화살표를 통해 개략적으로 도시됨), 착용자가 HMD의 하위 부분을 하향을 바라볼 때 하위 세그먼트(718a2)로부터의 반사 이미저리를 사용(파선 화살표를 통해 개략적으로 도시됨)할 수 있게 하는데 있어 유리할 수 있다.

[0161] [0184] 수평으로 이격된 세그먼트와 수직으로 이격된 세그먼트의 혼합이 다른 실시예들에서 사용될 수 있다. 예컨대, 도 24h는 각각이 CLC 오프-축 미러를 포함하는 세그먼트들의 3×3 어레이를 갖는 HOE(718)의 다른 예를 도시한다. 이미저(702b)는, 눈 구역으로부터의 상이한 영역들 및 각도 방향들로부터 나오는 광선들을 표현하는 이들 9개의 세그먼트들 각각으로부터 반사 데이터를 획득할 수 있다. 눈 구역으로부터 HOE(718)로 전파되고 이미저(702b)로 다시 반사되는 두 개의 예시적인 광선들이 실선 및 파선으로서 도시된다. 이미징 시스템(700)(또는 프로세싱 모듈(224 또는 228))은 복수의 세그먼트들로부터의 반사 데이터를 분석하여 눈의 3-차원 형상 또는 눈의 시선 방향(예컨대, 눈 포즈)을 다중입체적으로(multiscopically) 계산할 수 있다.

[0162] [0185] 세그먼트들을 활용하는 광학 시스템(700)의 실시예들은 다수의 이익들을 가질 수 있다. 예컨대, 세그먼트들은 특정 작업에 가장 적합한 특정 세그먼트들을 선택함으로써 개별적으로 사용될 수 있거나, 또는 세그먼트들은 눈의 3-차원 형상 또는 포즈를 다중입체적으로 추정하기 위해 집단적으로 사용될 수 있다. 전자의 경우에, 이러한 선택성은 예컨대, 눈꺼풀들 또는 속눈썹들에 의해 가장 적은 차폐를 갖는 착용자의 홍채의 이미지를 선택하는데 사용될 수 있다. 후자의 경우에, 눈의 3 차원 재구성은 (예컨대, 각막의 팽창의 위치의 추정에 의한) 배향 또는 (예컨대, 동공의 외견상 위치 상의 렌즈 유도 왜곡의 추정에 의한) 원근조절을 추정하는데 사용

될 수 있다.

[0163] 시야에 대해 최적화된 CLCG와 커플링된 도파관들

[0186] 광의 편광 및 전파 방향에 의존하는 굴절률을 갖는 매체는 복굴절(birefringent 또는 birefractive)되는 것으로서 지칭된다. 본 명세서 전반에 걸쳐 설명되고 관련 업계에서 이해되는 바와 같이, 편광의 복굴절 매체의 광학 축에 수직인 광은 통상의 굴절률(n_o)에 의해 영향을 받는 것으로 설명되고, 편광의 복굴절 매체의 광학 축에 평행한 광은 색다른 굴절률(n_e)에 의해 영향을 받는 것으로 설명되고, 복굴절 매체 재료에서 관찰되는 굴절률들의 차이($n_e - n_o$)는 복굴절(Δn)을 갖는 것으로 설명된다. 본원에서 설명된 바와 같이, 복굴절 CLCG의 평균 굴절률(n_{LC})은 다음과 같이 표현될 수 있다:

$$n_{LC} = \frac{1}{2}(n_o + n_e) = n_o + \Delta n/2$$

[5]

[0187] 본원에서 설명된 다양한 실시예들에 따라, CLC(cholesteric liquid crystal) 층들은 0.05-0.10, 0.15-0.20, 0.20-0.25, 0.25-0.30, 0.30-0.35, 0.35-0.40, 0.40-0.45, 0.45-0.50, 0.50-0.55, 0.55-0.60, 0.60-0.65, 0.65-0.70 또는 이들 값들 중 임의의 것에 의해 정의되는 범위 내의 값의 평균, 로컬, 평균치, 중앙값, 최대 또는 최소 복굴절(Δn)을 가질 수 있다.

[0188] 본원에서 설명된 바와 같이, 복굴절(Δn)을 갖는 재료 매체에서의 광의 위상 리타레이션(Γ)은 $\Gamma = 2\pi\Delta n d/\lambda$ 로서 표현될 수 있으며, 여기서 λ 는 광의 파장이고, d 는 매체의 두께이다. 또한, 역정들을 갖는 층과 같은 복굴절 매체의 회절 효율(η)은 $\eta = \sin^2(\pi\Delta n d/\lambda)$ 로서 표현될 수 있으며, 여기서 Δn 은 복굴절이고, λ 는 파장이고, d 는 매체의 두께이다. 회절 컴포넌트들을 통해 전파되는 광의 위상 리타레이션은 종래의 복굴절 매체들에 대한 파장에 따라 변동되기 때문에, 회절 격자들을 포함하는 일부 회절 컴포넌트들은 회절 효율이 비교적 높은 가시 스펙트럼 내의 제한된 파장 범위 또는 대역폭을 보여줄 수 있다.

[0189] 다양한 실시예들에 따라, 본원에서 설명된 다양한 CLC 층들 및 CLCG들은, 이들이, 때로는 수락 가능한 각도 범위 또는 FOV(field-of-view)로서 지칭되는 특정 입사각 범위 내에서 비교적 높은 효율로 입사되는 광을 회절시키도록 구성될 수 있다. 본원에서 설명된 바와 같이, FOV는 FOV의 중심선 파장에 대한 입사각들의 음의 값 및 양의 값에 걸쳐있는 각도들의 범위를 포함할 수 있으며, 이 각도들의 범위 외측에서, 회절 효율은 FOV의 중심선 파장에서의 회절 효율에 대해, 또는 FOV 내의 피크 효율에 대응하는 파장에서의 회절 효율에 대해, 10% 초과, 25% 초과, 50% 초과, 75% 초과, 또는 이들 값 중 임의의 것에 의해 정의된 범위 내의 값 만큼 떨어진다. 달리 언급되지 않으면, FOV 내부에서, CLC 층들 및 CLCG들은, 회절 효율이 FOV의 중심선 파장에서의 회절 효율에 대해, 또는 FOV 내의 피크 효율에 대응하는 파장에서의 회절 효율에 대해 25%보다 크고, 50%보다 크고, 75%보다 크고, 90%보다 크거나, 또는 이들 값들 중 임의의 것에 의해 정의된 범위의 값보다 크도록 구성된다. 예컨대, FOV 내에서 회절 광의 균일한 세기가 바람직한 경우, 회절 효율이 비교적 일정한 FOV를 갖는 것이 바람직할 수 있다.

[0190] 출원인은 적절한 복굴절을 갖는 CLC 층들 및 CLCG들을 선택함으로써(예컨대, 수식 [6] 참조), 위에서 설명된 바와 같이 CLC 층들 및 CLCG들에 커플링되는 도파관의 다양한 실시예들에 대해 CLC 층들 및 CLCG들의 FOV가 증가되거나 최적화될 수 있다는 것을 인지하였다. 도 25는 실시예들에 따라 비교적 높은 FOV에 대해 최적화된 예시적인 광학 광도파 디바이스(2500)를 예시한다. 광학 광도파 디바이스(2500)는 CLCG(1150)에 커플링된 도파관(1604)을 포함한다. 본원에서 설명된 다양한 실시예들과 유사하게, CLCG(1150)는 예컨대, 도 11과 관련하여 위에 설명된 키랄 구조들(1162-1, 1162-2, ... 1162-i)과 유사한 방식으로 복수의 키랄 구조들로서 배열되는 액정 분자들을 포함한다. 도파관(1604)은 CLCG(1150) 위에 배치되고 CLCG(1150)에 광학적으로 커플링된다.

[0191] 우/좌((R/L) 핸드니스를 갖는 타원형/원형 편광된 입사광(2504)이 도파관(1604)의 층 법선에 대하여 각도(θ_{inc})에서 도파관(1604) 상에 입사될 때, 입사광(2504)은 층 법선에 대해 각도(θ_{incWG})에서 CLCG(1150) 상에 입사되는 광(2508)으로서 도파관(1604) 내로 커플링된다. 도파관(1604) 내로 커플링된 광(2508)은, 그것이

CLCG(1150)의 키랄 구조들의 액정 분자들의 회전 방향과 매칭되는 편광 핸드드니스(R/L)를 가질 때 층 법선에 대해 각도(θ_{LC})를 갖는 광(2512)으로 CLCG(1150)에 의해 브래그-반사된다. 반사된 광(2512)은 후속적으로, TIR(total internal reflection) 하에서 광(2516)이 측방향(예컨대, x-방향)으로 이동하도록 층 법선에 대해 각도(θ_{WG})에서 광(2516)으로서 도파관(1604) 내로 다시 커플링된다. 어떠한 이론에도 얽매임 없이, TIR 조건은 각도(θ_{WG})가 임계 각보다 클 때 만족될 수 있다.

[0171] [0192] 어떠한 이론에도 얽매임 없이, 전파 각도들의 범위는 다음과 같이 전파 매체의 재료 인덱스에 의해 제한될 수 있다 :

$$1 - \frac{\lambda}{\Lambda} < \sin \theta_{inc} < n - \frac{\lambda}{\Lambda}$$

[0172] 입사각은 대칭적인 $|\sin \theta_{inc}| < (n - 1)/2$ 이고, 주어진 FOV에 대해 최소 굴절률은 $n > 2 \sin \theta_{inc} + 1$ 를 만족한다. 이 조건은 또한 광이 회절하고 층을 통해 전파됨에 따라 CLCG 층에서 유효할 수 있다. CLCG 층들이 복굴절이기 때문에, 전파 광은 LC 재료의 평균 인덱스(n_{LC})를 경험한다. n_0 가 고정된다고 가정하면(요구되는 것은 아님), 최소 복굴절(Δn)은 다음과 같이 FOV의 입사각과 관련된다:

$$\Delta n > 2(2 \sin \theta_{inc} - n_o + 1) \quad [6]$$

[0173] [0193] CLCG 층의 LC 재료는 원하는 FOV를 제공하기 위해 수식 [6]에 기초하여 선택될 수 있다. FOV는, CLCG(1150) 내의 액정 분자들이 수식 [6]에 따라 구성될 때, 20° , 30° , 36° , 40° , 44° , 50° 또는 이들 값들 중 임의의 것에 의해 정의된 각도들의 범위 내의 각도 범위를 초과하는 각도 범위들을 가질 수 있다. 예컨대, 다음의 FOV 입사각들 다음과 같은 평균 인덱스들과 연관될 수 있다:
 $10^\circ: n_{LC} \gtrsim 1.35$, $15^\circ: n_{LC} \gtrsim 1.52$, $18^\circ: n_{LC} \gtrsim 1.62$, $20^\circ: n_{LC} \gtrsim 1.68$, $22^\circ: n_{LC} \gtrsim 1.75$ 및
 $25^\circ: n_{LC} \gtrsim 1.85$. 및 다른 예로서, n_{LC} 가 약 1.35 내지 약 1.85일 때, 풀 FOV는 약 20° 내지 약 50° 일 수 있거나, 또는 50° 를 초과할 수 있다.

[0174] [0194] 다양한 실시예들에서, FOV의 위에서 개시된 값들은, 도파관(1604)이 약 1 내지 약 2, 약 1.4 내지 약 1.8, 또는 약 1.5 내지 약 1.7의 굴절률(n_1)을 갖는 적합한 재료로 형성될 때 획득될 수 있다. 예컨대, 도파관은 폴리카보네이트 또는 유리나 같은 중합체를 포함할 수 있다.

[0175] 아웃커플링 광학 엘리먼트들로서 구성된 CLCG에 커플링된 도파관들

[0176] [0195] 도 9b 및 도 9c와 관련하여 위에서 설명된 바와 같이, 본원에서 개시된 디스플레이 디바이스들의 다양한 실시예들은, 뷰어의 눈(4)(도 7)에 광을 지향시키는 EPE(exit pupil expander)들로서 구성될 수 있는 아웃커플링 광학 엘리먼트들(1250, 1252, 1254)을 포함한다. 본원에서 설명된 다양한 실시예들에서, 렌즈들, 미러들 및 격자들과 같은 다양한 광학 컴포넌트들은 소정의 광 전파 방향 및/또는 광의 소정의 편광, 예컨대, 우향 또는 좌향 원형 편광된 광에 특유하게 되도록 구성될 수 있다. 본원에 설명된 바와 같이, 다양한 실시예들에서, CLC 층들 및 CLCG들은 복수의 키랄 구조들을 포함하며, 여기서 각각의 키랄 구조는, 적어도 나선형 피치만큼 층 깊이를 방향으로 연장되고 회전 방향으로 연속적으로 회전되는 복수의 액정 분자들을 포함한다. CLC 층들 또는 CLCG들은 유리하게는, 액정 분자들의 회전 방향에 매칭되는 편광의 핸드드니스를 갖는 타원형 또는 원형 편광된 광을 실질적으로 브래그-반사하도록 구성되는 반면, 액정 분자들의 회전 방향에 상반되는 편광의 핸드드니스를 갖는 타원형 또는 원형 편광된 광을 실질적으로 투과시키도록 구성될 수 있다. CLC 층들 및 CLCG들의 이러한 성질들에 기초하여, 본원에서 개시된 디스플레이 디바이스들의 다양한 실시예들은 하나 이상의 CLC 층들 또는 CLCG들을 포함하는 광학 엘리먼트들(1250, 1252, 1254)을 갖는다.

[0177] [0196] 도 26은 실시예들에 따라 EPE와 같은 아웃커플링 광학 엘리먼트로서 구성된 예시적인 광학 광도파 디바이스(2600)를 예시한다. 광도파 디바이스(2600)는 CLCG(1150)에 커플링되고 TIR(total internal reflection)에 의해 광을 전파시키도록 구성된 도파관(1604)을 포함한다. 본원에서 설명된 다양한 실시예들과 유사하게, CLCG(1150)는 예컨대, 도 11과 관련하여 위에 설명된 키랄 구조들(1162-1, 1162-2, ... 1162-i)과 유사한 방식

으로 복수의 키랄 구조들로서 배열되는 액정 분자들을 포함한다.

- [0180] [0197] 여전히 도 26을 참조하면, 도파관(1604)에 커플링된 CLCG(1150)는, 각각의 도파관들(1210, 1220, 1230)의 광-출사 측들 상에 형성된 아웃커플링 광학 엘리먼트들(1250, 1252, 1254)과 달리, CLCG(1150)가 도파관(1604)의 광 출사 측에 대향하는 측 상에 형성된다는 것을 제외하면, 도 9b 및 도 9c에 예시된 바와 같이 도파관들(1210, 1220, 1230)의 각각의 도파관에 커플링된 아웃커플링 광학 엘리먼트들(1250, 1252, 1254) 중 임의의 것을 표현할 수 있다. 따라서, 일부 실시예들에 따라, 아웃커플링 광학 엘리먼트들(1250, 1252, 1254) 각각의 것 및 인커플링 광학 엘리먼트들(1212, 1222, 1232)의 대응하는 것은 도파관들(1210, 1220, 1230) 중 대응하는 것의 대향하는 측 상에 형성된다. 동작에서, 예컨대, 인커플링 광학 엘리먼트들(1212, 1222, 1232)(도 9a 내지 도 9c)에 의해 인-커플링된 광은 각각, 도파관들(1210, 1220, 1230)(도 9a 내지 도 9c) 내에서 TIR에 의해 층 내면 방향(layer in-plane direction)으로 전파된다. 인커플링된 광은 그 후 광이 아웃커플링 광학 엘리먼트들(1250, 1252, 1254)을 향해 전파시키도록 광을 편향시킬 수 있는 (만약 있다면) 광 분배 엘리먼트들(1214, 1224, 1234)(도 9a 내지 도 9c)에 충돌할 수 있다. 아웃커플링 광학 엘리먼트들(1250, 1252, 1254)에 접근하는 광은 도 26의 광(2604)에 의해 표현될 수 있다. CLCG(1150)에 충돌할 때, 광(2604) 중 적어도 일부는 예컨대, 뷰어의 눈(4)(도 7)으로 지향될 수 있는 회절된 광(2608)으로서 CLCG(1150)에 의해 회절될 수 있다.
- [0181] [0198] 여전히 도 26을 참조하면, 예시된 CLCG(1150)의 액정 분자들은 회전 방향으로 연속적으로 회전되고, 키랄 구조들의 액정 분자들의 어레이지먼트들은 층 깊이 방향에 수직인 측방향으로 주기적으로 변동된다. 액정 분자들의 회전 어레이지먼트로 인해, 광(2604)이 키랄 구조들의 액정 분자들의 회전 방향과 매칭되는 편광 핸드드니스, 예컨대, 좌-핸드드니스 또는 우-핸드드니스 중 하나를 갖는 타원형/원형 편광된 광일 때, 광(2604)은 CLCG(1150)에 의해 브래그-반사된다. 즉, CLCG(1150)의 액정 분자들의 회전 어레이지먼트는, 상반되는 핸드드니스를 갖는 광을 투과시키거나 비-브래그 반사하면서, 하나의 핸드드니스를 갖는 광을 선택적으로 브래그-반사하도록 이루어진다. 또한, 회절 조건 하에서 브래그-반사가 발생하기 때문에, 브래그-반사된 광(2608)은 단지 향성이다(예컨대, 대부분의 광은 도 26의 화살표들(2608)에 의해 표시된 방향과 같이 아웃커플링 시에 한 방향을 향해 지향됨). 아웃커플링된 광은 CLC 재료의 키랄성에 대응하는 균일한 편광 상태를 유지할 수 있다. 따라서, 광학 아웃커플링 엘리먼트로서 구성될 때, CLCG(1150)는, 본원에서 설명된 다양한 디스플레이 시스템들 내의 다른 광학 컴포넌트들과의 효율적인 통합을 허용하는 편광기 및 단지향성 반사기로서 역할을 한다. 예컨대, 광학 엘리먼트(2600)는 단일 방향으로 제어된 편광 상태를 갖는 가상 이미지들을 프로젝팅하기 위해 도파관-기반 AR 디스플레이들에서 출사동 확장기(exit-pupil expander)로서 사용될 수 있다.
- [0182] 부가적인 양상들
- [0183] [0199] 제1 양상에서, 회절 격자 복수의 키랄 구조들을 포함하는 CLC(cholesteric liquid crystal) 층을 포함하며, 각각의 키랄 구조는, 적어도 나선형 피치만큼 층 깊이 방향으로 연장되고 제1 회전 방향으로 연속적으로 회전되는 복수의 액정 분자들을 포함한다. 나선형 피치는, 제1 회전 방향의 한 번의 풀 회전에 의한 키랄 구조들의 액정 분자들의 순 회전각에 대응하는 층 깊이 방향의 길이이다. 키랄 구조들의 액정 분자들의 어레이지먼트들은 층 깊이 방향에 수직인 측방향으로 주기적으로 변동된다.
- [0184] [0200] 제2 양상에서, 제1 양상의 회절 격자에 있어서, 각각의 키랄 구조는 상이한 신장(elongation) 방향들을 따라 신장되는 적어도 3개의 칼라미틱(calamitic) 액정 분자들을 포함한다.
- [0185] [0201] 제3 양상에서, 제1 양상 또는 제2 양상의 회절 격자에 있어서, CLC 층은, 층 법선 방향에서 볼 때, 제1 회전 방향에 매칭되는 편광의 핸드드니스(handedness of polarization)를 갖는 타원형 또는 원형 편광된 광을 실질적으로 브래그-반사(Bragg-reflect)하도록 구성되는 반면, 층 깊이 방향에서 볼 때, 제1 회전 방향과 상반되는 편광의 핸드드니스를 갖는 타원형 또는 원형 편광된 광을 실질적으로 투과시키도록 구성된다.
- [0186] [0202] 제4 양상에서, 제1 양상 내지 제3 양상 중 어느 한 양상의 회절 격자에 있어서, 측방향으로 주기적으로 변동되는 액정 분자들의 어레이지먼트들은, 층 깊이 방향으로 거의 동일한 깊이의 연속적으로 측방향으로 인접한 키랄 구조들의 액정 분자들이 $360^\circ/n$ 만큼 제2 회전 방향으로 연속적으로 회전되도록 이루어지며, 여기서 n 은 정수이다.
- [0187] [0203] 제5 양상에서, 제1 양상 내지 제4 양상 중 어느 한 양상의 회절 격자에 있어서, 측방향으로 주기적으로 변동되는 액정 분자들의 어레이지먼트들은, 측방향으로 인접한 키랄 구조들에 의해 브래그-반사되는 타원형 또는 원형 편광된 광이 측방향으로 인접한 키랄 구조들 사이에서 제2 회전 방향의 회전의 각도에 비례하는 각도만큼 위상-시프트되도록 이루어진다.

- [0188] [0204] 제6 양상에서, 제1 양상 내지 제5 양상 중 어느 한 양상의 회절 격자에 있어서, 키랄 구조들은 실질적으로 동일한 나선형 피치를 갖는다.
- [0189] [0205] 제7 양상에서, 제1 양상 내지 제4 양상 중 어느 한 양상의 회절 격자에 있어서, 키랄 구조들은, 적어도 제1 나선형 피치만큼 층 깊이 방향으로 연장되고 제1 회전 방향으로 연속적으로 회전되는 복수의 제1 액정 분자들을 각각 포함하는 제1 복수의 키랄 구조들; 및 적어도 제2 나선형 피치만큼 층 깊이 방향으로 연장되고 제1 회전 방향으로 연속적으로 회전되는 복수의 제2 액정 분자들을 각각 포함하는 제2 복수의 키랄 구조들을 포함한다. 제1 나선형 피치 및 제2 나선형 피치는, 제1 키랄 구조들 및 제2 키랄 구조들이 상이한 오프-축 입사각(off-axis incident angle)들을 갖는 광을 브래그-반사하도록 구성되게 이루어진다.
- [0190] [0206] 제8 양상에서, 제7 양상의 회절 격자에 있어서, 제1 복수의 키랄 구조들은 제1 CLC(cholesteric liquid crystal) 층에 형성되고, 제2 복수의 키랄 구조들은, 제1 CLC 층 위에 형성되고 층 깊이 방향으로 스택되는 제2 CLC(cholesteric liquid crystal) 층에 형성된다.
- [0191] [0207] 제9 양상에서, 제7 양상의 회절 격자에 있어서, 제1 복수의 키랄 구조들은 CLC(cholesteric liquid crystal) 층의 제1 구역에 형성되고, 제2 복수의 키랄 구조들은 층 깊이 방향으로 제1 구역 위에 형성되는 CLC(cholesteric liquid crystal) 층의 제2 구역에 형성된다.
- [0192] [0208] 제10 양상에서, 제7 양상의 회절 격자에 있어서, 제1 복수의 키랄 구조들은 CLC(cholesteric liquid crystal) 층의 제1 구역에 형성되고, 제2 복수의 키랄 구조들은 CLC(cholesteric liquid crystal) 층의 제2 구역에 형성되고, 제1 구역 및 제2 구역은 측방향으로 측방향 인접한 구역들이다.
- [0193] [0209] 제11 양상에서, 제7 양상 내지 제10 양상 중 어느 한 양상의 회절 격자에 있어서, 제1 키랄 구조들 및 제2 키랄 구조들 중 하나 또는 둘 모두는 층 깊이 방향 및 측방향 중 하나 또는 둘 모두로 나선형 피치에서 구배(gradient)를 형성한다.
- [0194] [0210] 제12 양상에서, 다른 양상에서, 광도와 디바이스는 복수의 키랄 구조들을 각각 포함하는 하나 이상의 CLC(cholesteric liquid crystal) 층을 포함하며, 각각의 키랄 구조는, 층 깊이 방향으로 연장되고 제1 회전 방향으로 연속적으로 회전되는 복수의 액정 분자들을 포함한다. 키랄 구조들의 액정 분자들의 어레이먼트들은 층 깊이 방향에 수직인 측방향으로 주기적으로 변동되어서, 하나 이상의 CLC 층들은 입사광을 브래그-반사(Bragg-reflect)하도록 구성되게 한다. 광도와 디바이스는 부가적으로, 하나 이상의 CLC 층들 위에 형성되고, 하나 이상의 CLC 층들로부터의 브래그-반사된 광을 광학적으로 커플링하여서, 브래그-반사된 광이 TIR(total internal reflection)에 의해 층 깊이 방향에 수직인 측방향으로 이동하게 하도록 구성되는 하나 이상의 도파관들을 포함한다. 하나 이상의 CLC 층들 및 하나 이상의 도파관들은 동일한 광학 경로에 있도록 구성된다.
- [0195] [0211] 제13 양상에서, 제12 양상의 광도와 디바이스에 있어서, 복수의 키랄 구조들 각각은 적어도 나선형 피치만큼 층 깊이 방향으로 연장되고, 나선형 피치는 제1 회전 방향으로 한 번의 풀 회전에 의한 키랄 구조들의 액정 분자들의 순 회전각에 대응하는 층 깊이 방향의 길이이다.
- [0196] [0212] 제14 양상에서, 제12 양상 또는 제13 양상의 광도와 디바이스는 복수의 CLC 층들을 포함하고, CLC 층들 각각은, CLC 층들 중의 다른 CLC 층들과 상이한 파장을 갖는 입사광을, CLC 층들 중의 다른 CLC 층들과 상이한 브래그-반사각으로 선택적으로 브래그-반사하도록 구성되는 상이하게 배열된 키랄 구조들을 갖는다.
- [0197] [0213] 제15 양상에서, 제12 양상 내지 제14 양상 중 어느 한 양상의 광도와 디바이스에 있어서, 액정 층들의 주기적으로 변동되는 측방향 어레이먼트들은 주기에 의해 특징화되고, CLC 층들의 각각의 CLC 층은 CLC 층들 중의 다른 CLC 층들과 상이한 주기를 갖는다.
- [0198] [0214] 제16 양상에서, 제12 양상 내지 제15 양상 중 어느 한 양상의 광도와 디바이스에 있어서, CLC 층들의 각각의 CLC 층은 가시 스펙트럼의 파장을 갖는 입사광을 선택적으로 브래그-반사하도록 구성된다.
- [0199] [0215] 제17 양상에서, 제12 양상 내지 제15 양상 중 어느 한 양상의 광도와 디바이스에 있어서, CLC 층들의 각각의 CLC 층은 적외선 스펙트럼의 파장을 갖는 입사광을 선택적으로 브래그-반사하는 반면, 가시 스펙트럼의 파장을 갖는 광을 투과시키도록 구성된다.
- [0200] [0216] 제18 양상에서, 제12 양상 내지 제17 양상 중 어느 한 양상의 광도와 디바이스는 복수의 도파관들을 포함하고, 각각의 도파관은 각각의 도파관 상에 형성되어 있는 CLC 층들 중 하나에 광학적으로 커플링된다.
- [0201] [0217] 제19 양상에서, 제12 양상 내지 제18 양상 중 어느 한 양상의 광도와 디바이스에 있어서, 복수의 CLC

층은 스택을 형성하고, 단일 도파관은 스택 내의 CLC 층 각각에 광학적으로 커플링된다.

- [0202] [0218] 제20 양상에서, 제12 양상 내지 제19 양상 중 어느 한 양상의 광도와 디바이스는 편광 반사기를 더 포함하고, 하나 이상의 도파관들은, 하나 이상의 CLC 층들과 편광 반사기 사이에 개재되고, 그리고 하나 이상의 CLC 층들을 통해 그리고 추가로 도파관을 통해 투과되는 타원형 또는 원형 편광된 입사광이 타원형 또는 원형 편광된 입사광에 대해 상반되는 편광 핸드드니스를 갖는 반사된 광으로서 편광 반사기에 의해 반사되도록 구성된다.
- [0203] [0219] 제21 양상에서, 제12 양상 내지 제20 양상 중 어느 한 양상의 광도와 디바이스는 도파관과 함께 스택을 형성하는 제1 CLC 층 및 제2 CLC 층을 포함하고, 제1 CLC 층 및 제2 CLC 층의 키랄 구조들은 상반되는 회전 방향으로 연속적으로 회전된다.
- [0204] [0220] 제22 양상에서, 제21 양상의 광도와 디바이스에 있어서, 제1 CLC 층 및 제2 CLC 층은 도파관 상에서 스택된다.
- [0205] [0221] 제23 양상에서, 제21 양상의 광도와 디바이스에 있어서, 제1 CLC 층 및 제2 CLC 층은 도파관에 의해 개재된다.
- [0206] [0222] 제24 양상에서, 제12 양상 내지 제23 양상 중 어느 한 양상의 광도와 디바이스에 있어서, 하나 이상의 CLC 층들 각각은 1.35를 초과하는 평균 굴절률(n_{LC})을 가지며, n_{LC} 는 통상의 굴절률(n_0) 및 이상 굴절률(n_e)의 평균인 값을 갖는다.
- [0207] [0223] 제25 양상에서, 제24 양상의 광도와 디바이스에 있어서, 하나 이상의 도파관들은, 입사광이 층 깊이 방향에 대해 일정 입사각(at an incident angle)으로 하나 이상의 CLC 층 상에 입사될 때 하나 이상의 CLC 층들로부터의 브래그-반사된 광을 광학적으로 커플링하도록 구성되며, 입사각은 회절 효율이 25%보다 큰, 적어도 20° 에 걸쳐 있는 FOV(field of view) 내에 있다.
- [0208] [0224] 제26 양상에서, 제24 양상 또는 제25 양상 중 어느 한 양상의 광도와 디바이스에 있어서, 하나 이상의 CLC 층들 각각은 약 0.05 내지 0.70의 복굴절(Δn)을 갖는다. 제24 양상 내지 제26 양상 중 어느 한 양상에 있어서, 하나 이상의 CLC 층들 중 임의의 것은 $2(2 \sin \theta_{inc} - n_o + 1)$ 보다 큰 복굴절(Δn)을 가질 수 있고, 여기서 θ_{inc} 는 광도와 디바이스의 FOV(field of view)의 입사각이고, n_o 는 하나 이상의 CLC 층들의 통상의 굴절률이다.
- [0209] [0225] 제27 양상에서, 머리-장착 디스플레이 디바이스는 증강 현실 이미지 콘텐츠를 디스플레이하기 위해 사용자의 눈에 광을 프로젝팅하도록 구성된다. 머리-장착 디스플레이 디바이스는 사용자의 머리에 지지되도록 구성된 프레임을 포함한다. 머리-장착 디스플레이 디바이스는 부가적으로 프레임 상에 배치된 디스플레이를 포함하며, 디스플레이의 적어도 부분은 하나 이상의 도파관들을 포함한다. 하나 이상의 도파관들은 투명하며, 사용자가 머리-장착 디스플레이 디바이스를 착용할 때, 사용자의 눈 전방의 위치에 배치되어서, 투명한 부분은 사용자 전방의 환경의 부분으로부터의 광을 사용자의 눈으로 투과시켜 사용자 전방의 환경의 부분의 뷰(view)를 제공한다. 디스플레이는 하나 이상의 광원들, 및 광원들로부터의 광을 하나 이상의 도파관들에 커플링하거나, 또는 하나 이상의 도파관들 밖으로 광을 커플링하도록 구성된 적어도 하나의 회절 격자를 더 포함하고, 적어도 하나의 회절 격자는 제1 양상 내지 제11 양상 중 어느 한 양상에 따른 회절 격자를 포함한다.
- [0210] [0226] 제28 양상에서, 제27 양상의 머리-장착 디바이스에 있어서, 하나 이상의 광원들은 광섬유 스캐닝 프로젝터를 포함한다.
- [0211] [0227] 제29 양상에서, 제27 양상 또는 제28 양상의 머리-장착 디바이스는, 디스플레이는 복수의 깊이 평면들의 이미지 콘텐츠를 사용자에게 제시하도록 사용자의 눈에 광을 프로젝팅하도록 구성된다.
- [0212] [0228] 제30 양상에서, CLCR(wavelength-selective cholesteric liquid crystal reflector)은 복수의 키랄 구조들을 각각 포함하는 하나 이상의 CLC(cholesteric liquid crystal) 층을 포함하며, 각각의 키랄 구조는, 층 깊이 방향으로 연장되고 제1 회전 방향으로 연속적으로 회전되는 복수의 액정 분자들을 포함한다. 키랄 구조들의 액정 분자들의 어레이먼트들은 층 깊이 방향에 수직인 측방향으로 주기적으로 변동되어서, 하나 이상의 CLC 층들은 제2 파장을 갖는 제2 입사광을 실질적으로 투과시키면서, 제1 파장을 갖는 제1 입사광을 실질적으로 브래그-반사하도록 구성되게 한다.
- [0213] [0229] 제31 양상에서, 제30 양상의 파장-선택적 CLCR에 있어서, 하나 이상의 CLC 층들 각각은 층 깊이 방향에

서 볼 때, 제1 회전 방향에 매칭되는 편광의 헨디드니스를 갖는 타원형 또는 원형 편광된 제1 또는 제2 입사광을 실질적으로 브래그-반사하도록 구성되는 반면, 층 깊이 방향에서 볼 때, 제1 회전 방향에 상반되는 편광의 헨디드니스를 갖는 타원형 또는 원형 편광된 제1 또는 제2 입사광을 실질적으로 투과시키도록 구성된다.

- [0214] [0230] 제32 양상에서, 제30 양상 또는 제31 양상의 파장-선택적 CLCR에 있어서, 층방향에서 주기적으로 변동하는 액정 분자들의 어레이지먼트들은, 제1 파장과 주기 사이의 비가 약 1.1 내지 약 1.5이 되도록 층방향에서의 주기를 갖게 배열된다.
- [0215] [0231] 제33 양상에서, 제30 양상 내지 제32 양상 중 어느 한 양상의 파장-선택적 CLCR에 있어서, 제1 파장은 약 750nm 내지 약 1400nm의 근적외선 범위에 있고, 제2 파장은 가시 범위에 있다.
- [0216] [0232] 제34 양상에서, 제30 양상 내지 제32 양상 중 어느 한 양상의 파장-선택적 CLCR에 있어서, 하나 이상의 CLC 층들은 제1 입사광이 층 깊이 방향에 대해 60° 를 초과하는 각도에서 반사되도록 구성된다.
- [0217] [0233] 제35 양상에서, 제30 양상 내지 제32 양상 중 어느 한 양상의 파장-선택적 CLCR에 있어서, 키랄 구조들의 복수의 액정 분자들은 층 깊이 방향에 법선인 방향에 대해 전경사지지 않는다.
- [0218] [0234] 제36 양상에서, 사용자의 머리에 착용되도록 구성된 HMD(head mounted display)는 한 쌍의 귀 스템(stem)들을 포함하는 프레임을 포함한다. HMD는 부가적으로, 한 쌍의 광학 엘리먼트들 각각이 사용자의 눈 전방에 배치될 수 있도록 프레임에 의해 지지되는 한 쌍의 광학 엘리먼트들을 포함한다. HMD는 부가적으로 한 쌍의 귀 스템들 중 하나에 장착된 전향 이미지를 포함한다. HMD는 제30 양상 내지 제35 양상 중 어느 한 양상에 따른 CLC(cholesteric liquid crystal) 오프-축 미러를 더 포함한다. CLC(cholesteric liquid crystal) 오프-축 미러는 한 쌍의 광학 엘리먼트들 중 하나 내에 또는 그 상에 배치되고, 반사 엘리먼트에 의해 반사된 적외선을 수신하도록 구성된 전향 이미지를 향해 적외선을 반사하도록 구성된다.
- [0219] [0235] 제37 양상에서, 제36 양상의 HMD에서, CLC 오프-축 미러는 복수의 CLC 층들을 포함하고, CLC 층들 각각은, CLC 층들 중의 다른 CLC 층들과 상이한 파장을 갖는 입사광을, CLC 층들 중의 다른 CLC 층들과 상이한 브래그-반사각으로 선택적으로 브래그-반사하도록 구성되는 상이하게 배열된 키랄 구조들을 갖는다.
- [0220] [0236] 제38 양상에서, 제36 양상 또는 제37 양상의 HMD에 있어서, 액정 층들의 주기적으로 변동되는 층방향 어레이지먼트들은 주기에 의해 특징화되고, CLC 층들의 각각의 CLC 층은 CLC 층들 중의 다른 CLC 층들과 상이한 주기를 갖는다.
- [0221] [0237] 제39 양상에서, 제36 양상 내지 제38 양상 중 어느 한 양상의 HMD에 있어서, CLC 층들의 각각의 CLC 층은 적외선 스펙트럼의 파장을 갖는 입사광을 선택적으로 브래그-반사하는 반면, 가시 스펙트럼의 파장을 갖는 입사광을 투과시키도록 구성된다.
- [0222] [0238] 제40 양상에서, 제36 양상 또는 제39 양상 중 어느 한 양상의 HMD에 있어서, 한 쌍의 광학 엘리먼트들 각각은 가시광에 대해 투명하다.
- [0223] [0239] 제41 양상에서, 제36 양상 내지 제40 양상 중 어느 한 양상의 HMD에 있어서, 한 쌍의 광학 엘리먼트들 각각은 이미지를 사용자에게 디스플레이하도록 구성된다.
- [0224] [0240] 제42 양상에서, 광도와 디바이스는 복수의 키랄 구조들을 각각 포함하는 하나 이상의 CLC(cholesteric liquid crystal) 층들을 포함하고, 각각의 키랄 구조는, 층 깊이 방향으로 연장되고 제1 회전 방향으로 연속적으로 회전되는 복수의 액정 분자들을 포함하고, 키랄 구조들의 액정 분자들의 어레이지먼트들은 층 깊이 방향에 수직인 층방향으로 주기적으로 변동되어서, 하나 이상의 CLC 층들이 입사광을 브래그-반사(Bragg-reflect)하도록 구성되게 한다. 광도와 디바이스는 부가적으로, 하나 이상의 CLC 층들 위에 형성되고, 하나 이상의 CLC 층들로부터의 브래그-반사된 광을 광학적으로 커플링하여서, 브래그-반사된 광이 TIR(total internal reflection)에 의해 층 깊이 방향에 수직인 층방향으로 이동하게 하도록 구성되는 하나 이상의 도파관들을 포함한다. 광도와 디바이스는 회절 효율이 25%보다 큰, 20° 를 초과하는 FOV(field of view)를 갖도록 구성된다.
- [0225] [0241] 제43 양상에서, 제42 양상의 광도와 디바이스에 있어서, 하나 이상의 CLC 층들 각각은 1.35를 초과하는 평균 굴절률(nLC)을 가지며, nLC는 통상의 굴절률(no) 및 색다른 굴절률(ne)의 평균인 값을 갖는다.
- [0226] [0242] 제44 양상에서, 제42 양상 또는 제43 양상의 광도와 디바이스에 있어서, 하나 이상의 CLC 층들 각각은 약 0.05 내지 0.70의 복굴절(Δn)을 갖는다.
- [0227] [0243] 제45 양상에서, 디스플레이 디바이스는 도파관, 및 도파관 상에 형성되고 도파관의 제1 측 내로, 거기

에 입사되는 광을 인커플링하도록 구성된 인커플링 광학 엘리먼트를 포함하고, 인커플링 광학 엘리먼트 및 도파관은, 도파관 내로 인커플링된 광이 TIR(total internal reflection)에 의해 도파관의 면내 방향(in-plane direction)으로 도파관에서 전파되도록 구성된다. 디스플레이 디바이스는 부가적으로, 도파관 상에 형성되고 도파관으로부터 거기에 입사되는 광을 아웃커플링하도록 구성되는 아웃커플링 광학 엘리먼트를 포함한다. 광 아웃-커플링 엘리먼트는 복수의 키랄 구조들을 포함하는 CLC(cholesteric liquid crystal) 층을 포함하고, 키랄 구조들 각각은 CLC 층의 층 깊이 방향으로 연장되고 제1 회전 방향으로 연속적으로 회전되는 복수의 액정 분자들을 포함하고, 키랄 구조들의 액정 분자들의 어레이먼트들은 층 깊이 방향에 수직인 측방향으로 주기적으로 변동되어서, 하나 이상의 CLC 층들이 거기에 입사되는 광을 도파관으로부터 제1 측을 향해 브래그-반사하도록 구성되게 한다.

[0228] [0244] 제46 양상에서, 제45 양상의 디스플레이 디바이스에 있어서, 아웃커플링 광학 엘리먼트 및 인커플링 광학 엘리먼트는 도파관의 대향하는 측들 상에 형성된다.

[0229] [0245] 제47 양상에서, 제45 양상의 디스플레이 디바이스에 있어서, 광 아웃커플링 광학 엘리먼트는 우향 원형 편광 또는 좌향 원형 편광 중 하나를 갖는 광을 선택적으로 브래그-반사하도록 구성된다.

[0230] [0246] 제48 양상에서, 제45 양상의 디스플레이 디바이스에 있어서, 광 아웃커플링 광학 엘리먼트는 제1 회전 방향과 동일한 방향인 편광 방향을 갖는 광을 선택적으로 브래그-반사하도록 구성된다.

[0231] [0247] 제49 양상에서, 제45 양상의 디스플레이 디바이스에 있어서, 광 인커플링 광학 엘리먼트는 액정 층을 포함한다.

[0232] [0248] 제50 양상에서, 제49 양상의 디스플레이 디바이스에 있어서, 액정 층은 복수의 키랄 구조들을 포함하는 제2 CLC 층을 포함하고, 키랄 구조들 각각은, 제2 CLC 층의 층 깊이 방향으로 연장되고 제1 회전 방향에서 연속적으로 회전되는 복수의 액정 분자들을 포함하고, 키랄 구조들의 액정 분자들의 어레이먼트들은 측방향으로 주기적으로 변동된다.

[0233] 부가적인 고려사항들

[0234] [0249] 위에서 설명된 실시예들에서, 증강 현실 디스플레이 시스템들, 보다 구체적으로, 공간적으로 변동되는 회절 격자들이 특정 실시예들과 관련하여 설명된다. 그러나, 실시예들의 원리들 및 이점들은 공간적으로 변동되는 회절 격자에 대한 필요성을 갖는 임의의 다른 시스템들, 장치 또는 방법들에 사용될 수 있다는 것이 이해될 것이다. 위에서, 실시예들 중 임의의 하나의 임의의 특징은 실시예들 중 임의의 다른 하나의 임의의 다른 특징과 결합되고 그리고/또는 대체될 수 있다는 것이 인지될 것이다.

[0235] [0250] 맥락이 달리 명확하게 요구하지 않는 한, 상세한 설명 및 청구항들 전반에 걸쳐, "포함하다(comprise, include)" 및 "포함하는(comprising, including)" 등의 단어들은 배타적인 또는 철저한 의미와 대조적으로, 포괄적인 의미로 해석되는데; 즉 "포함(그러나 이에 제한되지 않음)하는"의 의미로 해석된다. 본원에서 일반적으로 사용된 바와 같은 "커플링(coupled)"이라는 단어는 직접 연결되거나 하나 이상의 중간 엘리먼트들에 의해 연결될 수 있는 둘 이상의 엘리먼트들을 지칭한다. 마찬가지로, 본원에서 일반적으로 사용된 바와 같은 "연결(connection)"이라는 단어는 직접 연결되거나 하나 이상의 중간 엘리먼트들에 의해 연결될 수 있는 둘 이상의 엘리먼트들을 지칭한다. 부가적으로, "본원에서", "위에서", "아래에서", "아래의", "위의" 단어들과 이와 유사한 의미의 단어들은, 본 출원에서 사용될 때, 본 출원의 임의의 특정 부분들이 아니라, 전체로서 본 출원을 지칭해야 한다. 맥락이 허용하는 경우, 단수 또는 복수를 사용한 위의 상세한 설명에서의 단어들은 또한 복수 또는 단수를 각각 포함할 수 있다. 둘 이상의 아이템들의 리스트에 관하여 "또는"이라는 단어는 다음의 단어 해석들, 즉 리스트 내의 아이템들 중 임의의 것, 리스트 내의 모든 아이템들, 리스트 내의 아이템들 중 하나 이상의 아이템들의 임의의 조합 모두를 커버한다. 또한, 본 명세서 및 첨부된 청구항들에서 사용된 바와 같은 단수 표현은 달리 특정되지 않는 한 "하나 이상" 또는 "적어도 하나"를 의미하는 것으로 해석될 것이다.

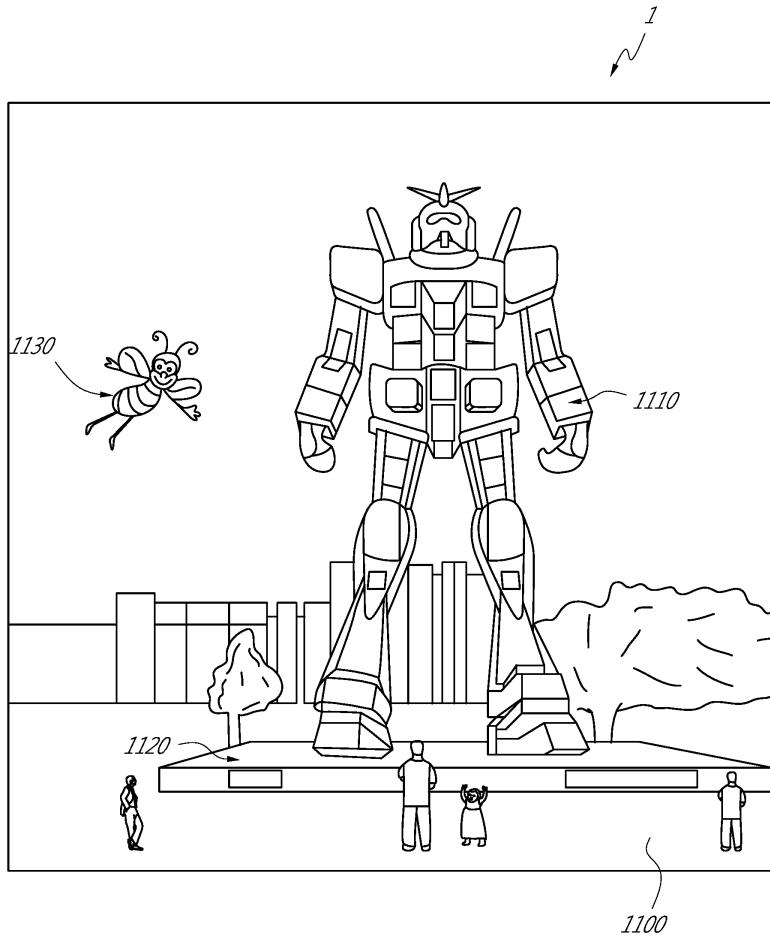
[0236] [0251] 본원에서 사용된 바와 같이, 리스트의 아이템들 “중 적어도 하나”를 지칭하는 어구는 단일 멤버들을 포함하여 그 아이템들의 임의의 조합을 지칭한다. 예로서, "A, B 또는 C 중 적어도 하나"는 A; B; C; A와 B; A와 C; B와 C; 그리고 A와 B와 C를 커버하는 것으로 의도된다. 특정하게 다르게 언급되지 않으면, 어구 "X, Y 또는 Z 중 적어도 하나"와 같은 접속어는, 아이템, 용어 등이 X, Y 또는 Z 중 적어도 하나일 수 있다는 것을 전달하기 위해 일반적으로 사용되는 맥락으로 달리 이해된다. 따라서, 이러한 접속어는 일반적으로, 소정의 실시예들이 X 중 적어도 하나, Y 중 적어도 하나 및 Z 중 적어도 하나가 각각 존재할 것을 요구하는 것을 암시하는 것으로 의도되지 않는다.

[0237] [0252] 더욱이, 구체적으로 달리 언급되지 않거나 또는 사용된 맥락 내에서 달리 이해되지 않으면, 본원에서 사용된 조건어, 이를테면, 다른 것들 중에서도, "할 수 있다(can, could, might, may)", "예컨대", "예컨대", "이를테면" 등은 일반적으로, 소정의 실시예들이 소정의 특징들, 엘리먼트들, 및/또는 상태들을 포함하지만 다른 실시예들은 이들을 포함하지 않는다는 것을 전달하도록 의도된다. 따라서, 그러한 조건어는 일반적으로, 특징들, 엘리먼트들, 및/또는 상태들이 하나 이상의 실시예들을 위해 어떤 식으로든 요구된다는 것, 또는 이들 특징들, 엘리먼트들, 및/또는 상태들이 임의의 특정 실시예에 포함되는지 또는 임의의 특정 실시예들에서 수행될 지를 암시하는 것으로 의도되진 않는다.

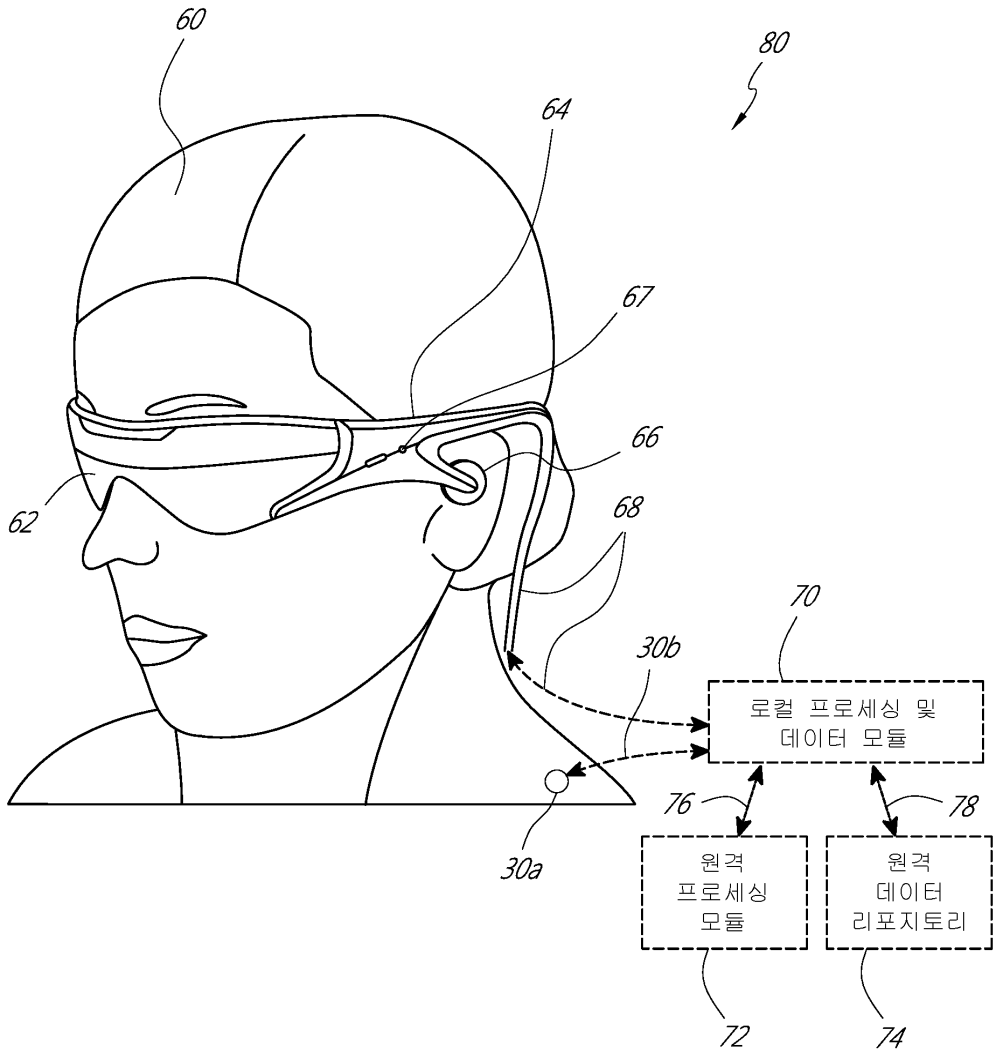
[0238] [0253] 소정의 실시예들이 설명되었지만, 이들 실시예들은 단지 예로서만 제시되며, 본 개시내용의 범위를 제한하려는 것은 아니다. 실제로, 본원에서 설명된 신규한 장치, 방법들 및 시스템들은 다양한 다른 형태들로 구현될 수 있으며; 또한, 본원에서 설명된 방법들 및 시스템들의 형태에서 다양한 생각들, 대체들 및 변경들이 본 개시내용의 사상을 벗어나지 않고 이루어질 수 있다. 예컨대, 블록들이 주어진 어레이먼트로 제시되지만, 대안적인 실시예들은 상이한 컴포넌트들 및/또는 회로 토폴로지들로 유사한 기능성들을 수행할 수 있고, 일부 블록들은 삭제, 이동, 부가, 세분, 결합 및/또는 수정될 수 있다. 이들 블록들 각각은 다양한 상이한 방식들로 구현될 수 있다. 위에서 설명된 다양한 실시예들의 엘리먼트들 및 동작들의 임의의 적합한 조합이 추가의 실시예들을 제공하도록 결합될 수 있다. 위에서 설명된 다양한 특징들 및 프로세스들은 서로 독립적으로 구현될 수 있거나, 또는 다양한 방식들로 결합될 수 있다. 엘리먼트 또는 엘리먼트들의 조합이 모든 실시예들에 대해 필수적이거나 불가결한 것은 아니다. 본 개시내용의 특징들의 모든 적합한 조합들 및 서브조합들은 본 개시내용의 범위 내에 속하는 것으로 의도된다.

도면

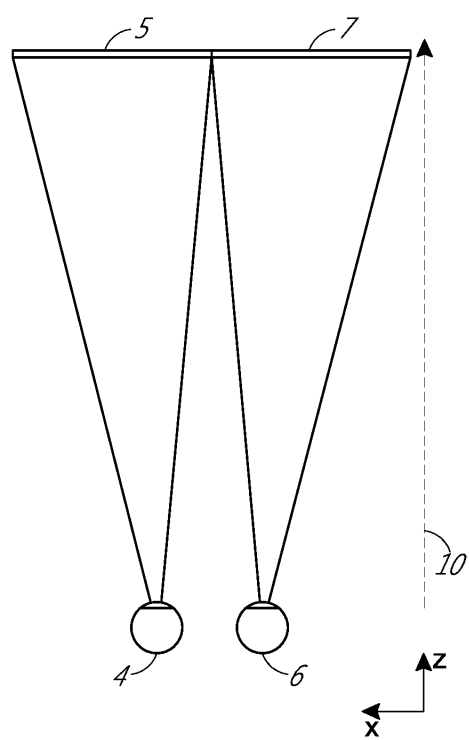
도면1



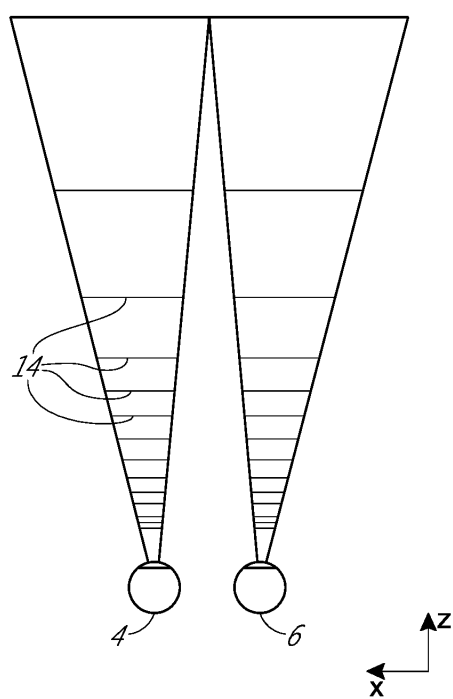
도면2



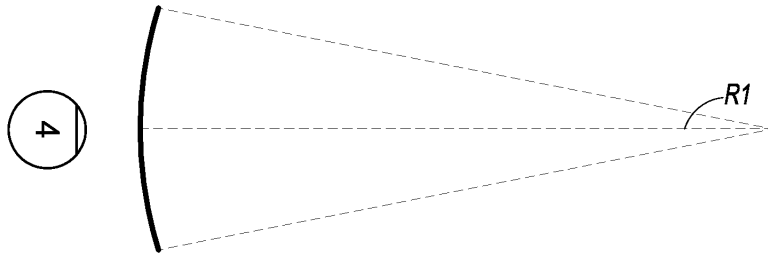
도면3



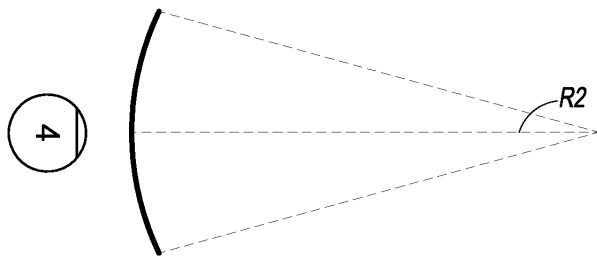
도면4



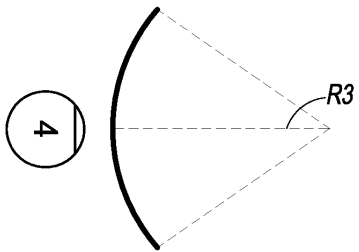
도면5a



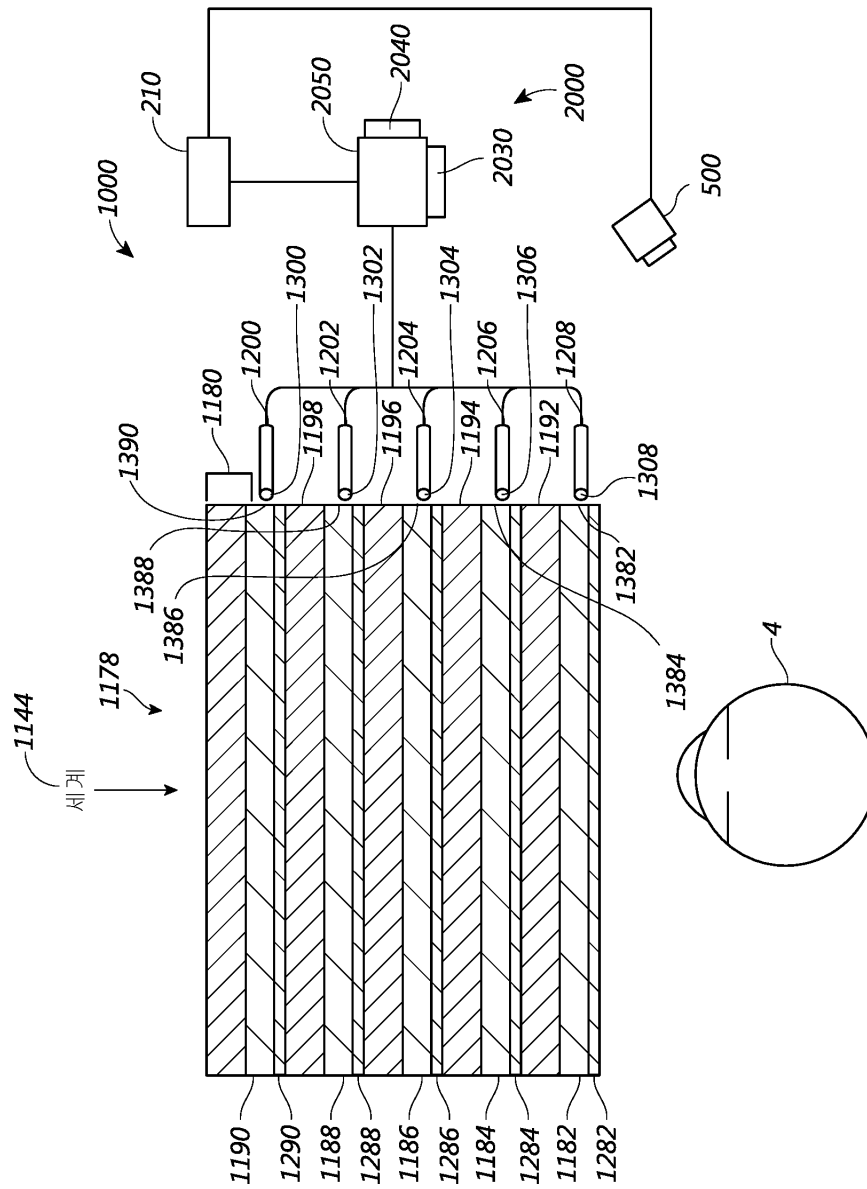
도면5b



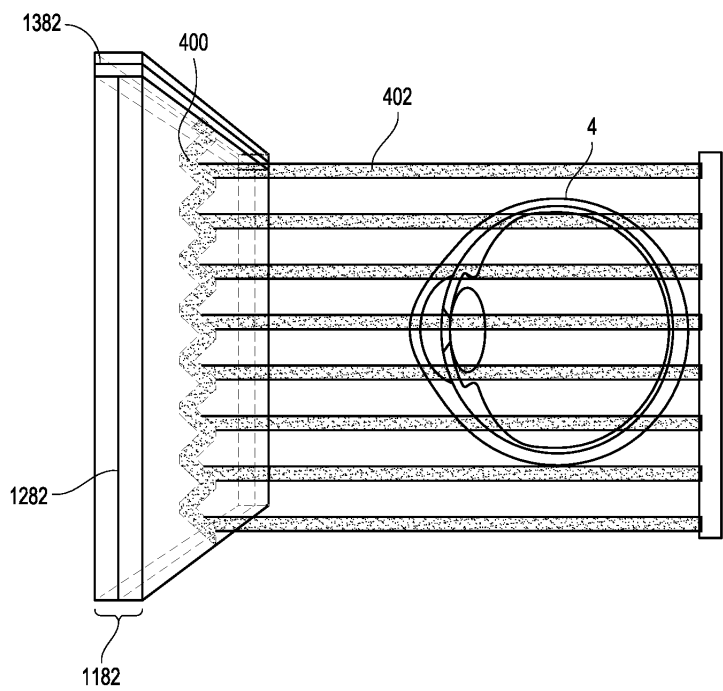
도면5c



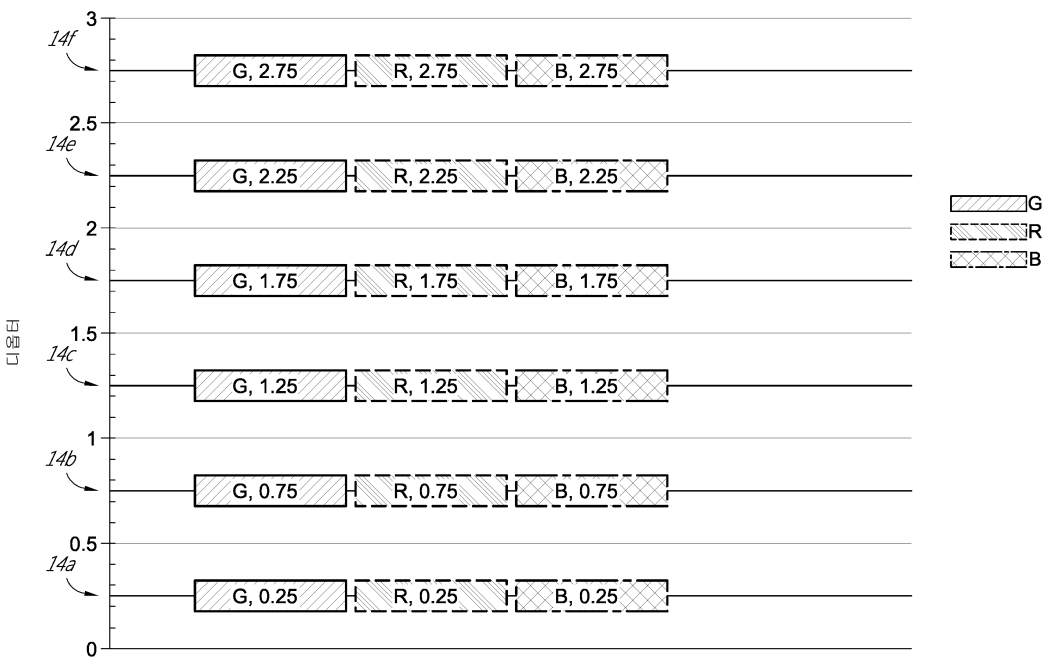
도면6



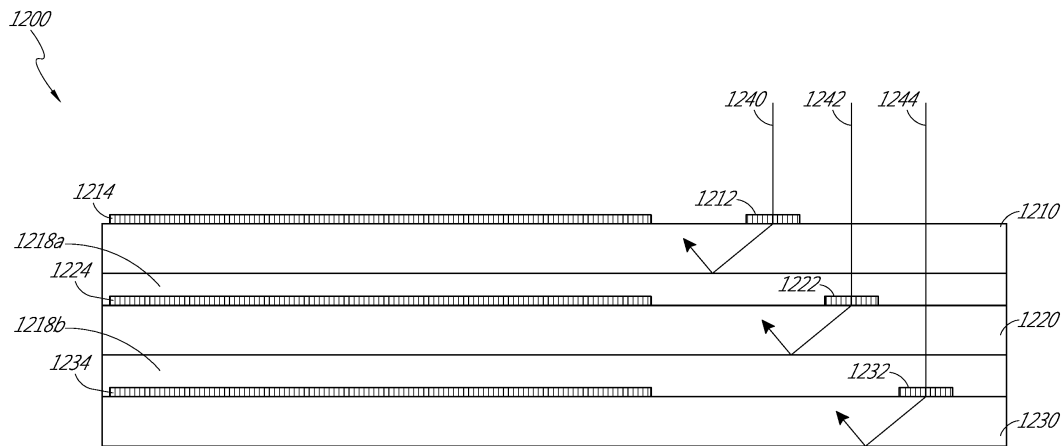
도면7



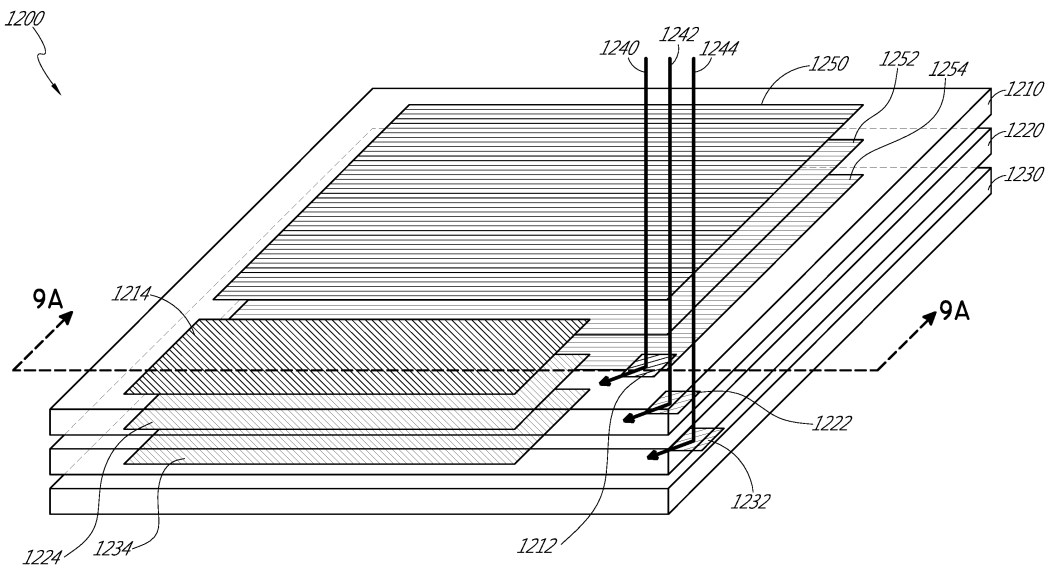
도면8



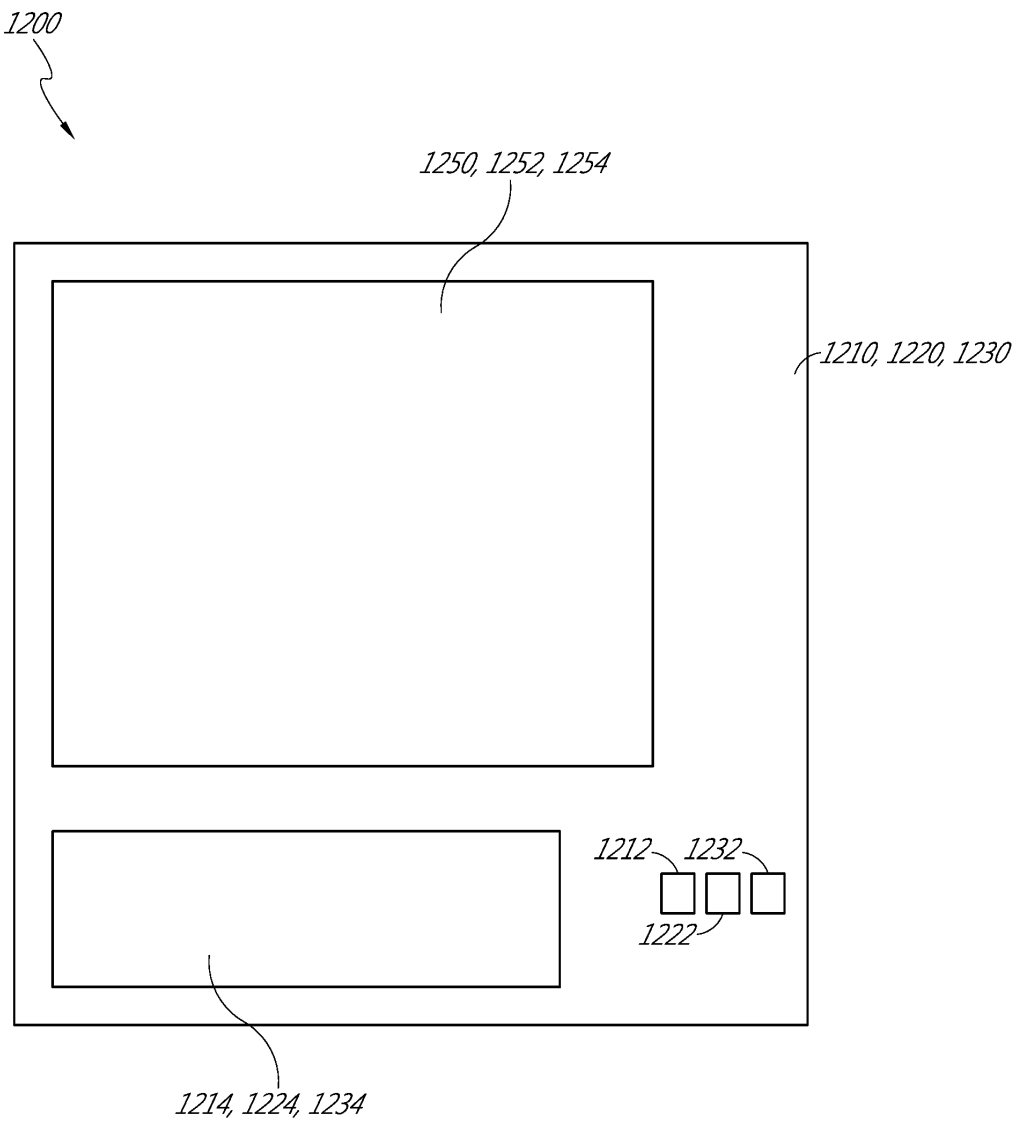
도면9a



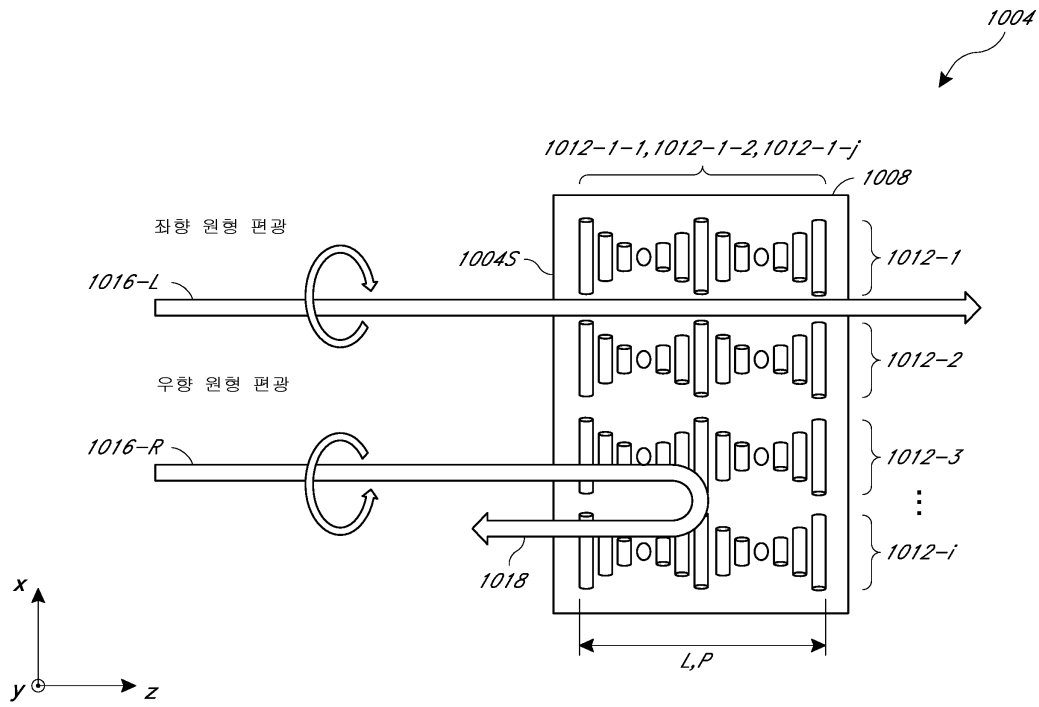
도면9b



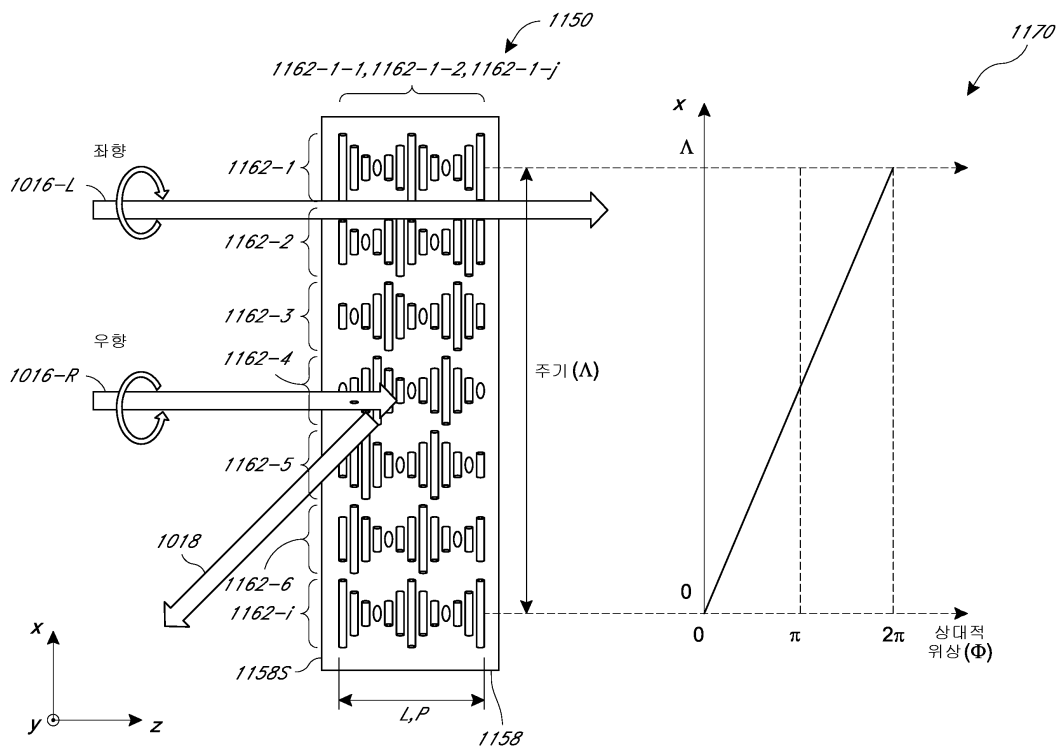
도면9c



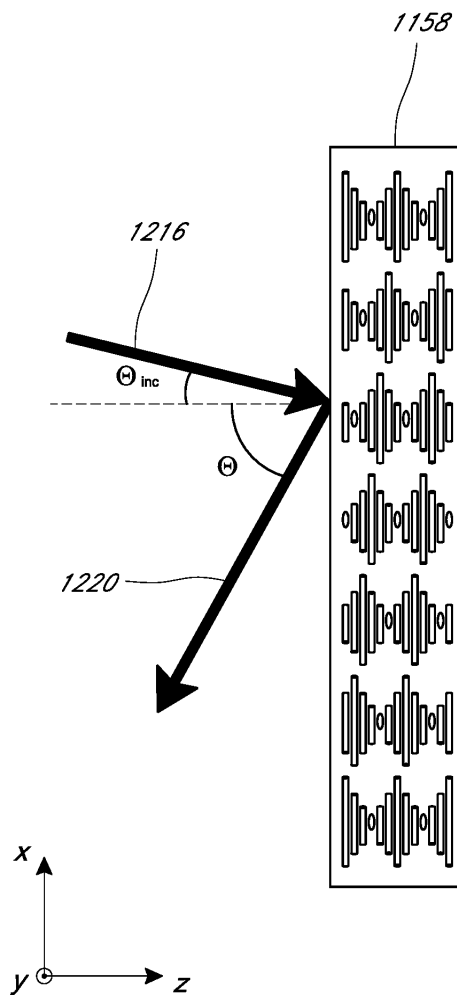
도면10



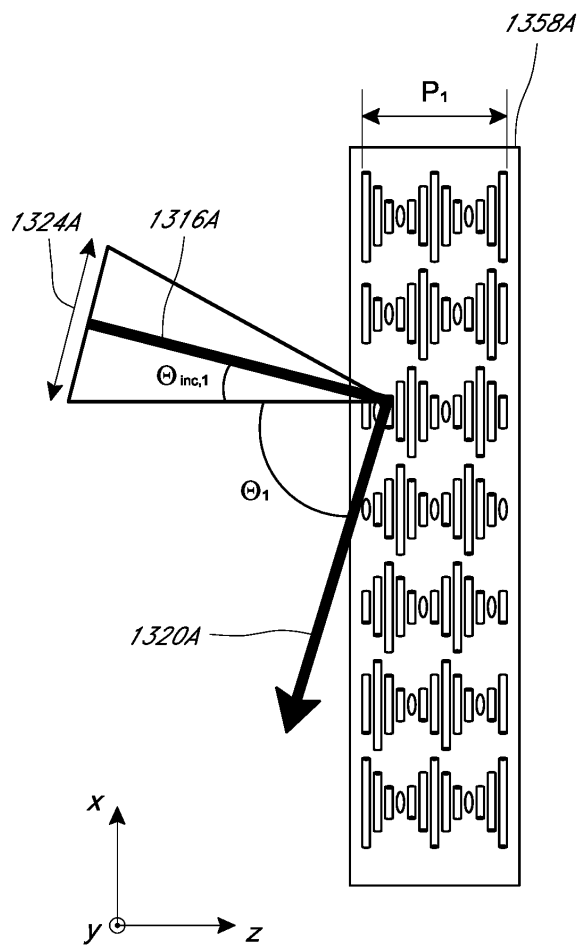
도면11



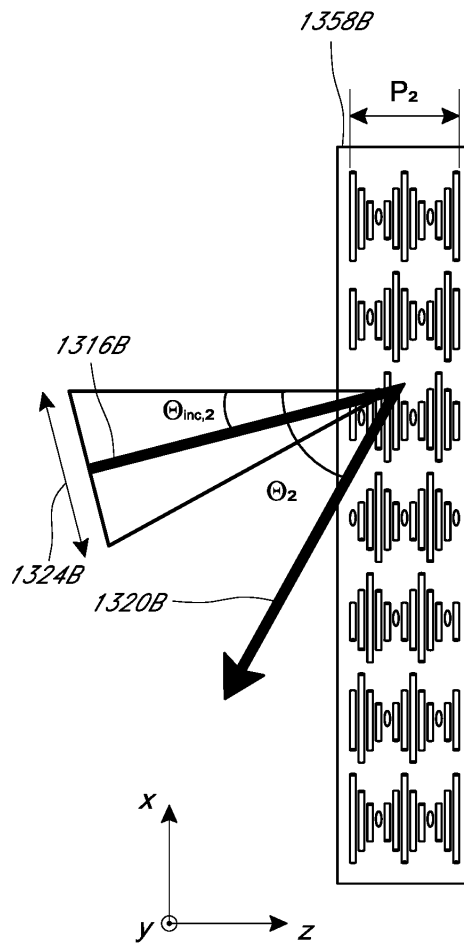
도면12



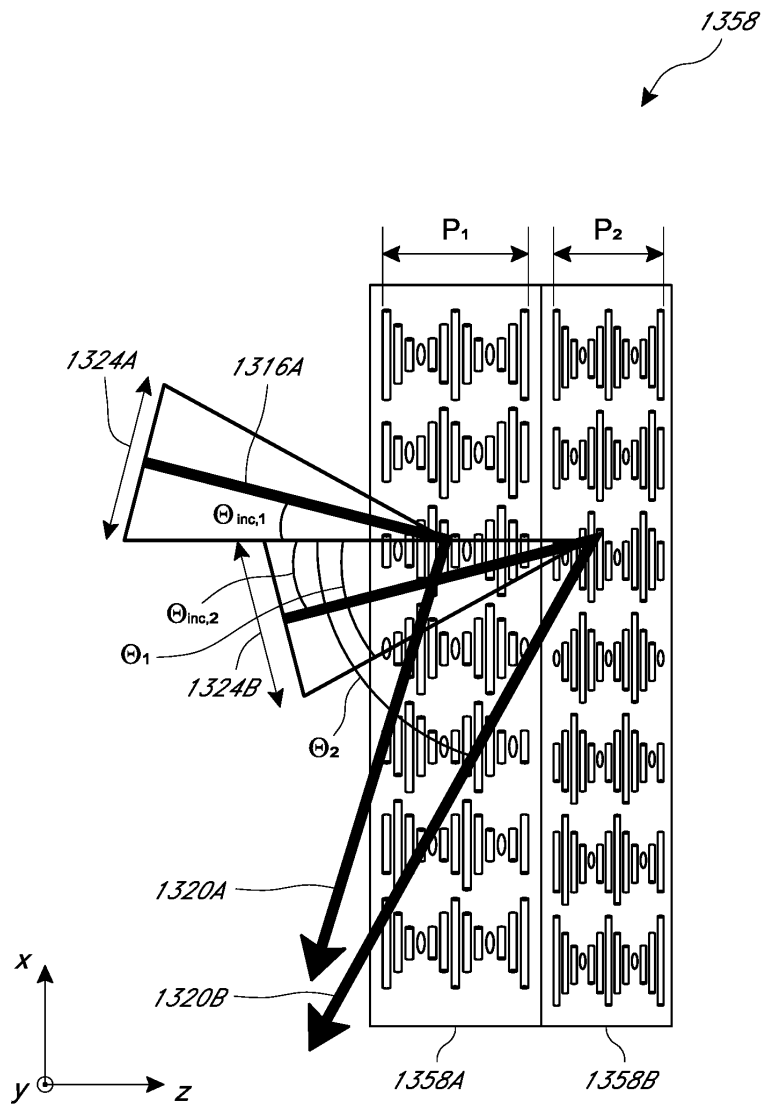
도면13a



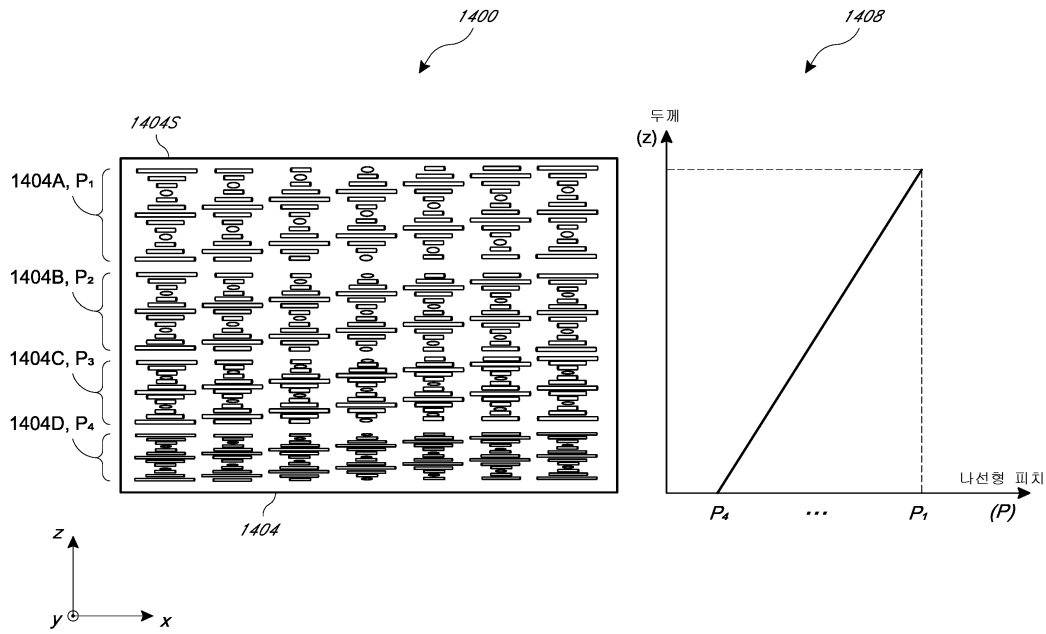
도면13b



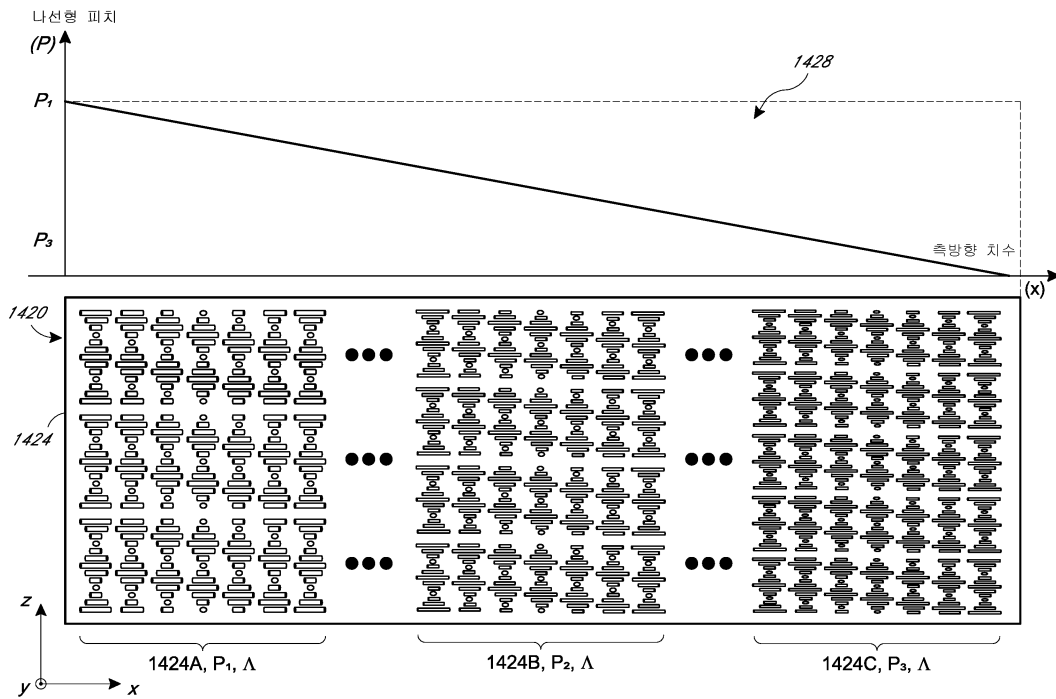
도면13c



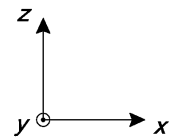
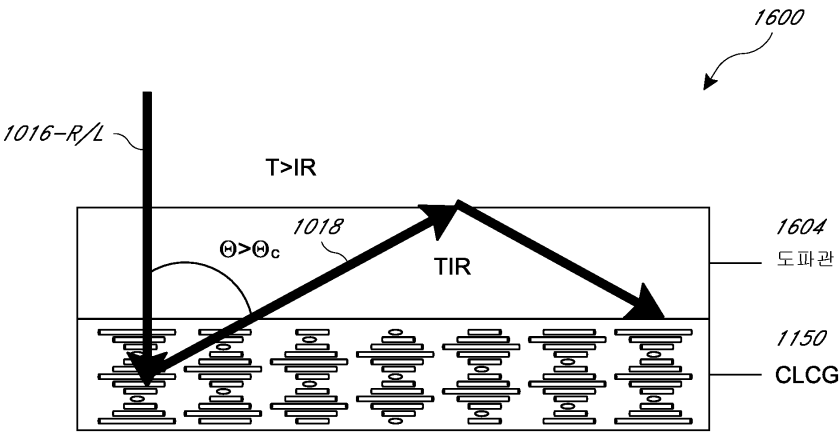
도면14



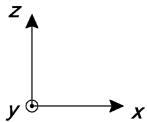
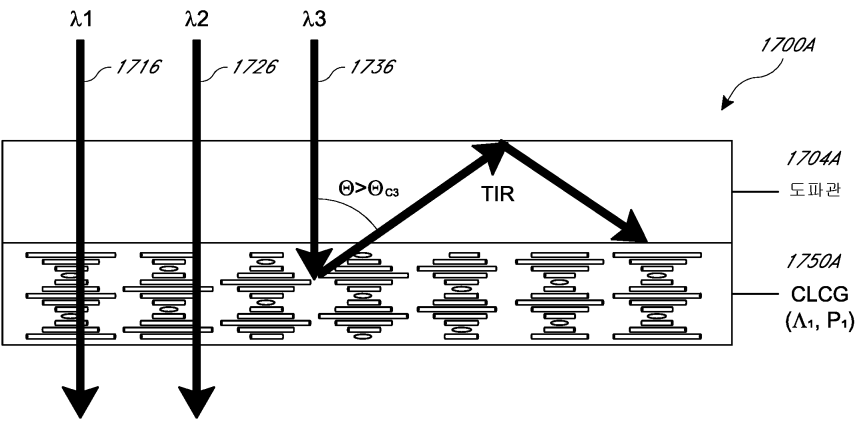
도면15



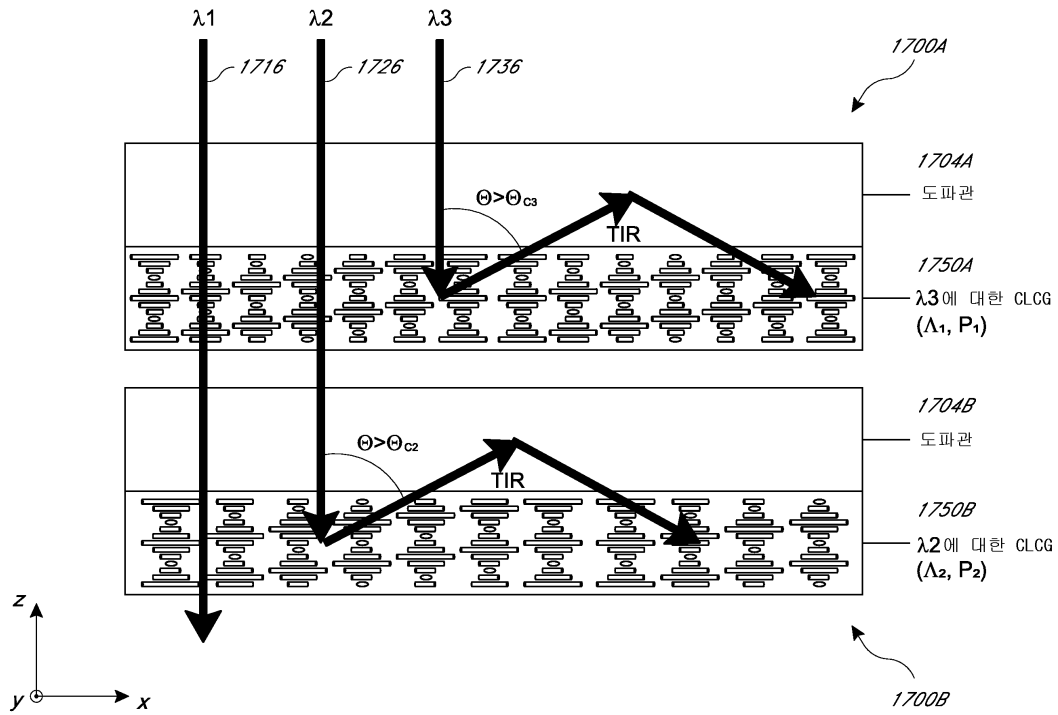
도면16



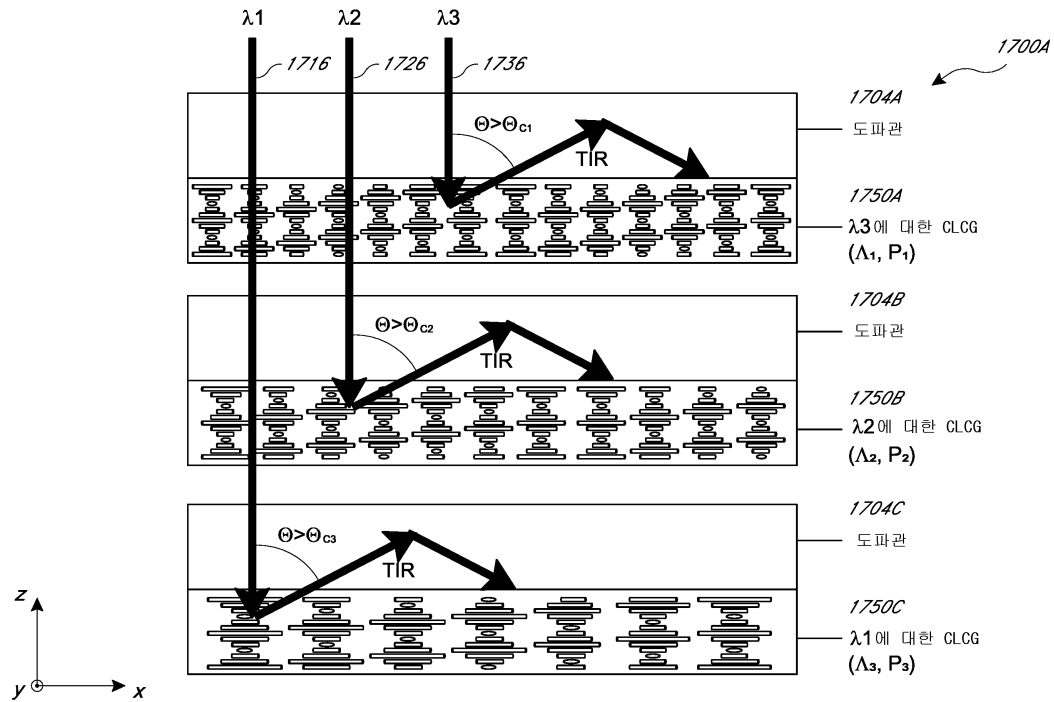
도면17a



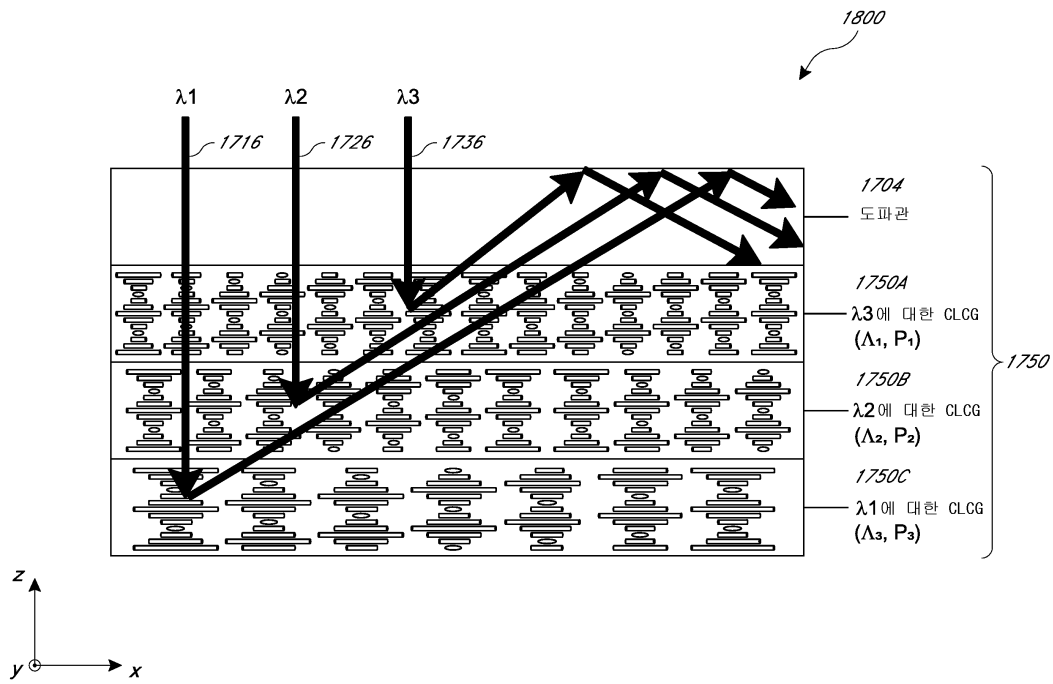
도면17b



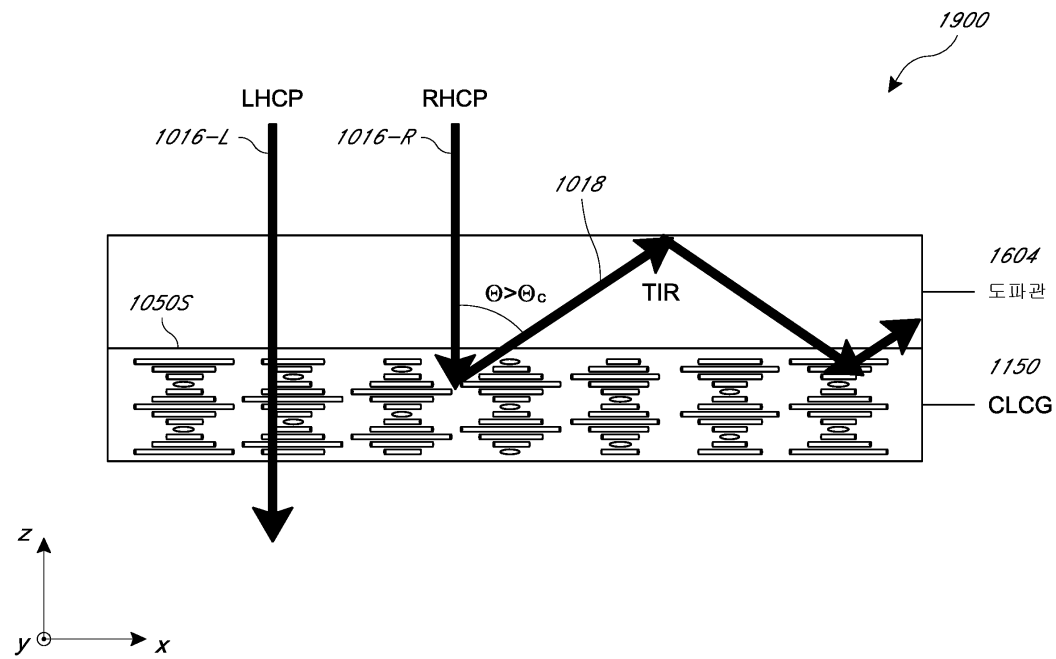
도면17c



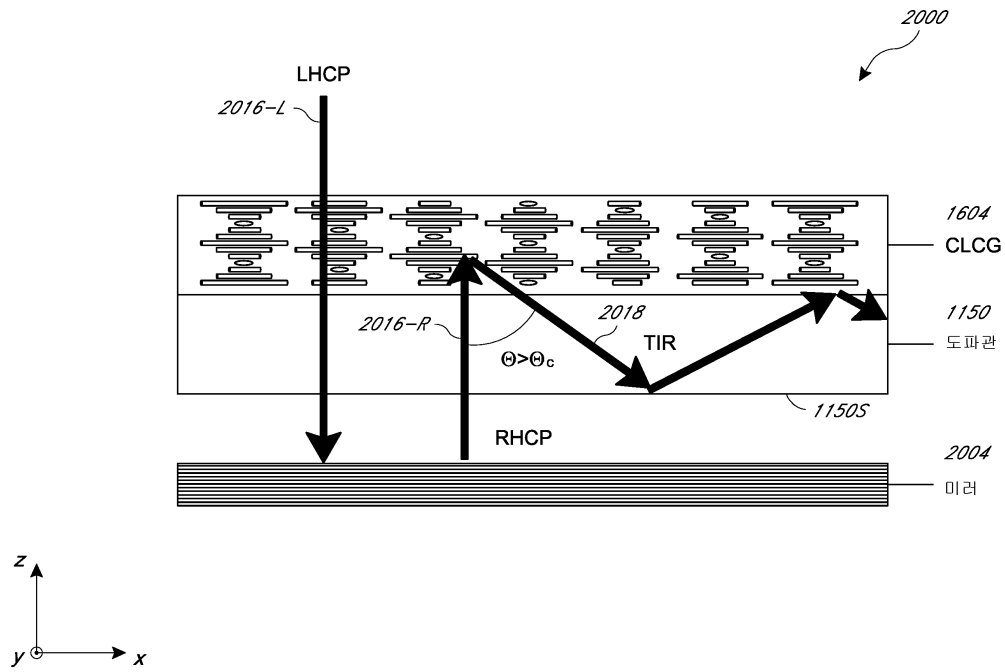
도면18



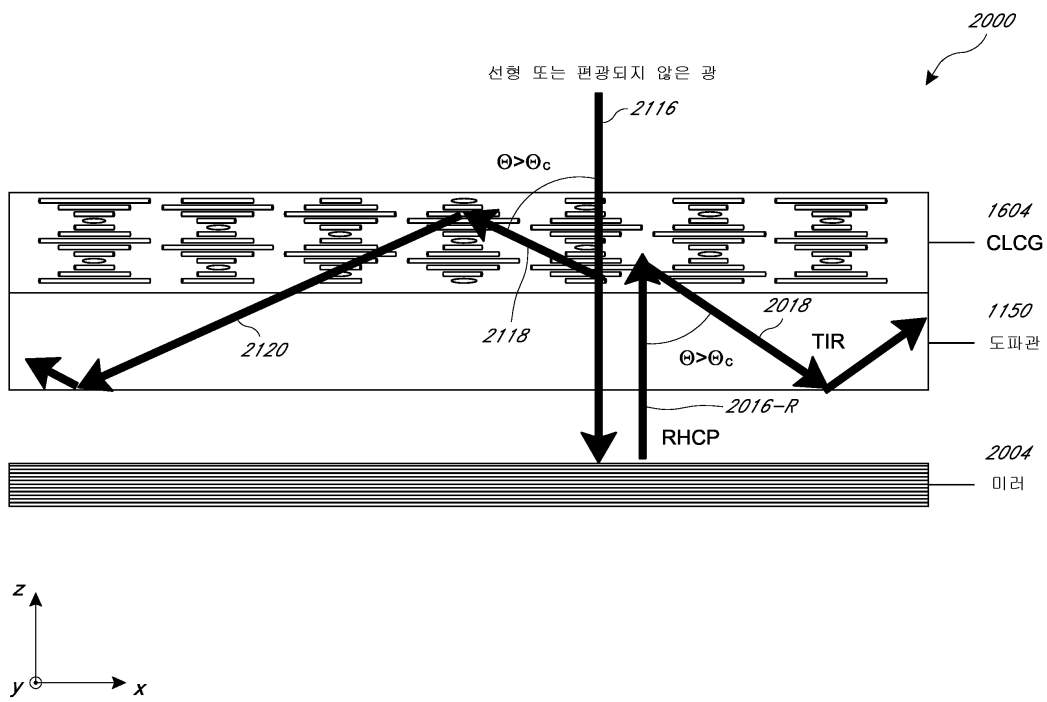
도면19



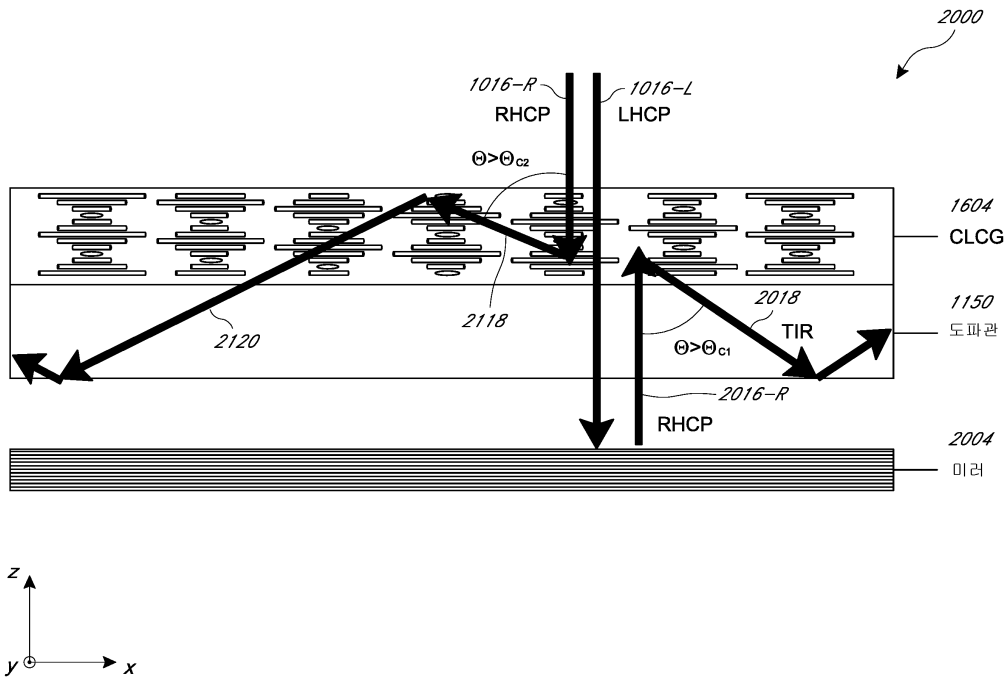
도면20



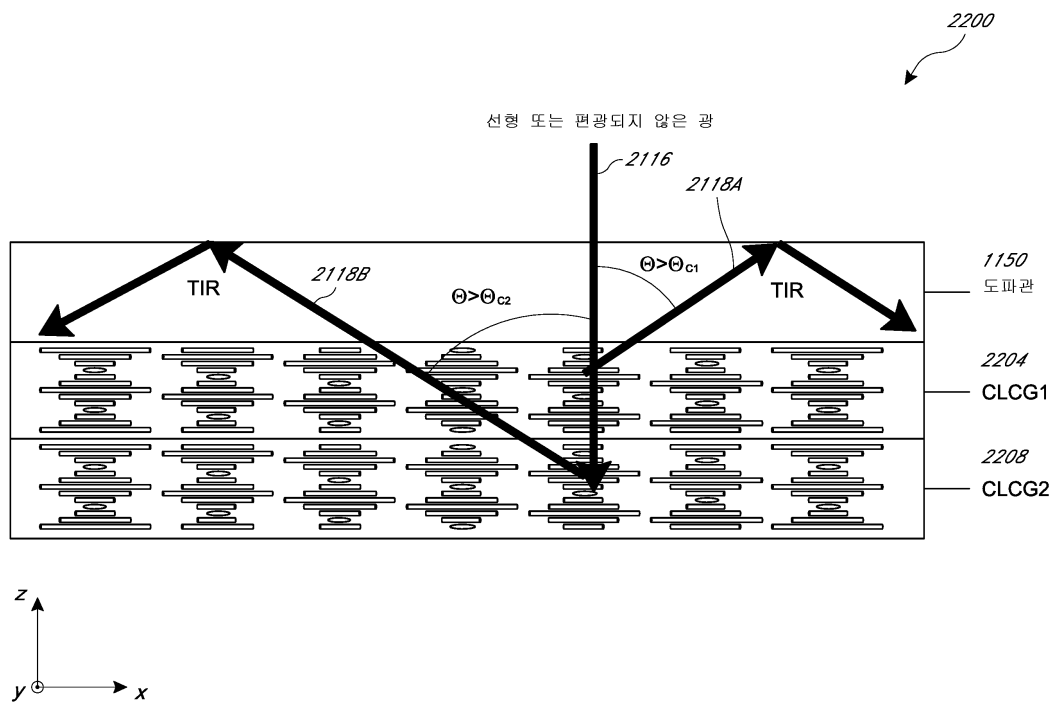
도면21a



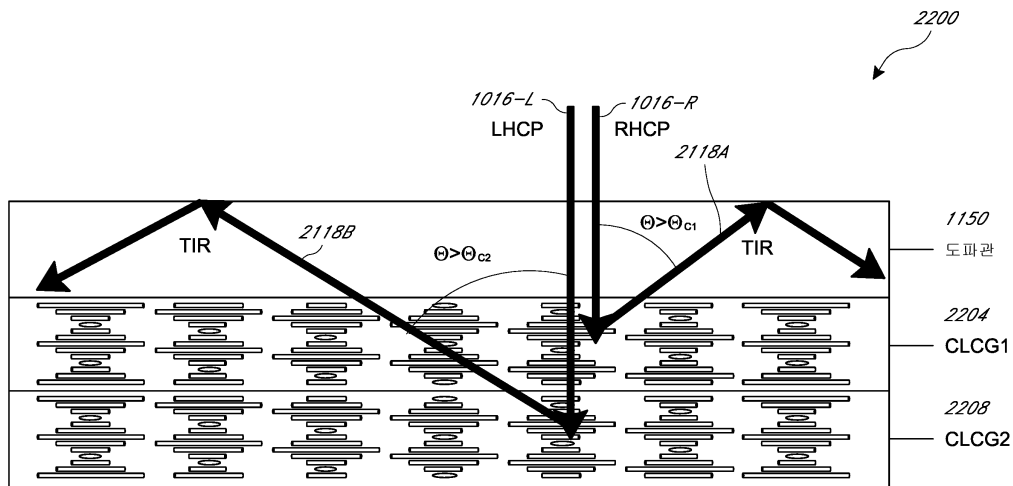
도면21b



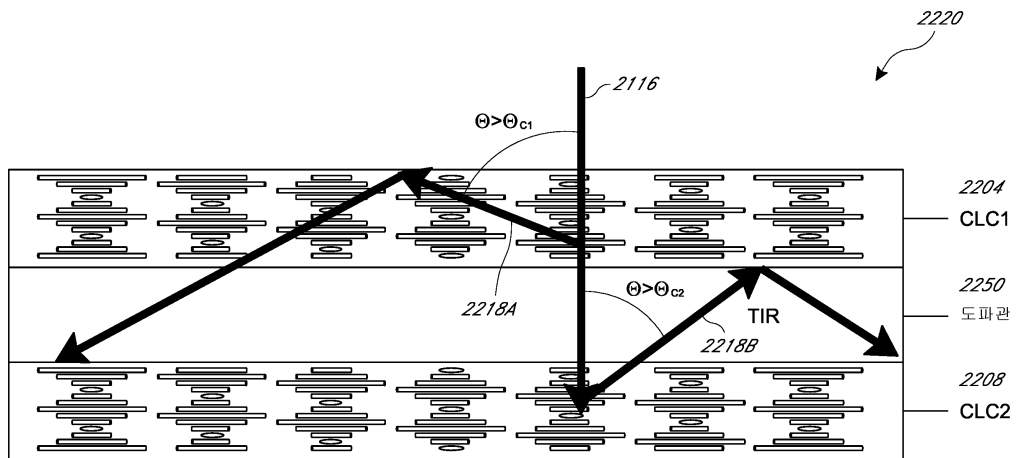
도면22a



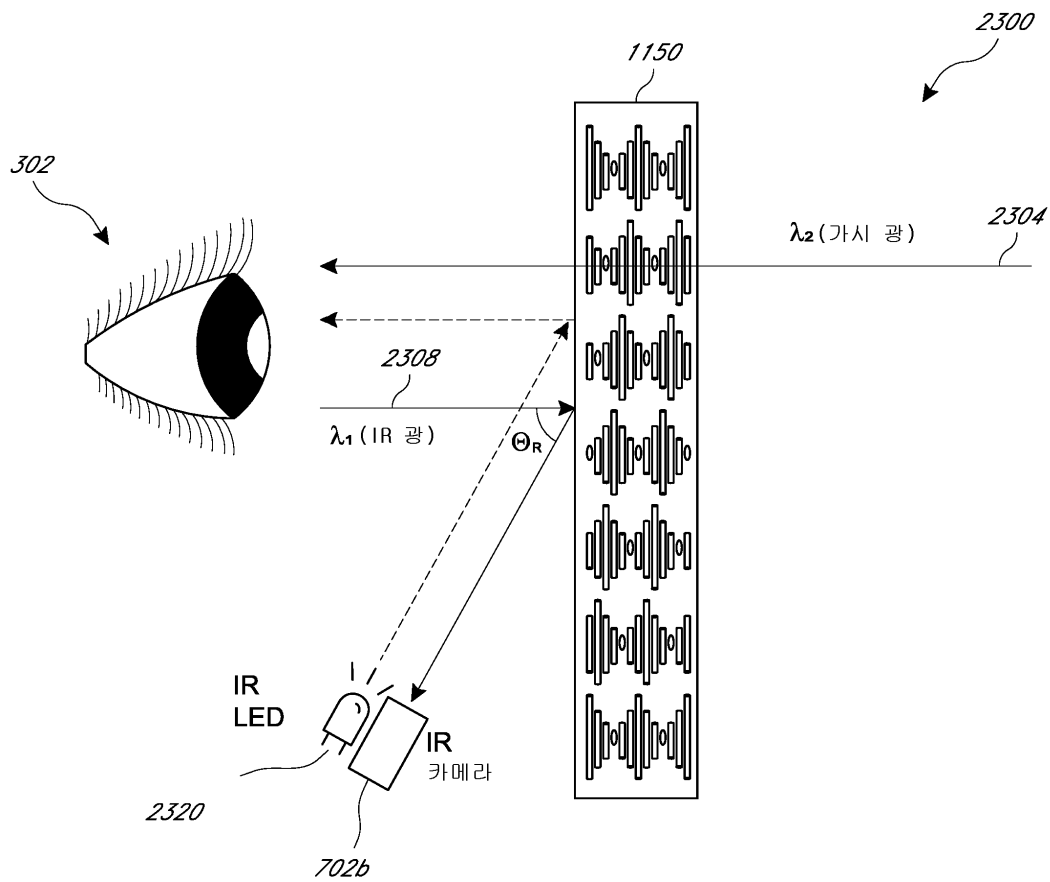
도면22b



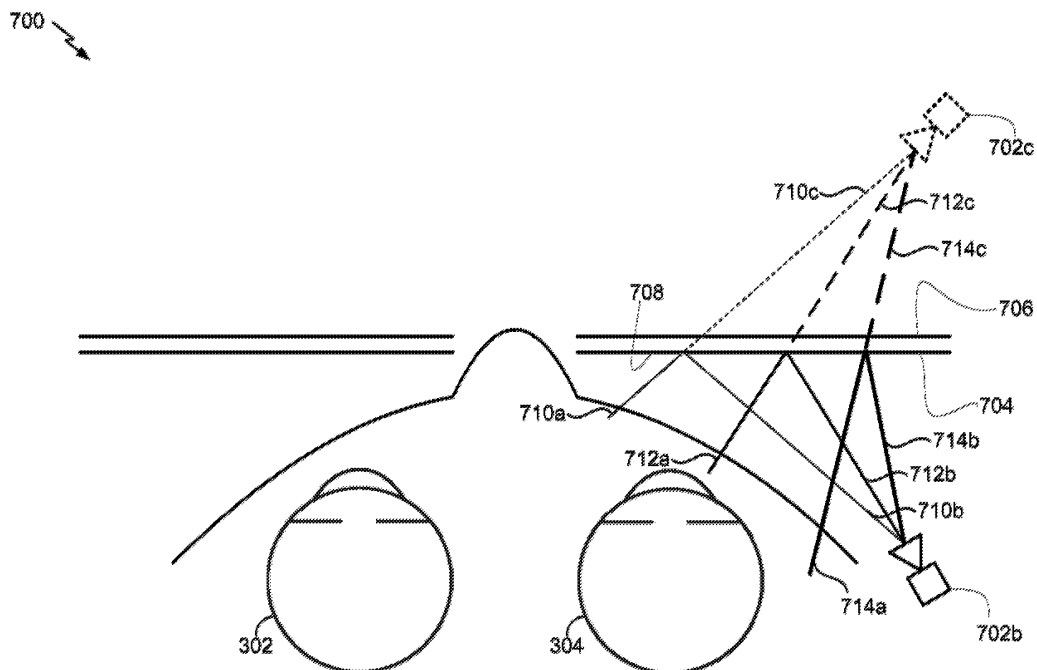
도면22c



도면23

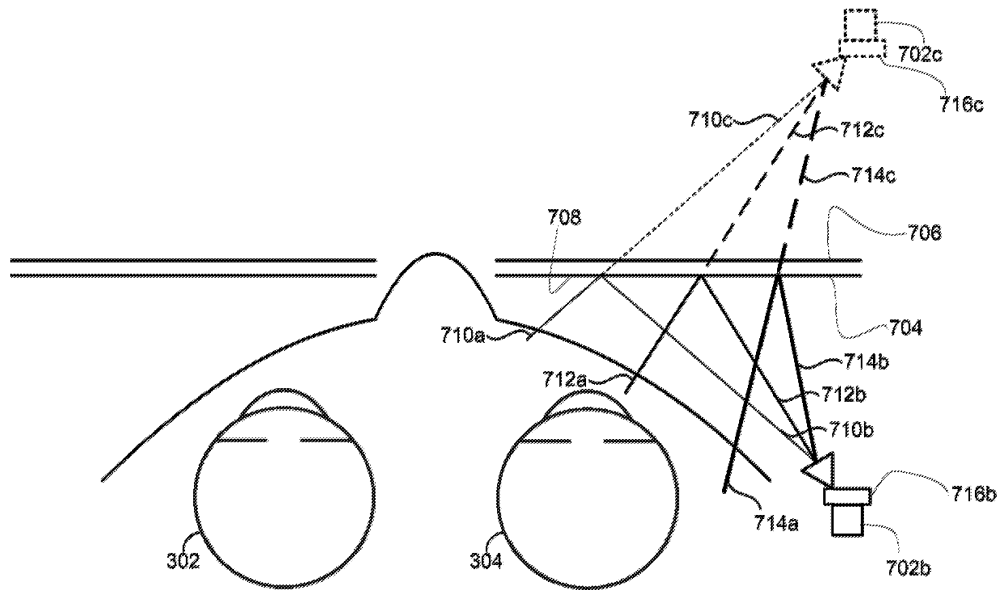


도면24a



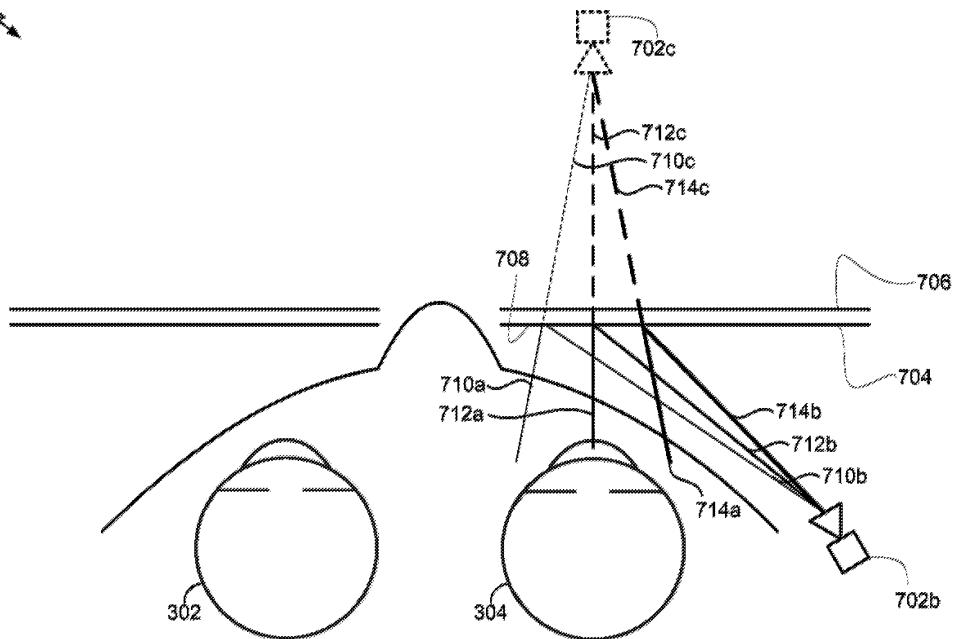
도면24b

700 ↗



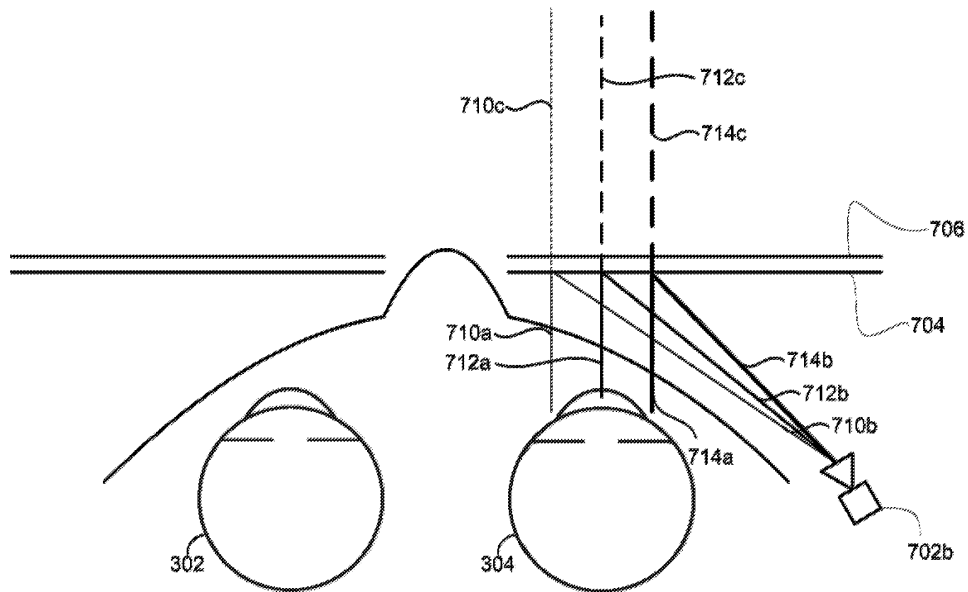
도면24c

700 ↗



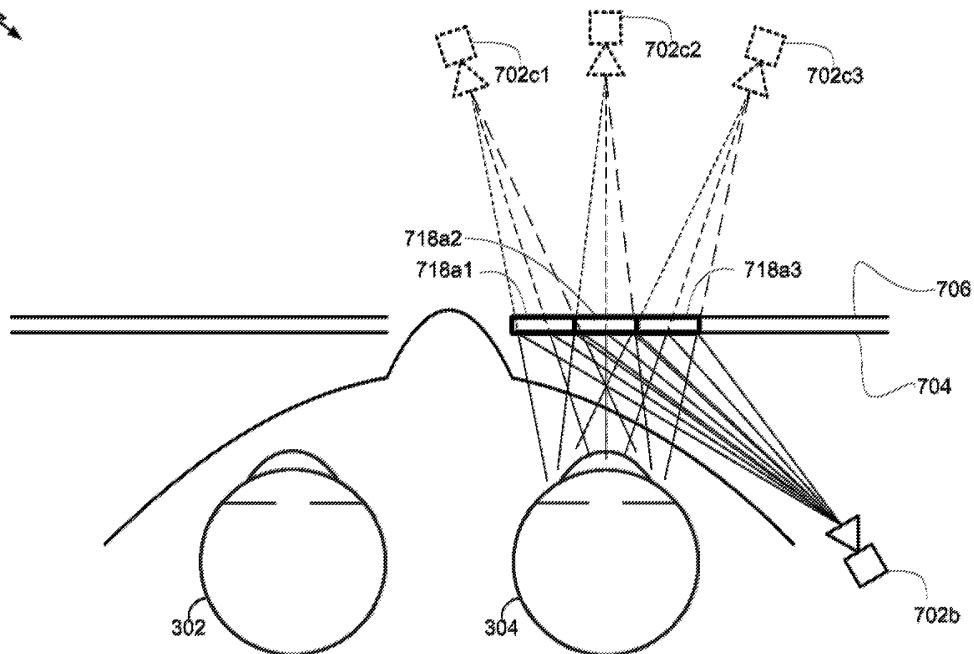
도면24d

700 ↘



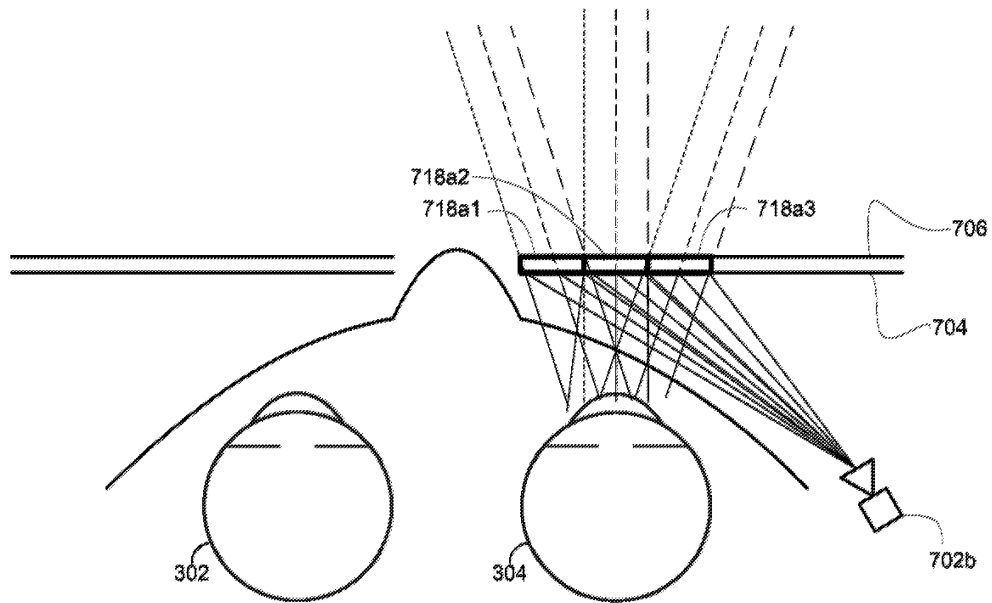
도면24e

700 ↘



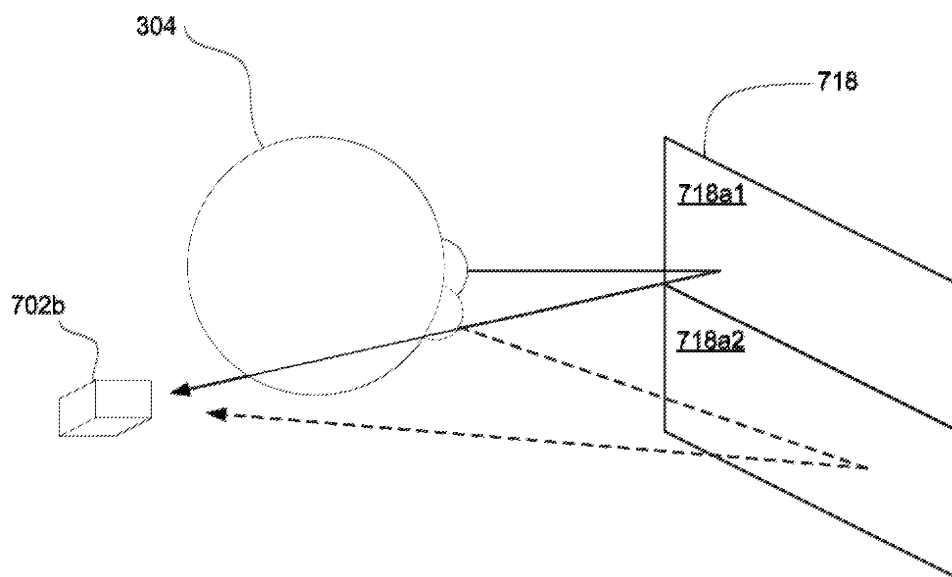
도면24f

700 ↘

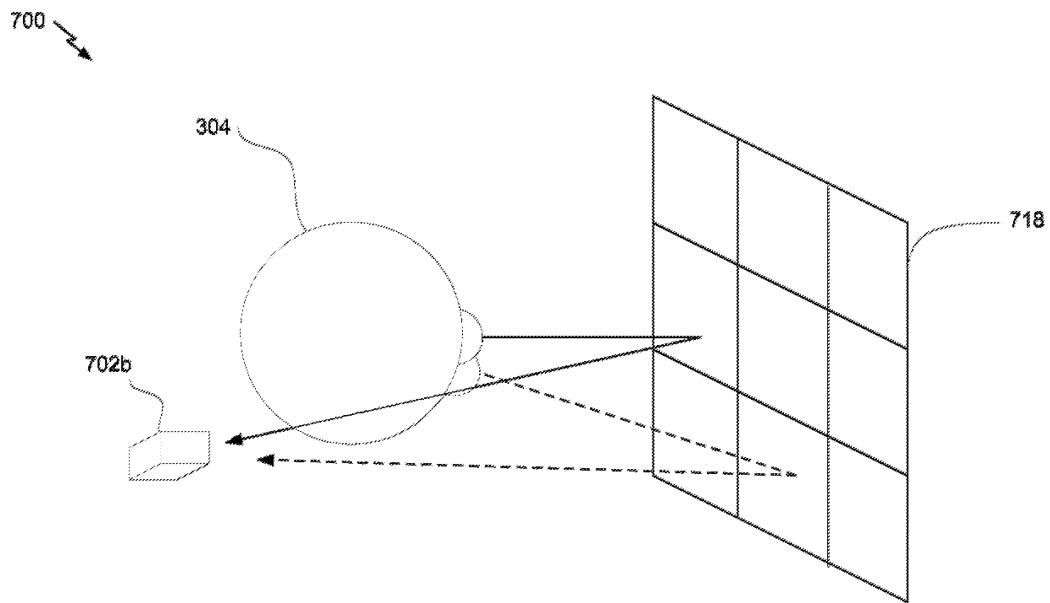


도면24g

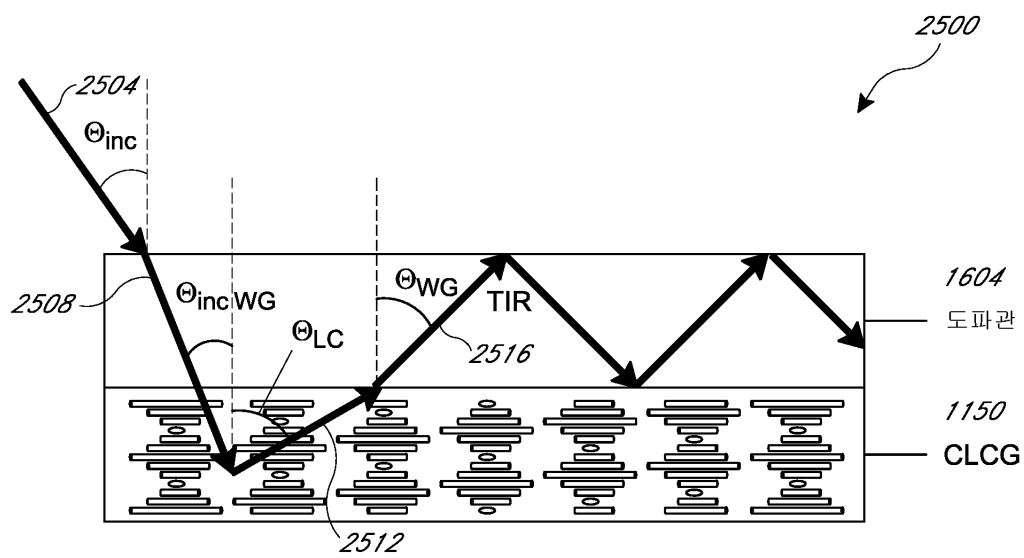
700 ↘



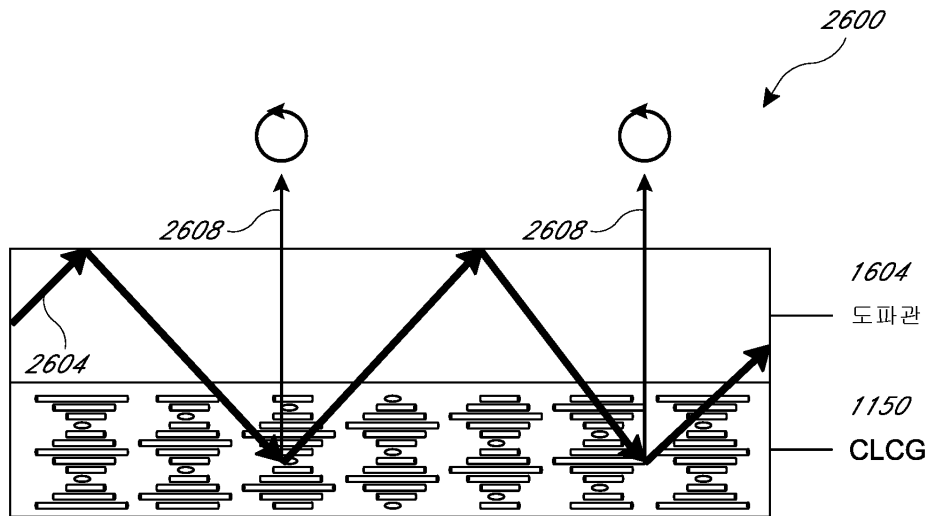
도면24h



도면25



도면26



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 11

【변경전】

제7 항에 있어서,

상기 제1 키랄 구조들 및 상기 제2 키랄 구조들 중 하나 또는 둘 모두는 상기 층 깊이 방향 및 상기 측방향 중 하나 또는 둘 모두로 상기 나선형 피치에서 구배(gradient)를 형성하는,

회절 격자.

【변경후】

제7 항에 있어서,

상기 제1 복수의 키랄 구조들 및 상기 제2 복수의 키랄 구조들 중 하나 또는 둘 모두는 상기 층 깊이 방향 및 상기 측방향 중 하나 또는 둘 모두로 상기 나선형 피치에서 구배(gradient)를 형성하는,

회절 격자.